UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

T E S I S

Tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico mediante la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro SAC – Pasco – 2024

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autores:

Bach. Kevin Jhojan LLANOS MATIAS

Bach. Carlos Alberto CHANCA ALANIA

Asesor:

Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ

Cerro de Pasco - Perú - 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

T E S I S

Tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico mediante la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro SAC – Pasco – 2024

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCIA PRESIDENTE	**Dr. Eusebio ROQUE HUAMAN** MIEMBRO

Mg. Carlos Lizardo ACOSTA CRESPO
MIEMBRO

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 021-2026-UNDAC/UIFI

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

Tesis:

"Tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico mediante la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro SAC – Pasco – 2024"

Apellidos y nombres de los tesistas

Bach. Kevin Jhojan LLANOS MATIAS

Bach. Carlos Alberto CHANCA ALANIA

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

19 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 17 de junio del 2026

Firma Digital UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN [AVANZADA]

Firmado digitalmente por PALOMINO ISIDRO Ruben Edgar FAU 20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 17.06.2026 20:29:04 -05:00

DEDICATORIA

Con Fe Y Esperanza A Dios,

Por Guiarnos Día A Día.

A Nuestros Padres,

Por Darnos Lo Mejor De Ellos

AGRADECIMIENTO

Mediante este trabajo de investigación realizada deseamos dar a conocer nuestros sinceros agradecimientos a nuestros familiares por su constante apoyo brindado en cada una nuestra etapa de vida, a los profesores de la E. F. P. de Ingeniería Metalúrgica por la sapiensa compartidos durante nuestra etapa academica, al equipo de Ingenieros de la Empresa Administradora Cerro S.A.C., de Volcan Compañía Minera - Pasco, por el desarrollo de este trabajo de investigación.

A nuestros amigos que han estado en nuestro entorno que nunca lo olvidaremos.

RESUMEN

El trabajo de investigación realizada tiene como objetivo realizar tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico mediante la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C., para ello se ha tenido en cuenta el tipo de investigación que es Aplicada, con el método Aplicada y el diseño que se ha planteado es descriptiva.

Los ensayos realizados en el laboratorio químico reflejan:

	% Cu	% Pb	% Zn	Ag (oz/TM)	Au (oz/TM)
Mineral de cabeza	0,38	4,02	3,98	15,60	1,16

Teniendo como ganga, pirita, cuarzo, antimonio y arsénico, arcillas, que dificultan el proceso de flotación, que primer paso se ha eliminado las arcillas mediante lavado.

La moliendabilidad realizada mediante pruebas a nivel de laboratorio en Bach se determina que el 60% -200 mallas se obtiene a los 14´48”, con ello las partículas de mineral están liberadas es decir la partícula metálica está libre de la ganga.

La dosificación de reactivos se ha iniciado en la molienda donde se agregó como complejo 400 g/TM de: NaCN equivalente a 100 g/TM y $ZnSO_4$ en 300 g/TM; en la celda de acondicionamiento se agregó $ZnSO_4$ en 500 g/TM, como colector AP- 3418 en una cantidad de 20 g/TM y AR-242 en 10 g/TM.

La recuperación obtenida nos da en la tercera prueba donde el porcentaje de cobre presenta un 79,08 %, Plomo 84,61 %, Ag 66,99 % en plomo y Zn 86,86%.

Esta información se dio a conocer a la superintendencia para la toma de decisiones.

Palabra Clave: Tratamiento Metalúrgico, Flotación por espuma

ABSTRACT

The objective of the research work carried out is to carry out metallurgical treatment of the polymetallic mineral by means of froth flotation in the Cerro S.A.C. Mining Company, for this the type of research that is Applied has been taken into account, with the Applied method and the design that has been proposed is descriptive.

The tests carried out in the chemical laboratory reflect:

	% Cu	% Pb	% Zn	Ag (oz/TM)	Au (oz/TM)
Head Ore	0,38	4,02	3,98	15,60	1,16

Having as gangue, pyrite, quartz, antimony and arsenic, clays, which hinder the flotation process, which first step has been removed the clays by washing. the grinding, carried out by laboratory tests in bach, determines that 60%-200 meshes are obtained at 14,48", with this the mineral particles are released, that is, the metal particle is free of the gangue.

The dosing of reagents has been started at the milling where 400 g/MT of NaCN equivalent to 100 g/MT and ZnSO4 at 300 g/MT were added as a complex; ZnSO4 was added in the conditioning cell at 500 g/MT, as AP-3418 collector in a quantity of 20 g/MT and AR-242 in 10 g/MT.

The recovery obtained gives us in the third test where the percentage of copper presents 79,08%, Lead 84,61%, Ag 66,99% in lead and Zn 86,86%.

This information was released to the superintendence for decision-making.

Keyword: Metallurgical Treatment, Foam Flotation

INTRODUCCIÓN

El Perú es un país que tiene muchos recursos de minerales metálicos y no metálicos dentro de ello están los minerales polimetálicos que significa que existe un grupo de minerales que lo conforman entre ellos tenemos a la calcopirita, pirita, marcasita, galena, argentita, esfalerita conteniendo en poca cantidad antimonio, arsénico que dificultan el proceso de concentración. Sin embargo, se tiene que tratar estos minerales para recuperar todo el mineral valioso que está presente.

Para el tratamiento de los minerales polimetálicos hemos elaborado un diagrama de flujo que se ha cumplido en las tres pruebas realizadas. Tomando en cuenta que los experimentos realizados son con las variables de los componentes del mineral polimetálico, tiempo de molienda y dosificación de reactivos, manteniendo constante las demás variables.

El laboratorio metalúrgico de la Empresa Administradora Cerro S.A.C., se encuentra implementada con lo necesario para realizar un trabajo de investigación de confiabilidad, y del cuidado del medio ambiente.

El trabajo de investigación consta de un formato que está diseñado por el reglamento de grados y títulos donde se incluye lo siguiente:

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

Capítulo II. Marco teórico: antecedentes de estudio, bases teóricas – científicas, definición de términos básicos, formulación de hipótesis, identificación de variables, definición operacional de variables e indicadores.

Capítulo III. Metodología y técnicas de investigación: tipo de investigación, métodos de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de

recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos, tratamiento estadístico, selección validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación, orientación ética.

Capítulo IV. Resultados y discusión: descripción del trabajo de campo, presentación, análisis e interpretación de resultados, prueba de hipótesis, discusión de resultados.

Las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

ÍNDICE

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema 1

1.2. Delimitación de la investigación 2

1.2.1. Delimitación espacial 2

1.2.2. Delimitación temporal 3

1.2.3. Delimitación técnica 3

1.3. Formulación del Problema 3

1.3.1. Problema general 3

1.3.2. Problemas específicos 3

1.4. Formulación de Objetivos 4

1.4.1. Objetivo general 4

1.4.2. Objetivos específicos 4

1.5. Justificación de la Investigación 4

1.5.1. Técnica 4

1.5.2. Económica 4
1.5.3. Medio Ambiente 5
1.6. Limitaciones de la Investigación 5

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio 6
2.2. Bases teóricas – científicas 9
2.2.1. Yacimientos de minerales polimetálicos en el Perú 9
2.2.2. Mineral Polimetálico 10
2.2.3. Métodos más eficientes para separar metales en minerales polimetálicos 12
2.2.4. Conminución 13
2.2.5. Molienda 14
2.2.6. Tamaño de partícula de minerales 17
2.2.7. Flotación de minerales 18
2.3. Definición de términos básicos 23
2.4. Formulación de Hipótesis 25
2.4.1. Hipótesis general 25
2.4.2. Hipótesis especifica 25
2.5. Identificación de Variables. 25
2.5.1. Variables Independientes. 25
2.5.2. Variables Dependientes. 25
2.6. Definición Operacional de variables e Indicadores. 26

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación 27

3.2. Nivel de Investigación.....27
3.3. Método de investigación. 27
3.4. Diseño de Investigación 28
3.5. Población y muestra 28
3.5.1. Población.....28
3.5.2. Muestra.....29
3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos. 30
3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos. 30
3.8. Tratamiento Estadístico.....30
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica 30
CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN
4.1. Descripción del trabajo de campo 32
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados. 33
4.2.1. Determinación de los componentes de mineral polimetálico.....33
4.2.2. Moliendabilidad 34
4.2.3. Análisis granulométrico del mineral de cabeza - compósito.....35
4.2.4. Distribución por mallas de los contenidos de cobre y plata 36
4.2.5. Pruebas De Flotación 39
4.3. Prueba de Hipótesis 51
4.3.1. Componentes del mineral polimetálico.....51
4.3.2. Moliendabilidad 51
4.3.3. Resultados de la dosificación de reactivos yflotación.....51
4.4. Discusión de resultados.....52
CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1. Operacionalización de Variables 26

Tabla 2. Reservas minerales probadas y probables por unidad minera 29

Tabla 3. Ley de cabeza del mineral polimetálico 33

Tabla 4. Moliendabilidad del mineral polimetálico 34

Tabla 5. Análisis granulométrico por mallas mineral de cabeza-compósito 35

Tabla 6. Análisis granulométrico valorado compósito de concentrado de zinc 38

Tabla 7. Balance Metalúrgico de la prueba de Flotación Nº 1 del mineral polimetálico. 42

Tabla 8. Balance Metalúrgico de la prueba de Flotación Nº 2 del mineral polimetálico 46

Tabla 9. Balance Metalúrgico de la prueba de Flotación Nº 3 del mineral polimetálico. ... 50

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Página

Gráfico 1. Curva de moliendabilidad.....34

Gráfico 2. Curva de distribución granulométrica del mineral de cabeza.....36

Gráfico 3. Distribución de cobre por mallas en el concentrado de zinc de la tabla 4.....36

Gráfico 4. Distribución de la plata por mallas en el concentrado de zinc de la tabla 4.....37

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La empresa minera Cerro S.A.C. presenta una serie de dificultades al tratar sus minerales polimetálicas que radican en la recuperación eficiente de todos losmetales valiosos presentes, como el cobre, plomo, zinc, oro y plata, esto debido a que los minerales suelen contener una mezcla de sulfuros y óxidos, lo que complica los procesos de extracción y separación, por otro lado los metales preciosos como el oro y plata a menudo están asociados con sulfuros lo que hace muy dificultoso su recuperación, asimismo existen desafíos para lograr una separación selectiva de los diferentes metales como el cobre, plomo y zinc durante la flotación, si se observa al mineral a través del microscopio el tamaño de partícula fino de algunos minerales, como el plomo, también complica los procesos de concentración y recuperación, mientras que el consumo de reactivos utilizados presentan dificultades en la concentración de la mena.

La naturaleza polimetálica y mineralógica compleja de estos depósitos representan un reto importante para lograr una recuperación eficiente de todos los metales valiosos presentes.

El en tratamiento se presenta la deficiencia en la depresión de la esfalerita (ZnS) durante la flotación del cobre y plomo, lo que causa que el zinc se active y flote junto con estos metales, disminuyendo la ley de los concentrados de cobre y plomo. La presencia de iones de cobre solubles en solución que activan a los sulfuros de zinc, provocando que se floten en el concentrado de cobre - plomo y disminuyendo su ley; en cuanto a la dificultad para controlar las variables operacionales como pH, dosificación de reactivos y tiempos de acondicionamiento, lo que afecta la selectividad y recuperación de los metales.

Los problemas al procesar minerales con leyes marginales o de cabezas bajas donde las recuperaciones y grados de los concentrados finales se ven afectados. En la flotación de partículas gruesas de minerales valiosos, especialmente cuando las leyes de cabeza altas, lo que disminuye la eficiencia del proceso.

Para resolver estos problemas, es necesario aplicar técnicas de investigación metalúrgica, es posible optimizar las variables operacionales, se pueda caracterizar el mineral de alimentación al proceso y utilizar reactivos especializados que mejoren la selectividad de la flotación.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

La Empresa Mineral Cerro S.A.C. esta operando en el distrito de Yanacancha, provincia y región Junín, estas operaciones mineras está en pleno corazón de la ciudad llamada Cerro de Pasco. La explotación polimetálica actual se realiza de interior mina a menor escala, donde el material grueso es tratado en la antigua planta concentradora de 6 TMPD y el proceso de flotación lo realizan en San Expedito. Se vienen realizando exploraciones por la antigua cancha de golf. Muestras de mineral que llega a laboratorio químico metalúrgico para su investigación motivo de esta tesis.

1.2.2. Delimitación temporal

La investigación que se presenta como proyecto de investigación tiene un tiempo de seis meses empezando el 1 de diciembre debiendo de culminar el 30 de mayo del presente año.

1.2.3. Delimitación técnica

La investigación presenta dificultades bibliográficas debido a que la bibliografía es escasa y poca información sobre el tratamiento de minerales sulfurados, haciendo que la investigación se realiza con el apoyo de otros profesionales que tienen experiencia en otras empresas mineras. Como es el caso el maestro José Manzaneda Cabala.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo realizar tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico mediante la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.?

1.3.2. Problemas específicos

1. ¿Qué minerales constituyen el polimetálico para realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.?
2. ¿Cuál será el tiempo de molienda que a de aplicarse al mineral polimetálico para realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.?
3. ¿Cuál será la dosificación de reactivos de flotación para realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico mediante la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Determinar los constituyentes al mineral polimetálico para realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.
2. Determinar el tiempo de molienda que ha de aplicarse al mineral polimetálico para realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.
3. Determinar la dosificación de reactivos de flotación para realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.

1.5. Justificación de la Investigación

1.5.1. Técnica

En el tratamiento de los minerales polimetálicas en la flotación por espumas encontramos diversas variables que se deben de controlar por ejemplo tenemos: tipo de mineral, tamaño de partículas, dosificación de reactivos (colectores, espumantes, depresores, modificadores), en nuestra investigación se está verificando los componentes del mineral polimetálico, tiempo de molienda, dosificación de reactivos.

1.5.2. Económica

Si se considera que el tratamiento metalúrgico del mineral polimetálico sea eficiente y eficaz cuando comparamos los costos ya que a la empresa tiene problemas de exploración y explotación ya que el tajo abierto Raúl Rojas está paralizada.

1.5.3. Medio Ambiente

En la Conminución está considerado la molienda que es un proceso de reducción del tamaño del mineral polimetálico en pulpa de quien depende la calidad y la recuperación de los minerales de valor económico (mena) evitando la sobre molienda y el desplazamiento de minerales de interés hacia la cancha de relave como lamas, entonces se tendrá efectos positivos en el cuidado del medio ambiente, y la ecología, así mismo se estaría elevando el nivel de protección de la salud de la población aledaña.

1.6. Limitaciones de la Investigación

La Compañía Minera Cerro S.A.C. desarrolla actividades de explotación y procesamiento de minerales polimetálicos que contienen plomo, zinc, cobre y plata. Asimismo, dispone de un laboratorio químico-metalúrgico donde se ejecutan pruebas e investigaciones cuyos resultados son de carácter reservado y se reportan únicamente a los niveles gerenciales correspondientes.

Por otra parte, existe una limitada disponibilidad de bibliografía especializada sobre el tratamiento de minerales polimetálicos, debido a la complejidad y variedad de estos recursos minerales presentes en nuestro país.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Tras revisar diversas fuentes de información relacionadas con la presente investigación, se identificaron antecedentes que se conideran relevantes y que se presenta a continuación:

- En la Universidad Nacional del Centro del Perú el bachiller AUQUI OCHOA, Anthony Alexander, en su tesis: Influencia de las variables en el proceso de la flotación de minerales polimetálicos para mejorar la productividad del circuito de zinc con aplicación de los diseños experimentales en la planta concentradora “el brocal”, en su resumen se entiende que:

  La tesis tuvo como propósito mejorar la recuperación de zinc en la segunda etapa de flotacion de minerales polimetalicos de la empresa Sociedad Minera El Brocal, antes de la ejecución del estudio, la recuperación promedio de Zinc alcanzaba el 85%. Para el estudio ha obtenido de la planta concentradora dos muestras: la primera es de mineral fresco en la faja transportadora que alimenta a la molienda primaria y la segunda para el diseño de optimización.

Durante el desarrollo experimental se programaron diversas pruebas utilizando el relave proveniente del circuito bulk, con la finalidad de evaluar y optimizar las variables más influyentes del proceso, entre ellas el sulfato de cobre (CuSO4) y el colector R-405. Los intervalos de evaluación fueron establecidos a partir de ensayos preliminares realizados previamente.

El estudio consideró los efectos de la activación y depresión de los sulfuros de zinc y pirita, así como los principios aplicados en la flotación Flash. Asimismo, se analizó el desempeño del colector R-405 como posible alternativa al colector convencional Z-11. Este reactivo cumple una función importante en la flotación al favorecer la recuperación de esfalerita (ZnS) y reducir la flotabilidad de la pirita (FeS_2). Sin embargo, debido a los costos asociados al proceso, se planteó la evaluación de reactivos alternativos que permitan mejorar la rentabilidad de la operación.

Para el análisis de las variables se empleó la metodología de diseños experimentales. Inicialmente se aplicó un diseño factorial 2^3, mediante el cual se estudiaron tres factores considerados relevantes en el proceso: (1) la dosificación de sulfato de cobre, (2) la adición del colector R-405 y (3) el pH. La influencia de estas variables se determinó mediante análisis de regresión lineal con el valor t-student y pruebas de significancia estadística, tomando como variable de respuesta la recuperación de zinc en el concentrado final

Para la etapa de optimización en la recuperación de zinc, se utilizaron los diseños hexagonales para evaluarse la variable; sulfato de cobre (Lb/TM) y colector R-405 (Lb/TM). Siendo estas las variables más importantes que afectan el proceso de flotación de zinc en su recuperación. Para ello se hizo uso del software minitab para realizar la optimización en la recuperación de zinc, el cual

consta de 11 pruebas experimentales en laboratorio. Y al final se llega a una recuperación del zinc por encima del 88%.

Para optimizar la recuperacuon de zinc se evaluaron las variables sulfato de cobre (Lb/TM) y colector R-405 (Lb/TM), debido a su influencia en el proceso de flotación. La evaluación se desarrolló mediante un diseño experimental procesado con el sotware Minitab, considerando un total de 11 pruebas de laboratorio. Los resultados obtenidos permitieron incrementar la recuperacion de zinc hasta valores superiores al 88%

- En la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión de Huacho se sustentó la tesis titulada Efecto del cianuro de sodio en el tratamiento de minerales polimetálicos para la concentración por flotación de menas de plomo y zinc, desarrollada por Espinoza Castillo Brian José. En el resumen se indica que la investigación experimental fue realizada en el laboratorio de la empresa Lincuna S.A.C. durante el año 2020. Las muestras obtenidas de los tajos fueron chancadas, homogenizadas y cuarteadas para posteriormente realizar las pruebas de molienda y flotación.

  Los mejores resultados se obtuvieron con una dosificación de 11 g/t de NaCN, alcanzándose en el concentrado de plomo una ley de 51.66 oz/t de plata y 38.66% de plomo, con recuperaciones de 65.94% y 79.97%, respectivamente. En el concentrado de zinc se obtuvo una ley de 30.53% y una recuperación de 84.42%.

  Se concluyó que el incremento de NaCN reduce las leyes de plomo y plata, mientras que favorece la ley de zinc. Estadísticamente, el reactivo mostró influencia sobre la ley de zinc, pero no sobre las leyes de plomo y plata. Asimismo, la recuperación de plomo y zinc aumentó con la dosificación de NaCN, mientras que la recuperación de plata disminuyó. Finalmente, se observó

que al aumentar la liberación mineral disminuyen los valores de t-Student y del coeficiente de correlación, alejándose de 1 y aproximándose a cero.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Yacimientos de minerales polimetálicos en el Perú

Pomalaza Guerrero Lynda C. (2011) en su publicación (introducción) en la Universidad Nacional de Ingeniería dice: El Perú destaca por su importante potencial minero y por la magnitud de sus recursos naturales. Las reservas probadas y probables comprenden una amplia variedad de minerales, entre los que se encuentran aproximadamente 570 millones de toneladas de fosfatos, 850 millones de onzas de plata, 27 millones de toneladas de cobre y 10 millones de toneladas de zinc. Estas reservas permiten que el país mantenga una posición relevante entre las principales naciones mineras a nivel mundial. Además de su condición como productor de metales básicos, el Perú concentra numerosos depósitos minerales de diferentes características. La producción sostenida de acero, molibdeno, tungsteno, cadmio, bismuto y otros elementos, como antimonio, telurio y selenio, evidencia la diversidad de recursos minerales existentes en el territorio nacional. Entre los minerales de mayor explotación destacan el cobre, zinc, plomo, plata e hierro.

Los yacimientos polimetálicos se distribuyen principalmente a lo largo de la región andina del país. Varios de ellos son operados por empresas mineras como Xstrata, Antamina, Cerro Verde, Milpo, Buenaventura y Volcan Compañía Minera. En este trabajo se presentan algunos de los yacimientos más representativos, de los cuales se obtienen minerales de gran importancia para la actividad minera, entre ellos la calcopirita, galena, magnetita, estibina, molibdenita, esfalerita, cinabrio, malaquita y baritina.

2.2.2. Mineral Polimetálico

El mineral polimetálico es un tipo de mineral que contiene varios metales valiosos, como el oro, plata, plomo, zinc, cobre, entre otros. La constitución de estos minerales puede variar ampliamente dependiendo de su origen y de los procesos geológicos que los formaron.

Composición típica de un mineral polimetálico:

1. Sulfuros metálicos:
   - ✓ Galena (PbS): Un mineral de plomo.
   - ✓ Esfalerita (ZnS): Un mineral de zinc.
   - ✓ Pirita (FeS_2): Un mineral de hierro y azufre.
   - ✓ Calcopirita ($CuFeS_2$): Un mineral de cobre y hierro.
   - ✓ Arsenopirita (FeAsS): Un mineral de hierro y arsénico.
2. Metales nativos:
   - ✓ Oro (Au): Puede encontrarse en forma nativa o como parte de otros minerales.
   - ✓ Plata (Ag): Puede encontrarse en forma nativa o en combinación con otros minerales.
3. Minerales de óxidos:
   - ✓ Hematita (Fe2O3): Un mineral de hierro.
   - ✓ Cuarzo (SiO2): Un mineral común que a veces está presente en los minerales polimetálicos.
4. Carbonatos:
   - ✓ Calcita (CaCO3): Un mineral de carbonato de calcio.
   - ✓ Smithsonita (ZnCO3): Un mineral de carbonato de zinc.

5. Sulfatos:
    - ✓ Baritina ($BaSO_4$): Un mineral de sulfato de bario.
    - ✓ Anglesita ($PbSO_4$): Un mineral de sulfato de plomo.

Procesos de formación

Estos minerales suelen formarse en ambientes geológicos específicos, tales como:

- Depósitos hidrotermales: Donde fluidos calientes ricos en minerales precipitan metales al enfriarse.
- Depósitos sedimentarios: Donde los minerales se concentran a partir de procesos de sedimentación.
- Depósitos volcánicos: Asociados a la actividad volcánica y el enfriamiento de magmas.

Aplicaciones

Los minerales polimetálicos son de gran importancia económica debido a la diversidad de metales que contienen, los cuales son fundamentales para la industria electrónica, la construcción, la producción de energía, entre otros.

Los minerales polimetálicos típicamente contienen una combinación de varios metales base y preciosos, incluyendo:

- Cobre (Cu)
- Plomo (Pb)
- Zinc (Zn)
- Cobalto (Co)
- Níquel (Ni)
- Molibdeno (Mo)
- Pirita (FeS_2)

- Oro (Au)
- Plata (Ag)

Estos yacimientos de mineral se llaman polimetálicos porque contienen múltiples metales valiosos [(911metallurgist (2019)]. La composición exacta varía según el depósito, pero típicamente incluye una combinación de los metales mencionados anteriormente.

Por ejemplo, un yacimiento polimetálico en Perú contiene cobre, zinc, oro y plata [(Ingemmet (2020)]. Otro yacimiento en Perú tiene plata, plomo, zinc y oro [Slideshare (2019)]. La recuperación de estos múltiples metales es el objetivo del procesamiento de minerales polimetálicos.

En resumen, los minerales polimetálicos se caracterizan por contener una mezcla de metales base como cobre, plomo y zinc, junto con cantidades variables de metales preciosos como oro y plata. La composición exacta varía según el depósito mineral.

2.2.3. Métodos más eficientes para separar metales en minerales polimetálicos

Los métodos más eficientes para separar metales en minerales polimetálicos incluyen:

1. Flotación diferencial o secuencial: Este proceso permite la recuperación por flotación de los sulfuros metálicos en dos o más concentrados separados. Algunos ejemplos de minerales polimetálicos que se pueden procesar por flotación incluyen: cobre, plomo, zinc, cobalto, níquel, molibdeno, pirita, oro-pirita y sulfuros de plata [911metallurgist (2011)].
2. Lixiviación alcalina NH_3(ac)-H_2O_2: Este método es factible para procesar minerales polimetálicos con presencia de óxidos en matriz de carbonatos y de sulfuros. Permite recuperar cobre, plata y oro mediante cementación con zinc, y posteriormente recuperar zinc por electro obtención (EW). La plata se separa

como AgCl y el cobre se recupera por cementación con chatarra de hierro [Ingemmet (2015)].

3. Lixiviación en dos etapas a presión y atmosférica: En este proceso, la primera etapa se realiza en un reactor a presión y temperatura de 120-160°C para extraer cobre y zinc. En la segunda etapa a presión atmosférica y temperatura menor al punto de ebullición, se recuperan plomo y/o metales preciosos [Patents.google (2018)].
4. Oxidación de sulfuros a sulfatos en reactor a presión: Todos los sulfuros metálicos se oxidan a sulfatos en un reactor a presión con oxígeno a 200°C. Posteriormente se recuperan los diversos metales por separado, como se describe en la patente española ES0476055A1[patents.google (2019)].

En resumen, la flotación diferencial, la lixiviación alcalina, la lixiviación en dos etapas y la oxidación de sulfuros a presión son métodos eficientes para separar y recuperar los múltiples metales presentes en los minerales polimetálicos complejos.

2.2.4. Conminución

La conminución es un proceso esencial en la industria minera que consiste en la reducción del tamaño de los materiales para su posterior procesamiento [Ingenium.edu.pe (2022)]. Los principales procesos involucrados son:

- **Trituración**: La trituración es el proceso de reducción de tamaño de materiales en trozos más pequeños mediante la aplicación de fuerza mecánica en la superficie del material [Ingenium.edu.pe (2022)]. Se realiza en diferentes etapas utilizando trituradoras de mandíbulas, cono, impacto o rodillos [Ingenium.edu.pe (2022)].

- **Molienda**: La molienda es el proceso de reducir aún más el tamaño de los materiales hasta alcanzar el tamaño deseado [Ingenium.edu.pe (2022)]. Se utilizan diferentes tipos de molinos para este fin.
- **Clasificación**: La clasificación separa las partículas por tamaño para asegurar que el producto final cumpla con las especificaciones requeridas [Ingenium.edu.pe (2022)].

La conminución es la etapa del proceso más intensiva en energía en la industria minera, representando hasta el 40% de la energía total utilizada [tiempominero.com (2022)]. Por ello, la industria busca optimizar este proceso seleccionando equipos más apropiados o apuntando a un producto más grueso cuando las características del mineral lo permiten [empiricaconsultores.cl (2022)].

2.2.5. Molienda

La molienda es un proceso fundamental en la industria minera que tiene como objetivo reducir el tamaño de partícula de los minerales extraídos para facilitar su posterior procesamiento y concentración. Los principales tipos de molienda son:

Molienda Convencional: Este proceso utiliza molinos que contienen barras de acero que muelen el mineral a medida que giran. El material se tritura por el impacto y la abrasión de las barras sobre el mineral. [codelcoeduca.cl (2019)]

Molienda de Barras: En este tipo de molienda, el molino contiene barras de acero de 3.5 pulgadas de diámetro que muelen el mineral a medida que caen libremente dentro del molino. [codelcoeduca.cl (2019)]

Molienda de Bolas: Los molinos de bolas utilizan bolas de acero de diferentes tamaños (desde 4 hasta 3/4 de pulgada) como medio de molienda. Este proceso permite reducir aún más el tamaño de partícula del mineral. [codelcoeduca.cl (2019)]

Molienda SAG (Semiautógena): Este tipo de molienda utiliza molinos de mayor tamaño (11 m de diámetro por 4,6 m de ancho) que procesan el mineral directamente del chancador primario, eliminando etapas de chancado previas. Usa una combinación de bolas de acero y el mismo mineral como medio de molienda. [codelcoeduca.cl (2019)]

El objetivo principal de la molienda es reducir el tamaño de partícula del mineral hasta alcanzar la granulometría requerida para la posterior etapa de concentración, ya sea por flotación, gravimetría o lixiviación. [codelcoeduca.cl (2019)]

Tiempo de molienda: El tiempo óptimo de molienda de minerales se determina mediante pruebas de laboratorio para definir la granulometría y liberación de los valores deseados. Los principales criterios son:

- Obtener al menos 60% del producto por debajo de la malla 200 (75 micrones) para minimizar valores retenidos en mallas gruesas donde no hay recuperación [911metallurgist.com (2019)].
- Tener el 90% de los contenidos de interés por debajo de la malla 100 (150 micrones), que es el tamaño factible de recuperar. [911metallurgist.com (2019)].
- Evitar sobremolienda que produce lamas que causan problemas de impurezas por arrastre mecánico en el concentrado [911metallurgist.com (2019)].

En las pruebas de laboratorio, se muele la muestra a diferentes tiempos (ej. 15, 30, 45, 60 min) y se analiza la granulometría y distribución de valores de cada producto [911metallurgist.com (2019)]. Esto permite definir el tiempo óptimo de molienda que cumple los criterios anteriores [911metallurgist.com (2019)].

La molienda en húmedo es preferible a la seca, con rangos de 40-70% de agua en volumen y 55-80% de sólidos en peso [ocw.unican.es (2019)]. Algunos tipos de molinos recomendados son:

- Molino de barras: 40 - 45% agua, 75 - 80% sólidos
- Molino de bolas: 55 - 60% agua, 65 - 70% sólidos [ocw.unican.es (2019)]

Afectación del tiempo de molienda: El tiempo de molienda tiene un impacto significativo en la granulometría del producto final en la molienda de minerales. A continuación, se presentan los principales efectos del tiempo de molienda sobre la granulometría:

1. Distribución Granulométrica: El tiempo de molienda influye en la distribución granulométrica del producto final. Un tiempo de molienda prolongado puede producir una mayor cantidad de partículas finas y una menor cantidad de partículas gruesas, lo que se refleja en una distribución más uniforme y una granulometría más fina [repositorio.uchile.cl (2020)].
2. Tamaño de Partículas: El tiempo de molienda determina el tamaño de las partículas que se producen. Un tiempo de molienda más prolongado puede reducir significativamente el tamaño de las partículas, lo que es beneficioso para la recuperación de minerales valiosos [es.scribd.com (2021)].
3. Liberación de Valores: El tiempo de molienda también influye en la liberación de valores. Un tiempo de molienda óptimo puede asegurar que al menos el 60% del producto esté por debajo de la malla 200, lo que facilita la recuperación de valores [es.scribd.com (2021)].
4. Sobremolienda: Un tiempo de molienda excesivo puede generar sobremolienda, lo que puede llevar a problemas de impurezas en el

concentrado debido al arrastre mecánico de materiales no deseados [es.scribd.com (2021)].

5. Regulación Granulométrica: El caudal circulado dentro del molino y el tamaño del cilindro también influyen en la granulometría. Variaciones en el caudal pueden ser utilizadas para regular la granulometría del producto final [ocw.unican.es (2021)].

En resumen, el tiempo de molienda es un parámetro crucial en la molienda de minerales, ya que afecta directamente la granulometría del producto final. Un tiempo óptimo de molienda puede asegurar una distribución granulométrica uniforme y una liberación adecuada de valores, minimizando problemas de sobremolienda y recuperación de impurezas [es.scribd.com (2021)].

2.2.6. Tamaño de partícula de minerales

El tamaño de partícula es un factor crítico en los procesos de molienda y flotación de minerales:

Importancia del Tamaño de Partícula

La importancia del tamaño está orientada en:

- El tamaño de partícula afecta directamente la liberación de los minerales valiosos de la ganga, lo cual es clave para su posterior concentración [informativogoldfields.com (2020)].
- Partículas demasiado gruesas (>300 μm) pueden tener una liberación insuficiente, mientras que partículas demasiado finas (<20 μm) pueden ser difíciles de flotar por razones hidrodinámicas [empiricaconsultores.cl (2020)].

- El tamaño de partícula óptimo para la flotación generalmente se encuentra en el rango de 30 - 100 μm, donde se logra una mayor recuperación del mineral valioso. [empiricaconsultores.cl (2020)].
- El control del tamaño de partícula también impacta en el consumo energético de los molinos y la calidad del producto final [sedici.unlp.edu.ar (2020)].

Medición del Tamaño de Partícula: Para la medición se debe de tener en cuenta:

- Existen diferentes métodos para medir el tamaño de partículas, incluyendo técnicas manuales y dispositivos electrónicos [sedici.unlp.edu.ar (2020).
- Una alternativa efectiva y de bajo costo es el uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes, donde se captura la imagen de la muestra y se aplica un algoritmo para determinar la distribución granulométrica [epositoriosdigitales.mincyt.gob.ar (2021)].

2.2.7. Flotación de minerales

La flotación es un proceso clave en la concentración de minerales que se basa en las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de las partículas minerales:

- El proceso consiste en separar los minerales valiosos (hidrofóbicos) de los minerales de ganga (hidrofílicos) mediante la adherencia de las partículas hidrofóbicas a burbujas de aire.
- Los reactivos químicos utilizados, como los colectores, inducen la hidrofobicidad en la superficie de los minerales valiosos para que se adhieran a las burbujas de aire.
- El tiempo de molienda es un parámetro crucial, ya que determina la granulometría y liberación de los valores. Un tiempo óptimo de molienda

(ej. 60% bajo 75 micrones) asegura una adecuada liberación sin problemas de sobremolienda [www.codeauni.com (2021)].

- Otros parámetros clave son el pH, la densidad de pulpa, la dosificación de reactivos y el control de las celdas de flotación [www.codeauni.com].
- Los circuitos de flotación generalmente incluyen etapas de recuperación, limpieza y re-limpieza para maximizar la recuperación y calidad del concentrado [www.codeauni.com].

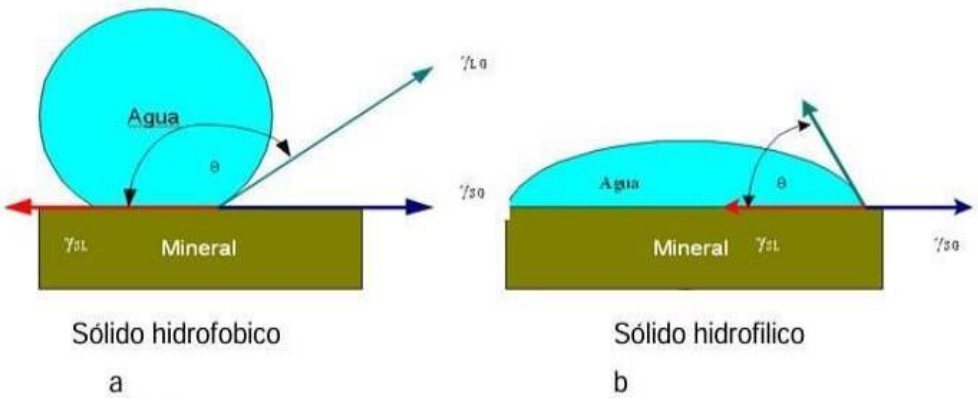
Ángulo de contacto: El ángulo de contacto se mide para evaluar la hidrofobicidad de las partículas minerales en el proceso de flotación:

1. Determinación del Ángulo de Contacto: El ángulo de contacto se mide colocando una gota del líquido (generalmente agua) sobre la superficie del mineral sólido y midiendo el ángulo que forma la gota con la superficie. Esto se realiza mediante técnicas como análisis de la forma de la gota o medición del ángulo de contacto dinámico.
2. Relación con la Hidrofobicidad: Un ángulo de contacto mayor a 90 grados indica que la superficie del mineral es hidrofóbica, es decir, tiende a repeler el agua. Cuanto mayor sea el ángulo de contacto, más hidrofóbica será la superficie.
3. Efecto de los Reactivos de Flotación: La determinación del ángulo de contacto permite evaluar la eficacia de los reactivos de flotación, como los colectores, que buscan inducir hidrofobicidad en la superficie de los minerales valiosos. Al tratar la superficie con diferentes concentraciones del colector, se puede medir el cambio en el ángulo de contacto.
4. Optimización del Proceso: El conocimiento del ángulo de contacto es fundamental para optimizar las condiciones de flotación, como el tipo y

dosificación de reactivos, el pH, la granulometría, entre otros parámetros. Esto permite maximizar la recuperación y calidad del concentrado mineral.

Figura 1. *Esquema del ángulo de contacto*

Nota: Fundamentos de flotación de minerales



En resumen, la medición del ángulo de contacto es una herramienta clave para evaluar la hidrofobicidad de las partículas minerales y optimizar el proceso de flotación, al permitir determinar la eficacia de los reactivos de flotación y las condiciones operativas óptimas [www.linseis.com (2022)].

La ecuación de Young establece condiciones termodinámicas de equilibrio entre las tres fases e introduce el concepto hidrofobicidad que es uno de los factores intervinientes importantes en el proceso de flotación de un mineral. El ángulo de contacto θ puede definirse como el ángulo formado por el plano tangente a la interfase líquido-gas y el plano formado por el sólido en un contacto trifásico sólido-líquido-gas, que nos da una noción de mojabilidad e indica los parámetros superficiales que se necesitan medir; de modo que, cuando un líquido moja completamente a un sólido, el ángulo de contacto θ será igual a cero y un valor de $\theta > 0°$ indica mojabilidad parcial y mientras mayor sea el ángulo de contacto, menor será la mojabilidad, en consecuencia, mayor el grado de

hidrofobicidad. Sin embargo, en esta ecuación sólo se puede medir experimentalmente la tensión superficial del líquido, mas no así γsg y γsl.

Influencia del ángulo de contacto: El ángulo de contacto es un parámetro clave que influye directamente en la eficiencia del proceso de flotación de minerales:

1. Hidrofobicidad y Adherencia a Burbujas: El ángulo de contacto es una medida de la hidrofobicidad de la superficie mineral. Cuanto mayor es el ángulo de contacto, más hidrofóbica es la superficie y mejor se adherirá a las burbujas de aire durante la flotación [revistas.utp.edu.co (2022)].
2. Optimización de Reactivos de Flotación: La medición del ángulo de contacto permite evaluar la eficacia de los reactivos de flotación, como los colectores, que buscan inducir hidrofobicidad en la superficie de los minerales valiosos [core.ac.uk (2021)].
3. Recuperación y Selectividad: Un ángulo de contacto adecuado (generalmente mayor a 90°) asegura una buena adherencia de las partículas minerales a las burbujas, mejorando la recuperación y selectividad del proceso de flotación [revistas.utp.edu.co (2022)].
4. Efecto de la Granulometría: El tiempo de molienda, que determina la granulometría, también afecta el ángulo de contacto y la flotabilidad de las partículas. Un tamaño de partícula óptimo facilita la adherencia a las burbujas [core.ac.uk (2021)].
5. Condiciones Operativas: Otros parámetros como el pH, la densidad de pulpa y la dosificación de reactivos también influyen en el ángulo de contacto y deben ser controlados para maximizar la eficiencia de la flotación [saber.ucv.ve (2022)].

Concentración del colector: La concentración del colector tiene un efecto directo sobre el ángulo de contacto en el proceso de flotación de minerales:

- A medida que aumenta la concentración del colector (como el ácido oleico), el ángulo de contacto entre el mineral y el agua se incrementa, indicando una mayor hidrofobicidad de la superficie mineral [ocw.bib.upct.es (2022)].
- Esto se debe a que el colector se adsorbe sobre la superficie mineral, proporcionándole carácter hidrofóbico y facilitando su adherencia a las burbujas de aire durante la flotación.
- Inicialmente, un aumento en la dosificación del colector produce un incremento en el ángulo de contacto y por lo tanto en la recuperación del mineral [ocw.bib.upct.es (2022)].
- Sin embargo, al alcanzar el recubrimiento completo de la superficie mineral con una monocapa del colector, un incremento adicional en la dosificación puede tener efectos negativos [ocw.bib.upct.es (2022)].
- Esto se explica porque una segunda capa del colector se orienta con su parte apolar hacia la primera capa y su parte polar hacia el agua, haciendo que el mineral se vuelva más hidrofílico.

La concentración del colector tiene una relación directa con la hidrofobicidad del mineral en el proceso de flotación:

Efecto de la Concentración del Colector: su efecto se presenta en:

- A medida que aumenta la concentración del colector (como el ácido oleico o las aminas), el ángulo de contacto entre el mineral y el agua se incrementa, indicando una mayor hidrofobicidad de la superficie mineral.

- Esto se debe a que el colector se adsorbe sobre la superficie mineral, proporcionándole un carácter más hidrofóbico y facilitando su adherencia a las burbujas de aire durante la flotación.
- Inicialmente, un aumento en la dosificación del colector produce un incremento en el ángulo de contacto y por lo tanto en la recuperación del mineral.
- Sin embargo, al alcanzar el recubrimiento completo de la superficie mineral con una monocapa del colector, un incremento adicional en la dosificación puede tener efectos negativos.
- Esto se explica porque una segunda capa del colector se orienta con su parte apolar hacia la primera capa y su parte polar hacia el agua, haciendo que el mineral se vuelva más hidrofílico.

Concentración Óptima:

- Existe una concentración óptima de colector que maximiza la hidrofobicidad y por ende la eficiencia de la flotación.
- Esta concentración óptima depende de factores como el tipo de mineral, el pH, la granulometría y otros parámetros del proceso.

2.3. Definición de términos básicos

- **Tratamiento de minerales**: El tratamiento de minerales es el proceso mediante el cual se extraen los minerales valiosos de las rocas y se preparan para su uso.
- **Tamaño de partícula**: El tamaño de partícula del mineral es un factor crucial en el tratamiento de minerales, ya que influye en la eficiencia de los procesos de extracción y concentración.

- **Ley de cabeza**: La ley de cabeza de un mineral se refiere a la concentración del mineral valioso en el mineral bruto que se extrae de la mina antes de someterse a cualquier tipo de procesamiento.
- **Componentes del mineral**: Los minerales están compuestos por uno o varios elementos químicos que se organizan en una estructura cristalina específica.
- **Flotación**: La flotación es un método físico-químico empleado para separar minerales de interés económico de aquellos que no poseen valor comercial. Este proceso se basa en la adhesión selectiva de las partículas minerales a burbujas de aire dentro de una pulpa, permitiendo su posterior recuperación.
- **Reactivo**: Es una sustancia empleada para inducir, facilitar o modificar una reacción química, generando cambios en las propiedades o composición de otra sustancia.
- **Reactivo de flotación**: Es una sustancia química utilizada en la flotación para facilitar la separación de los minerales valiosos de la ganga contenida en la pulpa.
- **Colector**: Es un reactivo químico empleado para incrementar la flotabilidad de los minerales de interés, facilitando su recuperación durante el proceso de flotación.
- **Recuperación**: Es el indicador que mide la efectividad del proceso de flotación para recuperar y concentrar los minerales valiosos contenidos en la pulpa. Su resultado se expresa como porcentaje de recuperación.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Si realizamos el tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico entonces podemos hacer mediante la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.

2.4.2. Hipótesis especifica

a. Si determinamos los constituyentes al mineral polimetálico entonces podemos realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.

b. Si determinamos el tiempo de molienda que ha de aplicarse al mineral polimetálico entonces podemos realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.

c. Si determinamos la dosificación de reactivos de flotación entonces podemos realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.

2.5. Identificación de Variables.

2.5.1. Variables Independientes.

Tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico.

2.5.2. Variables Dependientes.

Flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.

2.6. Definición Operacional de variables e Indicadores.

Tabla 1. *Operacionalización de Variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico.	Evaluar Los componentes, tamaño de partícula y dosificación de reactivos de flotación	Recuperación de los elementos valiosos por medio de la flotación	Toneladas por día	Porcentaje
Flotación por espumas en la Cía Minera Cerro SAC:	Evaluar el proceso de flotación de minerales polimetálicos	Flotar mineral polimetálico	Toneladas por día	Toneladas

Fuente: Elaborado por los tesistas

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Realizando experimentos en el laboratorio aplicando metodologías ya reportadas, con el apoyo de los equipos de laboratorio, los fundamentos teóricos impartidos en la universidad y una revisión bibliográfica apropiada. Ruiz et al. (2010) propone una mayor participación de los estudiantes en los proyectos de investigación y en las prácticas de laboratorio.

La investigación es de **tipo Científica aplicada**, porque se experimentó mediante el análisis químico los componentes de mineral, moliendabilidad y dosificación de reactivos.

3.2. Nivel de Investigación

Básica

3.3. Método de investigación.

La investigación se aprende investigando, así lo dice la pedagogía activa y lo dice Dewey (2010) en ¿qué estamos pensamos? La investigación permite generar nuevos conocimientos y ampliar la comprensión sobre un determinado tema. Por otro

lado, la resolución de problemas contribuye al desarrollo de experiencia y habilidades especializadas. Asimismo, la ejecución de proyectos fortalece las capacidades de planificación y gestión. Para alcanzar estos objetivos, es recomendable realizar actividades de campo, prácticas de laboratorio y análisis de resultados, ya que estas acciones facilitan la aplicación de un enfoque de investigación de carácter aplicado y cuantitativo.

3.4. Diseño de Investigación

La tesis a desarrollarse presenta un **Diseño de investigación explicativa**, en que el pensamiento del investigador es clave para ser ejecutado, todo ello depende de su formación profesional sobre el tratamiento de los minerales polimetálicos. dando una explicación sobre la variable independiente que nos ayuda a una determinación de la variable dependiente, dando a conocer sobre ¿cómo? y ¿por qué? se relacionan con las preguntas de investigación. Dewey (2010)

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Para el presente estudio, la población está constituida por las reservas y recursos minerales económicamente explotables, tomando en consideración las leyes de cabeza y el contenido de metal presente en cada depósito. Los datos respectivos se muestran en el cuadro siguiente.

Tabla 2. *Reservas minerales probadas y probables por unidad minera*

Reservas minerales Probadas y probables	MM de TM	Leyes Zn %	Pb %	Cu %	Ag Oz/TM	Finos Zn Miles de TM	Pb Miles de TM	Cu Miles de TM	Ag MM de oz
Yauli	**16.1**	**4.87**	**0.79**	**0.14**	**2.69**	**79**	**13**	**2**	**43**
Probadas	5.6	5.58	0.81	0.14	2.61	32	5	1	15
Probables	10.5	4.48	0.79	0.15	2.73	47	8	2	29
Chungar	**4.6**	**4.69**	**1.92**	**0.16**	**2.10**	**21**	**9**	**1**	**10**
Probadas	0.8	5.16	2.22	0.22	1.99	4	2	0	2
Probables	3.7	4.58	1.85	0.15	2.12	17	7	1	8
Alpamarca	**0.3**	**0.71**	**0.65**	**0.03**	**0.84**	**0**	**0**	**0**	**0**
Probadas	0.3	0.73	0.68	0.03	0.84	0	0	0	0
Probables	0.0	0.58	0.37	0.03	0.87	0	0	0	0
Cerro de Pasco	**8.3**	**1.94**	**0.70**	**0.07**	**1.49**	**16**	**6**	**1**	**12**
Probables	8.3	1.94	0.70	0.07	1.49	16	6	1	12
Óxidos	**0.4**	**0**	**0**	**0**	**5.30**	**0**	**0**	**0**	**2**
Probadas	0.0	0.0	0.0	0.0	6.53	0	0	0	0
Probables	0.4	0.0	0.0	0.0	5.29	0	0	0	2
Probadas	**6.8**	**5.32**	**0.98**	**0.14**	**2.46**	**36**	**7**	**1**	**17**
Probables	**22.9**	**3.49**	**0.91**	**0.12**	**2.23**	**80**	**21**	**3**	**50**
Total	**29.7**	**3.91**	**0.93**	**0.12**	**2.29**	**116**	**28**	**4**	**67**

Nota: Memoria anual: Al 31 de diciembre del 2023

3.5.2. Muestra

Morles nos dice que la muestra en principio es una de las partes que representa al todo y como tal, esta refleja a la característica que definen a la población del que fue obtenido, entonces es representativa. Por tanto, la validez depende de la obtención y del tamaño de la muestra. Dicho de otra manera, la elección y tamaño de la muestra es un factor que determina el resultado que se obtiene de la investigación. (Morles, 1994. P.54).

Para esta investigación, la muestra ha sido obtenida por la técnica del muestreo por conveniencia luego fue seleccionada como compósito del total del mineral que fue recolectada después de un trabajo de campo, para el compósito practicaremos la técnica del muestreo, la separación del mineral con el

separador de Jones, pesaje del mineral, hasta obtener un kilo de mineral para cada prueba que se va a realizar en el laboratorio o a nivel bach.

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

Con el propósito de obtener una muestra representativa del mineral, se emplearon procedimientos de muestreo que permitieron conformar un compósito a partir de los 100 kg recolectados diariamente. Esta muestra fue utilizada para evaluar las variables con mayor incidencia en los procesos de molienda y flotación, sin antes de llevar a cabo un análisis químico para determinar los componentes del mineral polimetálico

3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.

Se aplicó el software Excel como herramienta de cálculos matemáticos y estadísticos para correlacionar datos y obtener resultados de la moliendabilidad y flotación de minerales por espumas. (Wellington, 2000 p 120).

3.8. Tratamiento Estadístico.

Para el análisis de los datos obtenidos, se aplicará la técnica de estadística descriptiva, mediante la cual la información será presentada en tablas que faciliten su organización y comparación. Esto permitirá identificar y describir los principales parámetros y características de la muestra evaluada. El recuento necesario para la elaboración de cálculos, en nuestra investigación hacemos uso de tablas con su análisis e interpretación del resultado. (Wellington, 2000 p. 148).

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación constituye una actividad fundamental en la formación universitaria, debido a que favorece el desarrollo del pensamiento crítico, lógico y creativo. A través de este proceso se impulsa la generación y consolidación de conocimientos, los cuales contribuyen al análisis y solución de problemas en diversos

campos del conocimiento. Todo esto, es debido a la actividad científica que influye en los principios éticos, valores éticos que guían a la investigacióndentro y fuera de la Universidad, (Informe Belmont,1979 p 49) tomando conocimiento de ello respetamos a los autores en citas bibliográficas, trabajos relacionados al tratamiento de los minerales polimetálicos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

La Empresa Administradora Cerro S.A.C., está instalada en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco, en la actualidad se dedica a la explotación de minerales oxidados y se encuentra en proceso de exploración en el área de Golf, de donde se obtiene minerales polimetálicos para el tratamiento de estos minerales se elaboró un diagrama de flujo general del proceso que es un esquema representativo nos indica los pasos que se realizan en el trabajo del mineral polimetálico a nivel de laboratorio para luego ser escalado a nivel piloto, la obtención de muestras para los trabajos en el laboratorio químico y metalúrgico, se inicia con la determinación de la gravedad específica, densidad aparente, ley de cabeza.

El diagrama de flujo también describe los pasos que se realizaron desde la obtención de la muestra en mina por parte de los geólogos, la obtención del compósito de muestra en una cantidad de 50 kilos, de los cuales se ha retirado 5 kilos de ellos se ha ido cuarteando hasta obtener 500 gramos de ello se ha obtenido100 gramos de las muestras para el análisis de leyes de cabeza teniéndose 5 de ellos,se hizo todo el ensayo para determinar la gravedad específica,

caracterización del mineral, análisis granulométrico, determinación de la cinética de molienda luego de ello se hizo la flotación por espumas del mineral para ello se ha molido 1 kilo de mineral con 500 mililitros de agua potable. Para la evaluación de laboratorio metalúrgico y la obtención de datos y resultados óptimos con los parámetros de trabajo tanto en el área de geología, minería y metalurgia.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

4.2.1. Determinación de los componentes de mineral polimetálico

El Mineral recibido en nuestro Laboratorio siguió las siguientes etapas experimentales:

- Se preparo la muestra a 100% - 10 mallas. Pesándose muestras de 1 kg para las pruebas de flotación.
- Se realizo las pruebas de Moliendabilidad para determinar el tiempo óptimo para la flotación.
- Las pruebas de flotación se ejecutaron bajo el esquema para un mineral polimetálico. A continuación, se detallan las leyes de cabeza del mineral a emplearse en la prueba experimental.

Tabla 3. *Ley de cabeza del mineral polimetálico*

Ley de cabeza del mineral polimetálico

	% Cu	% Pb	% Zn	Ag (oz/TM)	Au (oz/TM)
Mineral de cabeza	0,38	4,02	3,98	15,60	1,16

Nota: Elaborado por los tesistas

4.2.2. Moliendabilidad

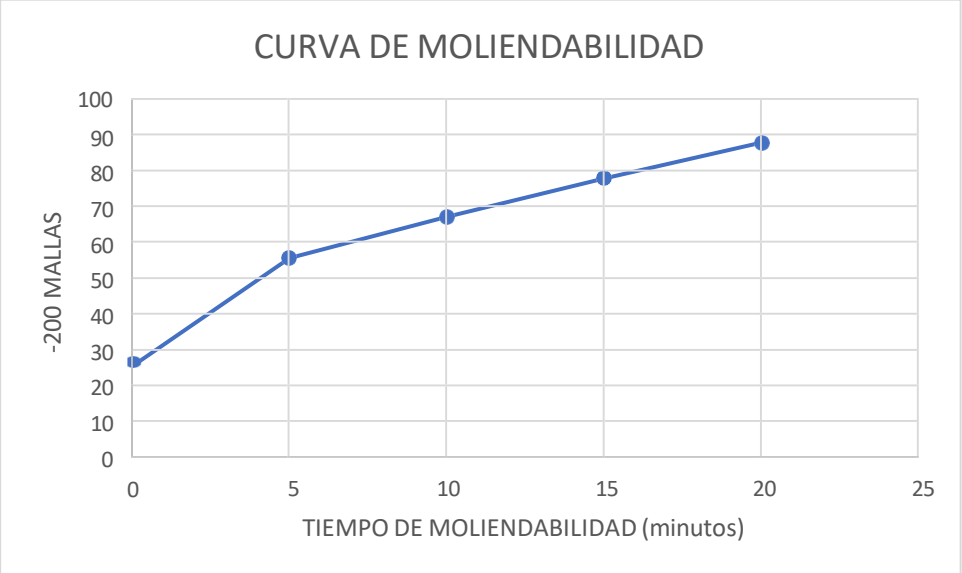
Se realizaron pruebas de molienda para determinar la curva de Moliendabilidad del mineral polimetálico. La tabla 2 y gráfico 1, nos muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4. *Moliendabilidad del mineral polimetálico*

TIEMPO (minutos)	% -200 mallas
0	25,51
5	55,53
10	67,15
15	77,77
20	87,78
55% -200 mallas = 11´49´´	
60% -200 mallas = 14´48´´	

Nota: Elaborado por los tesistas

Gráfico 1. *Curva de moliendabilidad*



Nota: Elaborado por los tesistas

4.2.3. Análisis granulométrico del mineral de cabeza - compósito

La tabla 3 y Grafico 3 nos presenta los análisis granulométricos del mineral de cabeza recepcionado por el laboratorio.

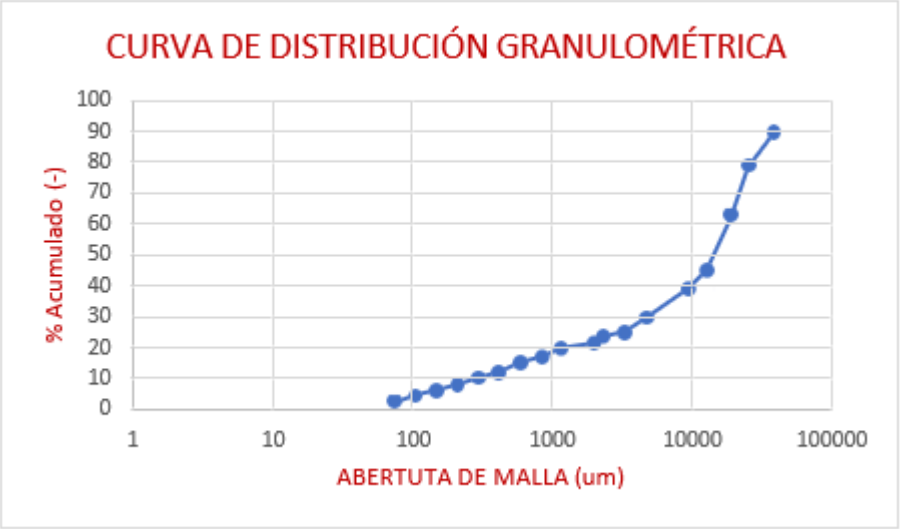
Tabla 5. *Análisis granulométrico por mallas mineral de cabeza-compósito*

MALLAS	TAMAÑO DE PARTÍCULA (um)	PESO (g)	% PESO	% ACUM (+)	% ACUM (-)
+1 ½"	38100	558,00	11,16	11,16	88,84
+1"	25400	541,00	10,82	21,98	78,02
+3/4"	19050	815,00	16,30	38,28	61,72
+½"	12700	840,00	16,80	55,08	44,92
+3/8"	9525	302,00	6,04	61,12	38,88
+4 M	4750	466,00	9,32	70,44	29,56
+6 M	3350	228,60	4,57	75,01	24,99
+8 M	2360	71,90	1,44	76,45	23,55
+10 M	2000	105,60	2,11	78,56	21,44
+14 M	1168	84,80	1,70	80,26	19,74
+20 M	850	141,50	2,83	83,09	16,91
+30 M	595	95,70	1,91	85,00	15,00
+40 M	420	150,30	3,01	88,01	11,99
+50 M	297	91,10	1,82	89,83	10,17
+70 M	210	111,50	2,23	92,06	7,94
+100 M	150	92,60	1,85	93,91	6,09
+140 M	105	78,50	1,57	95,48	4,52
+200 M	74	128,40	2,57	98,05	1,95
-200 M		97,50	1,95	100,00	0,00
		5000,00	100,00		

Nota: **Elaborado por los tesistas**

El 44,92% del mineral de cabeza se encuentra por debajo de -1/2", porcentaje alto que puede ser separado antes del chancado.

Gráfico 2. *Curva de distribución granulométrica del mineral de cabeza*

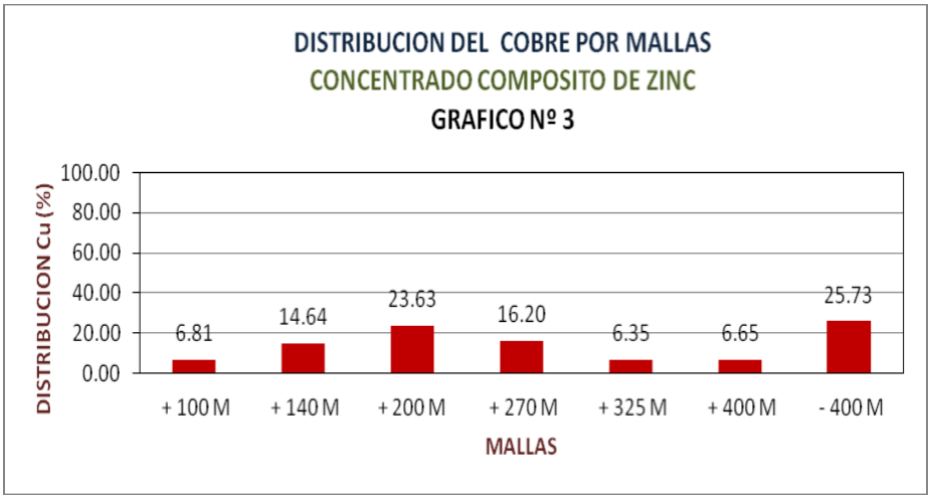


Nota: **Elaborado por los tesistas**

4.2.4. Distribución por mallas de los contenidos de cobre y plata

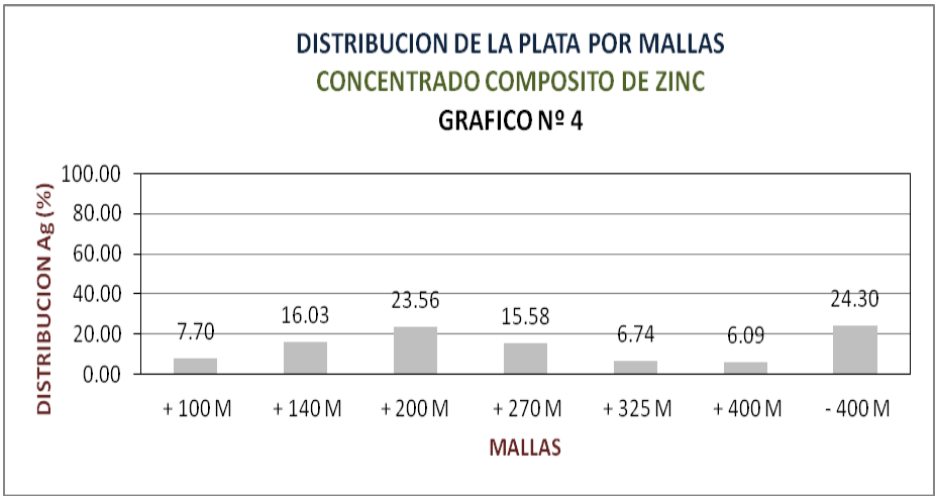
La tabla Nº 3 y gráfico 4 nos muestran la distribución del cobre y la plata por mallas en el concentrado Compósito de Zinc.

Gráfico 3. *Distribución de cobre por mallas en el concentrado de zinc de la tabla 4*



Nota: **Elaborado por los tesistas**

Gráfico 4. *Distribución de la plata por mallas en el concentrado de zinc de la tabla 4*



Nota: **Elaborado por los tesistas**

Tabla 6. *Análisis granulométrico valorado compósito de concentrado de zinc*

MALLAS	TAMAÑO DE (microones)	PESO (g)	% PESO	LEY Cu (%)	FINOS Cu	LEY Ag (Oz/TM)	FINOS Ag	DISTRIBUCION Cu (%)		DISTRIBUCION Ag (%)	
								PARCIAL	ACUM.	PARCIAL	ACUM.
+ 100 M	150	16,80	8,40	0,97	8,148	72,200	606,480	6,81	6,81	7,70	7,70
+ 140 M	105	29,20	14,60	1,20	17,520	86,500	1262,900	14,64	21,44	16,03	23,73
+ 200 M	75	35,80	17,90	1,58	28,282	103,700	1856,230	23,63	45,07	23,56	47,28
+ 270 M	53	28,10	14,05	1,38	19,389	87,400	1227,970	16,20	61,27	15,58	62,87
+ 325 M	43	13,10	6,55	1,16	7,598	81,100	531,205	6,35	67,62	6,74	69,61
+ 400 M	37	13,50	6,75	1,18	7,965	71,100	479,925	6,65	74,27	6,09	75,70
- 400 M		63,50	31,75	0,97	30,798	60,300	1914,525	25,73	100,00	24,30	100,00
COMPOSITO CALCULADO		**200,00**	**100,00**	**1,20**	**119,70**	**78,79**	**7879,24**	**100,00**		**100,00**	

Nota: Elaborado por los tesistas

Existe una relación casi directa entre los contenidos de cobre y plata en el concentrado de zinc, es importante lograr flotar el cobre que se desplaza hacia el zinc.

4.2.5. Pruebas De Flotación

1. Prueba de Flotación Nº 1.

Esta prueba de flotación se realizó a 60% - 200 mallas. Con una flotación selectiva.

Molienda

Peso de mineral	: 1,0 kg
Líquido/sólido	: ½
Granulometría	: 65% -200 mallas
Complejo	: 400 g/TM
NaCN : 100 gr/TM	
$ZnSO_4$: 300 gr/TM	
$ZnSO_4$	: 500 g/TM
AP-3418	: 20 g/TM
AR-242	: 10 g/TM
Tiempo de molienda	: 16´53”

FLOTACIÓN

Flotación Rougher Bulk

Acondicionamiento	: 5´
pH	: 8,5
Z- 11	: 20 g/TM
MIBC	: 7 g/TM
Flotación	: 3´

Flotación Scavenger Bulk

Acondicionamiento	: 3´
pH	: 8,5
Z- 11	: 10 g/TM

MIBC : 7 g/TM

Flotación : 1´

Flotación Cleaner Bulk

Acondicionamiento : 5´

pH : 8.5

Complejo : 100 g/TM

NaCN : 25 g/TM

$ZnSO_4$: 75 g/TM

$ZnSO_4$: 100 g/TM

MIBC : 7 g/TM

Flotación : 2´

Flotación Rougher Zn

Acondicionamiento : 5´

pH : 11

$CuSO_4$: 500 g/TM

Z – 11 : 20 g/TM

MIBC : 14 g/TM

Flotación : 2´

Flotación Scavenger Zn

Acondicionamiento : 3´

pH : 11

Z – 11 : 10 g/TM

MIBC : 7 g/TM

Flotación : 1´

Flotación Cleaner Zn

Acondicionamiento : 3´

pH 11

MIBC : 7 g/TM

Flotación : 2´

El cuadro Nº 5, nos muestra el Balance de la Prueba de Flotación Nº 1.

Balance Metalúrgico

Tabla 7. *Balance Metalúrgico de la prueba de Flotación Nº 1 del mineral polimetálico.*

DESCRIPCIÓN	Peso (g)	% Peso	LEYES					RECUPERACIÓN (%)				RADIO CONCENTRACIÓN
			Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (Oz/TM)	Au (g/TM)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (%)	
Cabeza	**1000,00**	**100,00**	0,38	4,02	3,98	15,60	1,16	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	
Conc. Bulk Cu-Pb	**4540**	**4,54**	**5,48**	**60,28**	**4,12**	**210,70**	**19,00**	**74,38**	**72,35**	**5,44**	**64,06**	**22,03**
Medios Bulk Cu-Pb	**9,90**	0,99	0,97	36,12	9,09	71,50		2,87	9,45	2,62	4,74	
Conc.Rougher Bulk Cu-Pb	**55,30**	**5,53**	**4,67**	**55,95**	**5,01**	**185,78**		**77,25**	**81,81**	**8,06**	**68,81**	
Conc. Zn	**42,30**	**4,23**	**0,63**	**2,72**	**65,73**	**53,00**		**7,97**	**3,04**	**80,92**	**15,01**	**23,64**
Medios Zn	**37,10**	3,71	**0,40**	**4,72**	**6,01**	**27,80**		4,44	4,63	6,49	6,91	
Conc. Rougher Zn	**79,40**	**7,94**	**0,52**	**3,65**	**37,83**	**41,23**		**12,40**	**7,67**	**87,40**	**21,92**	
Relave Flotación	865,30	86,53	0,04	0,46	0,18	1,60		10,35	10,52	4,53	9,27	
Cabeza Calculada	**1000,00**	**100,00**	**0,33**	**3,78**	**3,44**	**14,93**		**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	

Nota: **Elaborado por los tesistas**

2. Prueba de Flotación Nº 2.

Esta prueba de flotación se realizó a 60% -200 mallas. Con una flotación selectiva. Se adiciono AR-208 en la molienda para mejorar la flotación del cobre.

Molienda

Peso de mineral	: 1.0 kg
Líquido/sólido	: ½
Granulometría	: 60% -200 mallas
DP-1003	: 40 g/TM
MIX	: 500 g/TM
$ZnSO_4$	: 250 g/TM
$NaHSO_3$	: 250 g/TM
Complejo	: 200 g/TM
NaCN	: 50 g/TM
$ZnSO_4$	: 150 g/TM
$ZnSO_4$	: 500 g/TM
AP-3418	: 20 g/TM
AR-208	: 20 g/TN
Tiempo de molienda	: 16´04”

FLOTACIÓN

Flotación Rougher Bulk

Acondicionamiento	: 5´
pH	: 5´
Z – 11	: 20 g/TM
MIBC	: 7 g/TM
Flotación	: 4´

Flotación Scavenger Bulk

Acondicionamiento	: 3´
pH	: 8,5
Z – 11	: 10 g/TM
MIBC	: 7 g/TM
Flotación	: 2´

Flotación Cleaner Bulk

Acondicionamiento	: 3´
pH	: 8,5
$ZnSO_4$	: 100 g/TM
MIBC	: 7 g/TM
Flotación	: 2´

Flotación Rougher Zn

Acondicionamiento	: 5´
pH	: 11
CuSO4	: 500 g/TM
Z – 11	: 20 g/TM
MIBC	: 14 g/TM
Flotación	: 2´

Flotación Scavenger Zn

Acondicionamiento	: 2´
pH	: 11
Z – 11	: 5 g/TM
MIBC	: 7 g/TM
Flotación	: 1´

Flotación Cleaner Zn

Acondicionamiento : 3´

pH 11

MIBC : 7 g/TM

Flotación : 2´

El cuadro Nº 6, nos muestra el Balance de la Prueba de Flotación Nº 2.

Balance Metalúrgico

Tabla 8. *Balance Metalúrgico de la prueba de Flotación Nº 2 del mineral polimetálico*

DESCRIPCIÓN	Peso (g)	% Peso	LEYES					RECUPERACIÓN (%)				RADIO CONCENTRACIÓN
			Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (Oz/TM)	Au (g/TM)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (%)	
Cabeza	**1000,00**	**100,00**	0,38	4,02	3,98	15,60	1,16	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	
Conc. Bulk Cu-Pb	**41,00**	**4,10**	**3,95**	**66,68**	**3,87**	**261,00**	**10,21**	**44,92**	**66,65**	**4,39**	**45,38**	**24,39**
Medios Bulk Cu-Pb	**21,50**	2,15	0,76	20,44	5,85	56,30		4,53	10,71	3,48	5,13	
Conc.Rougher Bulk Cu-Pb	**62,50**	**6,25**	**2,85**	**50,77**	**4,55**	**190,58**		**49,45**	**77,36**	**7,88**	**50,51**	
Conc. Zn	**48,70**	**4,87**	**2,87**	**5,43**	**60,44**	**92,00**		**38,76**	**6,45**	**81,52**	**41,07**	**20,53**
Medios Zn	**28,80**	2,88	**0,58**	**9,32**	**8,51**	**33,10**		4,63	6,54	6,79	4,04	
Conc. Rougher Zn	**77,50**	**7,75**	**2,02**	**6,88**	**41,14**	**137,29**		**43,40**	**12,99**	**88,31**	**45,12**	
Relave Flotación	860,00	86,00	0,03	0,46	0,16	1,20		7,16	9,64	3,81	4,38	
Cabeza Calculada	**1000,00**	**100,00**	**0,36**	**4,10**	**3,61**	**23,58**		**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	

Nota: **Elaborado por los tesistas**

3. Prueba de Flotación Nº 3.

Esta prueba de flotación se realizó a 55% - 200 mallas. Con una flotación selectiva.

Se vario la granulometría.

Molienda

Peso de mineral	: 1,0 kg
Líquido/sólido	: ½
Granulometría	: 55% -200 mallas
DP-1003	: 40g/TM
Complejo	: 400 g/TM
NaCN	: 100 g/TM
$ZnSO_4$	: 300 g/TM
$ZnSO_4$	: 500 g/TM
AP – 3418	: 20 g/TM
AR – 208	: 20 g/TM
Tiempo de molienda	: 14´48”

FLOTACIÓN

Flotación Rougher Bulk

Acondicionamiento	: 5´
pH	: 8,5
Z – 11	: 20 g/TM
MIBC	: 7 g/TM
Flotación	: 3´

Flotación Scavenger Bulk

Acondicionamiento	: 3´
pH	: 8,5

Z – 11 : 10 g/TM

MIBC : 7 g/TM

Flotación : 1´

Flotación Cleaner Bulk

Acondicionamiento : 3´

pH : 8,5

$ZnSO_4$: 100 g/TM

Complejo : 100 g/TM

NaCN : 25 g/Tm

$ZnSO_4$: 75 g/TM

MIBC : 7 g/TM

Flotación : 2´

Flotación Rougher Zn

Acondicionamiento : 5´

pH : 11

$CuSO_4$: 500 g/TM

Z – 11 : 10 g/TM

MIBC : 14 g/TM

Flotación : 2´

Flotación Scavenger Zn

Acondicionamiento : 2´

pH : 11

Z – 11 : 10 g/TM

MIBC : 7 g/TM

Flotación : 1´

Flotación Cleaner Zn

Acondicionamiento : 3´

pH : 11

MIBC : 7 g/TM

Flotación : 2´

El cuadro Nº 7, nos muestra el Balance de la Prueba de Flotación Nº 3.

Balance Metalúrgico

Tabla 9. Balance Metalúrgico de la prueba de Flotación Nº 3 del mineral polimetálico.

DESCRIPCIÓN	Peso (gr)	% Peso	LEYE					RECUPERACIÓN (%)				RADIO CONCENTRACIÓN
			Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (Oz/TM)	Au (g/TM)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (%)	
Cabeza	**1000,00**	**100,00**	0,38	4,02	3,98	15,60	1,16	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	
Conc. Bulk Cu-Pb	**45,90**	**4,59**	**6,03**	**60,44**	**4,35**	**202,20**	**9,87**	**75,83**	**74,33**	**6,05**	**60,95**	**21,79**
Medios Bulk Cu-Pb	**16,50**	1,65	0,72	23,24	6,85	55,70		3,25	10,27	3,42	6,04	
Conc.Rougher Bulk Cu-Pb	**62,40**	**6,24**	**4,63**	**50,60**	**5,01**	**163,46**		**79,08**	**84,61**	**9,47**	**66,99**	
Conc. Zn	**43,80**	**4,38**	**0,81**	**2,13**	**59,92**	**72,30**		**9,72**	**2,50**	**79,51**	**20,80**	**22,83**
Medios Zn	**29,90**	2,99	**0,50**	**6,56**	**8,12**	**30,40**		4,10	5,26	7,36	5,97	
Conc. Rougher Zn	**73,70**	**7,37**	**0,68**	**3,93**	**38,90**	**55,30**		**13,82**	**7,76**	**86,86**	**26,77**	
Relave Flotación	863,90	86,39	0,03	0,33	0,14	1,10		7,10	7,64	3,66	6,24	
Cabeza Calculada	**1000,00**	**100,00**	**0,37**	**3,73**	**3,30**	**15,23**		**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	

Nota: **Elaborado por los tesistas**

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Componentes del mineral polimetálico

El mineral en estudio tiene como sulfuros a la galena, calcopirita, esfalerita y minerales de plata, con pirita y con presencia de óxidos de sílice e hierro.

4.3.2. Moliendabilidad

De acuerdo a la molienda el mineral es de dureza media.

4.3.3. Resultados de la dosificación de reactivos yflotación

Flotación Nº 1

- La prueba de flotación se realizó a una molienda de 60% -200 mallas, usando como depresor una mezcla de sulfato de zinc con bisulfito de sodio. La tabla 5, nos presenta el Balance Metalúrgico donde el concentrado Bulk tiene leyes de 5,48% Cu, 60,28 % Pb, 4,12% Zn, 210,70 oz Ag/TM y 19,00 g Au/TM con recuperaciones de 74,38% del cobre, 72,35% del plomo, 5,44% del zinc y 64,06% de la plata, con un radio de concentración 22,03. el concentrado Bulk Rougher estimado tiene leyes de 4,67% Cu, 55,95 % Pb, 5,01% Zn y 185,78 oz Ag/TM con recuperaciones de 77,25% del cobre, 81,81% del plomo, 8,06% del zinc y 68,81% de la plata.

Flotación Nº 2

- La prueba de flotación se realizó a una molienda de 60% -200 mallas, usando como depresor una mezcla de sulfato de zinc con cianuro de sodio. La tabla 6, nos presenta el Balance Metalúrgico donde el concentrado Bulk tiene leyes de 3,95% Cu, 66,68 % Pb, 3,87% Zn, 261,00 oz Ag/TM y 10,21 g Au/TM con recuperaciones de 44,92% del cobre, 66,65% del plomo, 4,39% del zinc y 58,23% de la plata, con

un radio de concentración 24,39. el concentrado Bulk Rougher estimado tiene leyes 2,85% Cu, 50,77 % Pb, 4,55% Zn y 190,58 oz g/TM con recuperaciones de 49,45% del cobre, 77,36% del plomo, 7,88% del zinc y 64,82% de la plata.

Flotación Nº 3

- La prueba de flotación se realizó a una molienda de 55% -200 mallas, usando como depresor una mezcla de sulfato de zinc con cianuro de sodio. La tabla 7, nos presenta el Balance Metalúrgico donde el concentrado Bulk tiene leyes de 6,03% Cu, 60,44 % Pb, 4,35% Zn, 202,20 oz Ag/TM y 9,87 g Au/TM con recuperaciones de 75,83% del cobre, 74,33% del plomo, 6,05% del zinc y 60,95% de la plata, con un radio de concentración 21,79. el concentrado Bulk Rougher estimado tiene leyes 4,63% Cu, 50,60 % Pb, 5,01% Zn y 163,46 oz Ag/TM con recuperaciones de 79,08% del cobre, 84,61% del plomo, 9,47% del zinc y 66,99% de la plata.

4.4. Discusión de resultados

Flotación Nº 1

- El concentrado de Zinc tiene leyes de 0,63% Cu, 2,72 % Pb, 65,73% Zn, 53,00 oz Ag/TM con recuperaciones de 7,97% del cobre, 3,04% del plomo, 80,92% del zinc y 15,01% de la plata, con un radio de concentración de 23,64. El concentrado Rougher de Zinc estimado tiene leyes de 0,52% Cu, 3,65 % Pb, 37,83% Zn, y 41,23 oz Ag/TM, con recuperaciones de 12,40% del cobre, 7,67% del plomo, 88,81% del zinc y 21,92% de la plata.

Flotación Nº 2

- El concentrado de Zinc tiene leyes de 2,87% Cu, 5,43 % Pb, 60,44% Zn, 92,00 oz Ag/TM con recuperaciones de 38,76% del cobre, 6,45% del plomo, 81,52% del zinc y 24,38% de la plata, con un radio de concentración de 20,53. El concentrado Rougher de Zinc estimado tiene leyes de 20,2% Cu, 6,88 % Pb, 41,14% Zn, y 70,11 oz Ag/TM, con recuperaciones de 43,40% del cobre, 12,99% del plomo, 88,31% del zinc y 29,57% de la plata.

Flotación Nº 3

- El concentrado de Zinc tiene leyes de 0,81% Cu, 2,13 % Pb, 59,92% Zn, 72,30 oz Ag/TM con recuperaciones de 9,72% del cobre, 2,50% del plomo, 79,51% del zinc y 20,80% de la plata, con un radio de concentración de 22,83. El concentrado Rougher de Zinc estimado tiene leyes de 0,68% Cu, 3,93 % Pb, 38,90% Zn, y 55,30 oz Ag/TM, con recuperaciones de 13,82% del cobre, 7,76% del plomo, 86,86% del zinc y 26,77% de la plata.

CONCLUSIONES

1. Los componentes del mineral polimetálico son: galena, calcopirita, esfalerita y minerales de plata, con pirita y con presencia de óxidos de sílice e hierro.
2. De acuerdo a la molienda el mineral es de dureza media.
3. El siguiente cuadro nos resume los resultados de las 03 pruebas de flotación con etapas separación diferencial del cobre y plomo.

Nro Prueba		LEYES CONCENTRADOS					RECUPERACION (%)				Condiciones
		Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (oz/TM)	Au (gr/TM)	Cu %	Pb %	Zn %	Ag %	
1	Conc. Bulk	**5,48**	**60,28**	4,12	**210,70**	**19,00**	**77,25**	**81,81**	8,06	**68,81**	60% -200 m (complejo)
	Conc. Zn	0,63	2,72	**65,73**	**53,00**		12,40	7,67	**87,40**	**21,92**	
2	Conc. Bulk	**3,95**	**66,68**	**3,87**	**261,00**	**10,21**	**49,45**	**77,36**	7,88	**64,82**	60% -200 m (mix+complejo)
	Conc. Zn	**2,87**	**5,43**	**60,44**	**92,00**		**43,40**	12,99	**88,31**	**29,57**	
3	Conc. Bulk	**6,03**	**60,44**	**4,35**	**202,20**	**9,87**	**79,08**	**84,61**	9,47	**66,99**	55% -200 m (complejo)
	Conc. Zn	**0,81**	**2,13**	**59,92**	**72,30**		**13,82**	**7,76**	**86,86**	**26,77**	

De las 3 pruebas, la prueba Nº1, es la que mejor comportamiento metalúrgico nos muestra.

4. El desplazamiento del cobre y la plata en los concentrados de zinc es alto en todas las pruebas.

RECOMENDACIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda trabajar con una molienda entre 60-65% -200 mallas.
2. Se debe usar el reactivo DP-1003, para neutralizar las sales
3. Se debe incrementar la dosificación del AR- 208 y AP_3418 a niveles de 40-50 g/TM, para mejorar la flotación del cobre y la plata.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

Arana, J. Carranza, J. (1998) "Influencia de la dosificación del par, Z-11 y densidad de pulpa sobre la recuperación de plomo en el mineral de sociedad minera el Brocal S.A." Tesis para optar el título de Ingeniero Metalurgista. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo- Perú. 47p.

Apaza, O. (2015) "Fundamentos y aplicaciones de la flotación de minerales". Blog InterMet Consultores Metalúrgicos. 5p.

Chia Aquije, Juan. (1990) "Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales". Cap. 7-9.

Guerrero, G. (2010) "Metodología de evaluación y remoción de xantatos en procesos de flotación". Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con mención en Minería y medio Ambiente. Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú. 58p.

Guitar, E. Bruce, T. Bruey, F. Nagaraj, D. Riccio, P. Thomas, W. (2015) "Promotor AEROPHINE 3418A.Cytec Industries. Disponible en: http://www.expominmexico.com.mx/pdf/pres/c4/09/c4_9-2.pdf pp. 5-

Jimenez, J. Ayala, J. Quijahuamán, J. Ruiz, M. (2012) "Optimización del proceso de flotación de plomo, plata y zinc en la planta concentradora Mallay de la compañía de Minas Buenaventura S.A. A". Disponible en: http://www.convencionminera.com/perumin31/images/perumin/mencion-honrosa/tt pp. 4-9.

Laiza, F. Zegarra, T. (2016) "Influencia del potencial de hidrogeno (pH) y la granulometría sobre la ratio de concentración y el porcentaje de recuperación de oro (Au) y cobre (Cu) en la flotación de un mineral tipo sulfuroso con alto

contenido de plata". Tesis para optar el título de Ingeniero Metalurgista. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. 66p.

León, J. Ruiz, C. (2011) "efecto del pH, dosificación de reactivo A-31 y tiempo de molienda sobre la recuperación de Pb-Ag en minerales oxidados procedentes de la sierra de la Libertad". Tesis para optar el título de Ingeniero Metalurgista. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. 47p.

Linares, N. (2011) "Cinética del proceso de flotación de espumas", diapositivas. Disponible en: https://es.scribd.com/doc/66201828/Capitulo-III-cinetica-del-procesodeflotacion-de-minerales

Linares, N. (2010) "Principios de la flotación de minerales", diapositivas. Disponible en: http://es.slideshare.net/nlinaresg/capitulo-i-principiosde-la-flotacion-de-minerales

Linares, N. (2010) "Agentes químicos de flotación de espumas", diapositivas. Disponible en: https://es.slideshare.net/nlinaresg/capitulo-ii-4139513

Sutulov, Alexander. (1963) "Flotación de Minerales", Universidad de Concepción. Instituto de investigaciones tecnológicas. Primera Edición. Cap. 2-5.

Página Web

Citations (1):

[1] https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n26/pdf2/a08v13n26.pdf

[2] https://www.911metallurgist.com/metalurgia/planta-concentradora-de-flotacion-para-un-mineral-polimetalico/

[3] https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/PERM35-090.pdf

[4]https://s23.q4cdn.com/335191765/files/doc_presentations/2020/05/v2/SMT_Powerpoint_-_May_2020_-_Spanish.pdf

[5] https://es.slideshare.net/slideshow/polimetalicos/61967936

Citations (2):

[1] https://patents.google.com/patent/ES2794298A1/es

[2]https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n26/pdf2/a08v13n26.pdf

[3] https://www.911metallurgist.com/metalurgia/planta-concentradora-de-flotacion-para-un-mineral-polimetalico/

[4] https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/PERM35-090.pdf

[5]https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadas/Documents/Tecnicas-mineralogicas-quimicas-metalurgicas.PDF

Citations (3):

[1] https://www.911metallurgist.com/metalurgia/determinacion-del-tiempo-optimo-de-molienda/

[2] https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/8._molienda.pdf

[3] https://es.scribd.com/document/78979118/TIEMPO-DE-MOLIENDA

[4] https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109005343/molienda_media_t_cnico_060119.pdf

[5] https://ecnautomation.com/index.php?mod=molienda

Citations (4):

[1] https://informativogoldfields.com/2023/07/18/importancia-del-tamano-de-particula- en-flotacion-de-minerales/

[2] http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/61868/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?isAllowed=y&sequence=1

[3] https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/SEDICI_96276dc45e38850fe326f66b2b206d9c

[4] https://empiricaconsultores.cl/topico-2-c-efecto-del-tamano-de-particula-en- flotacion/

[5] https://www.srk.com/es/publicaciones/efecto-del-tamano-de-particulas-y-propiedades-geologicas-en-la-fragmentacion-y-su-aplicabilidad-en-la-molienda

ANEXOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

LABORATORIO DE ESPECTROMETRIA

Solicitado por: Kevin

Muestra: Minerales polimetálicos para Flotación

RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO

muestras	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (oz/TM)	Au (gr/TM)
Camión Morales	----	-----	----	307.30	----
Camión Fano	---	------	----	276.30	----
Camión Vallejo	--	----	----	291.90	----
Zn.2- 10/2/15	1.16	----	----	73.10	----
Zn.1 -11/2/15	2.04	----	----	137.00	----
Zn.2 -11/2/15	1.00	----	----	65.10	----
Zn.1 -12/2/15	1.55	----	----	95.80	----
Zn.2 -12/2/15	1.07	----	----	61.80	----
Cabeza	0.38	4.02	3.98	15.60	1.16
Conc. Bulk -1	5.48	60.28	4.12	210.70	19.00
Medios Bulk -1	0.97	36.12	9.09	71.50	----
Conc. Zn-1	0.63	2.72	65.73	53.00	----
Medios. Zn-1	0.40	4.72	6.01	27.80	----
Relave flotación-1	0.04	0.46	0.18	1.60	----
Conc. Bulk -2	3.95	66.68	3.87	261.00	10.21
Medios Bulk -2	0.76	20.44	5.85	56.30	-----
Conc. Zn-2	2.87	5.43	60.44	92.00	-----
Medios. Zn-2	0.58	9.32	8.51	33.10	-----
Relave flotación-2	0.03	0.46	0.16	1.20	-
Conc. Bulk -3	6.03	60.44	4.35	202.20	9.87
Medios Bulk -3	0.72	23.24	6.85	55.70	------
Conc. Zn-3	0.81	2.13	59.92	72.30	------
Medios. Zn-3	0.50	6.56	8.12	30.40	----
Relave flotación-3	0.03	0.33	0.14	1.10	

UNI, 13 de Marzo del 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

LABORATORIO DE ESPECTROMETRIA

Solicitado por: Kevin

Muestra: Minerales polimetálicos para pruebas de flotación

muestras	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (oz/TM)	Au (gr/TM)	As (%)	Sb (%)	Fe (%)	Bi (%)	Hg (%)
Conc. Zn +100m	0.97	----	----	72.20	----	----	----	----	----	----
Conc. Zn +140m	1.20	----	----	86.50	----	----	----	----	----	----
Conc. Zn +200m	1.58	----	----	103.70	----	----	----	----	----	----
Conc. Zn +270m	1.38	----	----	87.40	----	----	----	----	----	----
Conc. Zn +325m	1.16	----	----	81.10	----	----	----	----	----	----
Conc. Zn +400m	1.18	----	----	71.10	----	----	----	----	----	----
Conc. Zn -400m	0.97	----	----	60.30	----	----	----	----	----	----
Tomas-Alta ley	0.06	2.18	5.09	5.70	0.05	0.07	0.08	7.22	0.01	0.01
Tomas-Baja ley	0.05	1.72	4.30	5.40	0.02	0.05	0.05	5.78	0.01	0.01

UNI, 20 de marzo del 2024



Matriz de Consistencia

<table>
<tr><td colspan="5">Título: Tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico mediante la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro SAC – Pasco – 2024</td></tr>
<tr><td>PROBLEMA</td><td>OBJETIVO</td><td>HIPÓTESIS</td><td>VARIABLES</td><td>METODOLOGÍA</td></tr>
<tr><td>GENERAL</td><td>GENERAL</td><td>GENERAL</td><td>INDEPENDIENTE</td><td>MÉTODO</td></tr>
<tr><td>¿Cómo realizar tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico mediante la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro SAC?</td><td>Realizar tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico mediante la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro SAC</td><td>Si realizamos el tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico entonces podemos hacer mediante la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro SAC</td><td>Tratamiento metalúrgico al mineral polimetálico.</td><td>Aplicada - Cuantitativa</td></tr>
<tr><td>ESPECÍFICOS</td><td>ESPECÍFICOS</td><td>ESPECÍFICOS</td><td>DEPENDIENTE</td><td>TIPO</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1. ¿Qué minerales constituyen el polimetálico para realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.?
2. ¿Cuál será el tiempo de molienda que a de aplicarse al mineral polimetálico para realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.?
3. ¿Cuál será la dosificación de reactivos de flotación para realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.?</td><td rowspan="2">1. Determinar los constituyentes al mineral polimetálico para realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.
2. Determinar el tiempo de molienda que ha de aplicarse al mineral polimetálico para realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.
3. Determinar la dosificación de reactivos de flotación para realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.</td><td rowspan="2">1. Si determinamos los constituyentes al mineral polimetálico entonces podemos realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.
2. Si determinamos el tiempo de molienda que ha de aplicarse al mineral polimetálico entonces podemos realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.
3. Si determinamos la dosificación de reactivos de flotación entonces podemos realizar la flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro S.A.C.</td><td rowspan="2">. Flotación por espumas en la Compañía Minera Cerro SAC</td><td>Experimental</td></tr>
<tr><td>DISEÑO
Explicativa</td></tr>
</table>