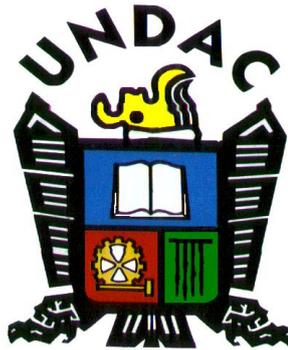


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Caracterización mineralógica y pruebas de flotación de sulfuros
complejos en la Unidad Minera San Genaro - Huancavelica – 2019**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor: Bach. Rubén Aldo CHIJCHEAPAZA DEUDOR

Asesor: Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO

Cerro de Pasco – Perú – 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Caracterización mineralógica y pruebas de flotación de sulfuros
complejos en la Unidad Minera San Genaro - Huancavelica - 2019**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Jesús Eduardo MAYORCA BALDOCEDA

PRESIDENTE

MSc Ramiro SIUCE BONIFACIO

MIEMBRO

Mg Manuel Antonio HUAMÁN DE LA CRUZ

MIEMBRO

DEDICATORIA

*A Dios fundamentalmente
y a mis padres por haberme
dado el regalo más preciado
al igual que la vida mi profesión,
por la cual viviré eternamente
agradecido.*

RECONOCIMIENTO

A Dios, quien abre caminos y es mi fortaleza.

A mis padres y hermanos, ellos siempre son una luz en el desarrollo de mi vida, por su orientación, constante motivación y voluntad.

A los docentes de nuestra alma mater, por sus enseñanzas.

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo general determinar el ratio de concentración promedio entre mineral: concentrado; después de tener la certeza de las reservas cubicadas probables de cobre y sobre la formación geológica, elaborar el sistema de extracción y procesamiento.

Este estudio se aborda desde el enfoque cuantitativo, del tipo aplicado y un diseño de investigación experimental y tiene cuatro etapas de desarrollo de la investigación del siguiente modo: el primero después de realizar el muestreo aleatorio simple para obtener la muestra representativa del volumen total de mineralización existente en la concesión, se observó ocho frentes de explotación. Las muestras presentan una apreciable cantidad de cobre, en minerales sulfurosos como son: calcopirita, bornita y covelita, sin obviar a los minerales silíceos como ganga. En base a estos datos se ha diseñado el sistema de caracterización mineralógica y posterior flotación experimental.

Se concluyó que las pruebas de caracterización mineralógica y flotación experimental, demuestran obtener concentrados con valores de 24% de cobre y con un ratio de 4,16, muy distante a los que emite la planta concentradora que nos permite procesar el mineral.

Palabras clave: Caracterización mineralógica, ratio de concentración, flotación.

ABSTRACT

This research had as a general objective to determine the ratio of average concentration between ore: concentrated; After having the certainty of the probable cubed copper reserves and the geological formation, make the extraction and processing system.

This study is approached from the quantitative approach, of the applied type and an experimental research design and has four stages of research development as follows: the first one after performing the simple random sampling to obtain the representative sample of the total volume of mineralization existing in the concession, eight fronts of exploitation were observed. The samples present an appreciable amount of copper, in sulphurous minerals such as: chalcopyrite, bornite and covelite, without ignoring siliceous minerals as a bargain. Based on these data, the mineralogical characterization system and subsequent experimental flotation have been designed.

It was concluded that the tests of mineralogical characterization and experimental flotation, demonstrate to obtain concentrates with values of 24% of copper and with a ratio of 4.16, very distant to those emitted by the concentrator plant that allows us to process the mineral.

Keywords: Mineralogical characterization, concentration ratio, flotation.

INTRODUCCIÓN

Una de las funciones básicas de la universidad es la investigación. La generación de conocimiento es una preocupación esencial de las universidades, es su razón de ser. Todos los programas en el mundo proponen un modelo curricular por competencias destinado a la formación del nuevo profesional capaz de resolver problemas sustanciales de la sociedad e innovar el conocimiento.

La tesis es la prueba “de fuego” que demuestra las competencias requeridas para obtener el grado académico. Se espera de ella una evidencia indiscutible de las competencias de investigación aprendidas en las aulas universitarias y se aplique al campo profesional.

El presente proyecto, titulado “*Caracterización Mineralógica Y Pruebas De Flotación De Sulfuros Complejos En La Unidad Minera San Genaro - Huancavelica - 2019*”, es interesante porque se trata de un afloramiento interesante en minerales sulfurosos y que requiere una explotación ecológica y sostenible.

Los estudios desarrollados a través del muestreo y posterior tratamiento confirman que la concentración de cobre tiene ratios menores a los que reporta la planta concentradora San Genaro, a quién se le solicita sus servicios. Se encuentra dividido en cuatro capítulos; sigue una secuencia lógica propia de los proyectos de investigación, del siguiente modo:

CAPÍTULO I. Se determina la problemática, para formularlo en preguntas, sobre como caracterizar a los minerales de cobre, con las sub preguntas que consisten en el análisis microscópico y pruebas de flotación. Su objetivo está referido a demostrar las características mineralógicas de material en explotación, justificando la presente investigación, dada la importancia que significa llevarlo a explotar el yacimiento en forma sostenible.

CAPÍTULO II. Se expone cuatro antecedentes referidos al tema, dos investigaciones nacionales y dos internacionales, plasmados en tesis, seguido de una descripción de las bases teóricas desde una perspectiva general a específica de la microscopía de minerales; hasta definir el ratio promedio de mineral: concentrado para la respectiva valoración y rentabilidad de la mina; se plantea las hipótesis y se define las variables de operación.

CAPÍTULO III. Comprende el método de investigación: experimental; nivel experimental y tipo aplicativo, con diseño experimental, sobre una población que corresponde a una campaña de 300 toneladas métricas/mes; Cubicando la concesión y sobre ello diseñar el método de muestreo a seguir.

CAPÍTULO IV. Los cálculos procesados en el capítulo anterior se presentan en tablas y ecuaciones, para luego la hipótesis ser contrastada, demostrándose que el nivel de aceptación de los datos es correcto al rechazar la hipótesis nula.

CONCLUSIONES. Se concluye que el yacimiento es prometedor; las leyes de cobre existentes demostradas en las campañas desarrolladas y la etapa de concentración por flotación a nivel laboratorio sugieren que la rentabilidad es mayor del proyecto.

El autor.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
RECONOCIMIENTO.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCIÓN.....	V
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	3
1.2.1. Espacial.....	3
1.2.2. Temporal.....	3
1.3. Formulación del problema.....	3
1.3.1. Problema principal.....	3
1.3.2. Problemas específicos.....	3
1.4. Formulación de objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Justificación de la investigación.....	4
1.6. Limitaciones de la investigación.....	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes del estudio.....	5
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	5
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	7
2.2 Bases teóricas – científicas.....	9
2.2.1 Flotación de Sulfuros Complejos.....	9
2.2.2 Estructura y Propiedades de los Minerales.....	11
2.2.3 Flotación de los Sulfuros.....	12

2.2.4 Flotación Bulk Cobre –Plomo	14
2.2.5 Depresión de Esfalerita y Pirita.....	14
2.2.6 Activación y Flotación de Sulfuros de zinc.....	15
2.2.7 Separación de Cobre - Plomo por Flotación	16
2.2.8 Depresión de Minerales de cobre	16
2.2.9 Depresión de Minerales de Plomo.....	17
2.3 Definición de términos básicos.....	19
2.4 Formulación de hipótesis.....	19
2.4.1 Hipótesis general	19
2.4.2 Hipótesis específicas.....	20
2.5 Identificación de variables	20
2.5.1. Variable dependiente.....	20
2.5.2. Variables independientes.....	20
2.6 Definición Operacional de variables e indicadores.....	20
CAPÍTULO III	22
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	22
3.1 Tipo de investigación	22
3.2 Método de investigación.....	22
3.3 Diseño de investigación.....	22
3.4. Población y muestra.....	23
3.4.1 Población.....	23
3.4.2 Muestra	23
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23
3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	25
3.7. Tratamiento estadístico.....	33
3.8 Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.	33
3.9 Orientación ética.....	34
CAPÍTULO IV	35

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. Descripción del trabajo de campo	35
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	35
4.3 Prueba de hipótesis	43
4.3.1 Primera hipótesis específica	43
4.3.2 Segunda hipótesis específica	44
4.3.3. Hipótesis general	45
4.4 Discusión de resultados	46
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Desgaste de las briquetas con abrasivos	28
Tabla 2	Etapas de pulido de las briquetas	29
Tabla 3	Etapas de lapeado para cada plaqueta	30
Tabla 4	Tabla de colores de interferencia de Michel Levy	32
Tabla 5	Niveles y valores de los factores	33
Tabla 6	Diseño factorial	33
Tabla 7	Peso específico medio del mineral	36
Tabla 8	Análisis de mallas del compósito	37
Tabla 9	Análisis químico promedio	37
Tabla 10	Prueba de primera hipótesis específica	44
Tabla 11	Prueba de segunda hipótesis específica	45

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La unidad minera San Genaro, perteneciente a la Compañía Minera Castrovirreyna S. A., explotada desde la época colonial, aún alberga reservas de plata, plomo, zinc, cobre, y algo de oro hospedadas principalmente en estructuras lineales de geometría simple a complejas que cortan las secuencias volcánicas de la formación caudalosa.

El método de tratamiento mayormente empleado para los minerales sulfurados de plomo-cobre-zinc es la flotación y es uno de los desafíos más complicados en la metalurgia de los metales base.

El problema es aún más difícil cuando el contenido de cobre, plomo y el de zinc son bajos como para justificar la obtención de tres concentrados de calidades comerciables que cumplan los requisitos de calidad exigidos por las fundiciones.

Por tanto, para determinar la viabilidad económica para la explotación de todo yacimiento de minerales de plomo-cobre-zinc es necesario conocer el comportamiento metalúrgico del mineral al ser sometido al proceso de flotación, dicha información se obtiene con estudios que se realizan a nivel de laboratorio; Por otra parte, desde el

punto de vista económico, el impacto de la disminución del precio de los metales ha golpeado fuertemente las economías de los países productores y comercializadores mineros. Nuestra economía es parte de un mercado globalizado que se rige por las leyes de la oferta y demanda y en el cual las tendencias de alzas y reducciones se ven impactadas por factores políticos, económicos o sociales. La incertidumbre en la economía China explica gran parte de la problemática, y esto se observa en la baja de materias primas que afecta directamente la cotización de los metales que esta economía requiere.

Durante la etapa de crecimiento de la demanda e incremento periódico de los precios, se aprovechan los beneficios de un mayor flujo de caja.

Asimismo, si se mantiene una tendencia creciente de los precios, incluso los yacimientos con menor concentración de minerales y explotación de zonas de menor ley de mineral, ampliación de planta para incrementar volumen de producción, desarrollo de proyectos mineros con mayor demanda de inversión financiera y tecnológica.

Al revertirse la tendencia conviene efectuar una evaluación acerca de qué proyectos diferir, cuáles suspender y cuáles deberían descartarse. De igual forma, los yacimientos o minas con menor concentración de ley pueden revertir su atractivo e incluso evaluar la devolución del denuncia o la venta de la unidad minera. Una mina es atractiva para la explotación en tanto sus costos pueden ser recuperados en años futuros con los flujos de venta estimados.

La muestra proveniente de la unidad minera San Genaro, departamento de Huancavelica se compone de minerales sulfurados de Cu-Pb-Zn con contenido apreciable de Ag. Asimismo se ha identificado la presencia de minerales de cobre y plomo tales como los cobres grises y la geocronita respectivamente los cuales son portadores de elementos contaminantes como el As y Sb.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Espacial

El desarrollo del presente trabajo se ejecutará en la sola unidad económica administrativa San Genaro – Huancavelica.

1.2.2. Temporal

El trabajo de investigación comprende diez meses (enero – octubre del 2019).

1.3. Formulación del problema.

1.3.1. Problema principal

¿De qué manera la presencia de minerales complejos de Cu-Pb-Zn-Ag, influye en la recuperación de los concentrados de cobre, plomo y zinc en la unidad minera San Genaro – Huancavelica - 2019?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles es la caracterización mineralógica de los sulfuros complejos de Cu – Pb –Zn y Ag en la unidad minera San Genaro – Huancavelica - 2019?
- ¿Cuáles son las dificultades en la depresión y activación de la esfalerita en la flotación bulk Cu – Pb en la unidad minera San Genaro – Huancavelica - 2019?
- ¿Cómo influye los contenidos de As y Sb en la obtención de concentrados libres de contaminantes según las exigencias de comercialización en la unidad minera San Genaro – Huancavelica - 2019?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo de caracterización y tratamiento de los minerales complejos de Cu-Pb-Zn-Ag para la recuperación de concentrados de cobre, plomo y zinc en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la caracterización mineralógica de los sulfuros complejos de Cu – Pb –Zn y Ag en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019
- Evaluar las dificultades en la depresión y activación de la esfalerita en la flotación bulk Cu – Pb en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.
- Evaluar la influencia de los contenidos de As y Sb en la obtención de concentrados libres de contaminantes según las exigencias de comercialización en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019

1.5. Justificación de la investigación.

El presente trabajo de investigación se justifica porque desarrollando pruebas experimentales que permita un proceso de flotación de sulfuros complejos, con mejoras en la recuperación de elementos valiosos, reduciendo los elementos contaminantes, no tendrá problemas en la comercialización y se hará sostenible la explotación minera.

1.6. Limitaciones de la investigación.

Las limitaciones que se presentó en la investigación son la falta de microscopia electrónica de barrido y espectrofotometría de absorción atómica, para analizar profundamente, todos los componentes existentes en el mineral.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

2.1.1 Antecedentes internacionales

Maldonado, R. (2008) en la tesis "*Caracterización mineralógica de fases minerales metálicas en muestras de jales del distrito minero El Oro-Tlalpujahuá*", Universidad Nacional Autónoma de México, concluye; Los jales del distrito minero El Oro-Tlalpujahuá presentan contenidos de minerales opacos variables y menores del 5%. Las fases minerales opacas se presentan principalmente como partículas mixtas de tamaño variable entre 10 μ y 500 μ y como inclusiones de tamaño inferior a 50 μ en minerales transparentes como cuarzo y feldespatos. Las partículas monominerales son escasas. Las características texturales principales son el intercrecimiento entre fases minerales opacas y transparentes; el zoneamiento concéntrico; la inclusión de fases opacas en transparentes y viceversa; el remplazamiento a través de los bordes de las partículas y otros rasgos de remplazamiento por alteración.

Los minerales identificados coinciden ampliamente con la paragénesis mineral reportada para el yacimiento, así como con la litología de la región. La mineralogía de los jales consiste en una serie de sulfuros, sulfoseleniuros, sulfosales, óxidos y oxihidróxidos, en los cuales ocurren elementos químicos como Fe, Cu, Pb, As, Au, Ag y Ti.

Pérez, L (2014) en la tesis “*Caracterización automatizada de texturas de menas mediante análisis digital de imagen para su en geo metalurgia*”, Universidad Politécnica de Madrid; concluye: Desde un punto de vista metodológico se puede concluir que el desarrollo de una metodología basada en la caracterización mineral a partir de un conjunto de índices numéricos es adecuado ya que por un lado, estos índices pueden ser utilizados como variables discriminantes en la identificación del tipo de inter crecimiento mediante análisis discriminante y además cada índice individualmente aporta información valiosa para caracterizar el comportamiento mineralógico de las partículas minerales.

- Análisis del poder discriminante de los índices mineralúrgicos. El análisis de los índices mineralúrgicos bajo el punto de vista de su potencial discriminante ha puesto de manifiesto que todos los índices propuestos, tanto los desarrollados en este trabajo como los diseñados por otros autores, son adecuados y necesarios para la identificación de los tipos de intercrecimiento considerados, ya que el análisis discriminante ha incluido todos los índices propuestos en la generación del modelo discriminante y con ellos se ha alcanzado un 95% de acierto en la clasificación.
- Índices desarrollados por otros autores. Los índices desarrollados por Gurland (1958), Amstutz y Giger (1972) y Jeulin (1981), adaptados en este trabajo para el análisis de partículas minerales, parecen tener

bastante peso en la discriminación del tipo de intercrecimiento, ya que han sido los primeros en ser introducidos en el modelo generado por el software STATISTICA. Sin embargo, considerando un modelo discriminante basado únicamente en estos tres índices el porcentaje de casos correctamente clasificados desciende hasta el 76%.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Ramos, J (2017) en la tesis “*Caracterización y evaluación de pruebas metalúrgicas de flotación de un mineral complejo polimetálico del distrito de Palca – Huancavelica*”, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, concluye;

- La determinación del análisis químico de la muestra del Compósito General indicó: 0.95 % de plomo, 0.27 % de cobre, 3.13 % de zinc y 72.8 g/t de plata, cuyas leyes están relacionadas a la presencia de galena y geocronita para el caso del plomo; calcopirita, cobre grises y secundarios para el caso del cobre; esfalerita para el caso de zinc y para el caso de la plata se presenta en asociaciones mineralógicas con los minerales de cobre y plomo.
- Las mejores condiciones para la flotación rougher en el circuito bulk Cu-Pb se logra a un P80 de 100 μ m; con una dosificación de 100g/t de NaCN y 400g/t de ZnSO₄ en la etapa de molienda, 12g/t de Z-11 y 20 g/t de MIBC, a un pH de 8.5 por 6 minutos.
- Para la limpieza del concentrado bulk Cu-Pb se realizó una etapa de remolienda a un P80 de 35 μ m y se dosificó 200g/t de ZnSO₄ y 20g/t de NaCN para 3 etapas de limpieza llevadas a un pH de 9.

- Las mejores condiciones para la flotación rougher del circuito zinc correspondió a una dosificación de 110g/t de CuSO₄, 7g/t de Z-11 a pH un de 11 por 8 minutos.

Meza, J. (2018) en la tesis "*Estudio geometalúrgico para optimizar el circuito de flotación separación plomo-cobre en la planta concentradora U.M. Cerro Lindo*", Universidad Nacional del Centro del Perú, concluye,

La optimización del circuito flotación separación plomo-cobre se alcanzó con éxito buscando respuestas óptimas gracias a las pruebas metalúrgicas y la interrelación de la regresión lineal con la mineralogía con base en las variables definidas para cada respuesta, en nuestro caso la respuesta es la optimización del circuito y como reflejo se obtienen mejores recuperación grados y calidad de concentrados tanto de cobre y plomo.

La optimización se vuelve más efectiva cuando de manera combinada asocias la experiencia, la teoría y las disciplinas que involucran la geometalurgia.

- Al determinar cómo parámetros a la granulometría y los amarres se logrará optimizar el circuito de flotación separación Plomo -Cobre ya que la complejidad que tienen las especies minerales es amplia y llevar acabo predicciones con estas nos permitirá adoptar un tratamiento metalúrgico.
- El principal problema de desplazamiento de Pb al Cu es por la presencia de plomo grueso y amarres mineralógicos en las mallas +50, +70, +100 también observándose que el 40% de plomo del total que está en cc Cu está en dichas mallas y que también se advierte la presencia de los amarres Gn/Py y Gn/Cp. La pulpa de las SK de los molinos contiene mayor cantidad de gruesos que ingresan a la

separación y se aprecia galena gruesa y una posible contaminación por excesiva flotación de Cp, Py, ef, y partículas mixtas.

2.2 Bases teóricas – científicas.

2.2.1 Flotación de Sulfuros Complejos

El desarrollo actual de la flotación y en particular la existencia de reactivos muy selectivos, ha permitido el aprovechamiento de grandes masas mineralizadas de baja ley. La flotación es un proceso fisicoquímico, por esta razón es importante revisar tanto los fenómenos físicos como los químicos involucrados.

Los fenómenos químicos incluyen las reacciones de interfase que acontecen entre las tres fases: sólida, líquida y gaseosa (Wark & Cox, 1942).

En estas reacciones intervienen:

- Los reactivos químicos utilizados; colectores, espumantes, activadores, depresores, reguladores del medio.
- La química del agua.
- La química de los minerales.
- La química de los gases que componen el aire u otra fase gaseosa que participe.

Entre los fenómenos físicos, físico - mecánicos y operacionales se puede mencionar:

- a. Los factores mecánicos de los equipos (diseño de la celda, hidrodinámica, configuración del banco y el control de operaciones).

- b. Factores operacionales (flujo de alimentación, granulometría, liberación, problemas de lamas, densidad de pulpa, temperatura, agitación, aireación, extracción de los productos, etc.).

Aunque la flotación es conceptualmente un proceso muy simple, la cantidad y complejidad de las variables que intervienen generalmente una dependiente de la otra, hacen que la aplicación de este método sea extremadamente compleja. Por tal motivo se requiere de un buen dominio de bases científicas y de ingeniería, pero sobre todo experiencia y manejo del arte.

La diversidad de las variables del proceso hace que sea muy difícil optimizar una variable en particular. Por ejemplo, si se logra ajustar y optimizar los parámetros físicos, un cambio químico en el sistema puede ocasionar desajustes que conduzcan a modificaciones en los indicadores metalúrgicos y que se requiera una nueva corrección de las condiciones de trabajo. Estos cambios pueden no ser inmediatos o no manifestarse claramente, solo a través de numerosas mediciones o de un seguimiento estadístico se puede ponderar una modificación en el sistema.

Dado que en las plantas de flotación los cambios más difíciles de instrumentar son los físico-mecánicos, relacionados con los equipos, se recurre a ajustes en la fórmula de reactivos y de los factores operativos para optimizar la separación o para contrarrestar las frecuentes modificaciones en las características del mineral que se procesa. Como ejemplo se puede mencionar que un cambio solamente en el pH puede

conducir a drásticas modificaciones en los indicadores metalúrgicos (Castillo Migone, 2006).

2.2.2 Estructura y Propiedades de los Minerales

La interacción entre las partículas minerales y las otras dos fases, agua y aire, no solo depende de la composición química de las especies, sino que también importa su estructura mineralógica. Las propiedades de flotación de los minerales son determinadas por sus características superficiales más que por la masa cristalina, pero las propiedades superficiales dependen sobre todo del ordenamiento en la celda unitaria.

Entre los sulfuros con afinidad natural por la fase gaseosa se identifica a la molibdenita. Se describe como formada por capas de hojas de sulfuro de molibdeno donde los átomos de molibdeno dispuestos en un plano, están unidos por enlaces covalentes a dos capas adyacentes, una superior y otra inferior de átomos de azufre. Esta estructura se extiende en forma ilimitada en el plano. Las capas están unidas entre sí por enlaces residuales definiendo planos de debilidad por donde se exfolia preferentemente dando lugar a partículas de forma aplanada y con caras no reactivas, salvo los extremos donde se rompen enlaces covalentes. Cada átomo de molibdeno está rodeado por seis azufres en los vértices de un prisma triangular. Su marcada hidrofobicidad natural permite flotarla con solamente un espumante o con la ayuda de un aceite neutro como refuerzo. La hidrofobicidad natural de los sulfuros está restringida a la molibdenita (Chander & Fuerstenau, 1975).

El resto de los sulfuros comerciales están formados por un anión (S^{-2}) y cationes como el Cu^{+} , Cu^{+2} , Pb^{+2} , Zn^{+2} , Hg^{+} , Sb^{+3} , Bi^{+3} , metales de

transición como el Fe^{+2} , CO_2 y Ni^{+2} ; metales nobles y metales raros como Ag^+ , Au^+ , MO^{+4} . Sobre la base de su estructura cristalina y el tipo de enlace entre los átomos y las unidades poliédricas en el espacio (Povarennyk, 1972), introdujo la clasificación cristaloquímica de los sulfuros.

La mayoría de los sulfuros no tiene hidrofobicidad natural, pero adquieren flotabilidad inducida por algunos colectores específicos. Es necesario destacar que, bajo ciertas condiciones favorables del potencial de oxidación, algunos sulfuros muestran algún grado de hidrofobicidad natural, según la siguiente escala: calcopirita > galena > pirrotina > pentlandita > covelina > bornita > esfalerita > pirita > arsenopirita (Guy & Trahar, 1985) (Trahar, 1984). Hay coincidencia entre un grupo de autores de que, en ambiente moderadamente oxidante, es posible flotar parcialmente a los sulfuros sin usar colectores. Por otro lado, la flotación de los sulfuros inducida por reactivos, también se muestra fuertemente relacionada al potencial de oxidación a nivel superficial (Qin, Yuehua, Guohua, & Zhenyuan, 2004).

2.2.3 Flotación de los Sulfuros

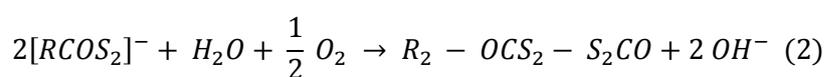
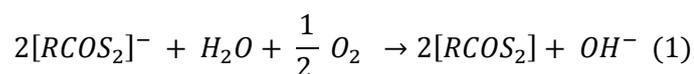
Se han estudiado la relación entre la estructura cristalina de los sulfuros y la flotabilidad nativa de los pocos minerales que tienen esta propiedad.

Otro aspecto de análisis, es la naturaleza de la superficie donde se produce la interacción con los reactivos sulfidricos (Buckley & Woods, 1991). El problema es definir si los xantatos se fijan sobre superficies frescas o si previamente es necesaria la participación del oxígeno. Para algunos autores, la intervención del oxígeno es fundamental para la colección (Eadington & Prosser, 1982).

En otros estudios de Gaudin (Gaudin A., 1957) se llega a las siguientes conclusiones:

- a. En ausencia del oxígeno en la superficie de los sulfuros tiene afinidad por el agua.
- b. El oxígeno se adsorbe sobre la superficie de los sulfuros antes que otros gases como el nitrógeno o el bióxido de carbono.
- c. El proceso de adsorción del oxígeno se produce en varias etapas.
- d. La duración de estas etapas es variable para los distintos sulfuros, dependiendo de la afinidad del mineral por el gas.
- e. En la superficie fresca de un sulfuro primero se adsorbe el oxígeno y luego el Xantato.
- f. El requerimiento de oxígeno para posibilitar la colección aumenta en el siguiente orden: galena, pirita, esfalerita, calcopirita, pirrotita y arsenopirita.
- g. Aparentemente la adsorción de oxígeno promueve la deshidratación de la superficie y facilita la adsorción del colector.
- h. Si el contacto de la superficie con el oxígeno se prolonga, se deteriora la afinidad por el colector.

Según las investigaciones de Gaudin el oxígeno juega un rol fundamental en la interacción entre los sulfuros y los colectores sulfidrílicos. La participación del oxígeno en la fijación del colector queda resumida en las siguientes ecuaciones de las reacciones superficiales:



En general, se reconoce que la oxidación de los sulfuros progresa más rápidamente en potenciales altos que en bajos. El orden de tendencia de la

oxidación es: pirrotita > pirita > calcopirita > esfalerita > galena (Kelsall & Yin, 1999). La reducción del oxígeno como un proceso catódico, es esencial para la reacción electroquímica en la superficie de los sulfuros y es diferente para cada sulfuro. La reducción del oxígeno interviene en la oxidación de los sulfuros y en la interacción con los colectores (Janetski, Woodburn, & Woods, 1977).

2.2.4 Flotación Bulk Cobre –Plomo

Esta flotación se realiza con una depresión simultánea de sulfuros de zinc y pirita. Por lo general, la flotación cobre – plomo se realiza a pH natural o levemente alcalino utilizando xantatos y ditionofosfatos como colectores, la depresión de la pirita y esfalerita se logra mediante el uso de cal, cianuro de sodio, bisulfito de sodio y sulfato de zinc, en dosificaciones que no afecten la flotación del cobre y el plomo.

Además, se debe agregar que los sulfuros de cobre flotan en un rango de pH entre 3 y 12, mientras que el pH de flotación de la galena está en el rango neutro a ligeramente alcalino, y cuando tiene alto contenido de plata el plomo tiende a deprimirse a pH mayor a 9,5.

2.2.5 Depresión de Esfalerita y Pirita

Durante la flotación bulk Cu-Pb, la pirita se deprime con cianuro de sodio y bisulfito de sodio, mientras que la esfalerita con sulfato de zinc.

Se ha determinado la existencia de ferrocianuro de sodio sobre la superficie de la pirita, no permitiendo que ésta flote.

El bisulfito de sodio deprime la pirita, al descomponer los xantatos, dixantógenos y luego el alcohol componente del xantato

El motivo por el cual la esfalerita flota indebidamente en el bulk Cu-Pb depende de cada mineral, las causas pueden ser:

- a) Asociación mineralógica Cu-Zn o Pb-Zn.
- b) Arrastre de sulfuros de zinc durante la flotación bulk Cu-Pb por factores mecánicos.
- c) Activación natural de la esfalerita debido a la presencia de iones metálicos cobre, Ag, As, Sb, Cd, en el mineral o en el agua de tratamiento.

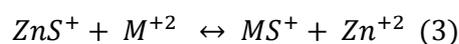
Los dos primeros factores pueden ser regulados mejorando las condiciones de molienda, dosificación de reactivos y eficiencia de remoción de espumas.

El tercer factor es un tema difícil, aunque puede ser parcialmente controlado por dosificación de reactivos depresores tales como el sulfato de zinc, cianuros, bisulfitos o sulfuro de sodio.

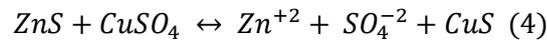
2.2.6 Activación y Flotación de Sulfuros de zinc

La esfalerita no adsorbe xantatos de cadena corta sin activación previa, esta activación consiste en el recubrimiento de la esfalerita por una capa de un ion activante que formará una superficie que podrá interaccionar con el xantato.

El mecanismo de activación está definido por una reacción general expresada del siguiente modo:



Para la flotación de la esfalerita de las colas de la flotación cobre – plomo, se usa generalmente CuSO_4 como activante,



Simultáneamente es necesario deprimir la pirita, usualmente con cal, para elevar el pH hasta valores entre 8,5 – 12, la pirita en este rango de pH no flota al inhibirse la formación de dixantógenos que es la especie colectora (Azañero, 2010).

2.2.7 Separación de Cobre - Plomo por Flotación

Estos son clasificados de acuerdo al mineral que va a ser deprimido en: Depresión de minerales de cobre y plomo.

El primer factor a ser considerado es la relación en peso de contenido de cobre / plomo.

En resumen, sumar a los contenidos de minerales de cobre, esfalerita, pirita e insolubles en el caso de usar el procedimiento de depresión con NaCN / ZnO , o sumar a la galena los contenidos de pirita, esfalerita e insolubles en el caso de usar dicromato de potasio.

2.2.8 Depresión de Minerales de cobre

Cianuro de Sodio: La utilización del NaCN solo es posible donde la presencia de minerales de cobre secundarios y/o metales como Ag/Au es nula, es decir donde no existe el peligro de disolución de valores.

En casos extremos y debido al excesivo uso de colectores en la obtención del concentrado bulk Cu-Pb es necesario aplicar un lavado previo del concentrado, desorción con Na₂S y/o carbón activado.

Cianuro de sodio y compuestos: Existen pocos reactivos depresores para minerales de cobre, principalmente se basan en el uso de NaCN tanto puro como en mezcla con ZnSO₄ o con ZnO, adicionalmente se puede utilizar las mezclas en mención con CaO, otros procedimientos son el empleo de permanganato de potasio y tiourea (Azañero, 2010).

Permanganatos: Su posible aplicación (Zegarra & Pérez, 1998) es de gran interés ya que posee algunas ventajas en comparación con el NaCN o con el complejo NaCN / ZnO, no produce disolución de valores de Au/Ag o minerales de cobre secundarios, su aplicación requiere de condiciones excesivamente críticas.

2.2.9 Depresión de Minerales de Plomo

Reactivos con esta característica son: SO₂, bisulfitos, sulfitos en combinación con sulfato ferroso, tiosulfato, hiposulfitos, bicromatos y CaO, ellos poseen algunas ventajas en comparación con el NaCN / ZnO sobre todo en lo referente a la no disolución de metales preciosos y/o cobres secundarios.

Bisulfitos, Sulfitos: Permiten la depresión de los minerales de plomo, pero también presentan efecto depresor sobre los de zinc.

Con la presencia de minerales de cobre secundario la precisión de separación es afectada ligeramente por la disolución de cobre, siendo estos iones absorbidos por la galena lo cual impide su depresión, este efecto negativo puede ser contrarrestado por adición de S° , con lo cual se logra precipitar iones de cobre (Zegarra & Pérez, 1998).

El acondicionamiento requerido es casi nulo y la adición por etapas es conveniente, en el caso de la presencia de minerales de cobre secundarios y dependiendo de la proporción existente, el tiempo de acondicionamiento debe ser evaluado cuidadosamente.

Dicromato de Potasio: Las propiedades oxidantes son similares a las mostradas por los reactivos anteriores, excepto que presenta un menor poder depresor para los minerales de zinc en comparación con el bisulfito.

En algunas concentradoras se le utiliza junto con otras dextrinas lo cual incrementa su poder depresor sobre la galena.

La eficiencia de separación cobre – plomo es afectada por la calidad del bulk Cu-Pb tratado, cuando el desplazamiento de zinc y hierro al concentrado es mayor se reduce la eficiencia de separación, posiblemente debido al mayor nivel de adición de colectores, presencia de sales solubles y/o reducción de reactivos depresores.

Carboximetil Celulosa (Química Amtex S.A., 2006): Una de las aplicaciones de la carboximetil celulosa en minería es en el proceso de separación Pb-Cu, actúa como parte del reactivo depresor de plomo. Facilita la función del dicromato de sodio sobre las superficies de la galena y la del

fosfato monosódico que es un dispersor, desde el punto de vista ecológico es una buena alternativa.

Composición del reactivo depresor:

- Dicromato de sodio (60%)
- Carboximetil celulosa (20%)
- Fosfato mono sódico (20%)

2.3 Definición de términos básicos.

Explotación sostenible: Método de extracción de algún material para ser procesado con rentabilidad económica.

Flotación de minerales: Proceso físico – químico que consiste en separar los minerales valiosos de los estériles o ganga.

Caracterización mineralógica: Descripción macroscópica y microscópica de los minerales, los elementos que lo componen y cuál es su enlace atómico.

Reactivos de flotación: Insumos utilizados en la flotación de minerales, con características propias como son; depresores, colectores, espumantes, activadores entre otros

2.4 Formulación de hipótesis.

2.4.1 Hipótesis general

Si desarrollamos un modelo de caracterización y tratamiento de los minerales complejos de Cu-Pb-Zn-Ag entonces recuperaremos concentrados de cobre, plomo y zinc en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.

2.4.2 Hipótesis específicas

- Si determinamos el modelo de caracterización mineralógica de los sulfuros complejos de Cu – Pb – Zn - Ag, entonces, influirá en la buena recuperación de concentrados en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.
- Si evaluamos las dificultades en la depresión y activación de la esfalerita entonces tendremos mejoras significativas en la flotación bulk Cu – Pb en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.
- Si controlamos la influencia de los contenidos de As y Sb en la obtención de concentrados entonces tendremos controlado a los contaminantes según las exigencias de comercialización en la unidad minera San Genaro – Huancavelica - 2019

2.5 Identificación de variables

2.5.1. Variable dependiente

Producción de concentrados de cobre, plomo y zinc

2.5.2. Variables independientes

- Caracterización mineralógica
- Variables de flotación

2.6 Definición Operacional de variables e indicadores

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Dependiente: Producción de concentrados de cobre, plomo y zinc	Resultado de enriquecer el contenido de cobre a través del proceso de	Proceso por el cual una mena extraído de la mina es concentrado para obtener	<ul style="list-style-type: none">• Volumen de concentrados	TM

	flotación de sulfuros	elementos con mayores leyes químicas en su composición	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos valiosos existentes en el concentrado 	%
Independiente: Caracterización mineralógica	Diagnóstico realizado a los minerales extraídos de la mina, para determinar sus elementos, asociaciones y reacciones a su procesamiento	Diversas etapas de preparación para reconocer al microscopio las asociaciones minerales existentes	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis químico 	% de cada elemento
			<ul style="list-style-type: none"> • Análisis microscópico del mineral 	Asociaciones mineralógicas
			<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas de flotación 	Ratio de recuperación

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de investigación

“El tipo de investigación del presente estudio es Experimental. “La investigación experimental se ha ideado con el propósito de determinar, con la mayor confiabilidad posible, relaciones de causa - efecto, para lo cual un grupo, llamado experimental, se expone a los estímulos experimentales y los comportamientos resultantes se comparan con los comportamientos de otro grupo, llamados de control, que no reciben el tratamiento o estímulo experimental” (Mario Tamayo – 2012).

3.2 Método de investigación

En el presente trabajo de investigación el método utilizado es el **Científico**, porque se está aplicando los conocimientos existentes en la solución de problemas.

3.3 Diseño de investigación.

“Diseño de investigación se refiere a la estrategia que adopta el investigador para responder al problema, dificultad o inconveniente planteado en el estudio. Para

fines didácticos se clasifican en diseño experimental, diseño no experimental y diseño bibliográfico”. (Filiberto Martins – 2010). En la presente investigación es experimental.

3.4. Población y muestra.

3.4.1 Población

Según (Tamayo – 1997) “la población se define conjunto de todas las cosas que concuerdan con una serie determinada de especificaciones a estudiar donde las unidades de la población poseen características comunes la cual se estudia y da origen a los datos de investigación”.

La población está representada por el mineral que se extrae de los frentes o niveles en actividad de la empresa.

3.4.2 Muestra

Para la recolección de la muestra representativa, se obtuvo un compuesto de 5 kilos por día de extracción de mina, bajo el sistema de cono y cuarteado; en forma similar se realizó para obtener la muestra compósito de toda la campaña, obteniéndose 150 kilos con los cuales se realizó las pruebas experimentales.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se realizó las siguientes actividades:

Fase I: Identificación de las características físicas de las muestras representativas del mineral y son:

- Calculo del peso específico.
- Dureza del mineral.
- Molienda
- Análisis de mallas.

- Caracterización de la liberación mineral.
- Análisis cuantitativo.
- Evaluación microscópica del mineral.

Fase II: Pruebas de flotación exploratoria y para ello se seleccionó:

- Selección de colectores, espumantes, modificadores.
- Tiempo de acondicionamiento
- Tiempo de flotación rougher, scavenger y cleaner.
- Estudio microscópico de concentrado y relave.
- Asociaciones minerales.
- Irregularidades del borde del grano.
- Tipo de intercrecimiento mineral.

Para el acopio de información se desarrolló las siguientes técnicas e instrumentos siguientes:

N°	Actividad	Técnica	Instrumentos
1	Recolección de muestra	Cono y cuarteado	Palas, envases
2	Cálculo del peso específico	Método del picnómetro	Picnómetro Balanza
3	Cálculo de la dureza del mineral	Reconocimiento experimental	Escala de campo
4	Liberación del mineral	Molienda	Molino de bolas Balanza Baldes
5	Reconocimiento mineralógico	Análisis microscópico	Microscopio de opacos Briquetas
6	Análisis cuantitativo	Análisis químico	Equipo de absorción atómica
7	Concentración de cobre	Flotación diferencial	Celda de flotación Reactivos diversos

			Cronómetro Accesorios a la flotación
8	Reconocimiento microscópico de asociaciones minerales, irregularidades del grano e intercrecimiento	Análisis microscópico	Microscopio de opacos Briquetas

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

- **Recolección de muestra**

Para la recolección de la muestra representativa, se obtuvo bajo el sistema de cono y cuarteado.

- **Cálculo del peso específico del mineral**

Para determinar el peso específico promedio de la muestra representativa se empleó la siguiente ecuación:

$$G = \frac{M - P}{W + (M - P) - S} \quad (2)$$

Donde:

M – P = Peso de muestra

W = Picnómetro + agua contenida

S = Muestra + picnómetro + agua no desplazada

W + (M – P) – S = Peso del agua desplazada por la muestra.

- **Cálculo de la dureza del mineral**

Utilizando la escala de campo, se determinó experimentalmente la dureza del mineral.

- **Liberación del mineral**

Para determinar el grado de liberación del mineral se procedió a realizar la molienda bach con muestras de 1 kg por carguío, durante 30 minutos, obteniéndose 20 muestras representativas para el análisis granulométrico, preparación de briquetas y desarrollo de las pruebas de flotación.

- **Análisis cuantitativo**

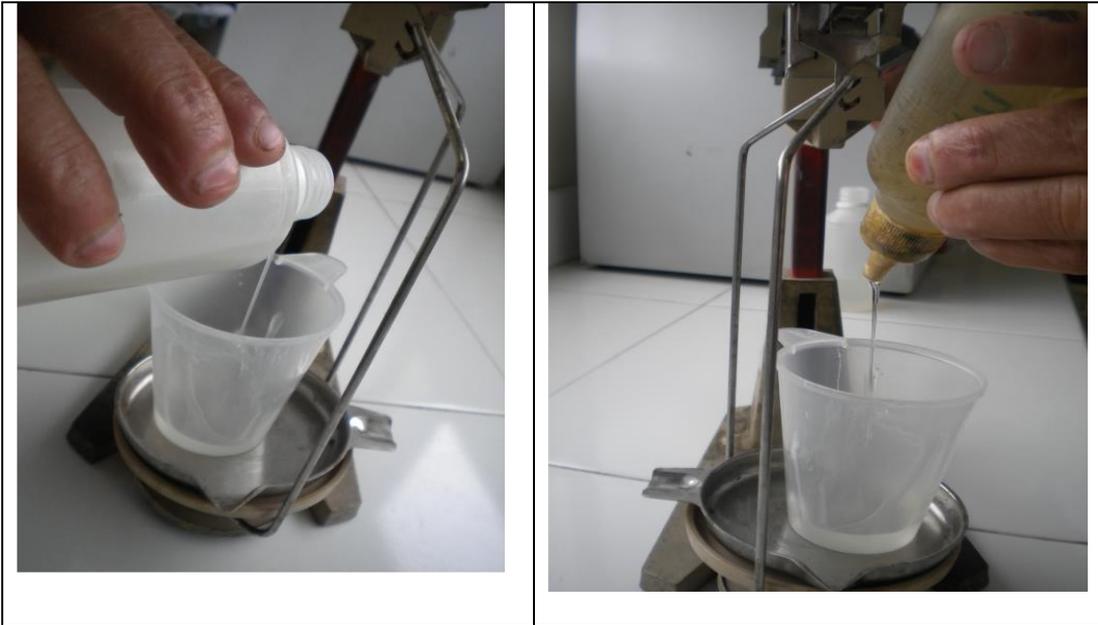
Para llevar a cabo el análisis químico, se seleccionó los elementos más representativos y son cobre, plomo, zinc, hierro, sílice y plata de cinco muestras representativas obtenidas por sucesivas etapas de homogenización del mineral compósito, por vía clásica, encargado a terceros.

- **Reconocimiento mineralógico**

- ✓ **Preparación de briquetas**

Se realizó el pesaje y secado de las muestras aproximadamente 10 gr de muestra (cabeza, concentrado y relave)

Foto 1. Pesaje de resina



Fuente: Elaboración propia

Se pesó 14 gr de resina epóxica, 2 gr de endurecedor por muestra.

La muestra es encapsulada dentro de un molde de 30 mm de diámetro estandarizado universalmente para el tamaño de una briqueta; y que facilitó su manipulación para mejor protección de la muestra.

Foto 2. Vaciado y secado de muestra



Fuente: Elaboración propia

El encapsulado de la muestra debe hacerse usando la resina en frío para evitar la alteración del componente de la muestra ya que estas mezclas de resina más endurecedor producen reacciones exotérmicas.

✓ Lapeado o desgastado

La muestra se desgastó con lijas de carburo de silicio sobre un vidrio teniendo como lubricante el agua en el siguiente orden:

Tabla 1. Desgaste de las briquetas con abrasivos

Abrasivo (SiC) Malla (micras)	Cantidad (g)	Tiempo (min)	Lado
200	15	10	Cara - reverso
400	10	10	Cara
600	7	5	Cara - reverso
1000	3	5	Cara

Fuente: Elaboración propia

Foto 3. Ilustración de las etapas del lapeado



Fuente: Elaboración propia

✓ Pulido preliminar, intermedio y fino

La primera etapa. Se realizó con un paño de jeans con la mezcla de la alúmina y agua en una proporción de 1 a 1 por un periodo de tiempo de 3-5 min.

La segunda etapa se realizó haciendo uso de la pulidora semiautomática Labopol-6 Struer con sus paños respectivos, lubricante de aceite orgánico y en medio con los granos de suspensión de diamantes.

Los paños que se utilizó en la etapa de pulido fueron los adecuados: como los autoadhesivos o magnéticos con pelo, con baja elasticidad y

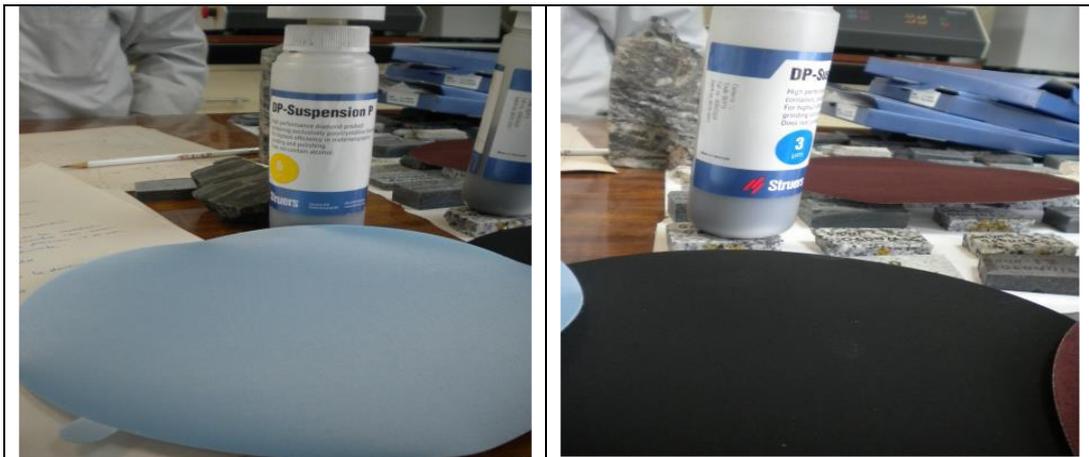
buena propiedad de retención de la suspensión de diamante, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 2. Etapas del Pulido de las briquetas

Suspensión de diamantes (micrones)	Tiempo (min)	Velocidad (RPM)	Presión (Newton)
6 a 10	3 a 8	400 - 600	30 a 40
3 a 6	3 a 4	300	20
1 a 1.4	1	100 - 150	10

Fuente: Elaboración propia.

Foto 4. Tipos de paños para el pulido



Fuente: Elaboración propia

Después del lapeado y pulido toda briqueta debe cumplir con las siguientes características:

- La briqueta no debe presentar micro porosidad.
- La briqueta no debe presentar rayaduras.
- La briqueta debe tener una superficie totalmente plana por ambos lados.

Se pretende obtener información acerca de la **mineralogía**, génesis, **grado de liberación, conteo de granos** y la composición de la muestra; **haciendo uso de las propiedades ópticas** como color, hábito, pleocroísmo, maclas, reflectividad que poseen los minerales al ser incididos por la luz polarizada.

✓ **Preparación de plaquetas**

Solo se necesitó de 3 a 5 gramos de muestra de material pulverizado (cabeza, concentrado y relave a malla +200 y - 200 respectivamente)

Utilizando esmalte sintético, se llevó a cabo el pegado de las muestras en los portaobjetos, con índice de refracción 1,53 (respecto al aire) y tratando de pulverizar en forma uniforme con un alambre y calentado por un corto tiempo.

✓ **Desbaste**

Mediante el desbaste se consiguió poner al descubierto la superficie del mineral, reduciendo el espesor, eliminando todo lo que pudiera obstaculizar sus características naturales, a la vez que se obtiene una superficie plana con pequeña rugosidad, y se realiza sobre un vidrio triple con la acción de un aglutinante (agua); hasta alcanzar un espesor ideal de 30 micras.

Tabla 3. Etapas de lapeado para cada plaqueta

Abrasivo (SiC) Malla (micras)	Cantidad (g)	Tiempo (min)	Lado	Espesor (micras)
400	5	7	Cara	100
600	10	10	Cara	40
1000	7	5	Cara	30

Fuente: Elaboración propia.

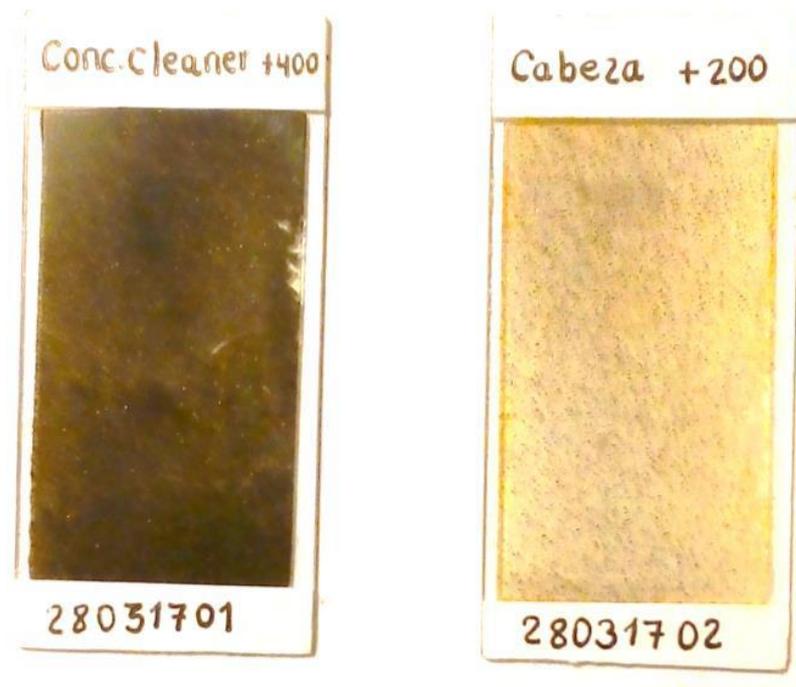
✓ Montaje del cubre objeto

Una vez que la plaqueta tiene el espesor de 30 micras, se coloca la lámina de cubierta o cubre objeto sobre la gota de resina y endurecedor, presionando cuidadosamente el vidrio de cubierta con una pinza para expulsar las burbujas de aire atrapadas y el excedente del esmalte. Para sujetarse se llevó a la plancha a 40°C, por recomendación técnica de los expertos.

✓ Rotulado y codificación

La limpieza de las plaquetas se realiza mediante la aplicación alcohol, como disolvente.

Foto 5. Plaquetas codificadas

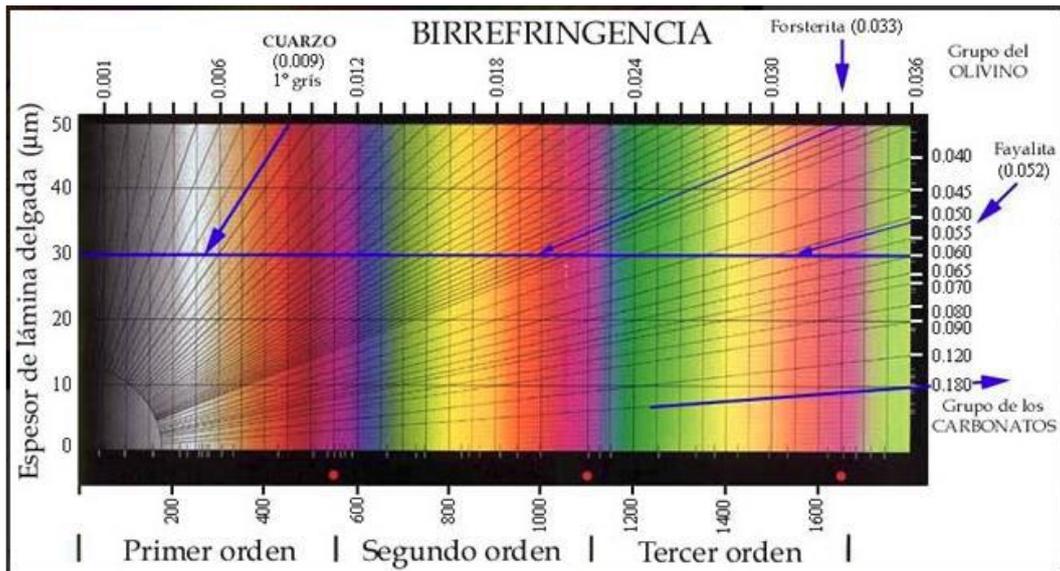


Fuente: Elaboración propia.

✓ Control de calidad de las plaquetas

El espesor de las briquetas debe corresponder al estudio a realizar. Tomando como referencia la coloración del cuarzo, plagioclasas, etcétera a fin de alcanzar las 30 μm de espesor para láminas delgadas, este control se basa a la Tabla de colores de interferencia de Michel Levy.

Tabla 4. Tabla de colores de interferencia de Michel Levy



Fuente: INGEMMET (2017). Dirección de Laboratorios - Área de Petrotomía.

- Flotación de sulfuros complejos

- ✓ Reactivos

- Xantato amílico de potasio (Z-6): 15 g/TM
 - Xantato isopropílico de sodio (Z-11): 12 g/TM
 - Espumante MIBC: 20 g/TM
 - Promotor 1242: 16 g/TM
 - CaO: 2 kg/TM
 - NaCN: 100 g/TM
 - ZnSO₄: 400 g/TM
 - CuSO₄: 110 g/TM

- ✓ Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó para el análisis de resultados de las pruebas experimentales fue el diseño factorial 2^3 .

Cada nivel teniendo como variables y niveles a los siguientes valores.

Tabla 5. Niveles y valores de los factores

Factores	Niveles
	15
A: Tiempo de flotación (minutos)	18
	21
	20
B: Dosificación del colector (Z11, Z6)	40
	60

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Los tratamientos seguidos fueron:

Tabla 6. Diseño experimental

N° de réplicas		Tiempo de flotación (minutos)		
		15	18	21
	20	X_1Y_1	X_1Y_2	X_1Y_3
Dosificación del colector	40	X_2Y_1	X_2Y_2	X_2Y_3
(g/TM)	60	X_3Y_1	X_3Y_2	X_3Y_3

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Tratamiento estadístico.

El tratamiento estadístico de los datos se desarrolló con la asistencia del software SPSS 22.

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

- ✓ Selección de instrumentos de investigación

La selección de los instrumentos de investigación se realizó desarrollando los procesos convencionales para cada etapa y con las técnicas aprendidas en los claustros universitarios.

✓ **Validación**

La validación de la investigación, estarán dadas por el análisis químico y la caracterización del mineral correcta que se otorga a cada muestra a experimentar.

✓ **Confiabilidad.**

La confiabilidad de los resultados, se basa en la experiencia del personal del laboratorio químico al cual se confió los ensayos y a la correcta toma de muestras, realizadas con el mayor cuidado posible por todos los que realizamos este trabajo.

3.9 Orientación ética.

La aprobación o la desaprobación se basa en la aceptabilidad ética de la investigación, incluyendo su valor tecnológico y su validez científica, un índice aceptable de beneficios potenciales frente a los riesgos de daño, la minimización de los riesgos, los procedimientos adecuados de consentimiento informado (incluyendo la adecuación cultural y los mecanismos para garantizar la voluntariedad), los procedimientos justos para la selección de las variables, y la consideración de la repercusión de la investigación sobre la empresa de donde procede el mineral, tanto durante la investigación como después de que esta finalice. La revisión tiene en cuenta la revisión científica previa y las leyes aplicables.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.

Los trabajos de campo realizados se abocó a la toma de muestras diariamente y luego después de sucesivas etapas de reducción de la muestra a través del método de cono y cuarteado, se fue obteniendo la muestra representativa que permitió, realizar el análisis químico y desarrollar las pruebas de microscopia y flotación respectivamente.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

- **Recolección de muestra**

Para la recolección de la muestra representativa, se obtuvo una muestra de 5 kilos por día de extracción de mina, bajo el sistema de cono y cuarteado; en forma similar se realizó para obtener la muestra compósito de toda la campaña, obteniéndose 150 kilos con los cuales se realizó las pruebas experimentales siguientes.

- **Cálculo del peso específico del mineral**

Utilizando el método del picnómetro, se determinó el peso específico del mineral, de diez muestras y se procedió a obtener el promedio representativo.

Tabla 7. Peso específico medio del mineral

Muestra	Peso específico (gr/cm ³)
1	4,12
2	4,35
3	4,42
4	4,23
5	4,30
6	4,18
7	4,27
8	4,35
9	3,90
10	3,85
Sumatoria	41,97
Promedio	4,197

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo de la dureza del mineral**

Utilizando la escala de campo, el mineral logró rayarse con un clavo de acero que otorga una dureza de 4,5.

- **Liberación del mineral**

La muestra representativa obtenida después de molienda, en pequeños lotes fue tamizado para ver el grado de liberación y desarrollar las pruebas de flotación respectiva. Con el siguiente resultado:

Tabla 8. Análisis de mallas del compuesto

Malla Tyler	Abertura (mm)	Mineral Retenido (g)	Retenido acumulado (g)	% Mineral Retenido	% Mineral que pasa
4	4,76	0	0	0	100,5
6	3,36	1,5	1,5	1,49	99
10	1,68	2	3,5	1,99	97
20	0,841	5	8,5	4,98	92
28	0,595	6	14,5	5,97	86
35	0,420	13	27,5	12,94	73
48	0,297	11	38,5	10,95	62
65	0,210	10	48,5	9,95	52
100	0,149	15	63,5	14,93	37
200	0,074	22	85,5	21,89	15
-200		15	100,5	14,93	0
TOTAL		100,5			

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis cuantitativo**

Para llevar a cabo el análisis por elementos del mineral compósito se procedió a evaluar cinco muestras representativas con el siguiente resultado, desarrollado por laboratorios **Quimi Lab**:

Tabla 9. Análisis químico promedio

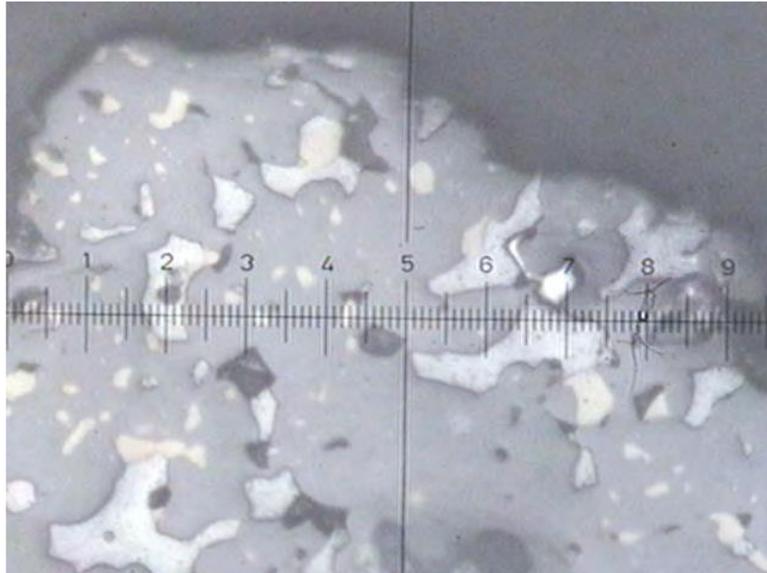
Muestra	% Cu	% Pb	% Zn	% Fe	% SiO ₂	Ag (g/TM)
1	7,42	0,1	0,05	12,8	21	62
2	6,5	0,18	0,08	13,4	18,5	118
3	4,3	0	0,1	15,6	23,5	96
4	6,8	0,1	0,02	11,8	26,5	74
5	5,2	0,2	0,03	10,5	24,2	65
SUMATORIA	30,22	0,58	0,28	64,1	113,7	415
PROMEDIO	6,044	0,116	0,056	12,82	22,74	83

Fuente: Elaboración propia.

- **Reconocimiento microscópico**

✓ Identificación de las muestras de cabeza

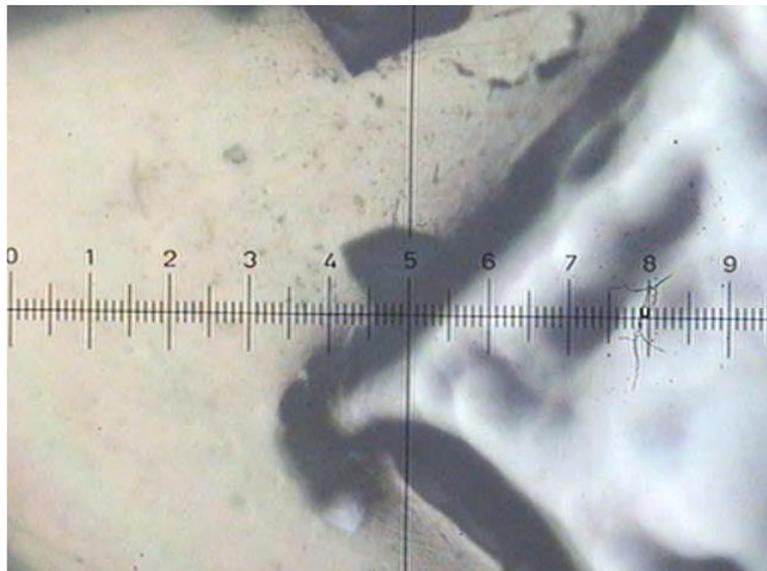
Foto 6. Identificación microscópica de la muestra de cabeza a malla 200



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: Granos de esfalerita con inclusiones de cobre grises y calcopirita Nicoles paralelos, aumentos: 200X.

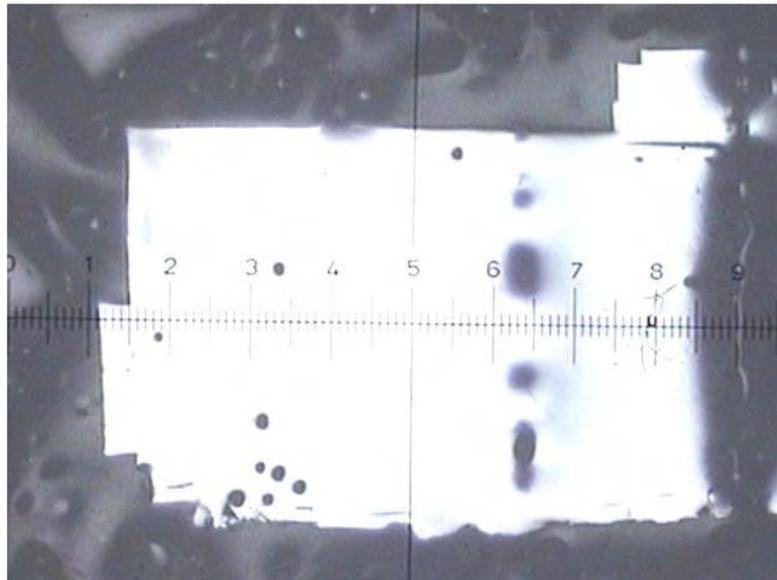
Foto 7. Identificación microscópica de la muestra de cabeza a malla 200



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM.

Comentario: Granos mixto binario de calcopirita/ Piritita nicoles paralelos, aumentos (200X)

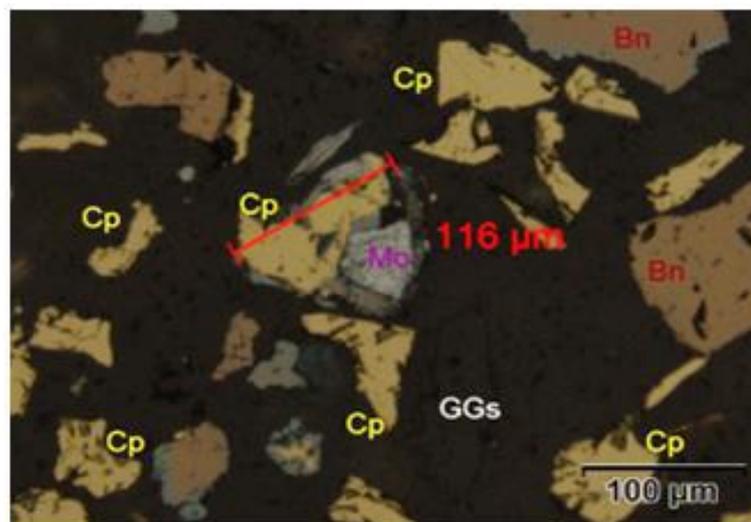
Foto 8. Identificación microscópica de la muestra de concentrado a 63X



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: Granos libre de galena nicoles paralelos, aumentos (63X)

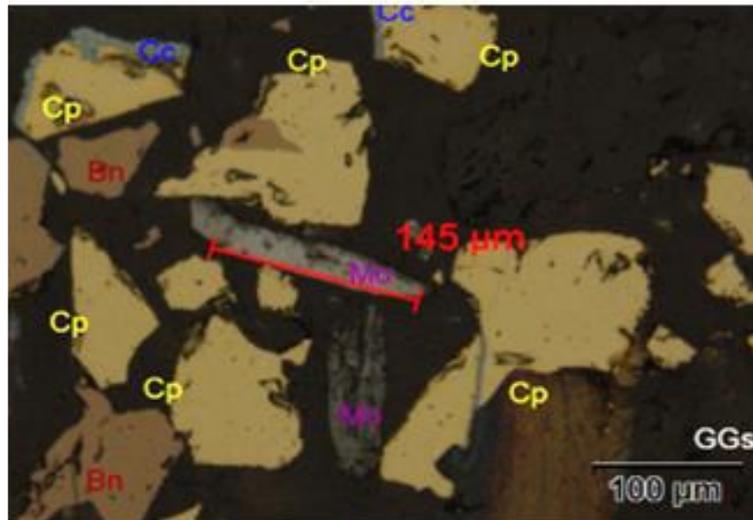
Foto 9. Identificación microscópica de la muestra de concentrado a malla 150
(con nicoles cruzados)



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 100 µm, se puede observar claramente la calcopirita libre, bornita libre, gangas y una asociación de calcopirita – molibdenita de 116 µm.

Foto 10. Identificación microscópica de la muestra de concentrado a malla 150
(con nicoles cruzados)

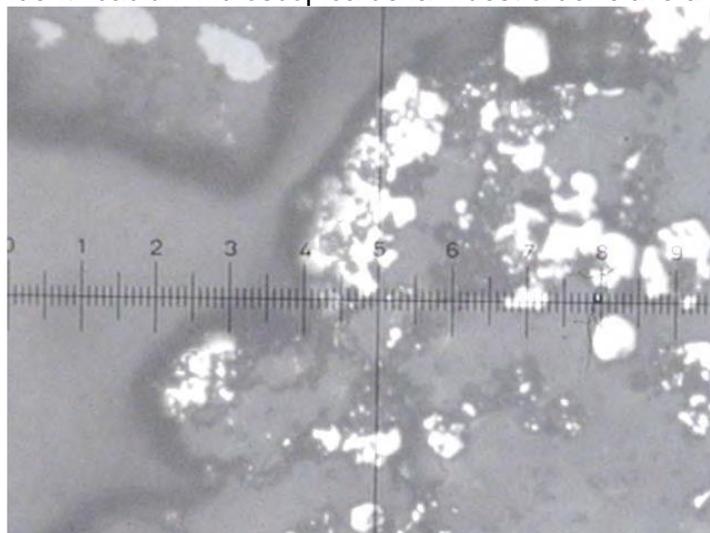


Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 100 μm , se puede observar la calcopirita y bornita libres que van de 3 a 0,1 mm distinguiéndose claramente por la diferencia de colores.

✓ Identificación de las muestras de relave

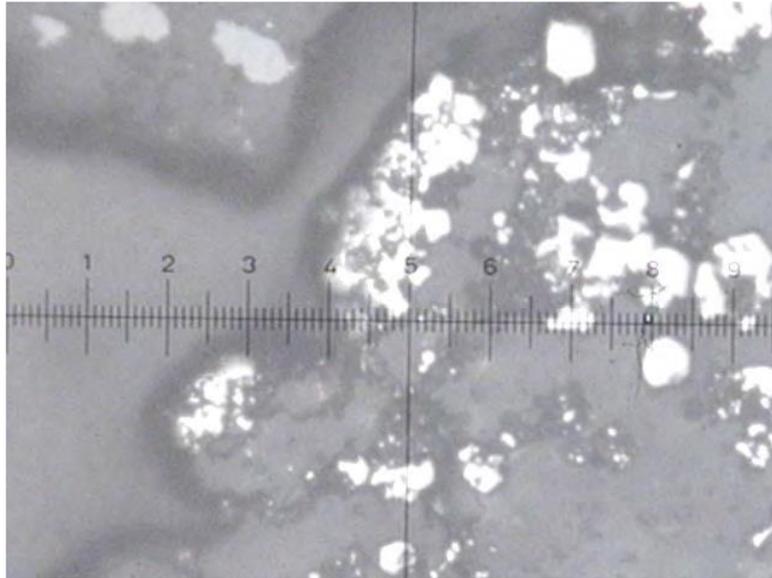
Foto 11. Identificación microscópica de la muestra de relave a malla 200



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: Grano de gangas con inclusiones de pirita, nicoles paralelos, Aumentos (63X).

Foto 12. Identificación microscópica de la muestra de relave a malla 200



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: Grano de gangas con inclusiones de pirita, nicoles paralelos, Aumentos (63X).

- **Flotación bulk Cu-Pb**

En base al diseño experimental se desarrolló las pruebas de flotación con el siguiente resultado:

Pruebas de flotación 1

Peso TMS	Ensayes		Contenido Metalico		Distribución	
	% Cu	Ag oz/TM	Cu TM	Oz Ag	Cu	Ag
300	0.27	2.32	1	696	100.00	100.00
6	18.20	6.15	1	37	41.67	53.29
294	0.52	0.11	2	32	58.33	46.71
300	0.87	0.23	3	69	100.00	100.00
50.0						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 2

Peso TMS	E n s a y e s		Contenido Metalico		Distribución	
	% Cu	Ag oz/TM	Cu TM	Oz Ag	Cu	Ag
300	0.45	2.24	1	672	100.00	100.00
12	22.12	6.15	3	74	66.23	69.97
288	0.47	0.11	1	32	33.77	30.03
300	1.34	0.35	4	105	100.00	100.00
25.0						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 3

Peso TMS	E n s a y e s		Contenido Metalico		Distribución	
	% Pb	Ag oz/TM	Pb TM	Oz Ag	Pb	Ag
300	0.95	0.40	3	120	100.00	100.00
4	51.00	6.15	2	25	66.32	43.04
296	0.35	0.11	1	33	33.68	56.96
300	1.03	0.19	3	57	100.00	100.00
75.0						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 4

Peso TMS	E n s a y e s		Contenido Metalico		Distribución	
	% Pb	Ag oz/TM	Pb TM	Oz Ag	Pb	Ag
300	1.10	0.40	3	120	100.00	100.00
5	52.00	6.15	2	29	73.15	46.77
295	0.30	0.11	1	32	26.85	53.23
300	1.10	0.20	3	61	100.00	100.00
64.6						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 5

Peso TMS	E n s a y e s		Contenido Metalico		Distribución	
	% Zn	Ag oz/TM	Zn TM	Oz Ag	Zn	Ag
300	3.13	0.40	9	120	100.00	100.00
17	51.00	6.15	9	104	91.56	76.90
283	0.28	0.11	1	31	8.44	23.10
300	3.13	0.45	9	135	100.00	100.00
17.8						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 6

Peso TMS	E n s a y e s		Contenido Metalico		Distribución	
	% Zn	Ag oz/TM	Zn TM	Oz Ag	Zn	Ag
300	3.20	0.40	10	120	100.00	100.00
17	52.00	6.15	9	102	89.96	76.62
283	0.34	0.11	1	31	10.04	23.38
300	3.20	0.44	10	133	100.00	100.00
18.1						

Fuente: Elaboración propia

Comentario: Se desarrollaron 6 pruebas de flotación en base al diseño experimental y como resultado se tiene que existe una buena recuperación de cobre, plomo y zinc con una ley promedio de concentrado de cobre de 18,20 y 22,12 % y ratio de concentración de 50; 4,19; Plomo con 51,00 y 52,00% con ratios de 75 y 64,6 y zinc con concentrados de 51,00 y 52,00 y ratios de 17,8 y 18,1, que para una producción normal es buena en la recuperación pero alto en ratio por las leyes de cabeza del mineral y la distancia a los mercados.

4.3 Prueba de hipótesis

4.3.1 Primera hipótesis específica

La primera hipótesis indica que: Si determinamos el modelo de caracterización mineralógica de los sulfuros complejos de Cu – Pb – Zn - Ag, entonces, influirá en la buena recuperación de concentrados en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.

a. Formular la hipótesis de investigación

H₀: Caracterizar la mineralogía de los sulfuros complejos de Cu – Pb – Zn y Ag mediante la microscopia de luz transmitida y reflejada no influye en la buena recuperación de concentrados en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019. **(hipótesis nula)**

H_a: Caracterizar la mineralogía de los sulfuros complejos de Cu – Pb – Zn y Ag mediante la microscopia de luz transmitida y reflejada si influye en la buena recuperación de concentrados en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019. **(Hipótesis alterna).**

- ii. Fijar el nivel de significación (α): $\alpha = 0,05$
- iii. Estadístico de prueba: Z de Wilcoxon y significancia p – valor $<0,05$
- iv. Decisión:

Tabla 10. *Prueba de la primera hipótesis específica*

	Caracterizar la mineralogía de calcopirita
Z	- 2,122
Sig. Asintótica (bilateral)	0,035

Fuente: Elaboración propia.

v. Conclusión

Con un nivel de significancia del 0,05, hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y afirmar que caracterizar la mineralogía de los sulfuros complejos demuestra el grado de liberación de los minerales.

4.3.2 Segunda hipótesis específica

La segunda hipótesis indica: Si evaluamos las dificultades en la depresión y activación de la esfalerita entonces tendremos mejoras significativas en la flotación bulk Cu – Pb en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.

i. Formular la hipótesis de investigación

H₀: Diagnosticar las dificultades en la depresión y activación de la esfalerita no influye en las mejoras significativas en la flotación bulk Cu – Pb en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.

(hipótesis nula)

H_a: Diagnosticar las dificultades en la depresión y activación de la esfalerita si influye en las mejoras significativas en la flotación bulk Cu – Pb en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019. **(Hipótesis alterna)**

- ii. Fijar el nivel de significación (α): $\alpha = 0,05$
- iii. Estadístico de prueba: Z de Wilcoxon y significancia p – valor $<0,05$
- iv. Decisión:

Tabla 11. Prueba de la segunda hipótesis específica

	Diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre
Z	- 2,235
Sig. Asintótica (bilateral)	0,030

Fuente: Elaboración propia.

v. Conclusión

Con un nivel de significancia del 0,05, hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y afirmar que Diagnosticar las dificultades en la depresión y activación de la esfalerita si influye en las mejoras significativas en la flotación bulk Cu – Pb en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019, toda vez que el estadístico Z de Wilcoxon es -2,235.

4.3.3. Hipótesis general

La hipótesis general señala que: Si desarrollamos un modelo de caracterización y tratamiento de los minerales complejos de Cu-Pb-Zn-Ag entonces recuperaremos concentrados de cobre, plomo y zinc en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.

Basado en los resultados de las hipótesis específicas es posible validar que el diagnóstico a los minerales complejos contribuye a demostrar el ratio de concentración mineral de cabeza: concentrado y la rentabilidad del mineral.

4.4 Discusión de resultados.

En la flotación, es posible variar la diferencia entre elementos útiles y la ganga, utilizando maquinaria e insumos que mejoran y optimizan el proceso, éstos modifican el ambiente químico y electroquímico del sistema. Además, por ejemplo, evitan que otros minerales se hagan hidrófobos, forman una espuma estable, realizan una hidrofobización inducida, etc.

La mojabilidad es un parámetro clave en la localización, flujo y distribución de fluidos. Está íntimamente relacionada con las interacciones que ocurren, a escala microscópica, entre la superficie mineral y los distintos fluidos contenidos en el espacio poroso.

Los problemas fundamentales asociados con el ángulo de contacto, están relacionados con la estructura y constitución de la superficie del sólido y con las interacciones mutuas de las tres fases. Dicho ángulo es de suma importancia porque relaciona en forma cuantitativa las propiedades hidrofóbicas de un mineral con su flotabilidad.

La flotación es importante y trascendente porque hace posible que minerales valiosos de baja ley puedan ser recuperados de manera económica si se dispone de los reactivos químicos adecuados. Este proceso se mejor, con la aplicación de herramientas de análisis de regresión estadística y caracterización mineralógica con microscopía óptica o de barrido.

El flujo de alimentación de pulpa es fundamental; evita la sobre carga y asentamiento de la carga en la celda, por otra parte, la oscilación de éste hace variar las condiciones de operación del circuito de flotación primario haciendo variar el tiempo de residencia de las partículas y con ello comprometiendo la recuperación y ley del concentrado.

Los diámetros de las burbujas producidos por el agitador son igualmente importantes, la fracción de volumen retenido de gas y la forma de la distribución de tamaño de burbujas, ya que juntos determinan cuánta superficie de burbujas está disponible para que las partículas sean flotadas.

El tamaño de partícula 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, así como, por la alta incidencia que tiene en los costos de operación del proceso global de concentración. Existe un tamaño ideal en donde se presenta una mayor recuperación metalúrgica, demostrando empíricamente que se produce una disminución de ésta provocada por altos porcentajes de gruesos como de finos en la composición final de la pulpa de flotación.

CONCLUSIONES

El conocimiento del mineral de cobre que se explota en la compañía minera San Genaro, permitió demostrar que por los años de explotación, y encontrarse a profundidades, la mineralización se hace cada vez más compleja, a esto se suma que hay disolución química por el flujo de agua que discurre al interior de las labores, convirtiéndolo en sulfatos, que asociados al mineral que se extrae se procesa, siendo más dificultoso la separación de elementos valiosos como cobre, plomo y zinc en forma de concentrados.

La determinación del análisis químico de la muestra compósito es: Pb – 0,95 %, Cu – 0,27 %, Zn – 3,13 % y Ag – 72,8 g/TM, cuyas leyes están relacionadas a la presencia de galena, calcopirita, cobre grises y secundarios, esfalerita y para el caso de la plata se presenta en asociaciones mineralógicas con los minerales de cobre y plomo.

El desarrollo de pruebas al microscopio, demuestran que se tiene libre a los minerales de cobre como calcopirita y covelita, pirita, galena, esfalerita, pero en su mayor parte con asociaciones diversas que al liberar a través de la molienda, no se tiene una buena separación.

Las mejores condiciones para la flotación rougher en el circuito bulk Cu-Pb se logra a un P_{80} de 100 μm ; con una dosificación de 100 g/t de NaCN y 400 g/t de ZnSO_4 en la etapa de molienda, 12 g/t de Z-11 y 20 g/t de MIBC, a un pH de 8,5 por 6 minutos y para la etapa de limpieza del concentrado bulk Cu-Pb.

Las mejores condiciones para la flotación rougher del circuito zinc correspondió a una dosificación de 110 g/t de CuSO_4 , 7 g/t de Z-11 a pH 11 por 8 minutos.

RECOMENDACIONES

Realizar más estudios de optimización para la depresión de la esfalerita en el circuito bulk Cu-Pb, con el fin de disminuir su desplazamiento en el concentrado bulk Cu-Pb.

Evaluar diferentes el diagrama de flujo actual para la flotación en circuito cerrado evaluando otros puntos de recepción de las cargas circulantes del proceso que influyen en el desplazamiento de cobre, plomo y zinc, tanto en el concentrado bulk Pb-Cu y concentrado de zinc.

Desarrollar más estudios de caracterización mineralógica del concentrado bulk Cu-Pb, del concentrado de zinc, como también de los concentrados individuales de plomo y cobre.

BIBLIOGRAFÍA

Baltierra, L. (2001). Flotación Selectiva de Enargita desde Calcosita, Calcopirita y Pirita por Oxidación Diferencial y Formación Superficial del Complejo $MgNH_4AsO_4$. *Tesis de Ingeniero Civil Metalúrgico*. Concepción.

Barona, F. (2007). Influencia de la Distribución de Tamaño de Burbújas en la Recuperación de Flotación para Minerales de Cobre. *Tesis de Ingeniero Civil de Minas*. Santiago de Chile.

Castro, S. H. (1997). Arsenic Abatement from Copper Concentrates by Selective Flotation. *5th Southern Hemisphere Meeting on Mineral Technology*, (págs. 105 - 108). Buenos Aires.

Castro, S. H., & Honores, S. (2000). Surface Properties and Floatability of Enargite Proceedings. *XXI International Mineral Processing Congress*, (págs. 47 - 53). Roma.

Córdova, R., Gómez, H., & Scherebler, R. (1996). An Electrochemical Study of Enargite in Aqueous Solutions by transient techniques. *IV Electrochemistry in Mineral and Metal Processing*, (págs. 356 - 367). Pennington.

Fornasiero, D. F., & Li, C. (2001). Separation of Enargite and Tennantite from Non - Arsenic Copper Sulfide Minerals by Selective Oxidation or Dissolution. *International Journal of Mineral Processing*, (págs. 109 - 119). Utha.

García, H. (1965). Recuperación por Flotación es una Función Exponencial del Tiempo. *Boletín Minero*, 83 -86.

Hernández, C. (2003). Flotación y Depresión de enargita por Control Redox de sus Propiedades Superficiales. *Tesis Ingeniero Civil Metalúrgico*. Concepción.

Inc., E. I. (1996). *Enciclopedia Multimedia de Minerales*. F&G.

Menacho, J. M., & Aliaga, W. (1993). Selective Flotation of Enargite and Chacopyrite. *Boletín Minero*, (págs. 33 - 39). Santiago de Chile.

Tajadod, J., & Yen, W. (1997). A Comparison of Surface Properties and Flotation Characteristics of Enargite and Chacopyrite. *XX International Mineral Processing Congress*, (págs. 409 - 418). Aachen - Alemania.

Yen, W., & Tahadod, J. (2000). Selective Flotation of Enargite and Chacopyrite Proceedings . *XXI International Mineral Processing Congress*, (págs. 49 - 55). Roma.

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y PRUEBAS DE FLOTACIÓN DE SULFUROS COMPLEJOS EN LA UNIDAD MINERA SAN GENARO – HUANCVELICA – 2019

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
<p>General</p> <p>¿De qué manera la presencia de minerales complejos de Cu-Pb-Zn-Ag, influye en la recuperación de los concentrados de cobre, plomo y zinc en la unidad minera San Genaro – Huancavelica - 2019?</p>	<p>General</p> <p>Desarrollar un modelo de caracterización y tratamiento de los minerales complejos de Cu-Pb-Zn-Ag para la recuperación de concentrados de cobre, plomo y zinc en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.</p>	<p>General</p> <p>Si desarrollamos un modelo de caracterización y tratamiento de los minerales complejos de Cu-Pb-Zn-Ag entonces recuperaremos concentrados de cobre, plomo y zinc en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.</p>	<p>Dependiente</p> <p>% de recuperación de cobre, plomo y zinc.</p>
<p>Específicos</p> <p>¿Cuáles es la caracterización mineralógica de los sulfuros complejos de Cu – Pb –Zn y Ag en la unidad minera San Genaro – Huancavelica - 2019?</p> <p>¿Cuáles son las dificultades en la depresión y activación de la esfalerita en la flotación bulk Cu – Pb en la unidad minera San Genaro – Huancavelica - 2019?</p> <p>¿Cómo influye los contenidos de As y Sb en la obtención de concentrados libres de contaminantes según las exigencias de comercialización en la unidad minera San Genaro – Huancavelica - 2019?</p>	<p>Específicos</p> <p>Determinar la caracterización mineralógica de los sulfuros complejos de Cu – Pb –Zn y Ag en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019</p> <p>Evaluar las dificultades en la depresión y activación de la esfalerita en la flotación bulk Cu – Pb en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.</p> <p>Evaluar la influencia de los contenidos de As y Sb en la obtención de concentrados libres de contaminantes según las exigencias de comercialización en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.</p>	<p>Específicos</p> <p>Si determinamos el modelo de caracterización mineralógica de los sulfuros complejos de Cu – Pb – Zn - Ag, entonces, influirá en la buena recuperación de concentrados en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.</p> <p>Si evaluamos las dificultades en la depresión y activación de la esfalerita entonces tendremos mejoras significativas en la flotación bulk Cu – Pb en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.</p> <p>Si controlamos la influencia de los contenidos de As y Sb en la obtención de concentrados entonces tendremos controlado a los contaminantes según las exigencias de comercialización en la unidad minera San Genaro – Huancavelica – 2019.</p>	<p>Independientes</p> <p>Caracterización mineralógica</p> <p>Variables de flotación.</p>

ANEXO 2

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1. Instrumento de recolección de muestras

Nº Muestra	Fecha de recolección	Origen	Observaciones
1	10-Mar-19	Veta 1	Ninguno
2	11-Mar-19	Veta2	Ninguno
3	12-Mar-19	Veta 3	Ninguno
4	13-Mar-19	Veta 1	Ninguno
5	14-Mar-19	Veta 2	Ninguno
6	15-Mar-19	Veta 3	Ninguno
7	16-Mar-19	Veta 1	Ninguno
8	17-Mar-19	Veta 2	Ninguno
9	18-Mar-19	Veta 3	Ninguno
10	20-Mar-19	Compósito	Ninguno
PROMEDIO			

Para la recolección de la muestra representativa, se obtuvo bajo el sistema de cono y cuarteado, con etapas sucesivas hasta obtener un compósito de 5 kilogramos aproximadamente, a partir del volumen total de material obtenido.

2. Cálculo del peso específico

Para determinar el peso específico de las muestras se empleó el método del picnómetro:

$$Pe = \frac{M - A}{P + M - A - S} \quad (1)$$

Donde:

Pe = Peso específico

M = Peso del picnómetro + arena

A = Peso del picnómetro vacío

S = Peso de picnómetro + arena + agua

P = Peso de picnómetro + agua

$$\sum_1^n Pe = \frac{Pe_1 + Pe_2 + Pe_3 + \dots + Pe_n}{n} \quad (2)$$

Donde:

Pe = Peso específico medio de muestras obtenidas

Muestra	Peso específico (gr/cm ³)
1	4,12
2	4,35
3	4,42
4	4,23
5	4,30
6	4,18
7	4,27
8	4,35
9	3,90
10	3,85
Sumatoria	41,97
Promedio	4,197

3. Cálculo de la molienda

Para el cálculo de molienda, se realizó con las condiciones estándar sugeridas por diversos autores con las siguientes condiciones de operación, cuyos resultados se plasma en la siguiente tabla:

Datos de operación:

Tiempo: 11,5 minutos

Revoluciones: 78 RPM

Muestra: 1 kg.

Densidad: 1 450 g/lit

Malla Tyler	Abertura (mm)	Mineral Retenido (g)	Retenido acumulado (g)	% Mineral Retenido	% Mineral que pasa
4	4,76	0	0	0	100,5
6	3,36	1,5	1,5	1,49	99

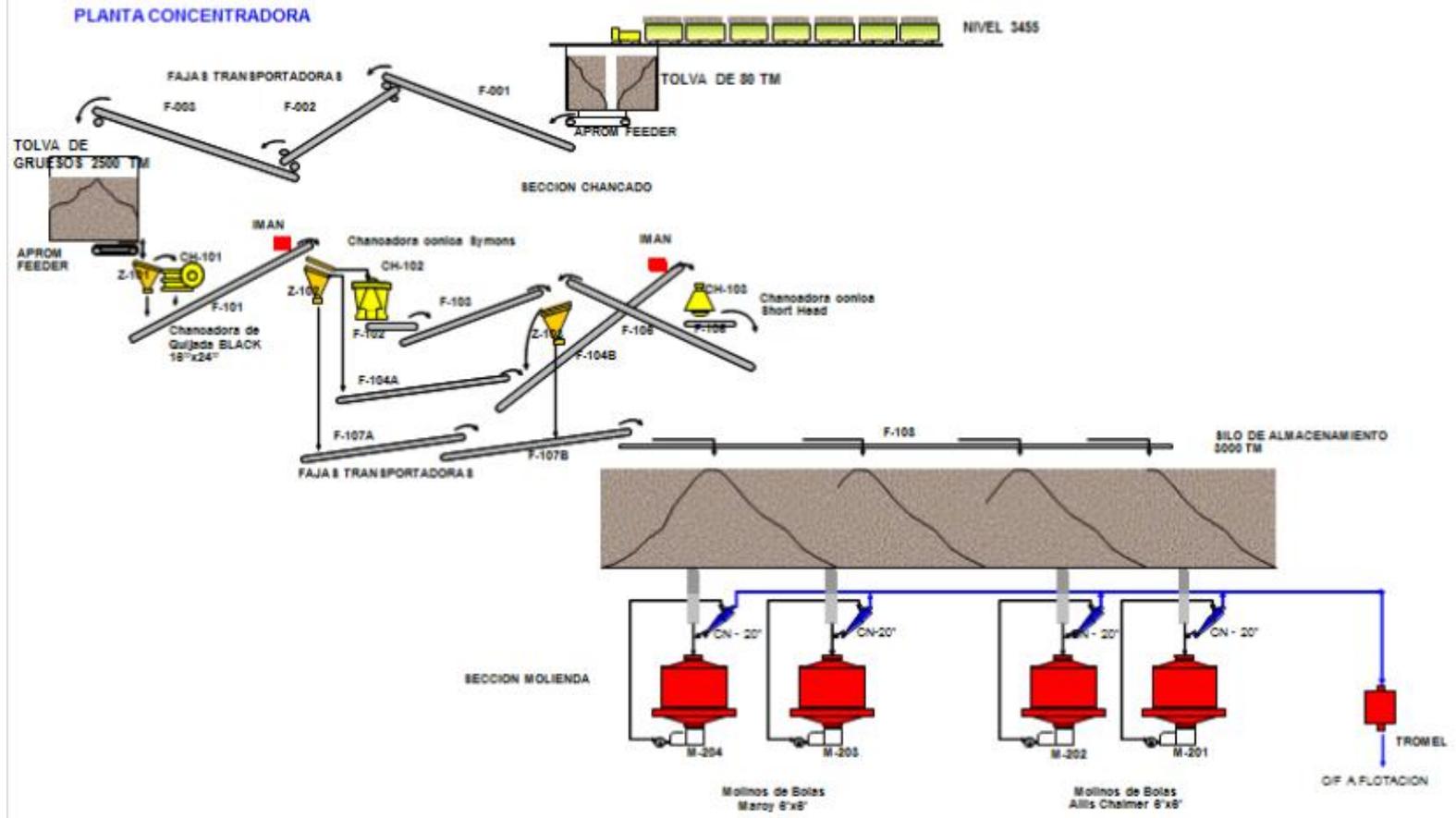
10	1,68	2	3,5	1,99	97
20	0,841	5	8,5	4,98	92
28	0,595	6	14,5	5,97	86
35	0,420	13	27,5	12,94	73
48	0,297	11	38,5	10,95	62
65	0,210	10	48,5	9,95	52
100	0,149	15	63,5	14,93	37
200	0,074	22	85,,5	21,89	15
-200		15	100,5	14,93	0
TOTAL		100,5			

4. Análisis químico

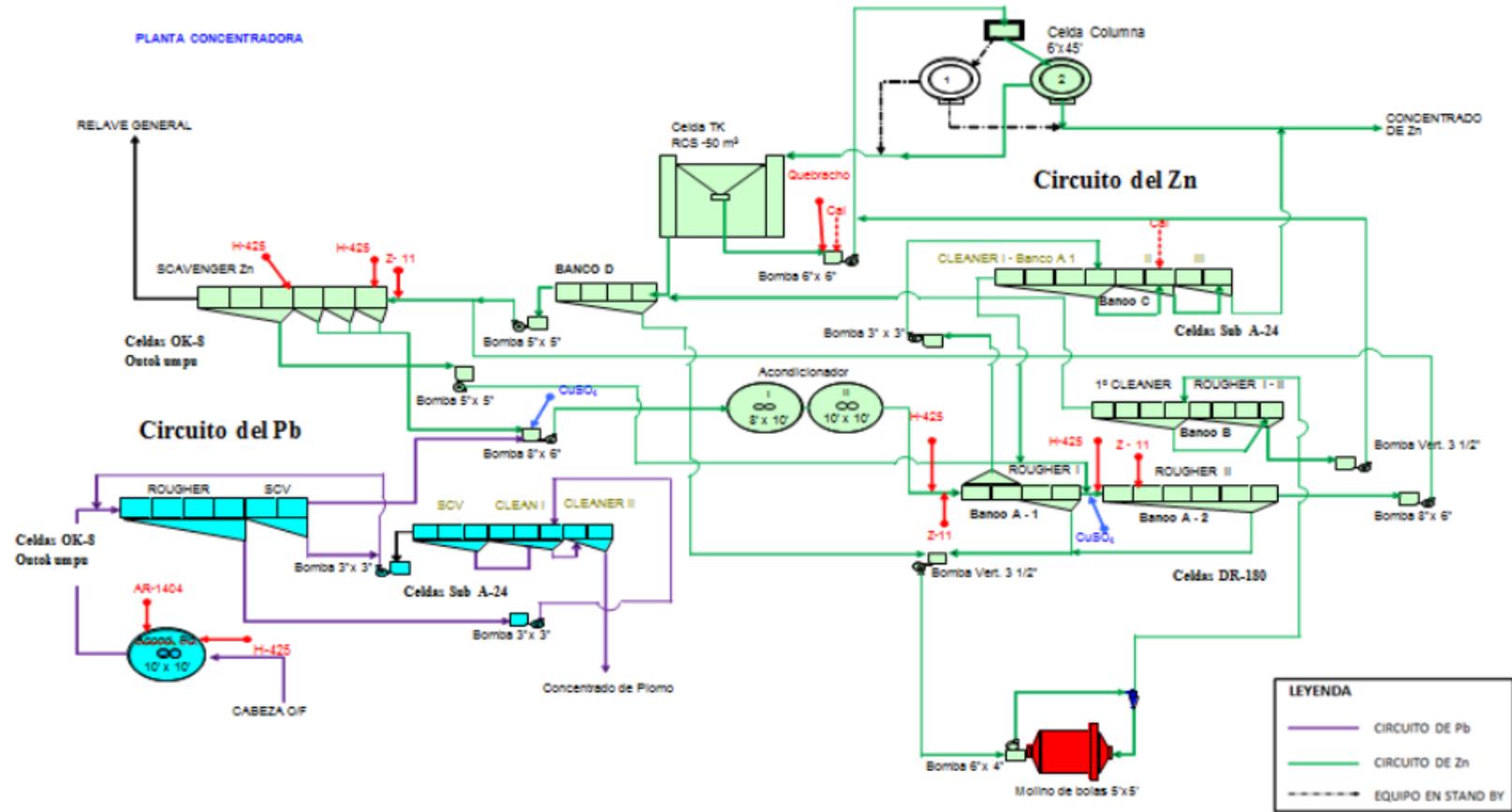
Las muestras analizadas en el laboratorio químico de la empresa, se resume en la siguiente tabla:

Muestra	% Cu	% Pb	% Zn	% Fe	% SiO2	Ag (g/TM)
1	7,42	0,1	0,05	12,8	21	62
2	6,5	0,18	0,08	13,4	18,5	118
3	4,3	0	0,1	15,6	23,5	96
4	6,8	0,1	0,02	11,8	26,5	74
5	5,2	0,2	0,03	10,5	24,2	65
SUMATORI						
A	30,22	0,58	0,28	64,1	113,7	415
PROMEDIO	6,044	0,116	0,056	12,82	22,74	83

FLOW SHEET 2.1
DIAGRAMA DE FLUJO DE RECEPCION, CHANCADO Y MOLIENDA



FLOW SHEET 2.2
DIAGRAMA DE FLUJO DEL CIRCUITO DE FLOTACION Pb - Zn



ANEXO 2

TRABAJO DE CAMPO DESARROLLADO

Foto 13. Aplicando el cuarteo para el análisis



Fuente: Elaboración propia

Foto 14. Pesando la muestra



Fuente: Elaboración propia

Foto 15. Tamices ordenados de mayor a menor



Fuente: Elaboración propia

Foto 16. Colocando la muestra



Fuente: Elaboración propia

Foto 17. Tamices en el agitador mecánico



Fuente: Elaboración propia

Foto 18. Pesando la muestra retenida



Fuente: Elaboración propia.

Foto 19. Pesando la muestra de agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

Foto 20. Tamices



Fuente: Elaboración propia.