

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA

METALÚRGICA



T E S I S

**Flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos para la
recuperación de oro en NEXA RESOURCES –Atacocha – Pasco – 2024**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor:

Bach. Yermany Jhonatan DURÁN CASTRO

Asesor:

Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO

Cerro de Pasco - Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA

METALÚRGICA



T E S I S

**Flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos para la
recuperación de oro en NEXA RESOURCES – Atacocha – Pasco – 2024**

Sustentada y aprobada ante los miembros de jurado:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA
PRESIDENTE

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO
MIEMBRO

Mg. Edgar Yoni AIRE MENDOZA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 296-2025-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:

**FLOTACIÓN DE SILICATOS ASOCIADOS A SULFUROS
POLIMETÁLICOS PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO EN NEXA
RESOURCES – ATACUCHA – PASCO - 2024**

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Yermany Jhonatan DURAN CASTRO

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

27 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 1 de julio del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
SIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046.pdf
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.07.2025 20:24:31 -05:00

DEDICATORIA

A Dios y mis padres por su dedicación en formarme un hombre de bien, para la culminación de mi estudio y por haberme dado el regalo máspreciado al igual que la vida mi profesión.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, damos nuestro infinito agradecimiento a nuestro divino creador, por darnos una vida saludable y un buen estado de ánimo para realizar las diferentes actividades que se nos presenta día a día A la Universidad Nacional Alcides Carrión, por los aportes brindados y su asesoramiento del proyecto de investigación. A mi asesor. Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO, quien me aconsejó para impulsar y concluir mi trabajo.

RESUMEN

El desarrollo de la investigación tuvo como objetivo determinar el método de concentración adecuado a seguir, para una explotación industrial del oro existente en los silicatos asociados a sulfuros polimetálicos, existentes en el tajo San Gregorio, concesión de la empresa Nexa Resources S.A.A.; a raíz de los problemas que se venían sucediendo en las labores mineras para cumplir con el volumen de producción diaria que debe procesar la planta concentradora de la empresa, se optó por considerar una alternativa, proveer material del cuerpo mineralizado existente al proceso industrial. Se realizó pruebas de flotación a nivel experimental, caracterizando las muestras, determinando el grado de liberación por molienda y luego de seleccionar los colectores adecuados, se procedió a flotación, obteniendo recuperaciones promedio de 74% de oro, 80% de plata y 85% de plomo. Se concluye que el método de flotación es el adecuado para una explotación industrial.

Palabras clave: Flotación experimental, silicatos asociados

ABSTRACT

The objective of the development of the research was to determine the appropriate concentration method to follow, for an industrial exploitation of the gold existing in the silicates associated with polymetallic sulfides, existing in the San Gregorio pit, a concession of the company Nexa resources S.A.A.; As a result of the problems that had been occurring in the mining work to meet the daily production volume that the company's concentrator plant must process, it was decided to consider an alternative, providing material from the existing mineralized body to the industrial process. Flotation tests were carried out at an experimental level, characterizing the samples, determining the degree of release by grinding and after selecting the appropriate collectors, flotation was carried out, obtaining average recoveries of 74% of gold, 80% of silver and 85% of lead. It is concluded that the flotation method is appropriate for industrial exploitation.

Keywords: Experimental flotation, associated silicates

INTRODUCCIÓN

El ranking de las universidades se mide por las investigaciones que publica y difunde. El desarrollo de la ciencia y la tecnología, la innovación, el emprendimiento es una preocupación esencial de las universidades, es su razón de ser. Todos los programas académicos en el mundo están refundando los currículos 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 optar el título profesional. Se espera de ella una evidencia indiscutible de las competencias de investigación aprendidas en las aulas universitarias y se aplique al campo profesional.

La presente tesis, titulado “Flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha – Pasco - 2024”, es interesante porque se trata de un afloramiento interesante con valores de zinc y que requiere una explotación a gran escala con tecnología propia.

Los estudios desarrollados a través del muestreo y posterior tratamiento confirman que la concentración de oro por flotación obtiene recuperaciones apreciables, tomando especial cuidado en el acondicionamiento con los reactivos adecuados. 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 recuperar los elementos valiosos de los silicatos asociados con polisulfuros metálicos, con las sub preguntas que consisten en la caracterización del material del tajo abierto San Gregorio, liberación y pruebas de concentración por flotación. Su objetivo está referido a demostrar las características mineralógicas de material a extraer,

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 los métodos de tratamiento por flotación; definir los términos básicos; se plantea las hipótesis y se define las variables de operación.

CAPÍTULO III. Comprende el método de investigación: experimental; nivel experimental y tipo aplicativo, desarrollando las pruebas experimentales preestablecidas, sobre una población que corresponde las muestras obtenidas; y sobre ello diseñar el método de muestreo a seguir, continuando las etapas de investigación previamente establecidas.

CAPÍTULO IV. Los resultados obtenidos luego de ser procesados en el capítulo anterior se presentan en tablas, para luego contrastar la hipótesis, demostrándose el nivel de aceptación de los datos.

CONCLUSIONES. Se concluye que el yacimiento es prometedor; las leyes de oro existentes demostradas en los ensayos químicos y la concentración por flotación a nivel laboratorio sugieren que es rentable el prospecto minero.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y planteamiento del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	2
1.3.	Formulación del problema.....	3
1.3.1.	Problema general	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	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	6
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	8

2.3.	Definición de términos básicos.....	13
2.4.	Formulación de hipótesis	14
2.4.1.	Hipótesis general	14
2.4.2.	Hipótesis específicas	14
2.5.	Identificación de variables.....	14
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	15

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	16
3.2.	Nivel de investigación	16
3.3.	Método de investigación.....	16
3.4.	Diseño de la investigación	17
3.5.	Población y muestra.....	17
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	19
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	20
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	21
3.9.	Tratamiento estadístico	21
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica.....	22

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.	23
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	25
4.3.	Prueba de hipótesis	39
4.4.	Discusión de resultados	41

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ANEXOS

INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro N° 01: Reservas probables del tajo abierto San Genaro</i>	<i>18</i>
<i>Cuadro N° 02: Análisis químico del mineral</i>	<i>25</i>
<i>Cuadro N° 03: Minerales observados macroscópicamente</i>	<i>25</i>
<i>Cuadro N° 04: Grados de liberación y volúmenes de los minerales observados</i>	<i>26</i>
<i>Cuadro N° 05: Condiciones de flotación 1</i>	<i>28</i>
<i>Cuadro N° 06: Balance metalúrgico de la prueba experimental 1</i>	<i>28</i>
<i>Cuadro N° 07: Condiciones de flotación 2</i>	<i>29</i>
<i>Cuadro N° 08: Balance metalúrgico de la prueba experimental 2</i>	<i>29</i>
<i>Cuadro N° 09: Condiciones de flotación 3</i>	<i>30</i>
<i>Cuadro N° 10: Balance metalúrgico de la prueba experimental 3</i>	<i>30</i>
<i>Cuadro N° 11: Condiciones de flotación 4</i>	<i>31</i>
<i>Cuadro N° 12: Balance metalúrgico de la prueba experimental 4</i>	<i>31</i>
<i>Cuadro N° 13: Condiciones de flotación 5</i>	<i>32</i>
<i>Cuadro N° 14: Balance metalúrgico de la prueba experimental 5</i>	<i>32</i>
<i>Cuadro N° 15: Condiciones de flotación 6</i>	<i>33</i>
<i>Cuadro N° 16: Balance metalúrgico de la prueba experimental 6</i>	<i>33</i>
<i>Cuadro N° 17: Condiciones de flotación 7</i>	<i>34</i>
<i>Cuadro N° 18: Balance metalúrgico de la prueba experimental 7</i>	<i>34</i>
<i>Cuadro N° 19: Condiciones de flotación 8</i>	<i>35</i>
<i>Cuadro N° 20: Balance metalúrgico de la prueba experimental 8</i>	<i>35</i>
<i>Cuadro N° 21: Condiciones de flotación 9</i>	<i>36</i>
<i>Cuadro N° 22: Balance metalúrgico de la prueba experimental 9</i>	<i>36</i>
<i>Cuadro N° 23: Condiciones de flotación 10</i>	<i>37</i>
<i>Cuadro N° 24: Balance metalúrgico de la prueba experimental 10</i>	<i>37</i>

<i>Cuadro N° 25: Comparación de resultados obtenidos de oro – plata y plomo.....</i>	<i>38</i>
--	-----------

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura N° 01: Briqueta del mineral 1</i>	<i>26</i>
<i>Figura N° 02: Briqueta del mineral 2</i>	<i>27</i>
<i>Figura N° 03: Análisis granulométrico promedio de molienda experimental.....</i>	<i>27</i>

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y planteamiento del problema

En la Compañía Minera Nexa Resources - Unidad Atacocha; empresa privada, ubicado en el distrito de Yarusyacan, dedicado a la explotación de minerales de plomo y zinc básicamente; las labores mineras en determinado momento no alcanzaban a extraer y proporcionar el tonelaje solicitado por la planta concentradora; en vista de ello optaron por incrementar el tonelaje, proporcionando el mineral superficial compuesto por silicatos, con bajos contenidos de sulfuros, que se encuentra en el sector denominado San Genaro, perteneciente a la comunidad campesina de Yarusyacan, cuya deposición geológica se encuentra en forma de mantos, ubicado en la parte alta de las labores mineras de Atacocha. En un primer momento, la superintendencia mina, solo estaba abocado a cumplir con el tonelaje solicitado para procesar en la planta que tiene una capacidad de 5 000 TMSD.

Los minerales de plomo y zinc que llegan a la planta concentradora, tienen bajos porcentajes de elementos metálicos y durante bastante tiempo era rentable

porque los costos de energía son los más bajos debido a contar con su planta hidroeléctrica propia; pero también los costos de extracción y transporte a planta se incrementaron, razón por la cual la tendencia era el cierre de operaciones; frente a este problema técnico, el personal de mina optó para cumplir con los volúmenes de mineral que la capacidad de planta requería, para ello tomaron la decisión de cumplir con el tonelaje solicitado enviando mineral de un cuerpo superficial denominado panizo, con cierto grado de contenidos de plomo y zinc; En su momento en el laboratorio químico, solo habían analizado las muestras por plomo y zinc, mas no por oro; los resultados se evidenciaron en las liquidaciones cuando la empresa compradora de concentrados liquidó por oro; desde ese momento, la rentabilidad cambió y actualmente la empresa ha optado por otorgarle el mayor interés a este cuerpo mineralizado para sus futuras operaciones.

Esta realidad obligó a la empresa a establecer diagnósticos con mayor rigor para garantizar la operatividad constante; los sondeos diamantinos demostraron que el cuerpo mineralizado superficial de silicatos, contiene oro que va de 0,44 g/t a 2,50 g/t; por lo que la presente investigación está orientada a indagar cuáles son las variables que inciden para lograr la máxima recuperación de oro a nivel experimental y posteriormente desarrollarlo en la planta concentradora de la compañía antes mencionada.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El desarrollo del presente trabajo se desarrolló con el material, insumos y laboratorios de la empresa antes mencionada.

1.2.2. Delimitación de la temporal

El trabajo de investigación comprendió seis meses (enero – junio del 2024).

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo influye la flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco - 2024?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la caracterización de los silicatos asociados a sulfuros polimetálicos que intervienen en la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco - 2024?
- b) ¿Cómo determinar la granulometría óptima en el proceso de flotación experimental para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco - 2024?
- c) ¿Cómo influye la selección del colector en el proceso de flotación experimental para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, - 2024?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco – 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la influencia de la flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco – 2024.
- b) Determinar la granulometría óptima en el proceso de flotación experimental para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco – 2024.
- c) Seleccionar el colector adecuado en las pruebas de flotación experimental para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco - 2024.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

La presente investigación tiene como finalidad demostrar a través de la aplicación de los fundamentos teóricos; el diseño adecuado de las pruebas experimentales, con las herramientas e insumos requeridos.

1.5.2. Justificación práctica

De acuerdo con Bernal (2016): “una investigación tiene justificación práctica cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o por lo menos, propone estrategias que al aplicarse contribuirán a resolverlo” (pág. 138).

El desarrollo de las pruebas experimentales permitirá obtener resultados que contribuirán a recuperar el oro del mineral existente en el cuerpo mineralizado, que se está extrayendo y alimentando a la planta concentradora, para cumplir con el volumen requerido. Además, los concentrados obtenidos con nuevos valores metálicos tendrán mejoras económicas.

1.5.3. Justificación Metodológica

En las instituciones académicas, se viene desarrollando capacitación bajo los diversos medios y formas acerca de la mejora en los procesos de flotación de minerales; de tal manera que existe estructuras metodológicas para su aplicación inmediata.

1.6. Limitaciones de la investigación

Tecnológicas. – A pesar de la búsqueda de información relevante, en la nube electrónica se puede extraer estudios experimentales a similares minerales, siendo escaso los yacimientos en producción con procesamiento a nivel industrial, siendo una limitación para corroborar los trabajos experimentales; pero a la vez es un reto porque permite desarrollar tecnología propia adecuada a la mineralización.

Temporales. – Los trabajos experimentales se limitaron a tiempos cortos, debido a que la empresa tiene metas de producción que cumplir y la distribución del personal se sujeta estrictamente a cada actividad y no se tiene recursos humanos para estudios diversos, a pesar de que la investigación e innovación permite mejoras tecnológicas y económicas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Antecedentes internacionales

Cobos, Cristhian (2018) en la tesis “Flotación rougher de un mineral aurífero complejo asociado a sulfuros metálicos”, Universidad de Azuay - Ecuador, para optar el título de Ingeniero de Minas, tiene como objetivo general determinar con una considerable combinación de reactivos, obtener las máximas recuperaciones, desarrolló el método experimental diseñando combinaciones y concluye que desde el punto de vista minero metalúrgico, la mena estudiada es apta para procesar por flotación ya que contamos con altas leyes que se pueden tratar con mayor cantidad de tonelaje de mineral.

Ariana (2015) en la tesis “Recuperación de oro por flotación y gravimetría de los relaves provenientes de la industria minera artesanal de la Herradura – Chinapintza” para optar el Título de Ingeniero de Geología y Minas – Universidad Técnica Particular de Loja – Ecuador; tiene como objetivo mejorar la recuperación de oro de relaves utilizando métodos de concentración como la

flotación y la concentración centrífuga por Knelson, estimando el rendimiento de cada método. Es investigación del tipo aplicada, con nivel experimental. Concluye: el peso específico obtenido por el método del picnómetro es 3,1 g/cm³; las leyes iniciales son: 1,629 ppm Au, 510 ppm Cu, 43230 ppm Fe, 1,12 ppm Ag, 7021 ppm Zn y 184,86 ppm Pb; mineralógicamente está compuesto por sulfuros; en el concentrador Knelson a malla 200, la recuperación alcanza 42,28% y desarrollando métodos combinados de procesos Knelson – flotación, se obtuvo 53,76% de recuperación de Au.

Antecedentes nacionales

Julca (2017) en la tesis “Recuperación de oro en minerales sulfurados de baja ley en la provincia de Casma” – para optar el Título de Ingeniero Metalúrgico – Universidad Nacional Mayor de San Marcos; tiene como objetivo: Recuperar el oro de minerales sulfurados de baja ley provenientes de la provincia de Casma, mediante procesos metalúrgicos combinados, de gravimetría-centrifugación, flotación y cianuración. De enfoque cuantitativo, nivel experimental. Concluye: la caracterización del mineral estudiado indicó un tipo de oro electrum que tiene una distribución volumétrica de 0,86% y 7,41% de grados de liberación. El proceso metalúrgico adecuado de acuerdo a los resultados de la investigación es una preconcentración con el concentrador Falcon, seguido de una flotación de los relaves de la preconcentración y por último remoler los concentrados de la preconcentración y de flotación, para luego realizar el proceso de cianuración, obteniendo una recuperación total de 85.02% de oro, como variable dependiente.

Suca (2017) en la tesis “Optimización del proceso de flotación para la recuperación de un preconcentrado de oro en minerales sulfurados de la Minera colibrí SAC Caravelí – Arequipa”, tiene como objetivo: optimizar la recuperación

de un pre-concentrado de oro a partir de los minerales sulfurados en el proceso de flotación determinando los parámetros de % de sólidos, dosificación de reactivos y tiempo de flotación; Con enfoque cuantitativo, desarrolló el método experimental; concluye: el incremento del 25 a 35% de sólidos, mejora la recuperación en 1,5375 de efecto, la adición en mayor o menor concentración del colector A – 238, no genera mayor modificación en la recuperación, el incremento en el tiempo de residencia de 7 a 10 minutos si mejora la recuperación con un efecto de 1,0476 y como resultado del diseño experimental se tiene que las variables % de sólidos y tiempo de residencia inciden en la recuperación de oro

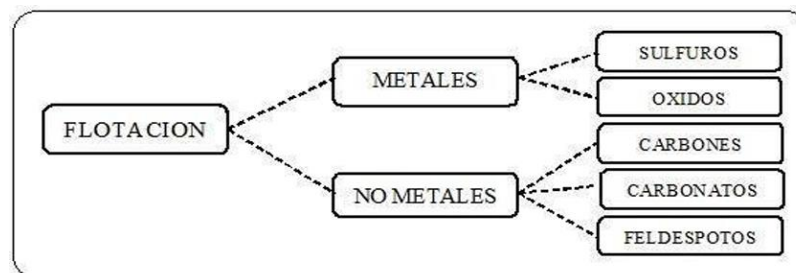
2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Proceso de flotación de minerales

Todas las técnicas o métodos de separación, físicos o químicos se basan sobre las diferencias en las propiedades de los materiales. La flotación es un proceso de separación y concentración, aprovecha las diferencias en las propiedades fisicoquímicas de superficies de los minerales.

2.2.2. Clasificación de flotación de minerales

Clasificación de flotación de minerales



Fuente: adaptado de apuntes de clases.

2.2.3. Flotación de sulfuros

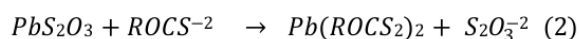
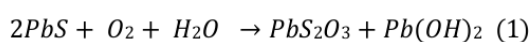
Los sulfuros son hidrófobos, lo cual permite que tengan una buena flotabilidad. Sin embargo, este comportamiento se ve afectado negativamente cuando existe una oxidación superficial o hay presencia de lamas.

Para que la flotación de sulfuros sea efectiva, es necesaria la presencia de oxígeno con colectores sulfhídricos, y así ocurra la adsorción de este reactivo en el mineral. Este fenómeno puede ser explicado por teorías que se describe King (1982).

2.2.4. Teoría química de la oxidación superficial

En medio acuoso alcalino, la mayoría de los minerales sulfurados sufren oxidación superficial. Para el caso particular de la galena, existen numerosos estudios que demuestran que la superficie estaría recubierta por especies oxidadas, especialmente tiosulfato básico de plomo.

La reacción con un xantato ocurriría por mediación de esta capa oxidada, operando un mecanismo de intercambio iónico. El mecanismo propuesto puede resumirse en las siguientes reacciones:



2.2.5. Teoría de semiconductores

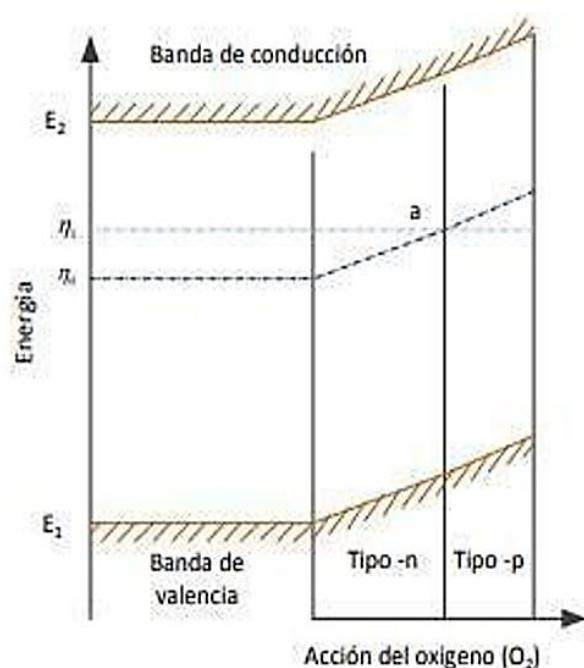
Esta teoría presenta una diferencia fundamental con la anterior, puesto que, la hidrofobización se atribuye a la formación de una especie oxidada del colector, un disulfuro orgánico conocido como dixantógeno, el que se formaría directamente sobre la superficie mineral.

El rol del oxígeno, que es un fuerte aceptor de electrones, se interpreta en el sentido que su adsorción tomaría los electrones libres de las capas superficiales

del retículo cristalino del sulfuro semiconductor, de tal forma que de semiconductor tipo – n pasaría a semiconductor tipo –p.

El dixantógeno, por ser una molécula neutra, permanecería coadsorbido físicamente en la película de colector, confiriéndole a la superficie una fuerte hidrofobización.

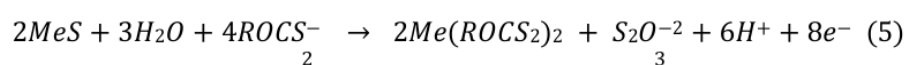
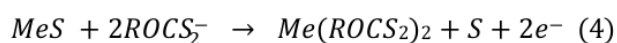
Semiconductores



Fuente: Adaptado de flotación de minerales - Sutulov (1982)

2.2.6. Teoría electroquímica

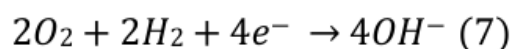
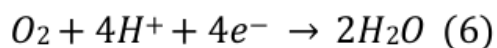
Según la literatura, el mecanismo más común de interacción entre xantato y sulfuros es de naturaleza electroquímica. Iones xantatos son oxidados a dixantógeno o xantato del metal, de acuerdo con una de las siguientes reacciones:



Independientemente de la trayectoria de oxidación del xantato, este proceso anódico precisa ser balanceado por una reacción catódica. Uno de los

papeles importantes del oxígeno en sistemas xantato/mineral sulfurado es entregar la reacción catódica.

El producto real de la reducción de oxígeno en ambiente acuoso puede ser H₂O o, OH⁻ de acuerdo con una de las reacciones:



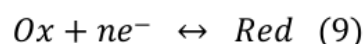
La primera de estas reacciones es más apropiada para describir el proceso en medio ácido (bajo acción catalítica de la superficie mineral).

La segunda reacción es más realista en medio alcalino.

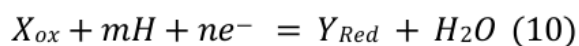
Para una reacción única en el equilibrio el potencial está dado por la ecuación de Nernst. Así, por ejemplo, para una reacción redox cualquiera, el mecanismo de transferencia de e⁻ puede representarse a través de la siguiente ecuación general:

$$e_{th} = e_{th}^o + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{Ox}{Red} \right) \quad (8)$$

En una reacción Redox de la siguiente forma:



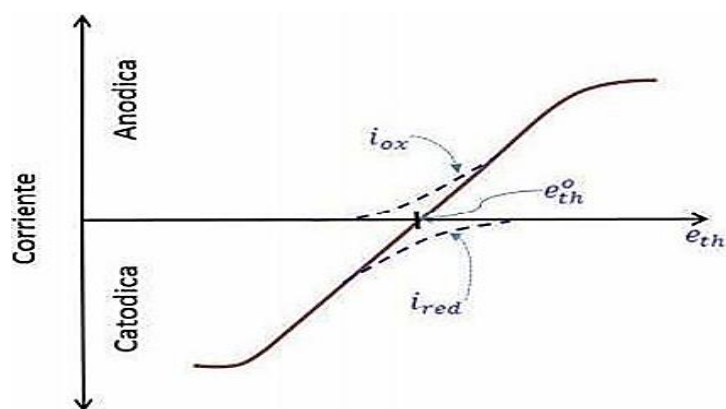
Al aplicar la ecuación de NERST tenemos:



Para esta reacción desarrollada entonces, tendremos un gráfico corriente potencial tal como se da a continuación:

$$Eh = Eh^o - \frac{0,059 \, m \, pH}{n} + 0,059 \lg \left(\frac{(Ox)_x}{(Red)_y} \right) \quad (11)$$

Diagrama del potencial de corriente



Fuente: Adaptado de flotación de minerales (1982)

2.2.7. Teoría de la adsorción física

Hidrólisis y formación de ácido xántico en una pulpa alcalina. Se considera finalmente que el mineral con cristales de estructura atómica favorece la adsorción física y los minerales con estructura iónica favorecen la fijación por intercambio iónico.

En este último caso el potencial de la superficie del mineral no influirá la reacción porque ella se desarrollará según la afinidad de los iones para la formación del nuevo compuesto.

Sin embargo, en el caso de una adsorción física, potencial de la superficie es de gran importancia y será más activa cuando este potencial sea igual a cero.

2.2.8. Variables del proceso de flotación

Las variables que más afectan la flotación de los minerales son las siguientes:

- Granulometría de la mena
- Tipo y dosificación de reactivos de flotación.
- Densidad de la pulpa o porcentaje de sólidos.
- Tiempo de residencia. pH.

- Aireación y acondicionamiento de la pulpa.
- Temperatura de la pulpa.

El éxito de la flotación de sulfuros depende del control de varios parámetros clave:

- **pH:** Afecta la adsorción de los colectores y la interacción de los sulfuros con los reactivos. El pH también puede influir en la flotabilidad de los sulfuros de cobre y cobalto.
- **Tamaño de partícula:** Partículas demasiado finas pueden perderse en la espuma o no flotar adecuadamente. Un control preciso del grado de liberación en la etapa de molienda es esencial.
- **Dosis de reactivos:** La cantidad y tipo de colectores, espumantes y modificadores de pH deben ser optimizados para maximizar la recuperación de los sulfuros y minimizar el arrastre de ganga.
- **Tiempo de residencia:** Se debe garantizar que el mineral pase el tiempo adecuado en las celdas de flotación para que ocurra la interacción entre los minerales y los reactivos (Pávez, 2018).

2.3. Definición de términos básicos

Procesamiento: Es un conjunto de medios que se utilizan para aliviar u obtener resultados favorables o antagónicos.

Sulfuros: Es aquella sustancia sólida, natural, homogénea, de origen inorgánico, de composición química definida.

Mena: Minerales de valor económico, los cuales constituyen entre un 5 y 10% del volumen total de la roca. Corresponden a minerales sulfurados y oxidados, que contienen el elemento de interés, por ejemplo, cobre, molibdeno, zinc, etc.

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

Concentrado de oro: Resultado de un proceso físico químico aplicado al mineral extraído, para obtener en pequeña proporción que contenga oro.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos influirá en la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco – 2024

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) **HE1:** La caracterización de los silicatos asociados a sulfuros polimetálicos influirá significativamente en la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco - 2024.
- b) **HE2:** La determinación de la granulometría óptima en el proceso de flotación experimental influirá significativamente para la recuperación de oro en Nexa Resources – Unidad Atacocha – Pasco – 2024.
- c) **HE3:** La selección del colector adecuado en las pruebas de flotación experimental influirá significativamente para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco - 2024.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

Flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos

2.5.2. Variable dependiente

Recuperación de oro

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente Flotación de silicatos asociados a sulfuros complejos	Proceso físico químico que permiten recuperar el oro por adherencia de las partículas a las burbujas de aire.	Operación que consiste en la separación de los minerales deseados de los estériles, a través de la adherencia de las partículas finas valiosas a las burbujas de aire	Caracterización del mineral	Reconocimiento mineralógico
			Granulometría	Micrones
			Dosificación de colectores	Cm ³ /T
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Dependiente Recuperación de oro	Producto de un proceso físico químico, se obtiene dos productos los minerales deseados y los relaves; lo ideal es alcanzar las máximas recuperaciones y evitar las pérdidas por desplazamiento a las colas o estériles.	Proceso que se obtiene un producto como resultado de la liberación y selección por medios físicoquímicos.	Recuperación de oro	Grado de recuperación de oro

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Esta investigación por el nivel de conocimientos es aplicada, la cual según Carrasco (2017), se caracteriza “por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos, es decir, se investiga para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad” (p. 43). En la presente investigación, a partir de la muestra mineral, obtendremos un concentrado de oro, habiéndose modificado en volumen y modificado las leyes de valores de oro.

3.2. Nivel de investigación

El diseño de investigación es experimental, puesto que se manipuló intencionalmente la variable independiente y no existe un grupo de control; además, los hechos se investigan en un solo momento (Carrasco, 2017).

3.3. Método de investigación

En la investigación se ha empleado el método inductivo - deductivo, el cual como señalan Palomino, Peña, Zaballos y Orizano (2015), “Va de lo general a lo particular, parte del estudio de principios generales, leyes o teorías, para

deducir por medio del razonamiento lógico de suposiciones y llegar a la observación y registro de los datos” (p. 25).

3.4. Diseño de la investigación

El diseño de investigación aplicado al estudio es el diseño factorial debido a que se realiza la manipulación de las dimensiones de la variable independiente que tiene efecto sobre la variable dependiente.

$$Causa \rightarrow Efecto$$

$$X \rightarrow Y$$

El diseño de investigación es experimental cíclico, debido a que las pruebas siguen un proceso sistémico (Bernal, 2016, pág. 146).

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Las reservas probadas del tajo abierto San Genaro, fue desarrollada por la empresa consultora SLR Consulting (Canadá) por encargo de la empresa Nexa Resources S.A.; desarrollo el modelo de bloques, trabajos de anisotropía dinámica, estadísticas de estimación por volumen, validaciones visuales y gráfico de franjas. Paralelo a los trabajos de campo también se revisó los archivos proporcionados por Nexa, como las tablas y figuras de validación y realizó extensas validaciones independientes incluyendo correlaciones estadísticas, validaciones visuales y grafico de franjas, para estimar las reservas al 31 de diciembre del 2023, cuyo resultado se puede observar en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 01: Reservas probables del tajo abierto San Genaro

Categoría	Tonelaje (MM Ton)	Grado			
		% Zn	% Pb	Ag (gr/ton)	Au (gr/ton)
Probable	1,80	1,28	0,87	31,4	0,19
Indicado	3,88	1,05	0,90	29,0	0,24
Total, probable + indicado	5,68	1,12	0,89	29,8	0,22
Inferido	1,70	1,27	1,15	32,7	0,22

Fuente: Reporte técnico elaborado por SRL Consulting (Canada) Ltd.

3.5.2. Muestra

Para la obtención técnica de la cantidad representativa de muestra a obtener se siguió las recomendaciones expresadas en la Teoría de Pierre Gy, y es como sigue:

Factor mineralógico (m):

$$m = \frac{1-a}{a} [(1-a).r + a.t] \text{ ecuación (1)}$$

a = Fracción del mineral de interés.

r = Densidad del mineral de interés.

t = Densidad de la ganga

Factor de liberación (l):

$$l = \sqrt{\frac{L}{d}} \text{ ecuación (2)}$$

Donde:

L = Tamaño de liberación del mineral de interés (cm)

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra (cm)

Constante de muestreo (C):

$$C = f.g.l.m \text{ ecuación (3)}$$

Donde:

f = Factor de forma (0,5), excepto para minerales de oro es 0,2.

g = Factor de distribución de tamaño de partícula (g = 0,25)

l = Factor de liberación

m = Factor mineralógico (g/cm³)

Ecuación básica:

$$M = \frac{C \times d^3}{s^2} \quad \text{ecuación (4)}$$

Donde:

M = Peso mínimo de muestra requerido (gr)

C = Constante de muestreo (g/cm³)

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra (cm)

s = Medida del error estadístico, regularmente es 0,01

Reemplazando datos obtenidos en la ecuación (4), se tiene:

M = 79,54 kg de muestra (Ver anexo 3).

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Las técnicas de recolección de datos a emplearse en este estudio fueron el acopio de datos obtenidos antes, durante y después de la experimentación, la cual “se define como el proceso sistemático de obtención, recopilación y registro de datos empíricos de un objeto, un suceso, un acontecimiento o conducta humana con el propósito de procesarlo y convertirlo en información” (Carrasco, 2017, p. 282).

3.6.2. Instrumentos

De acuerdo con las técnicas empleadas en la investigación experimental, se aplicaron los siguientes instrumentos:

- Para la observación se aplicó la lista de cotejo.

- Para la toma de datos de las pruebas metalúrgicas se diseñó tablas para la incorporación en forma ordenada y coherente los resultados obtenidos, y luego sean resueltas de igual modo (Carrasco, 2017, p. 318).
- Para las pruebas experimentales se hizo uso del software molycop versión 2.0
- De mismo modo se desarrolló las siguientes actividades:

No	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 Balde
5	Reconocimiento mineralógico	Análisis microscópico	Microscopio de opacos Briquetas
6	Análisis cuantitativo	Análisis químico	Equipo de absorción atómica
7	Pruebas de flotación	Flotación	Celda de flotación experimental Cao Colectores Espumantes

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

La validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación, se desarrolló teniendo en cuenta tres factores:

- Verificando el acopio de muestra y procesamiento de este, en calidad y cantidad; del mismo modo, la calidad de los equipos instalados y el grado de preparación de los reactivos.
- Intervención del ser humano en las pruebas metalúrgicas; mostrando su experiencia y capacidad de análisis y dificultades que se presentaron.
- Revisando los antecedentes de fabricación y usos de los colectores sujetos a experimentación.

- b) Intervención del ser humano en las pruebas metalúrgicas; mostrando su experiencia y capacidad de análisis y dificultades que se presentaron.
- c) Revisando los antecedentes de fabricación y usos de los colectores sujetos a experimentación.

La confiabilidad del instrumento fue por juicio de expertos (ver anexo).

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para efectuar el procesamiento de datos se desarrolló los siguientes pasos:

- a) Obtención de información de la muestra a investigar.
- b) Definición de las variables o criterios para ordenar los datos obtenidos en el trabajo de campo y laboratorio.
- c) Definición de las herramientas estadísticas a utilizar en el procesamiento de datos, que para este caso se utilizó las medidas de tendencia central y la prueba estadística Chi cuadrado, para validar la confiabilidad de los instrumentos de investigación.
- d) Introducción de datos al computador y activar el programa para procesar la información.
- e) Obtención de los resultados según criterios previamente establecidos para cada propósito.

3.9. Tratamiento estadístico

Utilizando el software EXCEL y el SPSS 22 se organizó los datos obtenidos en tablas y gráficos; las pruebas de flotación desarrolladas fueron organizadas durante 10 días, y previo a las pruebas se realizó una revisión bibliográfica a los estudios de mineralización del oro en cuerpos mineralizados.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

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 investigación), los procedimientos para la selección de las variables, y la consideración de la repercusión de la investigación sobre la rentabilidad y economía de 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.

El proyecto tenía como objetivo cumplir el tonelaje solicitado por la planta concentradora, toda vez que la producción de las labores mineras descendió notablemente; frente a estos inconvenientes productivos, la superintendencia mina ordeno realizar los envíos del material existente en el tajo San Genaro, que contiene básicamente minerales de zinc en medio arcilloso; sin saber la existencia de oro, hasta que los reportes de laboratorio indicaron la existencia de valores de oro. Con este antecedente se procedió a realizar pruebas preliminares de flotación de oro, para luego a través del diseño de experimentos optimizar las variables de flotación que se utilizará a nivel industrial.

El procedimiento experimental consistió en juntar las muestras traídas por geología de diferentes zonas del tajo San Genaro al laboratorio, aproximadamente 79,54 kg, al pasar por una chancadora de quijada hasta un tamaño aproximado de 1/4", luego pasa a la chancadora de rodillo hasta 90% - m10, finalmente en un tamiz se pasa hasta alcanzar una granulometría de 100% -m16, luego se secó las

muestras para eliminar la humedad, después fueron homogenizadas en el divisor Jones donde son repartidos y pesados en bolsas de 1 kg, seguidamente se determinó la curva de moliendabilidad en el molino de bolas del laboratorio para llegar % -m200 óptimo, con 1 kg de mineral y 500 ml de agua, en dos tiempos de 5 y 10 minutos.

Para las pruebas de flotación se realizó la molienda de 55 y 60 % -m200, con 10 muestras, procediendo a flotar en la celda Denver, para esto se preparó los reactivos en la cantidad y grado de dilución respectivo, la cal se añadió sin dilución. Se realizó el acondicionamiento por 5 minutos a 1000 rpm de agitación, al iniciar la flotación se sube a 1450 rpm la velocidad de la celda, se incrementó colectores, depresores y espumante, de acuerdo al grado de captación del mineral en las espumas (simulando las tres etapas de flotación que se dan en planta: flash, rougher y scavenger), aquí el concentrado obtenido en esta flotación pasa a una siguiente etapa de cleaner en una celda más pequeña donde se le adicionó 1 ml de Z-6 y se acondiciona por 10 minutos, luego se flotó por 2 minutos, al final de la prueba se obtiene un concentrado final, un concentrado cleaner y el relave, los cuales fueron secados en el horno a una temperatura aproximada de 60°C, para luego obtener un peso y enviar al análisis químico a laboratorio para el reporte de sus respectivas leyes de oro, con estos datos se realizó el balance metalúrgico, donde se obtiene el ratio de concentración y el % de recuperación de oro de cada prueba.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Análisis cuantitativo

Para determinar los elementos existentes en las muestras, se analizó por absorción atómica, en el laboratorio de la empresa Nexa Resources SAC, con el siguiente resultado:

Cuadro N° 02: Análisis químico del mineral

Muestra	LEYES, %,* OZ/tms, ** gr/tm							
	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn	Au**
Día 1	1.28	1.05	1.15	0.04	3.58	0.010	0.42	0.33
Día 2	1.31	0.85	1.08	0.04	4.87	0.010	0.32	0.44
Día 3	1.294	0.956	1.117	0.040	4.180	0.010	0.374	0.378

Fuente: Datos obtenidos del laboratorio de la empresa Nexa Resources SAC.

Comentario: Se observa en todas las muestras la presencia de oro, las muestras obtenidas se presentan como un mineral con alta presencia de arcillas.

a) Caracterización macroscópica del mineral

El análisis mineralógico realizado a las muestras permitió determinar sus constituyentes y las respectivas distribuciones volumétricas; del mismo modo los grados de liberación de los minerales presente más significativos, que se muestran en las siguientes tablas:

Cuadro N° 03: Minerales observados macroscópicamente

Minerales	Volumen (%)	Grados de liberación (%)
Calcopirita	1,59	92,31
Esfalerita	22,30	100,00
Galena	15,46	100,00
Pirita	19,39	98,70
Gohetita	2,26	96,98
Gangas	39	98,43
	100,00	

Fuente: Consolidado de las muestras observadas.

Comentario: En la tabla se observa que casi todos los minerales presentes pueden ser liberados entre sí, lo que permite la recuperación de los minerales valiosos y de interés.

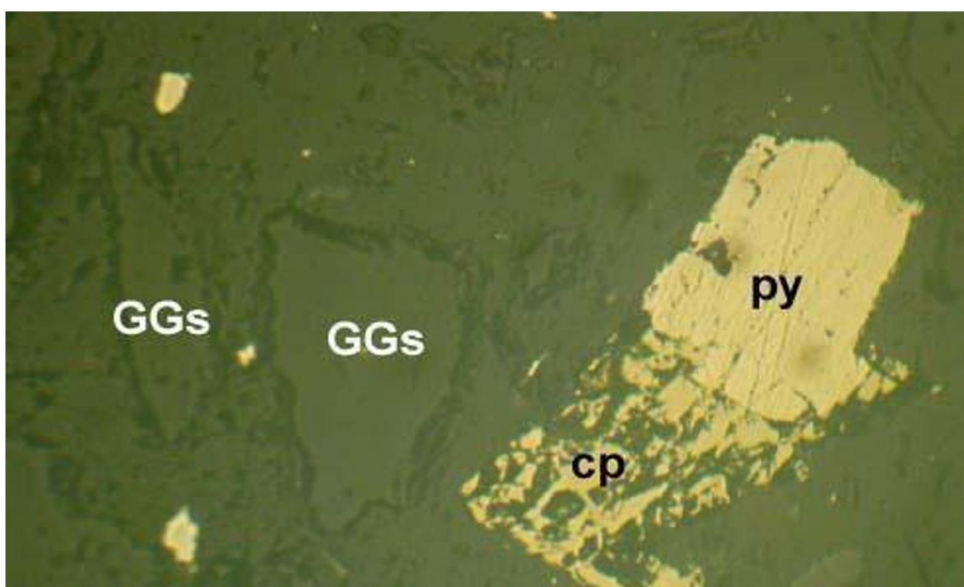
Cuadro N° 04: Grados de liberación y volúmenes de los minerales observados

Minerales			Calcopirita		Esfalerita		Galena		Pirita		Goethita		Gangas	
			N	% V	N	% V	N	% V	N	% V	N	% V	N	% V
Partículas libres	345		28		5		8		26		48		230	
% Partículas libres	100			1,46		21,4		27,33		9,27		12		28,54
Partículas entrelazadas	Número partículas	Volumen porcentual	Calcopirita		Esfalerita		Galena		Pirita		Goethita		Gangas	
cp-py	5	0,24	2,50	0,12					2,50	0,12				
gt-GGs	14	0,68									1,40	0,07	12,60	0,61
Total entrelazados	19	0,93	2,50	0,12					2,50	0,12	1,40	0,07	12,60	0,61

Fuente: consolidado de muestras observadas al microscopio petrográfico Karl Zeiss.

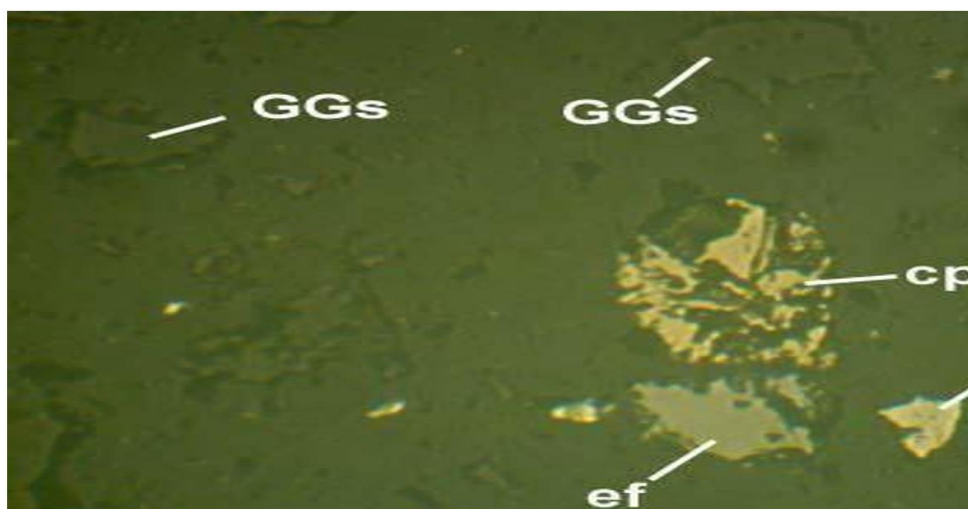
Comentario: En la tabla se observa que existe partículas entrelazadas entre calcopirita – pirita y goethita – gangas, mayormente, después de realizar observaciones al microscopio a 200 X.

Figura N° 01: Briqueita del mineral 1



Fuente: Muestra observada en el microscopio petrográfico del Laboratorio mineralógico UNMSM.

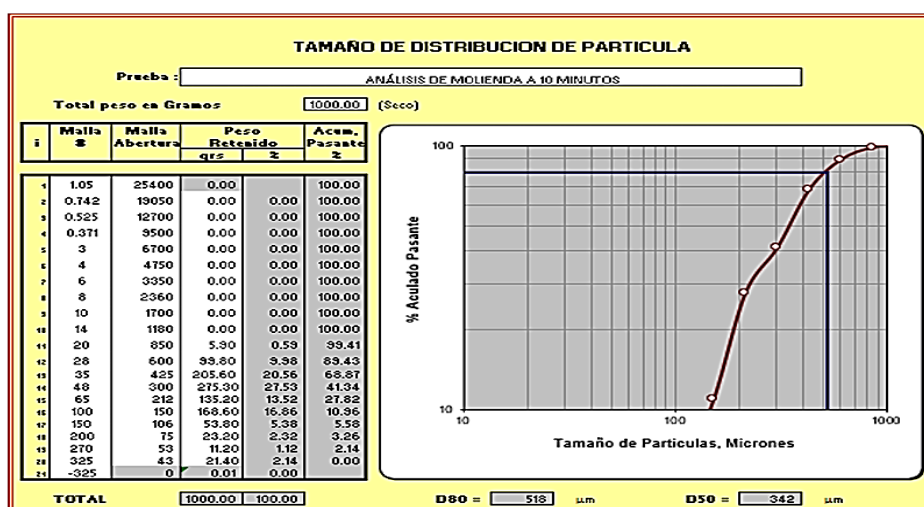
Figura N° 02: Briqueta del mineral 2



Fuente: Muestra observada en el microscopio petrográfico del Laboratorio mineralógico UNMSM.

4.2.2. Análisis granulométrico

Figura N° 03: Análisis granulométrico promedio de molienda experimental



Fuente: Plantilla utilizada del Moly-Cop 2.0

Comentario: En la tabla se observa que a 10 minutos de molienda se obtiene un D80 = 518 μm y a un D50 = 342 μm. Los resultados son la respuesta a 5 ensayos de molienda, cuyos resultados fueron tabulados utilizando la plantilla Molycop 2.0.

4.2.3. Resultados de las pruebas experimentales de flotación en laboratorio A continuación, se presenta las condiciones de las pruebas de flotación realizadas a nivel laboratorio.

Cuadro N° 05: Condiciones de flotación 1

		Prueba de Flotación - Estándar U. A.							
Fecha:	27/02/2024		Peso de Muestra:	1000 gramos					
Muestra:	Muestra Tajo		Molienda:	11 minutos					
Cliente:	Operaciones Planta		Pasante (P80):	micrones					
Responsable:	Homero Pijo		N° Prueba:	FT-2324					
Departamento:	Laboratorio Metalúrgico		Sólidos:	66%					
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T			Parámetros de flotación					
	Danafloat, 468	Z - 6 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)
Molienda						33	2		
Acondicio	1,0	1,0	0,5	2,0	1,0	1000	4	8,5	
Flotación de Pb	0,5	1,0			2,0	1000	3	9,0	5
Total	1,5	2,0	0,5	2,0	3,0	1000	22		5

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 06: Balance metalúrgico de la prueba experimental 1

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: %, Oz/TMS						Contenidos						Distribución			
			Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn
Cabeza	1000,0	100,00	0,384	1,695	1,451	1,165	0,050	3,614	1677,8	7412,8	63,4	50,9	2,2	158,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Concentrado	24,4	2,44	9,514	56,937	51,396	7,287	1,521	6,591	1014,0	6068,0	54,8	7,8	1,6	7,0	60,43	81,86	86,33	15,25
Relave	975,6	97,56	0,150	0,274	0,180	0,129	0,010	3,489	628,5	1149,9	7,5	5,4	0,4	146,2	39,57	18,14	13,67	84,75

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 07: Condiciones de flotación 2

		Prueba de Flotación - Estándar U. A.							
Fecha:	28/02/2024		Peso de Muestra:	1000 gramos					
Muestra:	Muestra Tajo		Molienda:	11 minutos					
Cliente:	Operaciones Planta		Pasante (P80):	micrones					
Responsable:	Homero Pijo		N° Prueba:	FT-2324					
Departamento	Laboratorio Metalúrgico		Sólidos:	66%					
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T			Parámetros de flotación					
	Danafloat, 468	Z - 6 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)
Molienda						33	2		
Acondicio	1,0	1,0	0,5	2,5	1,0	1000	4	8,5	
Flotación de P	1,0	2,0			2,0	1000	3	9,0	5
Total	2,0	3,0	0,5	2,5	3,0	1000	22		5

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 08: Balance metalúrgico de la prueba experimental 2

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: %, Oz/TMS							Contenidos					Distribución			
			Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn
Cabeza	1000,0	100,00	0,251	1,335	1,003	1,029	0,035	3,732	1104,7	5878,1	44,2	45,3	1,5	164,3	100,0	100,0	100,0	100,0
Concentrado	15,7	1,57	8,276	67,068	54,371	6,069	1,430	6,311	570,4	4622,4	37,5	4,2	1,0	4,3	51,64	78,64	84,82	9,23
Relave	948,8	98,48	0,766	2,152	1,572	51,262	0,195	9,350	534,3	1255,7	6,8	41,2	0,5	159,0	48,36	21,36	15,18	90,77

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 09: Condiciones de flotación 3

nexa Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Fecha:	1/03/2024				Peso de Muestra:	1000 gramos			
Muestra:	Muestra Tajo				Molienda:	11 minutos			
Cliente:	Operaciones Planta				Pasante (P80):	micrones			
Responsable:	Homero Pijo				N° Prueba:	FT-2324			
Departamento	Laboratorio Metalúrgico				Sólidos:	66%			
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T			Parámetros de flotación					Aire (psi/min)
	Danafloat, 468	Z - 6 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	
Molienda						33	2		
Acondicio	1,5	2,0	0,5	3,0	1,0	1000	4	8,5	
Flotación de P	1,0	2,0			2,0	1000	3	9,0	5
Total	2,5	4,0	0,5	3,0	3,0	1000	22		5

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 10: Balance metalúrgico de la prueba experimental 3

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: %, Oz/TMS							Contenidos					Distribución			
			Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn
Cabeza	1000,0	100,00	0,230	1,225	1,079	1,009	0,035	3,031	1014,8	5405,6	47,6	44,5	1,5	133,8	100,0	100,0	100,0	100,0
Concentrado	17,1	1,71	7,430	57,159	52,955	6,265	1,403	5,037	560,9	4315,0	40,0	4,7	1,1	3,8	55,27	79,82	83,92	10,62
Relave	983,4	98,34	0,502	2,525	1,716	49,882	0,165	8,914	453,9	1190,6	7,6	39,8	0,5	130,0	44,73	20,18	16,08	89,38

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 11: Condiciones de flotación 4

		Prueba de Flotación - Estándar U. A.								
Fecha:	2/03/2024		Peso de Muestra:	1000 gramos						
Muestra:	Muestra Tajo		Molienda:	11 minutos						
Cliente:	Operaciones Planta		Pasante (P80):	micrones						
Responsable:	Homero Pijo		N° Prueba:	FT-2324						
Departamento	Laboratorio Metalúrgico		Sólidos:	66%						
Condiciones										
Etapas de Flotación	Reactivos g/T			Parámetros de flotación						
	Danafloat, 468	Z -6 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)	
Molienda						33	2			
Acondicio	1,5	2,0	0,5	3,0	1,0	1000	4	8,5		
Flotación de P	1,5	3,0			2,0	1000	3	9,0	5	
Total	3,0	5,0	0,5	3,0	3,0	1000	22		5	

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 12: Balance metalúrgico de la prueba experimental 4

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: %, Oz/TMS						Contenidos						Distribución			
			Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn
Cabeza	1000,0	100,00	0,247	0,909	0,787	0,857	0,03	3,513	1079,6	3968,7	34,3	37,4	1,3	153,4	100,0	100,0	100,0	100,0
Concentrado	12,8	1,28	11,241	51,600	51,167	5,960	1,403	6,749	629,1	2887,5	28,6	3,3	0,8	3,8	58,27	72,76	83,37	8,91
Relave	987,5	98,75	0,560	1,721	1,205	52,014	0,181	8,141	450,5	1081,1	5,7	34,1	0,5	149,6	41,73	27,24	16,63	91,09

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 13: Condiciones de flotación 5

nexa Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Fecha:	3/03/2024				Peso de Muestra:	1000 gramos			
Muestra:	Muestra Tajo				Molienda:	11 minutos			
Cliente:	Operaciones Planta				Pasante (P80):	micrones			
Responsable:	Homero Pijo				N° Prueba:	FT-2324			
Departamento	Laboratorio Metalúrgico				Sólidos:	66%			
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T			Parámetros de flotación					Aire (psi/min)
	Danafloat, 468	Z -6 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	
Molienda						33	2		
Acondicio	1,5	2,0	0,5	3,0	1,0	1000	4	9,0	
Flotación de P	1,5	4,0			2,0	1000	3	9,5	5
Total	3,0	6,0	0,5	3,0	3,0	1000	22		5

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 14: Balance metalúrgico de la prueba experimental 5

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: %, Oz/TMS						Contenidos						Distribución			
			Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn
Cabeza	1000,0	100,00	0,617	1,373	1,085	1,275	0,040	3,589	2696,5	5998,6	47,4	55,7	1,7	156,7	100,0	100,0	100,0	100,0
Concentrado	19,0	1,90	25,267	57,750	48,231	6,834	1,424	7,950	2092,6	4782,7	39,9	5,7	1,2	6,6	77,60	79,73	84,33	10,16
Relave	981,8	98,18	0,851	2,497	1,747	50,637	0,180	9,331	603,9	1216,0	7,4	50,0	0,5	150,2	22,39	20,27	15,67	89,84

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 15: Condiciones de flotación 6

		Prueba de Flotación - Estándar U. A.								
Fecha:	4/03/2024				Peso de Muestra:	1000 gramos				
Muestra:	Muestra Tajo				Molienda:	11 minutos				
Cliente:	Operaciones Planta				Pasante (P80):	micrones				
Responsable:	Homero Pijo				N° Prueba:	FT-2324				
Departamento	Laboratorio Metalúrgico				Sólidos:	66%				
Condiciones										
Etapas de Flotación	Reactivos g/T			Parámetros de flotación						
	Danafloat, 468	Z -6 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)	
Molienda						33	2			
Acondicio	1,5	1,0	0,5	3,0	1,0	1000	4	9,5		
Flotación de P	1,5	1,0			2,0	1000	3	9,8	5	
Total	3,0	2,0	0,5	3,0	3,0	1000	22		5	

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 16: Balance metalúrgico de la prueba experimental 6

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: %, Oz/TMS						Contenidos						Distribución			
			Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn
Cabeza	1000,0	100,00	0,591	1,379	1,070	0,980	0,035	3,430	2562,9	5981,2	46,4	42,5	1,5	148,8	100,0	100,0	100,0	100,0
Concentrado	17,4	1,74	25,717	63,325	52,529	5,696	1,428	7,043	1935,9	4767,0	39,5	4,3	1,1	5,3	75,54	79,70	85,17	10,09
Relave	983,1	98,31	0,740	2,552	1,460	52,691	0,183	8,536	627,0	1114,2	6,9	38,2	0,4	143,4	24,46	20,30	14,83	89,92

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 17: Condiciones de flotación 7

	Prueba de Flotación - Estándar U. A.								
Fecha:	5/03/2024			Peso de Muestra:	1000 gramos				
Muestra:	Muestra Tajo			Molienda:	11 minutos				
Cliente:	Operaciones Planta			Pasante (P80):	micrones				
Responsable:	Homero Pijo			N° Prueba:	FT-2324				
Departamento	Laboratorio Metalúrgico			Sólidos:	66%				
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T			Parámetros de flotación					
	Danafloat, 468	Z - 6 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)
Molienda						33	2		
Acondicio	1,5	1,0	0,5	3,0	2,0	1000	4	9,0	
Flotación de P	1,5	2,0			2,0	1000	3	9,5	5
Total	3,0	3,0	0,5	3,0	4,0	1000	22		5

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 18: Balance metalúrgico de la prueba experimental 7

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: %, Oz/TMS							Contenidos							Distribución						
			Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe		Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe		Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	
Cabeza	1000,0	100,00	0,377	1,502	1,267	1,356	0,045	4,015	1640,5	6533,4	55,1	59,0	2,0	174,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			
Concentrado	21,4	2,14	12,043	56,430	50,961	7,171	1,535	6,743	1122,7	5260,6	47,5	6,7	1,4	6,3	68,43	80,52	86,17	11,33	71,86	3,60			
Relave	979,4	97,94	0,802	2,423	1,719	51,054	0,174	9,747	517,8	1272,9	7,7	52,3	0,5	168,4	31,57	19,48	13,83	88,66	28,14	96,40			

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 19: Condiciones de flotación 8

 Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Fecha:	6/03/2024				Peso de Muestra:	1000 gramos			
Muestra:	Muestra Tajo				Molienda:	11 minutos			
Cliente:	Operaciones Planta				Pasante (P80):	micrones			
Responsable:	Homero Pijo				N° Prueba:	FT-2324			
Departamento	Laboratorio Metalúrgico				Sólidos:	66%			
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T			Parámetros de flotación					
	Danafloat, 468	Z -6 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)
Molienda						33	2		
Acondicio	1,5	2,0	0,5	3,0	2,0	1000	4	9,0	
Flotación de P	1,5	2,0			3,0	1000	3	9,5	5
Total	3,0	4,0	0,5	3,0	5,0	1000	22		5

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 20: Balance metalúrgico de la prueba experimental 8

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: %, Oz/TMS						Contenidos						Distribución					
			Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe
Cabeza	1000,0	100,00	0,399	1,014	0,842	1,146	0,030	3,675	1457,1	3703,6	30,8	41,9	1,1	134,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Concentrado	13,8	1,38	15,279	56,746	52,243	6,863	1,509	5,083	769,2	2856,8	26,3	3,5	0,8	2,6	52,79	77,14	85,49	8,25	71,24	1,91
Relave	986,8	98,68	0,732	2,449	1,322	51,971	0,122	8,287	687,9	846,8	4,4	38,4	0,3	131,6	47,21	22,86	14,51	91,75	28,76	98,05

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 21: Condiciones de flotación 9

		Prueba de Flotación - Estándar U. A.							
Fecha:	7/03/2024		Peso de Muestra:	1000 gramos					
Muestra:	Muestra Tajo		Molienda:	11 minutos					
Cliente:	Operaciones Planta		Pasante (P80):	micrones					
Responsable:	Homero Pijo		N° Prueba:	FT-2324					
Departamento	Laboratorio Metalúrgico		Sólidos:	66%					
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T			Parámetros de flotación					Aire (psi/min)
	Danafloat, 468	Z - 6 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	
Molienda						33	2		
Acondicio	1,0	2,0	0,5	2,0	2,0	1000	4	8,5	
Flotación de P	1,0	3,0			2,0	1000	3	9,0	5
Total	2,0	5,0	0,5	2,0	4,0	1000	22		5

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 22: Balance metalúrgico de la prueba experimental 9

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: %, Oz/TMS							Contenidos						Distribución					
			Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe		Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe
Cabeza	1000,0	100,00	0,305	1,185	0,875	1,193	0,046	4,200		1313,4	5106,8	37,7	51,4	2,0	181,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Concentrado	14,8	1,48	11,127	62,885	50,977	6,262	1,398	5,575		709,7	4010,7	32,5	4,0	0,5	3,6	54,03	78,54	86,19	7,77	49,38	1,96
Relave	985,8	98,58	0,606	2,599	1,211	51,440	0,125	10,705		603,7	1096,1	5,2	37,4	0,5	179,4	45,96	21,46	13,81	92,24	50,62	98,03

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 23: Condiciones de flotación 10

		Prueba de Flotación - Estándar U. A.							
Fecha:	8/03/2024		Peso de Muestra:	1000 gramos					
Muestra:	Muestra Tajo		Molienda:	11 minutos					
Cliente:	Operaciones Planta		Pasante (P80):	micrones					
Responsable:	Homero Pijo		N° Prueba:	FT-2324					
Departamento	Laboratorio Metalúrgico		Sólidos:	66%					
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T			Parámetros de flotación					Aire (psi/min)
	Danafloat, 468	Z - 6 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	
Molienda						33	2		
Acondicio	1,0	2,0	0,5	3,0	1,0	1000	4	9,0	
Flotación de P	2,0	4,0			2,0	1000	3	9,5	5
Total	3,0	6,0	0,5	3,0	3,0	1000	22		5

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 24: Balance metalúrgico de la prueba experimental 10

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: %, Oz/TMS						Contenidos						Distribución					
			Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe
Cabeza	1000,0	100,00	0,351	1,185	0,910	1,135	0,040	3,444	1054,4	3556,8	27,3	34,1	1,2	103,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Concentrado	15,1	1,51	13,454	64,963	52,053	6,105	1,476	5,046	609,1	2941,0	23,6	2,8	0,7	2,3	57,76	82,69	86,28	8,11	71,56	2,21
Relave	968,6	98,55	0,655	2,664	1,226	53,018	0,122	8,170	445,4	615,9	3,7	31,3	0,3	101,1	42,24	17,31	13,72	91,89	28,44	97,77

Fuente: Elaboración Propia

4.2.4. Comparación de la calidad de concentrado de plomo y recuperación de oro En la siguiente tabla se resume las recuperaciones de los tres elementos propuestos a recuperar: oro, plata y plomo y determinar cuál de las combinaciones de reactivos tuvo mayor efectividad en la mejora de calidad del concentrado de plomo.

Cuadro N° 25: Comparación de resultados obtenidos de oro – plata y plomo

Prueba	Recuperaciones (%)		
	Au	Ag	Pb
1	60,43	81,86	86,33
2	51,64	78,64	84,82
3	55,27	79,82	84,82
4	58,27	72,76	83,37
5	77,60	79,73	84,33
6	75,54	79,70	85,17
7	68,43	80,52	86,17
8	52,79	77,14	85,49
9	54,03	78,54	86,19
10	57,76	82,69	86,28

Fuente: Consolidado de los concentrados obtenidos

Comentario: En la tabla se observa que las mejores recuperaciones de oro, plata y plomo se obtienen en pruebas 5, 6 y 7, donde la adición del colector Danafloat 468, asociado al Z-6 en forma prudente, actúa eficientemente sobre los minerales de oro, plata y plomo; también destaca la acción del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ como insumo que actúa sobre los minerales para otorgarle hidrofobicidad.

4.3. Prueba de hipótesis

Hipótesis general: La flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos influirá en la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco – 2024.

a) Formular la hipótesis de investigación

- H_0 : La flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos no influye en la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco – 2024 (hipótesis nula).
- H_a : La flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos influye significativamente en la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco – 2024 (hipótesis alterna).

b) Fijar el nivel de significación (α): $\alpha = 0,05$

c) Estadístico de la prueba: t de Student y significancia p – valor $< 0,05$

Muestra	1	2
Media	46.29	52.59
N	4	4
Varianza	11.49	6.6
Desv. Standard	3.39	2.57

$$\text{Diferencia} = \mu (1) - \mu (2)$$

Estimación de la diferencia: -6.10

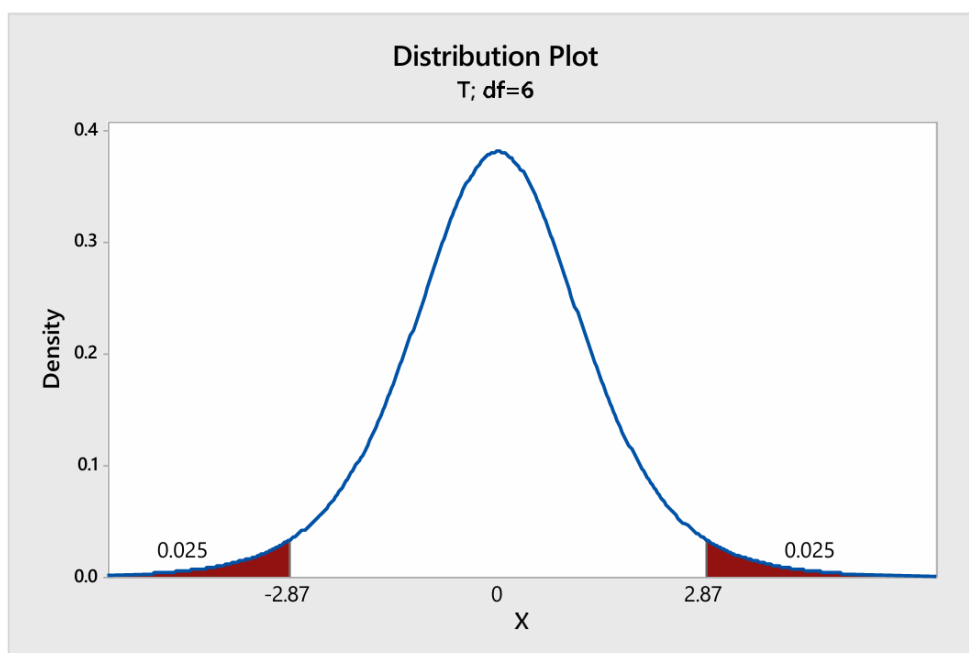
95% CI (intervalo de confianza) para la diferencia: (-11.30; -0.90)

T-Test de diferencia = 0 (vs $\neq$): T-Valor = -2.87 P-Valor = 0.029

DF (grados de libertad) = 6

Ambos utilizan desviación estándar agrupada = 3.0081

Gráfico N° 01: Distribución “t” Student



Fuente: Elaboración Propia

d) Decisión:

Siendo el P valor = 0,029 menor que 2,87, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

e) Conclusión:

Con un nivel de significancia del 0,05, hay evidencia estadística para afirmar que el desarrollo de las pruebas de flotación experimental a los silicatos asociados a sulfuros polimetálicos influye significativamente en la recuperación de oro, toda vez que el estadístico t de Student es 0,029.

En cuanto a las hipótesis específicas, tratándose de una declaración literal como son caracterización de los silicatos asociados a los sulfuros polimetálicos y granulometría óptima, no se considera el tratamiento estadístico; pero por presentarse un problema metalúrgico, se concluye que hay evidencia para rechazar la hipótesis nula y afirmar que la presencia de oro libre en un medio sulfuroso si influye en la flotación de oro.

4.4. Discusión de resultados

Julca (2011); concluye: el reconocimiento al mineral estudiado indicó la presencia de oro electrum, con una distribución volumétrica de 0,86% y 7,41% de grados de liberación. El proceso metalúrgico adecuado de acuerdo a los resultados de la investigación es preconcentración con el concentrador Falcon, seguido de flotación de los relaves del concentrador gravimétrico y adicionando minutos de molienda a los concentrados obtenidos de la preconcentración y flotación, para luego desarrollar el proceso de cianuración, obteniendo una recuperación total de 85.02% de oro, considerado variable dependiente.

En la presente investigación, variando la adición en la concentración de los colectores Danafloat 468 y Z – 6, se obtienen las mayores recuperaciones que van de 68,43% a 77,60% de oro; 79,63% a 80,52% de plata y de 86,17% a 84,33% de plomo como sulfuro; cabe destacar que la presencia del metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), permitió la liberación de los valores metálicos de las arcillas presentes en el mineral, por cierto cuya composición química son silicatos; demostrando que aplicando la flotación se puede recuperar los valores metálicos deseados.

Suca (2017) concluye: el incremento del 25 a 35% de sólidos en el proceso de flotación, mejora la recuperación en 1,5375 de efecto, la adición del colector A – 238, en diferentes concentraciones, no mejora la recuperación; el incremento en el tiempo de residencia de 7 a 10 minutos si mejora la recuperación con un efecto de 1,0476 y como resultado del diseño experimental se tiene que las variables % de sólidos y tiempo de residencia inciden en la recuperación de oro.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos por flotación del mineral extraído del tajo San Gregorio, en la empresa Nexa Resources, demuestran que está compuesto básicamente de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos, sugiere que el proceso tecnológico seguido de flotación es el adecuado, principalmente por la recuperación de oro, obteniendo la mayor recuperación de 77,60%.
2. El reconocimiento de los minerales es el punto de partida para la determinación del proceso tecnológico a seguir para la recuperación de oro y los valores complementarios; las pruebas macro y microscópicas demuestran la presencia de calcopirita, esfalerita, galena, pirita, goethita y gangas, no se observa oro libre, solo se demuestra después de haber realizado los ensayos químicos y las asociaciones que se observa son: calcopirita – pirita y goethita – gangas.
3. Las observaciones al microscopio del mineral molido experimentalmente, durante 10 minutos, demuestra que casi el 100% logra liberarse de las asociaciones, debido a que la mayor cantidad de mineral presente son arcillas, con dureza baja, producto de su formación geológica; siendo el tiempo de molienda utilizado, el óptimo.
4. Para la mayor recuperación de oro por flotación, el colector Danafloat 468, influyó directamente debido a su capacidad selectiva; del mismo modo para la plata y el colector Z-6 actuó sobre la galena. El metabisulfito de sodio actuó como liberador de arcillas, todo el proceso de flotación a un pH 9, previa molienda de 10 minutos, tiempo de acondicionamiento de 3 minutos y flotación por 5 minutos.

RECOMENDACIONES

1. Realizar más pruebas metalúrgicas, con diversos colectores solos o formando sinergias para lograr las mejores recuperaciones.
2. Evaluar la posibilidad de reemplazar al metabisulfito de sodio, con otros reactivos para la mayor liberación de los valores metálicos.
3. Realizar mayores experiencias para obtener la granulometría adecuada y acondicionamiento óptimo y recuperar valores de oro y plata.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Abarca, J. (2011). Flotación de minerales. Lima: JFSC.
- Acosta, A. (2015). Metalurgia de pórfidos de cobre - arsénico - oro. Lima: INGEMMET.
- Addison, R. (1986). Gold and Silver Extraction from Sulfides ores. Mining Congress Journal (págs. 47 - 54). Melbourne: Congress.
- Argall, G. (1984). Precious Metals Extraction. International Mining (págs. 32 - 44). Utha: Congress.
- Azañero, A. (1984). Flotación del mineral de mina San Gregorio. Lima: Banco Minero.
- Azañero, A. (1999). Modelos matemáticos para simular flotación industrial a partir de pruebas de laboratorio. Instituto de Investigación de la FIGMMCG - UNMSM, 69 - 83.
- Azañero, A. (2002). Concentración y flotación de minerales. Lima: UNMSM.
- Bergamashi, G. (1987). Oro. Madrid - España: Mondadori.
- Cánepa, C. (1992). Mineralogía del Oro y su significación en Metalurgia. Lima: Tecsup.
- Castro, S. (2006). Flotación: Fundamentos y Aplicaciones. Concepción: Universidad de Concepción.
- Dana, E. (1981). Tratado de mineralogía. México: Continental.
- Dana, J. (1992). Mineralogía de Dana. Madrid - España: Reverte.
- Dorr, J. (1956). Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores. New York: McGraw-Hill.
- Filmer, A. (1982). The Dissolution of Gold from roasted Pyrite Concentrates. Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy (págs. 90 - 94). Johannesburgo: Journal Institute.
- Guzman, L. (2015). Flotación de minerales. Lima: Molycop Adesur.
- Hurtado, H. (2003). Oro oculto en el Perú. Lima: UNAS.

- Medina, O. (1976). Tecnología de la flotación. Lima: UNI.
- Misari, F. (2010). Metalurgia del Oro. Lima: CEPETEC.
- Pavez, O. (2010). Apuntes de concentración de minerales I. Atacama: Universidad de Atacama.
- Rio, J. (1982). Método de producción y análisis fisico químico del plomo y sus óxidos. Lima: UNMSM.
- Rivera, G. (1960). Mineralogía descriptiva. Lima: UNMSM.
- Smith, K. (2005). Manual del Falcon Concentrator. Australia: Falcon.
- Sotillo, F. (1985). Sulfurización y flotación de cerusita y galena. III Simposium de Metalurgia (págs. 73 - 93). Lima: UNI.
- Sutulov, A. (1963). Flotación de minerales. Concepción: Universidad de Concepción.
- Trujillo, W. (1991). Estudio termodinámico del proceso de cloruración para la recuperación de Pb - Ag de minerales oxidados. Lima: UNMSM.
- Van, M. (2006). Nuevas Aplicaciones de Concentración Centrífuga. VI Simposio Internacional de Mineralurgia. Lima: Tecsup.
- Varios. (2008). Compañías mineras productoras de Oro en el Mundo y el Perú. Mundo Minero, págs. 70 - 72.
- Varios. (2008). Conferencias. VIII Simposium Internacional del Oro (pág. 257). Lima: snmp.
- Wills, B. A. (1991). Mineral Processing Technology. Mexico: Pergamon Press.

ANEXOS

ANEXO 01: Instrumentos de recolección de datos

a) Análisis granulométrico

No	Malla	Abertura de malla	Peso retenido		Acumulado pasante (%)
			Gr	%	
1	3	6700			
2	4	4750			
3	6	3350			
4	8	2360			
5	10	1700			
6	14	1180			
7	20	850			
8	28	600			
9	35	425			
10	48	300			
11	65	212			
12	100	150			
13	150	106			
14	200	75			
15	270	53			
16	325	43			

b) Ensayos químicos

Muestra	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn	Au**
Día 1								
Día 2								
Día 3								

c) Balances metalúrgicos

[illegible]

ANEXO 02: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TEMA: Flotación de Silicatos Asociados a Sulfuros Polimetálicos para la Recuperación de Oro en NEXA RESOURCES – ATACOCHA – PASCO - 2024

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores
General ¿Cómo influye la flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco - 2024?	General Determinar la influencia de la flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco – 2024	General La flotación de silicatos asociados a sulfuros polimetálicos influirá en la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco – 2024	Independiente flotación experimental de silicatos asociados a sulfuros complejos	Caracterización del mineral	Reconocimiento mineralógico
				Granulometría	Micrones
				Dosificación de colectores	Cm ³ /T
Específicos ¿Cuál es la caracterización de los silicatos asociados a sulfuros polimetálicos que intervienen en la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco - 2024? ¿Cuál es la granulometría óptima en el proceso de flotación experimental para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco - 2024? ¿Cómo influye la selección del colector en la flotación experimental para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, - 2024?	Específicos Caracterizar los silicatos asociados a sulfuros polimetálicos que intervienen en la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco - 2024. Determinar la granulometría óptima en el proceso de flotación experimental para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco – 2024 Seleccionar el colector adecuado en las pruebas de flotación experimental para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco - 2024.	Específicos La caracterización de los silicatos asociados a sulfuros polimetálicos influirá significativamente en la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco - 2024. La determinación de la granulometría óptima en el proceso de flotación experimental influirá significativamente para la recuperación de oro en Nexa Resources – Unidad Atacocha – Pasco – 2023 La selección del colector adecuado en el proceso de flotación experimental influirá significativamente para la recuperación de oro en Nexa Resources – Atacocha, Pasco - 2024.	Dependiente Recuperación de oro	Grado de recuperación de oro	%

ANEXO 03: CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA

Factor mineralógico (m):

$$m = \frac{1-a}{a} [(1-a).r + a.t] \text{ ecuación (1)}$$

a = Fracción del mineral de interés = 0,50

r = Densidad del mineral de interés = 3,28

t = Densidad de la ganga = 2,72

Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$m = \frac{1-0,5}{0,5} [(1-0,5).3,28 + 0,5 * 2,72] = 3,00$$

Factor de liberación (l):

$$l = \sqrt{\frac{L}{d}} \text{ ecuación (2)}$$

Donde:

L = Tamaño de liberación del mineral de interés = 0,1cm

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra = 5,0 cm

Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$l = \sqrt{\frac{0,1}{5,0}} = 0,1414$$

Constante de muestreo (C):

$$C = f.g.l.m \text{ ecuación (3)}$$

Donde:

f = Factor de forma (0,5), excepto para minerales de oro es 0,2.

g = Factor de distribución de tamaño de partícula (g = 0,25)

l = Factor de liberación = 0,1414

m = Factor mineralógico = 3,00 g/cm³

reemplazando en la ecuación se tiene:

$$C = 0,2 * 0,25 * 0,1414 * 3,00 = 0,053$$

Ecuación básica:

$$M = \frac{C \times d^3}{s^2} \quad \text{ecuación (4)}$$

Donde:

M = Peso mínimo de muestra requerido (gr)

C = Constante de muestreo = 0,053 g/cm³

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra = 5,0 cm

s = Medida del error estadístico, regularmente es 0,01

Reemplazando en la ecuación (4) se tiene:

$$M = \frac{0,02121 \times 5^3}{0,01^2} = 79,54 \text{ Kg}$$

M = 79,54 kg de muestra.

ANEXO 04: VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

ANEXO 4: VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y nombres del experto: LUNA PORTILLO, Héctor
- 1.2 Grado Académico: Ingeniero Metalúrgico
- 1.3 Cargo e institución donde labora: Cía Minera LAS BAMBAS
- 1.4 Título de la investigación: FLOTACIÓN EXPERIMENTAL DE SILICATOS ASOCIADOS A SULFUROS POLIMETÁLICOS PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO EN NEXA RESOURCES – ATACOCHA – PASCO - 2024
- 1.4 Autor del instrumento: Yermany Jhonatan DURAN CASTRO
- 1.5 Tesis: Ingeniero metalúrgico
- 1.6 Nombre del instrumento: Validez del instrumento

INDICADORES	CRITERIOS CUALITATIVOS/CUANTITATIVOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41- 60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado en lenguaje apropiado					X
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables					X
3. ACTUALIDAD	Adecuado al alcance de la ciencia y tecnología					X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad				X	
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de estudio				X	
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos – científicos y del tema de estudio				X	
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables				X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio				X	
10. CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías					X
SUB TOTAL						
TOTAL						81%

VALORACION CUANTITATIVA (Total x 0.20): 12.00

VALORACION CUALITATIVA:

OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

Lugar y fecha: 12/03/2024

.....
Firma del experto

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y nombres del experto: CHICCHEAPAZA DEUDOR, Aldo
1.2 Grado Académico: Ingeniero Metalúrgico
1.3 Cargo e institución donde labora: SENATI - Oroya
1.4 Título de la investigación: FLOTACIÓN EXPERIMENTAL DE SILICATOS ASOCIADOS A SULFUROS POLIMETÁLICOS PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO EN NEXA RESOURCES – ATACUCHA – PASCO – 2024
1.5 Autor del instrumento: Yermany Jhonatan DURAN CASTRO
1.6 Tesis: Ingeniero metalúrgico
1.7 Nombre del instrumento: Validez del instrumento

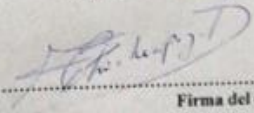
INDICADORES	CRITERIOS CUALITATIVOS/CUANTITATIVOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41- 60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
10. CLARIDAD	Está formulado en lenguaje apropiado					X
11. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables					✓
12. ACTUALIDAD	Adecuado al alcance de la ciencia y tecnología				✓	
13. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					✓
14. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad				✓	
15. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de estudio				X	
16. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos – científicos y del tema de estudio				✓	
17. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables				✓	
18. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio				✓	
10. CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías				X	
SUB TOTAL						
TOTAL						34

VALORACION CUANTITATIVA (Total x 0.20): 18,50

VALORACION CUALITATIVA:

OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

Lugar y fecha: H. Oroya


Firma del experto

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTO

1. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y nombres del experto: MAUTINO ROSALES, Marco Antonio
1.2 Grado Académico: Ingeniero Metalúrgico
1.3 Cargo e institución donde labora: Cía. Minera Volcan - Alpamarca
1.4 Título de la investigación: FLOTACIÓN EXPERIMENTAL DE SILICATOS ASOCIADOS A SULFUROS POLIMETÁLICOS PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO EN NEXA RESOURCES – ATACUCHA – PASCO – 2024
1.5 Autor del instrumento: Yermany Jhonatan DURAN CASTRO
1.6 Tesis: Ingeniero metalúrgico
1.7 Nombre del instrumento: Validez del instrumento

INDICADORES	CRITERIOS CUALITATIVOS/CUANTITATIVOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
19. CLARIDAD	Está formulado en lenguaje apropiado				X	
20. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables				X	
21. ACTUALIDAD	Adecuado al alcance de la ciencia y tecnología					X
22. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
23. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad				X	
24. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de estudio					X
25. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos – científicos y del tema de estudio				X	
26. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables				X	
27. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio				X	
10. CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías				X	
SUB TOTAL						
TOTAL						81.00

VALORACION CUANTITATIVA (Total x 0.20): 17.00

VALORACION CUALITATIVA:

OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

Lugar y fecha: P. 17/03/2024


Firma del experto