

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA
METALURGICA



T E S I S

**Evaluación experimental por flotación en la recuperación de oro de relaves
antiguos de minera “La Nacional” - Huachón – Pasco - 2024**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autores:

Bach. Franklin Emerson CAYETANO CRISTOBAL

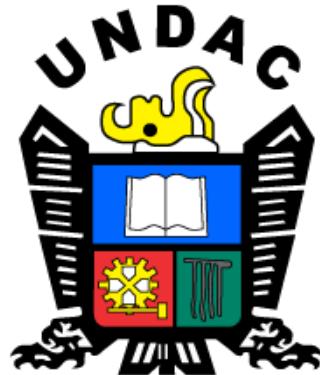
Bach. Luis Alberto COSME CARHUACHIN

Asesor:

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO

Cerro de Pasco – Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA
METALURGICA



T E S I S

**Evaluación experimental por flotación en la recuperación de oro de relaves
antiguos de minera “La Nacional” - Huachón – Pasco - 2024**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eusebio ROQUE HUAMAN
PRESIDENTE

Mg. Uldarico USURIAGA LOPEZ
MIEMBRO

Mg. Carlos Lizardo ACOSTA CRESPO
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 324-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23º 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:

**Evaluación experimental por flotación en la recuperación de oro de
relaves antiguos de minera “La Nacional” - Huachón – Pasco - 2024**

Apellidos y nombres de los tesis

Bach. Franklin Emerson CAYETANO CRISTOBAL.
. Bach. Luis Alberto COSME CARHUACHIN

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

5 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 23 de setiembre del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Rubén Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.09.2025 09:26:51 -05:00

DEDICATORIA

Dedicamos el presente trabajo a nuestros padres por el amor y apoyo brindados durante esta etapa universitaria, así como por los esfuerzos y sacrificios que realizaron para cumplir el objetivo trazado.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos al divino por brindarnos salud y vida, pilares importantes para convertirnos en personas de bien, respetando la vida; igualmente, extendemos nuestro agradecimiento a nuestra alma mater, la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, representada en sus docentes y en nuestros compañeros de carpeta, con quienes formamos una amistad duradera.

RESUMEN

El presente estudio titulado "Evaluación experimental por flotación en la recuperación de oro de relaves antiguos de minera "La Nacional" - Huachón – Pasco – 2024", tiene como objetivo general determinar la influencia de la evaluación experimental por flotación en la recuperación de oro de relaves. Los problemas abordados fueron la caracterización mineralógica, el grado de liberación de oro y para el proceso de flotación, la adecuada selección de colectores, acondicionadores de superficie a un pH adecuado. Con enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y a nivel explicativo, se empleó el método analítico. Se preparó una muestra de 50 kg. Extraído bajo el diseño de muestreo tipo redes, con calicatas a una profundidad aproximada de 2,00 metros. Se utilizó el diseño factorial 2^3 para simplificar las pruebas de flotación, se eligió las variables más influyentes como son: colector Danafloat 468, pH y tiempo de flotación; con resultados que superan el 70% de recuperación de oro, con un error medio cuadrático de 3,33%, inferior al 5%.

En conclusión, la caracterización geo metalúrgica y el proceso de flotación influyen en la recuperación de metales de oro a partir de los relaves antiguos extraídos.

Palabras claves: Caracterización mineralógica, granulometría, variables fisicoquímicas, recuperación de oro.

ABSTRACT

The present study entitled “Experimental evaluation by flotation in the recovery of gold from old tailings of the mine “La Nacional” – Huachon – Pasco – 2024”, has as general objective to determine the influence of the experimental evaluation by flotation in the recovery of gold from tailings. The problems addressed were the mineralogical characterization, the degree of gold release and for the flotation process, the adequate selection of collectors, surface conditioners at an adequate pH. With a quantitative approach, of an applied type and at an explanatory level, the analytical method was used. A 50 kg sample was prepared. Extracted under the network type sampling design, with pits at an approximate depth of 2,00 meters. The 23 factorial design was used to simplify the flotation tests, the most influential variables were chosen such as: Danafloat 468 collector, pH and flotation time; with results exceeding 70% gold recovery, with a root mean square error of 3,33%, less than 5%.

In conclusion, geometallurgical characterization and the flotation process influence the recovery of gold metals from mined old tailings.

Keywords: Mineralogical characterization, particle size distribution, physicochemical variables, gold recovery.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación evalúa la recuperación de oro de relaves antiguos mediante flotación, considerando su caracterización mineralógica y variables clave del proceso. La geometalurgia permite entender la distribución del oro en estos residuos, lo que es esencial para diseñar un método eficiente. Dado que los relaves contienen oro con contenido de mercurio y representan un riesgo ambiental, su reprocesamiento podría generar beneficios económicos y reducir su impacto en el ecosistema. Consta de cuatro capítulos distribuidos del siguiente modo:

Capítulo I: se presenta el problema de investigación, identificando y delimitando claramente el tema en estudio. Se describe la problemática, complementado con la formulación del problema general, específicos, así como los objetivos que se pretende alcanzar. Se justifica la importancia del estudio en términos de su relevancia y las limitaciones que enfrenta la investigación.

Capítulo II: Describe los antecedentes como guía para contrastar a los resultados obtenidos, seguido del marco teórico, identificación de variables, dimensiones e indicadores, formulación de hipótesis y definición de términos utilizados con mayor frecuencia.

Capítulo III: Desarrolla la metodología de investigación, especificando el tipo y nivel de investigación, así como los métodos y diseño aplicado. La presente investigación tiene enfoque cuantitativo, método analítico. Se cubicó las reservas probadas que es la población a estudiar y muestra se ha obtenido por el método de aleatoriedad, del mismo modo se describen las técnicas e instrumentos de recolección de datos, así como los procedimientos de validación y análisis estadístico de los datos obtenidos.

Capítulo IV contiene los resultados y discusión, donde se presenta el análisis detallado de los datos recolectados en campo y en laboratorio. Se incluyen las pruebas de

hipótesis, evaluando el impacto de las variables independientes (caracterización geo metalúrgica) sobre la variable dependiente (recuperación de Au). A través del análisis estadístico, se identifican los factores más influyentes y se discuten los resultados en relación con estudios previos y la teoría presentada en el marco teórico.

Finalmente, las conclusiones y recomendaciones proporcionan un resumen de los hallazgos clave y sugieren vías de acción para la mejora del proceso productivo a seguir cuando se produzca a nivel industrial

Los autores

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.2.1.Espacial	2
1.2.2.Temporal	2
1.3. Formulación del problema.....	2
1.3.1.Problema general	2
1.3.2.Problemas específicos	2
1.4. Formulación de objetivos	3
1.4.1.Objetivo general.....	3
1.4.2.Objetivos específicos	3
1.5. Justificación de la investigación.....	3
1.5.1.Justificación teórica	3
1.5.2.Justificación Práctica	3
1.5.3.Justificación Metodológica	4
1.5.4.Justificación Económica	4
1.6 Limitaciones de la investigación.....	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	6
2.1.1.	Antecedentes internacionales	6
2.1.2.	Antecedentes nacionales	7
2.1.3.	Antecedentes Locales.....	9
2.2.	Bases teóricas - científicas	10
2.2.1.	Proceso de flotación de minerales.....	10
2.2.2.	Clasificación de flotación de minerales	11
2.2.3.	Fundamento teórico de la flotación de relaves auríferos producto de la amalgamación	11
2.2.4.	Teoría química de la oxidación superficial	14
2.2.5.	Teoría de semiconductores	14
2.2.6.	Teoría electroquímica	15
2.2.7.	Teoría de la absorción física	17
2.2.8.	Variables del proceso de flotación	18
2.3.	Definición de términos básicos.	20
2.4.	Formulación de hipótesis.....	20
2.4.1.	Hipótesis general.....	20
2.4.2.	Hipótesis específicas	20
2.5.	Identificación de variables.....	21
2.5.1.	Variable dependiente	21
2.5.2.	Variable independiente	21
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	21

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	22
3.2.	Nivel de investigación	22
3.3.	Método de investigación	22
3.4.	Diseño de investigación.....	23
3.5.	Población y muestra	23
3.5.1.	Población.....	23
3.5.2.	Muestra	23
3.6.	Técnicas e instrumento recolección de datos	23
3.6.1.	Técnicas	23
3.6.2.	Instrumentos	24
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	24
3.7.1.	Selección de instrumentos de investigación	24
3.7.2.	Validación de instrumentos.....	25
3.7.3.	Evaluación de la confiabilidad.....	25
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	26
3.8.1.	Procesamiento de datos.....	26
3.8.2.	Ánálisis de datos	26
3.9.	Tratamiento estadístico.....	27
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	27

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	28
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	29

4.2.1. Análisis cuantitativo.....	29
4.2.2. Análisis granulométrico	29
4.2.3. Análisis mineralógico	30
4.2.4. Pruebas experimentales a nivel laboratorio	32
4.2.5. Análisis de datos y ajuste del modelo	40
4.3. Prueba de hipótesis	43
4.4. Discusión de resultados	45

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables.....	21
Tabla 2 Análisis químico del mineral	29
Tabla 3 Análisis granulométrico del composito	29
Tabla 4 Variables interviniientes	34
Tabla 5 Diseño factorial 2^3	35
Tabla 6 Prueba de flotación 1	35
Tabla 7 Prueba de flotación 2	36
Tabla 8 Prueba de flotación 3	37
Tabla 9 Prueba de flotación 4	37
Tabla 10 Prueba de flotación 5	38
Tabla 11 Prueba de flotación 6	39
Tabla 12 Prueba de flotación 7	39
Tabla 13 Prueba de flotación 8	40
Tabla 14 Diseño factorial con resultados.....	41
Tabla 15 Efecto de las variables en las pruebas de flotación.....	41
Tabla 16 Resultados del modelo matemático propuesto.....	42
Tabla 17 Prueba de normalidad	43
Tabla 18 Análisis de varianza.....	44
Tabla 19 Prueba de “t” de Student.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación de flotación de minerales	11
Figura 2 Semiconductores	15
Figura 3 Diagrama del potencial de corriente.....	17
Figura 4 Microfotografía de mineral aurífero.....	30
Figura 5 Microfotografía de oro nativo	31
Figura 6 Microfotografía de oro fino.....	31
Figura 7 Microfotografía de oro grueso.....	32
Figura 8 Prueba de normalidad de Anderson Darling	44
Figura 9 Plantilla para determinar el análisis granulométrico	51
Figura 10 Tabla estándar de las pruebas de flotación	51
Figura 11 Tabla estándar de balances metalúrgicos	52
Figura 12 Lista de Cotejo	52
Figura 13 Matriz de Consistencia.....	53
Figura 14 Vista de la antigua Planta de la “Minera Nacional.....	54
Figura 15 Recolección de muestras en la antigua Planta de la “Minera Nacional”	54

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

En el distrito de Huachón, operó la empresa italiana “La Nacional”, extrayendo oro, desde los años 1930 a 1946, bajo el sistema de explotación subterránea y el procesamiento lo realizó por amalgamación. Los reportes de mina encontrados indican que las leyes de corte (Cut off) mina superaban la onza de oro/tonelada métrica de mineral, las vetas tenían un relleno mineralizante continuo, con una potencia que van de 0,80 metros hasta 1,80 metros; de manera que se tiene apreciables valores de oro en los relaves.

Los relaves se encuentran depositados al borde del río Huachón, con una reserva aproximada de 650 toneladas; y la mayor parte del relave fue arrastrado por las aguas pluviales al río en mención, ocasionando una grave contaminación al ecosistema y pérdida de valores que podría recuperarse en un segundo tratamiento.

De continuar el depósito de relaves muy cercano al río, la tendencia es el desplazamiento hacia las partes bajas y pérdida definitiva de valores de oro.

Esta realidad nos permite, desarrollar una evaluación metalúrgica y de ser técnica y económica rentable, realizar el pilotaje correspondiente para optimizar variables e implementar a escala industrial.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Espacial

El desarrollo del presente trabajo se desarrolló con el material, insumos y laboratorios de la empresa Consorcio Minero Sunec.

1.2.2. Temporal

El trabajo de investigación comprendió diez meses (marzo – diciembre del 2024).

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo influye la evaluación experimental por flotación en la recuperación de oro de relaves antiguos de Minera “La Nacional” - Huachón – Pasco - 2024?

1.3.2. Problemas específicos

- a. PE1: ¿Cuál es la caracterización mineralógica de los relaves antiguos que intervienen en la recuperación de oro de Minera “La Nacional” – Huachón – Pasco - 2024?
- b. PE2: ¿Cuál es la granulometría óptima para la evaluación experimental por flotación en la recuperación de oro de relaves antiguos de Minera “La Nacional” – Huachón – Pasco - 2024?
- c. PE3: ¿Cómo influye la selección del colector en la flotación experimental para la recuperación de oro de relaves antiguos de minera “La Nacional” – Huachón – Pasco - 2024?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la evaluación experimental por flotación en la recuperación de oro de relaves antiguos de Minera “La Nacional” - Huachón – Pasco - 2024

1.4.2. Objetivos específicos

- a. OE1: Caracterizar mineralógicamente los relaves antiguos que intervienen en la recuperación de oro de Minera “La Nacional” – Huachón – Pasco - 2024.
- b. OE2: Evaluar la granulometría óptima para la evaluación experimental por flotación en la recuperación de oro de relaves antiguos de Minera “La Nacional” – Huachón – Pasco - 2024
- c. OE3: Evaluar la influencia de la selección del colector en la flotación experimental para la recuperación de oro de relaves antiguos de minera “La Nacional” – Huachón – 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, la máxima recuperación de oro.

1.5.2. Justificación Práctica

Pávez (2009), afirma que “de acuerdo con la adecuada selección de las variables y dimensiones que intervienen en la investigación, se puede tener resultados satisfactorios”.

De acuerdo con la selección previa de los colectores y evaluado experimentalmente, los procesos industriales tendrán recuperaciones adecuadas de concentrados de oro.

1.5.3. Justificación Metodológica

En las instituciones académicas, se viene desarrollando capacitación bajo las 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 que se debe cumplir para lograr sustentar la tesis.

1.5.4. Justificación Económica

Teniendo en cuenta que en la zona de disposición de relave de la minera antigua “El Nacional” existe un depósito de 650 toneladas con apreciable contenido de oro materia de este estudio y adicionalmente plata y cobre; donde los análisis químicos realizados arrojan una ley de cabeza promedio de 18,2 g. de Au, 21,5 g. de Ag y 0.45 % de Cu (tabla 6); con la muestra tomada se han realizado pruebas de flotación, donde los cálculos dan un resultado de 70% de recuperación de Au y además la Ag y el Cu.

Por otro lado, tomando como dato referencial el costo de una onza troy de Au en el mercado internacional es 3 406.56 dólares, hemos estimado una utilidad por encima de 5 mil millones de dólares una vez se haga realidad el presente estudio.

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, pero ya es escaso los yacimientos existentes para el procesamiento a nivel industrial, siendo una limitación para corroborar los trabajos experimentales

actualizados, convirtiéndose en un reto para desarrollar tecnología propia adecuada a la mineralización.

Temporales. – Los trabajos experimentales se limitaron a tiempos cortos, realizando la investigación de forma transversal, para obtener la respuesta adecuada que nos permita recuperar el oro presente en el depósito de relaves existente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. 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, los ensayos realizados evidenciaron que la combinación óptima de Xantato Amílico Potásico (PAX) como colector, Methyl Isobutyl Carbinol (MIBC) como espumante y sulfato de cobre (CuSO_4) como activador permitió alcanzar las mayores recuperaciones, obteniéndose hasta 58,3 g/t de oro en el primer minuto de flotación y resultados destacados para plata. Se determinó que condiciones específicas como una densidad de pulpa de 30% sólidos - 70% líquido, junto con un

control estricto del pH (7-9), son fundamentales para optimizar el proceso. Contrariamente, el uso de sulfato de zinc (ZnSO) mostró efectos negativos, disminuyendo la eficiencia de recuperación. Estos hallazgos resaltan la importancia de una selección cuidadosa de reactivos y condiciones operativas para maximizar el rendimiento en la concentración de minerales auríferos complejos.

- 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.

2.1.2. 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 con 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.

2.1.3. Antecedentes Locales

- Panez, Margot (2020) en la tesis “*Recuperación del oro del mineral ripio oxidado mediante procesos hidrometalúrgicos en la Empresa Corporación Minera Centauro S.A.C*”, Para optar el título profesional de: Ingeniero Metalurgista - Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión; tiene como objetivo la recuperación de oro de un mineral ripio oxidado y así poder realizar el escalamiento a un nivel industrial, La metodología usada es una investigación inductivo- deductivo y de nivel descriptiva. En lo cual se realizaron pruebas metalúrgicas, para determinar las condiciones operativas óptimas de las principales variables de los procesos de conminución(granulometría), extracción (la alteración o mineralogía del mineral, el tipo de extracción) y recuperación del oro (concentración del cianuro) del mineral ripio oxidado. Concluye lo siguiente: la granulometría del mineral ripio oxidado para su recuperación es de -13 mm con una dosificación de ratio de cal de 0,8 kg/t y 0,9 kg/t. Y en cuanto a las alteraciones mineralógicas con la cual se hizo las pruebas, se obtuvo los siguientes resultados la recuperación de oro en brechas de 51% a 59% y en sílice transicional una recuperación de 39 % a 44 %. En el proceso de curado la concentración de cianuro para las 6 pruebas de cianuración en columnas se utilizaron las siguientes :0,1 % NaCN;0,12% NaCN y 0,15% NaCN con un ph 11,0; en la cual solo la prueba N°7 se realizó

sin el proceso de curado para poder ver la influencia del curado, que es un 9% en la recuperación de oro, y para la lixiviación una concentración de 0,012% NaCN.

- Palma Miguel (2020) En la tesis “*Evaluación del consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero para la recuperación de oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro S.A.C*”. Para optar el título profesional de Ingeniero Metalurgista - Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión; donde el objetivo consiste en Evaluar el consumo de cianuro en el tratamiento del mineral aurífero para recuperar el oro en la Corporación Minera Chancadora Centauro, basándonos en un diagrama de tratamiento que consiste en el lavado alcalino de la pulpa, aireado con cal y adición de óxido de plomo, tratamiento que se aplicó previamente a la cianuración del mineral. Concluye que los resultados obtenidos demuestran que, en los tres tratamientos evaluados, se logró una recuperación significativa del 92,84 % y un consumo de NaCN de 3,78 kg/TM, es el aireado alcalino el que ejerce mayor efecto sobre la recuperación de oro y la disminución del consumo de NaCN alcanzando niveles de 86,78 % y 3,81 kg/TM respectivamente, los mismos que mejoran al 76,39 % y 4,93 kg/TM del mineral sin tratamiento previo

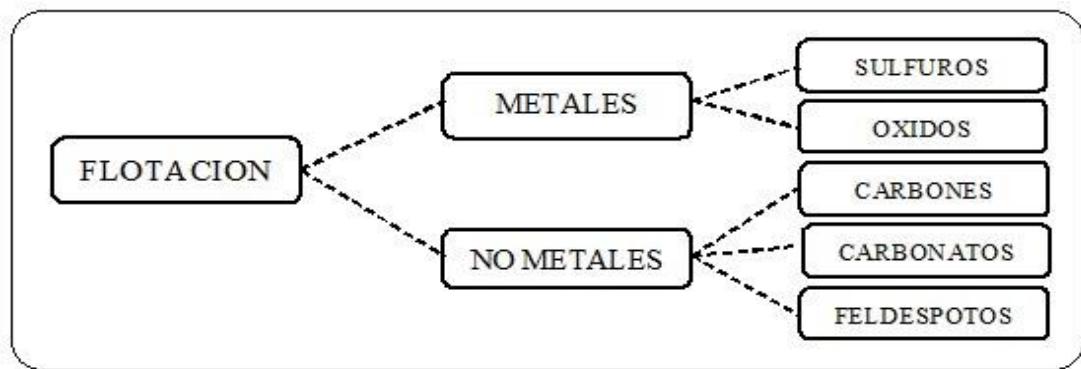
2.2. Bases teóricas - científicas

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

Figura 1 Clasificación de flotación de minerales



Nota: Elaboración propia

2.2.3. Fundamento teórico de la flotación de relaves auríferos producto de la amalgamación

La amalgamación ha sido históricamente uno de los métodos más utilizados para la recuperación de oro, especialmente en la minería artesanal y de pequeña escala. Sin embargo, este proceso tiene una eficiencia limitada, ya que solo recupera oro libre y deja una cantidad significativa de oro fino y asociado a sulfuros en los relaves. La flotación se ha convertido en una técnica alternativa clave para recuperar oro remanente en estos relaves, maximizando la extracción del metal y reduciendo el impacto ambiental al evitar el uso excesivo de mercurio.

a. Caracterización de los relaves auríferos

Los relaves producto de la amalgamación contienen: oro fino o ultrafino libre no amalgamado ($< 75 \mu\text{m}$), oro asociado a sulfuros (pirita, arsenopirita, calcopirita, galena), óxidos de hierro y silicatos (cuarzo, hematita, goethita), residuos de mercurio (como amalgamas residuales o compuestos de Hg). La presencia de sulfuros es clave, permite actuar como portadores de oro y permitir su recuperación mediante flotación.

b. Principios de la flotación aplicada a relaves auríferos

La flotación es un proceso fisicoquímico basado en la separación selectiva de minerales mediante la adhesión a burbujas de aire en una pulpa acuosa. Este proceso se fundamenta en:

- Hidrofobicidad e hidrofilia. - Los minerales hidrofóbicos se adhieren a las burbujas y flotan; los minerales hidrofílicos permanecen en la pulpa y se eliminan como relaves finales. Se modifican las propiedades de superficie mediante reactivos de flotación.
- Interfaz sólido-líquido-gas. - Se introduce aire en la celda de flotación; los colectores mejoran la adhesión de partículas de oro y sulfuros a las burbujas, la espuma transporta el concentrado hacia la superficie para su recuperación.

c. Reactivos en la flotación de relaves auríferos

Para optimizar la recuperación de oro en relaves, se emplean los siguientes reactivos: Colectores (xantatos y los ditiofosfatos mejoran la flotabilidad del oro y sulfuros. Espumantes (MIBC, Aceite de pino), estabilizan la espuma y mejoran la recuperación de oro. Modificadores de pH, Cal (CaO), Ácido sulfúrico, controlan el pH en un rango óptimo (8-11) para la flotación. Depresores (sulfato de zinc, metabisulfito de sodio), suprimen la flotación de ganga o minerales no deseados. El pH óptimo depende de la mineralogía del relave, pero generalmente se encuentra entre 9 y 11 para favorecer la flotabilidad de los sulfuros auríferos.

d. Etapas de flotación de relaves auríferos

El proceso de flotación de relaves auríferos se desarrolla en varias etapas:

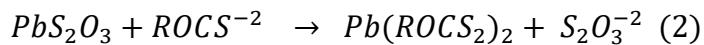
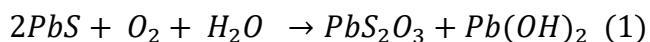
1. Preparación de la pulpa. - Se homogenizan los relaves con agua para alcanzar una densidad adecuada (20-35% sólidos); se ajusta el pH con cal o ácido, según el tipo de mineral presente.
 2. Adición de reactivos. - Se agregan colectores para mejorar la flotabilidad del oro y los sulfuros, se dosifican espumantes para obtener una espuma estable, se incorporan depresores para evitar la flotación de minerales no deseados.
 3. Flotación primaria. - Se introduce aire y se realiza la primera etapa de flotación para recuperar la mayor cantidad de oro; el concentrado obtenido pasa a una etapa de limpieza o recirculación.
 4. Limpieza y remolienda (opcional). - Si el concentrado presenta impurezas, se realiza una flotación de limpieza. - Se puede remoler el concentrado si el oro está aún muy fino.
 5. Filtración y secado del concentrado. - Se separa el agua y se obtiene el concentrado final de oro y sulfuros; se envía el concentrado a procesos de cianuración o fusión para extraer el oro.
- e. Disposición de relaves finales
- Se neutralizan los residuos y se disponen de manera ambientalmente segura.
- f. Factores que afectan la flotación de relaves auríferos
- Para maximizar la recuperación de oro, se deben optimizar variables como:
- Tamaño de partícula; partículas finas ($< 75 \mu\text{m}$) flotan mejor; partículas gruesas pueden perderse.

- pH de la pulpa, controla la flotabilidad de sulfuros auríferos y la selectividad.
- Densidad de pulpa, afecta la estabilidad de la espuma y la cinética de flotación.
- Tiempo de flotación, un tiempo insuficiente reduce la recuperación; tiempos excesivos pueden generar arrastres indeseados.
- Dosificación de reactivos, una cantidad óptima de colectores y espumantes mejora la recuperación sin desperdicio

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:



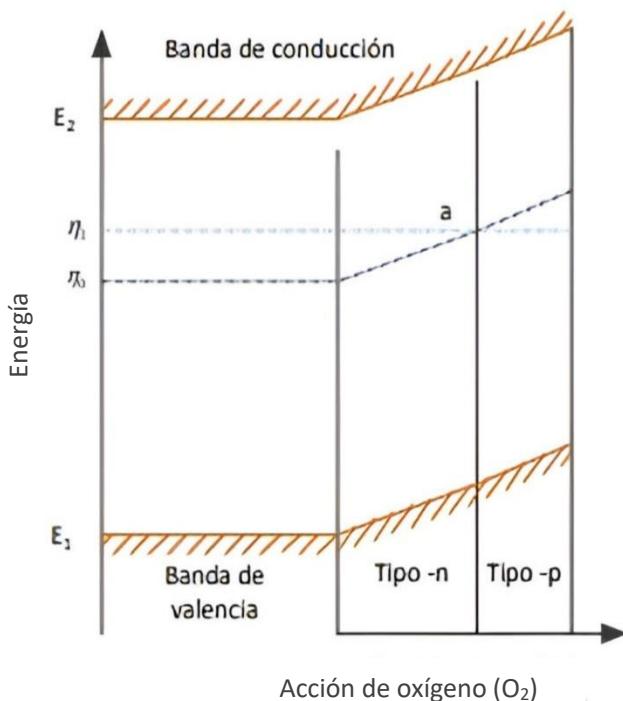
2.2.5. Teoría de semiconductores

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.

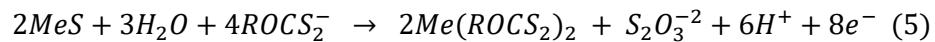
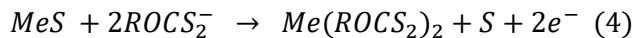
Figura 2 Semiconductores



Nota: Sutulov (1982)

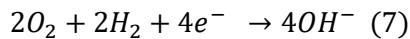
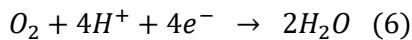
2.2.6. Teoría electroquímica

Según la literatura, el mecanismo más común de interacción entre xantato y sulfuros es de naturaleza electroquímica. Iones xantato 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 H_2O o, OH^- de acuerdo con una de las reacciones:

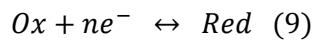


La primera de estas reacciones es más apropiada para describir el proceso en medio ácido (bajo acción catalítica de la superficie mineral). La segunda reacción es más realista en medio alcalino.

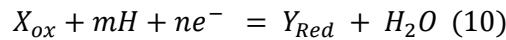
Para una reacción única en el equilibrio el potencial está dado por la ecuación de Nernst. Así, por ejemplo, para una reacción redox cualquiera, el mecanismo de transferencia de e^- puede representarse a través de la siguiente ecuación general:

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

En una reacción Redox de la siguiente forma:



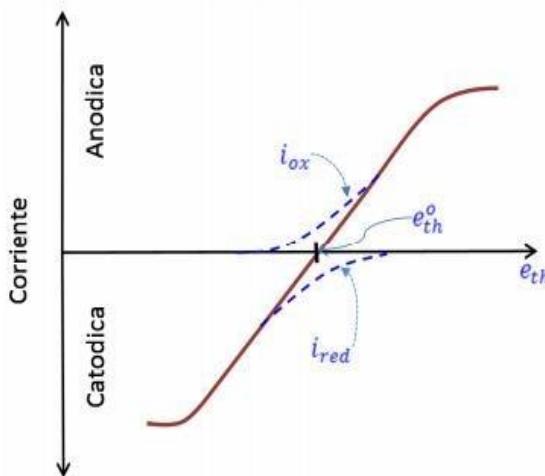
Al aplicar la ecuación de NERST tenemos:



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

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

Figura 3 Diagrama del potencial de corriente



Nota: Sutulov (1998)

2.2.7. Teoría de la absorción 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

Para optimizar la **flotación de relaves de amalgamación**, es fundamental controlar las **variables físicas, químicas y operacionales**. Estas afectan la eficiencia de recuperación y la selectividad del proceso.

A continuación, se detallan las variables más importantes:

Variables independientes (controlables)

a. Variables físicas y operativas

Variable	Descripción	Rango típico
Tamaño de partícula	Influye en la recuperación; partículas muy gruesas no flotan bien.	< 75 μm
Densidad de pulpa (% sólidos)	Afecta la colisión burbuja-partícula y la estabilidad de la espuma.	20-35%
Tiempo de flotación	Tiempo óptimo para lograr máxima recuperación sin arrastres indeseados.	5-15 minutos
Tipo y flujo de aireación	Controla el tamaño y cantidad de burbujas en la celda.	0,5-2 L/min
Tipo y velocidad de agitación	Favorece la dispersión de reactivos y formación de espuma estable.	800-1200 rpm

Nota: Elaboración propia

b. Variables químicas

Variable	Descripción	Rango típico
pH de la pulpa	Controla la flotabilidad del oro y sulfuros; afecta la selectividad.	9-11
Dosificación de colectores	Mejora la hidrofobicidad del oro y sulfuros.	50-200 g/t
Dosificación de espumante	Regula la estabilidad y tamaño de burbujas.	10-50 g/t
Uso de activadores	Sulfato de cobre (CuSO_4) puede activar sulfuros para flotación.	50-200 g/t
Uso de depresores	Suprime minerales no deseados (silicatos, carbonatos).	50-300 g/t

Nota: Elaboración propia

Variable dependiente (respuesta)

Variable	Descripción
Recuperación de oro (%)	Porcentaje de oro recuperado en el concentrado flotado.
Grado de concentrado (g/t Au)	Contenido de oro en el concentrado final.
Cinética de flotación (K, $t_{1/2}$)	Velocidad de recuperación de oro en función del tiempo.
Selectividad de la flotación	Razón de enriquecimiento del oro respecto a ganga.
Pérdida de oro en relaves finales	Cantidad de oro no recuperado tras la flotación.

Nota: Elaboración propia

Variables no controlables

Variable	Descripción
Mineralogía del oro	Oro libre, encapsulado en sulfuros, asociado a óxidos, etc.
Asociación mineralógica	Presencia de pirita, arsenopirita, cuarzo, carbonatos.
Presencia de mercurio	Puede interferir con la flotación y requerir tratamientos previos.

Nota: Elaboración propia

2.3. Definición de términos básicos.

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

Mineral: 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.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La evaluación experimental por flotación influirá en la recuperación de oro de relaves antiguos de Minera “La Nacional” - Huachón – Pasco -2024.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. HE1: La caracterización mineralógica de los relaves antiguos influirá significativamente en la recuperación de oro de Minera “La Nacional” – Huachón – Pasco - 2024.
- b. HE2: La granulometría óptima en la evaluación experimental por flotación influirá significativamente en la recuperación de oro de relaves antiguos de minera “La Nacional” – Huachón – Pasco – 2025.

- c. HE3: La selección del colector en el proceso de flotación experimental influirá significativamente para la recuperación de oro de relaves antiguos de minera “La Nacional” – Huachón – Pasco - 2024.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable dependiente

Recuperación de oro

2.5.2. Variable independiente

Evaluación experimental por flotación

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1 *Matriz de operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente Evaluación experimental por flotación	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 Granulometría Dosificación de colectores	Reconocimiento mineralógico Micrones Cm ³ /T
Variable Dependiente Recuperación de oro	Producto de un proceso físico químico, se obtiene dos productos los minerales deseables y los relaves; lo ideal es alcanzar las máximas recuperación 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 fisicoquímicos.	Recuperación de oro	Grado de recuperación de oro

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Esta investigación por el nivel de conocimientos es aplicada explicativa, 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).

3.2. Nivel de investigación

El nivel de la presente investigación es predictivo; el propósito es prever o anticipar situaciones futuras a través de los resultados obtenidos para luego escalar a nivel industrial.

3.3. Método de investigación

En la investigación se ha empleado el método analítico, el cual como señalan Palomino, Peña, Zeballos y Orizano (2015), “Va de lo general a lo particular, parte del estudio de principios generales, leyes o teorías, para deducir por medio de las pruebas experimentales y llegar a los resultados esperados” (p. 25).

3.4. Diseño de investigación

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

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población comprende todo el volumen de mineral depositado como relave después de procesar por amalgamación, por la empresa minera La Nacional en 1940 y depositado en la franja marginal del río Huachón, cuya reserva asciende a 650 toneladas aproximadamente, luego de realizar una somera cubicación.

3.5.2. Muestra

Para obtener la muestra representativa, se hizo perforaciones sobre el material depositado, diseñando el sistema de muestreo bajo el sistema de redes con una separación de 2,00 metros entre puntos, obteniéndose 50 kilos en total, los cuales se llevó a homogenizar la muestra para obtener una ley media de oro y otros elementos presentes en la muestra.

3.6. Técnicas e instrumento recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Las técnicas de recolección de datos a emplearse en este estudio fue 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, se aplicó los siguientes instrumentos:

- Para la observación se aplicó la lista de cotejo.
- Ficha de evaluación de los resultados metalúrgicos conteniendo una serie ordenada y coherente de datos obtenidos con precisión y objetividad, para que sean resueltas de igual modo” (Carrasco, 2017, p. 318).

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

Para organizar la selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación ha seguido las siguientes etapas:

3.7.1. Selección de instrumentos de investigación

Se ha elegido herramientas que permitan obtener datos precisos y reproducibles en el proceso experimental. Estos instrumentos fueron:

a) Equipos de laboratorio:

- Celda de flotación.
- Balanza analítica.
- Microscopio petrográfico.
- Horno a gas.
- Peachímetro.

b) Reactivos y materiales auxiliares:

- Colectores (Xantatos, ditiofosfatos)
- Espumantes (MIBC)
- Modificador de pH (cal)

c) Instrumentos de medición de parámetros operacionales:

- Medidor de pH.

- Software de procesamiento de datos (Excel, Minitab).

3.7.2. Validación de instrumentos

Los equipos y reactivos utilizados han sido calibrados y recibieron el mantenimiento oportuno, para cumplir los estándares de precisión y confiabilidad, del siguiente modo:

a) Calibración de equipos:

- Balanza analítica calibrada antes de cada sesión experimental.
- Medidor de pH verificado con soluciones buffer de referencia.

b) Pruebas preliminares:

- Ensayos en blanco para detectar errores sistemáticos.
- Pruebas piloto de flotación para determinar parámetros óptimos antes de la experimentación programada.

c) Comparación con estudios previos:

- Verificar que los resultados obtenidos sean consistentes con investigaciones similares.

3.7.3. Evaluación de la confiabilidad

La confiabilidad se mide en función de la repetibilidad y reproducibilidad de los experimentos:

a) Pruebas de repetibilidad:

- Realizando experimentos en reiteradas ocasiones bajo las mismas condiciones.
- Calculando la desviación estándar de los resultados para evaluar la variación.

b) Análisis estadístico

- Aplicando pruebas de significancia (ANOVA, t-student) para determinar la validez de los datos.
- Utilizando coeficientes de correlación para evaluar la confiabilidad de las mediciones.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos se realizó las siguientes etapas:

3.8.1. Procesamiento de datos

a) Organización de datos

- Organización de datos en Excel.
- Eliminación de datos inconsistentes.

b) Normalización de datos

- Transformación logarítmica para datos con alta variabilidad.
- Estandarización para comparar variables con diferentes unidades.

3.8.2. Análisis de datos

a) Análisis descriptivo

- Calculando la media y desviación estándar para cada condición experimental.
- Graficando con barras o círculos para visualizar la dispersión de datos.

b) Análisis estadístico inferencial

Para validar los resultados y determinar diferencias significativas entre ensayos:

- Prueba t de Student: para comparar la recuperación de oro en dos condiciones distintas.

- ANOVA (Análisis de varianza): para evaluar el efecto de distintos parámetros en la recuperación.
 - Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk): para verificar si los datos siguen una distribución normal.
- c) Modelamiento y optimización de procesos

Para entender la influencia de variables y optimizar la flotación:

- Regresión lineal: para establecer relaciones entre las variables operativas (pH, tiempo, concentración de reactivos) y recuperación de oro.
- Análisis de superficie de respuesta (RSM): para optimizar las condiciones experimentales.
- Diseño de experimentos (DOE): Para reducir el número de pruebas y maximizar la información obtenida.

3.9. Tratamiento estadístico

Para la organización de datos y simplificación, se hizo uso del software Excel y el *SPSS* 22 e *Image J*, para el análisis de imágenes en caracterización mineralógica.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

El desarrollo de la tesis se realizó, referenciando a los autores, de acuerdo con el APA versión 7,0; respetando la autoría y experiencias, los cuales nos permitió enriquecer el presente trabajo de investigación.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El procedimiento experimental siguió una serie de etapas para obtener los resultados deseados; cumpliendo las siguientes etapas:

Fase 1: Preparación del mineral.

1. Se obtuvo muestras de mineral (relave) de la zona depositada luego de procesar por oro, la empresa minera “La Nacional” en 1940.
2. Luego de sucesivas etapas de homogenización a través del método de cono y cuarteado se obtuvo la muestra representativa para el análisis químico medio del material, quedando el resto listo para las pruebas metalúrgicas.
3. Se preparó las briquetas para el análisis microscópico; también el análisis granulométrico.
4. Se determinó las condiciones óptimas de las pruebas de flotación, para maximizar la recuperación de oro y evaluar el comportamiento de las variables físicas y químicas.

5. En base a los resultados obtenidos proponer un esquema optimizado de aplicación industrial.

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 los laboratorios de Consorcio Minero Sunec, subsidiaria de Consorcio Minero Horizonte, con el siguiente resultado:

Tabla 2 Análisis químico del mineral

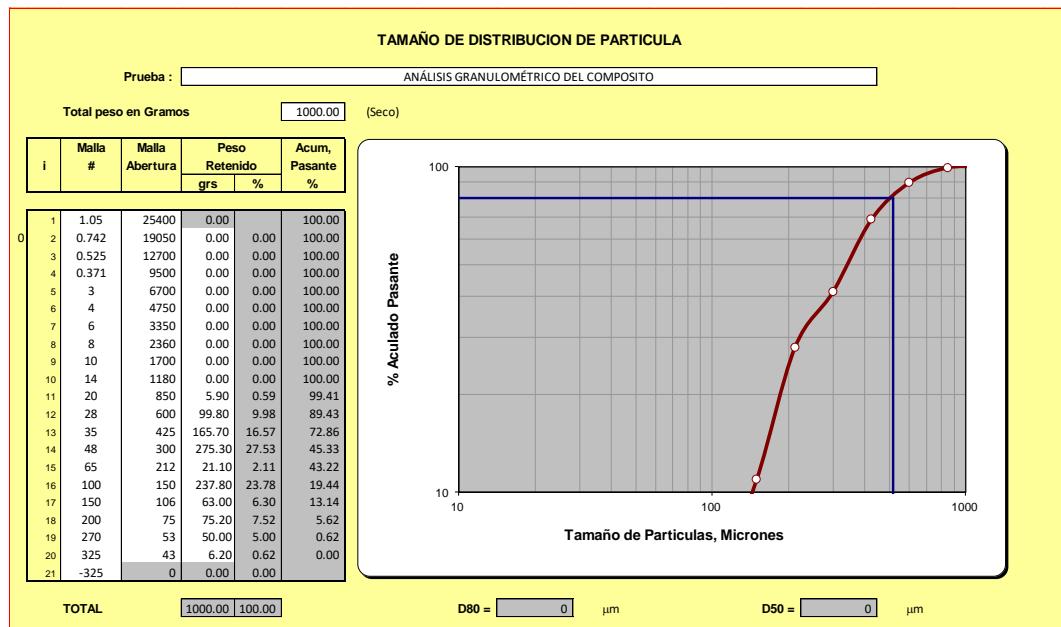
Composito	Leyes, Gr/TM, %*				
	Au	Ag	FeO*	Cu*	Hg
Muestra 1	18,2	21,5	24,86	0,45	51,0

Nota: Datos obtenidos del laboratorio de Consorcio Minero Horizonte

Comentario: Se observa en la muestra la presencia de oro, plata y mercurio sobre los óxidos de hierro con alta presencia de arcillas.

4.2.2. Análisis granulométrico

Tabla 3 Análisis granulométrico del composito

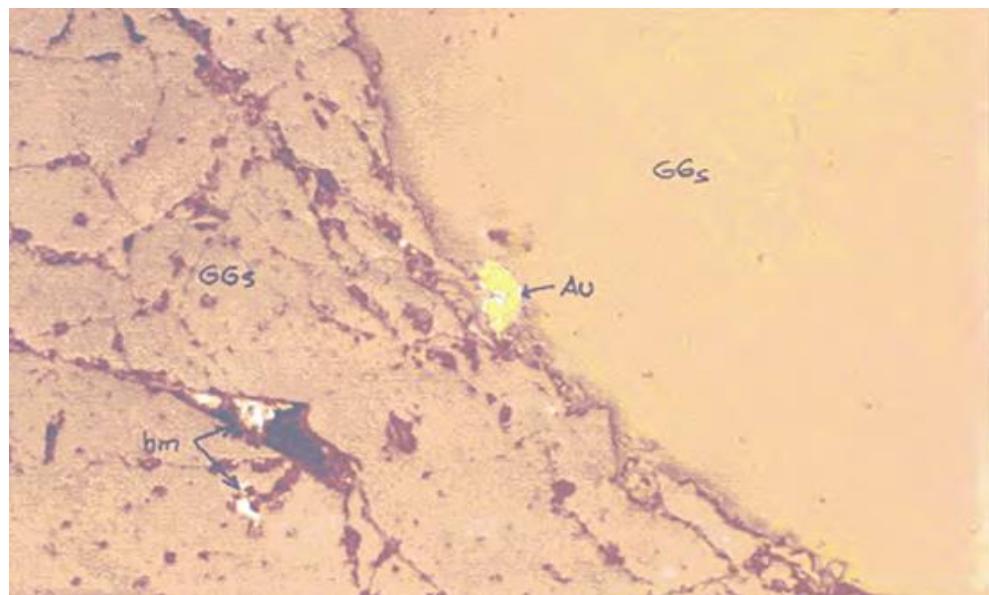


Nota: Elaboración propia.

Se observa que el 80% de passing se encuentra en la malla 35, de manera que, en su oportunidad, la molienda realizada por la compañía minera La Nacional en su momento no fue lo adecuado; es comprensible debido a las altas leyes de mineral de oro que obtenían por amalgamación y compensaba los costos. Análisis realizado con el software Molycop 2.0.

4.2.3. Análisis mineralógico

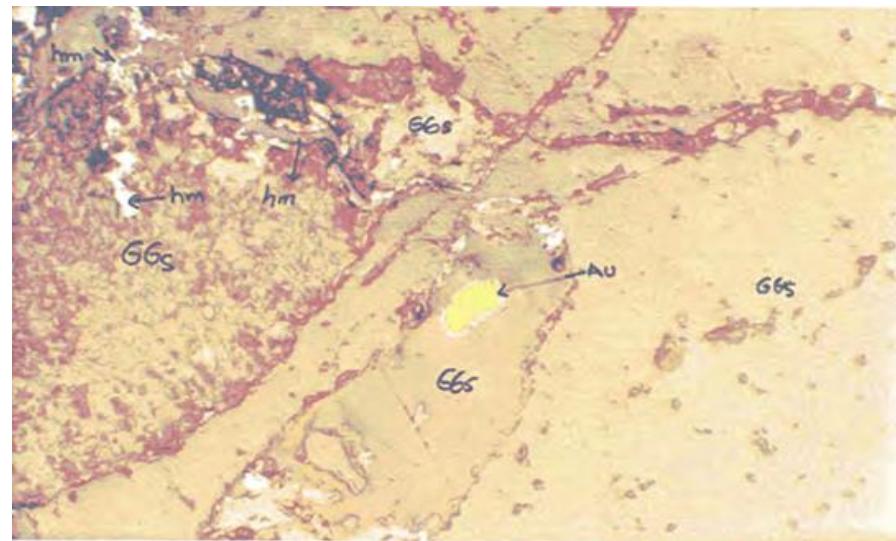
Figura 4 Microfotografía de mineral aurífero



Nota: Elaboración Propia, imagen obtenida con microscopio petrográfico Karl Zeiss.

Se observa oro en medio de gangas compuestas por óxidos de hierro sometidos a molienda.

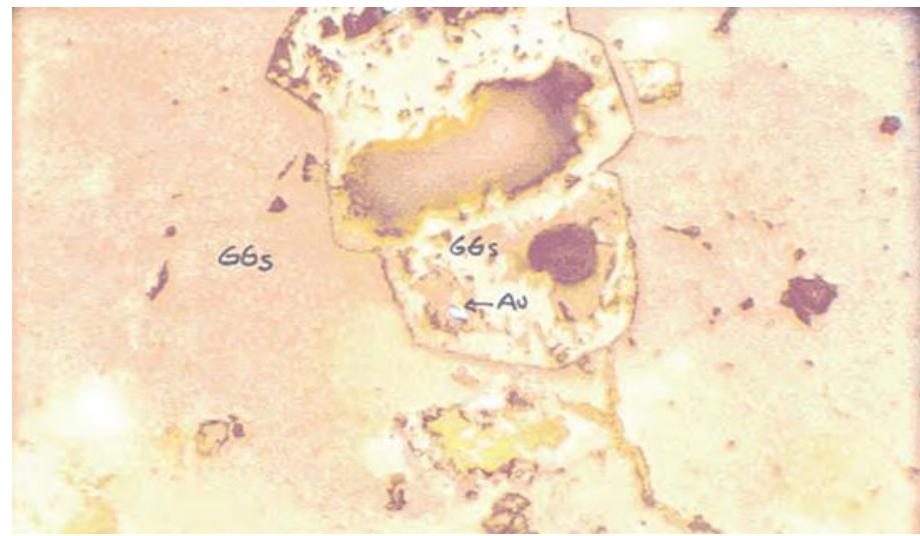
Figura 5 Microfotografía de oro nativo



Nota: Elaboración Propia, imagen obtenida con microscopio petrográfico Karl Zeiss.

Oro nativo presente en gangas compuestas de óxidos de hierro, también se observa la presencia de cuarzo que por su dureza tiene un mayor diámetro.

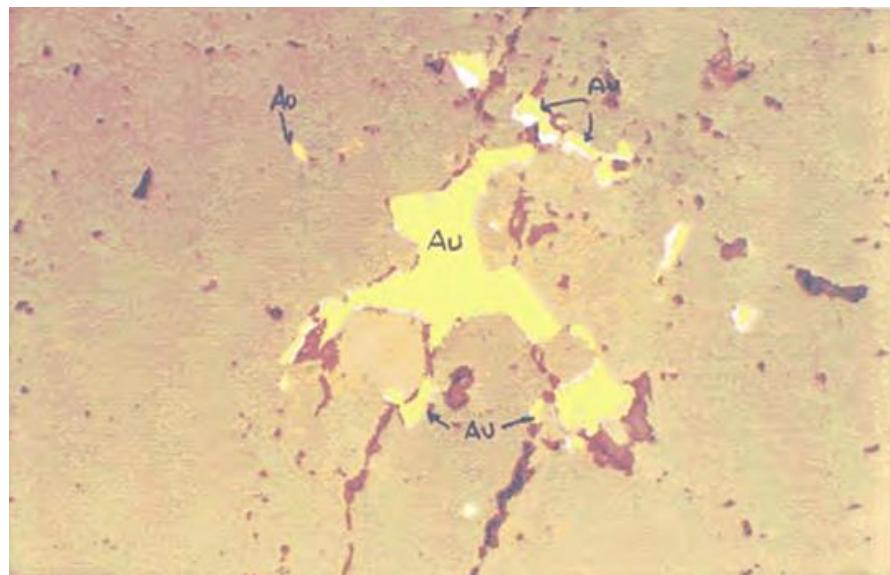
Figura 6 Microfotografía de oro fino



Nota: Elaboración Propia, imagen obtenida con microscopio petrográfico Karl Zeiss.

Se observa la presencia de oro incluido en una matriz de hematita, que falta liberación, vistas en el microscopio petrográfico a 30X.

Figura 7 Microfotografía de oro grueso



Nota: Elaboración Propia, imagen obtenida con microscopio petrográfico Karl Zeiss.

Se observa oro grueso rellenando microfracturas de hematita, requiere mayor liberación para la recuperación en su mayor proporción.

4.2.4. Pruebas experimentales a nivel laboratorio

Para la elección de los reactivos de flotación, se sustenta en las siguientes apreciaciones de otras investigaciones y especificaciones técnicas de los fabricantes:

- a. Elección del colector Danafloat 468: la mejor aplicación en la flotación de minerales de oro, plata y cobre, donde se desea una selectividad especial hacia la esfalerita. Si el oro se libera de sulfuros y de ganga, *Danafloat 468* es el colector más eficaz de oro fino. Si el oro se produce con asociación con pirita u otros sulfuros, se debe utilizar un colector complementario como por ejemplo xantato.
- b. Xantato Z – 11: Colector débil complementario al *Danafloat 468*, que favorece la flotación de oro cuando se encuentra asociado a los sulfuros de cobre.

c. **tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)** tiene varias funciones en procesos metalúrgicos, pero su **función específica en la flotación de oro** depende del contexto. Los principales usos y efectos son:

1. Depresor o modificador de especies no deseadas

En la flotación, el tiosulfato de sodio puede actuar como:

✓ **Depresor de sulfuros oxidados o metales base, como:**

- Cu(II), Pb(II), Zn(II): Al formar **complejos solubles** con estos cationes, evita que floten.
- También puede **reducir la adsorción de colectores** en minerales indeseados, haciendo más selectiva la flotación del oro libre.

✓ **Modificador de la superficie del oro**

- El tiosulfato puede limpiar la superficie del oro, especialmente si está parcialmente oxidada o contaminada con productos de mercurio (amalgamas degradadas).
- Esto ayuda a mejorar la adsorción del colector sobre el oro, incrementando la recuperación.

2. Control de iones metálicos disueltos

- Puede **complejar mercurio disuelto (Hg^{2+})**, lo que es muy útil en flotación de relaves de amalgamación.
- También puede secuestrar **Cu^{2+} o Fe^{3+}** , que a veces interfieren negativamente en la flotación (formando colectores solubles o activando gangas).

3. En sistemas de flotación con oro nativo o libre

- Si el oro está muy fino o parcialmente recubierto por óxidos, el tiosulfato puede actuar como un reactivo de acondicionamiento superficial.
- En algunos casos, ayuda a evitar la pasivación del oro.

Para simplificar las pruebas metalúrgicas se aplicó el diseño factorial 2^k , con dos niveles y tres factores, del siguiente modo:

Factor 1: Colector Danafloat 468 (5,0 – 10,0 gr/TM)

Factor 2: pH (8,00 – 10,00)

Factor 3: Tiempo de flotación (5,0 – 10,0 minutos)

Tabla 4 *Variables interviniéntes*

Variables	Estados	
	Mínimo	Máximo
Colector (Danafloat 468) (g/TM)	5,00	10,00
pH	8,00	10,00
Tiempo de flotación (minutos)	5,00	10,00

Nota: Elaboración propia.

Se ha tomado en cuenta para el diseño las variables más influyentes en la flotación de oro.

Tabla 5 Diseño factorial 2³

Prueba No	Efecto	A		B	C
		Danafloat 468 (g/TM)		pH	Tiempo (minutos)
1	1	5,00		8,00	5,00
2	a	10,00		8,00	5,00
3	b	5,00		10,00	5,00
4	ab	10,00		10,00	5,00
5	c	5,00		8,00	10,00
6	ac	10,00		8,00	10,00
7	bc	5,00		10,00	10,00
8	abc	10,00		10,00	10,00

Nota: Elaboración propia.

Plantilla formulada con las variables interviniéntes con más influencia.

Las pruebas de flotación realizadas en base al diseño propuesto son:

Tabla 6 Prueba de flotación 1

 Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Fecha:	27/02/2025								
Muestra:	Muestra composito								
Cliente:	Cosme								
Responsable:	J. Cayetano								
Departamento:	Laboratorio Metalúrgico								
Peso de Muestra:	1000 gramos								
Molienda:	10 minutos								
Pasante (P80):	micrones								
Nº Prueba:	001-2025								
Sólidos:	66%								
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T			Parámetros de flotación					
	Danafloat, 468	Z - 11 (ml)	NaCN	Na ₂ S ₂ O ₅	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)
Molienda						33	10		
Acondicio	5,0	1,0	0,5	2,0	1,0	1000	4	8,0	
Flotación de Au		1,0			3,0	1000	5	8,0	5
Total	5,0	2,0	0,5	2,0	4,0	1000	19		5

Resultados:

Producto	Peso (g)	% peso	Leyes: %, g/TM				Contenidos			Distribucion (%)		
			Au	Ag	%Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu	
Cabeza	1000	100.00	18.20	21.5	0.45	18	21.5	450	100.0	100.0	100.0	
Concentrado	62.2	6.20	212.30	186.8	18.40	10275	9045	9045	56.46	42.05	68.28	
Relave	937.8	93.78	1.60	2.5	0.15	1523	2375	2375	43.54	57.95	31.72	

Nota: Elaboración propia.

Se observa recuperaciones medias de los tres elementos importantes oro, plata y cobre.

Tabla 7 Prueba de flotación 2

		Prueba de Flotación - Estándar U. A.							
Fecha:	28/02/2025			Peso de Muestra:	1000 gramos				
Muestra:	Muestra composito			Molienda:	10 minutos				
Cliente:	Cosme			Pasante (P80):	micrones				
Responsable:	J. Cayetano			Nº Prueba:	02-2025				
Departamento:	Laboratorio Metalúrgico			Sólidos:	66%				
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T				Parámetros de flotación				
	Danafloat, 468	Z - 11 (ml)	NaCN	Na ₂ S ₂ O ₅	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)
Molienda						33	10		
Acondicio	8,0	1,0	0,5	2,5	1,0	1000	4	8,0	
Flotación de Au	2,0	1,0			2,0	1000	5	8,0	5
Total	10,0	2,0	0,5	2,5	3,0	1000	19		5

Resultados:

Producto	Peso (g)	% peso)	Leyes: %, g/TM			Contenidos			Distribucion (%)		
			Au	Ag	% Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu
Cabeza	1000	100.00	18.20	21.5	0.45	18200	21.5	450	100.0	100.0	100.0
Concentrado	62.2	6.20	195.30	172.3	17.00	12148	10717	1057	66.75	49.85	68.74
Relave	937.8	93.78	1.50	2.1	0.15	1407	1969	1969	33.25	50.15	31.25

Nota: Elaboración Propia.

Se observa un incremento notable en la recuperación de oro y cobre, demuestra que el oro se encuentra asociado al cobre y la plata experimenta un incremento en la recuperación en comparación a la prueba de flotación 1.

Tabla 8 Prueba de flotación 3

Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T				Parámetros de flotación				
	Danafloat, 468	Z - 11 (ml)	NaCN	Na ₂ S ₂ O ₅	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)
Molienda						33	10		
Acondicio	5,0	2,0	0,5	3,0	1,0	1000	4	10,0	
Flotación de Au		2,0			2,0	1000	5	10,0	5
Total	5,0	4,0	0,5	3,0	3,0	1000	19		5

Resultados:

Producto	Peso (g)	% peso	Leyes: %, g/TM			Contenidos			Distribucion (%)		
			Au	Ag	%Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu
Cabeza	1000	100.00	18.20	21.5	0.45	18200	21500	450	100.0	100.0	100.0
Concentrado	62.2	6.20	198.00	170.5	18.40	10613	9136	986	58.31	42.49	68.45
Relave	937.8	93.78	1.60	2.5	0.15	1514	2366	142	41.69	57.51	31.55

Nota: Elaboración propia.

Se observa menores recuperaciones de oro, plata y cobre, al parecer se debe a la disminución de alimentación del colector principal y menor tiempo de flotación realizado cumpliendo del diseño de investigación.

Tabla 9 Prueba de flotación 4

Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T				Parámetros de flotación				
	Danafloat, 468	Z - 11 (ml)	NaCN	Na ₂ S ₂ O ₅	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)
Molienda						33	10		
Acondicio	8,0	2,0	0,5	3,0	1,0	1000	4	10	
Flotación de Au	2,0	3,0			2,0	1000	5	10	5
Total	10,0	5,0	0,5	3,0	3,0	1000	19		5

Resultados:

Producto	Peso (g)	% peso)	Leyes: %, g/TM				Contenidos			Distribucion (%)		
			Au	Ag	%Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu	
Cabeza	1000	100.00	18.20	21.5	0.45	18200	21500	450	100.0	100.0	100.0	
Concentrado	62.2	6.20	214.00	186.8	19.00	12947	11301	1150	71.14	52.56	68.68	
Relave	937.8	93.78	1.60	2.2	0.15	1503	2067	141	28.86	47.44	31.32	

Nota: Elaboración propia.

Se observa un incremento en la recuperación de oro, plata y cobre; posiblemente debido a la mayor dosificación del colector y pH alto (10).

Tabla 10 Prueba de flotación 5

Prueba de Flotación - Estándar U. A.																																																																					
Fecha:	3/03/2025				Peso de Muestra:	1000 gramos																																																															
Muestra:	Muestra composito				Molienda:	10 minutos																																																															
Cliente:	Cosme				Pasante (P80):	micrones																																																															
Responsable:	J. Cayetano				Nº Prueba:	05-2025																																																															
Departamento:	Laboratorio Metalúrgico				Sólidos:	66%																																																															
Condiciones																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reactivos g/T</th><th colspan="8">Parámetros de flotación</th></tr> <tr> <th>Etapas de Flotación</th><th>Danafloat, 468</th><th>Z-11 (ml)</th><th>NaCN</th><th>Na2S2O5</th><th>MIBC (Gotas)</th><th>RPM</th><th>Tiempo (min)</th><th>pH</th><th>Aire (psi/min)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Molienda</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>33</td><td>10,0</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>Acondicio</td><td>5,0</td><td>2,0</td><td>0,5</td><td>3,0</td><td>1,0</td><td>1000</td><td>4</td><td>8,0</td><td></td></tr> <tr> <td>Flotación de Au</td><td></td><td>4,0</td><td></td><td></td><td>2,0</td><td>1000</td><td>10,0</td><td>8,0</td><td>5</td></tr> <tr> <td>Total</td><td>5,0</td><td>6,0</td><td>0,5</td><td>3,0</td><td>3,0</td><td>1000</td><td>24,0</td><td></td><td>5</td></tr> </tbody> </table>										Reactivos g/T		Parámetros de flotación								Etapas de Flotación	Danafloat, 468	Z-11 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)	Molienda						33	10,0			Acondicio	5,0	2,0	0,5	3,0	1,0	1000	4	8,0		Flotación de Au		4,0			2,0	1000	10,0	8,0	5	Total	5,0	6,0	0,5	3,0	3,0	1000	24,0		5
Reactivos g/T		Parámetros de flotación																																																																			
Etapas de Flotación	Danafloat, 468	Z-11 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)																																																												
Molienda						33	10,0																																																														
Acondicio	5,0	2,0	0,5	3,0	1,0	1000	4	8,0																																																													
Flotación de Au		4,0			2,0	1000	10,0	8,0	5																																																												
Total	5,0	6,0	0,5	3,0	3,0	1000	24,0		5																																																												

Resultados:

Producto	Peso (g)	% peso)	Leyes: %, g/TM				Contenidos			Distribucion (%)		
			Au	Ag	%Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu	
Cabeza	1000	100.00	18.20	21.5	0.45	18200	21500	450	100.0	100.0	100.0	
Concentrado	62.2	6.20	202.60	186.8	21.30	8671	7995	912	47.64	37.19	72.35	
Relave	937.8	93.78	1.50	2.65	0.13	1436	2537	124	52.36	62.81	27.65	

Nota: Elaboración propia.

Se observa un descenso en la recuperación de oro, plata y cobre con relación a la prueba metalúrgica anterior debido a la menor dosificación del colector y disminución del pH.

Tabla 11 Prueba de flotación 6

Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T				Parámetros de flotación				
	Danafloat, 468	Z -11 (ml)	NaCN	Na ₂ S ₂ O ₅	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)
Molienda						33	10		
Acondicio	8,0	1,0	0,5	3,0	1,0	1000	5	8	
Flotación de Au	2,0	1,0			2,0	1000	10	8	5
Total	10,0	2,0	0,5	3,0	3,0	1000	25		5

Resultados:

Producto	Peso (g)	% peso)	Leyes: %, g/TM			Contenidos			Distribucion (%)		
			Au	Ag	%Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu
Cabeza	1000	100.00	18.20	21.5	0.45	18200	21500	450	100.0	100.0	100.0
Concentrado	62.2	6.20	203.20	192.5	20.30	13269	12573	1326	72.91	58.48	68.84
Relave	937.8	93.78	1.45	2.5	0.15	1355	2337	140	27.09	41.52	31.16

Nota: Elaboración Propia.

Se observa mejora en la recuperación de oro, plata y cobre, posiblemente debido a la mayor dosificación del colector y más tiempo de flotación, no siendo influyente el pH.

Tabla 12 Prueba de flotación 7

Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T				Parámetros de flotación				
	Danafloat, 468	Z - 11 (ml)	NaCN	Na ₂ S ₂ O ₅	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)
Molienda						33	10		
Acondicio	5,0	1,0	0,5	3,0	2,0	1000	5	10	
Flotación de Au		2,0			2,0	1000	10	10	5
Total	5,0	3,0	0,5	3,0	4,0	1000	25		5

Resultados:

Producto	Peso (g)	% peso)	Leyes: %, g/TM				Contenidos			Distribucion (%)		
			Au	Ag	%Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu	
Cabeza	1000	100.00	18.20	21.5	0.45	18200	21500	450	100.0	100.0	100.0	
Concentrado	62.2	6.20	198.30	188.4	17.00	11343	10776	972	62.32	50.12	26.67	
Relave	937.8	93.78	2.85	2.4	0.35	2687	2687	2263	37.68	49.88	73.33	

Nota: Nota: Elaboración Propia

Se observa una disminución en la recuperación del oro, plata y cobre, posiblemente debido a la menor dosificación del principal colector Danafloat 468, responsable de la flotación.

Tabla 13 Prueba de flotación 8

Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Fecha:	6/03/2025				Peso de Muestra:	1000 gramos			
Muestra:	Muestra composito				Molienda:	10 minutos			
Cliente:	Cosme				Pasante (P80):	micrones			
Responsable:	J. Cayetano				Nº Prueba:	08-2025			
Departamento:	Laboratorio Metalúrgico				Sólidos:	66%			
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T				Parámetros de flotación				
	Danafloat, 468	Z -11 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM	Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)
Molienda						33	10		
Acondicio	8	2,0	0,5	3,0	2,0	1000	5	10	
Flotación de Au	2	2,0			3,0	1000	10	10	5
Total	10	4,0	0,5	3,0	5,0	1000	25		5

Resultados:

Producto	Peso (g)	% peso)	Leyes: %, g/TM				Contenidos			Distribucion (%)		
			Au	Ag	%Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu	
Cabeza	1000	100.00	18.20	21.5	0.45	18200	21500	450	100.0	100.0	100.0	
Concentrado	62.2	6.20	218.75	195.8	22.35	14613	13076	1493	80.29	60.82	73.04	
Relave	937.8	93.78	1.25	2.15	15.00	1167	2006	121	19.71	39.18	26.96	

Nota: Elaboración Propia.

En la prueba de flotación, se observa las mayores recuperaciones en los tres elementos, posiblemente debido a la mayor dosificación del colector, pH alto y mayor tiempo de flotación.

4.2.5. Análisis de datos y ajuste del modelo

Con las pruebas de flotación realizados y los resultados, se ajusta el modelo del siguiente modo:

Tabla 14 Diseño factorial con resultados

Prueba	Efecto	A		B		C		% Recup. Au
		Danafloat 468	pH	Tiempo de flotación				
1	1	5	8	5	5	50,46		
2	a	10	8	5	5	66,75		
3	b	5	10	5	5	58,31		
4	ab	10	10	5	5	71,14		
5	c	5	8	10	10	47,64		
6	ac	10	8	10	10	72,91		
7	bc	5	10	10	10	62,32		
8	abc	10	10	10	10	80,29		

Nota: Elaboración propia.

La tabla resume los resultados obtenidos en la recuperación de oro por flotación.

Tabla 15 Efecto de las variables en las pruebas de flotación

Efecto	% Recup. Au	II	III	IV	Efecto
1	50,46	117,21	246,66	509,82	
a	66,75	129,45	263,16	72,36	18,09
b	58,31	120,55	29,12	34,3	8,57
ab	71,14	142,61	43,24	- 10,76	- 2,69
c	47,64	16,29	12,24	16,5	4,13
ac	72,91	12,83	22,06	14,12	3,53
bc	62,32	25,27	- 3,46	9,82	2,46
abc	80,29	17,97	- 7,3	- 3,84	- 0,96
	509,82				

Nota: Elaboración Propia

El cálculo de los efectos nos permite obtener los coeficientes del modelo lineal siguiente:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + \text{error} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$B_0 = \text{Promedio} = \frac{509,82}{8} = 63,73$$

$$B_1 = \frac{a}{2} = \frac{18,09}{2} = 9,045$$

$$B_2 = \frac{b}{2} = \frac{8,57}{2} = 4,287$$

$$B_3 = \frac{c}{2} = \frac{4,13}{2} = 2,063$$

Reemplazando en la ecuación (1) se tiene:

$$Y = 63,73 + 9,045X_1 + 4,287X_2 + 2,063X_3 \quad Ecuación (2)$$

Sustituyendo en la ecuación (2):

% Recuperación Au

$$= 63,73 + 9,045 \left(\frac{Colector - 7,5}{2,5} \right) + 4,287 \left(\frac{pH - 9}{1} \right) + 2,063 \left(\frac{Tiempo - 7,5}{2,5} \right) \quad Ecuación (4)$$

En la ecuación (4), reemplazamos los valores presentes en la tabla (14) y determinamos el % de recuperación de oro calculado; los incrementos, desviación estándar del siguiente modo;

Tabla 16 Resultados del modelo matemático propuesto

Prueba	Efecto				Recuperación % Au		A	A*2
		Danafloat 468	pH	Tiempo de flotación	Actual	Calculado		
1	1	5	8	5	50,46	48,33	-2,14	4,56
2	a	10	8	5	66,75	66,42	-0,33	0,11
3	b	5	10	5	58,31	56,90	-1,41	1,99
4	ab	10	10	5	71,14	74,99	3,85	14,82
5	c	5	8	10	47,64	52,45	4,81	23,14
6	ac	10	8	10	72,91	70,54	-2,37	5,62
7	bc	5	10	10	62,32	61,03	-1,30	1,68
8	abc	10	10	10	80,29	79,12	-1,18	1,38
								53,29

Cálculo del desvío medio cuadrático:

$$DMC = \frac{A^2}{2^n} = \frac{53,29}{8} = 6,66\%$$

Cálculo del error medio cuadrático:

$$ECM = \frac{6,66\%}{2} = 3,33\%$$

El error medio cuadrático = 3,33% respecto al valor calculado, nos muestra como aceptable el modelo propuesto por ser menor al 5%.

4.3. Prueba de hipótesis

Hipótesis general: La evaluación experimental por flotación influirá en la recuperación de oro de relaves antiguos de Minera “La Nacional” - Huachón – Pasco -2024.

i. Formular la hipótesis de investigación

- H_0 : La evaluación experimental por flotación no influye en la recuperación de oro de relaves antiguos de Minera “La Nacional” - Huachón – Pasco - 2024 (**hipótesis nula**).
- H_a : La evaluación experimental por flotación influye significativamente en la recuperación de oro de relaves antiguos de Minera “La Nacional” – Huachón – Pasco. 2024 (**hipótesis alterna**).

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

iii. Estadístico de la prueba: análisis de varianza y significancia p – valor $< 0,05$

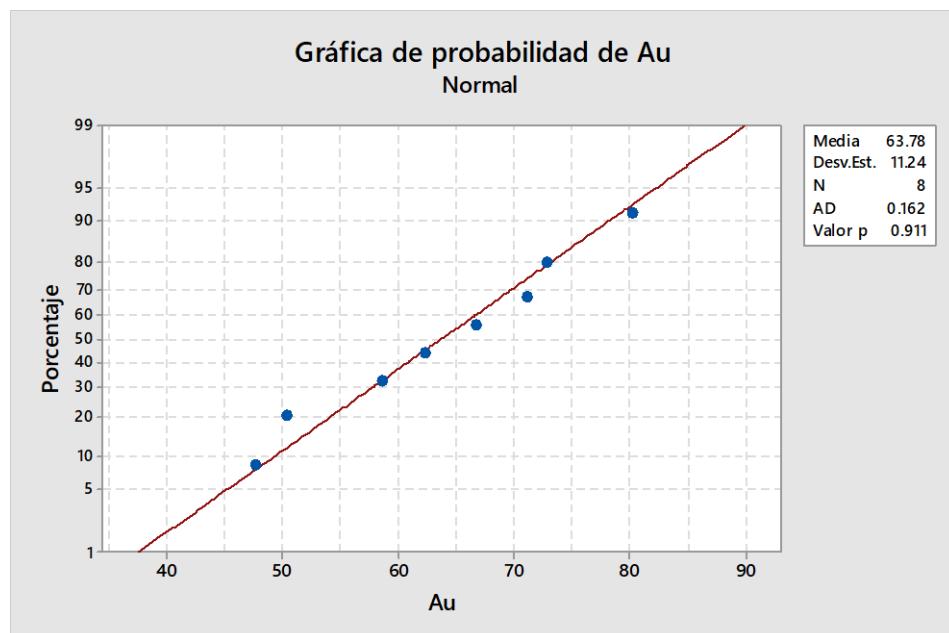
Tabla 17 Prueba de normalidad

Prueba	Danafloat 468	% Recup. Au
1	5	50,46
2	10	66,75
3	5	58,71
4	10	71,14
5	5	47,64
6	10	72,91
7	5	62,32
8	10	80,29

Nota: Elaboración Propia.

Variable versus recuperación

Figura 8 Prueba de normalidad de Anderson Darling



Apreciación:

Los datos según el estadístico para prueba de normalidad de Anderson Darling $AD = 0,911$ lo cual se demuestra gráficamente.

Esto demuestra que como los datos representan variables con valores numéricos se utilizó el estadístico de análisis de varianza ANOVA.

iv. Decisión

Si p - valor $<\text{Alpha} = 0,05$ se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 18 Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	647,243	7	92,463	2,252	0,153	3,787
Columnas	12668,628	1	12668,628	308,515	0,000	5,591
Error	287,443	7	41,063			
Total	13603,314	15				

Nota: Elaboración Propia.

Para dicho análisis se utilizó los datos ordenados en columnas, tomando en consideración la importancia del colector Danafloat 468 en la buena recuperación de oro.

Tabla 19 Prueba de “t” de Student

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
const	23,33	12,66	-11,83	58,49	1,84	0,1392
Danafloat	0,94	0,41	-0,2	2,09	2,29	0,0034

Nota: Elaboración Propia

Idénticamente en este caso el p- valor asociado al estadístico T de Student tiene un valor de 0,0034 lo cual nos indica lo mismo que el colector Danafloat 468 influye en la recuperación de Au.

v. Conclusión

Con un nivel de significancia del 0,05, hay evidencia estadística para afirmar que la evaluación experimental por flotación influye significativamente en la recuperación de oro, toda vez que el estadístico t de Student es 0,0034.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados de las pruebas de flotación muestran la presencia de oro libre en medio de gangas compuestas por óxidos de hierro, la granulometría inicial fue de 80% a mallas -35; se procedió a homogenizar la granulometría realizando la molienda por 10 minutos. para desarrollar las pruebas de flotación se seleccionó al colector Danafloat 468 por tener gran selectividad del oro en presencia de sulfuros y gangas; al tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) para limpiar la superficie del oro, las pruebas de flotación se realizaron a un pH de 8 a 10, con recuperación que superan el 70% de oro, tal como se demuestra con las pruebas 4, 6 y 8.

Ariana (2015), demuestra que el mineral experimentado tiene un peso específico de 3,1 g/cm³, con leyes iniciales 1,629 ppm Au, 510 ppm Cu, 43230 ppm Fe, 1,12 ppm Ag, 7021 ppm Zn y 184,86 ppm Pb; compuesto mayormente de sulfuros; las pruebas experimentales en el concentrador Knelson, con una granulometría de 74 micrones, tiene recuperación de 42,28% y desarrollando métodos combinados de procesos Knelson – flotación, se incrementa a 53,76% de recuperación de Au.

Julca (2017), demuestra que el mineral estudiado tiene un tipo de oro electrum con una distribución volumétrica de 0,86% y 7,41% de grados de liberación. El proceso metalúrgico adecuado de acuerdo con 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 remolienda a 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, lo que demuestra tener una mineralogía compleja con oro refractario.

CONCLUSIONES

- El desarrollo de las pruebas experimentales de flotación aplicado a los relaves antiguos demostró que es posible recuperar los valores de oro existentes, con una adecuada preparación fisicoquímica con resultados que superan el 70% (pruebas 4, 6 y 8).
- Las observaciones realizadas con el microscopio petrográfico Karl Zeiis a las briquetas preparadas demuestran la presencia de oro libre en medio de compuestos de óxidos de hierro, como también se tiene oro grueso en una matriz de hematitas, con presencia de cuarzo, arcillas, limonitas y goetita, debido a que la explotación realizada por la empresa minera La Nacional, fue en la zona de óxidos, superficialmente.
- Las muestras de relaves obtenidas y luego de tamizados tienen el 80% de mallas 35 (425 micrones), siendo necesario remolienda; que se realizó con un tiempo de 10 minutos, para homogenizar la granulometría a mallas 200 (74 micrones) y lograr la liberación de las partículas de oro.
- Para el desarrollo de las pruebas de flotación fue esencial la selección de colectores y acondicionadores; para el primero se optó por el Danafloat 468, por sus cualidades de ser muy selectivo a los minerales de oro y plata en presencia de sulfuros y obtener altas recuperación; previo a ello se seleccionó y utilizó el tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) por actuar en la limpieza de la superficie de las partículas; ambos actúan a un pH adecuado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda profundizar en el acondicionamiento fisicoquímico del relave previo a la flotación, evaluando variables como el pH, tipo y dosificación de reactivos, y tiempo de acondicionamiento, con el fin de optimizar aún más las recuperaciones de oro. Asimismo, se sugiere escalar las pruebas a nivel piloto, considerando el potencial económico y técnico que representa la recuperación de más del 70% de los valores metálicos en relaves antiguos.
- Realizar pruebas experimentales utilizando métodos combinados de flotación y lixiviación para lograr las mayores recuperaciones de oro.
- Seguir evaluando la granulometría adecuada para cada lote de mineral, así como la cinética de flotación y/o lixiviación de acuerdo con las circunstancias experimentales.
- Para perfeccionar la selectividad del procedimiento y aumentar al máximo la recuperación de oro y plata, se aconseja seguir evaluando el colector Danafloat 468 y el acondicionador tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) en distintas condiciones de pH. Asimismo, se recomienda realizar ensayos comparativos con otros reactivos para disminuir los costos de operación y asegurar la sostenibilidad del tratamiento de relaves.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

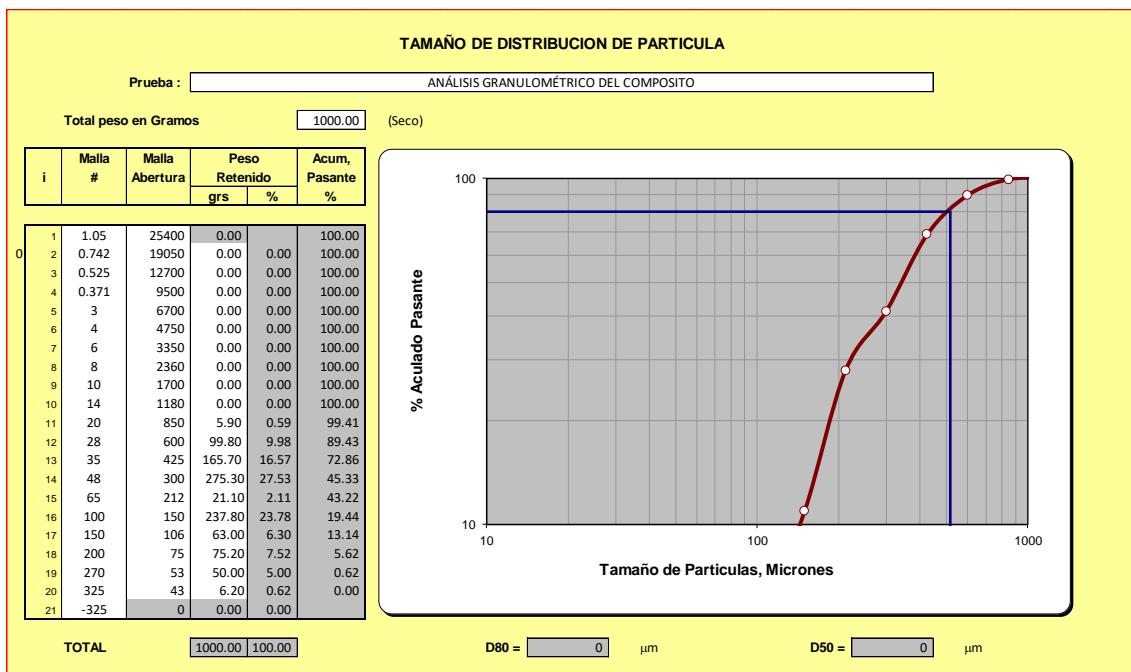
- Abarca, J. (2011). Flotación de minerales. Lima: JFSC.
- Acosta, A. (2015). *Metalurgia de pórfidos de cobre - arsénico - oro*. Lima: INGEMMET.
- Addison, R. (1986). Gold and Silver Extraction from Sulfides ores. *Mining Congress Journal* (págs. 47 - 54). Melbourne: Congress.
- Argall, G. (1984). Precious 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). Johanesbrugo: 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.
- Paez, O. (2010). *Apuntes de concentración de minerales I*. Atacama: Universidad de Atacama.
- Rivera, G. (1960). *Mineralogía descriptiva*. Lima: UNMSM.
- Smith, K. (2005). *Manual del Falcon Concentrator*. Australia: Falcon.
- Sutulov, A. (1963). *Flotación de minerales*. Concepción: Universidad de Concepción.
- 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 1: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Figura 9 Plantilla para determinar el análisis granulométrico



Nota: Formato desarrollado por Molycop 3.0 en Excel.

Figura 10 Tabla estándar de las pruebas de flotación

Prueba de Flotación - Estándar U. A.

Condiciones		Reactivos g/T								Parámetros de flotación					
Etapas de Flotación	Molienda	Reactivos g/T			Parámetros de flotación			Tiempo (min)	pH	Aire (psi/min)	Sólidos:	Nº Prueba:	Pasante (P80):	Molienda:	Peso de Muestra:
		Danafloat, 468	Z - 11 (ml)	NaCN	Na2S2O5	MIBC (Gotas)	RPM								
Molienda								33	10						
Acondicio	5,0	1,0	0,5	2,0	1,0	1000		4	8,0						
Flotación de Au		1,0			3,0	1000		5	8,0						5
Total	5,0	2,0	0,5	2,0	4,0	1000		19							5

Figura 11 Tabla estándar de balances metalúrgicos

Leyes: %, g/TM			Contenidos			Distribución (%)		
Au	Ag	% Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu
18.20	21.5	0.45	18	21.5	450	100.0	100.0	100.0
212.30	186.8	18.40	10275	9045	9045	56.46	42.05	68.28
1.60	2.5	0.15	1523	2375	2375	43.54	57.95	31.72

Figura 12 Lista de Cotejo

LISTA DE COTEJO

Proyecto: Evaluación experimental por flotación en la recuperación de oro de relaves antiguos de minera

Responsables: Bach. Franklin E. Cayetano C. / Bach. Luis A. Cosme C

Lugar: Zona de relaves – Minera Nacional – Huachón

Fecha: 27 de febrero del 2025

Nº	Criterios de Verificación	Cumple (✓)	No cumple (✗)	Observaciones
1	Se utilizaron los Equipos de Protección Personal (EPP) adecuados durante el muestreo	✓		
2	Se respetó la profundidad de muestreo (2,00 m) según el diseño de redes	✓		
3	La muestra fue homogeneizada correctamente (cono y cuarteo)	✓		
4	Se prepararon correctamente las briquetas para el análisis mineralógico	✓		
5	Se realizó el análisis granulométrico usando software Molycop 2.0	✓		
6	Se dosificaron correctamente los colectores y modificadores (Danafloat 468, Na ₂ S ₂ O ₈ , etc.)	✓		
7	Se controló adecuadamente el pH de la pulpa durante las pruebas de flotación (8-10)	✓		
8	Se registraron todos los resultados de las pruebas de flotación (concentrado, recuperación)	✓		
9	Se procesaron los datos experimentales con Minitab/Excel	✓		
10	Se aplicaron normas de seguridad durante el tratamiento de reactivos y operación de equipos	✓		

Figura 13 Matriz de Consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO

Evaluación experimental por flotación en la recuperación de oro de relaves antiguos de minera “La Nacional” - Huachón – Pasco - 2024

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	POBLACION Y MUESTRA
PROBLEMA GENERAL <u>¿Cómo influye la evaluación experimental por flotación en la recuperación de oro de relaves antiguos de Minera “La Nacional” - Huachón - Pasco - 2024?</u>	PROBLEMA GENERAL <u>Determinar la influencia de la evaluación experimental por flotación en la recuperación de oro de relaves antiguos de Minera “La Nacional” - Huachón - Pasco</u>	HIPÓTESIS GENERAL <u>La evaluación experimental por flotación influye significativamente en la recuperación de oro de relaves antiguos.</u>	VARIABLE INDEPENDIENTE <ul style="list-style-type: none"> Evaluación experimental por flotación. VARIABLE DEPENDIENTE <u>Recuperación de oro</u>	INDICADORES <ul style="list-style-type: none"> X= Reconocimiento mineralógico Y= Grado de concentrado (g/t Au). 	INSTRUMENTOS <ul style="list-style-type: none"> Observación directa, pruebas de flotación. Lista de cotejo, ficha de evaluación, celda de flotación, microscopio, pHmetro 	TIPO: Aplicada NIVEL: Explicativa – Predictiva. METODO: Analítico. DISEÑO: Experimental (Diseño factorial 2 ³ sin grupo de control)	POBLACION: Relaves antiguos de la Minera “La Nacional” (650 TM aprox.) MUESTRA: 50 kg de relave extraídos mediante muestreo en red.
PROBLEMAS ESPECIFICOS <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la caracterización mineralógica de los relaves? • ¿Cuál es la granulometría óptima para la flotación? • ¿Cómo influye la selección del colector? 	PROBLEMA ESPECIFICOS <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la caracterización mineralógica de los relaves? • ¿Cuál es la granulometría óptima para la flotación? • ¿Cómo influye la selección del colector? 	HIPÓTESIS ESPECIFICOS <ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar mineralógicamente los relaves. • Evaluar la granulometría óptima. • Evaluar la influencia del colector en la flotación. 	VARIABLE INTERVINIENTE <ul style="list-style-type: none"> • Colector (Danafloat 468) (g/TM). • PH. • Tiempo de flotación (minutos). 				

Figura 14 Vista de la antigua Planta de la “Minera Nacional”



Figura 15 Recolección de muestras en la antigua Planta de la “Minera Nacional”

