

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Tratamiento metalúrgico a los relaves para la recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield Perú**

**S.A.C. Lima – 2022**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Metalurgista**

**Autor:**

**Bach. Cristian Jacob BERROSPI BORDA**

**Asesor:**

**Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Tratamiento metalúrgico a los relaves para la recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield Perú**

**S.A.C. Lima – 2022**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCÍA**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Eusebio ROQUE HUAMÁN**  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser nuestro creador.

A mis padres por su apoyo incondicional que me brindaron para ser un profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Mis sinceros agradecimientos a mis familiares, quienes me han brindado lo mejor de ellos para ser un profesional.

Expreso mis agradecimientos a los catedráticos de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica, de la UNDAC, por compartir sus conocimientos teóricos y prácticos en mi formación profesional.

Asimismo, expreso mis agradecimientos a los profesionales, empleados y obreros del laboratorio químico metalúrgico de la planta concentradora Copperfield Perú S.A.C. Lima; quienes me han apoyado en hacer realidad el presente trabajo de investigación

## RESUMEN

Al momento de redactar el trabajo de investigación para presentar como tesis lo he intitulado tratamiento metalúrgico a los relaves para la recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield Perú S.A.C. Lima, este título nace debido a que la Empresa Minera Paltarumi S.A.C. tiene depósito de relaves de su tratamiento que lo hacen en flotación y lixiviación, donde la ley de cabeza que presenta es:

Código de muestra	Au (g/TM)	Ag (g/TM)	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	H <sub>2</sub> O %
Cabeza	2,07	29,26	0,07	1,01	0,94	11,06	1,62	14,03

Cuyos objetivos específicos son:

1. Determinar el grado de remolienda para seleccionar la malla adecuada al tamaño requerido.
2. Determinar la concentración y dosificación de reactivos de flotación para la recuperación del oro en el concentrado.

Como metodología de investigación está planteada se puede manifestar que el tipo de investigación es experimental, el método es aplicado, cuantitativa y como diseño es la explicativa.

Con los resultados obtenidos podemos decir que si se puede realizar la recuperación del oro al 74,49 % a una granulometría equivalente a 85% malla – 200 con una concentración y dosificación de reactivos en xantato Z-6 al 10% y 30 g/TM respectivamente.

Para la verificación de los resultados metalúrgicos se aplicó ANOVA de 2<sup>n</sup> que es el estadístico aplicado, teniendo como resultado 74,65 % de oro en recuperación, al realizar la comparación entre el experimental y el calculado por ANOVA se observa que es muy próximo.

**Palabra clave:** Grado de remolienda, Concentración y dosificación de reactivos

## ABSTRACT

At the time of writing the research work to present as a thesis I have entitled metallurgical treatment to tailings for gold recovery at laboratory level in the Copperfield Peru S.A.C. concentrator plant in Lima. Lima, this title was born due to the fact that Empresa Minera Paltarumi S.A.C. has a tailings deposit from its flotation and leaching treatment, where the head grade is:

Sample code	Au (g/TM)	Ag (g/TM)	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	H <sub>2</sub> O %
Head	2,07	29,26	0,07	1,01	0,94	11,06	1,62	14,03

Whose specific objectives are:

1. To determine the degree of regrind in order to select the appropriate mesh for the required size.
2. Determine the concentration and dosage of flotation reagents for the recovery of gold in the concentrate.

With the results obtained we can say that it is possible to recover 74.49 % of gold at a granulometry equivalent to 85% mesh - 200 with a concentration and dosage of reagents in xanthate Z-6 at 10% and 30 g/TM respectively.

For the verification of the metallurgical results, ANOVA of 2n was applied, which is the applied statistic, having as a result 74.65 % of gold recovery, when comparing the experimental and the calculated by ANOVA, it is observed that it is very close.

Keyword: Reagent concentration and dosage, degree of regrinding, concentration and dosage.

## INTRODUCCIÓN

En la litosfera están presente los minerales sean estos nativos, sulfuros, óxidos y otros, asimismo contienen minerales no metálicos y minerales industriales, como estudiantes hemos llegado a desarrollar los métodos de concentración, con ello aportar a nuestro país en su crecimiento económico, ya que es la principal fuente de ingresos.

En la presente investigación se ha continuado con la recuperación del oro de los relaves que han sido depositados por la Empresa Minera Paltarumi, estos minerales han sido trasladados a la planta concentradora Copperfield Perú S.A.C., para realizar el tratamiento, antes de ello lo que se hizo son pruebas a nivel de laboratorio en Bach para plantear la recuperación ya que se tenía una ley de cabeza aceptable para el tratamiento.

Con el apoyo de los profesionales y técnicos se hizo realidad esta investigación, ya que cada uno de ellos nos daba su sugerencia para fortalecer la idea de la recuperación.

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

**Capítulo I.** Problema de Investigación: Identificación y determinación del problema, Formulación del problema, Formulación de objetivos, Justificación de la investigación, limitaciones de la investigación.

**Capítulo II.** Marco Teórico: Antecedentes de estudio, Bases teóricas – científicas, Definición de términos básicos, formulación de hipótesis, Identificación de variables, Definición operacional de variables e indicadores.

**Capítulo III.** Metodología y técnicas de Investigación: Tipo de investigación, Métodos de investigación, Diseño de investigación, Población y muestra,

Técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos, Tratamiento estadístico, Selección validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación, Orientación ética.

**Capítulo IV.** Resultados y Discusión: Descripción del trabajo de campo, Presentación, análisis e interpretación de resultados, Prueba de hipótesis, Discusión de resultados.

Las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

## ÍNDICE

**DEDICATORIA**

**RECONOCIMIENTO**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**INTRODUCCIÓN**

**ÍNDICE**

### **CAPÍTULO I**

#### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

1.1. Identificación y determinación del problema .....	1
1.2. Delimitación de la investigación .....	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.3.1. Problema general .....	3
1.3.2. Problemas específicos.....	3
1.4. Formulación de objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos .....	4
1.5. Justificación de la investigación.....	4
1.6. Limitaciones de la investigación .....	5

### **CAPÍTULO II**

#### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de estudio .....	6
2.2. Bases teóricas – científicas .....	8
2.2.1. Conminución.....	8
2.2.2. Granulometría del mineral. ....	9
2.2.3. Flotación: .....	10
2.2.4. Cinética de Flotación. ....	11
2.2.5. Tiempo de Residencia.....	11
2.2.6. Reactivos de flotación.....	12
2.2.7. Dosificación de reactivos de flotación.....	18
2.2.8. pH.....	19

2.3. Definición de términos básicos. ....	20
2.4. Formulación de hipótesis.....	21
2.4.1. Hipótesis general.....	21
2.4.2. Hipótesis específicas.....	21
2.5. Identificación de variables:.....	21
2.6. Definición operacional de variables e indicadores .....	22

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1. Tipo de investigación .....	23
3.2. Nivel de investigación .....	23
3.3. Métodos de investigación .....	24
3.4. Diseño de investigación.....	24
3.5. Población y muestra .....	27
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	28
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	28
3.8. Tratamiento estadístico.....	29
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica .....	29

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Descripción del trabajo de campo .....	30
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	32
4.2.1 Presentación y análisis de datos obtenidos .....	34
4.3. Prueba de hipótesis .....	41
4.3.1 Moliendabilidad:.....	41
4.3.2 Flotación exploratoria para evaluación de reactivos.....	42
4.4. Discusión de resultados .....	52
4.4.1. Balance metalúrgico .....	52

#### **CONCLUSIONES**

#### **RECOMENDACIONES**

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

#### **ANEXOS**

MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANEXO 1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Tabla de variables dependientes e independientes.....	22
<b>Tabla 2:</b> Muestreo de minerales en cada viaje y organizado por compósito.....	26
<b>Tabla 3:</b> Peso promedio de cada compósito, doce datos recolectados. ....	34
<b>Tabla 4:</b> Ley de cabeza analizada en laboratorio químico por compósito .....	38
<b>Tabla 5:</b> Resultados de la flotación de los minerales de oro .....	39
<b>Tabla 6:</b> Determinación de la moliendabilidad .....	41
<b>Tabla 7:</b> Determinando el tiempo de molienda gráficamente. ....	42
<b>Tabla 8:</b> Puntos de dosificación de reactivos .....	43
<b>Tabla 9:</b> Resultado de la moliendabilidad .....	45
<b>Tabla 10:</b> Punto de dosificaciones .....	45
<b>Tabla 11:</b> Recuperación de Oro .....	47
<b>Tabla 12:</b> Se corre para estimar la recuperación del oro .....	48
<b>Tabla 13:</b> Análisis de la varianza en la recuperación del oro .....	48
<b>Tabla 14:</b> Coeficiente de regresión para la recuperación del oro .....	49
<b>Tabla 15:</b> Maximizar el factor del espumante versus xantato Z-6 .....	49
<b>Tabla 16:</b> Balance general con dilución al 5% en los xantatos Z-6 .....	52
<b>Tabla 17:</b> Balance metalúrgico y Z-6 al 10% .....	53

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Organigrama operacional de la planta concentradora Copperfield Perú S.A.C. ....	31
<b>Gráfico 2:</b> Diagrama de flujo de molienda y flotación a nivel de laboratorio.....	37
<b>Gráfico 3:</b> Curva de moliendabilidad .....	42
<b>Gráfico 4:</b> Diagrama de Pareto en la recuperación del oro .....	50
<b>Gráfico 5:</b> Efectos principales en la recuperación del oro.....	50
<b>Gráfico 6:</b> Interacción en la recuperación del oro .....	51
<b>Gráfico 7:</b> Superficie de respuesta estimada en la recuperación del oro .....	51
<b>Gráfico 8:</b> Contornos de la superficie de respuesta estimada en la recuperación del oro .....	52

# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Identificación y determinación del problema**

La Empresa Minera Paltarumi S.A.C. inicia sus operaciones desde 2012, dedicándose a la adquisición y procesamiento de oro y polimetálicos 100% trazable que es proveniente de la minería artesanal, de la pequeña minería y mediana, siendo la explotación principal la minería aurífera, cuya composición mineralógica del mineral que se tiene en la explotación minera es de Cuarzo, Hematita, Limonita, Piritita y Arsenopiritita.

En la planta se hace el tratamiento del mineral en lixiviación por agitación mediante el método CIP (carbón en pulpa). en la etapa de la molienda y remolienda se tiene un 85% malla -200 que es controlado cotidianamente, la descarga de la molienda – clasificación, pasa al ciclón donde el overflow es dirigido a una zaranda vibratoria cuya finalidad es separar las partículas sólidas gruesas, La pulpa entra a un cajón distribuidor que alcanza a pasar por la malla es descargada en un cajón

receptor y la pulpa pasante entra directamente al tanque para su agitación y cianuración. Las partículas de oro ya empiezan a lixivarse desde que entran a los molinos, pero no llegan a liberarse totalmente debido a eso siguen lixiviándose en los tanques de agitación alcanzando una recuperación del 89% al 92% de oro en dilución. Llegando a la relavera un 1,2 gramo de oro que está presente, de igual manera se tiene plomo, zinc y plata.

Motivo por el cual la planta concentradora Copperfield Perú S.A.C. adquiere los relaves de la empresa minera Paltarumi S.A.C. ya que posee una capacidad instalada de 400 T.M.D., y opera bajo un sistema convencional de chancado, molienda y flotación, se dedica al procesamiento de mineral de acopio por campaña y mineral de relave, encontrándose inconvenientes en la recuperación del oro es por ello que se plantea el tratamiento metalúrgico a los relaves para la recuperación de oro a nivel de laboratorio.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

Los minerales auríferos que están contenidos en el relave de la empresa minera Paltarumi S.A.C., son adquiridos por campaña por la empresa minera Copperfield Perú S.A.C., para que sea tratadas y recuperar el oro presente en dicha relavera mediante el proceso de flotación por espumas.

- Delimitación geográfica

El proyecto de investigación se va desarrollar en el laboratorio químico metalúrgico de la planta concentradora Copperfield Perú S.A.C., que está ubicada en el distrito de Paramonga, provincia de Barranca región de Lima. Los minerales auríferos con contenidos de plomo, zinc, plata, arsénico y pirita obtenidos de la relavera de la empresa minera Paltarumi S.A.C.,

- Delimitación de la población

La Empresa Minera Copperfield Perú S.A.C., trata minerales auríferos y sulfurados por campaña de la relavera de la minera Paltarumi lo que significa tratar minerales que está contenido en el relave siendo una población de 5 mil millones de toneladas de minerales arsenicales con contenidos de plomo, zinc, plata.

- Delimitación de tiempo

El proyecto de investigación se va llevar a cabo en un tiempo de seis meses, que se inicia en el mes de mayo 2022 y culmina en el mes de noviembre 2022. Para llevar a cabo la investigación se hizo un cronograma de actividades tomando en cuenta el interés que se tiene que recuperar el oro que este contenido en el relave.

### **1.3. Formulación del problema**

Para formular el problema se tiene en cuenta el problema principal del proyecto de investigación en el tratamiento metalúrgico del relave de la empresa mineral Paltarumi que contiene oro para su recuperación a nivel de laboratorio.

#### **1.3.1. Problema general**

- ¿Qué tratamiento metalúrgico se puede hacer a los relaves para la recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield PERU?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cuál será el grado de remolienda primaria para seleccionar la malla adecuada al tamaño requerido?

- b. ¿Cuál será la concentración y redosificación de reactivos de flotación para la recuperación del oro en concentrado?

#### **1.4. Formulación de objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

- Determinar el tratamiento metalúrgico que se puede hacer a los relaves para la recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield Perú.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar el grado de remolienda para seleccionar la malla adecuada al tamaño requerido.
- b. Determinar la concentración y dosificación de reactivos de flotación para la recuperación del oro en el concentrado.

#### **1.5. Justificación de la investigación**

##### **Justificación teórica**

El proyecto de tesis plantea una investigación práctica a nivel de laboratorio en el que se puede demostrar que un tratamiento metalúrgico del mineral aurífero para obtener el oro en concentrado, estos tipos de minerales auríferos que contiene el mineral de hierro se hace complejo, por lo que se tiene que profundizar el marco teórico para la recuperación del oro en concentrado.

##### **La justificación práctica**

El proyecto de tesis que se plantea nos permite desarrollar investigaciones a nivel Bach en el laboratorio químico - metalúrgico, con el fin de encontrar el

tamaño apropiado de la partícula de mayor área superficial en la conminución, y determinar la dosificación de los reactivos de flotación para obtener un mayor concentrado de oro del relave.

### **La justificación metodológica**

La metodología que se adapta al proyecto de tesis es la aplicada y cuantitativa, porque se relaciona con la actividad practica que se hace en el laboratorio con el fin de recuperar el concentrado de oro de un mineral depositado en el relave. El tipo de investigación planteada sería la **experimental** por desarrollarse a nivel de laboratorio y el diseño podría sustentarse en la **explicación**.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

El proceso de investigación que se va a desarrollar presenta como limitaciones en el marco teórico es la bibliografía que es muy escasa en el mundo de la minería, debido a que nuestro país presenta minerales polimetálicos, la otra limitación que se tiene es el laboratorio químico metalúrgico donde se cuenta con equipos precarios, en el que tenemos que adecuarnos para el tratamiento de los minerales con los equipos a nivel de laboratorio, con un poco de pericia se puede obtener buenos resultados.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

CHILÓN H. D. y MEJÍA M. R. (2018), en su tesis para optar el título profesional de ingeniero metalúrgico, cuyo título de la tesis es “Tratamiento de relaves de cianuración de concentrados refractarios para la recuperación de oro y plata en la zona de Calpa - Arequipa” indican en su resumen que:

“La muestra representativa del relave refractario, para el presente estudio de investigación, proviene de la ciudad de Calpa, distrito de Atico, provincia de Caraveli del departamento de Arequipa, con una ley ensayada de 5,67 g/TM de oro. La caracterización de la muestra se realizó en el microscopio óptico polarizado, en la escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la UNMSM, los resultados de esta caracterización indicaron la presencia de las siguientes especies mineralógicas: Covelita, Pirolusita, Psilomelano, Esfalerita, Ilmenita, Pirita, Hematita, Goethita y gangas. En base a los resultados de la caracterización se realizaron pruebas metalúrgicas de flotación a una granulometría de 65.20 % malla -200 malla con reactivos MIBC y Z11, obteniéndose una calidad del concentrado de 19,72 g/TM,

con una recuperación de 78,20 % y 4,48 como radio de concentración de oro. Y plata obteniéndose una calidad de concentrado de 24,12 gr/TM; con una recuperación de 81,67 %. Con el concentrado de la mejor prueba de flotación, se realizaron pruebas metalúrgicas de biolixiviación, degradando 75,20 % de hierro en solución para un tiempo de 15 días con un cultivo de cepas bacterianas 9K. El concentrado biolixiviado de la mejor prueba de flotación se remolió hasta una granulometría de 83,29 % malla -200 para realizar pruebas metalúrgicas de cianuración en botella a diferentes tiempos, la prueba más representativa es a 36 hrs. de cianuración, recuperando 95,38 % de oro y 97,56 % de plata, con 4,15 Kg/TM de cianuro de sodio y 10,20 Kg/TM de Cal. El proceso metalúrgico adecuado de acuerdo a los resultados de la investigación de la presente tesis, para la recuperación de oro en relaves refractarios en la ciudad de Calpa, fue una flotación a agotamiento del relave, seguido de la biolixiviación del concentrado para liberar oro con cepas bacterianas 9k, y finalmente recuperar oro mediante el proceso de cianuración”. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

SUCAPUCA, G. D. (2019). En su tesis, Optimizar la recuperación de oro y plata aplicando los procesos de flotación y cianuración a los relaves provenientes de los tratamientos gravimétricos en la zona de Las Lomas – Piura, en su resumen nos da a conocer que:

“La concentración gravimétrica se utiliza para la separación de minerales de diferentes densidades utilizando la fuerza de gravedad, este proyecto consiste en buscar la recuperación óptima de los relaves que se tiene del proceso gravimétrico en Las Lomas, Piura. Para lograr la misma, se aplicaron diferentes tecnologías como lo son Flotación y Lixiviación, comparándolas entre sí. Se realiza

un muestreo lo más representativo posible, con estas muestras se realiza una caracterización de relave incluyendo el análisis químico, como consecuencia de esto se determina la granulometría adecuada para la flotación para luego aplicar la lixiviación por cianuración. Se realizan diferentes pruebas, como la determinación del P80 a diferentes tamaños de partícula, además de pruebas de flotación con el fin de determinar óptimas condiciones con la que se puede lograr una mejor recuperación de oro y plata De igual manera se realizan pruebas de Lixiviación, variando las condiciones operativas como lo son variación de pH y concentraciones de Cianuro con el mismo fin de lograr una mejor recuperación de oro y plata”.

URI: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11581>

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **2.2.1. Conminución.**

Según Basurto César (2011 pp 73). La conminución es la reducción de tamaño de un material de grandes dimensiones a un tamaño de partícula más pequeña, mediante la trituración, molienda y una clasificación para evitar el retorno innecesario del material esto se realiza sin importar el mecanismo de fractura que está involucrado.

En los circuitos de molienda, el tamaño de partícula es una de las variables de suma importancia operacional. Ya que el comportamiento del mineral en la etapa de molienda-clasificación de minerales depende del tamaño de la partícula tratada. Entonces es necesario definir y cuantificar apropiadamente esta variable. El tamaño de una partícula; según Jaime Sepulveda [24], es una medida representativa de su extensión en el espacio.

Según la técnica de medición que se pueda emplear, se puede caracterizar el tamaño de una partícula que está en función de su área superficial, su volumen a su masa.

### **2.2.2. Granulometría del mineral.**

De acuerdo al autor Castro f. Sergio. (2006. pp. 181). Donde manifiesta que:

“Se determina el tamaño de partícula que está presente una mayor recuperación de mineral de valor económico favorable, donde se puede observar, una disminución de la recuperación de ésta para tamaños más gruesos de la mena. Por otro lado, la recuperación disminuye en tamaños pequeños, cuando está relacionado con la dificultad de adherirse entre partícula/burbuja, esto es debido a que la partícula no obtiene la energía cinética suficiente para poder producir una adhesión partícula/burbuja estable. De igual manera se puede deducir que las partículas pequeñas son arrastradas fácilmente por las burbujas de aire que se va formando como espuma que se forma en la pulpa y ésta favorece con el incremento de la velocidad de sedimentación. Cabe asimismo mencionar que en la etapa de rougher de la flotación se realiza con una granulometría de la mena que es debidamente liberada la partícula ( mena de la ganga separadamente), en la etapa de limpieza en la flotación es necesaria la selectividad de las partículas mineralizadas de valor económico favorable, es así, que el tamaño de partícula es la variable de mayor importancia en su control, exigido a su efecto en la recuperación metalúrgica y para la selectividad del concentrado final”.

### **2.2.3. Flotación:**

La flotación es un proceso muy utilizado en la recuperación de los minerales debido a la propiedad hidrofóbica natural que tienen algunos minerales como los minerales nativos, en otros casos se tiene que adicionar un reactivo (colector) para otorgarle esta propiedad hidrofóbica.

Revisando Wikipedia encontramos que:

“La flotación es un proceso físico-químico donde se hace la separación de minerales que ha sido finamente molidos en varias etapas de la conminución, estas están basadas en las propiedades superficiales del mineral (llamado mojabilidad), donde un mineral o varios se queden en una fase o puedan pasar a otra fase. Las propiedades superficiales se pueden modificar a voluntad propia con el apoyo de reactivos de flotación”.

“El proceso de flotación está basado en las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los minerales. Se trata de un fenómeno de comportamiento de sólidos frente al agua. Los principios básicos del proceso de la flotación son los siguientes:

- La propiedad hidrofóbica del mineral que le permite la adherencia de las partículas sólidas a las burbujas de aire.
- La formación de espuma al inyectar aire y que por adición del espumante se tiene espuma estable en la superficie del agua permitiendo mantener a las partículas sólidas en la superficie.”

“Para cumplir estos principios requerimos de la adición de reactivos químicos al sistema. Estos reactivos de flotación son: colectores, depresores, activadores y modificadores, cuya acción principal es inducir e inhibir hidrofobicidad de las partículas y darle estabilidad a la espuma formada.”

“Las partículas minerales con propiedad hidrofóbica tienen la capacidad de adherirse a la burbuja de aire que está presente en la pulpa, en cuanto a la propiedad hidrofílica, como la ganga, no se adhieren. La superficie hidrofóbica presenta afinidad por la fase gaseosa y repele la fase líquida, mientras que la superficie hidrofílica tiene afinidad por la fase líquida.”

#### **2.2.4. Cinética de Flotación.**

Cinética de flotación es la velocidad que se realiza en la flotación de minerales, observando que el contenido metálico fino que se está recuperando en el concentrado debe de estar en función del tiempo de flotación, que está bajo modelos matemáticos que son obtenidos al describir el comportamiento de la velocidad de flotación del mineral de valor económico favorable calculando los parámetros cinéticos. (Guzmán Rivera Levi 2015. pp. 53).

#### **2.2.5. Tiempo de Residencia.**

Azañero Rodríguez José. (2002. Pp. 8), dice que “el tiempo de flotación tiene como dependencia las características del mineral que se va a flotar, y todos los factores que están en el proceso. El tiempo óptimo de cada etapa de flotación se determina aplicando el criterio de Agar et al. mediante pruebas cinéticas de flotación”.

### 2.2.6. Reactivos de flotación

**Colectores aniónicos:** Son los más usados en la flotación de minerales por la selectividad y su fuerte adherencia a la superficie mineral.

**Colectores catiónicos:** Es el grupo de las aminas, derivada del amonio,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , en que los átomos de hidrógeno (H) están reemplazados por radicales de hidrocarburos alquílicos. Según el número de hidrógeno que son reemplazados por radicales de hidrocarburos que forman las aminas primarias, aminas secundarias, aminas terciarias o aminas cuaternarias; las aminas primarias son las más utilizadas en la flotación. El colector catiónico está conformado por aminas y derivados amínicos. Se caracterizan por su fácil adsorción y desorción, como consecuencia de un mecanismo de atracción electrostático. Estos reactivos son menos selectivos que los aniónicos, pero en la flotación de cuarzo, silicato y minerales oxidados son más efectivos que los aniónicos. Tienen la ventaja de no ser sensibles a la presencia de iones extraños en la pulpa, por lo que es válida en el tratamiento con agua muy dura. Por ende, tampoco son muy sensibles a las variaciones de pH. (Abarca Rodríguez Joaquín José (2011 pp. 42-47).

**Xantato:** Son sales sódicas o potásicas del ácido xántico o xantogénico. En este grupo de reactivo tienen una gran aceptación debido a su bajo costo, su fuerte propiedad colectora y su alta selectividad. Es usado para la colección de los minerales sulfurados, minerales nativos y minerales oxidados. Se emplea en los circuitos neutros o alcalinos si se usado en medio ácido sufre hidrólisis. Se ha comprobado que la propiedad hidrofóbica de los xantatos se incrementa con la longitud de la cadena hidrocarbonatada y con ramificación. Se emplea en dosis que van desde los 5 a 100 g/l. (Abarca Rodríguez Joaquín José (2011 pp. 42).

**Depresores:** Este reactivo disminuye la flotabilidad del mineral por su propiedad superficial que es más hidrofílica, que impide la adsorción del colector que puede ser hidrofóbica. Para el caso, primero se introduce en la pulpa un ion depresor que compite con el ion colector por la superficie del mineral. Siendo natural este comportamiento, si se adiciona colector de tipo aniónico entonces se adiciona el ion depresor y éste tiene que ser un anión y/o viceversa. El mecanismo del depresor es muy análogo al mecanismo del colector, en ambos casos lo que se requiere es la fijación por intercambio iónico o adsorción física, con la única diferencia de que, en el caso de la fijación de un ion, hace que la superficie sea hidrofílica y en la fijación de un catión sea hidrofóbica. (Abarca Rodríguez Joaquín José (2011 pp. 42-47).

**Espumantes:** Son compuestos orgánicos heteropolares, con mayor afinidad con el agua. es tenso activo, son reactivos que se adsorben selectivamente en la interface gas-líquido, donde se reduce la tensión superficial. Que permite la formación de una espuma estable y la generación de burbujas pequeñas. El más usado es los alcoholes, ácidos, poliglicoles y aminas. (Abarca Rodríguez Joaquín José (2011 pp. 42-47)

#### **Reactivos de flotación usados en la investigación:**

Los reactivos utilizados son adquiridos de RENASA, empresa dedicada a la venta de reactivos de flotación aquí en Perú.

- **AEREO-404**
- **Propiedades típicas**
- **Estado físico:** líquido (solución acuosa)

- **Gravedad específica:** 1,17 @ 25°C
- **pH:** > 13.5
- **Solubilidad en agua (20 °C):** soluble
- **Color:** ámbar (desde claro a oscuro)
- **Propiedades químicas**
- El **AERO® 404 Promoter**, es una solución acuosa alcalina de sus componentes activos.

En medio ácido se transforma en el ácido ditioposfórico correspondiente y mercaptobenzotiazol, ambos insolubles en agua.

El producto se degrada frente a agentes oxidantes. En su descomposición térmica, puede generar SO<sub>2</sub>, óxidos de nitrógeno y fósforo.

### **Usos**

Sus principales aplicaciones se encuentran en la flotación de sulfuros de Plomo y Zinc activados, sulfuros de Cobre y Cobre metálico en circuito alcalino, Oro y Plata asociados a pirita, sulfuros de Níquel. También puede utilizarse en la flotación de minerales de Cobre alterados o parcialmente oxidados y de sulfuros de Hierro en circuitos ácidos. Las dosificaciones típicas de AERO® 404 Promoter varían entre 2 y 100 g/t, dependiendo del contenido del elemento de interés en la alimentación y del empleo de otros colectores en la fórmula colector.

[\(https://www.renasa.com.pe/\)](https://www.renasa.com.pe/)

- **AEREO-208**
- **Propiedades químicas**

El **Aerofloat® 208 Promoter** es una solución acuosa alcalina de una mezcla de Ditiofosfatos. En medio ácido se transforma en los correspondientes ácidos ditiofosfóricos, insoluble en agua.

Se descompone en medio ácido fuerte (ejemplo ácido sulfúrico concentrado), generando gases tóxicos e inflamables. El producto degrada en contacto con oxidantes ó expuesto a temperaturas altas (>100°C). Por descomposición térmica, puede generar SO<sub>2</sub> y óxidos de nitrógeno.

### **Usos**

El Aerofloat® 208 Promoter es un excelente colector para la flotación de minerales de oro, plata y cobre con una alta selectividad frente a pirita constituyendo un excelente reemplazo parcial o total de xantato en esta aplicación. **Excelente colector para Plata oro y Cobre** nativo. El producto puede ser aplicado en conjunto con colectores de la serie 400 de Cytec. Sus principales ventajas son la obtención de un concentrado de alta ley, con elevadas recuperaciones metalúrgicas.

Los ditiofosfatos, como el **Aerofloat® 208 Promoter**, pueden usarse en un amplio rango de pH.

En general el valor óptimo se encuentra entre 10-10.5. Las dosis pueden variar entre 5-100 g/t, dependiendo de la ley de alimentación y el uso de otros colectores en el proceso. (<https://www.renasa.com.pe/>)

- **D-250**
- **Propiedades físicas**
- **Color: incoloro**

- **Forma: líquido**
- **Gravedad específica: 0,98 @ 25°C**

#### **Usos**

Utilizado ampliamente en la **flotación de minerales sulfurados** de Cu, Pb, Zn y Co-Ni; y metales nativos (Au y Ag). También es utilizado para la **flotación de metales preciosos**, óxidos metálicos y minerales no metálicos. Es altamente efectivo a pH alcalino. No obstante, puede ser usado con pulpas en un rango de pH de 3,5 a 12,3. Su forma usual de alimentación puede ser sin diluir. Sus puntos de alimentación son frecuentemente en etapa de acondicionamiento, o bien directamente en circuito de flotación con dosificación típica en el rango de 5 a 100 g/t, el cual depende del empleo de otros espumantes.

[\(https://www.renasa.com.pe/\)](https://www.renasa.com.pe/)

#### **MIBC**

##### **Espumante MIBC (METILISOBUTILCARBINOL)**

- **Sinónimos: 4-Metil-2-Pentanol, Alcohol Metilisoamílico**
- **Fórmula molecular: C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>O**
- **Peso molecular: 102,17**
- **Propiedades físicas**
- **Ebullición, 760 mm Hg (°C): 131,7**
- **Punto de cristalización (°C): 90,0**
- **Presión de vapor 20°C (kPa): 0,495**
- **Producto en el agua – Solubilidad 20°C (%): 0,7**
- **Agua en el producto – Solubilidad 20°C (%): 0,3**
- **Solubilidad en solventes orgánicos: Soluble**

- **Viscosidad 20°C (Cp): 5,14**
- **Índice de evaporación (acetato de n-butilo = 100): 21,88**

**Características generales:**

El Espumante MIBC es un líquido incoloro, inflamable, tóxico si inhalado o absorbido por la piel, de olor aromático poco soluble en el agua y miscible con la mayoría de los solventes orgánicos.

**Aplicaciones principales:**

El METILISOBUTILCARBINOL (MIBC) se utiliza principalmente como agente espumante en el proceso de flotación de minerales. También se utiliza en la industria de pinturas y barnices, síntesis orgánicas, aditivos para lubricantes, etc.

[\(https://www.renasa.com.pe/\)](https://www.renasa.com.pe/)

- **Xantato: Z-6.**
- Datos de la ficha técnica del Xantato Z6
- Nombre del Producto: **Xantato Amilico de Potasio – Xantato Z6.**
- **Fórmula Química: C<sub>6</sub>H<sub>11</sub>OS<sub>2</sub> K.**
- **Sinónimos: Amil Ditiocarbonato de Potasio.**
- **Peso Molecular: 202,37**
- **Especificaciones del Xantato Z6**
- **Concentración: Mínimo 90%**
- **Densidad aparente: 0,47**
- **pH (Solución al 5%): 10,8**
- **Solubilidad en agua: Completa.**
- **Propiedades físicas del Xantato Z6**

- **Estado físico: Sólido.**
- **Color y olor: Blanquecino a amarillo, olor a azufre.**
- **Punto de fusión: 124 °C**
- **Peso molecular: 202,37**
- **Fórmula química: C6H11OS2K**
- **Los xantatos tienden a descomponerse en soluciones con un pH inferior a 6,0.** (<https://www.renasa.com.pe/>)

### **Usos**

En la industria minera EL XANTATO Z6 es usado como agente colector en la flotación de minerales de sulfuro, elementos metálicos tales como cobre, plata y oro y bastantes minerales oxidados de plomo y cobre.

Los xantatos son sustancialmente no espumantes y por lo tanto pueden emplearse en cualquier cantidad necesaria, sin peligro de producir espumación excesiva. Esto hace posible que, mediante el uso de agentes espumantes no colectores en combinación con los xantatos, se logre un control altamente flexible y separado de la acción colectora y espumante, lo cual es una gran ventaja para mantener las condiciones adecuadas de flotación durante los cambios de mineral.

#### **2.2.7. Dosificación de reactivos de flotación.**

Por su parte Azañero Rodríguez Joaquín José. (2002. Pp.7-8), nos da a conocer que “La función del colector es dar la propiedad hidrofóbica a la superficie del mineral, es decir, es un reactivo químico más importante que se utiliza en la flotación. La flotación de minerales nos permite usar con eficiencia y eficacia algunos tipos de colectores dependiendo de los minerales y/o asociaciones

mineralógicas. Por otra parte, manifiesta que la elección del espumante que otorga estabilidad a la espuma, contribuyendo a la selectividad del mineral que tiene valor económico favorable. Así mismo se sabe que la altura de la espuma y el flujo de aire a la celda, estos dos afectan el tiempo de la retención de las partículas mineralizadas en la espuma. La estabilidad de la espuma depende de la dosificación del espumante. Entonces podemos decir que los reactivos de flotación necesitan de un tiempo de acondicionamiento para ser activos con la pulpa y de esa manera poder actuar en forma eficiente sobre las especies de minerales de valor económico favorable. Se entiende entonces que la etapa de acondicionamiento es de suma importancia, entonces algunos reactivos se adicionan en la molienda para estar acondicionando a la mena, mientras que otros, se adicionan directamente en la descarga de los molinos”.

### **2.2.8. pH.**

Para Abarca Rodríguez Joaquín José. (2011 Pp. 42). El pH es una variable de control que se utilizada en el proceso de flotación, resulta fundamental en la recuperación y selectividad, o en la depresión del mineral. El proceso de flotación es sensible al pH, cuando se trata de la flotación selectiva. En los reactivos de flotación, los colectores operan en ciertos rangos de pH. La regulación del pH en la flotación se realiza con lechada de cal. La lechada de cal es un reactivo importante, ya que, además de actuar como modificador de pH, es depresor del hierro en la flotación selectiva de minerales en la etapa de limpieza.

**Modificadores del medio o de pH:** El pH de una pulpa tiene importancia en la flotación, ya que los iones hidrógeno o hidroxilo ( $H^+$  y  $OH^-$ ) compiten con otros iones para alcanzar el área superficial del mineral, su concentración tiene

influencia en la disociación de las sales y en los intercambios iónicos. Los efectos de la hidrólisis que sufren los reactivos están en función a la acidez del medio, por lo tanto, los xantatos pierden la efectividad en los circuitos ácidos. La amina da mejor resultado en los circuitos alcalinos y en los circuitos de alta alcalinidad, su poder de colector disminuye notablemente. Es así que debemos reconocer que en el circuito alcalino es más empleado que el circuito ácido, los reactivos suelen ser más estables y las sales de los iones pesados precipitan eliminándose de la pulpa. Para producir el pH necesario en los circuitos de flotación se recurre a ácidos y bases de bajo costo, por lo que se utilizan: la cal, el hidróxido de sodio, el carbonato de sodio y el ácido sulfúrico. Abarca Rodríguez Joaquín José. (2011. Pp. 47).

### 2.3. Definición de términos básicos

- a. **Tratamiento:** Proceso físico, mecánico, térmico y químico que es aplicado a los minerales, donde se inicia con la explotación, con la finalidad de extraer el mineral así mismo hay una reducción de tamaño, clasificación y separación.
- b. **Mineral sulfurado:** Su tratamiento tiene como objetivo el de liberar y concentrar las partículas de mineral llamado mena que se encuentra en forma de sulfuros en las rocas.
- c. **Flotación selectiva:** Es la clasificación o separación específica de minerales complejos, basándose en sus propiedades superficiales de cada uno de ellos.
- d. **Reactivos de flotación:** Son sustancias químicas que tienden a la adsorción selectiva en límite de fase y el cambio de las propiedades físicas y químicas, otorgando condiciones para la flotación selectiva de las partículas del mineral con valor económico favorable.

- e. **Molienda de minerales:** Reducción de tamaño del sólido con agua en un cilindro giratorio.
- f. **pH:** Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

- Si determinamos el tratamiento metalúrgico que se puede hacer a los relaves entonces se realiza la recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield Perú.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- a. Si se determina el grado de remolienda entonces se puede seleccionar la malla adecuada para el tamaño requerido.
- b. Si se determina la concentración y dosificación de reactivos de flotación entonces se puede hacer la recuperación del oro en el concentrado.

## **2.5. Identificación de variables**

### **Variable dependiente**

Recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield Perú.

### **Variable independiente**

Tratamiento metalúrgico que se puede hacer a los relaves

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

**Tabla 1:** Tabla de variables dependientes e independientes.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores
Dependiente				
Recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield Perú.	Obtención del oro por medio de la concentración del mineral	Recuperación del oro por medio de concentrado	Toneladas por día	Porcentaje
Independiente				
Tratamiento metalúrgico que se puede hacer a los relaves	Tratamiento de las partículas de mineral de relave	Proceso del mineral en reducción de tamaño y selección por espuma para concentrar el cobre	Toneladas por día	Toneladas

**Fuente:** Elaboración propia.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo de investigación

Realizando experimentos en el laboratorio se va instruyendo y construyendo nuestros conocimientos; es así, que volviendo a hacer lo que otros ya hicieron, con los equipos del lugar y con los conceptos teóricos recibidos en la universidad o de manera autodidacta. Para ello se realiza las acciones prácticas, trabajos de laboratorio, o consultando a los expertos. En este sentido, Ruiz et. al. (2010) propone una mayor participación de los estudiantes en los proyectos de investigación y en las prácticas de laboratorio. Ellos plantean resultados como excelente cuando desarrollan proyectos. Estos proyectos están enmarcados en el tipo de investigación **Experimental**.

#### 3.2. Nivel de investigación

La investigación se aprende investigando, así lo plantea la pedagogía activa y lo manifiesta Dewey (2010) en ¿cómo estamos pensamos? si realizamos investigación vamos construyendo el nuevo conocimiento, resolviendo problemas,

nos vamos haciendo expertos, desarrollando proyectos somos proyectistas, para hacer realidad este recurso, es aconsejable la salida al campo, trabajo en laboratorio, análisis de resultado, todo ello nos conlleva a un método de investigación **Aplicada, cuantitativa.**

### **3.3. Métodos de investigación**

El proyecto de tesis a desarrollarse presenta un Diseño de investigación **explicativa:** donde la idea del investigador es clave, ya que depende de su formación profesional sobre el tratamiento de los minerales depositados en la relavera. Se da una explicación sobre la variable independiente que son aspectos explorados de acuerdo a la variable dependiente, dando a conocer sobre ¿cómo? y ¿por qué? se relacionan con las preguntas de investigación.

### **3.4. Diseño de investigación**

El traslado del mineral desde la relavera de la Empresa Minera Paltarumi S.A.C., hasta la planta concentradora de Copperfield Perú S.A.C., se realiza por volquetes (diversos tonelajes) por ciclos de viaje, una vez en la cancha de finos se procede a recolectar las muestras de cada descarga que se da. Reuniéndolos en compósitos y tomando en cuenta el código del mineral para su identificación durante los ensayos en laboratorio químico y metalúrgico, para luego sean analizados en gabinete.

El procedimiento del muestreo es de la siguiente manera:

- Se realizará la inspección del área realizando el reporte de IPERC CONTÍNUO, el cual será firmado por el trabajador.
- Cuando se muestrea en la cancha de finos en ruma, previamente se hacen 3 o 4 calicatas con la pala en cada uno de los 04 costados de la ruma, cada calicata

debe tener unos 50 cm de profundidad. En cada calicata se toman 5 o 6 incrementos con la sonda de muestreo en diferentes direcciones para calidad y 1 incremento para humedad.

- Cuando son despachos de concentrado el muestreo se realiza en la pala del cargador frontal, previo a la carga del camión que llevará la carga de concentrado tomando con la sonda de muestreo 12 incrementos para calidad y 02 incrementos para humedad por cada pala cargada.
- La toma de muestra se realiza cuando el cargador frontal está totalmente detenido y cuando el Supervisor de despacho dé autorización para el ingreso. Mientras el cargador frontal está en movimiento se debe guardar una distancia mínima de 20 metros.
- La muestra se va colocando en una bolsa en el balde de 20 l., Cada vez que el balde se llene se vaciará directamente sobre la mesa con malla utilizando las espátulas para desgrumar. Toda la muestra tiene que pasar por la malla de la mesa. La muestra se acumula sobre una lona limpia para evitar la contaminación.
- La muestra tomada en el compósito de seis se homogeniza con la ayuda de la pala, formando rumas y volteando el material 5 o 6 veces consecutivamente. Luego se extiende el mineral formando una cama de 10 a 30 cm de ancho y se divide en cuadrículas (5x4) para tomar incrementos de cada cuadrícula. Este material se separa y el remanente se devuelve a la ruma de mineral.
- El material separado (de 2 a 4 kg aproximadamente) se vuelve a homogenizar por manto sobre la lona unas 20 veces. Luego de homogenizado el material, se conforma doce promedios de compósito del cual se va a realizar la caracterización y las pruebas experimentales.

**Tabla 2:** Muestreo de minerales en cada viaje y organizado por compósito

<b>Compó sito</b>	<b>Código</b>	<b>Peso kg</b>	<b>Compó sito</b>	<b>Código</b>	<b>Peso kg</b>	<b>Comp ósito</b>	<b>Código</b>	<b>Peso kg</b>
01	10401	2,51	05	10425	3,87	09	10449	2,94
	10402	3,62		10426	4,28		10450	3,16
	10403	4,04		10427	4,19		10451	3,57
	10404	3,85		10408	4,51		10452	3,58
	10405	2,33		10429	5,12		10453	3,09
	10406	2,76		10430	4,13		10454	2,82
02	10407	2,97	06	104013	4,44	10	10455	2,93
	10408	2,29		10432	3,45		10456	2,11
	10409	3,48		10433	3,86		10457	3,36
	10410	5,21		10434	4,57		10458	3,25
	10411	3,22		10435	3,58		10459	3,49
	10412	3,33		10436	3,79		10460	2,98
03	10413	3,24	07	10437	3,81	11	10461	4,77
	10414	3,96		10438	4,23		10462	4,23
	10415	3,75		10439	3,84		10463	3,52
	10416	4,37		10440	3,66		10464	3,21
	10417	3,68		10441	4,67		10465	4,54

	10418	3,47		10442	2,88		10466	4,05
04	10419	3,46	08	10443	3,39	12	10467	4,46
	10420	4,09		10444	2,93		10468	4,07
	10421	1,91		10445	3,22		10469	3,88
	10422	3,63		10446	2,61		10470	2,91
	10423	3,95		10447	2,56		10471	3,32
	10424	4,06		10448	2,85		10472	4,03

Fuente: Elaborado por el tesista.

Es decir, en cada viaje se hace seis descargas se ha tomado en cuenta 12 viajes haciendo un total de 72 muestras de diferentes pesos cada uno de ellos, obteniendo un peso equivalente a 257,89 kilos y una media equivalente a 3,58 kilos

### 3.5. Población y muestra

Para el trabajo de investigación es de gran importancia conocer a la población, en nuestro caso está determinada por la cantidad global de la relavera de Copperfield Perú, esta población posee una característica de poder medir o estudiar. (Morles, 1994. P.54)

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

En nuestro caso, la muestra ha sido seleccionada como conglomerado del total del mineral que ha sido recolectada en forma de malla en un trabajo de campo, para obtener el compósito practicaremos la técnica del muestreo, para la separación del mineral se hace con el separador de Jones, pesar un kilo de mineral de relave para cada prueba que se va a realizar en el laboratorio o a nivel Bach.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La actividad llamada experimental a nivel de laboratorio es una técnica clave en el proceso de investigación aportando conocimiento práctico que es sustentada en la fundamentación teórica que aporta al investigador, por el desarrollo de habilidad y destreza en el trabajo experimental, existe argumento a favor del trabajo en el laboratorio, en cuanto al valor de su resultado, para resolver el objetivo planteado que está relacionado al conocimiento conceptual y procedimental, por ende, el estudio está relacionado con la metodología científica que influye en la capacidad de razonamiento, pensamiento creativo y crítico, y el desarrollo de actitud en la apertura mental, objetividad y desconfianza ante aquellos juicios de valor que carecen de evidencias necesarias (Hodson, 2000; Wellington, 2000). En el tratamiento de los minerales de relave es muy necesario el trabajo experimental a nivel Bach, luego hacer un escalamiento a nivel piloto, es así, que los datos recolectados van ser tratados a nivel de laboratorio utilizando para ello equipos y maquinarias que se encuentran instaladas en el laboratorio químico metalúrgico de Empresa Mineral Copperfield Perú.

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para la elección del tipo de técnicas de procesamiento y análisis de datos debemos tener en cuenta la forma decisiva del resultado. la capacidad de análisis e interpretación de los datos obtenidos a nivel de laboratorio que se recogen los valores típicos en una tabla que son analizados mediante causa-efecto, son las que van a responder los objetivos propuestos de acuerdo a la variable independiente

y dependiente, el requerimiento relativo al tiempo de respuesta, la condición del dato a analizar que terminará en determinar los ensayos realizados en laboratorio químico metalúrgico y que sea adecuado o caso contrario se tendrá que volver a realizar el trabajo en el laboratorio hasta conseguir una respuesta a la hipótesis planteada. (Hodson, 2000; Wellington, 2000 pp 51)

### **3.8. Tratamiento estadístico**

Para un primer nivel de análisis, se aplica la técnica de estadística descriptiva, por ejemplo, los datos van estar graficadas en tablas de contingencia, que facilita la ordenación y comparación de los datos, esto nos permite conocer los parámetros de la muestra con las que se trabaja. El recuento necesario para la elaboración de cálculos, en nuestro proyecto hacemos uso de tablas con su análisis e interpretación del resultado.

### **3.9. Orientación ética filosófica y epistémica**

La investigación es una actividad inherente en la universidad, ya que a través de la investigación se fomenta el pensamiento lógico y creativo que promueve la generación y acumulación del nuevo conocimiento, así mismo, contribuye a solucionar problema en diferentes áreas. Todo esto es debido a la actividad científica que influye en los principios éticos, los valores éticos que guían a la investigación dentro y fuera de la universidad, (Informe Belmont (1979), tomando conocimiento de ello respetamos a los autores en citas bibliográficas, trabajos relacionados al tratamiento de los minerales de relave.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

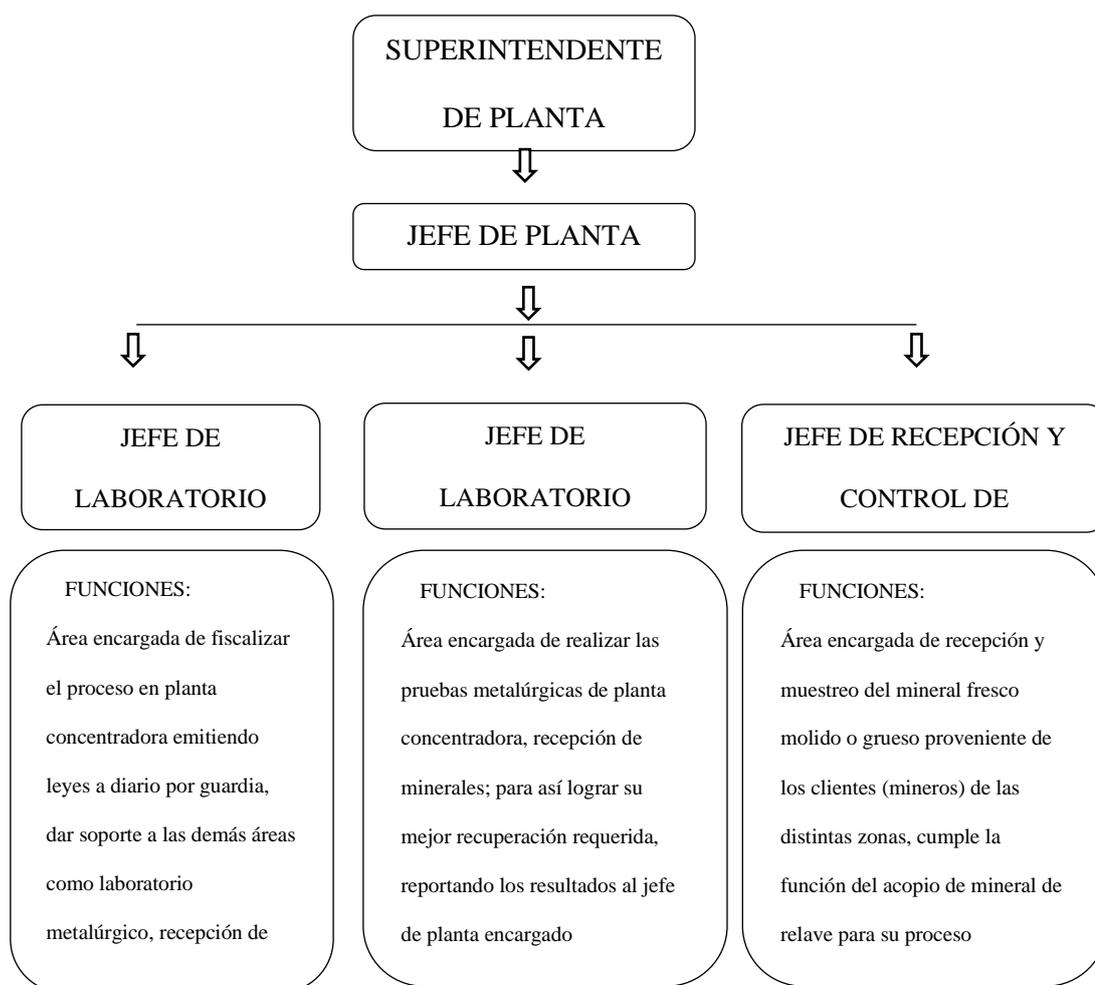
La actual planta concentradora Copperfield Perú S.A.C., posee una capacidad instalada de 400 TMD y opera bajo un sistema convencional de chancado, molienda y flotación, se dedica al procesamiento de mineral de acopio por campaña y mineral de relave, correspondiéndole la concentración y tratamiento. La comercialización de todos los productos y concentrados por la misma empresa.

#### **Datos de la empresa:**

- Razón social: Copperfield Perú S.A.C.
- RUC: 20566013844
- Dirección: Panamericana Norte Km, 221,3
- Región: Lima

- Provincia: Barranca
- Distrito: Paramonga

Para el cumplimiento de las funciones operativas en la planta concentradora se ha organizado mediante un organigrama de trabajo en el cual cada jefe de área es responsable de las actividades que se realizan para el cumplimiento de sus acciones en cada área es apoyada por un grupo de profesionales, técnicos y obreros, que el sistema de trabajo que se realiza es 21 días de labor interrumpida y 7 días de descanso, los informes de los jefes son presentados al superintendente de planta quien a su vez reporta a la gerencia general de las actividades de la planta.



**Gráfico 1:** Organigrama operacional de la planta concentradora Copperfield Perú S.A.C.

#### **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

Para la presentación, análisis e interpretación de datos es necesario tipificar cada una de las variables que están involucradas en el proceso de investigación, con ello se va a determinar la importancia de cada uno de ellos.

- **Mineral**

Las especies mineralógicas dentro de una mena, no son de la misma dureza. Esto significa que, en el proceso de reducción de tamaño, las especies más blandas se desintegran en mayor proporción que las duras. Los minerales tienen, por lo general, una estructura cristalina que es como consecuencia de la composición química de las moléculas, iones y átomos de sus componentes.

En nuestra investigación se tiene especies de mineral resultado de un proceso de lixiviación de minerales auríferos con contenidos de minerales sulfurados de cobre, plomo, cinc. Estos son depositados en la relavera y de allí son trasladados a la planta concentradora para recuperar el oro como mineral de mayor interés.

- **El agua**

El agua es el elemento en el cual apoya en la reducción de tamaño en el molino y se efectúa la flotación, en ella se debe de considerar la impureza y contaminación de las aguas naturales e industriales, un contenido considerable de sales de calcio, magnesio y sodio que le ocasionan una dureza en el agua puede causar un consumo considerable de reactivos.

- **Tamaño de partícula**

El mineral que debe de ser recolectada a través de la flotación debe de tener una superficie muy pequeña, para que su área superficial sea mayor y pueda adherirse a las burbujas de gas que se forman en el interior de la celda de flotación. Siempre se considera un 65% malla -200 micrones.

- **Factor granulométrico**

Todo mineral para ser flotado tiene que ser reducido en su tamaño hasta el punto que cada partícula represente una sola especie mineralógica, o sea, estamos hablando de liberación, además, su tamaño tiene que ser apropiado para que las burbujas de aire puedan llevarlas hasta la superficie de las celdas de flotación.

- **Influencia de lamas**

El problema de las lamas finas y el perjuicio que causan en el proceso de flotación, se puede comparar solo con el problema de la oxidación. El daño del material lamoso es de doble carácter, las partículas de diámetro pequeño flotan mal y las lamas perjudican la flotación de las partículas de tamaño adecuado.

- **Densidad de pulpa**

En un circuito de flotación primaria la pulpa tiene una consistencia entre 25% y 35% de sólidos en vez de 65% y 70% de sólidos que tiene el circuito de molienda.

- **Factor tiempo**

En las condiciones industriales el tiempo necesario para el acondicionamiento de los reactivos normalmente varía entre una fracción de minuto y media hora. Cuando son poco solubles y reaccionan lentamente con la

superficie del mineral, su alimentación se efectúa en los circuitos de molienda y clasificación. La flotación se efectúa normalmente hasta un punto en que el producto de la concentración de la última celda es de ley un poco más alta que la de la cabeza. Flotar más allá de este punto significaría diluir innecesariamente el concentrado.

- **El pH en la flotación**

La flotación se hace generalmente en disoluciones ligeramente acidas o alcalinas, con un pH comprendido entre 4 y 11.

- **Reactivos de flotación**

Los reactivos en flotación, son el componente y la variable más importante del fenómeno de la flotación debido a que no puede efectuarse esta sin la participación de los reactivos. Los reactivos de flotación son productos químicos naturales o artificiales, que aseguran que la flotación de minerales sea selectiva y eficiente y produce condiciones óptimas para mejorar la flotación de minerales.

#### **4.2.1 Presentación y análisis de datos obtenidos**

Es decir, en cada viaje se hace seis descargas se ha tomado en cuenta 12 viajes haciendo un total de 72 muestras de diferentes pesos cada uno de ellos, obteniendo un peso equivalente a 257,89 kilos y una media equivalente a 3,58 kilos.

**Tabla 3:** Peso promedio de cada compósito, doce datos recolectados.

<b>Compósito</b>	<b>Peso promedio</b> <b>kg</b>
1	3,19

2	3,42
3	3,75
4	3,52
5	4,35
6	3,95
7	3,85
8	2,93
9	3,19
10	3,02
11	4,05
12	3,78
<b>Promedio</b>	<b>3,58</b>
<b>total</b>	

Fuente: Elaborado por el tesista

Para los trabajos en laboratorio se ha tomado en cuenta el peso promedio de cada compósito (promedio estadístico) siendo para ello el siguiente trabajo:

### **Preparación mecánica de minerales**

La preparación mecánica de las muestras se realizó de la siguiente manera:

- El chancado se realizó a una granulometría de 100% malla -10 (Tyler), homogenizando, cuarteando las muestras separadamente por compósito individual para caracterizar químicamente, mineralógicamente y granulometría.
- Formación de doce compósitos.

- Homogenizando y cuarteando de cada compósito para caracterizar.
- Para el análisis químico se separa aproximadamente 200 gramos de mineral que va ser pulverizado en el pulverizador de disco en seco, derivando al laboratorio químico.
- Otros 100 gramos es lavado en la malla 100 y secado para preparar las probetas de opaco, para el análisis microscópico en el microscopio de luz reflejada.
- Para la molienda se pesa un kilo de mineral, con 500 mililitros de agua.

### **Moliendabilidad**

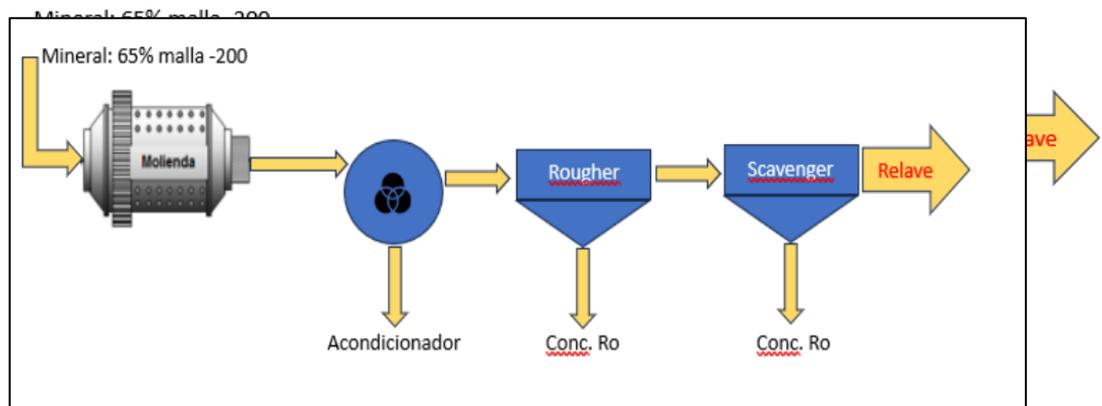
Es necesario realizar la molienda del mineral para obtener la mayor superficie del mineral para que pueda flotar, para ello es necesario determinar el grado de moliendabilidad, se realizaron 4 moliendas a diferentes tiempos (4, 8, 12 y 16 minutos), los productos obtenidos han sido analizados granulométricamente para graficar la curva de moliendabilidad. Las pruebas de molienda se hicieron en un molino de bolas estándar de laboratorio de 6,5" x 9", con un porcentaje de sólidos de 65 % malla -200. Se ha controlado las condiciones de operación:

- 1 kg de mineral
- 500 mililitros de agua
- Tiempo de molienda: 4, 8, 12 y 16 minutos.
- 11 kg de bolas (65% de 1" Ø y 35% de 1,5" Ø)

### **Pruebas de Flotación.**

Para las pruebas de flotación se ha realizado el análisis químico de cabeza para cada compósito

**a. Flotación Exploratoria:** Se realizaron diferentes pruebas de flotación rougher evaluando inicialmente la configuración de reactivos; en esta etapa se han evaluado colectores para recuperación de Au y Ag tales como: Xantato: Z-6, AEREO-208, AEREO-404; Los espumantes evaluados fueron el MIBC y D-250. Entonces los reactivos de mejor rendimiento fueron el Xantato Z-6 (colector), MIBC (espumante) y la lechada de cal para regular el pH. El grado de molienda evaluado fueron entre malla -200  $\mu\text{m}$  de P80 y el pH de flotación rougher se varió en un rango de 8,0 (Natural) a 10.



**Gráfico 2:** Diagrama de flujo de molienda y flotación a nivel de laboratorio.

Fuente: Elaborado por el tesista.

**b. Cinética de Flotación:** El tiempo de flotación Rougher fue evaluado en función a la flotabilidad del Au y la Ag; obteniendo concentrados a determinados tiempos (2, 4, 8 minutos): de los cuales se ha descartado el de 2 y 8 minutos debido a que el concentrado estaba muy sucio. Quedando los 4 minutos de flotación.

**Tabla 4:** Ley de cabeza analizada en laboratorio químico por compósito

Nº	Compósito	Au (g/TM)	Ag (g/TM)	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	H <sub>2</sub> O %
1	Cabeza	1,60	45,54	0,10	0,86	0,76	10,43	1,36	12,70
2	Cabeza	1,82	30,61	0,07	0,90	0,82	9,75	1,52	10,63
3	Cabeza	1,97	29,44	0,06	0,99	0,86	9,43	1,55	11,33
4	Cabeza	2,13	27,95	0,06	1,00	,091	10,19	1,84	9,26
5	Cabeza	2,33	30,47	0,06	1,01	0,95	10,66	1,88	9,52
6	Cabeza	2,14	31,74	0,07	1,14	0,90	9,74	1,72	8,35
7	Cabeza	2,22	29,91	0,07	1,05	0,95	10,59	1,76	8,07
8	Cabeza	2,02	30,65	0,07	1,10	0,94	10,07	1,71	7,63
9	Cabeza	1,91	32,13	0,07	0,85	0,84	9,77	1,41	11,18
10	Cabeza	1,76	31,32	0,08	0,87	0,81	9,17	1,41	11,58
11	Cabeza	1,83	29,41	0,08	0,85	0,81	9,42	1,38	11,38
12	Cabeza	1,71	31,32	0,08	0,89	0,76	8,70	1,41	11,88
	<b>Promedio</b>	<b>1,95</b>	<b>31,71</b>	<b>0,07</b>	<b>0,96</b>	<b>0,79</b>	<b>9,83</b>	<b>1,58</b>	<b>10,29</b>

Fuente: Elaborado por el tesista

Teniendo conocimiento de las leyes de cabeza se procede a realizar el trabajo experimental de flotación teniendo en cuenta el diagrama de flujo expuesto en el gráfico 2, que se adiciona los reactivos de flotación en orden adicionando los

depresores, modificadores y colectores, se debe de respetar este orden, así como la dosificación (g/TM) después de elaborar el diagrama se procede a flotar por espacio de 4 minutos de flotación. Obteniéndose las siguientes tablas:

**Tabla 5:** Resultados de la flotación de los minerales de oro

Nº	Compósito	Au	Ag (g/TM)	Cu	Pb	Zn	Fe	As	H2O
1		(g/TM)		%	-2%	%	%	%	%
	Cabeza	1,60	45,54	0,10	0,86	0,76	10,43	1,36	12,70
	Concentrado 1 TN	7,29	138,60	0,47	2,31	5,18	32,29	4,33	
	Concentrado 2 TN	5,61	360,88	2,29	5,33	7,96	31,11	3,78	
	Relave	0,70	31,99	0,06	0,71	0,22	7,30	0,93	
Nº	Compósito	Au	Ag (g/TM)	Cu	Pb	Zn	Fe	As	H2O
2		(g/TM)		%	%	%	%	%	%
	Cabeza	1,82	30,61	0,07	0,90	0,82	9,75	1,52	10,63
	Concentrado 1 TN	8,69	105,28	0,36	2,01	4,96	35,49	5,6	
	Concentrado 2 TN	8,75	92,23	0,37	1,48	2,47	34,3	7,31	
	Relave	0,70	19,51	0,03	0,73	0,15	5,72	0,86	
Nº	Compósito	Au	Ag (g/TM)	Cu	Pb	Zn	Fe	As	H2O
3	Cabeza	(g/TM)		%	%	%	%	%	%
	Concentrado 1 TN	1,97	29,44	0,06	0,99	0,86	9,46	1,55	11,33
	Concentrado 2 TN	9,32	98,01	0,30	1,97	5,44	34,99	4,94	
	Relave	8,62	68,28	0,21	1,15	2,08	35,64	5,56	
	Compósito	0,84	18,43	0,03	0,84	0,16	5,50	1,03	
Nº	Compósito	Au	Ag (g/TM)	Cu	Pb	Zn	Fe	As	H2O
4	Cabeza	(g/TM)		%	%	%	%	%	%
	Concentrado 1 TN	2,13	27,95	0,06	1,00	0,91	10,19	1,84	9,26
	Concentrado 2 TN	8,93	86,02	0,28	1,58	5,29	34,82	5,84	
	Relave	9,45	78,71	0,21	1,40	2,15	34,64	6,17	
		0,78	15,54	0,02	0,88	0,15	5,00	0,98	
Nº	Compósito	Au	Ag (g/TM)	Cu	Pb	Zn	Fe	As	H2O
5		(g/TM)		%	%	%	%	%	%
	Cabeza	2,33	30,47	0,06	1,01	0,95	10,66	1,88	9,52
	Concentrado 1 TN	9,13	95,52	0,27	1,36	5,17	35,21	5,97	

	Concentrado 2 TN	7,90	82,72	0,17	1,37	1,64	29,11	6,86	
	Relave	0,76	16,90	0,03	0,93	0,15	5,09	1,00	
Nº	<b>Compósito</b>	<b>Au</b>	<b>Ag (g/TM)</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>As</b>	<b>H2O</b>
6		(g/TM)		%	%	%	%	%	%
	Cabeza	2,14	31,74	0,07	1,14	0,90	9,74	1,72	8,35
	Concentrado 1 TN	9,07	0,26	0,26	1,33	4,19	32,43	5,37	
	Relave	0,82	0,03	0,03	1,05	0,15	5,14	0,99	
Nº	<b>Compósito</b>	<b>Au</b>	<b>Ag (g/TM)</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>As</b>	<b>H2O</b>
7		(g/TM)		%	%	%	%	%	%
	Cabeza	2,22	29,91	0,07	1,05	0,95	10,59	1,76	8,07
	Concentrado 1 TN	8,83	107,85	0,31	1,39	4,81	35,44	5,38	
	Relave	0,82	16,80	0,03	1,03	0,17	5,59	1,03	
Nº	<b>Compósito</b>	<b>Au</b>	<b>Ag (g/TM)</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>As</b>	<b>H2O</b>
8		(g/TM)		%	%	%	%	%	%
	Cabeza	2,02	30,65	0,07	1,10	0,94	10,07	1,71	7,63
	Concentrado 1 TN	8,95	99,44	0,27	1,32	4,39	34,34	5,24	
	Relave	0,76	16,50	0,03	1,06	0,16	5,43	1,04	
Nº	<b>Compósito</b>	<b>Au</b>	<b>Ag (g/TM)</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>As</b>	<b>H2O</b>
9		(g/TM)		%	%	%	%	%	%
	Cabeza	1,91	32,13	0,07	0,85	0,84	9,77	1,41	11,18
	Concentrado 1 TN	8,84	122,82	0,34	1,70	4,79	34,57	5,69	
	Relave	0,66	17,36	0,03	0,72	0,15	5,51	0,72	
Nº	<b>Compósito</b>	<b>Au</b>	<b>Ag (g/TM)</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>As</b>	<b>H2O</b>
10		(g/TM)		%	%	%	%	%	%
	Cabeza	1,76	31,32	0,08	0,87	0,81	9,17	1,41	11,58
	Concentrado 1 TN	8,90	109,97	0,35	1,76	4,88	34,09	5,50	
	Relave	0,68	18,65	0,04	0,73	0,16	5,45	0,88	
Nº	<b>Compósito</b>	<b>Au</b>	<b>Ag (g/TM)</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>As</b>	<b>H2O</b>
11		(g/TM)		%	%	%	%	%	%
	Cabeza	1,83	29,41	0,08	0,85	0,81	9,42	1,38	11,38
	Concentrado 1 TN	8,31	121,04	0,37	1,78	5,29	35,28	5,27	
	Relave	0,81	18,29	0,04	0,73	0,19	6,34	0,96	
Nº	<b>Compósito</b>	<b>Au</b>	<b>Ag (g/TM)</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>As</b>	<b>H2O</b>
12		(g/TM)		%	%	%	%	%	%
	Cabeza	1,71	31,32	0,08	0,89	0,76	8,70	1,41	11,88

Concentrado									
TN	8,60	122,67	0,39	1,93	4,89	33,47	6,03		
Relave	0,62	20,11	0,04	0,84	0,16	5,52	0,85		

Fuente: Elaborado por el tesista

### 4.3. Prueba de hipótesis

#### 4.3.1. Moliendabilidad:

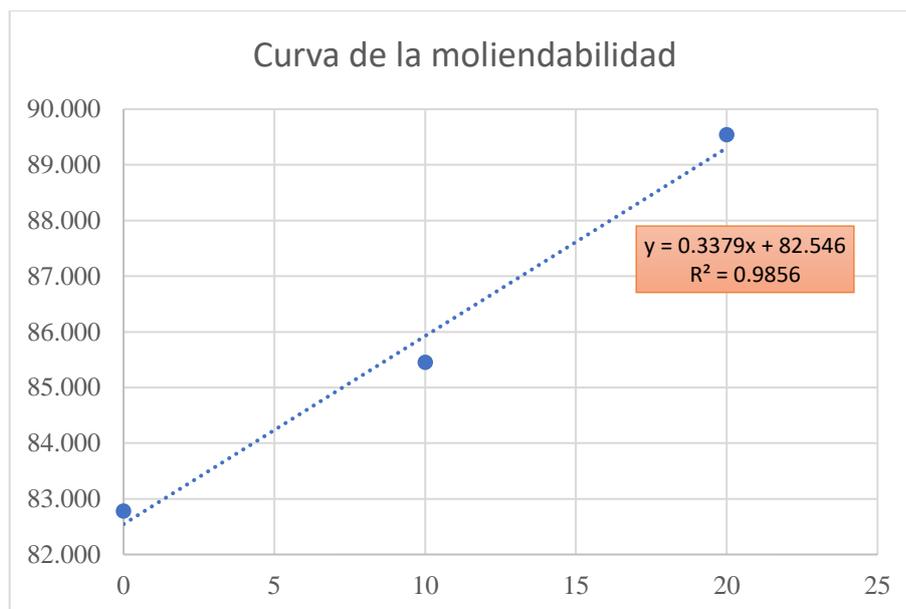
Se determina el tiempo de molienda necesario a las condiciones especificadas para la prueba, teniendo como resultado cercano a diez minutos.

**Tabla 6:** Determinación de la moliendabilidad

<b>Tiempo (min)</b>	<b>% m-200</b>		
<b>0</b>	82,782		
<b>10</b>	85,454		
<b>20</b>	89,540	<b>% Pasante (-200 malla)</b>	<b>85</b>

Fuente: Elaborado por el tesista.

Empleando los valores de la tabla anterior se elabora una curva de molienda, en base a la cual se determina el tiempo de molienda necesario a las condiciones especificadas para la prueba, correspondiente a los valores de malla 200.



**Gráfico 3:** Curva de moliendabilidad

Fuente: Elaborado por el tesista

Una vez determinada la curva de moliendabilidad se determina con la intersección a 85 % malla -200 el tiempo aproximado a siete minutos dieciséis segundos, para obtener una partícula debidamente liberada.

**Tabla 7:** Determinando el tiempo de molienda gráficamente.

<b>Minutos</b>	7
<b>Segundos</b>	16

Fuente: Elaborado por el tesista.

#### 4.3.2. Flotación exploratoria para evaluación de reactivos

En las pruebas realizadas se ha determinado a los reactivos y la dosificación para condiciones aceptables de flotación, se realizaron doce pruebas exploratorias para cada composito a nivel rougher, scavenger, luego de las cuales se logró

determinar que el mejor colector es la mezcla de los espumantes (D-250 + MIBC) en el rougher y se agrega MIBC a la limpieza por ser el mejor espumante.

El CuSO<sub>4</sub>, CN/Zn, el 404 y Z-6 fue usado como colector primario en la molienda.

La evaluación de las pruebas de flotación a nivel rougher/scavenger considera las siguientes variables:

- Evaluación de reactivos y su dosificación (Colector primario)
- Grado de Molienda (% -m200)
- % Solidos en el proceso de flotación
- pH de flotación.

#### **Cuadro de dosificaciones**

##### **Mineral:**

- 1000 g de muestra
- 500 ml de agua recirculada.
- pH natural = 7,6

**Tabla 8:** Puntos de dosificación de reactivos

	g/t								
	Tiempo	pH	CuSO <sub>4</sub> (5%)	CN/Zn (5%)	D250+ MIBC	404	Z-6 (5%)	MIBC	Cal
Molienda	5,0	7,6		199,87					
A Desb I	1,0	7,6							
Desb I (Pb/Zn)	6,5	7,5						7,12	
A Desb II	3,0	10,0	99,94					7,12	

Desb II Zn	2,0	10,0							
Acond	4,0	8,1							
Ro Fe	2,0	8,1			4,0	16,41	20,01		
Scv Fe	2,5	8,0							
Cl - Desb II (Pb/Ag)	1,5	7,4			4,0	8,21	5,00		
Cl - Ro Scv Fe	2,0	7,6							
Total	24,50		99,94	199,87	4,0	16,41	20,01	14,24	830

Fuente: Elaborado por el tesista

Los reactivos han sido preparados con el 5% de concentración con un pH equivalente a 7, 5 en el rougher los depresores como el sulfato de cobre fue alimentado en 99,94 g/t, el sulfato de zinc mezclado con cianuro de sodio en 199,87 g/t , como colector se usó el xantato Z-6, en 20,01 g/t, el espumante MIBC fue alimentado en forma puro en 14.24 g/t.

Con este grupo de reactivos se ha realizado pruebas metalúrgicas a un grupo de muestras, cuyo resultado se dan a conocer líneas arriba.

Mejorar las leyes del concentrado con dos etapas de desbaste; la primera un desbaste de Pb/Ag y el segundo un desbaste de Zn en circuito cerrado.

#### CONDICIONES

- 1kg. de mineral
- 500 ml de agua recirculada

**Tabla 9:** Resultado de la moliendabilidad

<b>Tipo de mineral</b>	<b>Relave de Proc. Lix</b>
<b>% m-200</b>	<b>85</b>
<b>Tiempo óptimo de molienda</b>	<b>7min 16seg</b>

Fuente: Elaborado por el tesista

**Tabla 10:** Punto de dosificaciones

		g/t								
	Tiempo	pH	ZnSO <sub>4</sub> (10%)	CuSO <sub>4</sub> (10 %)	CN/Zn (10 %)	D250+ MIBC (2/1)	404	Z-6	MIB C	Cal
Molienda	5,0	7,6			250.00					
A DESC I	1,0	7,6							4,90	
DESC I (Pb/Ag)	6,5	7,6								
A DESC II	3,0	10,0		150.00					4,90	
DESC II Zn	2,0	10,0								
Acond	4,0	8,0								
Ro Fe	2,0	8,0				4,00	16,40	30,00		
Scv Fe	2,5	8,0								
CI DESC I (Pb/Ag)	1,5	7,6	400.00			4,00	8,20	10,00		
CI Ro Scv Fe	2,0	7,6								

Total	29,50		400,00	150,00	250,0	4,00	16,40	30,00	9,80	750,00
-------	-------	--	--------	--------	-------	------	-------	-------	------	--------

Fuente: Elaborado por el tesista

En esta tabla se da a conocer que se ha preparado los reactivos a un 10 % de concentración manteniendo el PH en 7,6; con una dosificación de depresores como el sulfato de cobre en 150 g/t, el sulfato de zinc en 400g/t, un complejo de cianuro de sodio con sulfato de zinc en 250 g/t, como colector se adiciono el Z-6 en una cantidad 30 g/t, en espumante se hizo una mezcla de D-250+MIBC en 4 g/t, teniendo mejores resultados en la recuperación del oro.

### **Diseño experimental**

En las investigaciones el diseño experimental es de vital importancia, donde se puede aprovechar los resultados de las recuperaciones realizadas en la celda de flotación con la finalidad de realizar una proyección hacia el trabajo en planta piloto. En el diseño experimental, se hace uso de varias variables a la vez, también se puede detectar la influencia de las interacciones entre ellas. Esto no ocurre cuando se hace una investigación variando solo una variable a un tiempo, por otro lado, el sistema es práctico y que evita la tendencia normal del operador durante la investigación. (Manzaneda J. 2000, pag. 45)

Manzaneda J. (2000) manifiesta que en la selección de variable que es la primera oportunidad de revisar, estudiar y determinar la significancia de cada una de las variables y determinar su influencia metalúrgica alrededor de la respuesta elegida usando como estadístico de discreción el “t-student”, en la segunda etapa o de optimización, el uso de modelo cuadrático que se ajusta a un modelo de dos o tres variables como máximo, con ello se estima los mejores valores de las variables para lograr un valor máximo en la respuesta elegida. (pp 56)

Al leer a Manzaneda J. (2000 pp 57) en los diseños factoriales  $2^n$ , si las variables son 2 y 3, y se incrementa el número de variables a 4 o 5 se usa las factoriales fraccionados mitad y un cuarto (son diseños factoriales recortados en bloques y que evita realizar un mayor número de pruebas como lo indica la factorial  $2^n$ ). Si el número de variables crece más, es necesario usar plantillas del diseño de PLANCKETT-BURMANN que nos permite estudiar hasta 20 variables con un mínimo de 22 pruebas, el criterio de las plantillas es el mismo; evitar un gran número de pruebas de factorial  $2^n$  por bloqueo de columnas codificadas que tienen la misma distribución de signos.

### **ANOVA para el oro**

Es necesario aplicar el diseño experimental a los resultados de laboratorio en la flotación Bach para tener una idea cabal de la recuperación del oro cuando variamos el porcentaje de dilución de los colectores del 5% al 10% y obtener resultados confiables.

**Tabla 11:** Recuperación de Oro

	BLOQUE	MIBC	Z - 6	Recuperación del Oro
				g/t
1	1	-1.0	-1.0	61,51
2	1	1.0	-1.0	69,41
3	1	-1.0	1.0	71,34

4	1	1.0	1.0	74,65
---	---	-----	-----	-------

Fuente: Elaborado por el tesista

### Analizar Experimento – Recuperación del Oro

Nombre del archivo: <Sin Título>

Comentario: Diseño factorial 2<sup>2</sup>

### Efectos estimados para Recuperar Oro (g/t)

**Tabla 12:** Se corre para estimar la recuperación del oro

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Int. Confianza</i>	<i>V.I. F.</i>
promedio	69.2275		
A: MIBC	5.605		
B: Z-6	7.535		
AB	-2.295		

No quedan grados de libertad para estimar los errores estándar.

Fuente: Elaborado por el tesista

### Análisis de Varianza para Recuperar Oro - Diseño factorial 2<sup>2</sup>

**Tabla 13:** Análisis de la varianza en la recuperación del oro

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor -P</i>
A: MIBC	31,416	1	31,416		
B: Z-6	56,7762	1	56,7762		
AB	5,26703	1	5,26703		
Error total	0,0	0			
Total (corr.)	93,4593	3			

R-cuadrada = 100.0 por ciento R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0.0 por ciento

Fuente: Elaborado por el tesista

### Coefficiente de regresión para Recuperar Oro - Diseño factorial 2<sup>2</sup>

**Tabla 14:** Coeficiente de regresión para la recuperación del oro

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	69,2275
A: MIBC	2,8025
B: Z-6	3,7675
AB	-1,1475

Fuente: Elaborado por el tesista

### **El Stat Advisor**

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Recuperación de Oro} = 69.2275 + 2.8025 * \text{MIBC} + 3.7675 * \text{Z-6} - 1.1475 * \text{MIBC} * \text{Z-6}$$

### **Optimizar Respuesta**

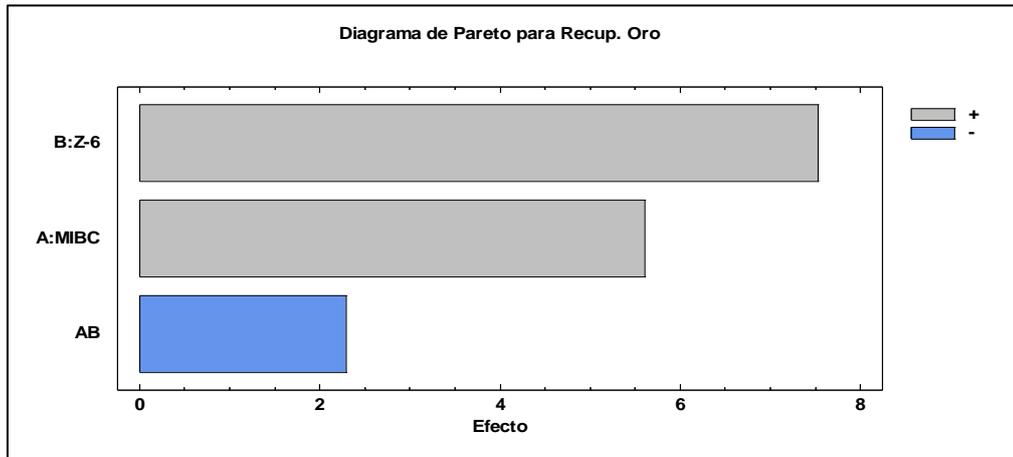
Meta: maximizar Recuperación de Oro

Valor óptimo = 74.65

**Tabla 15:** Maximizar el factor del espumante versus xantato Z-6

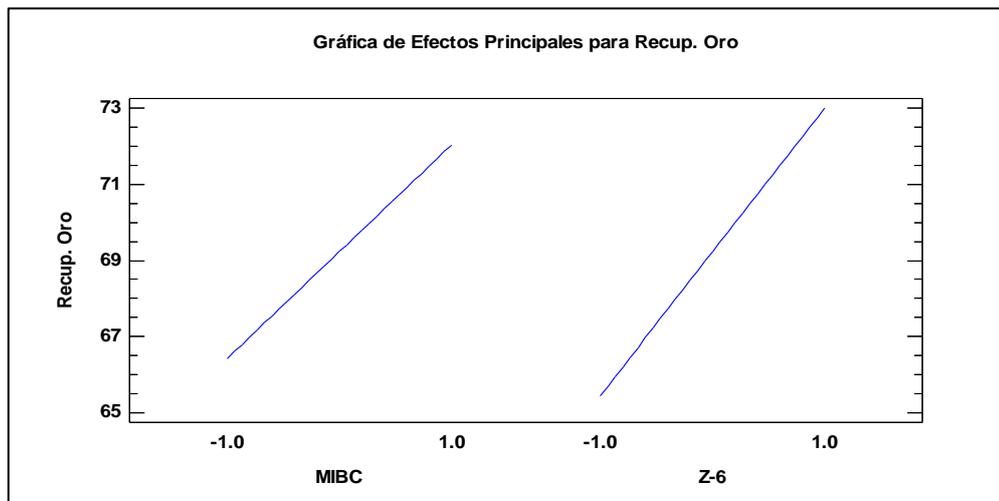
<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
MIBC	-1.0	1.0	1.0
Z-6	-1.0	1.0	1.0

Fuente: Elaborado por el tesista



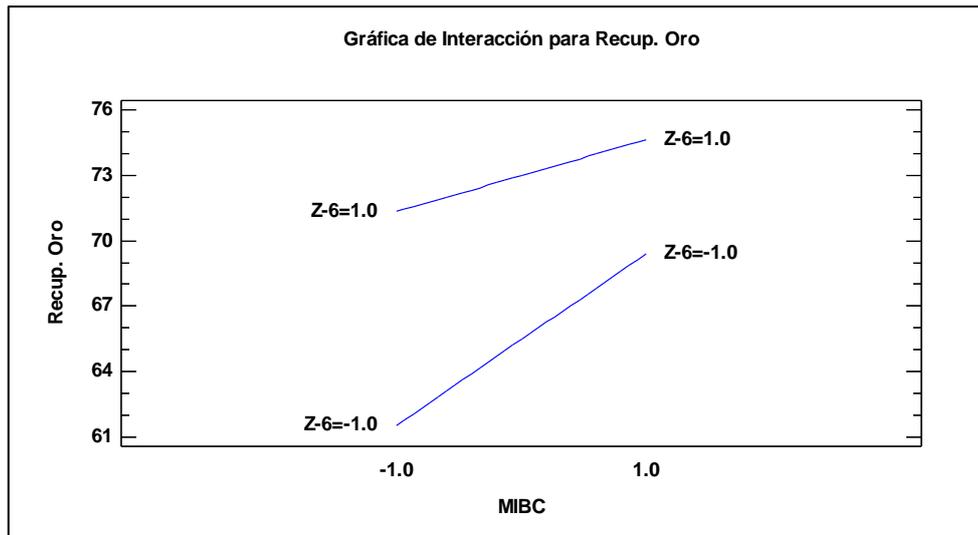
**Gráfico 4:** Diagrama de Pareto en la recuperación del oro

Fuente: Elaborado por el tesista



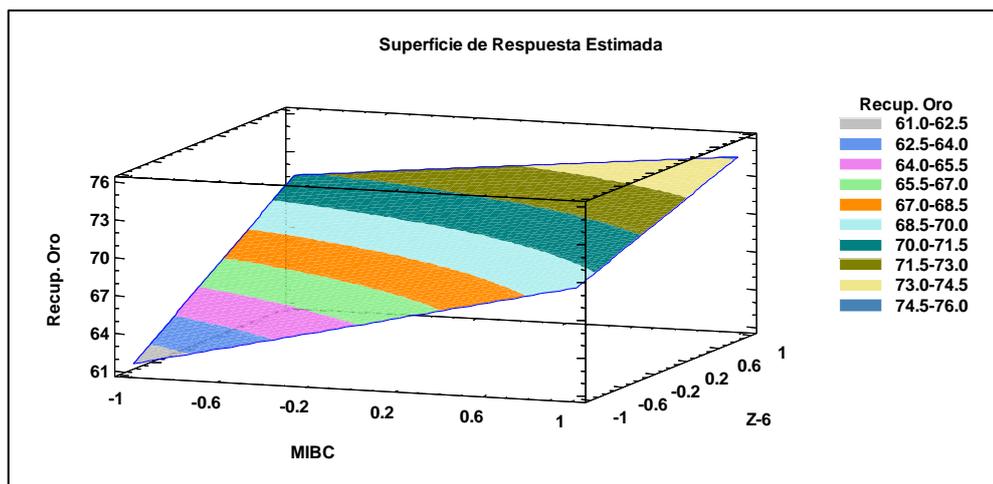
**Gráfico 5:** Efectos principales en la recuperación del oro

Fuente: Elaborado por el tesista



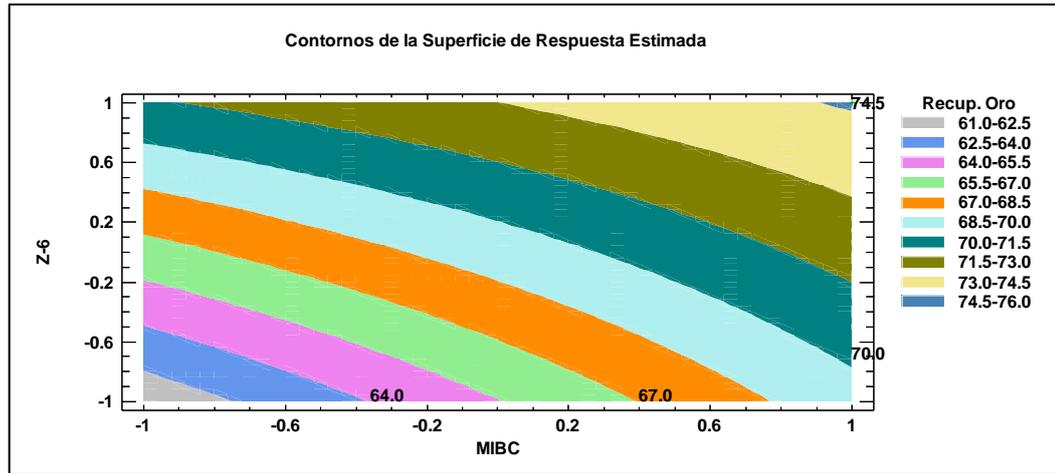
**Gráfico 6:** Interacción en la recuperación del oro

Fuente: Elaborado por el tesista



**Gráfico 7:** Superficie de respuesta estimada en la recuperación del oro

Fuente: Elaborado por el tesista



**Gráfico 8:** Contornos de la superficie de respuesta estimada en la recuperación del oro

Fuente: Elaborado por el tesista

#### 4.4. Discusión de resultados

##### 4.4.1. Balance metalúrgico

**Tabla 16:** Balance general con dilución al 5% en los xantatos Z-6

Código de muestra	Peso	RC	Ensayos							Recuperaciones						
			g/t Au	g/t Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	%As	%Au	%Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	%As
Cabeza 0	100,0		2,13	30,82	0,06	1,07	0,95	10,9	1,7	100,0	100	100	100	100	100	100
CC Cl Fe 9	114,3		8,76	36,03	0,09	1,14	0,66	39,5	6,6	55,8	14,66	14,68	12,96	8,40	46,98	46,99
RLV Cl Fe	93,47		2,45	29,15	0,06	1,25	0,24	13,3	2,7	12,7	9,69	8,00	11,62	2,50	12,93	16,01
CC Cl I descabezado	15,35	8,7	4,48	485,43	1,51	12,79	5,43	11,6	1,5	3,83	26,50	33,05	19,51	9,28	1,86	1,46
RLV Cl I	46,67		2,04	56,71	0,13	2,08	12,4	10,9	1,9	5,31	9,42	8,65	9,65	12,83	5,29	5,47

descabezado																
CC II descabezado	41,51		1,80	80,97	0,27	2,26	13,17	11,89	1,52	4,17	11,95	15,98	9,33	60,86	5,13	3,87
Relave final	687,98		0,47	11,35	0,02	0,54	0,08	3,89	0,62	18,03	27,78	19,63	36,93	6,13	27,81	26,19
Cab. Calc.	999,37		1,79	28,13	0,07	1,01	0,90	9,63	1,63	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: Elaborado por el tesista

En la tabla 13 se presenta los resultados del balance metalúrgico con una concentración del 5 % y la dosificación de los reactivos han sido presentados en líneas arriba, como podemos observar el oro ensaya 8,76 g/t de oro en una cabeza de 2,13 y la recuperación del oro está en 68,65 % con un relave de 18,03 %, la plata presenta una recuperación de 50,85 %, el plomo presenta un 19,51 y el zinc está en 60,86%, lo que preocupa es el porcentaje de oro en el relave.

**Tabla 17:** Balance metalúrgico y Z-6 al 10%

Código de muestra	Peso	RC	Ensayos							Recuperaciones						
			g/t Au	g/t Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	%As	%Au	%Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	%As
Cabeza	100,00		2,13	30,82	0,06	1,07	0,95	10,94	1,78	100,0	100	100	100	100	100	100
CC Cl Fe/Ag	117,44	8,51	8,51	70,66	0,26	1,89	2,47	39,03	5,95	54,03	31,87	37,91	21,81	33,27	46,13	41,07
RLV Cl Fe/Ag	142,27		2,66	35,81	0,09	1,57	0,49	14,32	3,43	20,46	19,57	15,90	21,94	7,99	20,50	28,68
CC Zn	46,89	21,33	2,52	124,70	0,35	3,93	9,74	12,17	1,81	16,39	22,46	20,37	18,10	52,38	5,74	4,99

Relave final	693,40		0,51	9,80	0,03	0,56	0,08	3,96	0,62	9,12	26,10	25,82	38,15	6,36	27,63	25,27
Cab. Calc.	100,00		1,85	26,04	0,08	1,02	0,87	9,94	1,70	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: Elaborado por el tesista

En esta tabla 14 se presenta los resultados de un grupo de pruebas metalúrgicas de flotación donde la concentración de los reactivos ha estado en 10% tal como se da a conocer en líneas arriba, lo que se debe de resaltar es que teniendo una cabeza de 2.13 y un ensayo de 8,51 g/t de oro se ha recuperado un 74,49 % de oro con un relave de 9,12%, la plata en una recuperación de 51,44 %, el plomo tiene una recuperación de 43,75 % y el Zinc en 52,38 %.

Que de acuerdo a nuestras hipótesis específicas podemos decir que la remolienda aplicada al 85% malla -200 con una concentración del 10% y una dosificación del colector se adiciono el Z-6 en una cantidad 30 g/t, en espumante se hizo una mezcla de D-250+MIBC en 4 g/t, nos ha dado buen resultado en la recuperación llegando a tener 74,49 % de oro.

Estos resultados son respaldados por la estadística de ANOVA donde expresa una recuperación del oro en 74,65%.

## CONCLUSIONES

1. El tamaño de partícula que mejor resultado se ha obtenido es del 85% malla -# 200, que se ha obtenido a los 7 minutos 16 segundos.
2. La dosificación de los reactivos para obtener un mejor resultado ha sido de la siguiente manera: D-250+MIBC (4 g/t), 404 (16,40 g/t), Z-6 (30 g/t), MIBC (9,80 g/t); con un tiempo de acondicionamiento de 5 minutos y un tiempo de flotación de 5 minutos y el tiempo de acondicionamiento en la limpieza fue de 3 minutos.
3. El balance metalúrgico al 5% que se ha obtenido después de realizar la flotación es la siguiente:
  - Se obtuvo un concentrado Py-Au con una ley de 8,76% Au, con una recuperación de 68,65%.
  - En el primer descabezado se logró obtener 485,43 g/t de Ag y 12,79% Pb mientras que en el segundo descabezado se obtuvo 13,17% de Zn con un desbaste de 60,86% Zn respecto al concentrado final.
  - En el balance metalúrgico al 10%, se obtuvo un concentrado Py-Au con una ley de 8,51% Au, con una recuperación de 74,49%.
  - En el segundo descabezado se obtuvo 9,74% de Zn con un desbaste de 52,38% Zn respecto al concentrado final.
  - Es la plata que tiene todavía un desplazamiento de 22,46% al concentrado Zn como también un 26,10% al relave final.

## **RECOMENDACIONES**

1. El trabajo de investigación que se hizo es un avance en el tratamiento metalúrgico del oro por medio de la concentración por flotación de espumas, posiblemente se pueda realizar un tratamiento por lixiviación a los siguientes relaves.
2. El relave que se compra de Paltarumi, debe de tener un lavado previo para retirar los finos que tiene, ya que éstos consumen reactivos al momento de correr las pruebas.
3. En el mundo de la minería nada está concluido, cuando uno cree a concluido un trabajo de investigación nace otro trabajo de investigación, lo que deseo decir es que se debe de hacer pruebas con otros reactivos de flotación que sean más amigables a la naturaleza para el cuidado del medio ambiente.
4. En las demás pruebas metalúrgicas se debe de observar en el microscopio de barrido para determinar la presencia del oro si se encuentra en estado mixto o ocluido en otra roca.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abarca Rodríguez Joaquín José (2011) " flotación de minerales", Capítulo: Reactivos de Flotación, JFSC, Lima, pp. 42-47.  
Abarca Rodríguez Joaquín José (2011) pp. 47
2. Azañero Rodríguez Joaquín José (2002). Curso: "Concentración y flotación de minerales", Capítulo: Flotación de Sulfuros, UNMSM, Lima, pp. 8.
3. Basurto Contreras, César (2011) Tesis de maestría SOBACO. Huancayo pp 71.
4. Castro f. Sergio. (2006). Flotación: Fundamentos y Aplicaciones. Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Concepción. pp. 181
5. Dewey (2010). Experiencia y educación. Editorial Biblioteca Nueva. S.L. Madrid – España pp 14
6. Dow Ch. Co. (2000). Fundamentos de la flotación de los minerales. Lima Perú, pp 4-7
7. Homar Taco Cervantes (2008). ‘Guía de prácticas de preparación mecánica de minerales’, Arequipa Perú.
8. Hodson, D. (2000). “Assessment of practical work. Some considerations in philosophy of science”. Science and Education, No. 2, Vol. 1, pp. 115-144.
9. Guzmán Rivera Levi. (2015). ‘Curso de flotación de minerales’, MolyCop Adesur S.A., Lima, Perú.
10. Manzaneda Cabala José (2000) Diseño experimental Editorial San Marcos, Lima Perú pp 45,56 y 57.

11. Morles, (1994). Un plan o proyecto de investigación – Lima – Perú pp.54
12. Páez Osvaldo. (2010). “Apuntes de concentración de minerales 1” Universidad de Atacama – Facultad de Ingeniería Departamento de Metalurgia. pp. 8-20.
13. Ruiz et al. (2010). Papeles del psicólogo. Lima – Perú. pp. 34-35

**WEB:**

1. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>
2. URI: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11581>
3. (<https://www.renasa.com.pe/>
4. ([Diseño de investigación. Elementos y características \(questionpro.com\)](#))
5. Wikipedia

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

<b>INSTRUMENTOS</b>	<b>USO</b>
<b>BALANZA</b>	Permite el pesado constante de las muestras
<b>REGISTROS DIARIOS DE PRODUCCION</b>	Se generará una base de datos a partir del registro diario de los parámetros evaluados.
<b>SOTWAR´S ESTADISTICOS</b>	Mejorará la eficiencia en el procesamiento de los datos y análisis estadístico.
<b>EQUIPOS DE LABORATORIO</b>	Indispensable para realizar los procedimientos especificados dentro de la metodología.

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

<b>Título: Tratamiento metalúrgico a los relaves para la recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield Perú S.A.C. Lima - 2023</b>				
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTE</b>	<b>METODOLOGÍA MÉTODO</b>
¿Qué tratamiento metalúrgico se puede hacer a los relaves para la recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield PERU?	Determinar el tratamiento metalúrgico que se puede hacer a los relaves para la recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield Perú.	Si determinamos el tratamiento metalúrgico que se puede hacer a los relaves entonces se realiza la recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield Perú.	Tratamiento metalúrgico que se puede hacer a los relaves	Aplicada Cuantitativa
<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>DEPENDIENTE</b>	<b>TIPO</b>
1. ¿Cuál será el grado de molienda primaria para seleccionar la malla adecuada al tamaño requerido? 2. ¿Cuál será la dosificación de reactivos de flotación para la recuperación del oro en concentrado?	1. Determinar el grado de molienda para seleccionar la malla adecuada al tamaño requerido. 2. Determinar la dosificación de reactivos de flotación para la recuperación del oro en el concentrado.	1. Si se determina el grado de molienda entonces se puede seleccionar la malla adecuada para el tamaño requerido. 2. Si se determina la dosificación de reactivos de flotación entonces se puede hacer la recuperación del oro en el concentrado.	Recuperación de oro a nivel de laboratorio en la planta concentradora Copperfield Perú.	Experimental
				<b>DISEÑO</b> Explicativa

Tratando de darle su mayor valor agregado en su producto final teniendo a continuación

el reporte de guardia diario y prueba metalúrgica realizada a dicho material:

Código de Muestra	Au (g/TM)	Ag (g/TM)	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	H <sub>2</sub> O %
CABEZA 10-09-22 TD	1.97	29.44	0.06	0.99	0.86	9.46	1.55	11.33
CONC 10-09-22 TD	9.32	98.01	0.30	1.97	5.44	34.99	4.94	-
RELAVE 10-09-22 TD	0.84	18.43	0.03	0.84	0.16	5.50	1.03	-

Corridas de prueba metalúrgica realizada en el laboratorio metalúrgico:

Código de Muestra	Au (g/TM)	Ag (g/TM)	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %
CC RO FE-BLN14-P1	7.47	100.20	0.32	2.50	5.15	33.19	5.31
CC SCV FE-BLN14-P1	5.21	58.00	0.10	1.62	0.44	20.71	7.04
RLV FINAL-BLN14-P1	0.54	15.79	0.02	0.58	0.09	4.54	0.68
CC RO FE-BLN14-P2	7.15	127.91	0.35	2.61	5.20	30.85	3.52
CC SCV FE-BLN14-P2	4.85	58.42	0.08	1.17	0.45	19.82	5.89
RLV FINAL-BLN14-P2	0.58	21.18	0.02	0.58	0.10	5.39	0.78
CC RO FE-BLN14-P3	6.90	139.50	0.40	2.80	5.97	30.16	2.63
CC SCV FE-BLN14-P3	5.38	52.80	0.08	1.14	0.45	19.64	5.75
RLV FINAL-BLN14-P3	0.62	20.02	0.02	0.56	0.10	5.69	0.91

Teniendo así la labor principal del laboratorio químico de dar resultados confiables de Au y Ag, realizando ensayos por el método de ensayado al fuego (Fire Assay), método gravimétrico – método combinado con culminación por AA.

- Hoja de cálculo método gravimétrico

Código de Muestra	Peso de muestra (gr)	Peso de doré (mg)	Peso de Oro (mg)	Ley Ag (g/TM)	Ley Au (g/TM)
CC Cu-ECOPER-01-P2 *	10.008	24.868	0.787	2406.175	78.64

Código de muestra	Peso de muestra (g)	Lectura AA (mg/L)	Volumen (ml)	Ley Au (g/TM)
CONC CL PB - 2264 - P1	10.002	3.766	10	3.77

- Hoja de cálculo método combinado