

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Efecto de la dosificación del NaCN y tiempo de flotación para la  
recuperación de Cobre del Mineral Blending – Minera Perú Sol**

**S.A.C. – Oroya 2022**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Metalurgista**

**Autores:**

**Bach. Jhonatan David ROJAS INOCENTE**

**Bach. Beker Saúl CHACA BONILLA**

**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**

**Efecto de la dosificación del NaCN y tiempo de flotación para la  
recuperación de Cobre del Mineral Blending – Minera Perú Sol**

**S.A.C. – Oroya 2022**

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

---

**Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA**  
**PRESIDENTE**

---

**Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Uldarico USUARIAGA LÓPEZ**  
**MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides  
Carrión Facultad de Ingeniería  
Unidad de Investigación

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 086-2023-UNDAC/UIFI**

---

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

**Tesis:**

**EFFECTO DE LA DOSIFICACIÓN DEL NACN Y TIEMPO DE  
FLOTACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DEL  
MINERAL BLENDING – MINERA PERÚ SOL S.A.C. – OROYA 2022**

Apellidos y nombres de los tesistas

**Bach. ROJAS INOCENTE, Jhonatan David**

**Bach. CHACA BONILLA, Beker Saúl**

Escuela de Formación Profesional  
**Ingeniería Metalúrgica**

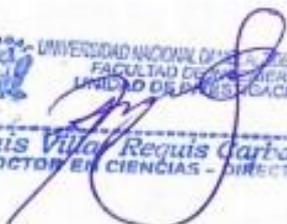
**Asesor: Dr. SIUCE BONIFACIO Ramiro**

Indici de Similitud  
**20 %**

**APROBADO**

Se informa al decanato para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 7 de agosto del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
**Luis Villar Requís Carbajal**  
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

## **DEDICATORIA**

A Dios, nuestros padres por darnos la educación para ser  
hombres de bien y hacernos de una profesión.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por habernos otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en nosotros siempre, dándonos el ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándonos a valorar todo lo que tenemos. A todos ellos dedico el presente trabajo, porque han fomentado en nosotros, el deseo de superación y de triunfo en la vida. Lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Esperamos contar siempre con su valioso y incondicional apoyo.

## RESUMEN

El estudio tiene como problema la influencia de la dosificación del NaCN y el tiempo de flotación en la recuperación de cobre del mineral blending – Minera Perú Sol S.A.C., para lo cual nos plantemos como objetivo Determinar la influencia dosificación del NaCN y del tiempo de flotación para la recuperación de cobre del mineral blending – Minera Perú Sol S.A.C.

El tipo de investigación es experimental, y el nivel del estudio es explicativa. La recolección de datos se obtuvo de las pruebas experimentales realizadas a nivel de laboratorio especialmente de las pruebas de molienda, en la que se determinó el grado de liberación del mineral, flotación batch donde se controla el tiempo de flotación. La muestra para laboratorio consistió en 24 kilogramos de mineral que se obtuvo mediante el muestreo en la faja alimento al molino de bolas 6'x6'.

Los resultados muestran que se determinó la ley teórica del mineral blending en 1,84% de cobre, mientras que la ley de cabeza que ingresa a la operación se determinó en 1,82% de cobre. Además, se determinó el grado de liberación del mineral en 66% malla -200 para un tiempo de 20' 01. En las pruebas experimentales se comprobó que el cianuro de sodio tiene efecto en la recuperación de cobre dosificando a 50 g/TM, alcanzando una recuperación de 88,62% de Cu, de igual manera el tiempo de flotación se comprueba que tiene efecto en la recuperación de cobre trabajando a 18 minutos se recupera 87,89% de Cu. Y la sinergia de ambos factores logra una recuperación 89,01% de cobre. Las calidades de los concentrados se logran mejorar de 23,34% a 25,19%.

**PalabraS clave:** Blending, flotación, dosificación de reactivos.

## ABSTRACT

The study has as a problem the influence of the NaCN dosage and the flotation time in the recovery of copper from the mineral blending - Minera Perú Sol S.A.C., for which we set ourselves the objective of determining the influence of the NaCN dosage and the flotation time for the recovery of copper from mineral blending – Minera Perú Sol S.A.C.

The type of research is experimental, and the level of the study is explanatory. The data collection was obtained from the experimental tests carried out at the laboratory level, especially from the grinding tests, in which the degree of mineral release was determined, batch flotation where the flotation time is controlled. The laboratory sample consisted of 24 kilograms of ore that was obtained by sampling the feed belt at the 6'x6' ball mill.

The results show that the theoretical grade of the blending ore was determined to be 1.84% copper, while the head grade entering the operation was determined to be 1.82% copper. In addition, the degree of release of the ore was determined at 66% mesh -200 for a time of 20' 01. In the experimental tests it was found that sodium cyanide has an effect on the recovery of copper dosing at 50 g/MT, reaching a recovery of 88.62% of Cu, in the same way the flotation time is verified to have an effect on the recovery of copper, working at 18 minutes, 87.89% of Cu is recovered. And the synergy of both factors achieves a recovery of 89.01% copper. The qualities of the concentrates can be improved from 23.34% to 25.19%.

**Keywords:** Blending, flotation, dosage of reagents.

## INTRODUCCIÓN

La mayor producción de minerales es un aspecto importante para nuestro país, lo cual debe traducirse en mayores exportaciones del sector que generen mayores ingresos al país, por las contribuciones que las empresas mineras realizan.

El tratamiento de minerales de baja ley de cobre, siempre han repercutido en las operaciones mineras especialmente en la concentración del mineral valioso, motivo por la cual estos minerales marginales se han realizado el blending con minerales de buena ley y tenga una ley de cabeza tratable en el procesamiento de minerales y recuperar el metal valiosos.

Cada vez que se han profundizado las explotaciones mineras, el mineral extraído ha presentado dificultades para su tratamiento, especialmente en la flotación de minerales. Se han estudiado diversos factores que tienen influencia en la recuperación metálica. Estos factores como: dosificación de colectores, depresores, espumantes, modificadores etc, necesitan encontrar el parámetro óptimo de control para tener una buena eficiencia en la flotación de minerales.

Un mineral de sulfuro cobre típico contiene varios niveles de tipos de sulfuro de hierro que generalmente incluyen pirita ( $\text{FeS}_2$ ) y pirrotita ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ). A menudo están presentes oro y plata que o bien pueden asociarse con los sulfuros o estar libres. Las partículas ganga pueden estar formadas por una gama de minerales de silicato desde cuarzo hasta talco y arcillas. También pueden estar presentes carbonatos de mineral ganga.

El propósito de la tesis, tiene como objetivo determinar la influencia de dosificación del  $\text{NaCN}$  y del tiempo de flotación para la recuperación de cobre del mineral blending de Minera Perú Sol S.A.C. Las pruebas consintieron en realizar pruebas independientes con cada uno de los factores y su influencia en la recuperación de cobre,

además la interacción de ambos factores. Se aplicó el paquete estadístico del Minitab para la prueba de hipótesis.

La tesis para cumplir con el objetivo se estructura de la siguiente manera: En el capítulo I, se presenta el problema de investigación, objetivos y las razones por las que se decide realizar el estudio de mejoramiento de la recuperación del mineral blending manipulando factores.

En el Capítulo II, Contiene del marco teórico, se presenta los antecedentes de estudio, el sustento teórico y científico relacionado con el efecto de la dosificación del cianuro de sodio y tiempo de flotación en la recuperación del mineral blending.

En el Capítulo III, concerniente a la metodología, en esta sección se sustenta como se desarrolló la investigación con el diseño metodológico y la toma y recolección de datos informativos y procesamiento de los datos.

En el Capítulo IV, discusión y resultados, se presentan todos los datos informativos de la investigación, cumpliéndose con los objetivos de estudios y la relación de las variables mediante la prueba de hipótesis, y finalizar con la conclusión.

## INDICE

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**INTRODUCCIÓN**

**INDICE**

### **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.....	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
1.6. Limitaciones de la investigación.....	4

### **CAPÍTULO II**

#### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de estudio.....	5
2.2. Bases teóricas – científicas.....	7

2.3.	Definición de términos básicos .....	19
2.4.	Formulación de hipótesis .....	19
2.4.1.	Hipótesis general.....	19
2.4.2.	Hipótesis específica .....	19
2.5.	Identificación de variables .....	20
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	20

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

3.1.	Tipo de investigación .....	21
3.2.	Nivel de investigación .....	21
3.3.	Métodos de investigación. ....	21
3.4.	Diseño de investigación.....	22
3.5.	Población y muestra .....	23
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	25
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	26
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	26
3.9.	Tratamiento estadístico .....	26
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica .....	27

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	28
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	33
4.3.	Prueba de hipótesis .....	38
4.4.	Discusión de resultados .....	40

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

**ANEXO**

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

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

Últimamente, a medida que se han profundizado la explotación minera las leyes del mineral se han reducido en el yacimiento minero y ha influido en las tasas de producción generándose altos costos en la producción. Es por ello que las empresas mineras han desarrollado un plan para operar yacimientos de difícil tratamiento y reducir el efecto de la ganga en el proceso de la planta concentradora. (Soto Contreras, 2017, pág. 1).

El problema que tenemos en la empresa Minera es el tratamiento de minerales de cobre, esto debido a que el mineral proveniente de diversas partes de la región central, tienen leyes diferentes del mineral de cobre.

Como se sabe la empresa Minera Perú Sol S.A.C. realiza el tratamiento de minerales polimetálicos de diferentes pequeños mineros y trabaja por campaña, motivo por el cual se tiene una variación mineralógica de leyes de cabeza que genera alteraciones en la metalurgia repercutiendo en las recuperaciones y calidad de los concentrados de plomo-cobre y zinc.

Por lo mencionado, el blending que se realiza en la cancha de almacenamiento de minerales es complejo, debido a las malas combinaciones de las mezclas de minerales que repercute en la rentabilidad del tratamiento, operaciones e ingresos de la empresa. La producción del máximo valor económico de concentrados de mineral provenientes de diferentes tajos de mina está supeditada al Blending de mineral que obtenga las leyes de cabeza que optimicen el rendimiento metalúrgico económico de Planta Concentradora.

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

El estudio se llevó a cabo en la Empresa Minera Perú Sol S.A.C., en la planta concentradora San Martín que se encuentra ubicado en el distrito Wari, provincia de Yauli, Región de Junín.

El mineral proveniente de pequeños mineros de la región Huancavelica es tratado en la planta de procesamiento de minerales para la recuperación de cobre.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿Cómo influye la dosificación del NaCN y el tiempo de flotación en la recuperación de cobre del mineral blending – Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cómo comprobar el efecto de la dosificación del NaCN en la recuperación de cobre del mineral blending - Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022?
- b) ¿Cómo determinar el efecto del tiempo de flotación en la recuperación del cobre del mineral blending - Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022?

- c) ¿Cómo comprobar el efecto del tiempo de flotación vs dosificación del NaCN en la recuperación de cobre del mineral blending - Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022?

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

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

Determinar la influencia dosificación del NaCN y del tiempo de flotación para la recuperación de cobre del mineral blending – Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022.

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

- a) Determinar el efecto de la dosificación del NaCN en la recuperación de cobre del mineral blending - Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022.
- b) Determinar el efecto del tiempo de flotación en la recuperación del cobre del mineral blending - Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022.
- c) Determinar el efecto del tiempo de flotación vs dosificación del NaCN en la recuperación de cobre del mineral blending - Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022.

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

##### **1.5.1. Justificación teórica**

El desarrollo de la investigación está orientado a solucionar el problema de la recuperación del cobre, esto debido a que no se está realizando una buena recuperación, esto debido a que un 15% se está enviando al relave y solo se recupera el 85% con una ley de concentrado de 20,12%. El mineral procedente de la pequeña minería tiene leyes variables que oscilan de 0,95 a 2,20% Cu, siendo en mayor cantidad los minerales de baja ley.

Para la mejora de la recuperación de cobre en el circuito de flotación vamos a realizar pruebas a nivel de laboratorio del mineral blending de cobre.

El estudio es importante, debido a que nos va a permitir mejorar la recuperación del cobre, además, va beneficiar a los propietarios del mineral y tener una buena recuperación metálica

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

**Las limitaciones de la investigación que se tiene son:**

- a) Financiamiento propio para la elaboración del presente estudio.
- b) Acceso a la información de la data en cuanto a su operatividad de la investigación.
- c) No se cuenta con el equipamiento necesario en el laboratorio de la empresa el cual perjudica que se pueda hacer un buen estudio.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

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

(Paz Herrera & Maldonado Vaella, 2016), realizó el estudio de **Influencia del tiempo de flotación y la dosificación de NaCN sobre la recuperación de cobre mediante flotación bulk en COMIVARIV S.A.** Quien se plantea como objetivo: Determinar la influencia del tiempo de flotación y la dosificación de cianuro de sodio (NaCN) para el mineral blendeado proveniente de las minas de tigre, cerro pelado y playitas con el cual obtengamos el mayor porcentaje de recuperación y calidad del concentrado de cobre que se produce en las instalaciones de COMIVARIV S.A.

**Realizada las pruebas experimentales llegan a la siguiente conclusión:**

- a) Existe influencia significativa del tiempo de flotación, presentando un aumento del porcentaje de recuperación de Cobre conforme aumenta el tiempo de flotación, obteniendo un máximo en los 21 minutos.

- b) Existe influencia significativa en la dosificación de cianuro de sodio, puesto que disminuye el porcentaje de recuperación de Cobre conforme aumenta la dosificación de Cianuro de Sodio, obteniendo un máximo a 60 g/TM.
- c) La interacción del tiempo de flotación y la dosificación de cianuro de sodio no tiene un efecto significativo en el porcentaje de recuperación de Cobre.
- d) Se obtuvo una recuperación máxima del 89% de Cobre al aplicar las variables de dosificación de Cianuro de Sodio a 60 g/TM y tiempo de flotación a 21 minutos.
- e) La disolución de metales preciosos en contenidos del mineral de flotación no se ve afectada significativamente por el uso de NaCN puesto que el tiempo de flotación es corto.

(Leyton Robles & Sánchez García, 2022), Realizó el estudio sobre la Influencia del potencial de hidrógeno (pH) y tiempo de flotación sobre el porcentaje de recuperación de Pb-Ag y Zn mediante flotación diferencial de un mineral de Áncash. Quién se plantea como objetivo: Determinar la influencia del Potencial de Hidrogeno (pH) y tiempo de flotación sobre el porcentaje de recuperación de Pb-Ag y de Zn mediante flotación diferencial.

**Llegándose a las siguientes conclusiones:**

- a) Al aumentar el pH, hasta 7.0 se incrementa la recuperación de plata y plomo obteniéndose 87,96% y 87,17% respectivamente, según la cinética de flotación se obtuvo con la ecuación de Klimpel el tiempo óptimo para flotar Pb-Ag de 7,88 minutos. Se determinó que el pH y el tiempo y su interacción tienen una influencia significativa obteniendo un  $P = 0.0$ , según el análisis de varianza.

- b) Se determinó que el potencial de hidrógeno adecuado para la flotación de PbAg, para el mineral estudiado es de 7.0. Para flotar zinc se trabajó con pH 10.
- c) Se determinó el efecto del tiempo de flotación que a mayor tiempo se obtiene mayor recuperación de Pb-Ag en el concentrado bulk, y zinc al flotar por minerales de zinc. Se determinó con la ecuación de Klimpel que el tiempo óptimo para la flotación Pb-Ag es de 7,88 y 7,89 minutos respectivamente, sin embargo, el proceso de flotación es bulk (flota Pb-Ag juntos) entonces el tiempo óptimo es de 7.88 minutos.
- d) La recuperación de zinc a partir de las colas de colas de flotación a diferentes pH de estudio, son similares, sin embargo, a pH 11,0 es donde se obtiene la mayor recuperación de zinc.
- e) Se determinó que con el tiempo óptimo de flotación se obtiene alta recuperación de Pb – Ag – Zn, sin embargo, las leyes de Pb no llegan al mínimo requerido para la comercialización por Pb, en cambio en el grado de plata y en forma adicional el oro se obtiene un grado de ley para comercialización que sería un concentrado por Au-Ag, y otro concentrado por zinc.

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

### **2.2.1. Cobre**

Según (De Jesus, 2019), El cobre es un metal de color pardo rojizo y brillante que se caracteriza por ser un buen conductor de calor y electricidad. Es uno de los metales más importantes en la industria metalúrgica. El cobre es un metal ampliamente utilizado en la elaboración de cables, líneas de alta tensión, monedas, llaves, instrumentos musicales (metales), teléfonos móviles, joyas, entre otros.

Además, el cobre es un metal muy versátil y posee una gran variedad de aplicaciones. A continuación, se presentan diferentes ejemplos de los usos del cobre en estado puro y las tres aleaciones más comunes que child el bronce, el latón y el cuproníquel. Sin prohibición, es importante mencionar que existen muchas otras formas de combinar este metal para darle otros usos. El cobre es ampliamente utilizado en la elaboración de cables debido a sus propiedades para conducir electricidad, de allí que sean elaborados con un 99,90% de cobre puro.

**Figura N°. 01:** Mineral de cobre



Nota: Tomado de geovirtual2.cl

### **2.2.2. Menas de cobre**

Según (Unioviedo, 2018), Hay más de 100 minerales de cobre diferentes, pero solo unos pocos son realmente útiles como minerales para producir cobre. El azufre es un elemento relativamente calcófilo, por lo que los principales minerales de cobre son los sulfuros: Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), Bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) y Calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ). La concentración de estos minerales en este yacimiento es baja. El conjunto de minerales que acompaña a los sulfuros de arsénico, antimonio y bismuto incluye piritita, galena y otros sulfuros de estos metales.

La acción climática provoca la formación de óxidos y silicatos de cobre cerca de la superficie terrestre en la zona oxidante (carbonatos básicos y sulfatos). Luego, el cobre se convierte en sulfuros secundarios (calcosina y covelina CuS) en condiciones reductoras.

Otros minerales de cobre importantes incluyen cuprita (óxido de Cu+1), tenorita (Cu+2), enargita (arsénico y sulfuro de cobre), azurita (2 carbonato e hidróxido), malaquita (carbonato e hidróxido), atacamita (hidróxido y cloruro), y crisocola. Asociados con la plata y el oro se encuentran otros metales como el cobre.

### **2.2.3. Concentrado de cobre**

La materia prima de los procesos pirometalúrgicos son los concentrados de cobre provenientes de flotación, los cuales contienen entre el 20 y 30% de cobre.

La obtención del concentrado y su composición química también es un aspecto dentro de la serie de interrogantes que se debe hacer a la hora de profundizar sobre este tema ya que el concentrado de un mineral puede tener una simple o muy compleja composición química.

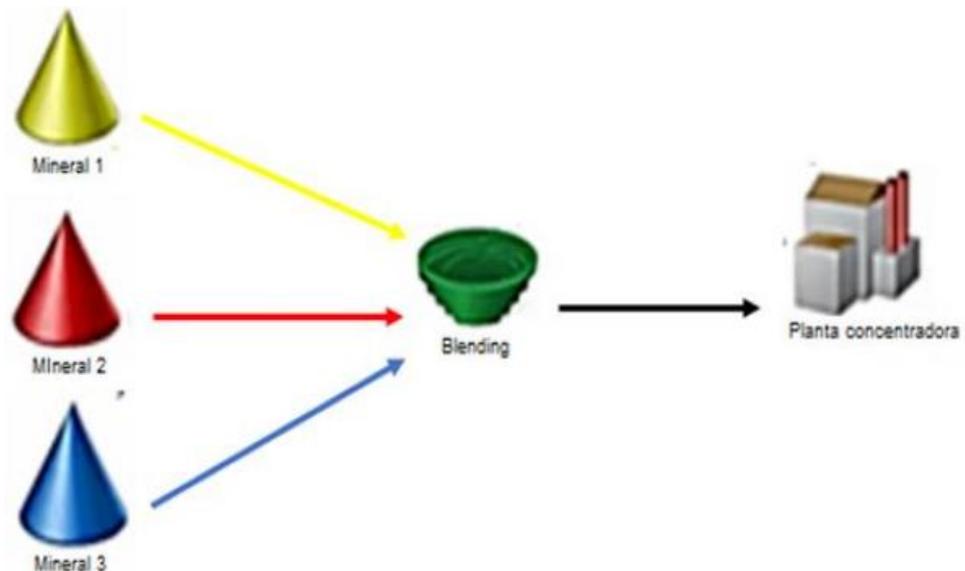
Los concentrados de cobre provienen de las celdas de flotación y son el resultado de la trituración, chancado y molienda de los minerales sulfurados de minas subterráneas. Producto de la flotación y sus repasos, de estos minerales pulverizados se obtiene el concentrado y un residuo que constituyen los relaves o colas 1,2. El análisis químico de los concentrados señalados, está compuesto generalmente a tres elementos: cobre, oro, plata y se reporta el contenido porcentual de cobre en el concentrado del 30% y g/TM los de oro y plata.

Entonces al mercantilizar el mineral en forma de concentrado se determina su valor en base, principalmente, al importe del cobre renovado considerando una serie de otras variables.

#### 2.2.4. Blending

Según (Izquierdo Rojas & Rojas Fuentes, 2016), El blending del mineral en el stock es un proceso muy importante y crítico, donde la mayoría de las empresas mineras tienen que afrontar, por tal motivo las grandes empresas, continuamente vienen revisando los planes de producción haciendo las respectivas correcciones y ajustes necesarios, para un efectivo control y administración de equilibrar la mezcla que debe llevarse de forma técnica disponible y con ayuda de la tecnología.

**Figura N°. 02:** Blending de mineral



Nota. Imagen tomada de Raw producto

Según, (Escamilla López, 2003), Las mezclas de mineral son una actividad cotidiana y uno de los principales problemas en la industria minera; en la mayoría de los yacimientos existen minerales con diferente composición y características

químicas, que la hace indispensable para alimentar a las plantas de beneficio mineral con calidad más o menos uniforme y aprovechar las reservas al máximo.

**Figura N°. 03:** Blending de stock pile



Nota. La imagen muestra el mezclado de stock pile

Al respecto de la mezcla de minerales (Soto Contreras, 2017) manifiesta que, el Blending es una estrategia de procesamiento metalúrgico para minerales que presentan un difícil tratamiento, con el fin de maximizar la recuperación de yacimientos. Este procedimiento se logra a través de la mezcla de un mineral de complejo, debido a su baja ley o un elevado contenido de arcillas y uno de fácil recuperación, en una proporción másica determinada, de modo que la recuperación de cobre obtenida mediante el procesamiento de la mezcla sea mayor que la recuperación que se obtiene cuando los minerales son procesados en forma individual. También (Castro, 2012) propone de esta manera, mediante la combinación de ambos, se puede calcular la recuperación en conjunto a través la siguiente expresión matemática.

$$R = \frac{R_a L_a \% M_a + R_b L_b \% M_b}{L_a \% M_a + L_b \% M_b} \dots\dots 1$$

**Los términos de ésta definen como:**

R a: Recuperación del mineral de fácil tratamiento.

La: Ley de cabeza del mineral de fácil tratamiento.

%Ma: Fracción másica del mineral de fácil tratamiento.

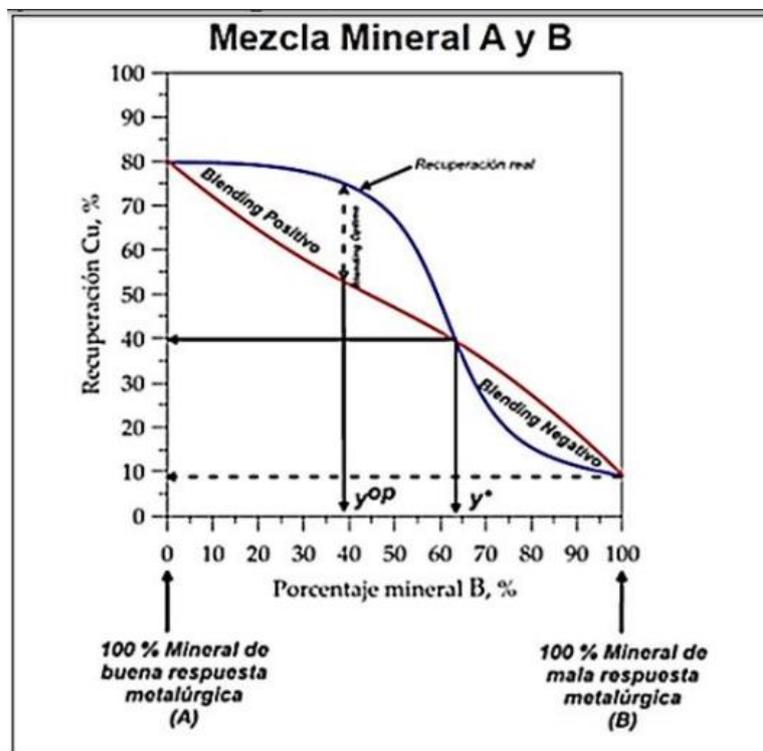
Rb: Recuperación del mineral de difícil tratamiento.

Lb: Ley de cabeza del mineral de difícil tratamiento.

%Mb: Fracción másica del mineral de difícil tratamiento

Al graficar la ecuación (1), se puede la obtener la base de la recta de operación del blending, lo cual permite detectar las zonas donde se genera un aumento positivo y negativo en la recuperación de minerales para las distintas mezclas realizadas y así, encontrar el punto óptimo de operación como se observa en la Figura N°. 04.

**Figura N°. 04:** Efecto del blending en los minerales



Nota. Imagen tomada de (Gutiérrez. L, 2015).

### **2.2.5. Cianuro de sodio**

Según (sanidad, 2008) El cianuro es un grupo químico que consiste en un átomo de carbono conectado a un átomo de nitrógeno por tres enlaces. Se pueden encontrar en la naturaleza o fabricarse, y la mayoría son venenos potentes que actúan rápidamente. El cianuro de hidrógeno (HCN) es un gas, y las sales de cianuro simples (cianuro de sodio y cianuro de potasio) son ejemplos de compuestos de cianuro.

El cianuro de sodio y el cianuro de potasio son sólidos blancos con leve olor amargo a almendras en ambientes húmedos.

El cianuro de sodio se trasfiere como sólido en forma de briquetas o huevos y en forma granular. Su concentración es 98% NaCN mínimo. Es fácilmente soluble en agua en concentraciones de 10 – 20%, que son las que generalmente se usa para su alimentación a circuitos de flotación. ver figura 5.

#### **a) Uso del cianuro**

El cianuro, utilizado en soluciones diluidas, tiene uso para el tratamiento de minerales de oro, al proceso se le denomina cianuración. En bajas concentraciones, el cianuro se utiliza también como reactivo para la concentración de minerales que utiliza el proceso de flotación.

Las sales de cianuro y el cianuro de hidrógeno se utilizan en la galvanoplastia, la metalurgia, la producción de productos químicos orgánicos, el revelado fotográfico, la fabricación de plásticos, la fumigación de barcos y en algunos procesos de minería.

**Figura N°. 05:** Cianuro de sodio



Nota. Fotografía tomada en planta Concentradora

**b) Influencia del cianuro de sodio**

El cianuro de sodio es fuerte depresor alcalino de los sulfuros de hierro (pirita, pirrotita y marcasita), de arsenopirita y esfalerita. Actúan como depresores en menor grado de la calcopirita, enargita, tenantita, bornita y casi todos los demás minerales sulfurosos, con la posible excepción de la galena.

El cianuro se usa también para la separación de galena y calcopirita de un concentrado Bulk que contenga estos dos minerales. En este caso deprime la calcopirita mientras flota la galena.

Para el tratamiento de menas de cobre-plomo-cinc y de plomo-cinc, con contenidos económicos de oro y plata, se prefiere alimentar el complejo químico cianuro -cinc, o también, el complejo amoniacal de cianuro-cinc, para prevenir la disolución de los metales preciosos en el circuito de flotación.

**2.2.6. Flotación**

Según (Wikipedia, 2019) el concepto de 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”

Al respecto (Blogspot, 2012), manifiesta que, “la flotación es un proceso de concentración de minerales donde se logra separar las partículas de menas útiles de estériles o gangas, mediante un tratamiento físico químico que modifica su tensión superficial para lograr que burbujas de aire finamente divididas se adhieran a las primeras y las enriquezca en una espuma”.

### **2.2.7. Reactivos de flotación**

Los reactivos utilizados en la flotación para la recuperación de elementos metálicos son según (Yianatos B, 2005)

“Los reactivos comúnmente usados en la flotación son el Colector, para la captura selectiva de los minerales a flotar, el Espumante para reducir el tamaño de burbujas y generar una espuma estable, y el Regulador de pH, generalmente cal. La adición de reactivos se regula en forma manual o automática, en diferentes puntos del circuito, desde la molienda húmeda a la flotación, de acuerdo a los tonelajes y flujos de alimentación”

Según (ArrMaz, 2022), Los reactivos de flotación son insumos que se adicionan al proceso de flotación de minerales. La flotación por espuma es el proceso industrial más ampliamente usado para la separación de minerales finamente liberados. El proceso consiste en la aireación de minerales en agua en presencia de reactivos de flotación que facilitan la fijación de las burbujas de aire a minerales seleccionados, así como la levitación de estos. Una vez en la superficie, una capa de espuma sostiene a los minerales seleccionados hasta que sean retirados. Los materiales no unidos permanecen sumergidos en la pulpa.

Las propiedades de la superficie de un mineral determinan su capacidad de flotación. Los colectores, algunos de los reactivos de flotación más importantes que se utilizan en el proceso de flotación, se utilizan para modificar las propiedades de

la superficie de los minerales. Un colector es un producto químico que se une selectivamente a la superficie de los minerales objetivo e imparte hidrofobicidad a dichas partículas minerales, una condición necesaria para la fijación de las burbujas de aire.

Los colectores generalmente se pueden clasificar en tres categorías: no iónicos, aniónicos o catiónicos. Los colectores no iónicos son aceites de hidrocarburos simples. Los colectores aniónicos y catiónicos consisten en un componente polar que se une selectivamente a las superficies minerales, y un componente no polar que se proyecta hacia afuera en la solución, lo que convierte en hidrófoba a su superficie. Los colectores pueden unirse químicamente a la superficie del mineral con alta selectividad (quimisorción) o mantenerse en la superficie por medio de fuerzas físicas (absorción física). La selección del colector es crítica para la separación eficiente de minerales por medio de la flotación por espuma.

#### **2.2.8. Tiempo de flotación**

Al respecto, (Yianatos B, 2005) El tiempo de residencia es uno de los factores que afecta tanto a la ley como a la recuperación del mineral flotado, el cual afecta a esta última de manera más significativa. El tiempo de residencia se puede variar cambiando el caudal, la concentración de sólidos de la alimentación y la altura de la zona de recolección.

Según (Corporation Cyanamid, 1988), El tiempo que tarda una sustancia en flotar es su cinética de flotación. El tiempo requerido en la práctica para la flotación del mineral se puede determinar obteniendo concentrados en etapas separadas. Los concentrados separados se agitan a intervalos de tiempo hasta que la espuma se agota por completo. Los pesos y datos de ensayo de cada etapa de concentración

pueden usarse para determinar la distribución del metal en cada etapa. La distribución del metal en cada uno se puede determinar en función de la cantidad de metal presente. Esta información se traza para determinar el límite práctico del tiempo de flotación. Los diferentes sistemas de colectores a veces mostrarán diferentes niveles de recuperación, lo que será evidente al comparar sus curvas individuales.

Para propósitos del diseño de la planta y su operación actual práctica. Es usual considerar por lo menos el doble del tiempo de flotación obtenido en el laboratorio.

### **2.2.9. Cinética de flotación**

Según (Petrovskaya N & Bobin, 2015) la “Cinética de flotación se caracteriza por una dependencia de la extracción del mineral flotado al concentrado  $R$  del tiempo  $\tau$ ,  $R = f(t)$ ”.

Velocidad de flotación en este momento del tiempo es una derivada  $dR/dt$  y es tangente del ángulo del través a la curva  $R = f(t)$ .

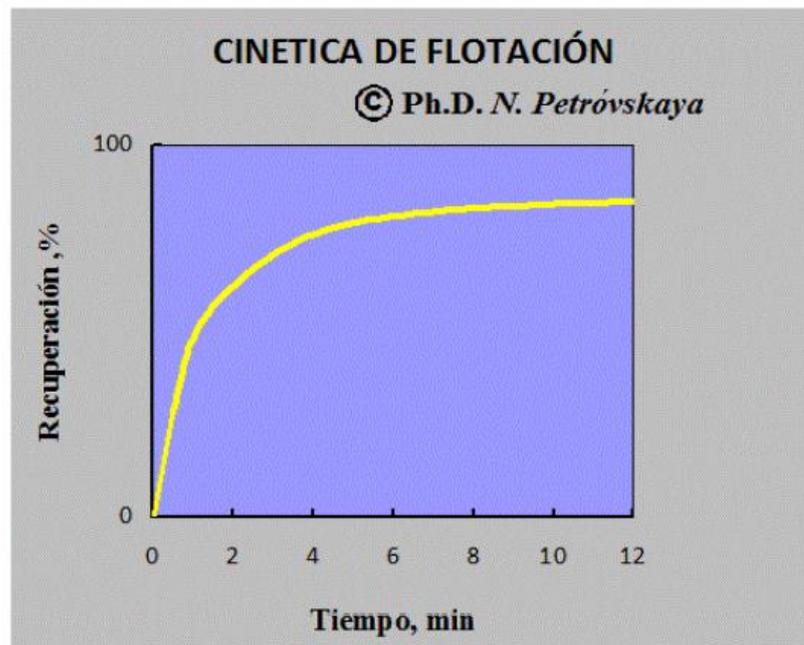
Analizando las leyes del cambio de flotación en el tiempo, se puede fundamentar distribución óptima del retiro de la espuma en el fronto de flotación, confrontar y tantear como flotabilidad de minerales en condiciones diferentes, averiguar la acción de los factores tecnológicos diferentes de flotación. Por coordinación del proceso de flotación objetivo, habitualmente, es aumentar su velocidad sin bajar su selectividad.

Concentración de una celda en flotación se caracteriza por curvas de flotabilidad, cuales permiten juzgar sobre influencia de factores tecnológicas a la selectividad del proceso. Las curvas de flotabilidad muestran una dependencia del

peso del concentrado  $\gamma$ , una fracción de la masa del componente valioso en el concentrado  $\beta$ , extracción del mineral al concentrado R, del tiempo de flotación.

En una prueba de flotación de un mineral cobre-cinc en la planta de Gayskaya y Krasnourálskaya observo que el cinc tiene un retraso sensible, en cuanto a la velocidad de flotación del cobre en el periodo inicial tiene un valor máximo. Contando el retraso del cinc, es funcional recoger un concentrado de cobre con contenido intrascendente de cinc en la iniciación del proceso. La pérdida del cinc con el concentrado de cobre es la mínima en este caso. Análisis de cinética y velocidad de flotación ha mostrado, que durante periodo inicial de flotación, cinc y cobre tienen el mismo dinamismo. Por eso, según nuestra opinión, para elaboración de mineral del yacimiento Tarñérskoye, el esquema más plausible es el esquema de flotación colectivo-selectiva.

**Figura N°. 06:** Cinética de flotación



Nota. Imagen tomada de Natalia Petrovskaya

### 2.3. Definición de términos básicos

1. **Mena sulfurada.** Contienen al metal como sulfuro, tales como la galena (PbS), La calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>); la esfalerita (ZnS); etc.
2. **Blending.** Es la mezcla de minerales con el objetivo de maximizar la recuperación del yacimiento minero, este puede ser mineral complejo de difícil tratamiento.
3. **Flotación.** Es un proceso fisicoquímico que consta de tres fases sólido-líquidogaseoso que tiene por objetivo la separación de especies minerales mediante la adhesión selectiva de partículas minerales a burbujas de aire.
4. **Etapas de la flotación.** En la flotación de minerales se pueden hacer por etapas; Rougher, Scavenger y Cleaner.
5. **Reactivos de flotación.** Insumos químicos utilizados en flotación y que tienen funciones específicas.
6. **Liberar.** Quiere decir reducir las partículas a tamaños bien pequeños, de tal manera que cada parte valiosa o sulfuro se encuentre separado o libre de otro elemento. Esto lo podemos experimentar, tomando un trozo de mineral y chancándolo con un martillo hasta reducirlo a una arena fina.

### 2.4. Formulación de hipótesis

#### 2.4.1. Hipótesis general

La dosificación del NaCN y el tiempo de flotación influyen en la recuperación del cobre del mineral blending – Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022.

#### 2.4.2. Hipótesis específicas

- a) La dosificación del NaCN afecta la recuperación de cobre del mineral blending - Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022.

- b) El tiempo de flotación afecta la recuperación de cobre del mineral blending - Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022.
- c) La interacción del tiempo de flotación vs dosificación del NaCN afecta la recuperación de cobre del mineral blending - Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022.

## 2.5. Identificación de variables

### 2.5.1. Variable independiente

Efecto de la dosificación de NaCN y tiempo de flotación

### 2.5.2. Variable dependiente

Recuperación de cobre del mineral blending

### 2.5.3. Variable interviniente

- Ley de mineral primario
- Mineralogía
- Impurezas
- Ganga

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores.

**Tabla N°. 01:** Variables e indicadores de operación

Ítem	Variables	Dimensiones	Indicadores
V.I	Efecto del tiempo de flotación y dosificación de NaCN	Dosificación de NaCN	g/T
		Tiempo de flotación	min
		Interacción tiempo de flotación vs. NaCN	g/T, min

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Según la intervención del investigador, el tipo de investigación es experimental donde se trata de explicar la razón de causa – efecto, además de ser controlados (Supo, 2012, pág. 1).

#### **3.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación de acuerdo a los objetivos que se persigue es explicativo, debido a que se tratará de dar sustento a los resultados obtenidos de la influencia de la dosificación del NaCN y el tiempo de flotación en la recuperación de cobre del mineral mezclado.

#### **3.3. Métodos de investigación.**

Según García (2014), el método son los pasos generales que se recomienda a fin de lograr el objetivo de estudio. P.56. Además, para investigar es necesario usar técnicas y procedimientos para contrastar la hipótesis, que se plasma en informes y conclusiones.

Al respecto, en el estudio se aplicó el método sistémico porque hay una relación de los factores controlables con la recuperación de cobre del mineral blending. En el estudio también se aplica el método deductivo, debido a que para la recolección de datos se parte de casos generales y se plantea el problema, nos remitimos a la teoría y a partir de esto, se formula la hipótesis que será validado empíricamente (realidad).

En nuestro estudio los datos lo obtenemos de las pruebas metalúrgica experimentales que realizamos a nivel laboratorio, a estas pruebas aplicamos el diseño bifactorial de tres niveles a cada factor y ver el efecto en la recuperación de cobre

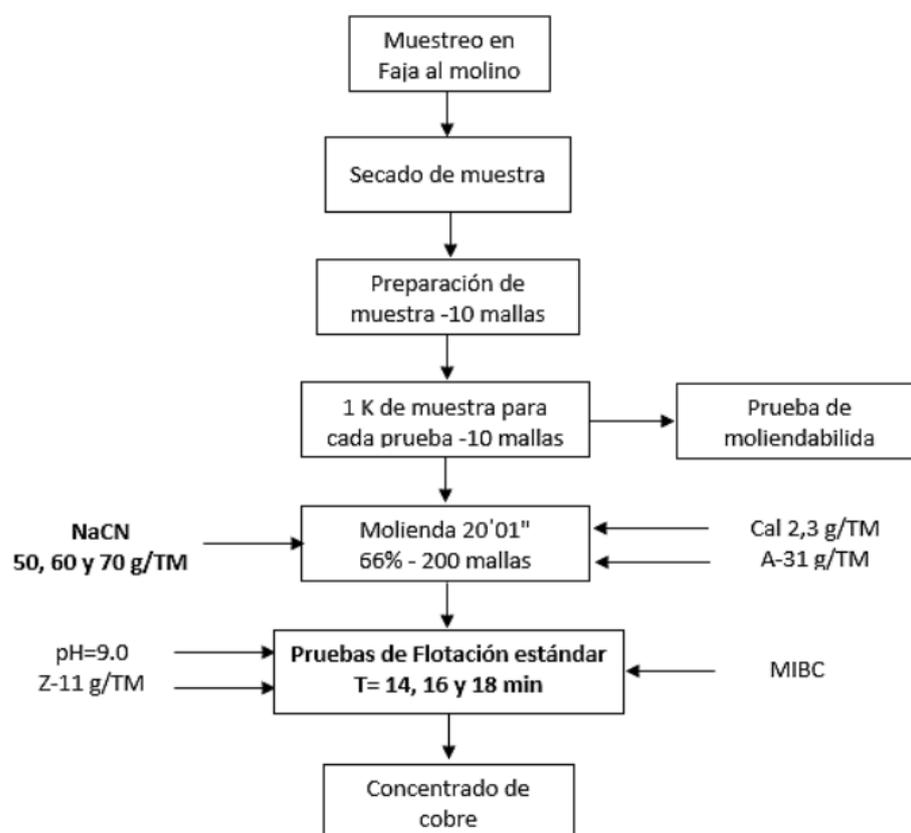
#### **3.4. Diseño de investigación**

Según Carrasco Días (2005), El diseño es el instrumento que guía la forma y el modo como el investigador va dar respuesta al problema de investigación.

El diseño de investigación que se aplica es experimental, y que se realizó en primer lugar eligiendo el punto de muestreo y la toma de muestra en la faja transportadora alimento al molino 6 x 6, seguidamente la muestra es secada y se realiza la preparación mecánica para posteriormente tener toda la muestra al 100% a -200 mallas.

Las pruebas experimentales se planifico de la siguiente manera:

**Figura N°. 07:** Diseño planificado de las pruebas a realizar



Nota. Flujograma de pruebas

### 3.5. Población y muestra

#### a) Población

La población está conformada por el mineral del stock pile dispuesta en la cancha de gruesos proveniente de los pequeños mineros artesanales de la región de Huancavelica de 6000 TM

#### b) Muestra

Según (Cárcamo, 2003) el Muestreo es Sistemático, debido a que este tipo de muestreo, los incrementos son colectados a intervalos regulares, en términos de masa, tiempo o espacio definidos de antemano. La primera muestra debe

obtenerse al tiempo o lugar seleccionado al azar dentro del primer intervalo del muestreo.

La muestra está conformada por el muestreo realizado en la faja transportadora alimento al molino de 6 x 6. Para la determinación de la cantidad de muestra se aplicó la Teoría de Pierre Gy.

### **Determinación de la cantidad de muestra representativa (Teoría de Pierre Gy)**

Ecuación básica:

$$M = \frac{C \cdot d^3}{S^2}$$

M = Peso mínimo de muestra requerido (gr)

C = Constante de muestreo (g/cm<sup>3</sup>)

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

s = Medida del error estadístico y normalmente es 0,01

### **Constante de Muestreo (C)**

$$C = f \cdot g \cdot l \cdot m$$

f = Factor de forma el cual es tomado como 0,5, excepto para minerales de oro que es 0,2

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

l = Factor de liberación

m = Factor mineralógico (g/cm<sup>3</sup>)

### **Factor de liberación**

$$l = \sqrt{\frac{L}{d}}$$

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

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

**Factor Mineralógico (m)**

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

a = Es la fracción del mineral de interés

r = Densidad del mineral de interés

t = Densidad de la ganga

$$M = 24.075 \text{ Kg}$$

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

La técnica e instrumento según Arias Odón (2006) “una técnica comprende los pasos para recaudar datos” (P. 67), por ejemplo: los procedimientos para retirar el agua del aceite para recolectar datos. “Instrumento es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para lograr, registrar o almacenar información” (P. 68).

#### 3.6.1. Técnica de recolección de datos

**La observación experimental.** Mediante esta técnica se realizará observación del punto de muestreo de mineral en la faja transportadora.

**La entrevista libre.** Se realizó a los ingenieros y técnico que labora en la planta concentradora.

**Fuentes primarias.** Se obtendrá de los reportes de las pruebas del análisis químico de laboratorio.

#### 3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Muestreador tipo cuchara. Este muestreador es un instrumento para recolectar muestras de mineral, que nos permitirá obtener la cantidad de muestra cada 20 minutos para las pruebas en el laboratorio.

Paleta. La paleta es un instrumento para la evacuación de las espumas de flotación, de PVC.

Celda de flotación. En este equipo se realiza la flotación de cobre que consta de un recipiente o celda de un litro, mecanismo de agitación y válvula de aireación.

Cronómetro. Con este instrumento controlamos el tiempo de flotación de la evacuación de las espumas que contiene el concentrado de cobre.

Bandeja de recepción de espumas. En este recipiente se coge las espumas de flotación hasta el agotamiento de la misma en la celda.

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

Las tablas para la toma de datos y operación se validaron mediante el juicio técnico de los ingenieros que laboran en la planta concentradora San Martín e ingeniero de laboratorio, como también ingenieros de la UNDAC teniendo en cuenta la experiencia de cada uno de ellos.

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

Para el procesamiento y análisis de datos de la influencia de la dosificación del NaCN y tiempo de flotación en la recuperación de cobre se hará uso del Microsoft Excel y Minitab, como también en el análisis de los gráficos.

### **3.9. Tratamiento estadístico**

El tratamiento estadístico, se aplicará a los resultados obtenidos de las pruebas experimentales de la influencia de la dosificación del NaCN y tiempo de flotación en la recuperación de cobre para la prueba de hipótesis con el Minitab.

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

Los datos que se obtengan en el estudio se realizarán teniendo en cuenta los valores éticos del investigador en la que se dará fe de los ensayos obtenidos. Además, las referencias del marco teórico se editaron respetando la autoría de los investigadores.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

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

Para cumplir con los objetivos planteados en el estudio, se determinó las leyes de cada uno de los stocks piles y el tonelaje respectivamente, seguidamente se determinó la ley teórica de cabeza de mineral blending que va a ingresar al proceso de conminución y concentración de mineral. También, se realizó el ensaye de la ley de cabeza práctico del mineral que ingresa al proceso de concentración.

Para la demostración del trabajo de investigación se trabajó con muestras de mineral muestreado en la faja transportadora alimentación al molino de 6' x 6'. Esta muestra se trasladó al laboratorio para la preparación mecánica, homogenizado y cuarteo hasta obtener una muestra del 100% - 10 mallas, muestra que será sometido al proceso experimental de la flotación por espumas.

Se preparó el depresor NaCN al 5%, colector Z-11 al 5%, A-31, A-208 puro y espumante D-250.

#### 4.1.1. Blending

El blending del mineral se realizó a los tres stocks pile que se tiene en la cancha de almacenamiento, a dichos stocks se muestreo para determinar las leyes respectivas siendo el análisis químico de la siguiente manera:

**Tabla N°. 02:** Ley teórica de los stocks del mineral blending

<b>Pila</b>	<b>Toneladas</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>% Cu</b>
Stock 1	980	14,0 %	0,80
Stock 2	1220	17,0 %	1,12
Stock 3	4800	69,0 %	2,20
<b>Total</b>	<b>7000</b>	<b>100,0</b>	<b>1,84</b>

Se determino la ley teórica del mineral blending, siendo de 1,84 % de cobre.

#### 4.1.2. Toma de muestra mineral

Se toma muestra en la faja transportadora cada 20 minutos durante 16 horas con un muestreador tipo cuchara de 500 gr de muestra, obteniéndose al final 24 k de muestra total. Esta muestra es llevada al laboratorio para realizar la preparación mecánica y dejando todo listo la muestra el 100% a -10 mallas.

#### 4.1.3. Análisis químico de la ley de cabeza práctico

El ensaye de laboratorio reportado del mineral blendiado es la siguiente:

**Tabla N°. 03:** Ensaye químico real

	<b>% Cu</b>	<b>% Pb</b>	<b>Ag g/TM</b>
M-1	1,82	0,65	59,25

Nota. Datos tomados del reporte de ensaye químico

De los ensayes químicos del mineral blending se reporta que la ley de cabeza de cobre que se alimenta al molino es de 1,82 %, plomo 0,65 % y 59 g/Tm de plata.

#### **4.1.4. Prueba de moliendabilidad**

Se realizaron pruebas de molienda para determinar el grado de liberación del mineral blending en función del tiempo.

##### **Equipos Utilizados:**

- Un molino de bolas de laboratorio tipo Denver de 30 cm de diámetro por 30 cm de longitud para la molienda a diferentes tiempos de cada fracción estrecha.
- Chancadora de quijada de 6" x 8"
- Separador Jones
- Probeta de 1000 cc
- Cronómetro
- Malla 200 de la serie Tyler

##### **Condiciones de Molienda:**

- Cantidad de Mineral: 1000 gramos.
- Agua: 500 cc
- Porcentaje de llenado del Molino,  $J = 40\%$ .
- Potencia del motor: 1,5 H. P
- Velocidad crítica: 70%.
- Porcentaje de espacios vacíos en el lecho de bolas: 40%
- Tamaño de Bolas: 1", 1 ¼", 1 ½".

A continuación, presentamos la curva de moliendabilidad en la tabla 1 y figura 2, que nos muestra los resultados.

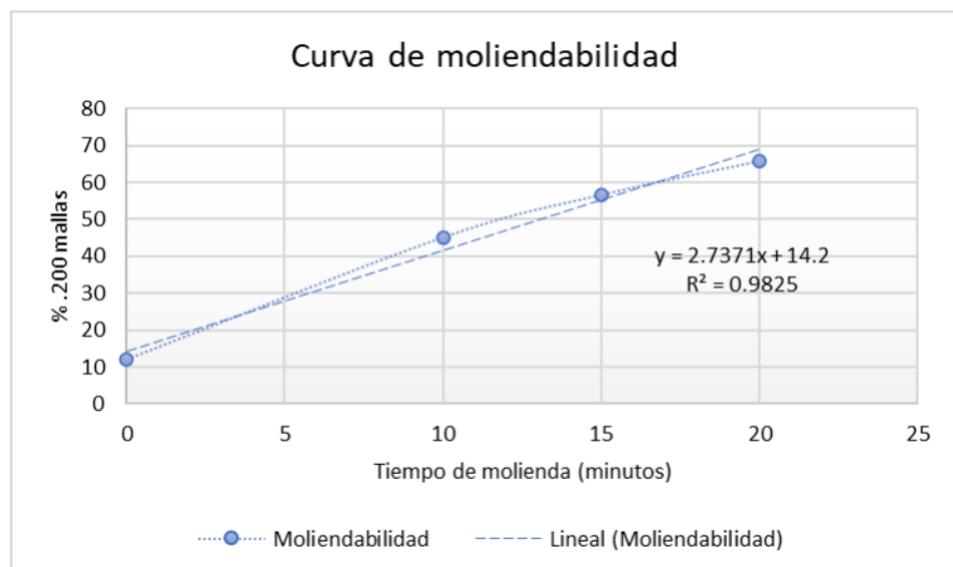
**Tabla N°. 04:** Moliendabilidad del mineral

Tiempo (min)	% - 200 malla
0	12,0
10	45,2
15	56,8
20	65,98
66% - 200 malla = 20' 01"	

Nota. Se presenta el tiempo de molienda de liberación

Como se aprecia en la tabla 3, el tiempo óptimo de molienda es de 20'02" donde se tiene 66% - 200 mallas.

**Figura N°. 08:** Curva de moliendabilidad



Nota. Se presenta el tiempo de molienda de liberación

En la figura 8 se aprecia la curva de moliendabilidad del mineral blending, que tiene un coeficiente de regresión del 98,25 %, siendo un coeficiente cercano a 1.

#### 4.1.5. Condiciones de las pruebas metalúrgicas

A continuación, se presenta las condiciones de las pruebas metalúrgicas realizadas en el laboratorio de la empresa Perú Sol S.A.C.

##### **Molienda**

Peso de Mineral	: 1000 g
Granulometría	: 66% -200 mallas
NaCN	: 50 g/TM, 60 g/TM y 70 g/TM
A-31	: 7 g/TM
Cal	: 2.8 kg/TM
Tiempo de molienda	: 20' 01" min
L/S	: ½

##### **Flotación**

Acondicionamiento	: 5 min
pH flotación	: 9.0
Z-11	: 40 g/TM
MICB	: 35 g/TM
Cal	: 0 kg/TM
Tiempo de flotación	: 14 min, 16 min y 18 min

El concentrado que se obtiene es un bulk, porque el plomo se encuentra bajo y no es necesario realizar la separación, ya que dicho proceso generaría un incremento de costo de las operaciones de tratamiento.

#### 4.1.6. Aplicación del diseño factorial de dos factores de efectos fijos

Para las pruebas metalúrgicas hacemos uso del diseño factorial de dos factores con tres niveles que se planifico de la siguiente manera, ver tabla 5.

**Tabla N°. 05:** Factores experimentales

<b>Factores</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>
X <sub>1</sub> : Dosificación de NaCN (g)	50	60	70
X <sub>2</sub> : Tiempo de flotación (min)	14	16	18

El diseño factorial en un inicio se aplica a los factores principales y su efecto sobre la recuperación de cobre y seguidamente se realiza pruebas del efecto de la interacción de ambos factores, para esta prueba se realiza dos repeticiones en cada uno de las interacciones.

**Tabla N°. 06:** Diseño factorial de factores de efecto fijo

<b>Dosificación de NaCN (g/TM)</b>	<b>Tiempo de flotación (min)</b>		
	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>18</b>
<b>50</b>	R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub>
<b>60</b>	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub>
<b>70</b>	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub>

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1. Influencia de la dosificación del NaCN en la recuperación de cobre

A continuación, se presenta los resultados de las pruebas experimentales realizadas en laboratorio metalúrgico de forma independiente con muestra de pulpa al 30% de sólidos para una gravedad específica del mineral de 3.1.

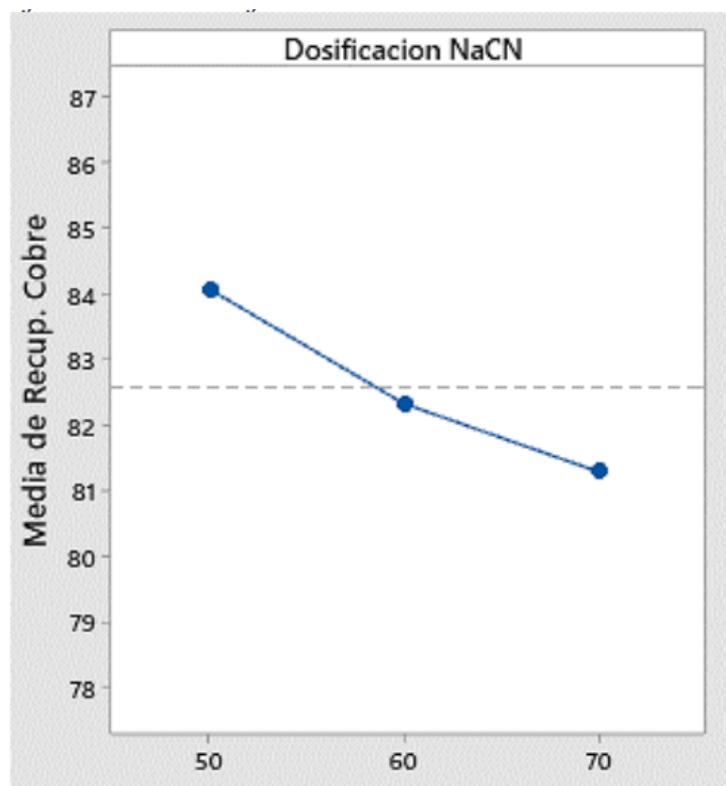
**Tabla N°. 07:** Efecto del NaCN en la recuperación de cobre

<b>Dosificación NaCN (g/TM)</b>	<b>Recuperación Cu (%)</b>
50	88,62
60	85,36
70	78,43

Nota. Datos tomados de los ensayos de laboratorio

Como se observa en la tabla 7 cuando se incrementa la dosificación del depresor la recuperación de cobre baja de 88,62% a 78,43%, esto nos da a entender que se estaría deprimiendo el cobre con un exceso de dosificación de este reactivo. Lo manifestado lo podemos observar en la figura 1. Además, un buen control de dosificando de cianuro de sodio de 60 g/TM se tiene una recuperación de 88,62% de cobre.

**Figura N°. 09:** Efecto de la dosificación del NaCN



Nota. La figura muestra el incremento de NaCN afecta la recuperación de cobre

#### **4.2.2. Influencia del tiempo de flotación en la recuperación de cobre**

Esta prueba consistió en variar el tiempo de flotación en la celda de flotación, para lo cual se mantuvo de manera constante las dosificaciones de los colectores y espumantes, para un tiempo de acondicionamiento de 2 minutos.

El volumen de celda es de 2,430 L

Realizada la dosificación de espumante y colectores se procedió a las pruebas de flotación manteniendo la dosificación de NaCN en 60 g/TM. La prueba se inició con un tiempo de flotación de 14 min a nivel de laboratorio. A continuación, se presenta los resultados de las pruebas en la tabla 6.

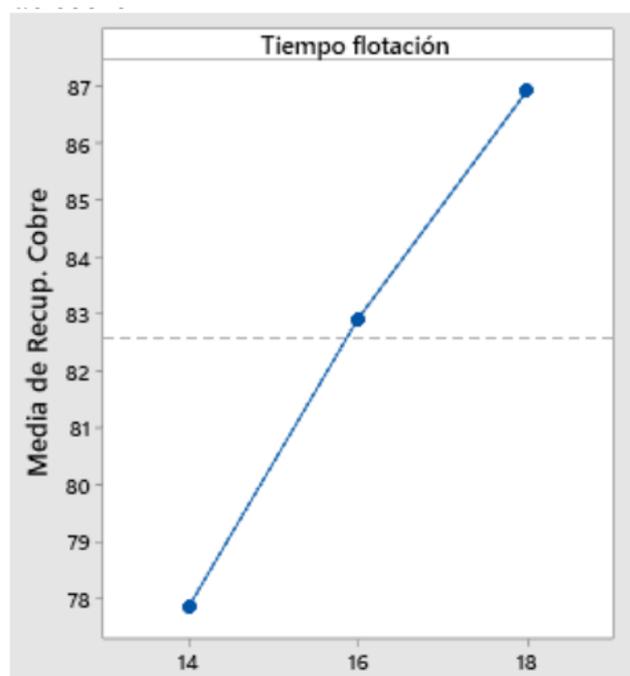
**Tabla N°. 08:** Efecto del tiempo de flotación

Tiempo de flotación en minutos	Recuperación Cu (%)
14	77,45
16	83,78
18	87,89

Nota. Datos tomados del reporte de laboratorio

Como se observa en la tabla 8, el tiempo de flotación es una variable que tiene influencia en la recuperación de cobre, que al incrementar el tiempo de flotación se tiene una recuperación de 87,89 % de cobre. De igual manera lo podemos apreciar en la figura 10.

**Figura N°. 10:** Efecto del tiempo de flotación en la recuperación de cobre



Nota. En la figura se observa la influencia del tiempo de flotación

#### 4.2.3. Interacción de dosificación de NaCN Vs Tiempo de flotación

Para ver si la interacción de la dosificación de NaCN y el tiempo de flotación tiene influencia en la recuperación de cobre se planifico las pruebas de flotación realizando dos replicas con cada uno de los niveles. A continuación, presentamos los resultados de las pruebas metalúrgicas.

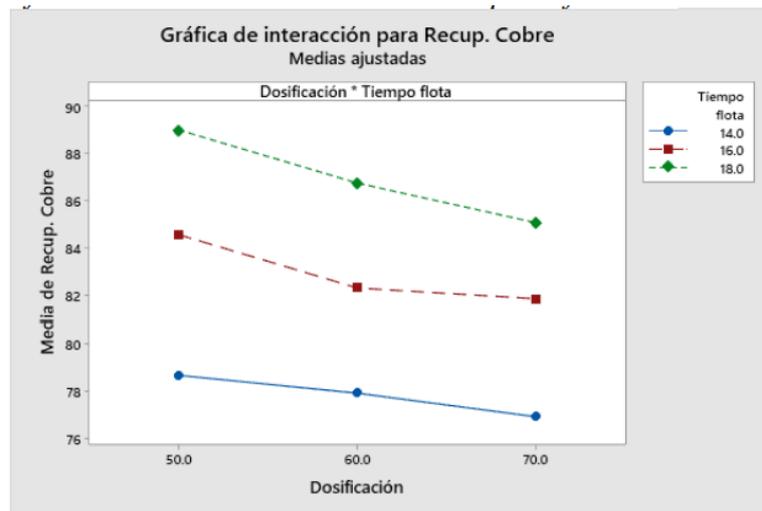
**Tabla N°. 09:** Efecto de la interacción NaCN vs Tiempo de flotación

Dosificación de NaCN (g/TM)	Tiempo de flotación (min)		
	14	16	18
50	79,12, 78,24	84,68, 84,45	88,97, 89,01
60	77,54, 78,31	82,74, 81,89	86,58, 86,91
70	76,82, 77,04	81,57, 82,15	85,21, 84,93

Nota. En la figura se observa la sinergia de los dos factores

En la tabla 9 observamos, que la interacción del cianuro de sodio dosificando a 80 g/TM versus 18 minutos de tiempo de flotación se tiene una buena recuperación de cobre, mientras que las interacciones dosificando 70 y 80 g/TM versus tiempo de flotación de 14 y 16 minutos las recuperaciones de cobre son bajas. Lo manifestado lo podemos confirmar en la figura 11.

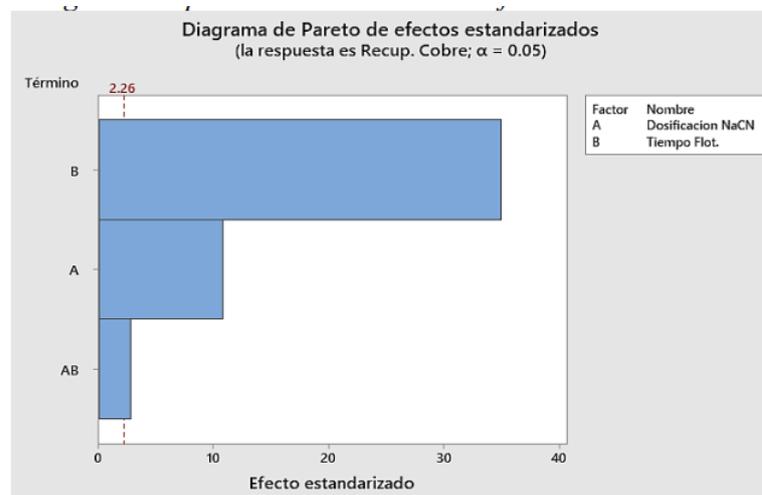
**Figura N°. 11:** Efecto de la interacción NaCN vs Tiempo de flotación



Nota. En la figura se observa la más alta recuperación de cobre es de 18 min.

En la figura 12 se observa que el efecto principal que es muy significativo es el tiempo de flotación, seguido de la dosificación de NaCN, además el efecto de la interacción de ambos factores es mínimo y no tiene demasiada influencia en la recuperación de cobre, esto lo podemos manifestar categóricamente por el punto crítico del t de student que es 2,26 del diagrama de Pareto estandarizado para la recuperación de cobre, para 9 grados de libertad y 95% de significancia.

**Figura N°. 12:** Diagrama de pareto estandarizado de efectos



Nota. La figura muestra el efecto de factores principales

### **4.3. Prueba de hipótesis**

Las hipótesis científicas se someten a prueba empírica para determinar si son apoyadas o refutadas de acuerdo a lo que el investigador observa. En consecuencia, se procede a formular la hipótesis de investigación y la correspondiente hipótesis estadística.

#### **4.3.1. Hipótesis de Investigación**

##### **Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>)**

La dosificación del NaCN y el tiempo de flotación no influyen en la recuperación del cobre del mineral blending – Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022.

##### **Hipótesis Alterna (H<sub>a</sub>)**

La dosificación del NaCN y el tiempo de flotación influyen en la recuperación del cobre del mineral blending – Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022.

#### **4.3.2. Prueba de Hipótesis**

Se demuestra la hipótesis estadística con las recuperaciones de cobre obtenido en las pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio.

##### **Nivel de significancia**

$$\alpha = 0,05$$

##### **Estadístico de prueba**

Como estadístico de prueba se utiliza el análisis de varianza, para lo cual se corrió los resultados en el paquete estadístico del Minitab, que a continuación se observa en la tabla 10.

**Tabla N°. 10:** Análisis de Varianza

Fuente variación	SC	GL	MC	Valor F	Valor p
Dosificación NaCN	23,882	2	11,941	79,13	0,000
Tiempo Flotación	248,980	2	124,490	824,92	0,000
NaCN*Tiempo Flot.	3,065	4	0,766	5,08	0,020
Error	1,358	9	0,151		
Total	277,285	17			

**Valor de decisión: (Si  $t_c > t_t$  se acepta la  $H_a$ )**

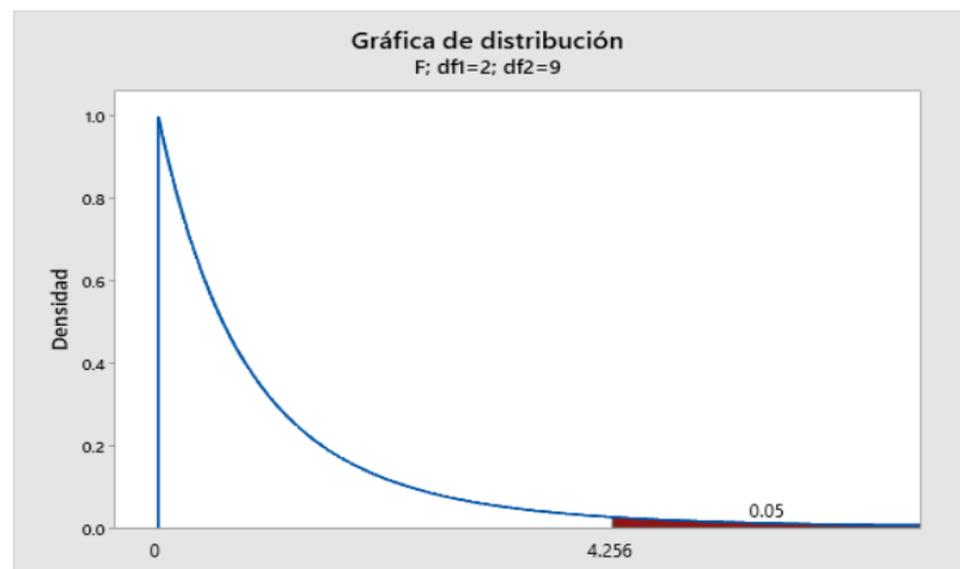
Para la Dosificación de NaCN:  $F_c = 79,13$  y  $F_{tabla} = 4,256$

$$t_c > t_t \text{ reemplazando valores } 79,13 > 4,256$$

Para el tiempo de flotación:  $F_{calculado} = 824,92$  y  $F_{tabla} = 4,256$

$$t_c > t_t \text{ reemplazando valores } 824,92 > 4,256$$

**Figura N°. 13:** Prueba de hipótesis de factores



Como 79,13 y 824,92 son mayores que el punto crítico 4,256 se acepta la hipótesis alterna debido a que se encuentran en zona de la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

### **Decisión**

Se acepta la Hipótesis Alternativa

### **Conclusión**

Existe suficiente evidencia para afirmar que la Dosificación de NaCN y el tiempo de flotación influyen en la recuperación del cobre del mineral blending, con 95% de significancia.

#### **4.4. Discusión de resultados**

A partir de las evidencias encontrados aceptamos la hipótesis alternativa que establece que la dosificación de NaCN y el tiempo de flotación influyen en la recuperación de cobre del mineral blending de Minera Perú Sol S.A.C. – Oroya 2022.

Las pruebas experimentales realizadas a nivel de laboratorio con la dosificación de NaCN a 50 g/TM, se tiene una recuperación de cobre de 88,62%. Además, observamos que al incrementar la dosificación de este depresor de 60 g/TM a 70 g/TM, la recuperación de cobre baja hasta 78,43%. Esto se debe a que posiblemente se estaría produciendo la cianuración del cobre. Al respecto la (Dow. Ch, 1998) manifiesta que el exceso de NaCN deprime el cobre, flotando el plomo, de igual manera si se trata menas de cobre-plomo-cinc con contenidos de plata y oro, se prefiere alimentar el NaCN con Sulfato de cinc, para prevenir la disolución de metales preciosos.

Las pruebas experimentales de flotación variando el tiempo de flotación se demuestra que, a mayor tiempo de flotación la recuperación de cobre se incrementa de 77,45% a 87,89%, el cual nos da a entender que el proceso necesita mayor tiempo de flotación de 14 minutos. Al respecto la Dow Chemical Co (1981) menciona, que el tiempo que tarda una sustancia en flotar es su cinética de

flotación, que se obtiene concentrados por etapas, además, menciona que va depender de los sistemas de colectores. De igual manera (Yianatos B, 2005) menciona, que el tiempo de residencia es uno de los factores que afecta la ley como la recuperación del mineral flotado.

La interacción de los factores dosificación de NaCN vs tiempo de flotación demuestran que se logra una alta recuperación de cobre cuando trabajan con 50 g/TM de NaCN y un tiempo de flotación de 10 minuto, logrando un concentrado de cobre de 25,54% con una recuperación de 89,01%.

## CONCLUSIONES

La dosificación de NaCN en el rango de 50 g/TM se logra recuperar el cobre en un 88,62%, por lo que no es necesario incrementar más la dosificación de este reactivo. Esto debido a que, cuando se incrementa los g/TM de cianuro de sodio la recuperación de cobre baja en un 10%.

El tiempo de flotación en las pruebas experimentales es de 18 min, donde se logra una recuperación de cobre de 87,89 % para una calidad de 25,19% de concentrado, siendo de buena calidad para su comercialización.

La interacción de dosificación de cianuro de sodio vs. Tiempo de flotación tiene una gran influencia en la recuperación de cobre lográndose alcanzar una recuperación de cobre entre 88,97% a 89,01%.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar todas las pruebas de flotación por lo menos por triplicado para tener una probabilidad del 70% para ver el mismo resultado a nivel industrial, el cual nos estaría dando una mejor credibilidad de los resultados.

Seguir realizando pruebas de dosificación de reactivos y de tiempo de flotación buscando una nueva alternativa, para reducir los costos por dosificación de floculante.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrese, C. (- de 06 de 2017). Minerales de Cobre (Danafloat). Obtenido de [http://www.danafloat.com/es/mining\\_ores/copper](http://www.danafloat.com/es/mining_ores/copper)
- Arías Odón, F. (2006). El proyecto e investigación. Mexico: Episteme.
- ArrMaz. (2022). Productos de minería. Obtenido de Productos de minería: <https://arrmaz.com/es/productos/mineria/colectores/>
- Blogspot. (03 de 10 de 2012). Procesamiento de minerales. Obtenido de <http://procesaminerales.blogspot.com/2012/09/flotacion-minerales.html>
- Carrasco, S. (2012). Metodología de investigación Científica. Lima: San Marcos. Segunda Edición.
- Castro, S. (2012). Challenges in Flotation of Cu-Mo sulfide ores in Sea Water, *Procesamiento de minerales*. (1), 40. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/279892278\\_Challenges\\_in\\_flotation\\_of\\_Cu-Mo\\_sulfide\\_ores\\_in\\_sea\\_water](https://www.researchgate.net/publication/279892278_Challenges_in_flotation_of_Cu-Mo_sulfide_ores_in_sea_water)
- Chemical, D. (1998). Manual de Productos Químicos para Minería. Reactivos de Minería, 56.
- Codelco educa. (2018). Qué es el cobre. Ministerio de Minería. Obtenido de [https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/que\\_es\\_cobre.html](https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/que_es_cobre.html)
- Corporation Cyanamid, R. (1988). Manual de Productos Químicos para la Minería. En R. Corporation Cyanamid, Manual de productos químicos para la minería (pág. 86). Edición Revisada.
- De Jesus, S. (13 de 08 de 2019). Significados. Obtenido de Significados: <https://www.significados.com/cobre/>

- Dow, Ch, C. (1998). Fundamentos de la flotación de minerales. En D. C. Co, Fundamentos de la flotación de minerales (pág. 37). Mining Eng.
- Escamilla López, M. (2003). Optimización de mezclas de minerales mediante programación lineal en una mina de mineral de fierro a cielo abierto. Artículo - Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Mexico. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/6482482.pdf>
- Griew, W. (01 de Marzo de 2020). Depositos minerales. Obtenido de Depositos minerales: <https://www.geovirtual2.cl/depos/01veti001.htm>
- Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación. Mexico: Mc Graw Hi Educación.
- Izquierdo Rojas, G., & Rojas Fuentes, V. (2016). Optimización del blending de minerales en el pad de lixiviación de la Mina Lagunas Norte usando parámetros de recuperación y aplicando LINGO (Linear General Optimizer Software). Obtenido de <https://acortar.link/ImSN9E>
- Leyton Robles, T. A., & Sánchez García, S. Y. (2022). Influencia del potencial de hidrógeno (pH) y tiempo de flotación sobre el porcentaje de recuperación de Pb-Ag y Zn mediante flotación diferencial de un mineral de Áncash. [Tesis de pre grado]. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/18644>
- Paz Herrera, A., & Maldonado Vaella, R. E. (2016). Influencia del tiempo de flotación y la dosificación de NaCN sobre la recuperación de cobre mediante flotación bulk en COMIVARIV S.A. [Tesis de pre grado]. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8792>

Petrovskaya N, N., & Bobin, I. (23 de setiembre de 2015). Cinetica de flotación.

Obtenido de Cinetica de flotación: <https://acortar.link/PXLw6v>

sanidad, C. d. (setiembre de 2008). MurciaSalud - Cianuro de sodio. Obtenido de

<https://www.murciasalud.es/recursos/ficheros/137911->

[CIANURO\\_DE\\_SODIO.pdf](https://www.murciasalud.es/recursos/ficheros/137911-CIANURO_DE_SODIO.pdf)

Soto Contreras, D. A. (2017). Evaluación del efecto blending en la recuperación de

minerales de Cu-Mo con alto contenido de arcillas, en la etapa de flotación

rougher, y el efecto de reactivos en pruebas de laboratorio. [Tesis de grado.

Universidad de Concepción, Concepción. Obtenido de

<http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/2912>

Supo, J. (2012). Seminario de investigación científica. Arequipa: Bioestadístico.

Unioviedo, E. (15 de 04 de 2018). La metalurgia del cobre. Obtenido de La

metalurgia del cobre: <https://acortar.link/HWY71Y>

Wikipedia. (11 de 22 de 2019). Flotación. Obtenido de Flotación:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Flotaci%C3%B3n>

Yianatos B, J. (2005). Flotación de minerales. En J. Yianatos B, Flotación de

minerales (pág. 50). UTFSM.

## ANEXO

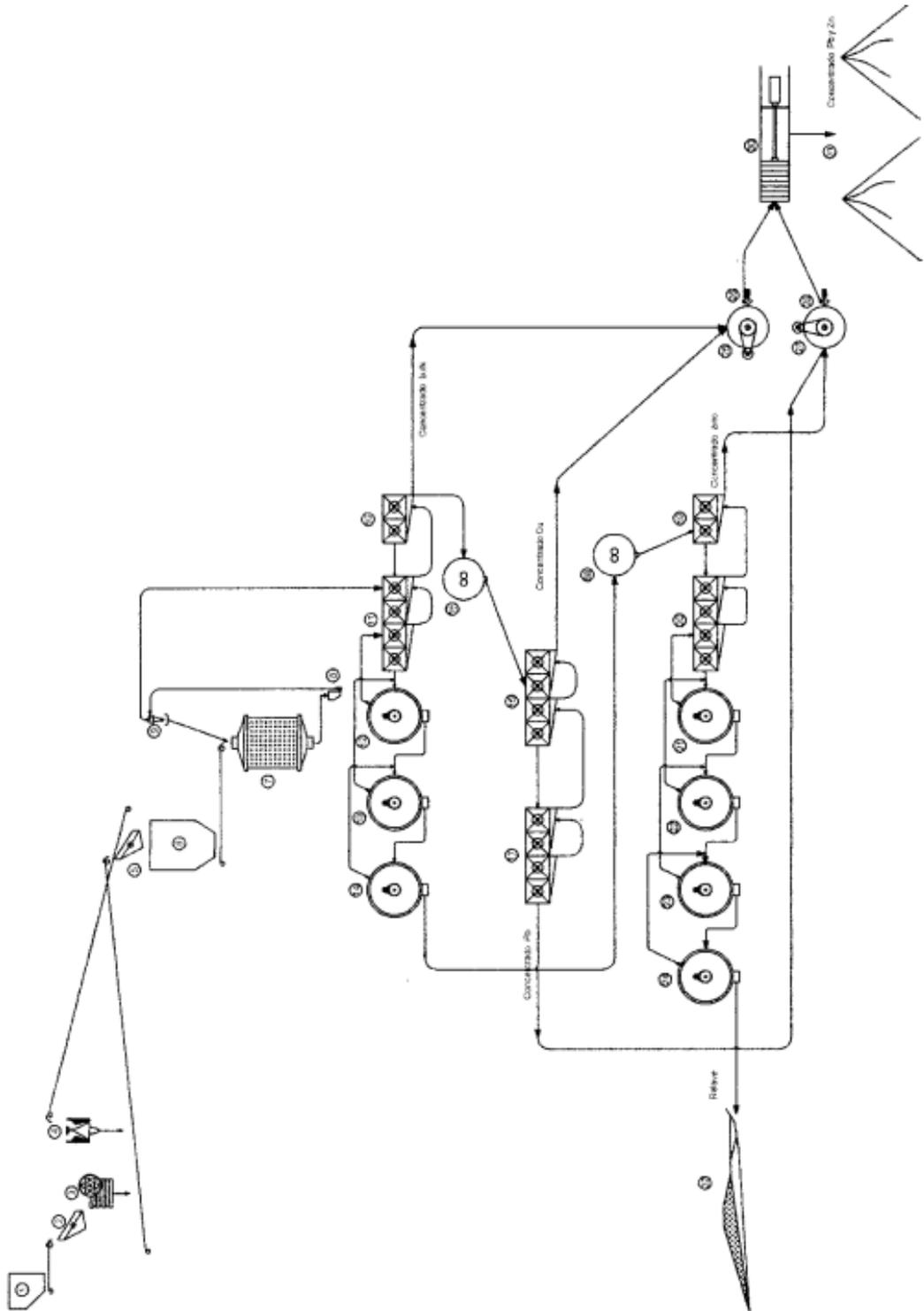
### ANEXO 01: Ubicación de la planta concentradora San Martín



Vista aérea de la planta concentradora San Martín



**ANEXO 02:** Diagrama de flujo de la planta concentradora San Martín



### ANEXO 03: Balances Metalúrgicos

#### Influencia de la dosificación de NaCN

PRUEBA N° 01		LEYES			CONTENIDO FINOS			% RECUPERACIÓN		
PROD.	Peso (kg)	% Cu	% Pb	Ag Oz/Tm	g Cu	g Pb	g Ag	Cu	Pb	Ag
CABEZA	1.000	1.82	0.65	2.09	18.20	6.50	0.06	100.00	100.00	100.00
CONC Cu	0.065	24.70	7.02	17.11	16.14	4.59	0.03	88.62	70.59	53.51
RELAVE	0.935	0.22	0.13	0.19	2.06	1.22	0.01	11.38	18.69	8.50
CABEZA CAL	1.000	1.82	0.58	1.30	18.20	5.80	0.00			

PRUEBA N° 02		LEYES			CONTENIDO FINOS			% RECUPERACIÓN		
PROD.	Peso (kg)	% Cu	% Pb	Ag Oz/Tm	g Cu	g Pb	g Ag	Cu	Pb	Ag
CABEZA	1.000	1.82	0.65	2.09	18.20	6.50	0.06	100.00	100.00	100.00
CONC Cu	0.067	23.30	5.02	14.11	15.59	3.36	0.03	85.36	51.67	45.16
RELAVE	0.933	0.28	0.14	0.25	2.61	1.31	0.01	14.64	20.10	11.16
CABEZA CAL	1.000	1.82	0.47	1.18	18.20	4.66	0.00			

PRUEBA N° 03		LEYES			CONTENIDO FINOS			% RECUPERACIÓN		
PROD.	Peso (kg)	% Cu	% Pb	Ag Oz/Tm	g Cu	g Pb	g Ag	Cu	Pb	Ag
CABEZA	1.000	1.82	0.65	2.09	18.20	6.50	0.06	0.00	0.00	0.00
CONC Cu	0.078	18.40	3.15	11.23	14.33	2.45	0.02	78.43	37.73	41.84
RELAVE	0.922	0.42	0.14	0.25	3.87	1.29	0.01	21.57	19.86	11.03
CABEZA CAL	1.000	1.82	0.37	1.10	18.20	3.74	0.00			

### Influencia del tiempo de flotación

PRUEBA N° 04		LEYES			CONTENIDO FINOS			% RECUPERACIÓN		
PROD.	Peso (kg)	% Cu	% Pb	Ag Oz/Tm	g Cu	g Pb	g Ag	Cu	Pb	Ag
CABEZA	1.000	1.82	0.65	2.09	18.20	6.50	0.06	100.00	100.00	100.00
CONC Cu	0.077	18.40	3.11	10.25	14.14	2.39	0.02	77.45	36.76	37.68
RELAVE	0.923	0.44	0.14	0.25	4.06	1.29	0.01	22.55	19.88	11.04
CABEZA CAL	1.000	1.82	0.37	1.02	18.20	3.68	0.00			

PRUEBA N° 05		LEYES			CONTENIDO FINOS			% RECUPERACIÓN		
PROD.	Peso (kg)	% Cu	% Pb	Ag Oz/Tm	g Cu	g Pb	g Ag	Cu	Pb	Ag
CABEZA	1.000	1.82	0.65	2.09	18.20	6.50	0.06	100.00	100.00	100.00
CONC Cu	0.070	21.54	5.12	13.15	15.13	3.60	0.03	83.78	55.34	44.20
RELAVE	0.930	0.33	0.14	0.25	3.07	1.30	0.01	16.22	20.03	11.12
CABEZA CAL	1.000	1.82	0.49	1.16	18.20	4.90	0.00			

PRUEBA N° 06		LEYES			CONTENIDO FINOS			% RECUPERACIÓN		
PROD.	Peso (kg)	% Cu	% Pb	Ag Oz/Tm	g Cu	g Pb	g Ag	Cu	Pb	Ag
CABEZA	1.000	1.82	0.65	2.09	18.20	6.50	0.06	100.00	100.00	100.00
CONC Cu	0.064	25.19	8.21	19.64	16.05	5.23	0.04	87.89	80.46	59.86
RELAVE	0.936	0.23	0.14	0.25	2.15	1.31	0.01	12.11	20.17	11.20
CABEZA CAL	1.000	1.82	0.65	1.48	18.20	6.54	0.00			

### Efecto de interacción de NaCN Vs Tiempo de flotación

PRUEBA N° 11		LEYES			CONTENIDO FINOS			% RECUPERACIÓN		
PROD.	Peso (kg)	% Cu	% Pb	Ag Oz/Tm	g Cu	g Pb	g Ag	Cu	Pb	Ag
CABEZA	1.000	1.82	0.65	2.09	18.20	6.50	0.06	0.00	0.00	0.00
CONC Cu	0.065	25.01	9.32	20.48	16.14	6.02	0.04	88.97	92.54	63.25
RELAVE	0.935	0.22	0.13	0.22	2.06	1.22	0.01	11.03	18.71	9.85
CABEZA CAL	1.000	1.82	0.72	1.53	18.20	7.23	0.00			

PRUEBA N° 12		LEYES			CONTENIDO FINOS			% RECUPERACIÓN		
PROD.	Peso (kg)	% Cu	% Pb	Ag Oz/Tm	g Cu	g Pb	g Ag	Cu	Pb	Ag
CABEZA	1.000	1.82	0.65	2.09	18.20	6.50	0.06	0.00	0.00	0.00
CONC Cu	0.064	25.54	10.13	20.48	16.23	6.44	0.04	89.01	99.06	62.28
RELAVE	0.936	0.21	0.17	0.21	1.97	1.59	0.01	10.99	24.49	9.41
CABEZA CAL	1.000	1.82	0.80	1.50	18.20	8.03	0.00			

PRUEBA N° 17		LEYES			CONTENIDO FINOS			% RECUPERACIÓN		
PROD.	Peso (kg)	% Cu	% Pb	Ag Oz/Tm	g Cu	g Pb	g Ag	Cu	Pb	Ag
CABEZA	1.000	1.82	0.65	2.09	18.20	6.50	0.06	0.00	0.00	0.00
CONC Cu	0.066	24.56	9.10	19.59	16.14	5.98	0.04	88.58	92.03	61.62
RELAVE	0.934	0.22	0.12	0.21	2.06	1.12	0.01	11.42	17.25	9.39
CABEZA CAL	1.000	1.82	0.71	1.48	18.20	7.10	0.00			

#### ANEXO 04: Fotografías



Fotografía 1. Jeringas para dosificación de reactivos



Fotografía 2. Cianuro de sodio y xantato



Fotografía 3. Flotación de cobre



Fotografía 4. Flotación de cobre en las celdas serranas

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	✓
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	Dosificación NaCN	Tiempo flotación	Recup. Cobre	
1	1	1	1	1	50	14	79.12	
2	2	2	1	1	50	16	84.68	
3	3	3	1	1	50	18	88.97	
4	4	4	1	1	60	14	77.54	
5	5	5	1	1	60	16	82.74	
6	6	6	1	1	60	18	86.58	
7	7	7	1	1	70	14	76.82	
8	8	8	1	1	70	16	81.57	
9	9	9	1	1	70	18	85.21	
10	10	10	1	1	50	14	78.24	
11	11	11	1	1	50	16	84.45	
12	12	12	1	1	50	18	89.01	
13	13	13	1	1	60	14	78.31	
14	14	14	1	1	60	16	81.89	
15	15	15	1	1	60	18	86.91	
16	16	16	1	1	70	14	77.04	
17	17	17	1	1	70	16	82.15	
18	18	18	1	1	70	18	84.93	