

**Universidad Nacional  
“José Faustino Sánchez Carrión”**



**“Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica”**

**Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica**

**LIXIVIACION DE MINERALES OXIDADOS MEDIANTE DISEÑO  
FACTORIAL, PARA LA EXTRACCION DE COBRE A NIVEL  
LABORATORIO**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
METALURGICO**

**Autores:**

Bach. AVILA BERNAL, Marcelo Alex.

Bach. JUAN DE DIOS UGARTE, Xiomara Fabiola.

**Asesor:**

M(o). ABARCA RODRIGUEZ, Joaquín José.

C.I.P. N° 108833

**Huacho - Perú**

**2018**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto va dedicado a mis padres y a mi tía Aida por su apoyo en cada etapa de mi vida por sus consejos brindados y enseñanzas para mi crecimiento profesional.

**Marcelo**

El presente proyecto va dedicado a mis padres por ser mi motivo de superación ya que sin su apoyo no podría estar aquí cumpliendo una de mis metas, a mis hermanos por sus consejos y ánimos en los momentos más difíciles y no dejarme caer.

**Fabiola**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por cada día de vida y la oportunidad de poder lograr mis objetivos, a mis padres por su apoyo incondicional, amor infinito, esfuerzo, dedicación, me siento muy afortunado de tenerlos a mi lado y a mi tía Aida por estar siempre a mi lado guiándome y apoyándome en cada etapa de mi vida, a mi enamorada Fabiola por apoyarme siempre y darme el aliento de seguir adelante y poder superar cada obstáculo. Estoy muy agradecidos con ustedes son parte de mí.

Agradezco al Ingeniero Joaquín José Abarca Rodríguez por su incondicional apoyo, motivación, y consejos adecuados para guiarme en este proyecto realizado.

**Marcelo.**

Quiero empezar agradeciendo a Dios por brindarme la oportunidad de poder concretar cada objetivo realizado, a mis padres y hermanos por ser los principales motores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y apoyarme incondicionalmente en cada momento de mi vida, a mi enamorado Marcelo por compartir cada momento y sentir hoy la satisfacción a nuestro esfuerzo y superar cada obstáculo que se nos presentó en el transcurso de nuestro camino, hoy son ustedes parte de mi vida.

De igual forma al Ingeniero Joaquín Abarca por su apoyo durante todo este tiempo, para poder guiarnos y brindarnos la oportunidad, lo cual ha sido un privilegio contar con su guía y ayuda en el transcurrir de nuestro proyecto.

**Fabiola.**

## **PENSAMIENTO**

“El pesimista ve dificultad en toda oportunidad. El optimista ve oportunidad en toda dificultad”

Winston Churchill

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
PENSAMIENTO.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURA.....	ix
ÍNDICE DE TABLA.....	x
ÍNDICE DE ANEXO.....	xi
GLOSARIO DE ABREVIATURA.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problema Específico.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	2
1.3.1. Objetivos Generales.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4.1. Justificación Práctica.....	3
1.4.2. Justificación Metodológica.....	3
1.4.3. Justificación Técnica.....	3

1.4.4.	Justificación Social.....	4
1.4.5.	Justificación Económica.....	4
1.5.	DELIMITACIÓN.....	4
1.5.1.	Delimitación Territorial.....	4
1.5.2.	Delimitación Tiempo y Espacio.....	5
1.5.3.	Delimitación de Recursos.....	5
1.6.	VIABILIDAD DE ESTUDIO.....	5
CAPÍTULO II.....		6
MARCO TEÓRICO.....		6
2.2.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.2.1.	Investigación Relacionada con el Estudio.....	6
2.2.2.	Otras Publicaciones.....	9
2.3.	BASES TEÓRICAS.....	11
2.3.1.	Molienda.....	11
2.3.2.	Minerales de Cobre.....	11
2.3.3.	Disolución de Cobre desde Minerales de Oxidado.....	13
2.3.4.	Agentes Lixiviantes.....	14
2.3.5.	Característica en la Lixiviación de Minerales de Cobre.....	17
2.4.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	22
2.5.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	24
2.5.1.	Hipótesis General.....	24
2.5.2.	Hipótesis Específicas.....	24
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	25
CAPÍTULO III.....		26
METODOLOGÍA.....		26

3.1.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	26
3.1.1.	Tipo de Investigación. ....	26
3.1.2.	Método de Investigación. ....	26
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	26
3.2.1.	Población. ....	26
3.2.2.	Muestra. ....	27
3.3.	TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	27
3.3.1.	Técnicas a emplear. ....	27
3.3.2.	Descripción de los Instrumentos. ....	28
3.4.	Técnica de procesamiento de la Información. ....	28
CAPÍTULO IV .....		29
RESULTADOS .....		29
4.1.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN. ....	29
4.1.1.	Condiciones de la investigación. ....	29
4.1.2.	Diseño factorial de para las pruebas experimentales.....	29
4.2.	RESULTADOS OPTENIDOS DE LA INVESTIGACIÓN. ....	31
4.3.	RESULTADOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS DE LA INVESTIGACIÓN. ....	32
4.3.1.	Procesamiento de los datos obtenidos del experimento realizado.....	32
4.3.2.	Análisis de las regresiones.....	35
4.3.3.	Análisis de las integraciones y efectos. ....	37
CAPITULO V .....		40
DISCUSIÓN CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN .....		40
5.1.	DISCUSIÓN. ....	40
5.2.	CONCLUSIONES. ....	43

5.3. RECOMENDACIONES..... 45

BIBLIOGRAFÍA..... 46

ANEXOS..... 50



## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Diagramas de E-pH para os sistemas Cu-S-H <sub>2</sub> O a 25°C.....	17
Figura 2 Características en la lixiviación de minerales de cobre Muñoz (2010, p. 18) .....	18
Figura 3 Factores que influyen en la lixiviación del cobre.....	18
Figura 4. Diagrama de Pareto de efecto estandarizados .....	34
Figura 5.Efecto en la recuperación .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 6. Interacción de las componentes en la extracción de cobre;	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 7. Gráfico de cubos de la recuperación de cobre .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Principales minerales comerciales de cobre citado en Ortiz (2012, pp. 16-17) ....	12
Tabla 2. Variables.....	25
Tabla 3. Datos naturales y codificadas para las pruebas experimentales .....	30
Tabla 4. Diseño para el experimento realizado .....	30
Tabla 5.Resultado obtenido de las pruebas experimentales .....	31
Tabla 6.Análisis de Varianza.....	32
Tabla 7. Efectos mediante el Coeficiente codificado .....	33
Tabla 8.Descodificación de ecuación de la extracción de cobre .....	34
Tabla 9. Evaluación de la significancia para la extracción de cobre.....	35
Tabla 10. Variables significativas .....	36
Tabla 11. Efectos de las variables significativas .....	36
Tabla 12. Recuperación de cobre proyectada.....	39
Tabla 13. Matriz de consistencia general .....	51
Tabla 14. Matriz de consistencia específico.....	52

## ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. Localización de la unjpsc .....	53
Anexo 2. Localización del CIyDTM .....	53
Anexo 3. Mapa Provincia de Huaura.....	53
Anexo 4. Mapa Departamento Lima .....	53
Anexo 5. Mapa del Perú .....	53
<i>Anexo 6. Molienda de minerales en el tiempo</i> .....	54
Anexo 7. Liberación de mineral pasante -200m.....	54
Anexo 8. Moliendabilidad .....	55
Anexo 9. Densidad del mineral .....	55
Anexo 10. Condiciones de trabajo.....	55
Anexo 11. Consumo de reactivos en las pruebas .....	55
Anexo 12. Análisis de la mineral y solución de las pruebas experimentales .....	56
Anexo 13. Diseño factorial de $2^3$ .....	56
Anexo 14. Análisis de varianza de Significancia .....	57
Anexo 15. Decodificación de la ecuación .....	57
Anexo 16. Proyección de la recuperación .....	58

## GLOSARIO DE ABREVIATURA

#	:	Numero
%	:	Porcentaje
%S	:	Porcentaje de solido
&	:	y
µm	:	Micras
Cu	:	Cobre
CuSO <sub>4</sub>	:	Sulfato de cobre
g	:	Gramos
g/L	:	Gramos por litros
kg	:	Kilogramos
kg/t	:	Kilogramo por tonelada métrica.
M	:	Molaridad
m <sup>3</sup> /t	:	Metro cúbico por tonelada métrica
mm	:	Milímetro
mol/L	:	Moles por litro
mV	:	Milivoltios
pH	:	Potencial de hidrogeno
S.A.	:	Sociedad Anónima.
S/L	:	Solido líquido
TM	:	Tonelada métrica.
D	:	Dilución
F(x)	:	Pasante
G(x)	:	Retenido

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación, es evaluar la lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial, para extracción de cobre a nivel laboratorio. La metodología empleada en la investigación con respecto al tipo de investigación de experimental básica, básica, por su enfoque de investigación por su característica causa efecto, por su proceso probatorio y por sus bondades generador de resultados.

Para ello se tiene minerales oxidados de cobre, pasante el 80% a -200m, con una ley de cabeza de 2.025% cobre soluble a un pH de 0.5, tratada con peróxido de hidrogeno 15 g/L y 18 g/L, cloruro de sodio de 35 g/L y 50 g/L, con un tiempo de 3 horas y 5 horas, con una medida central de 16.5 g/L, 43 g/L y 4 horas respectivamente, en la parte experimental el mejor resultado, se obtuvo 14.11 g/L con una recuperación de 90.56%, con 18 g/L de cobre, cuando se utiliza el peróxido de hidrogeno, 50 g/L para el cloruro de sodio a 5 horas, que representa la octava prueba en el diseño factorial.

En el análisis de varianza tiene un efecto positivo, es el cloruro de sodio, en la extracción, en la interacción de  $H_2O_2/NaCl$  y  $NaCl$  y tiempo, y la interacción de  $H_2O_2/NaCl$ /tiempo, con una confiabilidad del 95%, con una variación estándar de 2.16493 y coeficiente de correlacional cuadrática de 98.89%.

Una recuperación de acuerdo la ecuación predicha con los componentes de significancia se puede obtener una recuperación de 87.17%. Cumpliendo con ello los metas planteados en la presente investigación.

**Palabra Clave:** Lixiviación de minerales de oxidados de cobre, Optimización de lixiviación de cobre, Agitación en medio ácido para la extracción de cobre.

## ABSTRACT

The objective of this research work is to evaluate the leaching of oxidized minerals through factorial design, for copper extraction at the laboratory level. The methodology used in the research with respect to the type of basic experimentation research, basic, for its research approach for its characteristic cause effect, for its probative process and for its benefits generating results.

For this, there are oxidized copper ores, 80% through -200m, with a head grade of 2,025% soluble copper at a pH of 0.5, treated with hydrogen peroxide 15 g / L and 18 g / L, chloride 35 g / L and 50 g / L sodium, with a time of 3 hours and 5 hours, with a central measurement of 16.5 g / L, 43 g / L and 4 hours respectively, in the experimental part the best result, obtained 14.11 g / L with a recovery of 90.56%, with 18 g / L of copper, when using hydrogen peroxide, 50 g / L for sodium chloride at 5 hours, which represents the eighth test in the factorial design .

In the analysis of variance, it has a positive effect, it is the sodium chloride, in the extraction, in the interaction of  $H_2O_2$  / NaCl and NaCl and time, and the interaction of  $H_2O_2$  / NaCl / time, with a reliability of 95%, with a standard variation of 2,1493 and a quadratic correlation coefficient of 98.89%.

A recovery according to the predicted equation with the components of significance can obtain a recovery of 87.17%. Fulfilling the objectives set forth in this investigation.

**Keyword:** Leaching of oxidized copper ores, Optimization of copper leaching, Agitation in acid medium for copper extraction

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene la finalidad de la producción de cobre metálico, haciendo una descripción del proceso de variación de la tecnología y el precio del cobre, “aplicación de tecnología para extracción, refinación de cobre, garantizando producción con grado comercial. La crisis en minería en América del sur, durante los 80, fue por caída de minerales de exportación, factor determinante para cierre de muchas minas” Cortez (2012).

La minería en el mundo, en América del Sur y específicamente en el Perú, muestra una nueva perspectiva, respecto al incremento del precio de los metales en el mercado internacional, ya que los países emergentes y países industrializados como China tiene una demanda. Haciéndose importante la minería, para la economía del Perú por ser una actividad generadora de puestos de trabajo, a pesar de ser una actividad de alto riesgo y quedando a factores que internos y externos.

Por eso es necesario darle valor agregado a nuestra materia prima que se encuentra disperso en la corteza terrestre, por lo que se deben de extraer los metales de las menas con la finalidad de conseguir un metal puro y darle valor agregado.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

En la región norte existen minerales oxidados como sulfuros y estos recursos deben ser aprovechado en beneficio de los habitantes, por lo que necesario que el Perú debe de darle un valor agregado, por otra parte, estos minerales en el tiempo han pasa las reservas de alto valor a agotarse, quedando minerales sulfurados y óxidos diseminados y de baja ley por lo que se debe indagar procesos que permitan su extracción para su aprovechamiento de estos recursos.

Los recursos que contiene metales como las menas oxidadas se pueden tratar con soluciones extraentes como sales, ácidos y bases, las menas de cobre oxidados necesitan su tratamiento por vía hidrometalúrgico, mediante la lixiviación con un mínimo daño al ecosistema, obtener como producto de cobre metálico de alto valor.

Por lo expresado precedentemente se enmarca al planteamiento del problema con el fin de buscar una solución.



## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

### **1.2.1. Problema General.**

¿En qué medida nos permitirá identificar las variables que actúan en forma positiva en la lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial en la extracción de cobre a nivel laboratorio?

### **1.2.2. Problema Específico.**

- ¿El empleo de  $H_2O_2$ , NaCl, y el tiempo en la lixiviación de menas oxidados, tendrá una influencia positiva en la extracción de cobre?
- ¿En qué medida las interacciones de  $H_2O_2$ , NaCl, y el tiempo en la lixiviación de menas oxidados, tendrá una influencia en la extracción de cobre de los minerales existentes?
- ¿En qué medida el empleo de  $H_2O_2$ , ClNa, y el tiempo en la lixiviación de menas oxidados, nos permitirá una recuperación eficiente del cobre?

## **1.3. OBJETIVOS.**

### **1.3.1. Objetivos Generales.**

Evaluar la lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial, para extracción de cobre a nivel laboratorio.

### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Evaluar en qué medida el uso de peróxido de hidrogeno, cloruro de sodio, y el tiempo en la lixiviación de menas oxidados, tendrá una influencia positiva en la extracción de cobre.

- Evaluar en qué medida las interacciones de  $H_2O_2$ ,  $ClNa$ , y el tiempo en la lixiviación de menas oxidados, tendrá una influencia en la extracción de cobre de los minerales existentes.
- Evaluar en qué medida el empleo de  $H_2O_2$ ,  $ClNa$ , y el tiempo en la lixiviación de menas oxidados, nos permitirá una recuperación eficiente del cobre.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN.**

### **1.4.1. Justificación Práctica.**

Desde el punto vista práctico el proceso de lixiviación es factible ya que los minerales oxidados son previsible su extracción y mediante diseño factorial nos permitirá ver las variables que interviene en la extracción de cobre, y de esa manera nos permitirá predecir la recuperación de cobre a un costo económicamente rentables.

### **1.4.2. Justificación Metodológica.**

Metodológicamente una vez validado los instrumentos y demostrado su confiabilidad la investigación, se podrá emplear en los posteriores trabajos experimentales como apoyo en un futuro presente.

### **1.4.3. Justificación Técnica**

El proceso de lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial, para la extracción de cobre, técnicamente es extraíble con una recuperación óptima, ya que los minerales oxidados de cobre son solubles ante los agentes extractores acidas.

#### **1.4.4. Justificación Social.**

En el ámbito de las poblaciones aledaños en un futuro con una extracción de los minerales y su recuperación elevará su ingreso y dinamizará el comercio, porque permitirá que las actividades tanto del comercio como la agricultura y la mano de obra se dinamizara dando trabajo a la zona de influencia en el centro poblado Rosario distrito de Barranca en un futuro.

#### **1.4.5. Justificación Económica.**

Con las actividades que se generan en la lixiviación de minerales y su extracción de cobre permitirá generar ingreso por los impuestos a la concesión, instalación, derecho de operación y su comercialización al gobierno central, a los gobiernos regionales y locales el canon y sobre canon y por otros conceptos, mientras que a los pobladores se generará trabajo y por ende los ingresos económicos de los futuros trabajadores de la zona de influencia.

### **1.5. DELIMITACIÓN.**

#### **1.5.1. Delimitación Territorial.**

País	:	Perú
Provincia	:	Huaura
Distrito	:	Huacho
Ciudad	:	Ciudad universitaria – FIQyM - CIyDTM

### **1.5.2. Delimitación Tiempo y Espacio.**

La averiguación respecto a la extracción de cobre se realizó en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales, desde mayo hasta setiembre del 2018.

### **1.5.3. Delimitación de Recursos.**

Todo trabajo requiere el financiamiento para realizar el trabajo de investigación en este aspecto se adoleció, por lo que se buscó el aporte de terceras personas como colaboradores externos, a quienes se les agradecen.

## **1.6. VIABILIDAD DE ESTUDIO.**

En la ejecución de la lixiviación de minerales para la extracción de cobre se contó con información bibliográfica, como procedimientos, y el apoyo de personas que tiene experiencia en le área. Asimismo, se tuvo el apoyo del jefe del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales y parte del decano de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, para llevar a cabo el oportuno la parte experimental de la investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.**

##### **2.2.1. Investigación Relacionada con el Estudio.**

###### **2.2.1.1. Tesis Internacionales.**

Respecto a las tesis internacionales en el trabajo realizado, para darle fundamento se investigó y se tomó algunos autores que se relacionan a la investigación realizado, y se describe a continuación.

En el trabajo de investigación respecto al consumo del ácido sulfúrico y la cinética de disolución de minerales de cobre. Guiachetti (2011) concluye:

Se obtuvo que la velocidad de consumo de ácido, disolución de cobre y disolución de fierro aumentado a medida que la concentración de ácido crecía, del rango de 2 – 20. Este mecanismo impide que en este caso y puede controlar el consumo de ácido durante la lixiviación de este mineral sin afectar la disolución de cobre. (p. 77).

El consumo de los agentes lixiviantes esta directamente asociado a la disolución de los componentes, en este caso del hierro y cobre al estar asociado a los minerales.

Respecto a la lixiviación de minerales de malaquita mediante un diseño experimental. Perez (2013) concluye:

La malaquita se disolvió fácilmente por ácido sulfúrico dando altas recuperaciones de cobre, otros minerales, tales como de fierro, fueron ligeramente afectados en medio acido. La concentración de ácido de menos de 1.25 mol/ L fue insuficiente para completar la disolución, para mayores

concentraciones en cobre hay una relación directa entre la concentración de ácido y la disolución de malaquita. (pp. 78-79).

La extracción de minerales oxidados en este caso de la malaquita su cinética de extracción es más rápido en comparación de los sulfuros, por tener la energía libre de Gibbs para este mineral es negativo.

Para la optimización en la lixiviación de minerales sulfuros cupríferos en la extracción secuencial. Medina (2015) concluye:

La lixiviación en medio ácido utilizando  $H_2O_2$  a concentraciones de 0,1 – 0,5M disuelve siempre mayores cantidades de calcosinas comparado con calcopirita y pirita de acuerdo a la cuantificación de metales solubilizados. En menos de 10 minutos es capaz de disolver la totalidad de calcosina, minimizando la solubilidad de sulfuros primarios bajo condiciones estudiadas. Sin embargo, la disolución de calcosina está sujeta a la disponibilidad de cianuro libre en solución respecto a la cantidad de mineral a disolver. (pp. 104-106).

Para la extracción de los minerales sulfurado, es necesario la oxidación o utilizar agentes oxidantes en un medio ácido en este caso el peróxido de hidrógeno, mientras que el cianuro es un reactivo cianídico que permite consumir el azufre por lo que deja libre el cobre oxidado y ser disuelto.

### 2.2.1.2. Tesis Nacionales.

Sobre investigaciones relacionado al trabajo, se obtuvieron las siguientes tesis nacionales, que tiene similitud, para darle fundamento a los antecedentes, se detallan a continuación.

Respecto a la lixiviación por agitación y la influencia de agentes lixiviantes y la concentración de la crisocola. Cordova & Campos (2016) concluyeron:

La concentración de agente lixivante tiene un efecto significativo en la extracción de cobre, (...) la extracción de cobre incrementa el aumento de la concentración de agente lixivante. (...) la mayor extracción de cobre se obtiene cuando la concentración de dicho agente es 20 g/L, obteniéndose una extracción de 85.73% con ácido sulfúrico y 79.18% con ácido cítrico. En cuanto al tipo de agente lixivante se puede decir que es meno significativo que en el caso de la concentración del agente lixivante. (p. 28).

La diferencia de los ácidos, una es mas estable que la otra a condiciones ambientes, la primera es liquida y el segundo es gas diluido en el agua, por lo que se pierde sino se control la dilución a pesar que es altamente corrosivo.

En la lixiviación de minerales oxidados de tipo crisocola donde el pH y la concentración, tiene influencia en la disolución en por agitación. Lingan & Lucano (2014) concluyeron:

El pH influye en la extracción de cobre usando ácido cítrico siendo el óptimo pH igual a 3, (.....) y la concentración del ácido cítrico (...) optima 0.4 M. A una granulometría de 95% #10, con 33 % solidos, agitación mecánica durante 3 horas, pH = 3 y concentración de ácido cítrico 4 molar se obtiene el mayor porcentaje de extracción de Cu (90.69 %). Es factible la extracción de cobre de minerales oxidados como la crisocola, utilizando ácido cítrico

como disolvente, se obtiene altos porcentajes de extracción similares a cuando se utiliza ácidos inorgánicos en la lixiviación. Según el análisis estadístico con nivel de confianza de 95%, el análisis de varianza ratifica que las dos variables de estudio influyen significativamente y que sus interacciones influyen, pero en menor proporción en el proceso de extracción. (p. 73).

El pH está íntimamente ligado a la concentración del ácido, por lo que si la molaridad del ácido sube entonces el pH debe subir su acidez y su fuerza de disolución.

La extracción de cobre a partir de minerales mixtos de cobre con agentes clorurantes, en medios ácidos. Chambi (2017) concluye:

Se demostró en la cementación que el pH es importante en la cinética de cementación, pero es más beneficioso que la cementación de cobre convencional debido a el rango de trabajo con cloruros y para la formación de nuestro cloruro férrico. (...), este proceso representa una opción técnica viable para poder procesar minerales de óxidos almacenados que su recuperación es de 81,4%. (p. 78).

Los agentes oxidantes tienen la misión de romper la estructura de los sulfuros oxidando primero, por lo que es necesario adicionar en la peletización de los minerales para que cumpla su función.

### **2.2.2. Otras Publicaciones.**

Por otra parte, se tienen fuentes de artículos que tienen relación al trabajo de investigación, se considera que dará un mayor aporte a la investigación, y se detalla a continuación.

El uso del peróxido de hidrógeno en medio ácido para evaluación de la lixiviación de concentrado de cobre. Vargas, Bustamante, & Navarro (2017) concluyen:



La recuperación de cobre aumenta considerablemente al aumentar la concentración de peróxido de hidrogeno que actúa como agente oxidante, la recuperación de cobre luego de 5 horas de lixiviación alcanza un 39% a 2,8M.(...) La recuperación de cobre aumenta al disminuir el tamaño de partícula. (...) al disminuir la razón S/L, alcanzando un máximo de un 38% con una razón de 1/50. (p. 48)

la extracción del cobre a partir de sulfuros incrementa, cuando existe un agente oxidante, por otra parte, al reducir de tamaño y al aumentar la dilución para tener contacto con el agente lixivante.

en el pretratamiento con cloruro de sodio y acido sulfúrico a la calcopirita. Ipinza, Ibáñez, Flaquer, & Engdahl (2017) Concluyen:

El pretratamiento de calcopirita y el reposo, resultan fundamentales para la disolución (.....). El ion sodio promueve la formación de compuestos del tipo sulfato de sodio, a temperaturas sobre 50 °C, evitando la formación de azufre elemental, considerando como una verdadera barrera cinética. Los polisulfuros de cobre y otros observados en los productos de reacción después del pre-tratamiento, no muestran la presencia de cloruro, lo que indicaría que esta fase su participación en el mecanismo es como HCl gaseoso, condición altamente favorable para la difusión del protón. (p. 62)

El pretratamiento es esencial para disolución de los minerales presentes en este caso calcopirita, permitiendo que el cloro a partir de cloruro se disocia y ataca a los sulfuros permitiendo, su oxidación y su posterior disolución del cobre.

## **2.3. BASES TEÓRICAS.**

### **2.3.1. Molienda.**

Molienda es un proceso de reducción de las partículas, desde dimensiones tan grandes a diminutas partículas que pueden llegar a unas pocas micras, esto depende del proceso a seguir, esto lo realizan en circuito de molienda cerrado o abierto y lo realizan en molinos.

La molienda es un proceso difícil de controlar debido al alto grado de interacción entre las variables del proceso y sus características dinámicas complejas: la existencia de grandes retardos, parámetros variables con el tiempo, no linealidades y severas interacciones entre los lazos de control, los cuales pueden causar efectos indeseables en el desempeño del proceso. (Chica, Ospina, & Bustamante, 2009, p. 44)

Las variables que intervienen en la extracción esta vinculado en el tipo de minerales y su composición mineralógica.

Respecto al consumo de energía en el procesamiento de minerales. Es necesario su control y su “propósito de la molienda es ejercer control del tamaño del producto, la molienda correcta es la clave de una buena recuperación de especie útil. Es importante que la molienda es la operación más intensiva en energía del procesamiento” (Chica, Ospina, & Bustamante, 2009, p. 44). La liberación del mineral en la molienda se debe a un control adecuado, esto esta en función a su recuperación.

### **2.3.2. Minerales de Cobre.**

El cobre al mezclarse con el azufre oxígeno y otros elementos formar una gran variedad de minerales. Estos minerales, “se han identificado más de 150 especies que contienen cobre, pero sólo un pequeño número de estos minerales son importantes, siendo la calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) el más importante económica” (Mark, Schlesinger, King, Sole, &

Davenport, 2011, p. 45). Para la lixiviación se tiene los óxidos malaquita, crisocola, cuprita y como sulfuro la calcopirita por ser los minerales ampliamente fáciles de ser recuperables.

En la tabla 1 se presentan las menas de cobre más importantes de interés económico.

*Tabla 1*

*Principales minerales comerciales de cobre.*

Mineralógica	Composición	% Cu
Cobre nativo	Cu °	100
Malaquita	CuCO <sub>3</sub> Cu(OH) <sub>2</sub> o Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>	57,5
Azurita	2CuCO <sub>3</sub> Cu(OH) <sub>2</sub> o Cu <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	55,3
Chalcantita	CuSO <sub>4</sub> 5 H <sub>2</sub> O	25,5
Brochantita	CuSO <sub>4</sub> 3Cu(OH) <sub>2</sub> o Cu <sub>4</sub> SO <sub>4</sub> (OH) <sub>6</sub>	56,2
Antlerita	CuSO <sub>4</sub> 2Cu(OH) <sub>2</sub> o Cu <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> (OH) <sub>4</sub>	53,7
Atacamita	CuO .CuCl <sub>2</sub> . 3H <sub>2</sub> O o Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub>	59,5
Crisocola	CuO .SiO <sub>2</sub> . H <sub>2</sub> O o CuOSiO <sub>3</sub> . H <sub>2</sub> O	36,2
Diaptasa	CuO .SiO <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	40,3
Neotocita	(Cu <sub>i</sub> – Fe <sub>j</sub> – Mn <sub>k</sub> )SiO <sub>3</sub>	Variable
Cuprita	Cu <sub>2</sub> O	88,8
Tenorita	CuO	79,9
Pitch/Limonita	(Fe-Cu <sub>j</sub> )O <sub>2</sub>	Variable
Delafosita	FeCuO <sub>2</sub>	42,0
Copper wad	CuMnO <sub>2</sub> Fe	Variable
Copper Pitch	CuMn <sub>8</sub> FeSiO <sub>2</sub>	Variable
Calcosina	Cu <sub>2</sub> S	79,9
Digenita	Cu <sub>9</sub> S <sub>5</sub>	78,1
Djurleita	Cu <sub>1,98x</sub> S	Variable
Covelina	CuS	66,5
Cobre nativo	Cu°	100
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	34,6
Bornita	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	63,3
Enargita	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>	48,5
Tenantita	Cu <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	51,6
Tetraedrita	Cu <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	45,8

Nota: Fuente (Ortiz,2012, pp. 16-17).

Estos se presentan comúnmente en la corteza terrestre como menas de sulfuros y sulfuros complejos, menas oxidadas y en asociaciones con otros sulfuros metálicos, que constituyen los llamados sulfuros complejos, masivos o polimetálicos.

### 2.3.3. Disolución de Cobre desde Minerales de Oxidado.

Los minerales para su disolución deben cumplir ciertas condiciones una es desde el punto de vista fisicoquímico para su disolución la energía libre de Gibbs debe ser mejor que uno esto lo cumplen los minerales oxidados.

Los minerales de cobre oxidados se lixivian rápidamente en ácido cuando son comparados con otros minerales de cobre, mientras que los sulfuros secundarios requieren de oxidación y se lixivian lentamente. No obstante, los sulfuros secundarios de cobre se oxidan y disuelven más rápidamente que la calcopirita, razón por la cual son a veces llamados sulfuros lixiviables.(Llorente, 1991, pág. 76)

Desde el punto vista química se puede ver la disolución ocurre cuando ocurre la oxidación y reducción por la transferencia de los electrones.

La química que involucra la disolución de los minerales de cobre es esencialmente una simple descomposición en el caso de los minerales oxidados, y una reacción de óxido-reducción para el caso de los minerales sulfurados, en donde los productos de las reacciones son solubles en agua. Lo mismo sucede en los variados óxidos, silicatos, carbonatos y sulfatos en la ganga que se someten en reacciones similares para formar sales solubles.  
(Gupta & Mukherjeem 2000,p.59)

Se tiene criterios de la selección de los minerales, para los minerales de óxidos es una disolución simple a ciertos disolventes químicos y los minerales complejos, primero se debe romper la estructura de estos minerales, posteriormente ser disueltos con los reactivos específicos.

### 2.3.4. Agentes Lixiviantes.

Son sustancias químicas orgánicas e inorgánicas que permite extraer en un medio acuoso a los elementos de interés. Para elegir, “la selección del agente químico extractante depende de su disponibilidad, costo, estabilidad química, selectividad, facilidad de producir y regenerar, que permite la recuperación del cobre de la solución acuosa en forma económica” (Gupta & Mukherjee, 2000, p. 39). La selección de los reactivos, esta en función de la mineralogía del mineral.

Los agentes lixiviación del cobre se clasifican. Ruiz (2013) en:

A. Ácidos inorgánicos. Ruiz

(2013, p. 6):

- Ácido sulfúrico
- Ácido clorhídrico
- Ácido nítrico

B. Bases. Ruiz (2013, pág.

6):

- Hidróxido de amonio.

C. Agentes oxidantes. Ruiz

(2013, pág. 6):

- Amoniac.
- Sales de amonio
- Cianuros
- Carbonatos
- Cloruros

D. Agentes a complejantes.

Ruiz (2013, pág. 6):

- Amoniac.
- Sales de amonio.
- Cianuros.
- Carbonatos.
- Cloruros.

De todos los reactivos usados en la disolución del cobre a partir de los minerales es el ácido sulfúrico es el más usado, ya que es el subproducto de la tostación de los minerales sulfurados que se produce como  $\text{SO}_2$ , luego esto es transformado en ácido sulfúrico a un costo relativamente barato.

### 2.3.4.1. Lixiviación de Minerales Oxidados de cobre en Medio Ácido.

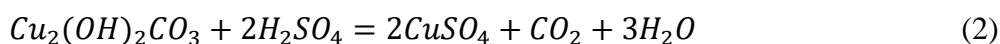
En el proceso de disolución de cobre de los minerales se tiene dos etapas: la extracción de los minerales es decir la lixiviación, por el cual se diluye selectivamente los metálicos, luego la separación sólido líquido y su recuperación de los metales de interés de la solución. Schlesinger, King, Sole, & Davenport (2011) definen: “los minerales más importantes que contienen óxido de cobre es la azurita  $[Cu_3(OH)_2(CO_3)_2]$ , malaquita  $[Cu_2(OH)_2CO_3]$ , tenorita  $[CuO]$ , cuprita  $[Cu_2O]$ , crisocola  $[CuSiO_3 \cdot 2H_2O]$   $[Cu_4(OH)_6SO_4]$ . La mayoría de estos se disuelven fácilmente en ácido sulfúrico diluido” (p. 283).

En el proceso de reacciones de las menas en la disolución con ácido sulfúrico y hierro trivalente, son las siguientes como se puede apreciar. Schlesinger, King, Sole, & Davenport (2011,p . 283):

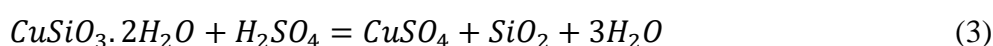
Azurita



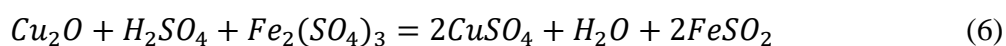
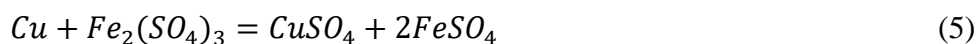
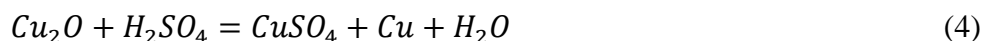
Malaquita



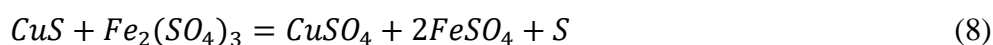
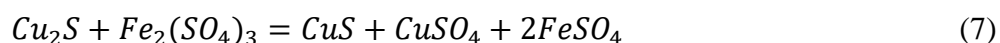
Crisocola

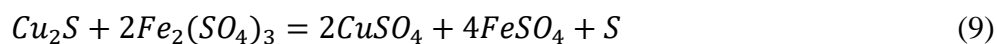


Cuprita



Calcocita





La disolución del cobre es mas factible a partir de minerales oxidados. Schlesinger, King, Sole, & Davenport (2011) describen: “los minerales de óxido de cobre se disuelven fácilmente en ácido y algunos sulfuros, como Calcocita y Covellita, se disuelven en condiciones atmosféricas” (p.283).

En función a ellos se puede detallar que las menas como, la crisocola, la tenorita, la azurita, la malaquita, son solubles a medio ambiente con una acides menos 2,5 en un periodo corto a comparación de percolación ordinaria de lixiviación.

#### **2.3.4.2. Diagrama de Pourbaix.**

El diagrama Pour baix, representación gráficamente diferentes zonas de estabilidad mediante condiciones termodinámicas para los componentes del cobre. Para los minerales de cobre, “la zonas de estabilidad de los sulfuros simples de cobre: calcocina,  $\text{Cu}_2\text{S}$  y covelina,  $\text{CuS}$ , y además varios minerales oxidados: cuprita,  $\text{Cu}_2\text{O}$ ; tenorita,  $\text{CuO}$ ; antlerita,  $\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$ ; brochantita,  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ ” (Ruiz, 2013, p. 33). Las zonas de las condiciones del comportamiento de los composiciones del cobre se puede apreciar en la figura 1.

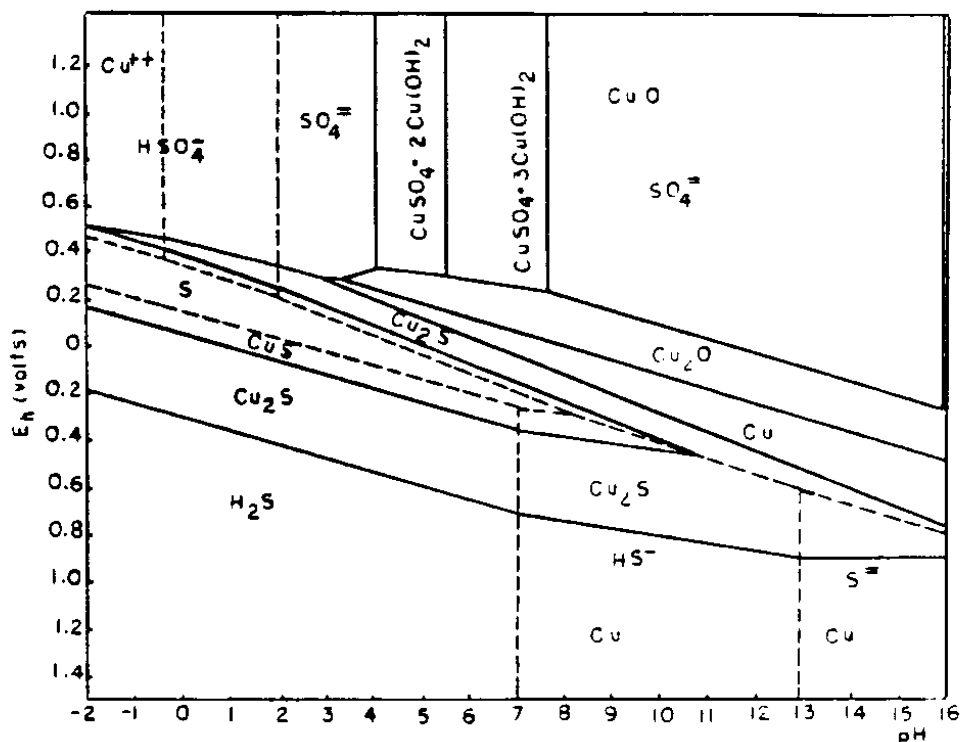


Figura 1 Diagramas de E-pH para os sistemas Cu-S-H<sub>2</sub>O a 25°C.

Nota: Fuente Ruiz (2013, p.33).

### 2.3.5. Característica en la Lixiviación de Minerales de Cobre.

En método de lixiviación, en la extracción de elementos metálicos, juegan un conjunto de características en función al tipo de minerales presente, por lo que, “los sulfatos básicos de cobre, cloruros y carbonatos presentan alta velocidad de disolución comparada con crisocola y cuprita, al lixiviarlas con ácido. Considerando los óxidos en la roca matriz de mena, para la cinética por las siguientes características” (Muñoz, 2010, p.18). Estas características se describen en la figura 2.



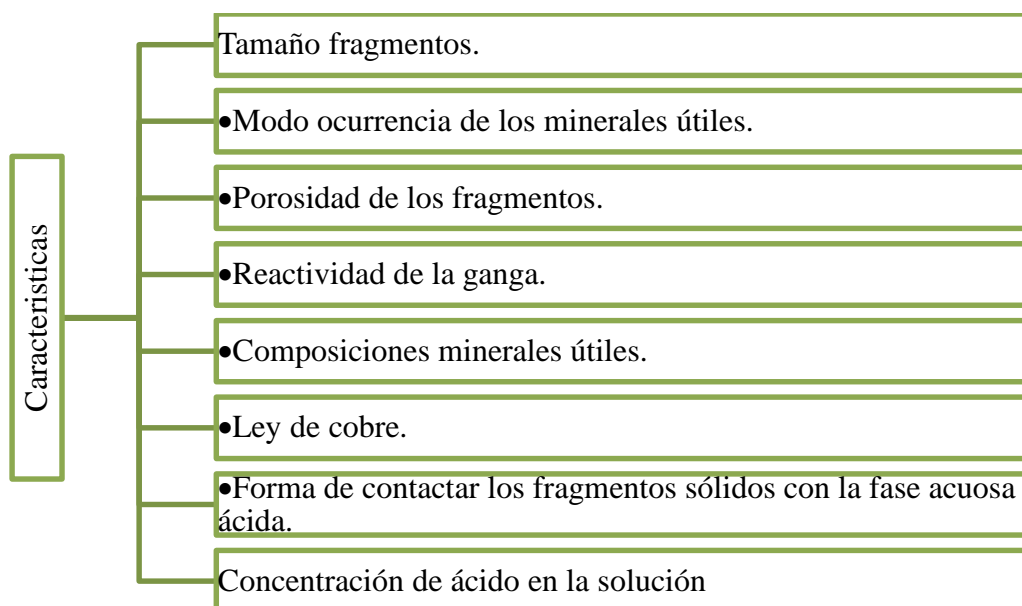


Figura 2 Características que interviene en la lixiviación de minerales de cobre está diseñado en función de la información recopilado (Muñoz, 2010, p.18).

### 2.3.5.1. Factores que Influyen en la Lixiviación de Minerales de Cobre.

Los factores que influyen en el proceso de lixiviación de los minerales son múltiples. Para el caso del cobre “la lixiviación (...) depende de diversos factores que también son comunes en otros metales” (Llorente, 1991, pp. 93-96). Por otra parte, el pH y la especie mineralógica influyen en la extracción del cobre (Esteban & Domic, 2001, pp. 134-149). Estos y otras variables influyen en la extracción del cobre a partir de los minerales de cobre.

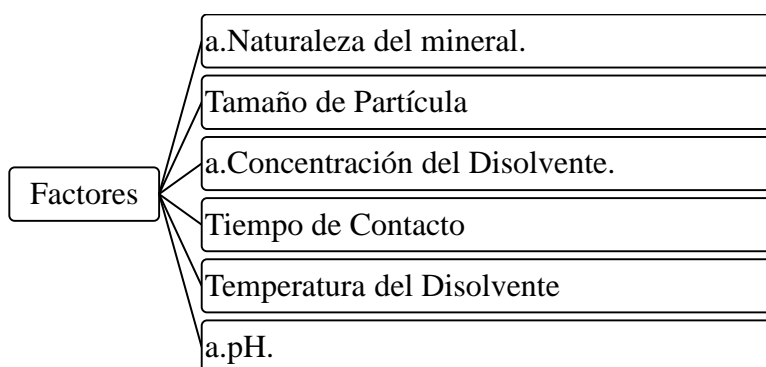


Figura 3 Variables que intervienen en la lixiviación del cobre

#### a. Naturaleza del mineral.

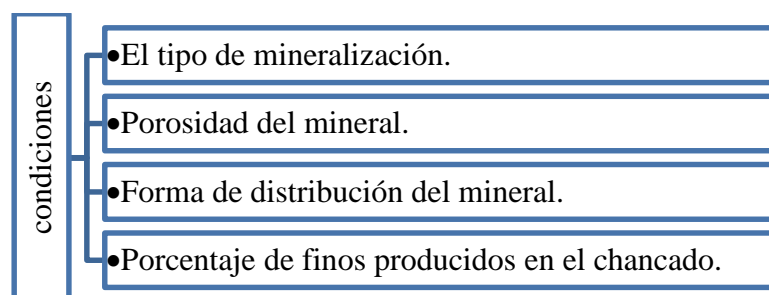
El mineral en la naturaleza se clasifica por su mineralogía y esto a su vez para “la lixiviación depende de las propiedades físicas y químicas del mineral, la naturaleza de la

ganga si es muy calcárea, el consumo de ácido se hace antieconómico, o si es muy silicosa no ataca el disolvente” (Esteban & Domic, 2001, pp. 140-149). Por lo que es necesario realizar un estudio mineralógico para tener en consideración las variables antes de la lixiviación.

### b. Tamaño de Partícula.

En cuanto a su granulometría es un factor importante en el proceso de lixiviación de los minerales. La liberación tiene como “objeto de reducir el mineral antes de la lixiviación, es facilitar el contacto del disolvente con el mineral, así como la separación posterior del solvente en un tiempo razonable” (Llorente, 1991, p. 93). La reducción del mineral es un factor importante, que permite ser liberado de otros minerales que lo encapsulan.

La granulometría del mineral está en función de ciertas condiciones o finalidades y estos están en relación de:



*Figura 4 Condiciones para la liberación de los minerales. Fuente (Llorente, 1991)*

En la extracción de los elementos que son más difícil de extraer de los minerales complejos tiene ciertas dificultades por lo que, “los minerales densos se lixivian más lentamente que los porosos y los minerales de grano fino por lo general se lixivian mejor que aquellos que tienen grano grueso. Si el mineral es poroso no necesita ser de grano fino” (Llorente, 1991). La lixiviación de los minerales, depende de las condiciones de los minerales, si son complejo se debe liberar y si son porosas no es necesario.

### c. Concentración del Disolvente.

En la lixiviación de los minerales de cobre comúnmente se usa ácidos como agentes lixiviantes. El ácido de mayor uso es “el ácido sulfúrico para minerales sulfurados y sulfato férrico acidificado para sulfuros como disolvente” (Llorente, 1991, p. 95). El ácido con otras sales oxidantes se usan con la finalidad de acelerar descomposición de los sulfuros y su posterior disolución del cobre por la interacción del ácido.

#### **d. Tiempo de Contacto.**

El tiempo es un factor predeterminante en los procesos de extracción de los elementos valiosos en toda operación. Considerado como “un parámetro importante, ya que determina el tiempo necesario para extraer el metal o mineral en el porcentaje requerido según las condiciones operativas establecidas. En la lixiviación dinámica, el tiempo de contacto se expresa en horas” (Llorente, 1991, p. 95). El tiempo de lixiviación está relacionado a la mineralogía, liberación, porosidad, etc.

#### **e. Temperatura del Disolvente.**

En la cinética de la disolución aumenta la extracción del cobre en el tiempo. Llorente (1991) define: “la temperatura es fundamental en la lixiviación dinámica. En cambio, la lixiviación estática puede efectuarse a temperatura ambiente, factor favorable para el desarrollo de la lixiviación de minerales de cobre, uranio y oro en vacíos o pilas” (p. 96).

#### **f. pH.**

En la disolución del cobre es importante el grado de acidez para la extracción de los elementos, por lo que “la acidez de la solución es importante para disolución y recuperación del cobre, el pH de la solución debe estar entre 0.5 -3” (Ipinza, Ibáñez, Flaquer, & Engdahl, 2017, pp. 11-12). En la extracción del cobre se tiene que tener en cuenta el pH.

El pH de la disolución del cobre de acuerdo al diagrama de Pourbaix de Cu-S-O-H<sub>2</sub>O a 25 °C. el pH tiene un rango de 0.5 a 5.8 donde el cobre se puede encontrar Cu<sup>+</sup>.

House, 1987 citado por Schlesinger, King, Sole, & Davenport (2011), que los “minerales como CuO pueden ser lixiviados por bajando el pH agregando ácido. Sulfuros y cobre nativo requieren un agente oxidante y ácido” (p. 284).

## 2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

- a. **Agitación:** definido como “el proceso por el cual el mineral y la disolución de ataque están en movimiento, para la aceleración de la cinética de extracción del cobre” (Bellaste, Verdeja, & Sancho, 2000, pp. 369-370).
- b. **Cobre:** Tiene las siguientes características “Es un metal anaranjado brillante, rojizo, notable por un conjunto de propiedades que lo hacen extraordinariamente útil y conveniente para una diversidad de usos” (Portal Minería, 2006, p. 383).
- c. **Concentración:** Se refiere al “método de concentración que se basa en la diferencia de densidades entre el fluido empleado para la operación y los minerales a separar” (Ministerio de Minas y Energía, 2003, p. 36).
  - a. **Ganga:** Se refiere a “minerales que no tiene valor comercial para el proceso y están asociado con la mena” (Duarte, 1993, p. 43).
  - a. **Ley:** Es la expresión donde “el contenido de un metal de interés polimetálico en la mineral expresa en porcentaje, para los metales preciosos esta expresa en gramos o onzas por toneladas” (Duarte, 1993, p. 52).
  - a. **Lixiviable:** Es el mecanismo por el cual son, “extraíble por solventes químicos” (Portal Minería, 2006, p.390).
  - b. **Lixiviación:** Se define como “el mecanismo de lavado de la roca por infiltración o agitación con soluciones lixiviables, las cuales disuelven ciertos minerales de menor estabilidad, durante el tiempo del proceso” (Duarte, 1993, p. 52).
    - a. **Malaquita:** Es un mineral compuesto por “el carbonato de cobre, de color verde, que se encuentra en la naturaleza” (Portal Minería, 2006, p.390).
    - c. **Mena:** mineralógicamente “es el mineral de interés, para extraerse con beneficio económico” (Duarte, 1993, p. 57).

- d. **Mineral:** son “elemento o compuesto químico inorgánico natural, compuesto de menas y ganga que está formado la corteza terrestre” (Duarte, 1993, p. 58).
- e. **Minerales mixtos:** Mineralógicamente son, “minerales o conjunto de ellos formados en la zona de oxidación, mezclados con otros no alterados” (Portal Minería, 2006, p. 391).
- f. **Oxidación:** Es el proceso por cual, ocurre “la combinación con el oxígeno que ocurre en la superficie expuesto al medio ambiente de un yacimiento, donde los minerales se exponen a agentes oxidantes en la superficiales, principalmente a infiltración de aguas meteóricas” (Duarte, 1993, p. 60).
- g. **Óxido:** Desde el punto vista mineralógico, se refiere un mineral “que este combinado con oxígeno ya sea uno o más elementos o radicales positivos (metales)” (Duarte, 1993, p. 60).
- h. **pH:** Desde punto de vista química, “se refiere al grado de acidez o basicidad de una solución, el cual se mide por la concentración del ion hidrógeno en ésta” (Portal Minería, 2006, p. 393).
- i. **Planta:** Desde el punto de vista edificación es “una construcción o grupo de construcciones y su equipo contenido, en los cuales es llevado a cabo un proceso o función. Generalmente, se refiere a la planta de tratamiento del mineral” (Portal Minería, 2006, p. 393).
- j. **Proceso:** Se puede decir que es una “acción de avanzar o ir para adelante, al paso del tiempo y al conjunto de etapas sucesivas” (Real Academia Española, 1726-2019).
- k. **Sulfuros:** Desde el punto de su mineralógica “son minerales que tiene enlace con el azufre y un radical o elemento positivo(metales)” (Duarte, 1993, p. 70).

## **2.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.**

### **2.5.1. Hipótesis General.**

Con un adecuado tratamiento de lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial, nos permitirá la extracción de cobre a nivel laboratorio.

### **2.5.2. Hipótesis Específicas.**

- El uso de  $H_2O_2$ , NaCl, y el tiempo en la lixiviación de minerales oxidados, tendrá una influencia positiva en la extracción de cobre.
- Las interacciones de  $H_2O_2$ , NaCl, y el tiempo en la lixiviación de minerales oxidados, tendrá una influencia en la extracción de cobre de los minerales existentes.
- Si se emplea  $H_2O_2$ , NaCl, y el tiempo en la lixiviación de minerales oxidados, nos permitirá una recuperación eficiente del cobre.

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Tabla 2

Variables

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador
<b>Independiente</b>			
Lixiviación de minerales	Es el proceso de disolución de elementos metálicos soluble de las menas mediante la acción de un disolvente diluido en el agua.	Características	- $H_2O_2$ . - $NaCl$ . - Tiempo.
<b>Dependiente</b>			
Extracción de cobre	Procedimiento de separación de cobre a partir de minerales que puede disolverse en dos fases sólido líquido.	Control	- Influencia. - Extracción. - Recuperación.
<b>Intervinientes.</b>			
			- Granulometría. - Densidad de pulpa. - pH. - Velocidad de agitación. - $H_2SO_4$



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. DISEÑO METODOLÓGICO.**

##### **3.1.1. Tipo de Investigación.**

En el trabajo de indagación realizada sobre lixiviación de minerales para la extracción de cobre es experimental en cuanto a su propósito básica, ya que se manipularon las variables en el trabajo realizado, con el fin de comprobar el efecto producido en la extracción de cobre.

##### **3.1.2. Método de Investigación.**

En el trabajo sobre lixiviación de minerales para la extracción de cobre, el método general es comparativo y el método específico es experimental, ya que el método comparativo nos permite que los resultados de las comparaciones metodológicas nos lleven lógicamente encontrar la verdad. El experimental permite manipula intencionalmente las variables independientes para ver sus efectos en las variables dependientes (Behar, 2008, p. 47).

#### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.**

##### **3.2.1. Población.**

El mineral de cobre extraída proviene del centro poblado el Rosario, distrito de Barranca Provincia de Barranca Departamento de Lima. La población es la veta mineralizado del cerro colindante del Rosario.

### 3.2.2. **Muestra.**

El mineral para el tratamiento de lixiviación de minerales para extracción de cobre es de la mina el Rosario, aproximadamente 100kg, acto seguido se cuarteo por el método de conos con una secuencia hasta llegar 1 kilo aproximadamente, se sacaron 11 kilos para las corridas y 50 gramos para enviar al laboratorio de química para su análisis.

### 3.3. **TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

#### 3.3.1. **Técnicas a emplear.**

##### **a. Observación sistemática Directa.**

La parte experimental se realizaron en un agitador mecánico de acuerdo el diseño desarrollado, donde en un vaso se introdujeron los componentes y se ajito en un periodo diseñado para la investigación.

##### **b. Observación Sistemática Indirecta.**

Para darle validación al trabajo se accedió a tesis internacionales, nacionales y revistas relacionado al tema, por otra parte, se revisaron libros respecto a la lixiviación de los minerales y medio de internet, para luego realizar un análisis y realizar diseñar el proceso para realizar las pruebas experimentales.

##### **c. Observación experimental.**

En el trabajo de investigación se realizaron la lixiviación de minerales de cobre empleando el diseño factorial 8 pruebas varias y 3 centrales, el resultado de cada prueba de lixiviación se sacaron muestras de la lixiviación y luego se realizaron sus análisis por triplicado, para luego realizar el procesamiento de los datos y su análisis.

### **3.3.2. Descripción de los Instrumentos.**

respecto a los instrumentos empleados para la recopilación de los datos durante el periodo de las pruebas experimentales se usó la ficha de observación para la anotación de las observaciones que se produjo durante el experimento, mientras que lista de cotejo para anotar el resultado de las pruebas y firmado con cámara para registrar la información digital necesario para darle valides al trabajo realizado.

### **3.4. Técnica de procesamiento de la Información.**

Para procesas la información, se empleó la estadística, con los paquetes de los ordenadores de Excel y minitab 17, con la finalidad de obtener los resultados, en tablas y figuras, donde se obtuvieron los promedios, análisis de varianza, desviación estándar, diagrama de Pareto para su posterior interpretación.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

##### 4.1.1. Condiciones de la investigación.

En las pruebas experimentales se requirieron y utilizaron tienes las siguientes:

*Tabla 3*

*Condiciones, Materiales y reactivos*

Condiciones de trabajo	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mineral 100 g</li> <li>• Agua 130 mL.</li> <li>• Densidad del mineral 2.5419 g/cm<sup>3</sup></li> <li>• %-200m 80% pasante</li> <li>• Tiempo de molienda 11.19 minutos.</li> <li>• Ley de cabeza toral 2.43 % de cobre</li> <li>• Ley de cabeza soluble 2.025% de cobre</li> <li>• pH 0.5</li> </ul>	<p><b>Pruebas experimentales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido sulfúrico</li> <li>• Cloruro de sodio</li> <li>• Peróxido de hidrogeno.</li> </ul>
<p><b>materiales y equipos</b></p>	<p><b>Para el análisis químico</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agitador – plancha eléctrica</li> <li>• Potenciómetro.</li> <li>• Vasos precipitados.</li> <li>• Pipeta.</li> <li>• Bureta + Soporte universal.</li> <li>• Matraz de erlernmeyer.</li> <li>• Balanza analítica – Balanza electrónica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido sulfúrico.</li> <li>• Ácido nítrico.</li> <li>• Ácido clorhídrico</li> <li>• Fluoruro de amonio</li> <li>• Yoduro de potasio</li> <li>• Tiosulfato de sodio</li> <li>• Hidróxido de amonio</li> <li>• Ácido acético</li> <li>• Almidón</li> <li>• Nitrato de plata.</li> <li>• Cobre electrolítico</li> </ul>

##### 4.1.2. Diseño factorial de para las pruebas experimentales

En el diseño se realizaron mediante diseño factorial completo de 8 corridas con 3 pruebas centrales en la tabla 3 se describe tanto en forma natural y codificada.

Tabla 4

Datos naturales y codificadas para las pruebas experimentales

Natural				
Factor	Unidad	Mínimo	Máximo	Central
Z1: H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	g/L	15	18	16.5
Z2: NaCl	g/L	36	50	43
Z3: Tiempo	hora	3	5	4
Codificada				
Factor	Unidad	Nivel (-)	Nivel (+)	Nivel (0)
Z1: H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	g/L	-1	1	0
Z2: NaCl	g/L	-1	1	0
Z3: Tiempo	hora	-1	1	0

Nota: Diseñado en función al parámetro de diseño factorial

Tabla 5

Diseño para el experimento realizado

Nº	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>
<b>1</b>	-1	-1	-1	15	36	3
<b>2</b>	1	-1	-1	18	36	3
<b>3</b>	-1	1	-1	15	50	3
<b>4</b>	1	1	-1	18	50	3
<b>5</b>	-1	-1	1	15	36	5
<b>6</b>	1	-1	1	18	36	5
<b>7</b>	-1	1	1	15	50	5
<b>8</b>	1	1	1	18	50	5
<b>9</b>	0	0	0	16.5	43	4
<b>10</b>	0	0	0	16.5	43	4
<b>11</b>	0	0	0	16.5	43	4

Nota: El diseño está en función de las pruebas realizadas.

En las pruebas experimentales se tiene como componentes el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> utilizado de 15 g/L y 18 g/L, para el NaCl de 36 g/L y 50 g/L, mientras que el tiempo es de 3 horas y 5 horas, para la medida central se utilizaron 16.5 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 43 g/L NaCl y 4 horas.

En el proceso de codificación se tiene (-1) para el menor valor y (+1) para el mayor valor y para la medida central representado por (0).

#### 4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA INVESTIGACIÓN.

El resultado de las pruebas realizados se aprecia en la tabla 5 tanto la ley de cobre en la solución en g/L y el porcentaje de cobre extraído del cobre soluble.

*Tabla 6*

*Resultado obtenido de las pruebas experimentales*

<b>N°</b>	<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>	<b>Ley g/L</b>	<b>R</b>
<b>1</b>	-1	-1	-1	11.66	74.88
<b>2</b>	1	-1	-1	10.53	67.60
<b>3</b>	-1	1	-1	10.53	67.60
<b>4</b>	1	1	-1	11.02	70.72
<b>5</b>	-1	-1	1	10.19	65.40
<b>6</b>	1	-1	1	8.10	52.00
<b>7</b>	-1	1	1	10.37	66.56
<b>8</b>	1	1	1	14.11	<b>90.56</b>
<b>9</b>	0	0	0	10.21	65.52
<b>10</b>	0	0	0	10.69	68.64
<b>11</b>	0	0	0	10.04	64.48

Nota: Resultado procesado de acuerdo el resultado en programa de Excel 2016.

Los resultados de las pruebas experimentales que tiene una mayor extracción es la prueba 8, cuando se tiene 18 g/L de peróxido de hidrogeno, 50 g/L de cloruro de sodio y 5 horas de tratamiento, con una concentración de 14.11 g/L de cobre, con una recuperación de 90.56%.

### 4.3. RESULTADOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS DE LA INVESTIGACIÓN.

#### 4.3.1. Procesamiento de los datos obtenidos del experimento realizado.

Tabla 7

*Análisis de Varianza*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	835.187	104.398	22.27	0.044
Lineal	3	168.178	56.059	11.96	0.078
Peróxido de hidrogeno(g/L)	1	5.184	5.184	1.11	0.403
Cloruro de sodio(g/L)	1	158.064	158.064	<b>33.72</b>	<b>0.028</b>
Tiempo(h)	1	4.930	4.930	1.05	0.413
Interacciones de 2 términos	3	553.519	184.506	39.37	0.025
Peróxido de hidrogeno(g/L) *Cloruro de sodio(g/L)	1	285.605	285.605	<b>60.94</b>	<b>0.016</b>
Peróxido de hidrogeno(g/L) *Tiempo(h)	1	27.232	27.232	5.81	0.137
Cloruro de sodio(g/L) *Tiempo(h)	1	240.682	240.682	<b>51.35</b>	<b>0.019</b>
Interacciones de 3 términos	1	91.125	91.125	19.44	0.048
Peróxido de hidrogeno(g/L) *Cloruro de sodio(g/L) *Tiempo(h)	1	91.125	91.125	<b>19.44</b>	<b>0.048</b>
Curvatura	1	22.365	22.365	4.77	0.161
Error	2	9.374	4.687		
Total	10	844.561			

Nota: Resulto de las pruebas de análisis de varianza mediante programa minitab versión 18.

$$F_0 > F(\alpha; gl_T; gl_E) \quad F(\alpha; gl_T; gl_E) = F(0.05; 10; 2) = 19.40$$

Para las condiciones de confiabilidad de 95% con error de 5% (0.05), para 10 grado de libertad total y 2 grados de libertad de error, los efectos que tiene efectos en la extracción serán aquellas que tiene mayor a 19.40, para ello de acuerdo de análisis de varianza que tienen significancia en la extracción tenemos: cloruro de sodio, en las interacciones de dos

términos peróxido de hidrogeno con cloruro de sodio y cloruro de sodio con tiempo, para unas interacciones de tres términos peróxido de hidrogeno cloruro de sodio y tiempo.

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2.16493	98.89%	94.45%	*

Los datos obtenidos en el proceso experimental tienen una variación estándar de 2.16493 y un coeficiente de correlacional cuadrada de 98.89.

Tabla 8

#### Efectos mediante el Coeficiente codificado

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		69.415	0.765	90.69	0.000	
Peróxido de hidrogeno(g/L)	1.610	0.805	0.765	1.05	0.403	1.00
Cloruro de sodio(g/L)	8.890	4.445	0.765	5.81	0.028	1.00
Tiempo(h)	-1.570	-0.785	0.765	-1.03	0.413	1.00
Peróxido de hidrogeno(g/L)*Cloruro de sodio(g/L)	11.950	5.975	0.765	7.81	0.016	1.00
Peróxido de hidrogeno(g/L)*Tiempo(h)	3.690	1.845	0.765	2.41	0.137	1.00
Cloruro de sodio(g/L)*Tiempo(h)	10.970	5.485	0.765	7.17	0.019	1.00
Peróxido de hidrogeno(g/L)*Cloruro de sodio(g/L)*Tiempo(h)	6.750	3.375	0.765	4.41	0.048	1.00
Pt Ctral		-3.20	1.47	-2.18	0.161	1.00

De acuerdo la tabla 7 los coeficientes predeterminan las constantes de la ecuación general obtenido como se aprecia.

$$Y = 69.415 + 0.805X_1 + 4.445X_2 - 0.785X_3 + 5.975X_1X_2 + 1.845X_1X_3 + 5.485X_2X_3 + 3.375X_1X_2X_3$$



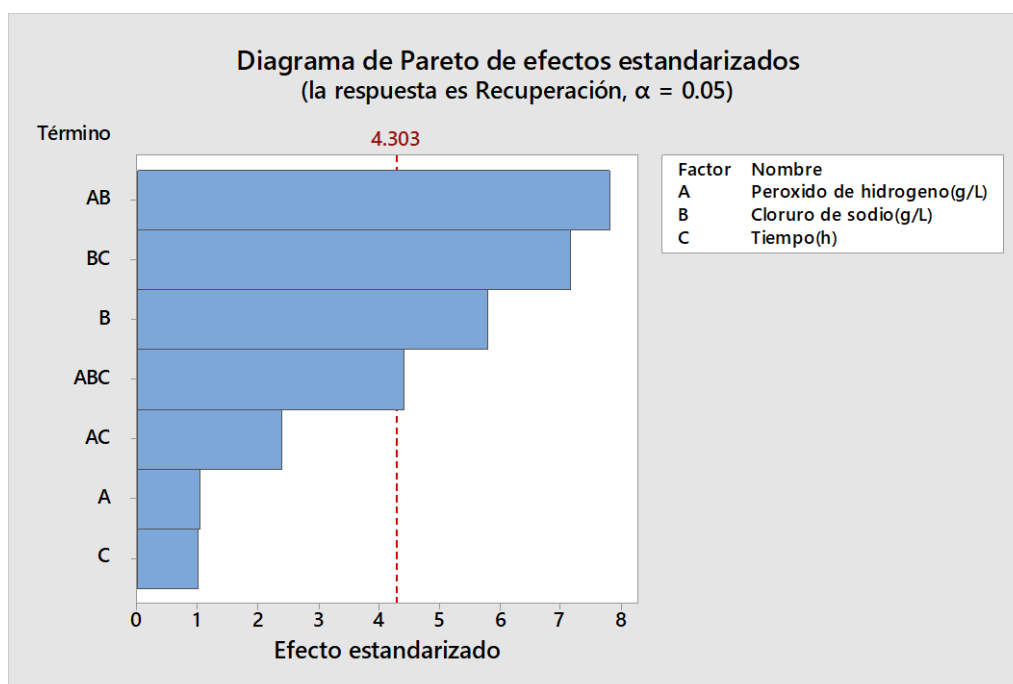


Figura 5. Diagrama de Pareto de efecto estandarizados

En función de la figura 4 y tabla 8, las variables mayores a 4.303 tiene efectos positivos y para un error de 5% menores a 0.05 tendrá un efecto positivo en el proceso de extracción por lo tanto el valor de la ecuación queda con la siguiente expresión matemática:

$$Y = 69.415 + 4.445X_2 + 5.975X_1X_2 + 5.485X_2X_3 + 3.375X_1X_2X_3$$

Descodificación de la ecuación a estado natural:

Tabla 9

Descodificación de ecuación de la extracción de cobre

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_2X_3$	$X_1X_2X_3$
Nivel Inferior (-)	15.00	36.00	3.00	540.00	45.00	108.00	1620.00
Nivel Superior (+)	18.00	50.00	5.00	900.00	90.00	250.00	4500.00
Centro de diseño $Z^o$	16.50	43.00	4.00	720.00	67.50	179.00	3060.00
Radio del diseño DZ	1.50	7.00	1.00	180.00	22.50	71.00	1440.00
Relación E	11.00	6.143	4.000	4.00	3.00	2.521	2.125

$$Y = 69.415 + 4.445X_2 + 5.975X_1X_2 + 5.485X_2X_3 + 3.375X_1X_2X_3$$

$$a_0 = 6.387$$

$$a_2 = 0.724$$

$$a_4 = 1.494$$

$$a_6 = 0.732$$

$$a_7 = 1.588$$

Por consiguiente, la ecuación decodificada a su estado natural será.

$$Y = 6.387 + 0.7236Z_2 + 1.494Z_1Z_2 + 0.732Z_2Z_3 + 1.588Z_1Z_2Z_3$$

$$Y = 6.387 + 0.7236(\text{Cloruro de sodio } g/L)$$

$$+ 1.494(\text{Peróxido de hidrogeno } g/L)(\text{cloruro de sodio } g/L)$$

$$+ 0.732(\text{Cloruro de sodio } g/L)(\text{Tiempo})$$

$$+ 1.588(\text{Peróxido de hidrogeno } g/L)(\text{Cloruro de sodio } g/L)(\text{Tiempo})$$

#### 4.3.2. Análisis de las regresiones

Con los resultados de las 11 pruebas realizados el análisis de las regresiones lineales teniendo como vector respuesta el porcentaje de recuperación de la extracción de cada componente.

Mediante el test Fisher (F tablas) determinaremos estadísticamente la significancia de cada variable para cada elemento analizado. Para ello se muestra el cuadro de resumen en donde se debe cumplir que:  $F_{\alpha, f_4, f_2}(\text{Tablas}) > F_0(\text{calculado})$  para que la variable sea significativa.

*Tabla 10*

*Evaluación de la significancia para la extracción de cobre.*

<b>Fo calculado</b>					
RESPUESTA	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	NaCl	Tiempo	%confiabilidad	F tablas
Cobre	1.11	33.72	1.05	95	19.40

En la tabla 6 el test Fisher hallada estadísticamente calculada con Excel y minitab 18 se tiene para cada variable para el peróxido de hidrogeno es de 1.11, cloruro de sodio de 3372 y tiempo es de 1.05 para un 95% de confiabilidad y de tabla es de 19.40.

*Tabla 11*

*Variables significativas*

RESPUESTA	Fo calculado		
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	NaCl	Tiempo
NaCN	-	33.72	-

La variable significativa para la extracción de cobre de acuerdo las condiciones mayores de Fo (19.40) para las condiciones son cloruro de sodio Fo (33.72) calculadas.

*Tabla 12*

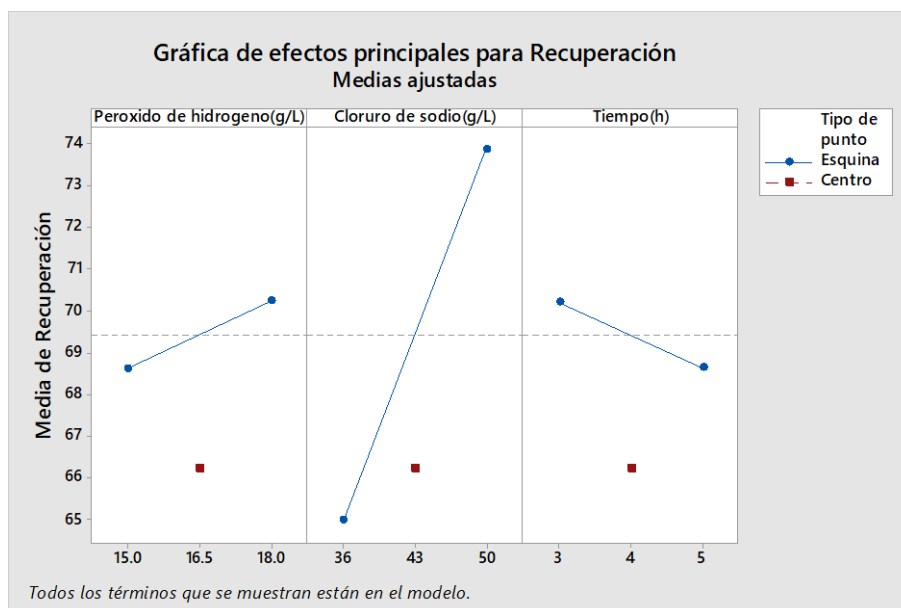
*Efectos de las variables significativas*

Degradación	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	NaCl	Tiempo	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / NaCl)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / Tiempo	NaCl / Tiempo	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / NaCl /Tiempo
Efecto	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765
Valor t	1.05	<b>5.81</b>	-1.03	<b>7.81</b>	2.41	<b>7.17</b>	<b>4.41</b>

Nota: Fuente tabla 5, procesado de los datos experimentales Minitab 18.

En la tabla 14 se puede apreciar que la extracción de cobre tanto el efecto como valor t, el signo positivo para el cloruro de sodio tiene un efecto positivo (+0.765, +5.81), mientras que con la interacción de peróxido de hidrogeno/cloruro de sodio tiene un efecto positivo (+0.756, +7.81, y la interacción de cloruro de sodio/tiempo tiene un efecto positivo (+0.765, +7.17), mientras que la interacción de peróxido de hidrógeno/cloruro de sodio/tiempo tiene un efecto positivo (+0.765, +4.41) en la extracción de cobre.

### 4.3.3. Análisis de las integraciones y efectos.



*Figura 6 efecto en la recuperación.*

De acuerdo la gráfica 3 el que tiene mayor efecto en la extracción del cobre es el cloruro de sodio en comparación de peróxido de hidrogeno y tiempo.

Las mayores recuperaciones se dan cuando trabajan las tres variables con su mayor valor, el peróxido de hidrogeno trabaja con su mayor valor (18 g/L), el cloruro de sodio con (50 g/L) y 5 horas.

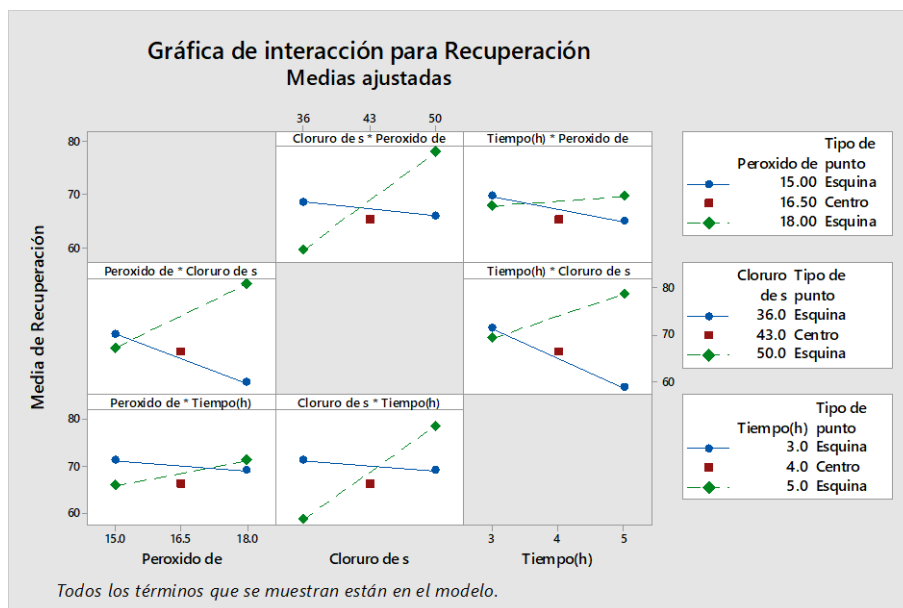


Figura 7 Interacción de las componentes en la extracción de cobre

En virtud de la figura 4 los efectos de mayor relevancia en las interacciones se tienen cuando interactúan peróxido de hidrogeno y cloruro de sodio y cloruro de sodio y tiempo.

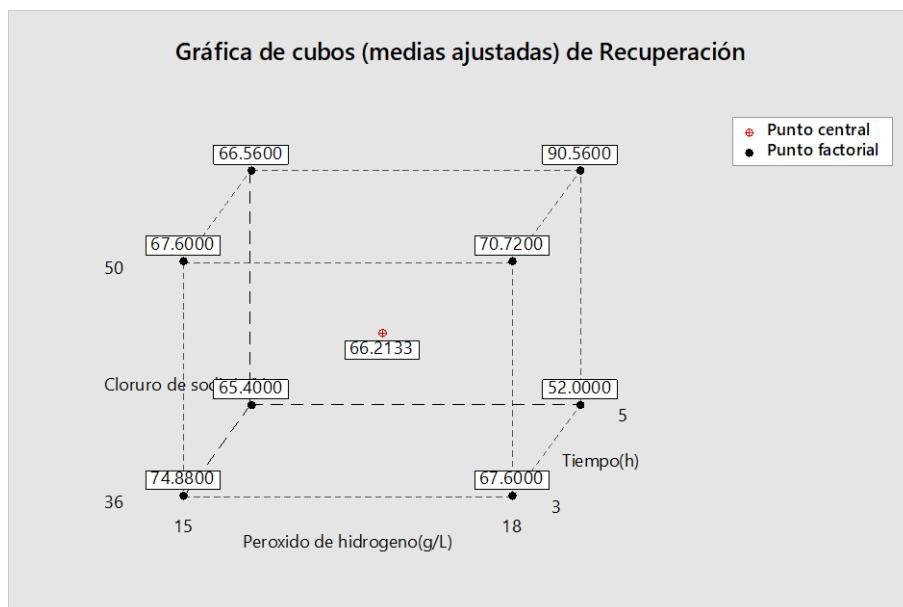


Figura 8 Gráfico de cubos de la recuperación de cobre

De la gráfica la mayor recuperación se da cuando se trabaja con 18 g/L peróxido de hidrogeno, 50 g/L de cloruro de sodio y 5 horas con una recuperación de 90.56% y una reparación en el punto central de 66.21%.

*Tabla 13*

*Recuperación de cobre proyectada*

N	NaCl(g/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g/L) NaCl (g/L)	NaCl(g/L) Hora	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g/L) NaCl(g/L) (Hora)	Rec.
1	36	540	108	1620	34.91
2	36	648	108	1944	41.67
3	50	750	150	2250	48.46
4	50	900	150	2700	57.85
5	36	540	180	2700	52.59
6	36	648	180	3240	62.78
7	50	750	250	3750	73.02
8	50	900	250	4500	87.17

Una recuperación del cobre proyectada se dará cuando se adiciona el cloruro de sodio, con una interacción de peróxido de hidrogeno con cloruro de sodio, cloruro de sodio con el tiempo y la interacción peróxido de hidrogeno, cloruro de sodio y tiempo esto cuando estén con su valor máximo teniendo una recuperación de 87.17%.

## CAPITULO V

### DISCUSIÓN CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

#### 5.1. DISCUSIÓN.

En el presente trabajo se realiza con una dilución de 1.3, a malla -200m el 80%, con una ley de cabeza de 2.025% de cobre soluble, a un pH de 0.5, mediante el diseño factorial completa con un replica de 8 pruebas  $2^3$ , y con una medida central de 3 pruebas, para ello se utilizó peróxido de hidrogeno, cloruro de sodio y tiempo; para primer se empleó 15 g/L y 18 g/L, para el segundo 36 g/L y 50 g/L, mientras que para el tiempo se empleó 3 horas y 5 horas; con una medida central de 16.5 g/L, 43 g/L y 4 horas respectivamente, con ellos se obtuvieron como resultado.

En las pruebas experimentales de mayor extracción se obtuvieron en la prueba 8 con los mayores valores de los componentes de 18 g/L, 50 g/L y 5 horas con una concentración de cobre de 14.11 g/L con una recuperación de 90.56%.

En el análisis de varianza con el anova se encontró que el cloruro de sodio tiene un efecto positivo en la extracción, en la interacción de peróxido de hidrogeno/cloruro de sodio y cloruro de sodio y tiempo, y la interacción de peróxido de hidrogeno/cloruro de sodio/tiempo, para una confiabilidad del 95%, con una variación estándar de 2.16493 y coeficiente de correlacional cuadrática de 98.89%.

Para validar las variables en estudio se analiza el análisis de varianza y el efecto del coeficiente codificado sustentada en el diagrama de Pareto, con ellos la ecuación natural para la extracción de cobre quedaría de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 Y = & 3.387 + 0.7236(\text{Cloruro de sodio } g/L) \\
 & + 1.494(\text{Peróxido de hidrogeno } g/L)(\text{cloruro de sodio } g/L) \\
 & + 0.732(\text{Cloruro de sodio } g/L)(\text{Tiempo}) \\
 & + 1.588(\text{Peróxido de hidrogeno } g/L)(\text{Cloruro de sodio } g/L)(\text{Tiempo})
 \end{aligned}$$

La variable significativa se fundamenta en el cloruro de sodio y el efecto de las variables significativas está en cloruro de sodio 5.81, para la interacción peróxido de hidrogeno/cloruro de sodio tiene un efecto positivo +7.81, para cloruro de sodio/tiempo tiene un efecto positivo de +7.17 y peróxido de hidrogeno/cloruro de sodio/tiempo tiene un efecto positivo de +4.41. En la recuperación de cobre, el efecto en la extracción es el cloruro de sodio con su mayor concentración y en las se tiene peróxido de hidrogeno/cloruro de sodio y cloruro de sodio/tiempo. En una recuperación experimental se tiene 90.56% con los máximos valores y la proyectada se tendría una 87.17%.

respecto a la disolución de “la malaquita es fácilmente soluble por ácido sulfúrico dando altas recuperaciones de cobre, y otros minerales, tales como de fierro, fueron afectados en medio ácido” (Perez, 2013). Mientras que “la lixiviación con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en forma secuencial no es selectiva para disolver calcosina en sulfuro primarias y secundarios, solo disolviendo calcopirita y pirita. La disolución de calcosina está a la disponibilidad de cianuro libre” (Medina, 2015).

Respecto al agente lixivante y la concentración “la mayor extracción de cobre se obtiene cuando la concentración de agente es 20 g/l, obteniéndose una extracción de 85.73% con ácido sulfúrico y 79.18% con ácido cítrico. el agente lixivante es meno significativo frente a la concentración” (Cordova & Campos, 2016). por otra parte “es factible la extracción de cobre de minerales oxidados como la crisocola, utilizando ácido cítrico como disolvente, similares cuando se utiliza ácidos inorgánicos” (Lingan & Lucano, 2014).



En “la lixiviación con cloro en medio ácido realizadas con minerales complejos demuestran tener un gasto aceptable usando de ácido y cloro” (Chambi, 2017).

por otra parte, “la recuperación de cobre aumenta al aumentar la concentración de peróxido de hidrogeno. La recuperación aumenta al disminuir el tamaño de partícula y al disminuir la razón S/L” (Vargas, Bustamante, & Navarro, 2017). Con “el pretratamiento de calcopirita y el reposo, resultan fundamentales para la disolución en un medio ácido. El ion sodio forma sulfato de sodio, a temperaturas sobre 50 °C, evitando la formación de azufre elemental” (Ipinza, Ibáñez, Flaquer, & Engdahl, 2017).

## 5.2. CONCLUSIONES.

Las conclusiones respecto al estudio desarrollado, lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial para la extracción de cobre nivel laboratorio, se concluyen:

Para una muestra de cobre de minerales oxidados de cobre pasante el 80% a -200m, con una ley de cabeza de 2.025% cobre soluble a un pH de 0.5 tratada con peróxido de hidrogeno 15 g/L y 18 g/L, cloruro de sodio de 35 g/L y 50 g/L, con un tiempo de 3 horas y 5 horas, con una medida central de 16.5 g/L, 43 g/L y 4 horas respectivamente en la parte experimental el mejor resultado, se obtuvo 14.11 g/L con una recuperación de 90.56%, con 18 g/L de cobre, cuando se utiliza el peróxido de hidrogeno, 50 g/L para el cloruro de sodio a 5 horas, que representa la octava prueba en el diseño factorial.

En el análisis de varianza el efecto positivo para la extracción se cobre tiene el cloruro de sodio, en la interacción de dos componentes el peróxido de hidrogeno/cloruro de sodio y cloruro de sodio/tiempo, para las tres interacciones peróxido de hidrogeno/cloruro de sodio/tiempo, para confiabilidad de 95% para 10 grado de libertad total y 2 grados de libertad de error, con una variación estándar de 2.16493 y coeficiente de correlacional cuadrática de 98.89%.

El efecto de coeficiente codificado y el diagrama de Pareto estandarizado predetermina su validación de la ecuación de extracción del cobre siendo la siguiente relación matemática.

$$\begin{aligned}
 Y = & 3.387 + 0.7236(\text{Cloruro de sodio } g/L) \\
 & + 1.494(\text{Peróxido de hidrogeno } g/L)(\text{cloruro de sodio } g/L) \\
 & + 0.732(\text{Cloruro de sodio } g/L)(\text{Tiempo}) \\
 & + 1.588(\text{Peróxido de hidrogeno } g/L)(\text{Cloruro de sodio } g/L)(\text{Tiempo})
 \end{aligned}$$

En el análisis de regresión para la extracción de cobre, la variable significativa es el cloruro de sodio, y el efecto de variable significativo se tiene el cloruro de sodio +5.81,

peróxido de hidrogeno/cloruro de sodio +7.81, cloruro de sodio/tiempo +7.17 y peróxido de hidrogeno/cloruro de sodio/tiempo +4.41, la mayor significancia tiene peróxido de hidrogeno/cloruro de sodio.

En el análisis de la recuperación el mayor efecto tiene el cloruro de sodio, mientras que en la interacción peróxido de hidrogeno/cloruro de sodio y cloruro de sodio/ tiempo. Una recuperación de acuerdo la ecuación predicha con los componentes de significancia se puede obtener una recuperación de 87.17%.

Con ello se fundamenta y predetermina los objetivos planteados para el estudio realizado, por lo que el cloruro de sodio es el componente que actúa en la extracción y con las interacciones del peróxido de hidrogeno y tiempo.

### **5.3. RECOMENDACIONES.**

Para argumentar el estudio desarrollado y analizado del presente trabajo de lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial para la extracción de cobre nivel laboratorio se puede recomendar los siguientes:

Realizar pruebas con una variación de molienda, incrementado el tiempo de agitación, y con diferente pH.

Se debe realizar previo tratamiento mediante una oxidación avanzada para luego realizar el ataque con cloruro de sodio y ácido sulfúrico, ya que el peróxido de hidrogeno y el ácido sulfúrico forman otro componente que podría actuar en forma negativo en la extracción del cobre.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Minas y Energía. (2003). *Glosarios Técnico Minero*. Bogotá. Obtenido de <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
- Bellaste, A., Verdeja, L., & Sancho, J. (2000). *Metalurgia Extractiva* (Vol. I). Madrid: Sintesis S.A.
- Benavente, O. (2012). *Proceso Hidrometalúrgicos*. Universidad Católica del Norte.
- Cáceres, J. (2007). *Metalurgia Extractiva*. Aconcagua: UAC.
- Chambi, L. (2017). *Lixiviación de minerales mixtos de cobre de la U.M. Tacaza – Ciencia con agentes clorurantes en medio ácido*. Obtenido de Repositorio Institucional : <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5370>
- Chica, L., Ospina, M., & Bustamante, O. (2009). Optimización de circuitos de molienda húmeda de suspensiones polimineraleas: retos en el análisis de variables, simulación y control de procesos.
- Cordova, J., & Campos, E. (2016). *Influencia en el tipo y concentración del agente lixivante en la extracción de cobre mediante lixiviación por agitación de un mineral tipo cricicola*. Obtenido de Repositorio Institucional UNITRU: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8755>
- Cortez, F. (2012). *Diseño y construcción de una planta de UX • SX • TF - EW de mineral de cobre para la producción de 30 ton/mes de cátodos de cobre*. Tacna: UNJBG.
- Duarte, R. (1993). *Closario Minero*. Rancagua: Biblioteca nacional.

- Esteban, M., & Domic, M. (2001). *Hidrometalurgia Fundamentos Procesos y Aplicaciones*. Santiago.
- Guiachetti, D. (2011). *Consumo ácido Sulfúrico y cinética de lixiviación de un mineral oxidado de cobre*. Obtenido de Repositorio Academico de la Universidad de Chile: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104139>
- Gupta, A., & Yan, D. (2006). *Introduction to Mineral Processing Design and Operation*. Perth.
- Gupta, C., & Mukherjee. (2000). *Hydrometallurgy in Extraction Processes*. Florida: CRC Press Lic.
- Gupta, C., & Mukherjee, T. (1990). *Hidrometalurgia en Proceso de Extraacción*. Bostom: CRC Press.
- Ipinza, J., Ibáñez, J., Flaquer, J., & Engdahl, O. (2017). *Identificación de compuestos formados durante el pre-tratamiento de la calcopirita con NaCl- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>*. Obtenido de Minería Instituto de Ingenieros de Minas del Perú: <http://www.mineriaonline.com.pe/tecnico-cientifico/identificacion-de-compuestos-formados-durante-pretratamiento-de-calcopirita-nacl-h2so4>
- Lingan, R., & Lucano, R. (2014). *Influencia del pH y la concentración del ácido cítrico en la lixiviación por agitación de minerales oxidados de cobre tipo crisocola del distrito de Salpo - La Libertad*. Obtenido de Repositorio Institucional UNITRU: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3572>
- Llorente, G. (1991). *Minería química*. Madrid: Artes gráficos MV S.A.

- Mark, E., Schlesinger, J., King, C., Sole, G., & Davenport, I. (2011). *Extractive Metallurgy of Copper*. Amsterdam: Elsevier.
- Martins, C., Martins, J., & Ferreira, J. (2010). *Corrosión y Protección de Metales*. Obtenido de Scielo Portugal: <http://www.scielo.mec.pt>
- Medina, F. (2015). *Optimización de la extracción secuencial aplicada a la interpretación geoquímica de sulfuros en pórfidos cupríferos*. Santiago: Universidad de Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/135298/Optimizacion-de-la-extraccion-secuencial-aplicada-a-la-interpretacion.pdf?sequence=1>
- Muñoz, S. (2010). *Conceptos de lixiviación de minerales*. Obtenido de Academia: [https://www.academia.edu/6896709/Conceptos\\_de\\_lixiviaci%C3%B3n\\_de\\_minerales](https://www.academia.edu/6896709/Conceptos_de_lixiviaci%C3%B3n_de_minerales)
- Ortiz, A. (2012). *Lixiviación Ácida de Minerales Oxidados de Cobre (Crisocola) con poca disolución de Fe al utilizar KHSO<sub>4</sub>*. *Titulo profesional*. Universidad Nacional Autonoma de Méxino, México D.F. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2526/Tesis.pdf?sequence=1>
- Perez, J. (2013). *Diseño experimental del proceso de lixiviación de un mineral de malaquita*. Obtenido de Repositorio DSpace: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16930/25-1-16581.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Portal Minería S.A. (2006). *Manual General de Minería y Metalurgia*. Santiago: Servicio de Impresión Laser S.A.

Real Academia Española. (1726-2019). *Definición*. Obtenido de Real Academia Española:  
<https://definicion.de/proceso/>

Ruiz, M. (2013). *Hidrometalurgia*. Concepción: Universidad Concepción.

Schlesinger, M., King, M., Sole, K., & Davenport, W. (2011). *Extractive Metallurgy of Copper*. Great Britain: Elsevier Ltd.

Schlesinger, M., King, M., Sole, K., & Davenport, W. (2011). *Extractive Metallurgy of Copper*. Great Britain: Elsevier Ltd.

Vargas, C., Bustamante, C., & Navarro, P. (2017). *Evaluación del uso de peróxido de hidrogeno y surfactante catiónico ctab en la lixiviación de un concentrado de cobre en medio ácido*. Obtenido de Revista y Publicaciones Ude Santiago de Chile:  
<http://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/remetallica/article/viewFile/3181/2901>



## **ANEXOS**

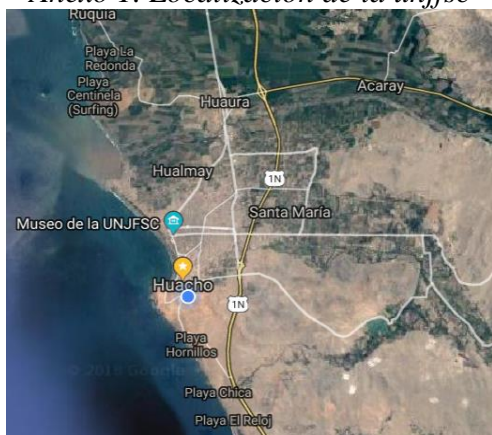
Tabla 14. Matriz de consistencia general

Titulo		Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Indicadores
		P. Generales	O. General	H. General	V. Independiente	
LIXIVIACION DE MINERALES OXIDADOS MEDIANTE DISEÑO FACTORIAL, PARA LA EXTRACCION DE COBRE NIVEL LABORATORIO		¿En qué medida nos permitirá identificar las variables que actúan en forma positiva en la lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial en la extracción de cobre a nivel laboratorio?	Evaluar la lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial, para extracción de cobre a nivel laboratorio.	Con un adecuado tratamiento de lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial, nos permitirá la extracción de cobre a nivel laboratorio	Lixiviación de minerales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>H_2O_2</math>.</li> <li>- <math>NaCl</math>.</li> <li>- Tiempo.</li> </ul>

Tabla 15. Matriz de consistencia específico

Titulo	Problema Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis H. Específicos	Variable Depend.	Indicad.
LIXIVIACION DE MINERALES OXIDADOS MEDIANTE DISEÑO FACTORIAL, PARA LA EXTRACCION DE COBRE NIVEL LABORATORIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿En qué medida el uso de peróxido de hidrogeno, cloruro de sodio, y el tiempo en la lixiviación de minerales oxidados, ¿tendrá una influencia positiva en la extracción de cobre?</li> <li>- ¿En qué medida las interacciones de peróxido de hidrogeno, cloruro de sodio, y el tiempo en la lixiviación de minerales oxidados, ¿tendrá una influencia en la extracción de cobre de los minerales existentes?</li> <li>- ¿En qué medida el empleo de peróxido de hidrogeno, cloruro de sodio, y el tiempo en la lixiviación de minerales oxidados, ¿nos permitirá una recuperación eficiente del cobre?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar en qué medida el uso de peróxido de hidrogeno, cloruro de sodio, y el tiempo en la lixiviación de minerales oxidados, tendrá una influencia positiva en la extracción de cobre.</li> <li>- Evaluar en qué medida las interacciones de peróxido de hidrogeno, cloruro de sodio, y el tiempo en la lixiviación de minerales oxidados, tendrá una influencia en la extracción de cobre de los minerales existentes.</li> <li>- Evaluar en qué medida el empleo de peróxido de hidrogeno, Sulfato ferroso, y el tiempo en la lixiviación de minerales oxidados, nos permitirá una recuperación eficiente del cobre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El uso de peróxido de hidrogeno, cloruro de sodio, y el tiempo en la lixiviación de minerales oxidados, tendrá una influencia positiva en la extracción de cobre.</li> <li>- Las interacciones de peróxido de hidrogeno, cloruro de sodio, y el tiempo en la lixiviación de minerales oxidados, tendrá una influencia en la extracción de cobre de los minerales existentes.</li> <li>- Si se emplea peróxido de hidrogeno, cloruro de sodio, y el tiempo en la lixiviación de minerales oxidados, nos permitirá una recuperación eficiente del cobre.</li> </ul>	Extracción de cobre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Influencia.</li> <li>- Extracción</li> <li>-Recuperación.</li> </ul>

Anexo 1. Localización de la unjpsc



Anexo 2. Localización del CIyDTM



Anexo 3. Mapa Provincia de Huaura



Anexo 4. Mapa Departamento Lima



Anexo 5. Mapa del Perú



*Anexo 6. Molienda de minerales en el tiempo*

**5 minutos**

#malla	Abert( $\mu\text{m}$ )	Peso (g)	%Peso	G(x)	F(x)
70	212	50.04	10.38	10.38	89.62
100	150	16.17	3.35	13.73	86.27
140	106	27.15	5.63	19.36	80.64
200	75	72.23	14.98	34.34	65.66
-200	-	316.57	65.66	100.00	0.00
Total		482.16	100.00		

**10 minutos**

#malla	Abert( $\mu\text{m}$ )	Peso (g)	%Peso	G(x)	F(x)
70	212	61.8	13.31	13.31	86.69
100	150	14.9	3.21	16.52	83.48
140	106	13.86	2.98	19.50	80.50
200	75	20.5	4.41	23.92	76.08
-200	-	353.3	76.08	100.00	0.00
Total		464.36	100		

**15 minutos**

#malla	Abert( $\mu\text{m}$ )	Peso (g)	%Peso	G(x)	F(x)
70	212	36.75	7.75	7.75	92.25
100	150	15.18	3.20	10.95	89.05
140	106	19.59	4.13	15.08	84.92
200	75	19.55	4.12	19.20	80.80
-200	-	383.3	80.80	100.00	0.00
Total		474.37	100.00		

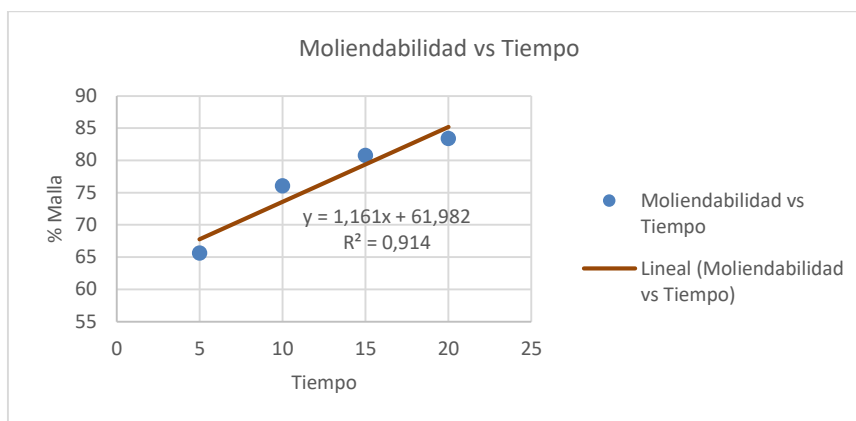
**20 minutos**

#malla	Abert( $\mu\text{m}$ )	Peso (g)	%Peso	G(x)	F(x)
70	212	32.75	6.66	6.66	93.34
100	150	12.47	2.53	9.19	90.81
140	106	21.52	4.37	13.57	86.43
200	75	14.77	3.00	16.57	83.43
-200	-	410.49	83.43	100.00	0.00
Total		492	100.00		

*Anexo 7. Liberación de mineral pasante -200m*

Tiempo	%Malla (-200)
5	65.66
10	76.08
15	80.80
20	83.43

### Anexo 8. Moliendabilidad



### Anexo 9. Densidad del mineral

Wfiola	Wfiola+Mineral	Wfiola+H <sub>2</sub> O+Mineral	WH <sub>2</sub> O	Wmineral	Volumen H <sub>2</sub> O	Densidad H <sub>2</sub> O	Volumen Total (ml)	Volumen Mineral	Densidad Mineral g/m <sup>3</sup>		
57.48	62.48	62.48	159.86	159.87	97.38	5	98.02	0.9935	100	1.98	2.5301
	62.49		159.87								
	62.48		159.87								
58.35	68.35	68.35	163.82	163.81	95.46	10	96.09	0.9935	100	3.91	2.5583
	68.35		163.81								
	68.35		163.81								
59.12	74.11	74.11	167.59	167.58	93.47	15	94.09	0.9935	100	5.91	2.5372
	74.11		167.58								
	74.11		167.58								
<b>PROMEDIO</b>									<b>2.5419</b>		

### Anexo 10. Condiciones de trabajo

Variables de control			Hallar el %S, Dilucion, VH <sub>2</sub> O			
	mH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g/L)	NaCl(g/L)	Tiempo(hora)	Dm	2.5	
Min	15	36	3	Dp	1.353	
Max	18	50	5	%S	43.474	
Central	16.5	43	4	Dilucion	1.30	
				Masa g	100	
				VH <sub>2</sub> O L	0.13	
				V Total cm <sup>3</sup>	170.0	
<b>Reactivos Min</b>			<b>Reactivos Max</b>		<b>Reactivos Central</b>	
	mH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g)	1.50	mH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g)	2.50	mH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g)	2.15
	mNaCl(g)	4.50	mNaCl(g)	6.50	mNaCl(g)	5.59
	Tiempo (h)	3	Tiempo (h)	5	Tiempo (h)	4

### Anexo 11. Consumo de reactivos en las pruebas

N°	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g/L)	NaCl (gr/L)	Tiempo (h)	pH	VH <sub>2</sub> O ml	mH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	mNaCl
1	15.00	36.00	3	0.50	130	1.95	4.68
2	18.00	36.00	3	0.50	130	2.34	4.68
3	15.00	50.00	3	0.50	130	1.95	6.5
4	18.00	50.00	3	0.50	130	2.34	6.5
5	15.00	36.00	5	0.50	130	1.95	4.68
6	18.00	36.00	5	0.50	130	2.34	4.68
7	15.00	50.00	5	0.50	130	1.95	6.5
8	18.00	50.00	5	0.50	130	2.34	6.5
9	16.50	43.00	4	0.50	130	2.15	5.59
10	16.50	43.00	4	0.50	130	2.15	5.59
11	16.50	43.00	4	0.50	130	2.15	5.59

## Anexo 12. Análisis de la mineral y solución de las pruebas experimentales

						Cobre total=	2.430 %		Cobre sulfu	0.405 %		
						Cobre soluble=	2.025 %					
						Peso de mineral=	100 g		Peso cabez	2.43 g		
						Ley cabeza =	2.43 %			2.025 g		

MUESTRA	FACTOR METALICO	VOLUMEN SOLUCION DE Cu	GASTO TIOSULFATO ml	DENSIDAD g/ml	Masa solución Muestra	% Cu Solucion	g Cu	g/L	VOLUMEN TOTAL H <sub>2</sub> O	Peso Cu total en solución	% Recup.	% Recup.
1	0.0081	5	7.20	1.050	5.250	1.111	0.058	11.664	130	1.516	62.40	74.88
2	0.0081	5	6.50	1.048	5.240	1.005	0.053	10.530	130	1.369	56.33	67.60
3	0.0081	5	6.50	1.058	5.290	0.995	0.053	10.530	130	1.369	56.33	67.60
4	0.0081	5	6.80	1.080	5.400	1.020	0.055	11.016	130	1.432	58.93	70.72
5	0.0081	5	6.29	1.060	5.300	0.961	0.051	10.187	130	1.324	54.50	65.40
6	0.0081	5	5.00	1.062	5.310	0.763	0.041	8.100	130	1.053	43.33	52.00
7	0.0081	5	6.40	1.068	5.340	0.971	0.052	10.368	130	1.348	55.47	66.56
8	0.0081	5	8.71	1.054	5.270	1.338	0.071	14.107	130	1.834	75.47	90.56
9	0.0081	5	6.30	1.058	5.290	0.965	0.051	10.206	130	1.327	54.60	65.52
10	0.0081	5	6.60	1.064	5.320	1.005	0.053	10.692	130	1.390	57.20	68.64

Anexo 13. Diseño factorial de 2<sup>3</sup>

N	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Y	
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	74.88	
2	1	-1	-1	-1	1	1	1	67.60	
3	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	67.60	
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	70.72	
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	65.40	
6	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	52.00	
7	-1	1	1	-1	1	1	-1	66.56	
8	1	1	1	1	1	1	1	90.56	69.42
9	0	0	0	0	0	0	0	65.52	
9	0	0	0	0	0	0	0	68.64	
9	0	0	0	0	0	0	0	64.48	66.21

N	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub> Z <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub> Z <sub>3</sub>	Z <sub>2</sub> Z <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub> Z <sub>2</sub> Z <sub>3</sub>	Y	
1	15.0	36.0	3.0	540.0	108.0	108.0	1620.0	74.88	
2	18.0	36.0	3.0	648.0	108.0	108.0	1944.0	67.60	
3	15.0	50.0	3.0	750.0	150.0	150.0	2250.0	67.60	
4	18.0	50.0	3.0	900.0	150.0	150.0	2700.0	70.72	
5	15.0	36.0	5.0	540.0	180.0	180.0	2700.0	65.40	
6	18.0	36.0	5.0	648.0	180.0	180.0	3240.0	52.00	
7	15.0	50.0	5.0	750.0	250.0	250.0	3750.0	66.56	
8	18.0	50.0	5.0	900.0	250.0	250.0	4500.0	90.56	69.42
9	16.5	43.0	4.0	709.5	172.0	172.0	2838.0	65.52	
9	16.5	43.0	4.0	709.5	172.0	172.0	2838.0	68.64	
9	16.5	43.0	4.0	709.5	172.0	172.0	2838.0	64.48	66.21

PROME.	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>
(-)	68.610	64.970	70.200	63.440	67.570	63.930	66.040
(+)	70.220	73.860	68.630	75.390	71.260	74.900	72.790
EFFECTO Δ	1.610	8.890	-1.570	11.950	3.690	10.970	6.750
Δ/2	0.805	4.445	-0.785	5.975	1.845	5.485	3.375

Y=	69.42	0.805	X <sub>1</sub>	4.4450	X <sub>2</sub>	-0.7850	X <sub>3</sub>	5.975	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1.8450	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1.845	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	3.375	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>
----	-------	-------	----------------	--------	----------------	---------	----------------	-------	-------------------------------	--------	-------------------------------	-------	-------------------------------	-------	--

Anexo 14. Análisis de varianza de Significancia

Fuente	SS	g.l	MS	Fo	F0 > F(α;glT;glE)	valor-p	valor-p ≤ α
SSX1=	5.18	1	5.18	1.11	No Significativo	0.4033	No Significativo
SSX2=	158.06	1	158.06	33.72	Significativo	0.0284	Significativo
SSX3=	4.93	1	4.93	1.05	No Significativo	0.4129	No Significativo
SSX1X2=	285.61	1	285.61	60.94	Significativo	0.0160	Significativo
SSX1X3=	27.23	1	27.23	5.81	No Significativo	0.1375	No Significativo
SSX2X3=	240.68	1	240.68	51.35	Significativo	0.0189	Significativo
SSX1X2X3=	91.12	1	91.12	19.44	Significativo	0.0478	Significativo
Curvatura=	22.37	1	22.37	4.77		0.1606	
Error=	9.37	2	4.69				
Total=	844.56	10					

$$F(a;gl_T;gl_E)=F(0.05;10;2)= 19.40$$

Y=	69.415	4.445	X <sub>2</sub>	5.975	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1.845	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	3.375	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>
----	--------	-------	----------------	-------	-------------------------------	-------	-------------------------------	-------	--

N	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Y <sub>r</sub>	Y	(Y <sub>r</sub> -Y)	(Y <sub>r</sub> -Y) <sup>2</sup>
1	-1	1	1	-1	74.88	69.42	5.46	29.866
2	-1	-1	1	1	67.60	64.22	3.39	11.458
3	1	-1	-1	1	67.60	69.42	-1.82	3.294
4	1	1	-1	-1	70.72	74.62	-3.90	15.171
5	-1	1	-1	1	65.40	72.48	-7.07	50.056
6	-1	-1	-1	-1	52.00	53.78	-1.78	3.151
7	1	-1	1	-1	66.56	66.36	0.20	0.042
8	1	1	1	1	90.56	85.06	5.51	30.305
								143.343

$$SSMR= 23.8905$$

$$F_o= 5.0972562 \quad 5.097256 < 19.25$$

$$F(0.05;5;2)= 19.25 \quad \text{Significativo}$$

Anexo 15. Decodificación de la ecuación

	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>
Nivel Inferior (-)	36.000	540.000	108.000	1620.000
Nivel Superior (+)	50.000	900.000	250.000	4500.000
Centro de diseño Z°	43.000	720.000	179.000	3060.000
Radio del diseño DZ	7.000	180.000	71.000	1440.000
Relación E	6.143	4.000	2.521	2.125



$$a_1 = 6.387$$

$$a_2 = 0.724$$

$$a_4 = 1.494$$

$$a_6 = 0.732$$


$$a_7 = 1.588$$

$$Y = 6.387 + 0.7236 Z_2 + 1.494 Z_1 Z_2 + 0.732 Z_2 Z_3 + 1.588 Z_1 Z_2 Z_3$$

*Anexo 16. Proyección de la recuperación*

<b>N</b>	<b>Z<sub>2</sub></b>	<b>Z<sub>1</sub>Z<sub>2</sub></b>	<b>Z<sub>2</sub>Z<sub>3</sub></b>	<b>Z<sub>1</sub>Z<sub>2</sub>Z<sub>3</sub></b>	<b>Rec.</b>
1	36	540	108	1620	34.91
2	36	648	108	1944	41.67
3	50	750	150	2250	48.46
4	50	900	150	2700	57.85
5	36	540	180	2700	52.59
6	36	648	180	3240	62.78
7	50	750	250	3750	73.02
8	50	900	250	4500	87.17

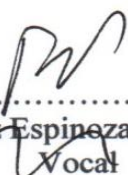
**“LIXIVIACION DE MINERALES OXIDADOS MEDIANTE DISEÑO FACTORIAL; PARA LA EXTRACCION DE COBRE A NIVEL LABORATORIO”**



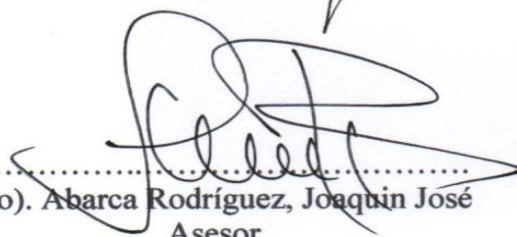
Dr. Salcedo Meza, Máximo Tomas  
Presidente



M(o). Ipanaque Roña, Juan Manuel  
Secretario



M(o). Rodríguez Espinoza, Ronald Fernando  
Vocal



M(o). Abarca Rodríguez, Joaquin José  
Asesor