

Universidad Nacional
“José Faustino Sánchez Carrión”



“Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica”

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

TESIS

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

**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

Caratula.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
PENSAMIENTO	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURA	viii
ÍNDICE DE TABLA.....	ix
ÍNDICE DE ANEXO.....	x
GLOSARIO DE ABREVIATURA.....	xi
RESUMEN.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2.1. Problema General.....	16
1.2.2. Problema Específico.....	16
1.3. OBJETIVOS.....	17
1.3.1. Objetivos Generales.....	17
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4.1. Justificación Práctica.....	17
1.4.2. Justificación Metodológica.....	18
1.4.3. Justificación Técnica.....	18
1.4.4. Justificación Social.....	18
1.4.5. Justificación Económica.....	18
1.5. DELIMITACIÓN.....	19
1.5.1. Delimitación Territorial.....	19
1.5.2. Delimitación Tiempo y Espacio.....	19
1.5.3. Delimitación de Recursos.....	19
1.6. VIABILIDAD DE ESTUDIO.....	19
CAPÍTULO II.....	21

MARCO TEÓRICO.....	21
2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
2.2.1. Investigación Relacionada con el Estudio.....	21
2.2.2. Otras Publicaciones.....	28
2.3. BASES TEÓRICAS.....	30
2.3.1. Molienda.....	30
2.3.2. Minerales de Cobre.....	32
2.3.3. Disolución de Cobre desde Minerales de Oxidado.....	33
2.3.4. Agentes Lixiviantes.....	33
2.3.5. Característica en la Lixiviación de Minerales de Cobre.....	40
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	43
2.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	46
2.5.1. Hipótesis General.....	46
2.5.2. Hipótesis Específicas.....	46
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	47
CAPÍTULO III.....	48
METODOLOGÍA.....	48
3.1. DISEÑO METODOLÓGICO.....	48
3.1.1. Tipo de Investigación.....	48
3.1.2. Método de Investigación.....	48
3.1.3. Estrategias o Procedimientos de Contrastación de Hipótesis o Cumplimiento de Objetivos Técnicos.....	49
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	49
3.2.1. Población.....	49
3.2.2. Muestra.....	49
3.3. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	50
3.3.1. Técnicas.....	50
3.3.2. Instrumentos.....	51
3.4. Técnica de procesamiento de la Información.....	51
3.5. Aspectos Éticos.....	51
CAPÍTULO IV.....	52
RESULTADOS.....	52
4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
4.1.1. Condiciones de la investigación.....	52

4.1.2.	Diseño factorial de para las pruebas experimentales	53
4.2.	RESULTADOS OPTENIDOS DE LA INVESTIGACIÓN.	54
4.3.	RESULTADOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS DE LA INVESTIGACIÓN.	55
4.3.1.	Procesamiento de los datos obtenidos del experimento realizado.	55
4.3.2.	Análisis de las regresiones.....	58
4.3.3.	Análisis de las integraciones y efectos.....	60
CAPITULO V		63
DISCUSIÓN CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN.....		63
5.1.	DISCUSIÓN.	63
5.2.	CONCLUSIONES.....	67
5.3.	RECOMENDACIONES.	69
BIBLIOGRAFÍA		70
ANEXOS		72

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Diagramas de E-pH para os sistemas Cu-S-H ₂ O e Cu-Cl-H ₂ O a 25°C.....	38
Figura 2. Diagrama de Pareto de efecto estandarizados.....	57
Figura 3.Efecto en la recuperación.....	60
Figura 4. Interacción de las componentes en la extracción de cobre	61
Figura 5. Gráfico de cubos de la recuperación de cobre	61

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Principales minerales comerciales de cobre	32
Tabla 2. Variables.....	47
Tabla 3. Datos naturales y codificadas para las pruebas experimentales	53
Tabla 4. Diseño para el experimento realizado	53
Tabla 5.Resultado obtenido de las pruebas experimentales	54
Tabla 6.Análisis de Varianza.....	55
Tabla 7. Efectos mediante el Coeficiente codificado	56
Tabla 8.Descodificación de ecuación de la extracción de cobre	58
Tabla 9. Evaluación de la significancia para la extracción de cobre.....	59
Tabla 10. Variables significativas	59
Tabla 11. Efectos de las variables significativas	59
Tabla 12. Recuperación de cobre proyectada.....	62
Tabla 13. Matriz de consistencia general	73
Tabla 14. Matriz de consistencia específico.....	74

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. Localización de la unjpsc	75
Anexo 2. Localización del CIyDTM	75
Anexo 3. Mapa Provincia de Huaura	75
Anexo 4. Mapa Departamento Lima	75
Anexo 5. Mapa del Perú	75
<i>Anexo 6. Molienda de minerales en el tiempo</i>	76
Anexo 7. Liberación de mineral pasante -200m.....	76
Anexo 8. Moliendabilidad	77
Anexo 9. Densidad del mineral	77
Anexo 10. Condiciones de trabajo.....	77
Anexo 11. Consumo de reactivos en las pruebas	77
Anexo 12. Análisis de la mineral y solución de las pruebas experimentales	78
Anexo 13. Diseño factorial de 2 ³	78
Anexo 14. Análisis de varianza de Significancia	79
Anexo 15. Decodificación de la ecuación	79
Anexo 16. Proyección de la recuperación	80

GLOSARIO DE ABREVIATURA

#	:	Numero
%	:	Porcentaje
%S	:	Porcentaje de solido
&	:	y
μm	:	Micras
Cu	:	Cobre
CuSO_4	:	Sulfato de cobre
g	:	Gramos
g/L	:	Gramos por litros
kg	:	Kilogramos
kg/TM	:	Kilo gramos por toneladas métricas.
M	:	Molaridad
m^3/TM	:	Metros cúbicos por toneladas métricas
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 acuerdo su naturaleza experimental básica, de acuerdo a su propósito o utilización aplicada, 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 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%.

Una recuperación de acuerdo la ecuación predicha con los componentes de significancia se puede obtener una recuperación de 87.17%. Con ello se cumple con los objetivos planteados en el presente trabajo de 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 by factorial design, for copper extraction at the laboratory level. The methodology used in the investigation with respect to the type of research according to its basic experimental nature, according to its purpose or applied application, for its research approach because of its characteristic cause effect, for its probatory process and for its benefits generating results.

For this purpose, oxidized copper ore is obtained, 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 sodium of 35 g / L and 50 g / L, 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 has a positive effect, is the sodium chloride, in the extraction, in the interaction of hydrogen peroxide / sodium chloride and sodium chloride and time, and the interaction of hydrogen peroxide / sodium chloride / time, for a 95% reliability, with a standard variation of 2.16493 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%. With this, the objectives set out in this research work are met.

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, mediante la aplicación de la tecnología actual para extracción y refinación de cobre, a fin de garantizar la producción de cobre con grado comercial. La crisis en la minería en América del sur, particularmente en los países de Perú, Bolivia, Chile, etc, durante el periodo de los años 80, fue por efecto de la caída de la cotización de los principales minerales de exportación y factor determinante para el cierre de muchas minas (Cortez, 2012).

Hoy la minería en Perú y el mundo, presenta un nuevo panorama, ante el alza de los minerales en el mercado internacional por la demanda insatisfecha en el mercado de los países industrializados. Por ello, en la actualidad la minería se hace importante para la economía del país por ser una de las actividades generadora de empleos y recursos económicos para el estado, pese a ser una industria de alto riesgo y estar sujeto a factores internos y externos.

Por eso es necesario darle valor agregado a nuestra materia prima que se encuentra disperso en la naturaleza, siendo necesario someter los minerales extraídos a procesos productivos con la finalidad de obtener un metal puro.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El Perú es un país que cuenta con recursos y específicamente con los minerales y es un país que se dedica en la concentración de minerales, a medida que el tiempo pasa las reservas de alto valor y sulfuros se va agotando, quedando minerales sulfurados y óxidos diseminados y de baja ley por lo que es necesario buscar alternativas, para darle un valor agregado a nuestros recursos.

Los minerales oxidados se pueden tratar con soluciones extraentes como sales, ácidos y bases, por ello los minerales de cobre oxidados que se encuentra en la naturaleza es necesario su tratamiento para darle un valor agregado y aprovechar en beneficio de la población peruana para satisfacer ciertas necesidades prioritaria como la educación, salud, vivienda, etc., mediante la lixiviación que es el método más adecuado y de menor impacto ambiental con la que se puede darle un valor agregado.

En virtud a los expuesto anteriormente se plantea el problema como se describe a continuación en el planteamiento del problema.

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.

- ¿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?
- ¿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?
- ¿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?

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 minerales oxidados, tendrá una influencia positiva en la extracción de cobre.
- 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.
- Evaluar 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.

1.4. JUSTIFICACIÓN.

1.4.1. Justificación Práctica.

Al llevar a cabo esta investigación se podrá entender que el proceso es más factible en la lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial, para la extracción de cobre nivel laboratorio, nos permitirá recuperar cobres económicamente rentables.

1.4.2. Justificación Metodológica.

Los Métodos, procedimientos y técnicas e instrumentos empelados en la investigación, una vez demostrada su validez y confiabilidad podrán ser utilizadas en otros trabajos de investigación.

1.4.3. Justificación Técnica

El presente trabajo de proceso lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial, para la extracción de cobre nivel laboratorio, nos permitirá elevar una recuperación óptima.

1.4.4. Justificación Social.

Dentro de la investigación se mostrará que la actividad que se realiza fomentará trabajadores de la zona de influencia en el centro poblado rosario distrito de Barranca en un futuro.

1.4.5. Justificación Económica.

En el proceso de lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial, para la extracción de cobre nivel laboratorio, permitirá el aumento de ingresos económicos de los futuros trabajadores de la zona de influencia y gobierno central.

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 investigación se realizará en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Materiales, durante el periodo de 2018.

1.5.3. Delimitación de Recursos.

Falta de disponibilidad de recursos económicos para llevar a cabo el trabajo de investigación.

1.6. VIABILIDAD DE ESTUDIO.

La realización de la presente investigación es viable, por cuanto se tiene los conocimientos teóricos, los medios técnicos y los recursos económicos necesarios. Así mismo, está asegurado el acceso a lugares de las fuentes de la información requeridas; también se cuenta con la autorización correspondiente del jefe del Centro de Investigación

y Desarrollo Tecnológico de Materiales y parte del decano de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, a efectos de llevar a cabo el correspondiente trabajo de campo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

2.2.1. Investigación Relacionada con el Estudio.

2.2.1.1. Tesis Internacionales.

Sobre las tesis internacionales respecto al trabajo, 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 sobre, “Consumo ácido Sulfúrico y cinética de lixiviación de un mineral oxidado de cobre” (Guiachetti, 2011), llego a la siguiente conclusión:

Se logró caracterizar de forma experimental la cinética de los procesos involucrados en la lixiviación acida de un mineral oxidado de cobre, cuya especie principal es la cuprita (Cu_2O). 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, para el rango de 2 – 20 ($\frac{g}{l}$). Para la velocidad de disolución de cobre se esperaba que exista una concentración inferior a 5 ($\frac{g}{l}$) sobre la cual no habría un aumento en la velocidad de disolución.

Se estableció a través del ajuste de parámetros y con evidencia física cual es el mecanismo que controla las dos cinéticas estudiadas, es decir, el consumo de ácido

sulfúrico y disolución de cobre que tienen como etapa controlante la difusión de protones a través de la ganga porosa para todas las concentraciones de ácidos utilizadas en las pruebas experimentales. De manera, que este modelo fenomenológico que explica de mejor forma los mecanismos de reacción en los procesos de lixiviación para el mineral y tamaño de partícula utilizado.

El parámetro característico de este modelo que es el valor del tiempo de reacción completa τ_D , está dado por expresión: $\tau_D [h] = 52.549 / ([H_2SO_4] [g/l])$, para el caso del cinética de consumo de ácido por la extracción: $\tau_D [h] = 19.503 / ([H_2SO_4][g/l])$, para el caso de cinética de lixiviación de cobre.

A diferencia de otros minerales oxidados de cobre, la cuprita necesita de un agente oxidante como el férrico para su disolución completa. El férrico se produce por la lixiviación de especies de ganga como la hematita (Fe_2O_3), y el aumento de la acidez gatilla un aumento de la solubilización de fierro, provocando a su vez aumento en la velocidad de disolución de cobre. Este mecanismo impide que en este caso se puede controlar el consumo de ácido durante la lixiviación de este mineral sin afectar la disolución de cobre.

El ajuste cinético realizado representa en gran parte la variabilidad de los datos experimentales, obteniéndose un mínimo de 94% del comportamiento de las cinéticas explicado por el modelo del núcleo sin reaccionar con control difusional. Dada la generalidad de este modelo, pueden presentarse diferencias entre los valores propuestos por el ajuste y la cinética obtenida experimentalmente debido a diversos factores. Entre ellos pueden nombrarse otros fenómenos no incorporados en el modelo o la influencia de los errores experimentales asociados a las metodologías para obtener los datos.

Un estudio cinético, como el que se realizó en este trabajo, es de vital importancia en la caracterización de un mineral, ya que brinda información relevante sobre el comportamiento de este en un proceso de industrial. En este caso, concluir la necesidad de un agente oxidante como el férrico para la lixiviación ayuda a diseñar de mejor forma soluciones que intervienen en la ruta hidrometalurgia de la producción de cobre, disminuyendo el consumo de ácido sulfúrico y aumentando la disolución de cobre, es decir, mejorando la economía de todo el proceso.

En su investigación sobre, “Diseño experimental del proceso de lixiviación de un mineral de malaquita” (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 ácido.

La concentración de ácido de menos de 1.25 mol/L^{-1} 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.

En la lixiviación se encontró que consta de dos etapas, una inicial, muy rápida en la que la recuperación de cobre fue considerablemente alta en los primeros 15 minutos y una segunda etapa en la que la disolución ocurrirá más lenta hasta que a los 20 minutos se obtuvo la máxima recuperación siempre y cuando hubiera un movimiento en las partículas del mineral. Los parámetros más importantes que afectaron a la lixiviación de la malaquita fueron: el tiempo, la concentración de ácido, la temperatura del medio, la relación sólido - líquido y el tamaño de partícula para las tres diferentes pruebas de lixiviación.

Con el ultrasonido se vio mejorada la lixiviación ya que conquista en una mejora en la velocidad de reacción en la lixiviación reactiva de malaquita con distintos efectos,

dependiendo de las condiciones experimentales. En sistemas reacción que siguen un mecanismo iónico es mejorado por los defectos en la cavitación del sistema. Estas mejoras son el resultado de los valores de la concentración de cobre, ya que se incrementa el área de la superficie resultante en la degradación de las partículas. Por lo tanto, se presume que la influencia de la baja potencia acústica es puramente limitada a efectos físicos en el mineral.

En este trabajo se puede apreciar la aplicación del diseño de experimentos, o dicho de otra manera, el planear paso a paso las operaciones para así obtener un resultado satisfactorio al problema planteado. Para el diseño de un experimento se debe tener en cuenta los efectos y las características del problema a resolver. Como se puede apreciar un diseño debe de ser el más sencillo posible y así poder ahorrar tiempo, inversión y personal, y no por eso se debe de olvidar considerar los principios básicos del diseño.

Los diseños factoriales completos comprenden los experimentos óptimos para estudiar que variables influyen en el sistema. Con solo ocho experimentos se ha determinado los efectos principales de tres factores, y sus interacciones.

Este diseño propuesto permitió la evaluación de los factores más importantes en la recuperación de cobre de un mineral de malaquita.

Se determina la concentración de ácido y la relación sólido – líquido tienen un efecto positivo en los experimentos, mientras que la temperatura tanto sobre la recuperación de cobre. Por otro lado, la interacción entre las variables no son muy eficaces en la recuperación de cobre tal grado de tener influencia negativa en el proceso de lixiviación. Se pudo observar que mientras hubiera una concentración de ácido alta permitirá el máximo porcentaje de extracción y en caso contrario, al haber una concentración baja el porcentaje de extracción es mínimo ya que no termina de

reaccionar el ácido con el mineral, inclusive con las demás variables en su nivel más alto.

Sobre la, “Optimización de la extracción secuencial aplicada a la interpretación geoquímica de sulfuros en pórfidos cupríferos” (Medina, 2015), concluye:

La lixiviación utilizando H_2O_2 al 35% bajo las condiciones del procedimiento de extracción secuencial de Dold (2003a) no es selectiva para disolver calcosina en muestras con mineralogías de sulfuro primarias y secundarias, ya que es capaz de disolver importantes cantidades de calcopirita y pirita, y no de calcosina. Adicionalmente, este proceso de extracción comprende una reacción violenta, altamente exotérmica que libera gases potencialmente tóxicos, dificultando manipulación técnica de la muestra.

La lixiviación en medio ácido (HCL) utilizando H_2O_2 a concentraciones de 0,1 – 0,5 M disuelve siempre mayores cantidades de calcosinas comparado con calcopirita y pirita de acuerdo a la cuantificación de metales solubilizados. Sin embargo, bajo las condiciones estudiadas en el presente trabajo, no se obtuvo una disolución completa de calcosina, limitando la aplicabilidad de estas condiciones de interpretación mineralógica de la muestra en base de solubilidad de cobre y hierro.

La lixiviación en medio cianurado mostro ser selectiva en la disolución de calcosina. 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. Es decir, la disolución de calcosina con esta técnica es una función de concentración de cianuro de cantidad de minerales susceptibles de disolverse de medio cianurado.

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.

En su trabajo sobre, “Influencia en el tipo y concentración del agente lixivante en la extracción de cobre mediante lixiviación por agitación de un mineral tipo crisicola” (Cordova & Campos, 2016) , concluyeron:

La concentración de agente lixivante tiene un efecto significativo en la extracción de cobre, y de acuerdo a los resultados, la extracción de cobre incrementa el aumento de la concentración de agente lixivante.

Para el rango de concentración de agente lixivante evaluado, 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 menos significativo que en el caso de la concentración de agente lixivante.

En la “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” (Lingan & Lucano, 2014), concluyeron:

El pH influye en la extracción de cobre usando ácido cítrico siendo el óptimo pH igual a 3, del mismo modo sucede con la concentración del ácido cítrico, siendo la concentración 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 de Cu de la crisocola del distrito Salpo – La Libertad.

En su trabajo de investigación sobre, “Lixiviación de minerales mixtos de cobre de la U.M. Tacaza – Ciensa con agentes clorurantes en medio ácido” (Chambi, 2017), concluye:

Las pruebas de lixiviación con cloro en medio ácido realizadas con minerales complejos demuestran tener un gasto aceptable usando 93.87 kg/TM de ácido 5.02 kg/TM de cloro.

Es notorio la diferencia de recuperación de las muestras de minerales almacenados respecto de las muestras de mineral tajo (% de recuperación almacenados = 81.4 y % de recuperación de óxidos de tajo = 31.9) esto debido al contenido de finos y arcillas que impiden la percolación de la solución.

Se recomienda realizar los aglomerados de los datos obtenidos según el modelo experimental que son b: % = 50, % = 50, Kg/TM = 65, $D = 0.09m^3/TM$.

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.

Para los minerales complejos de cobre de la empresa minera CIEMSA, este proceso representa una opción técnica viable para poder procesar minerales de óxidos almacenados por si recuperación 81.4% también es posible tratar los minerales de tajo cambiando la granulometría.

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.

En su artículo sobre, “Evaluación del uso de peróxido de hidrogeno y surfactante catiónico ctab en la lixiviación de un concentrado de cobre en medio ácido” (Vargas, Bustamante, & Navarro, 2017), concluyen:

El concentrado de cobre utilizado es calcopiritico, de alta ley de cobre y de granulometría.

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 2.8 M. Esta variable resulta la más importante si se desea aumentar la recuperación.

La recuperación de cobre aumenta al aumentar la concentración de ácido sulfúrico, alcanzando un máximo de un 36% a 2.5 M.

La recuperación de cobre aumenta al disminuir el tamaño de partícula.

La recuperación de cobre aumenta al disminuir la razón S/L, alcanzando un máximo de un 38% con una razón de 1/50.

Las mejores condiciones para la lixiviación del concentrado en medio ácido con peróxido de hidrogeno fueron: concentración de peróxido de hidrogeno de 2,8 M, concentración de ácido sulfúrico de 2,5 M, tamaño de partícula menor a $38 \mu\text{m}$ y razón S/L de 1/50, alcanzando una recuperación de un 44%.

La adición de CTAB aumenta considerablemente la recuperación de cobre, alcanzando un óptimo de un 65% a una concentración de CTAB de 4,108 Mm, por sobre este valor la recuperación de cobre disminuye.

En artículo sobre, “Identificación de compuestos formados durante el pre-tratamiento de la calcopirita con $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{SO}_4$ ” (Ipinza, Ibáñez, Flaquer, & Engdahl, 2017).

Concluyen:

El pre-tratamiento de calcopirita y el reposo, resultan fundamentales para la disolución de esta especie mineral en un medio ácido, lográndose con un reposo de 20 h, una extracción de cobre 80% después de 25 h de lixiviación.

La morfología de la capa pasivante en presencia de iones está asociada a estructura cristalinas más porosas, que facilitan el transporte de reactivos, debido al ión sólido y un potencial redox por debajo de los 500 mV.

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. La porosidad de este sulfato de sodio se ve favorecida por la presencia de pirita.

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.

2.3. BASES TEÓRICAS.

2.3.1. Molienda.

Una de las operaciones más importantes en el procesamiento de minerales es la reducción de tamaño de las materias primas. Este proceso, generalmente se realiza en un circuito cerrado compuesto por un molino y un clasificador. 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. Si bien es cierto que existen modelos simples basados en el control por agrupamiento de pares de variables controladas como la distribución de tamaño de partícula, la carga circulante y la tasa de alimentación al clasificador. De otro lado, la clasificación como proceso que además de determinar la distribución de tamaño de partícula del producto controla la carga circulante del circuito es aún más compleja de controlar debido a la presencia de esta mezcla de minerales que poseen

diferencias en sus características químicas y morfológicas, y por lo tanto exhiben un comportamiento dinámico también diferente lo cual genera un incremento de variabilidad operacional, lo que conlleva a la generación de una mayor cantidad de partículas finas producto de la remolienda. Este panorama indica los retos existentes en el análisis de las variables determinantes en la operación de circuitos húmedos de molienda-clasificación cuando se opera con suspensiones polimineraleas como las que actualmente se utilizan en la industria minera nacional Chica Osorio (2009).

En el proceso de molienda partículas de 5 a 250 mm son reducidas en tamaño a 10 - 300 micrones, aproximadamente, dependiendo del tipo de operación que se realice.

El propósito de la operación de molienda es ejercer un control estrecho en el tamaño del producto y, por esta razón frecuentemente se dice que una molienda correcta es la clave de una buena recuperación de la especie útil.

Por supuesto, una sub molienda de la mena resultará en un producto que es demasiado grueso, con un grado de liberación demasiado bajo para separación económica obteniéndose una recuperación y una razón de enriquecimiento bajo en la etapa de concentración. Sobre molienda innecesaria reduce el tamaño de partícula del constituyente mayoritario (generalmente la ganga) y puede reducir el tamaño de partícula del componente minoritario (generalmente el mineral valioso) bajo el tamaño requerido para la separación más eficiente.

Además, se pierde mucha energía, que es cara, en el proceso. Es importante destacar que la molienda es la operación más intensiva en energía del procesamiento del mineral.

2.3.2. Minerales de Cobre.

El cobre se combina con elementos para formar una gran variedad de minerales. De éstos se han identificado más de 150 especies que contienen cobre, pero sólo un pequeño número de estos, siendo la calcopirita (CuFeS_2) el más importante, son de importancia económica (Mark, Schlesinger, King, Sole, & Davenport, 2011). En la tabla se presentan los minerales más importantes desde el punto de vista económico.

Tabla 1: Principales minerales comerciales de cobre

Mineralógica	Composición	% Cu
Cobre nativo	Cu°	100
Malaquita	$\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$ o $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$	57.5
Azurita	$2\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$ o $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	55.3
Chalcantita	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	25.5
Brochantita	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ o $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$	56.2
Antlerita	$\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$ o $\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4$	53.7
Atacamita	$\text{CuO} \cdot \text{CuCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ o $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$	59.5
Crisocola	$\text{CuO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ o $\text{CuOSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	36.2
Diaptasa	$\text{CuO} \cdot \text{SiO}_2(\text{OH})_2$	40.3
Neotocita	$(\text{Cu}_i - \text{Fe}_j - \text{Mn}_k)\text{SiO}_3$	Variable
Cuprita	Cu_2O	88.8
Tenorita	CuO	79.9
Pitch/Limonita	$(\text{Fe}-\text{Cu})\text{O}_2$	Variable
Delafosita	FeCuO_2	42.0
Copper wad	CuMnO_2Fe	Variable
Copper Pitch	$\text{CuMn}_8\text{FeSiO}_2$	Variable
Calcosina	Cu_2S	79.9
Digenita	Cu_9S_5	78.1
Djurleita	$\text{Cu}_{1.98}\text{S}$	Variable
Covelina	CuS	66.5
Cobre nativo	Cu°	100
Calcopirita	CuFeS_2	34.6
Bornita	Cu_5FeS_4	63.3
Enargita	Cu_3AsS_4	48.5
Tenantita	$\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$	51.6
Tetraedrita	$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	45.8

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 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”. 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.

2.3.4. Agentes Lixiviantes.

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. Desde el punto de vista químico los agentes utilizados en la lixiviación del cobre se clasifican en:

A. Ácidos inorgánicos:

- Ácido sulfúrico
- Ácido clorhídrico
- Ácido nítrico

B. Bases:

- Hidróxido de amonio.

C. Agentes oxidantes:

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

D. Agentes a complejantes:

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

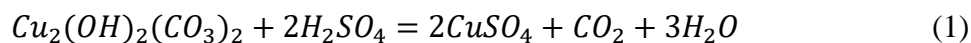
El ácido sulfúrico es el agente lixivante más ampliamente utilizado en la lixiviación del cobre, por las razones de cualidad química, costo de fabricación y disponibilidad. Una fuente de producción de ácido sulfúrico (H_2SO_4), es el SO_2 producido en las fundiciones de cobre lo que permite disminuir la polución y obtener ácido como subproducto a un costo relativamente bajo. El consumo de ácido sulfúrico es un ítem de costo altamente significativo en el proceso extractivo, especialmente en las plantas de mediana y baja capacidad, ya que por cada Kg. de cobre producido se consumen de 2,5-7 Kg. de ácido, (según la mena). El consumo de ácido absorbe de un 20 a 40% del costo de producción unitario. El oxígeno atmosférico y el ión férrico producido por acción bioquímica sobre minerales, son los agentes oxidantes más económicos y empleados en los sistemas lixiviantes oxidantes para el cobre

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

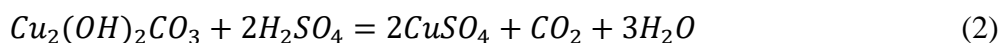
El método hidrometalúrgico de tratamiento del mineral de cobre implica dos etapas: lixiviación, es decir, disolución selectiva de valores metálicos seguida por separación sólido / líquido; y recuperación de los valores metálicos de la solución. La hidrometalurgia del cobre representa alrededor del 10% del cobre en el mundo. Las fuentes oxidadas de cobre son bien conocidas por su facilidad de lixiviación con ácido sulfúrico. Los minerales más importantes que contienen óxido de cobre son azurita [$\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$], malaquita [$\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$], tenorita [CuO], cuprita [Cu_2O], crisocola [$\text{CuSiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$] [$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$]. La mayoría de estos se disuelven fácilmente en ácido sulfúrico diluido (Gupta & Mukherjee, 1990).

Las reacciones de los minerales en la lixiviación con ácido sulfúrico y hierro trivalente, son las siguientes:

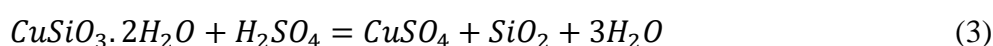
Azurita



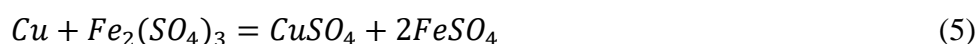
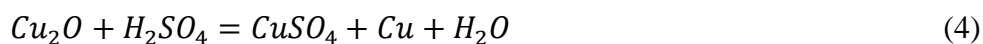
Malaquita



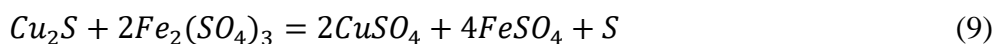
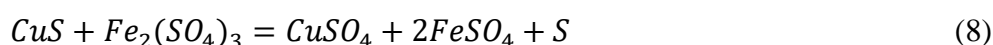
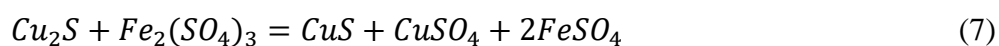
Crisocola



Cuprita



Calcocita



La azurita, la malaquita, la tenorita y la crisocola son totalmente solubles a la temperatura ambiente en las concentraciones de ácido que se acostumbra usar en la lixiviación y en menor tiempo del que dura el ciclo de percolación lixiviación ordinaria.

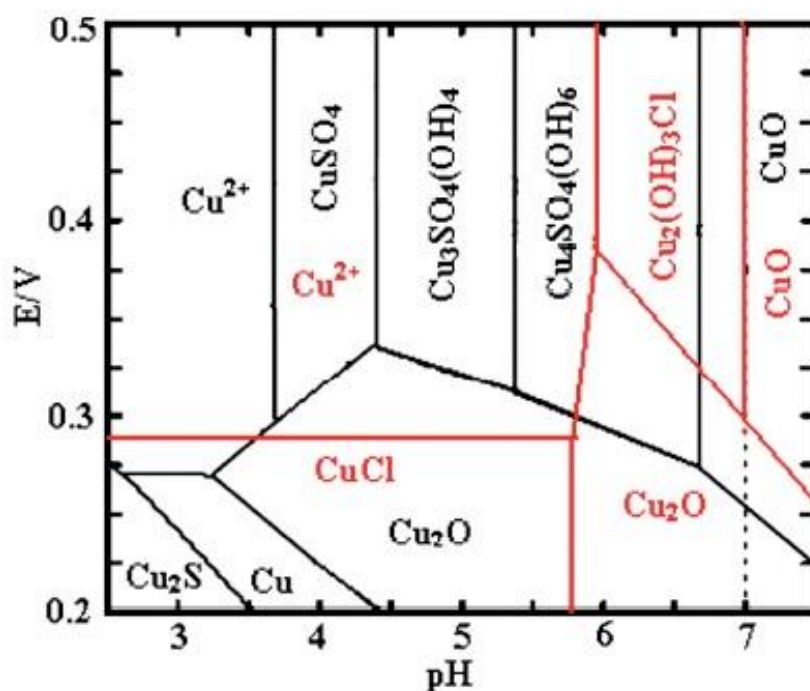
Todas las reacciones anteriores muestran comúnmente que el cobre se lixivía del mineral como sulfato de cobre. Además del cobre, también se lixivian óxidos de hierro

presentes en el mineral. Por lo tanto, es necesario ejercer control sobre la cantidad y la resistencia del ácido que se va a utilizar para la lixiviación para obtener el cobre máximo y la extracción mínima de hierro. El uso de un concentrado de ácido demasiado bajo no es deseable ya que puede conducir a la precipitación de óxidos férricos hidratados que pueden afectar negativamente a la extracción de cobre. Cuando los minerales de óxido de cobre son lixiviados en ausencia de sulfuro de cobre o sulfuro de hierro, se ha encontrado que el requerimiento de H_2SO_4 es aproximadamente cinco veces el peso del cobre disuelto.

2.3.4.2. Diagrama de Pourbaix.

El diagrama de Pourbaix, sobre la base de varios estudios de caracterización de los productos de corrosión, resume las diferentes condiciones termodinámicas en función del pH para los sistemas Cu-H₂O-S e Cu- H₂O-Cl. Su análisis hace hincapié en que broncatite, tenorita (CuO) y atacamite sólo son compatibles en condiciones oxidantes, mientras que cuprita (Cu₂O), calcosite (Cu₂S) y nantoquite (CuCl) que están en condiciones reductoras típicas hacinamiento, a menos de condiciones redox impuestas (Martins, Martins, & Ferreira, 2010).

Figura 1. Diagramas de E-pH para los sistemas Cu-S-H₂O e Cu-Cl-H₂O a 25°C.



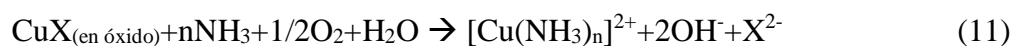
2.3.4.3. Lixiviación de Minerales Oxidados de cobre en Medio Amoniacal

La presencia de una ganga calcárea incrementa el consumo de ácido, haciéndolo antieconómico, por lo tanto, se emplean otros reactivos como el amoníaco, en la forma de carbonato e hidróxido de amonio (Esteban & Domic, 2001). Por ejemplo, si el mineral tiene una ganga calcárea y mineralización de azurita, se tiene:

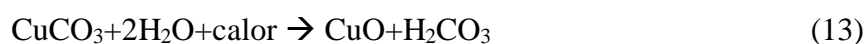


E amoníaco es adicionado como hidróxido de amonio, NH₄OH, o carbonato de amonio, (NH₄)₂CO₃ produciendo amínas de cobre, de fórmula genérica [Cu(NH₃)_n]²⁺, n varía entre 1 y 5 según la disponibilidad de amoníaco.

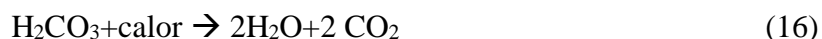
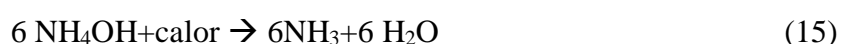
La ecuación general:



X^{2-} corresponde al anión que acompaña al cobre en la especie oxidada del mineral, en condiciones carbonáceas será el anión CO_3^{2-} . El carbonato resultante resulta muy inestable frente al calor y se descompone de acuerdo a las reacciones siguientes:



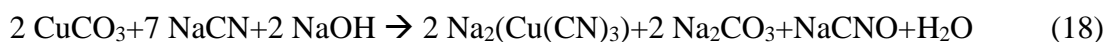
Lo mismo ocurre con los restos del reactante y los productos intermedios de hidróxido de amonio y ácido carbónico, los que así se recuperan, permitiendo recircular el amoníaco al inicio del proceso:



2.3.4.4. Cianuración de minerales Oxidados de Cobre.

Los minerales oxidados de cobre además del cobre nativo y la cuprita son 100% solubles en soluciones de cianuro. Salvo los silicatos del tipo crisocola, dioplasa, copper pitch y neotocita resultan refractarios o se disuelven marginalmente en cianuro (Esteban &

Domic, 2001). Para disolver minerales oxidados y particularmente carbonatos de cobre usando soluciones de cianuro, se procede según las siguientes reacciones:



El cobre puede precipitarse como Cu_2S usando sulfuro de sodio regenerando el cianuro. A pH alcalino y concentraciones altas de cianuro, es estable el $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$, a concentraciones más altas de cianuro y pH mayor que 10, se obtiene $\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$, este último complejo no es fácilmente adsorbido por el carbón activado, por lo que resulta importante promover su existencia preferencial.

2.3.5. Característica en la Lixiviación de Minerales de Cobre.

Los sulfatos básicos de cobre, los cloruros y carbonatos presentan alta velocidad de disolución comparada con la crisocola y la cuprita, al lixiviarlas con ácido. Considerando los óxidos incluidos en la roca matriz formando un fragmento de mena, para la cinética son fundamental las siguientes características:

- Tamaño fragmentos.
- Modo ocurrencia de los minerales útiles.
- Porosidad de los fragmentos.
- Reactividad de la ganga.
- Composiciones minerales útiles.
- Ley de cobre.

- Forma de contactar los fragmentos sólidos con la fase acuosa ácida.
- Concentración de ácido en la solución.

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

La lixiviación de cobre depende de diversos factores que también son comunes en otros metales.

a. Naturaleza del mineral.

La lixiviación depende de las propiedades físicas y químicas del mineral. La naturaleza de la ganga, también influye decisivamente. Si es muy calcárea (mayor de 10%), el consumo de ácido se hace antieconómico, o si es muy silicosa es muy rebelde al ataque del disolvente.

b. Tamaño de Partícula.

El objeto de triturar el mineral antes de la lixiviación, es desde luego facilitar el contacto del disolvente con el mineral, así como la separación posterior del solvente en un tiempo razonable.

La granulometría del mineral está en función de:

- El tipo de mineralización.
- Porosidad del mineral.

- Forma de distribución del mineral.
- Porcentaje de finos producidos en el chancado.

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 muy poroso no necesita ser de grano fino.

c. Concentración del Disolvente.

Es otro factor importante que va a incidir en el costo del proceso. Por lo tanto, es vital encontrar el consumo óptimo de ácido para cada etapa del proceso. Para elegir tanto la concentración de la solución como el disolvente que se va a utilizar, es cuestión de buscar el equilibrio de algunos factores.

d. Tiempo de Contacto.

El tiempo de contacto es un valor muy importante, especialmente cuando se lixivian sulfuros cuya solubilidad es lenta. Generalmente el “tiempo de contacto” se refiere tan solo al tiempo durante el cual el mineral está en contacto con el líquido lixivante recién preparado. Cada etapa lleva un control de tiempo dependiente de las variables que coexisten en el proceso y orientado a lograr la máxima recuperación en el menor tiempo posible.

e. Temperatura del Disolvente.

La temperatura es importante, puesto que la solubilidad de los sulfuros de cobre aumenta considerablemente cuando se aumenta la temperatura del disolvente agregado.

f. pH.

La acidez de la solución es muy importante para los posteriores procesos de recuperación del cobre, el pH de la solución debe estar entre 1,8 y 2 (Ipinza, Ibáñez, Flaquer, & Engdahl, 2017)

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

- a. **Agitación.** Acto o estado de agitar o sacudir mecánicamente (Metalurgia), a veces se consigue incorporando aire comprimido.
- b. **Alta calidad.** Mineral rico. Se refiere a la minería selectiva del mejor mineral existente en un depósito.
- c. **Concentración.** Proceso metalúrgico mediante el cual se elimina la ganga o material estéril obteniéndose el concentrado del mineral respectivo.
- d. **Contenido Metálico.** Cantidad que expresa el peso total del uno ó varios metales en una cantidad determinada de producto. Se calcula multiplicado el tonelaje de un producto por su ley y se expresa en toneladas, onzas, gramos, etc., dependiendo del metal en cuestión.
- e. **Cu.** cobre

- f. **Ganga.** Material inútil que envuelve y acompaña a los minerales. Compuesto por sílice, alúmina, óxidos de calcio y otros materiales durante el proceso de fusión constituyen la escoria, material estéril que se desecha.
- g. **Lama.** Cieno blando y suelto, pero pegajoso con contenidos metálicos mínimos. Igual que Lodo.
- h. **Ley.** Es el parámetro que expresa la calidad de un mineral, un concentrado, o cualquier producto que contenga especies metálicas. Normalmente la ley se expresa en porcentajes cuando se trata de metales básicos Onzas por tonelada corta (oz./TC) o onzas por tonelada métrica (oz./TM) o gr./TM cuando se trata de oro, plata u otro metal precioso.
- i. **Mena.** Se denomina así a toda acumulación de mineral con contenido valioso recuperable por algún proceso metalúrgico.
- j. **Mineral.** Sustancia inorgánica que se halla en la superficie o en las diversas capas de la corteza del globo, y principalmente aquella cuya explotación ofrece interés. Parte útil de una explotación minera.
- k. **Optimización.** Es el proceso de modificación de un sistema para mejorar su eficiencia o también el uso de los recursos disponibles.
- l. **Oxidación.** Reacción química provocada por la exposición al oxígeno modificando la composición química de un mineral.
- m. **Óxido.** Compuesto que resulta de combinar oxígeno generalmente con un metal, o a veces con un metaloide. Capa, de diversos colores, que se forma en la superficie de los metales por oxidación, como el orín.
- n. **pH.** Manera de expresar la concentración de ión hidrógeno con términos de potencias 10, el logaritmo negativo de la concentración de ión hidrógeno.

- o. **Planta.** Instalación industrial. Figura que forman sobre el terreno los cimientos de un edificio o la sección horizontal de las paredes en cada uno de los diferentes pisos.
- p. **Proceso.** Conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial.
- q. **Sulfuros.** Son compuestos que en su estructura tiene enlace de azufre y pertenecen todos los minerales sulfuros como pirita, calcopirita, blenda, galena, etc.

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 peróxido de hidrogeno, cloruro de sodio, y el tiempo en la lixiviación de minerales oxidados, tendrá una influencia positiva en la extracción de cobre.
- 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.
- 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.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Tabla 2. Variables

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

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO.

3.1.1. Tipo de Investigación.

De acuerdo a su naturaleza: Experimental.

De acuerdo al propósito o utilización: Investigación aplicada.

Se realiza investigación experimental y aplicada, en este trabajo ya que se realiza al nivel de laboratorio con un control mínimo para posteriormente aplicar en el proceso de lixiviación al nivel industrial.

3.1.2. Método de Investigación.

Método General : Método comparativo

Método Específico : Método experimental

El método comparativo nos permite que los resultados de las comparaciones metodológicas nos lleven lógicamente encontrar la verdad y el experimental donde se manipula intencionalmente las variables independientes para ver sus efectos en las variables dependientes, bajo el control.

3.1.3. **Estrategias o Procedimientos de Contratación de Hipótesis o Cumplimiento de Objetivos Técnicos.**

Se aplicará las siguientes técnicas de investigación:

- **Técnica de Muestreo.**

Tipo de Muestreo estratificado (incremento).

3.2. **POBLACIÓN Y MUESTRA.**

3.2.1. **Población.**

Estará representado por el mineral de cobre de la mina el rosario, ubicado en el Centro Poblado Rosario, distrito de Barranca Provincia de Barranca Departamento de Lima.

3.2.2. **Muestra.**

La muestra para el trabajo de investigación se extraerá de la mina el rosario, el muestreo se extraerá por el método estratificado por palas aproximadamente 100kg de minerales de cobre, posterior mente se preparará mineral de 1 kilo para las 11 pruebas y 100 gramos para el análisis.

3.3. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.3.1. Técnicas.

a. Observación sistemática Directa.

Se empleará esta técnica para observar el proceso de investigación en el momento que se está desarrollando.

b. Observación Sistemática Indirecta.

Mediante esta técnica se podrá analizar y estudiar los diversos documentos que contiene información sobre el tema de investigación.

c. Observación experimental.

Con esta técnica será posible conocer la forma como se desarrollan las actividades en el desarrollo experimental para extraer datos con el fin de procesar posteriormente.

d. Otras Técnicas.

Técnica de cuestionario.

3.3.2. Instrumentos.

- a. Ficha de observación.
- b. Lista de cotejo.
- c. Escalas libreta de notas.
- d. Filmadora, cámara fotográfica y grabadora.

3.4. Técnica de procesamiento de la Información.

Se usará el análisis estadístico, usando programas de cálculo como Excel, SPSS, minitab 16; para luego mostrar la información, mediante tablas, registros, figuras, promedios, medianas, desviación estándar y otros.

3.5. Aspectos Éticos.

Todo trabajo de investigación debe ser inédito.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

4.1.1. Condiciones de la investigación.

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

Condiciones de trabajo	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Mineral 100 g • Agua 130 mL. • Densidad del mineral 2.5419 g/cm³ • %-200m 80% pasante • Tiempo de molienda 11.19 minutos. • Ley de cabeza total 2.43 % de cobre • Ley de cabeza soluble 2.025% de cobre • pH 0.5 	<p style="text-align: center;">Pruebas experimentales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ácido sulfúrico • Cloruro de sodio • Peróxido de hidrogeno.
materiales y equipos	Para el análisis químico
<ul style="list-style-type: none"> • Agitador – plancha eléctrica • Potenciómetro. • Vasos precipitados. • Pipeta. • Bureta + Soporte universal. • Matraz de erlernmeyer. • Balanza analítica – Balanza electrónica 	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido sulfúrico. • Ácido nítrico. • Ácido clorhídrico • Fluoruro de amonio • Yoduro de potasio • Tiosulfato de sodio • Hidróxido de amonio • Ácido acético • Almidón • Nitrato de plata. • Cobre electrolítico

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 3. Datos naturales y codificadas para las pruebas experimentales

Natural				
Factor	Unidad	Mínimo	Máximo	Central
Z1: H ₂ O ₂	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 ₂ O ₂	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 4. Diseño para el experimento realizado

N°	X₁	X₂	X₃	Z₁	Z₂	Z₃
1	-1	-1	-1	15	36	3
2	1	-1	-1	18	36	3
3	-1	1	-1	15	50	3
4	1	1	-1	18	50	3
5	-1	-1	1	15	36	5
6	1	-1	1	18	36	5
7	-1	1	1	15	50	5
8	1	1	1	18	50	5
9	0	0	0	16.5	43	4
10	0	0	0	16.5	43	4
11	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 H₂O₂ 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 H₂O₂, 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 5. Resultado obtenido de las pruebas experimentales

N°	X ₁	X ₂	X ₃	Ley g/L	R
1	-1	-1	-1	11.66	74.88
2	1	-1	-1	10.53	67.60
3	-1	1	-1	10.53	67.60
4	1	1	-1	11.02	70.72
5	-1	-1	1	10.19	65.40
6	1	-1	1	8.10	52.00
7	-1	1	1	10.37	66.56
8	1	1	1	14.11	90.56
9	0	0	0	10.21	65.52
10	0	0	0	10.69	68.64
11	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 6. 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	33.72	0.028
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	60.94	0.016
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	51.35	0.019
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	19.44	0.048
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.

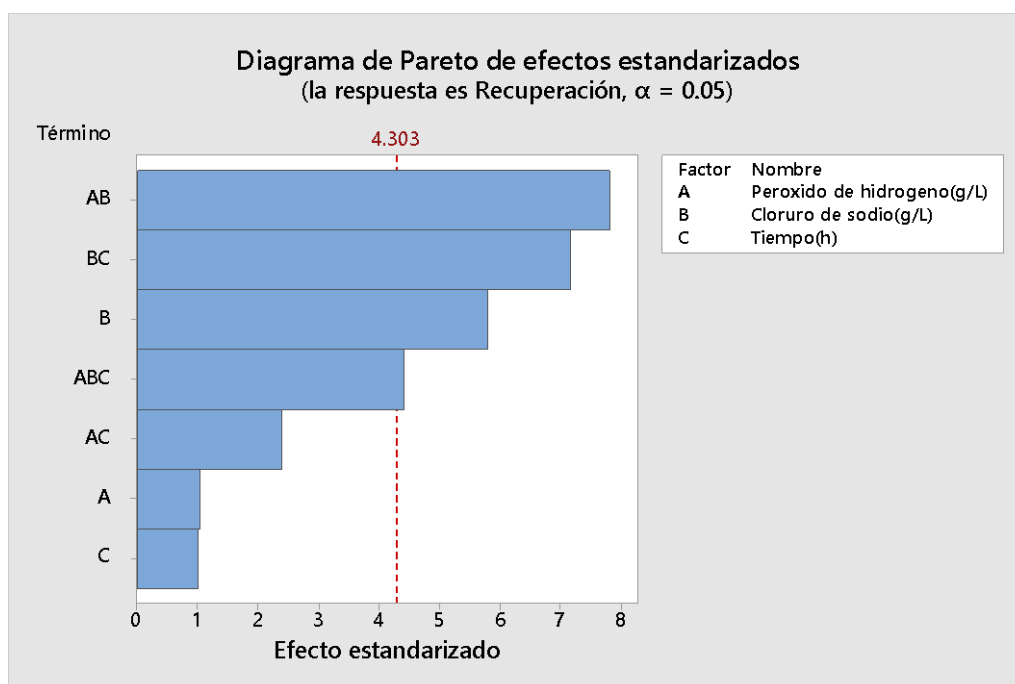
Tabla 7. Efectos mediante el Coeficiente codificado

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 2. Diagrama de Pareto de efecto estandarizados



En función de la figura 2 y tabla 7, 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 8. 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: $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tablas}}$ para que la variable sea significativa.

Tabla 9. Evaluación de la significancia para la extracción de cobre.

Fo calculado					
RESPUESTA	H ₂ O ₂	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 10. Variables significativas

Fo calculado			
RESPUESTA	H ₂ O ₂	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 11. Efectos de las variables significativas

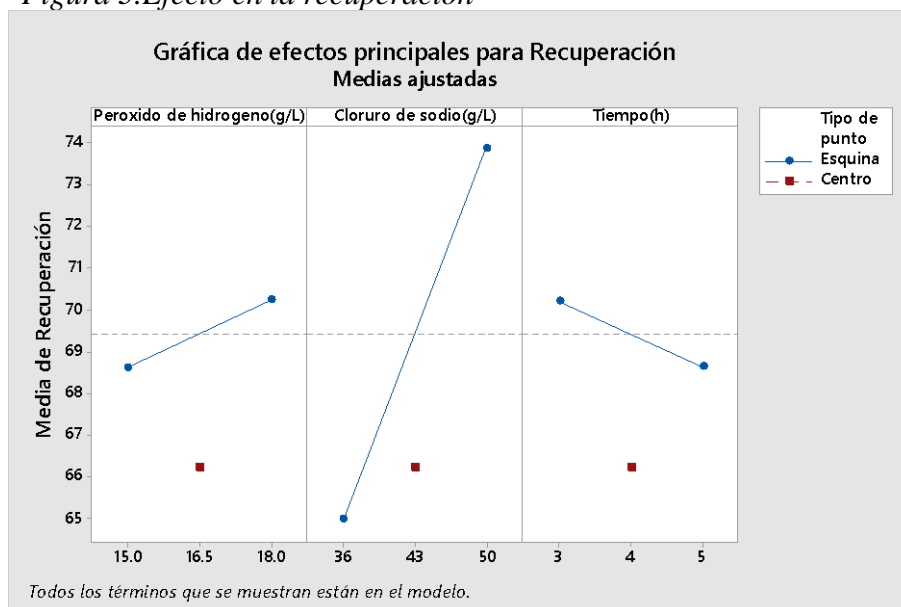
Degradación	H ₂ O ₂	NaCl	Tiempo	H ₂ O ₂ / NaCl)	H ₂ O ₂ / Tiempo	NaCl / Tiempo	H ₂ O ₂ / NaCl /Tiempo
Efecto	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765
Valor t	1.05	5.81	-1.03	7.81	2.41	7.17	4.41

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.

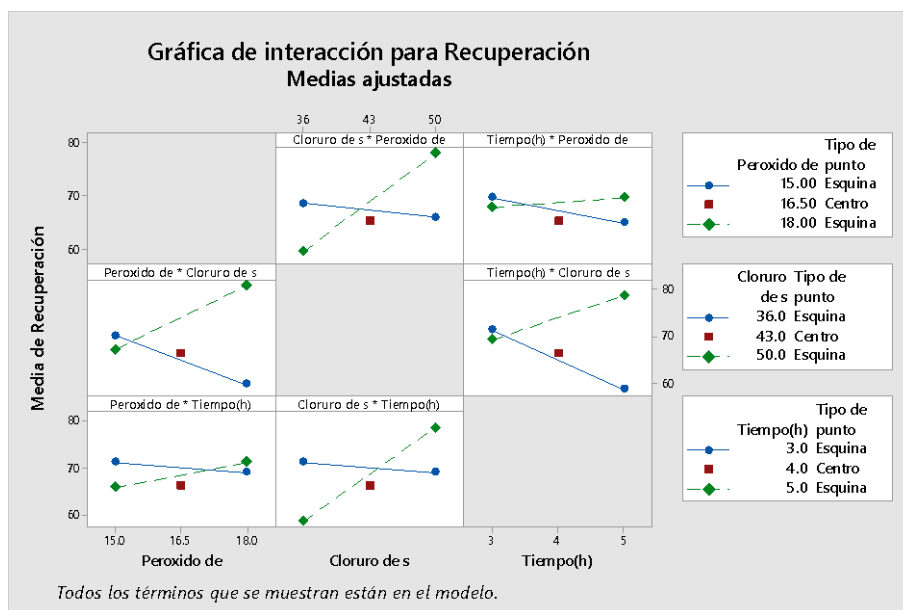
Figura 3. Efecto en la recuperación



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.

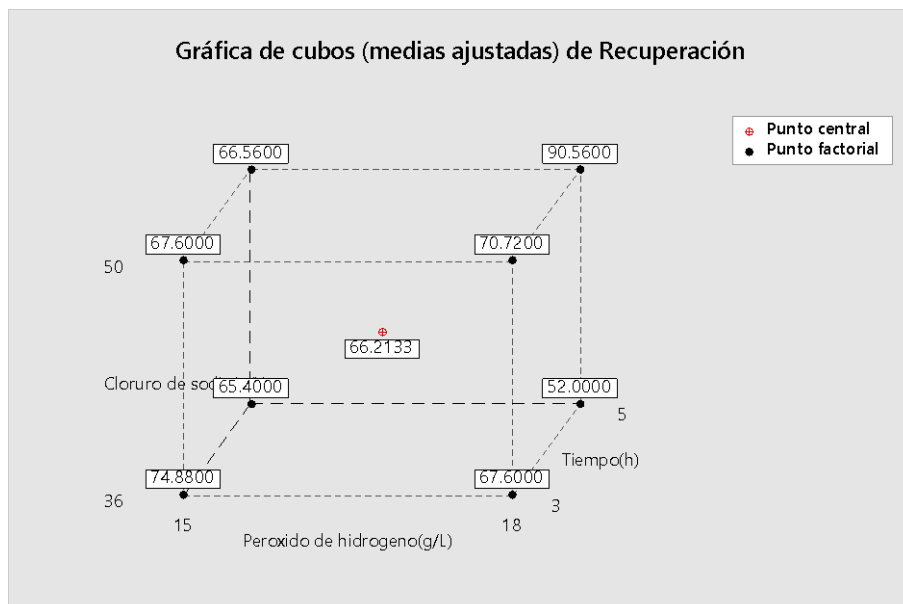
Las mayores recuperaciones se dan cuando trabajan las tres variables con su mayor valor, el peróxido de hidrogeno trabaja con su mayor valor (18 g/L), el cloruro de sodio con (50 g/L) y 5 horas.

Figura 4. 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 hidrógeno y cloruro de sodio y cloruro de sodio y tiempo.

Figura 5. 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 12. Recuperación de cobre proyectada

N	NaCl(g/L)	H ₂ O ₂ (g/L) NaCl (g/L)	NaCl(g/L) Hora	H ₂ O ₂ (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%.

(Guiachetti, 2011) , Logró caracterizar de forma experimental la cinética de los procesos involucrados en la lixiviación acida de un mineral oxidado de cobre, cuya especie principal es la cuprita. El parámetro característico de este modelo que es el valor del tiempo de reacción completa τ_D , está dado por expresión $\tau_D [h] = 52.549 / ([H_2SO_4] [g/l])$, para el caso del cinética de consumo de ácido por la extracción: $\tau_D [h] = 19.503 / ([H_2SO_4][g/l])$, para el caso de cinética de lixiviación de cobre. Dada la generalidad de este modelo, pueden presentarse diferencia entre los valores propuestos por el ajuste y la cinética obtenida experimentalmente debido diverso a factores.

Por otra parte (Perez, 2013), 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.

Estas mejoras son el resultado de los valores de la concentración de cobre, ya que se incrementa el área de la superficie resultante en la degradación de las partículas. Con solo ocho experimentos se ha determinado los efectos principales de tres factores, y sus interacciones. Este diseño propuesto permitió la evaluación de los factores más importantes en la recuperación de cobre de un mineral de malaquita.

Para (Medina, 2015), La lixiviación utilizando H_2O_2 al 35% bajo las condiciones del procedimiento de extracción secuencial por Dold no es selectiva para disolver calcosina en muestras con mineralogías de sulfuro primarias y secundarios, ya que es capaz de disolver importantes cantidades de calcopirita y pirita, y no de calcosina. Sin embargo, bajo las condiciones estudiadas en el presente trabajo, no se obtuvo una disolución completa de calcosina, limitando la aplicabilidad de estas condiciones de interpretación mineralógica de la muestra en base de solubilidad de cobre y hierro. Sin embargo, la disolución de calcosina está sujeta a la disponibilidad de cianuro libre en solución respecto a la cantidad de mineral a disolver.

(Cordova & Campos, 2016), La concentración de agente lixivante tiene un efecto significativo en la extracción de cobre, y de acuerdo a los resultados, la extracción de cobre incrementa el aumento de la concentración de agente lixivante. Para el rango de concentración de agente lixivante evaluado, 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 menos significativo que en el caso de la concentración de agente lixivante.

Por otra parte (Lingan & Lucano, 2014), A una granulometría de 95% #10, con 33 % sólidos, 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.

Para (Chambi, 2017), Las pruebas de lixiviación con cloro en medio ácido realizadas con minerales complejos demuestran tener un gasto aceptable usando 93.87 Kg/TM de ácido 5.02 Kg/TM de cloro. Se recomienda realizar los aglomerados de los datos obtenidos según el modelo experimental que son $b: \% = 50$, $\% = 50$, $\text{Kg/TM} = 65$, $D = 0.09\text{m}^3/\text{TM}$.

Por otra parte (Vargas, Bustamante, & Navarro, 2017), El concentrado de cobre utilizado es calcopirítico, de alta ley de cobre y de granulometría. 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 2.8 M. Esta variable resulta la más importante si se desea aumentar la recuperación. La recuperación de cobre aumenta al disminuir el tamaño de partícula. La recuperación de cobre aumenta al disminuir la razón S/L, alcanzando un máximo de un 38% con una razón de 1/50.

Para (Ipinza, Ibáñez, Flaquer, & Engdahl, 2017), El pre-tratamiento de calcopirita y el reposo, resultan fundamentales para la disolución de esta especie mineral en un medio ácido, lográndose con un reposo de 20 h, una extracción de cobre 80% después de 25 h de lixiviación. 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.

5.2. CONCLUSIONES.

En el presente estudio desarrollado sobre, lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial para la extracción de cobre nivel laboratorio, se llegaron a las siguientes conclusiones:

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

- 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>
- Cordova, J., & Campos, E. (12 de 2016). *Influencia en el tipo y concentración del agente lixiviante 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.
- 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, T. (1990). *Hidrometalurgia en Proceso de Extraacción*. Bostom: CRC Press.
- Ipinza, J., Ibáñez, J., Flaquer, J., & Engdahl, O. (07 de 2017). *Identificación de compuestos formados durante el pre-tratamiento de la calcopirita con NaCl- H2SO4*. 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>
- 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>
- Perez, J. (02 de 08 de 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>
- 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

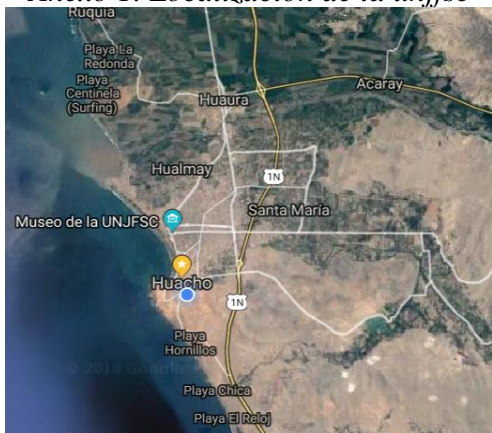
Tabla 13. Matriz de consistencia general

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	<p>¿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?</p>	<p>Evaluar la lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial, para extracción de cobre a nivel laboratorio.</p>	<p>Con un adecuado tratamiento de lixiviación de minerales oxidados mediante diseño factorial, nos permitirá la extracción de cobre a nivel laboratorio</p>	<p>Lixiviación de minerales</p>	<ul style="list-style-type: none"> - H_2O_2. - $NaCl$. - Tiempo.

Tabla 14. Matriz de consistencia específico

Título	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"> - ¿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? - ¿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? - ¿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? 	<ul style="list-style-type: none"> - 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. - 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. - 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. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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. - 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. - 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. 	Extracción de cobre	<ul style="list-style-type: none"> - Influencia. - Extracción -Recuperación.

Anexo 1. Localización de la unjfsc



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(μm)	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(μm)	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(μm)	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		

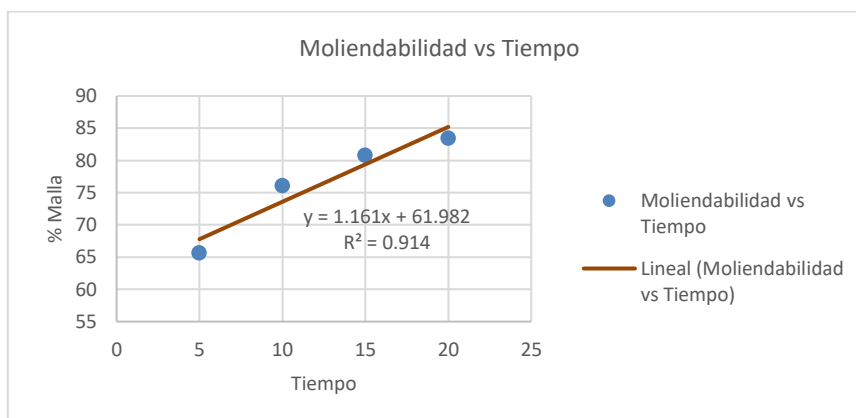
20 minutos

#malla	Abert(μm)	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 ₂ O+Mineral	WH ₂ O	Wmineral	Volumen H ₂ O	Densidad H ₂ O	Volumen Total (ml)	Volumen Mineral	Densidad Mineral g/m ³		
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								
PROMEDIO									2.5419		

Anexo 10. Condiciones de trabajo

Variables de control			Hallar el %S, Dilucion, VH ₂ O			
	mH ₂ O ₂ (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 ₂ O L	0.13	
				V Total cm ³	170.0	
Reactivos Min			Reactivos Max		Reactivos Central	
	mH ₂ O ₂ (g)	1.50	mH ₂ O ₂ (g)	2.50	mH ₂ O ₂ (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 ₂ O ₂ (g/L)	NaCl (gr/L)	Tiempo (h)	pH	VH ₂ O ml	mlH ₂ O ₂	mlNaCl
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 ₂ 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 2³

N	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	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 ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁ Z ₂	Z ₁ Z ₃	Z ₂ Z ₃	Z ₁ Z ₂ Z ₃	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 ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃
(-)	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 ₁	4.4450	X ₂	-0.7850	X ₃	5.975	X ₁ X ₂	1.8450	X ₁ X ₃	1.845	X ₂ X ₃	3.375	X ₁ X ₂ X ₃
----	-------	-------	----------------	--------	----------------	---------	----------------	-------	-------------------------------	--------	-------------------------------	-------	-------------------------------	-------	--

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 ₂	5.975	X ₁ X ₂	1.845	X ₂ X ₃	3.375	X ₁ X ₂ X ₃
----	--------	-------	----------------	-------	-------------------------------	-------	-------------------------------	-------	--

N	X ₂	X ₁ X ₂	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y _r	Y	(Y _r -Y)	(Y _r -Y) ²
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

$$SSMR= 23.8905$$

$$F_0= 5.0972562 \quad 5.097256 < 19.25$$

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

Anexo 15. Decodificación de la ecuación

	X ₂	X ₁ X ₂	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃
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

$$a = 6.387$$

$$a_2 = 0.724$$

$$a_4 = 1.494$$

$$a_6 = 0.732$$


$$a_7 = 1.588$$

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

Anexo 16. Proyección de la recuperación

N	Z₂	Z₁Z₂	Z₂Z₃	Z₁Z₂Z₃	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

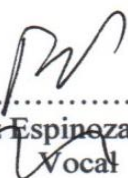
“LIXIVIACION DE MINERALES OXIDADOS MEDIANTE DISEÑO FACTORIAL; PARA LA EXTRACCION DE COBRE A NIVEL LABORATORIO”



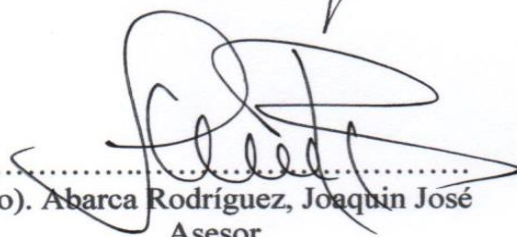
.....
Dr. Salcedo Meza, Máximo Tomas
Presidente



.....
M(o). Ipanaque Roña, Juan Manuel
Secretario



.....
M(o). Rodríguez Espinoza, Ronald Fernando
Vocal



.....
M(o). Abarca Rodríguez, Joaquin José
Asesor