

*Universidad Nacional*  
*"José Faustino Sánchez Carrión"*



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

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

**“TRATAMIENTO DE MINERALES REFRACTARIOS PARA  
LA EXTRACCIÓN DE ORO A NIVEL LABORATORIO”**

**TESIS**

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

Autor:

LLANOS LÓPEZ, LUIS ANDRÉS

Asesor:

Ing. ABARCA RODRÍGUEZ, Joaquin José.

C.I.P. N° 108833

**Huacho - Perú**

2019

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación de tesis está dedicado a mis padres, hermano, abuelos y tíos por su apoyo incondicional, por depositar su confianza en mí y por los consejos que a lo largo de mi vida me hicieron desarrollarme como persona y en el ámbito profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Ante todo, agradezco a mi familia, por confiar en mí y sobre todo por el apoyo moral que día a día me brindan.

## **PENSAMIENTO**

“El coraje no es la ausencia de miedo, sino  
el triunfo sobre él”

Nelson Mandela

## ÍNDICE

|  |      |
|--|------|
| PORTADA .....                                      | i    |
| DEDICATORIA .....                                  | ii   |
| AGRADECIMIENTO .....                               | iii  |
| PENSAMIENTO .....                                  | iv   |
| ÍNDICE .....                                       | v    |
| ÍNDICE DE FIGURA .....                             | ix   |
| ÍNDICE DE TABLA .....                              | x    |
| ÍNDICE DE ANEXO .....                              | xi   |
| GLOSARIO DE ABREVIATURA .....                      | xii  |
| RESUMEN .....                                      | xiii |
| ABSTRACT .....                                     | xiv  |
| INTRODUCCIÓN .....                                 | xv   |
| CAPÍTULO I .....                                   | 16   |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                   | 16   |
| 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA. .... | 16   |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. ....                | 16   |
| 1.2.1. Problema General. ....                      | 16   |
| 1.2.2. Problemas Específicos. ....                 | 16   |
| 1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN. ....           | 17   |
| 1.3.1. Objetivo General. ....                      | 17   |
| 1.3.2. Objetivos Específicos. ....                 | 17   |

|   |    |
|---|----|
| CAPÍTULO II . . . . .                                       | 18 |
| MARCO TEÓRICO . . . . .                                     | 18 |
| 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN. . . . .              | 18 |
| 2.1.1. Antecedente Internacionales. . . . .                 | 18 |
| 2.1.2. Antecedentes Nacionales. . . . .                     | 20 |
| 2.2. BASES TEÓRICAS. . . . .                                | 22 |
| 2.2.1. Oxidación de minerales sulfurados. . . . .           | 22 |
| 2.2.2. Cianuración . . . . .                                | 25 |
| 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES. . . . .                     | 26 |
| 2.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS. . . . .                   | 27 |
| 2.4.1. Hipótesis General. . . . .                           | 27 |
| 2.4.2. Hipótesis Específicas. . . . .                       | 27 |
| CAPITULO III . . . . .                                      | 28 |
| METODOLOGÍA . . . . .                                       | 28 |
| 3.1. DISEÑO METODOLÓGICO . . . . .                          | 28 |
| 3.1.1. Tipo de investigación. . . . .                       | 28 |
| 3.1.2. Enfoque de la investigación. . . . .                 | 28 |
| 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA. . . . .                           | 28 |
| 3.2.1. Población. . . . .                                   | 28 |
| 3.2.2. Población. . . . .                                   | 28 |
| 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES. . . . . | 29 |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 3.4.   | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS. . . . .                         | 30 |
| 3.4.1.   | Técnicas a Emplear. . . . .  | 30 |
| 3.4.2.   | Descripción de los Instrumentos. . . . .   | 30 |
| 3.5.   | TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN. . . . .                        | 30 |
| CAPITULO IV . . . . .                          |  | 31 |
| RESULTADOS . . . . .                           |  | 31 |
| 4.1.   | CONDICIONES DE TRABAJO. . . . .  | 31 |
| 4.1.1.   | Condiciones de trabajo para el diseño factorial. . . . .                         | 31 |
| 4.2.   | RESULTADOS DE PRUEBAS . . . . .  | 33 |
| 4.2.1.   | Pruebas obtenidas de los experimentos. . . . .                                   | 33 |
| 4.2.2.   | Tratamiento de la información de la varianza y su análisis . . . . .             | 33 |
| 4.2.3.   | Cálculo del modelo matemático a escala codificada. . . . .                       | 36 |
| 4.2.4.   | Análisis de residuos . . . . .   | 37 |
| 4.2.5.   | Decodificación de la ecuación matemático a escala natural y su análisis. . . . . | 39 |
| 4.2.6.   | Superficie de respuesta estimada . . . . .                                       | 40 |
| 4.2.7.   | Diagnóstico de las regresiones. . . . .  | 41 |
| 4.3.   | Contratación de hipótesis de estudio. . . . .                                    | 43 |
| a.   | Contratación de la Hipótesis Específicos. . . . .                                | 44 |
| CAPITULO V . . . . .                           |  | 45 |
| DISCUSIÓN CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN . . . . . |  | 45 |
| 5.1.   | DISCUSIÓN. . . . .   | 45 |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 5.2. CONCLUSIONES. ....           | 46 |
| 5.3. RECOMENDACIONES.....         | 47 |
| CAPITULO VI .....                 | 49 |
| FUENTES DE INFORMACIÓN .....      | 49 |
| 6.1. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS ..... | 49 |
| ANEXOS .....                      | 51 |



## ÍNDICE DE FIGURA

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Biooxidación de minerales sulfurados.....            | 24 |
| Figura 2. Efectos de significancia con Diagrama de Pareto..... | 34 |
| Figura 3 Grafica de contorno recuperación de oro.....          | 40 |

## ÍNDICE DE TABLA

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Variables e indicadores de operacionalización .....  | 29 |
| Tabla 2 Condiciones de trabajo en el diseño factorial natural y codificada.....                         | 31 |
| Tabla 3 Condiciones de trabajo para las variables manipulables.....                                     | 32 |
| Tabla 4 Recuperación del oro de acuerdo el diseño de investigación.....                                 | 33 |
| Tabla 5. Análisis de varianza para el contenido final de la extracción del oro ANOVA (Test-Fisher)..... | 35 |
| Tabla 6 Matriz del diseño factorial con replicas en el centro y respuestas .....                        | 36 |
| Tabla 7 Calculo el efecto $\Delta$ para cada variable e interacciones .....                             | 37 |
| Tabla 8 Matriz codificada de las variables independientes, dependientes y residuales .....              | 38 |
| Tabla 9 Descodificación de modelo matemático .....  | 39 |
| Tabla 10 Significancia de respuestas de la recuperación de oro .....                                    | 42 |
| Tabla 11 Variables significativas .....   | 42 |
| Tabla 12 Efectos de las variables significativas.....   | 42 |
| Tabla 13 Análisis de Varianza .....   | 43 |

## ÍNDICE DE ANEXO

|   |    |
|---|----|
| Anexo 1: Matriz Consistencia General . . . . .    | 52 |
| Anexo 2: Matriz Consistencia Específico . . . . . | 53 |
| Anexo 3 Análisis de Varianza . . . . .            | 54 |
| Anexo 4 Coeficientes codificados . . . . .        | 54 |

**GLOSARIO DE ABREVIATURA**

|       |   |                                |
|-------|---|--------------------------------|
| %     | : | Porcentaje                     |
| &     | : | Y                              |
| µg/mL | : | Micro gramos por mililitro     |
| Fe    | : | Fierro                         |
| G.e.  | : | Gravedad especifica            |
| gr    | : | Gramos                         |
| Kg/TM | : | Kilogramo por tonelada métrica |
| g/kg  | : | gramos por kilogramos          |
| mg/l  | : | Miligramo por litro            |
| NaCN  | : | Cianuro de sodio               |
| Oz    | : | Onza                           |
| pH    | : | Potencial de hidrogeno         |
| S.A.  | : | Sociedad Anónima.              |
| T°    | : | Temperatura                    |
| TM    | : | Tonelada métrica.              |
| TN    | : | Toneladas                      |
| v     | : | Voltios                        |

## RESUMEN

El presente estudio de pregrado sobre de tratamiento de minerales refractarios para la extracción de oro a nivel laboratorio, se intenta establecer la significancia de las variables y las interacciones mediante diseño factorial y su recuperación de oro.

La mejor recuperación se obtiene en la 6 ensayo con un 55.36% con una liberación de 60% pasante a la malla 400m, con 0.5 g/kg de nitrato de plomo y en 42 horas.

Para un 95% de confiabilidad la presencia de  $\text{PbNO}_3(\text{g/kg})$ ,  $\text{Tiempo}(\text{hr})$  y las interacciones de  $\% -400\text{m}(36\mu) * \text{PbNO}_3(\text{g/kg})$ ,  $\text{PbNO}_3(\text{g/kg}) * \text{Tiempo}(\text{hr})$  tiene un efectos significativos.

Una recuperación superior a 54% se da cuando se trabaja entre 0.5 g/kg a 0.75 g/kg de nitrato de plomo y 38 a 42 horas, para 0.5 g/kg a 0.75 g/kg de nitrato de plomo y 60 a 63.5  $\% -400\text{m}(38\mu)$ , y para un tiempo de 38 a 42 horas 68 a 70  $\% -400\text{m}(38\mu)$ .

Los efecto en el presente trabajo de investigación es para él  $\text{PbNO}_3(\text{g/kg})$  tiene un efecto negativo, mientras que el  $\text{Tiempo}(\text{hr})$  y la interacción de  $\% -400\text{m}(36\mu) * \text{PbNO}_3(\text{g/kg})$  ,  $\text{PbNO}_3(\text{g/kg}) * \text{Tiempo}(\text{hr})$  tiene un efecto positivo, en la extracción y su recuperación de oro a partir de minerales refractarios.

Palabra clave: Extracción de oro a partir de pre tratamiento de minerales refractarios mediante oxidación avanzada.

## ABSTRACT

The present undergraduate study on the treatment of refractory minerals for the extraction of gold at the laboratory level, attempts to establish the significance of the variables and interactions through factorial design and the percentage of gold recovery.

The best recovery is obtained in the 6 trial with 55.36% with a 60% throughput to the 400m mesh, with 0.5 g / kg of lead nitrate and in 42 hours.

For 95% reliability the presence of  $\text{Pb NO}_3$  (g / kg), Time (hr) and the interactions of% - 400m ( $36\mu$ ) \*  $\text{PbNO}_3$  (g / kg),  $\text{PbNO}_3$  (g / kg) \* Time (hr) It has significant effects

A recovery greater than 54% occurs when working between 0.5 g / kg to 0.75 g / kg of lead nitrate and 38 to 42 hours, for 0.5 g / kg to 0.75 g / kg of lead nitrate and 60 to 63.5% - 400m ( $38\mu$ ), and for a time of 38 to 42 hours 68 to 70% -400m ( $38\mu$ ).

The effects in this research work is for him  $\text{PbNO}_3$  (g / kg) has a negative effect, while Time (hr) and the interaction of% -400m ( $36\mu$ ) \*  $\text{PbNO}_3$  (g / kg),  $\text{PbNO}_3$  (g / kg) \* Time (hr) has a positive effect on the recovery of gold from refractory minerals.

Keywords: Extraction of gold from pre-treatment of refractory minerals by advanced oxidation.

## INTRODUCCIÓN

La actividad minera en el Perú, a través del tiempo, por sus recursos minerales han sido parte tradicional de la invasión, saqueo, y también fugo un papel importante en el desarrollo económico, coexistiendo y formando uno de los pilares de la expansión en diferentes etapas en la historia. La industria metalúrgica extracción de los minerales y metales no féreos (oro, plata, plomo y cinc) en el Perú tiene gran importancia, por el creciente de la demanda de metales en el mercado nacional, regional e internacional, y con ello podríamos decir es la primera fuente generadora de divisas del país.

En la actualidad, el Perú es el primer productor de oro en Latinoamérica y sexto a nivel mundial, los concentrados de minerales de oro refractario son exportados. Por consiguiente, es necesario llevar estudios de investigación de innovación para mejorar o sustituir los actuales métodos de extracción de metales preciosos para así aprovechar mejor los recursos naturales disponibles y generar fuente de trabajo en el país.

En el Perú existen una gran reserva de minerales de baja con presencia de oro, plata y elementos que son familia de los metales preciosos asociados a minerales de hierro, arsénico, manganeso, silicio y otros, clasificado como depósitos refractarios auríferos y argentíferos. Por lo tanto, es necesario buscar innovación tecnológica propia, para mejorar el procesamiento de extracción en estos minerales y generar mejores beneficios para el país.

El proceso de cianuración es previo a la oxidación, que nos permite su extracción esto se detalla en el presente trabajo. En el proceso se realiza combinaciones de oxidación y la cianuración, juntamente, en una etapa y en un solo reactor. La oxidación y cianuración son métodos conocidos. Por lo que es aplicable a cada tipo de minerales auríferos en función a sus resultados.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.

La minería, a través de los siglos, ha sido parte de la evolución de la humanidad y de la prosperidad económica de Perú, siendo promotora y el crecimiento de la expansión territorial en diferentes épocas. Dentro de la producción minero-metalúrgica peruana, la explotación de valores metálicos no férricos (oro, plata, plomo y cinc) ha sido uno de los pilares, debido al incremento de la demanda de metales en el mercado nacional e internacional, por ser la primera fuente generadora de ingreso para el país.

Debido a esta actividad las reservas cada día se van agotando y los minerales cada día son más escasos, sin embargo, hay minerales de baja ley encapsulados en los sulfuros por ello es necesario buscar una alternativa de extracción que nos permita tratar con una técnica que sea amigable al medio ambiente

Por ello se plantea la siguiente incógnita si será factible el tratamiento de los minerales refractarios como se describe en la formulación del problema general y específicos.

### 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

#### 1.2.1. Problema General.

¿Será posible tratar los minerales refractarios, para extraer oro a nivel laboratorio?

#### 1.2.2. Problemas Específicos.

- ¿Será posible realizar una oxidación avanzada de los minerales refractarios, para la liberación del oro para su posterior extracción mediante cianuración?
- ¿En qué medida el mineral refractario oxidado se podrá realizar la cianuración, para concentrar en la solución como cianuro áurico?
- ¿Será un factor importante el tiempo en el tratamiento de oxidación y cianuración, que nos permitirá elevar la recuperación del oro a nivel laboratorio?



### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Evaluar el tratamiento de minerales refractarios para la extracción de oro a nivel laboratorio.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Evaluar la oxidación avanzada de los minerales refractarios, para la liberación del oro para su posterior extracción mediante cianuración.
- Evaluar en qué medida el mineral refractario oxidado se podrá realizar la cianuración, para concentrar en la solución como cianuro áurico.
- Evaluar el factor tiempo en el tratamiento de oxidación y cianuración, que nos permitirá elevar la recuperación del oro a nivel laboratorio.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

##### 2.1.1. Antecedente Internacionales.

En el estudio sobre, “Mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la preoxidación de minerales sulfurosos con ozono” (Salinas, y otros) concluye:

La composición química del mineral estudiado, reveló la presencia de importantes cantidades de Ag y Au, lo cual hace del material ideal para su estudio de cianuración para la recuperación de tales valores de interés. Por otro lado, se aprecian cantidades importantes de Fe, Cu y Zn que pueden retardar el proceso de cianuración debido a su carácter cianicida.

Las especies minerales encontradas fueron; mayoritariamente, pirita y algunos contenidos de esfalerita, galena y cuarzo. Este resultado, indica que el mineral de estudio presenta de igual modo, ciertas características refractarias al proceso de cianuración debido a su naturaleza pirítica, lo cual lo hace ideal para su tratamiento por oxidación con ozono previo al proceso de cianuración.

La distribución granulométrica del mineral presenta una forma bimodal, encontrando un mayor porcentaje (38 % en peso) en tamaños de partícula menores a 37  $\mu\text{m}$ ; además de tener un 25.5 % en peso en tamaños que van desde 74 a 53  $\mu\text{m}$ . esto puede representar, una posibilidad de evaluar el grado de liberación en este mineral y ensayar algún estudio de molienda y flotación que mejore la recuperación de los valores de interés.

Se encontró que, con la preoxidación del mineral, los valores de Ag disueltos mejoraron sustancialmente logrando un incremento del 10.8 % de disolución de plata en un tiempo de reacción de 72 h.

Para la disolución de Au, se encontró que con el mineral preoxidado con ozono se logró un 53 % más de disolución de oro a las 72 h de reacción. 6. De acuerdo a los resultados de la caracterización de los residuos de lixiviación, se pudo observar que la matriz del mineral fue alterada significativamente cuando se preoxidó con ozono. Ello pudo ser la variable más importante que propició una mejor disolución de los valores

de Au y Ag.

De manera contundente, el presente trabajo logró su objetivo que fue el de mejorar la cianurabilidad de un mineral considerado refractario a dicho proceso. Su obtuvo un 10.8 % más de disolución de Ag y un 53 % más de disolución de Au que para el caso de la cianuración del mineral sin preoxidación (Salinas, y otros, 2004).

Para (Gaviria, Gonzalez, & Mora, 2006), En su investigación sobre, “Refractarias auríferas y su efecto en la extracción del oro” concluyen:

Se evidencia en este trabajo la interacción positiva, de los sulfuros con las microondas, ya que se oxidan en un tiempo corto, entre 3.5 y 10 minutos, comparado con el necesario en una tostación convencional. Convirtiéndose así, el calentamiento por microondas, en una gran alternativa para tostar minerales refractarios de forma rápida y eficaz; sin embargo, la producción de gases SO<sub>2</sub> no se ve reducida, por lo que si se desea implementar este pretratamiento a escala industrial se deberá tener en cuenta en el diseño, la cámara de captación de gases.

Un incremento en la disolución de oro por el cianuro en el concentrado de El Roble, podría lograrse, siempre y cuando el cobre sea extraído previamente a la etapa de cianuración. Sin embargo, los datos obtenidos no permiten realizar una valoración económica cuantitativa. Cualitativamente hablando, basados en la experiencia adquirida y consultada de otros países, no resulta presuntuoso asegurar que el pretratamiento con microondas es económicamente viable y con costos operacionales menores que la tostación convencional.

Las variables más relevantes, a tener en cuenta en el calentamiento con energía microondas, son: Potencia, frecuencia, masa de la muestra, tamaño de partícula de la muestra, tiempo de exposición y pérdidas dieléctricas de la muestra.

En su investigación sobre, “*Aplicaciones biotecnológicas en minería aurífera: Estado del arte sobre la oxidación bacteriana de arsenopirita (FeAsS)*” (Ospina, Osorno, Giraldo, Mejía, & Márquez)concluyen:

Los procesos biotecnológicos presentan ventajas, comparados con los procesos convencionales, debido a: amplia versatilidad a la hora de decidir el método indicado, el cual puede ir desde una operación in-situ, hasta reactores controlados con capacidad de tratamiento de alrededor de 1000 toneladas por día para oro, no produce contaminantes gaseosos, fácil y económica neutralización y disposición de desechos

sólidos y líquidos (ambientalmente aceptados y fácilmente controlables), simplicidad y versatilidad del diseño que permite su uso en locaciones remotas, sin requerimientos de mano de obra muy calificada y su puesta en marcha corta y costos de capital y operación bajos. Además, poseen la habilidad de poder ser usados en montajes complejos como complemento de procesos físicos y químicos ya existentes.

Los métodos biotecnológicos estudios en la metalurgia se considera en el mundo actual como una opción amigable al medio ambiente, mostrando ventajas tanto desde el punto de vista ambiental como económico. Es por esto que las aplicaciones biotecnológicas se imponen como alternativas con gran potencial para la solución a múltiples problemas generados por la industria minero-metalúrgica, utilizándose mundialmente en diversos procesos como lo son pretratamiento oxidante de materiales refractarios a la recuperación de metales como el oro y la plata, lixiviación para posterior recuperación de metales base como son el Zn, Cu, Pb, Co, Ni y Ti, biotratamiento de diversos materiales utilizados en la industria como la desulfurización de carbones, bioblanqueo de caolines, entre otros. (Ospina, Osorno, Giraldo, Mejía, & Márquez, 2011, págs. 61-62).

### 2.1.2. Antecedentes Nacionales.

En su trabajo de investigación sobre *“Influencia de la temperatura y de la granulometría en el pre-tratamiento por lixiviación alcalina ( $\text{Na}_2\text{S}$  y  $\text{NaOH}$ ) de un mineral refractario con contenido de arsénico (As) procedente de Sayapullo, para incrementar la recuperación de oro mediante cianuración”* (Zaldaña & G., 2016) concluye que:

Se logró determinar, que la temperatura y la granulometría en pre-tratamiento por lixiviación alcalina ( $\text{Na}_2\text{S}$  y  $\text{NaOH}$ ) de un mineral refractario con contenido de arsénico, influye significativamente sobre la recuperación de oro. Se determinó que la temperatura en el pre-tratamiento por lixiviación alcalina de un mineral refractario con contenido de arsénico influye notablemente sobre la recuperación de oro, siendo a  $90^\circ\text{C}$  con la que se obtiene mayor recuperación.

Se logró determinar que la granulometría en el pre-tratamiento por lixiviación alcalina de un mineral refractario con contenido de arsénico influye significativamente, para incrementar la recuperación de oro por cianuración, siendo a 80% malla menos 400 con él se obtiene mayor recuperación.

Se logró determinar que la interacción la temperatura y granulometría en el

pretratamiento por lixiviación alcalina de un mineral refractario con contenido de arsénico influye significativamente sobre la recuperación de oro, obteniéndose 28.22% de recuperación de oro a 90°C y 80% malla menos 400.

En su trabajo de investigación (Lovera, y otros, 2002) sobre, “*Procesos de tostación – lixiviación de minerales auríferos con metales cianicidas*” concluyeron que:

El mayor porcentaje de la muestra es goethita de rivada de la pirita y calcopirita, asimismo un gran porcentaje de malaquita (carbonato de cobre).

Durante la observación al microscopio electrónico de barrido se encontró partículas de oro menores de 2 micras, dentro de cristales de cuarzo y diseminado en la roca.

El proceso de cianuración, para este mineral se complica por la presencia de cobre, obteniéndose altos consumos de cianuro de sodio y bajas recuperaciones de oro, tanto para 12 y 24 horas de lixiviación.

Las pruebas indican que la lixiviación para cobre con ácido sulfúrico da buenos resultados, porque para una granulometría de 54%-10 malla y un tiempo de 5 horas, se obtiene aproximadamente 70% de recuperación.

La prueba de concentración gravimétrica en la mesa vibratoria, no es satisfactoria; debido a que el mineral tiene poca cantidad de oro libre y fino, siendo la calidad del concentrado baja (Lovera, y otros, 2002, pág. 52).

Para (Arias, Coronado, Puente, & Lovera, 2005), Sobre “*Refractariedad de concentrados auríferos*” concluyeron que:

La extracción de metales de valor comercial con bacterias quimiolitotróficas de minerales sulfurados de baja ley, es de interés en biohidrometalurgia para la explotación de menas, que por la baja concentración del metal no se tratan con métodos tradicionales.

El potencial Thiobacillus y archeobacteria para lixiviar minerales incluso radiactivos in situ o de reactor, abren prometedoras posibilidades para la optimización del recurso minero en la industria de metalurgia extractiva, en especial si se realizan verdaderas acciones conjuntas entre los centros de investigación y la industria.

La aplicación de la electrooxidación como pretratamiento a un mineral sulfuro refractario de oro y plata muestra magníficos resultados, al obtener incrementos en la extracción de oro y de plata.

La oxidación de la pirita está determinada no por el proceso químico, sino por la

difusión de la fase gaseosa y que la formación de sulfatos tiende a cerrar los poros del óxido de hierro producido; deteniendo, por lo tanto, la completitud de la reacción. De aquí que la ausencia de porosidad de una calcina se atribuya a la oxidación incompleta por la formación del Ion sulfato.

El producto tostado o calcinado puede ser tratado de diversas maneras, dependiendo de la factibilidad y viabilidad; ello puede comprender ciclos de enfriamiento al aire o en medios acuosos, reducción de tamaño, recuperaciones gravimétricas como primera etapa de concentración del metal valioso, tratamientos acuosos ácidos o básicos y, finalmente, la cianuración convencional.

El cambio de la frecuencia del ultrasonido puede cambiar las rutas de reacciones químicas con participación de metales, influir en las propiedades de los catalizadores. Si este cambio se realiza durante su producción, el US de alta densidad favorece a la formación de los sólidos y iónicos estratiformes.

La oxidación acuosa de sulfuros es particularmente compleja; debido a las muchas variables involucradas puede ser completamente comprendida y eficientemente aplicada sólo en la medida en que se clarifiquen los aspectos cinéticos de las reacciones individuales.

## **2.2. BASES TEÓRICAS.**

### **2.2.1. Oxidación de minerales sulfurados.**

#### ***2.2.1.1. Tostación de menas de oro***

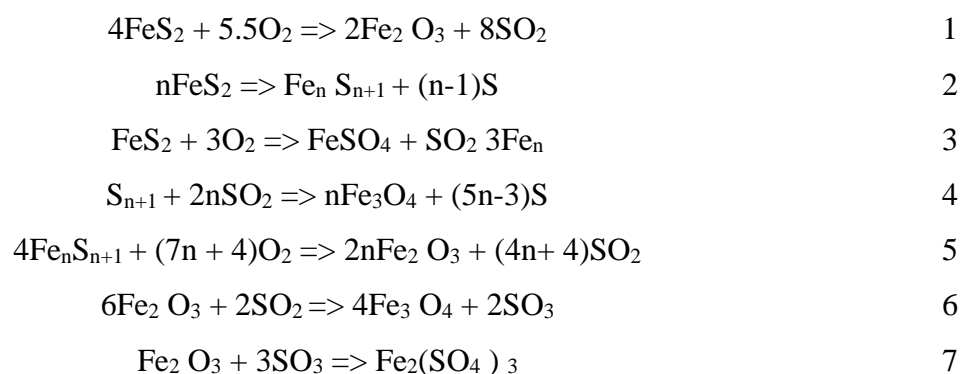
Una de las actividades más antiguas de la desintegración de los minerales enlazadas estructuralmente para oxidar es;

La tostación es un proceso industrial para la conversión de sulfuros en sulfatos solubles, en solución ácida acuosa, permitiendo así la cianuración normal, después del lavado previo de residuos. No obstante, la tostación en pequeña y mediana escala genera dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), no recuperable, el cual contamina el ambiente, existen normas de protección ambiental que restringen la realización. La tostación se efectúa

cuando el oro está asociado íntimamente con minerales piríticos que dificultan la extracción de oro al nivel deseado; se hace esencial una tostación de la mena antes de la cianuración, para liberar el oro. Por ello muchos investigadores han escrito extensos artículos donde se describe, en forma comprensiva, la práctica de oxidación y reducción de los compuestos minerales (Suero, 2014, pág. 12).

### 2.2.1.2. Tostación de menas conteniendo pirita y pirrotita.

Según estudios realizados por Norwood, 1939 citado por (Arias, Coronado, Puente, & Lovera, 2005), “en la conversión de sulfuros (Pirita) de hierro a óxidos tienen a lugar las siguientes reacciones químicas”:



La influencia de la temperatura y las presiones parciales de las diversas zonas del horno y de los gases son determinantes para alcanzar los mejores resultados. Es frecuente el uso de materiales piríticos como una fuente de calor y como un agente reductor (Arias, Coronado, Puente, & Lovera, 2005).

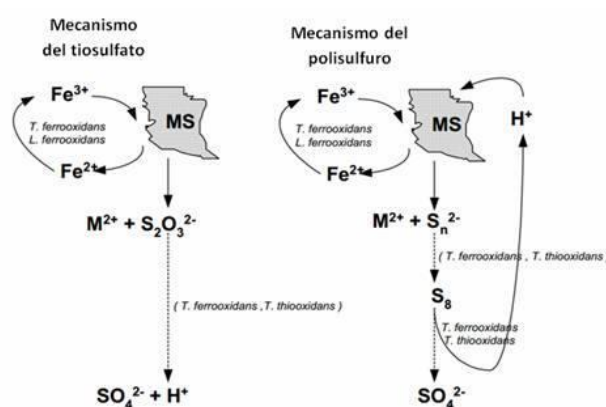
### 2.2.1.3. Principio fundamental de la biooxidación

La biooxidación en la minería es un proceso amigable con el medio ambiente y una de las técnicas más económicas en la metalurgia extractiva por ello,

La biooxidación se da como un proceso de oxidación de sulfuros, por la acción catalítica de bacterias. En la Figura 1 se puede apreciar cómo la bacteria usa para su

metabolismo la energía liberada de la transición de electrones entre compuestos de mayor energía potencial, hacia otros con menor energía potencial. Para que la fuerza motriz del mecanismo sea generada, debe existir un compuesto donador de electrones, en este caso el sustrato a ser oxidado ( $\text{Fe}^{2+}$  o  $\text{S}^0$ ), y otro compuesto que actúa como el receptor de electrones, para este caso el oxígeno (Ospina, Osorno, Giraldo, Mejía, & Márquez, 2011, pág. 57).

Figura 1. Biooxidación de minerales sulfuros



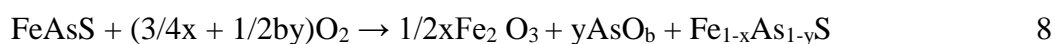
#### 2.2.1.4. Mecanismos de oxidación bacteriana para la arsenopirita.

El mineral que contiene al oro según (Corkhill & Vaughan) es “la arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ) es la fuente mineral de arsénico más común en la superficie terrestre. Se puede encontrar en una variedad de sistemas tales como depósitos magmáticos, hidrotermales y pórfidos” (Corkhill & Vaughan, 2009), por otra parte menciona que “la arsenopirita es comúnmente asociada con la aparición de oro, lo que genera su amplia explotación y posterior descarga como desechos sólidos en los procesos mineros” (Corkhill & Vaughan, 2009).

Por otra parte Nesbitt et al. 1995 citado por (Ospina, Osorno, Giraldo, Mejía, & Márquez). “Es un mineral estable en condiciones reductoras, pero es oxidado durante condiciones de intemperismo, liberando durante este proceso  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{AsO}_3$  y  $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ” (Ospina, Osorno, Giraldo, Mejía, & Márquez, 2011, pág. 58).



Para oxidación de la arsenopirita existen diferentes trabajos uno de ellos se puede describir en, Los trabajos desarrollados por Buckley y Walker (1988) citado por (Ospina, Osorno, Giraldo, Mejía, & Márquez) sobre superficies de arsenopiritas oxidadas en aire, clivadas en condiciones controladas de presión, en atmósferas de N<sub>2</sub>, sugieren un mecanismo de reacción para la oxidación del mineral, Ecuación 1, donde las velocidades de oxidación para las fracciones molares de Fe, As y S son iguales. En la expresión  $y > x$ ;  $b \leq 1,5$ :



Los productos de este proceso de oxidación incluyen: As(I), As(II) y As(III) enlazados al oxígeno, Fe(II) en solución sólida con sulfoarseniuros, Fe(III) enlazados con oxígenos y disulfuros. En este trabajo no se observó la presencia de productos de la oxidación del compuesto S–O (Ospina, Osorno, Giraldo, Mejía, & Márquez, 2011, pág. 58).

### 2.2.2. Cianuración

El cianuro se empleó, por el poder disolvente del oro; como (Untersuchungeno, t. I, pág. 665), citado por (Bado), Hagen en 1805 anunciaba la solubilidad de este metal en cianuro de potasio; en 1840 Elkington patentó para el empleo de esa reacción en galvanoplastia: disolvía el oro metálico (...), en una solución al 20% de cianuro de potasio (Bado, 1909, pág. 54).

La industria evolutiva de la minería aurífero en el tiempo va aportando en el desarrollo de la extracción de la minería por ello,

En 1867 J. II. Rae de Siracusa patentó por primera vez un procedimiento para el tratamiento de los minerales auroargentíferos por medio del cianuro de potasio. Pero cupo la gloria de hacer un método universalmente aceptado bajo el punto de vista industrial á Jfac Arthur y Forrest, quienes en 1887 anunciaron su procedimiento, que si bien solo tiene 22 años de aplicación, ha aportado á la industria aurífera una transformación radical y fecunda, a tal punto, que si no fuera por este procedimiento, solo seis de las grandes usinas del Transvaal serían explotables y la mayoría de las de oro no amalgamable hubieran permanecido abandonadas.

La cianuración presenta dos grandes ventajas sobre el procedimiento de la cloruración:

permite el tratamiento de los minerales rebeldes. los demás procedimientos y hace factible la explotación de los minerales que solo son parcialmente amalgamables.

En el año 1888 Mac Arthur y Forrest enviaron expediciones a diferentes países extranjeros, Queensland, Nueva Zelandia, Transvaal y América, con el fin de aplicar su procedimiento a las diversas regiones auríferas.

Los primeros resultados, excepto en Transvaal, fueron bastante malos, debido quizá a que las instalaciones eran deficientes. La célebre mina Robiamon del Transvaal fue la primera en dar resultados positivos con la aplicación de este procedimiento, llegando con este procedimiento el inicio de una era nueva para la industria del oro, permitiendo extraer grandes cantidades del metal precioso (Bado, 1909).

En el proceso de lixiviación el acceso del cianuro y del oxígeno hacia el oro y la plata y así poder liberarlos. Las reacciones que se producen son (Ramsden, 2001):



### 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.

- a. **Cal:** Oxido de calcio, con pureza promedio y superior al 54% de CaO, para ser usado en el proceso de cianuración, para alcalinizar la solución a un pH superior a 10, para mantener el ion cianuro en solución y reducir la producción de gas cianhídrico.
- b. **Cianuración:** Es el proceso, por el cual, se logra disolver el oro y la plata mediante una disolución alcalina de cianuro de sodio.
- c. **Cianuro De Sodio:** Sal soluble en agua, utiliza en el proceso de cianuración para disolver el oro del mineral y la cementación para la precipitación del oro sobre el zinc.
- d. **Dore:** Consiste de la unión de metales de oro y plata.
- e. **Ley:** Presencia metal valioso en cada tonelada de mineral. Expresa en onzas troy por tonelada para los metales preciosos y como porcentaje para otros metales o no metales. En la ley se expresa en partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb).
- f. **Lixiviación:** Proceso de disolución de un sólido en una solución lixivante.
- g. **Mineral:** Una sustancia homogénea que ocurre naturalmente y tiene propiedades físicas y composición química definidas y que, si se forma en condiciones favorables, tiene una forma de cristal definida.
- h. **Molienda:** Proceso que consiste en reducir el mineral de rocas "-3/4" a un tamaño

inferior según requerimiento del siguiente proceso. La molienda permite liberar las especies minerales valiosas de la ganga.

- i. **Pulpa:** Es la mezcla de un conjunto de partículas diminutas de un material sólido de mena con agua.
- j. **Recuperación:** Porcentaje del metal valioso en el mineral que se recupera por tratamiento metalúrgico.
- k. **Relave:** Material estéril que se obtiene durante el proceso de cianuración y adsorción con carbón activado de los minerales.
- l. **Solución Barren:** Llamada también solución pobre debido a que el contenido de oro en esta es poco, lo cual se recircula durante el proceso adicionándole cianuro de sodio.
- m. **Solución Preñada:** Llamada también solución rica es la solución con alto contenido de oro esta solución proviene después del proceso de cianuración lo cual es filtrada para después agregarle carbón activo lo cual absorberá las partículas de oro disueltas en dicha solución.

## 2.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

### 2.4.1. Hipótesis General.

Realizando un tratamiento de minerales refractarios mediante oxidación avanzada, para que posteriormente nos permita extraer el oro a nivel laboratorio

### 2.4.2. Hipótesis Específicas.

- Realizando una oxidación avanzada de los minerales refractarios, nos permitirá la liberación del oro para su posterior extracción mediante cianuración.
- El mineral refractario oxidado se podrá realizar una cianuración, para su concentración en la solución como cianuro áurico.
- El tiempo de tratamiento de oxidación y cianuración, nos permitirá elevar la recuperación del oro a nivel laboratorio.

## **CAPITULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1.1. Tipo de investigación.**

**De acuerdo a su naturaleza:** experimental básica.

**De acuerdo al propósito o utilización:** Investigación aplicada.

Se realiza la investigación experimental y aplicada, en base a los parámetros y variables que afectan la oxidación y extracción del elemento en estudio de acuerdo a los objetivos de la investigación.

#### **3.1.2. Enfoque de la investigación.**

Es una investigación cuantitativa por que se cuantificara los elementos que ingresan al proceso de oxidación y extracción.

**De acuerdo su característica:** Análisis de causa - efecto.

**De acuerdo su proceso:** Probatorio.

**De acuerdo a sus bondades:** Generalización de resultados.

### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.**

#### **3.2.1. Población.**

La población está representada por el mineral sulfurados de la zona de Raquia.

#### **3.2.2. Población.**

La muestra para el trabajo de investigación se obtendrá del muestreo realizado de la mina para posterior preparación mediante el método incremento capacidad de 1 kilo para su tratamiento.

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES.

Tabla 1. Variables e indicadores de operacionalización

| Variables                             | Concepto   | Dimensión           | Indicadores   |
|---------------------------------------|--|---------------------|---|
| <b>Independiente</b>                  |  |                     |   |
| Tratamiento de minerales refractarios | Es el proceso mediante el cual se descompone los minerales refractarios. | Variables           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Oxidación:</b> Fenómeno químico de transforma de un compuesto por la acción de un oxidante, que hace que dicho compuesto aumente la cantidad de oxígeno y disminuya el número de electrones de alguno de los átomos.</li> <li>• <b>Cianuración:</b> Proceso de extracción de oro (insoluble en agua) en aniones metálicos complejos de aurocianida, solubles en agua.</li> <li>• <b>Tiempo:</b> Magnitud física que nos permite medir la duración de extracción de los elementos de interés.</li> </ul> |
| <b>Dependiente</b>                    |  |                     |   |
| Extracción de oro                     | Proceso de separación desde un sólido a si a líquido de del oro          | Medición de control | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Liberación:</b> Es la acción de dejar libre al oro.</li> <li>• <b>Concentración:</b> Es la acción de elevar la presencia del oro en la solución</li> <li>• <b>Recuperación:</b> Es la relación de lo que se extrae con respecto de lo avía.</li> </ul>  |

### 3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

#### 3.4.1. Técnicas a Emplear.

**a. Observación sistemática Directa.**

En el proceso de investigación se emplearon esta técnica para observar el proceso de investigación en el momento que se llevó el desarrollo de las pruebas.

**b. Observación Sistemática Indirecta.**

En la fundamentación de la parte antecedentes teóricos, etc. Se utilizó esta técnica para analizar y estudiar los diversos documentos que contenían información sobre el tema de investigación a desarrollada.

**c. Observación experimental.**

En el proceso experimental se aplicó seguir el desarrollo de las actividades experimental y extraer datos para procesar posteriormente con mayor eficiencia.

**d. Otras Técnicas.**

Técnica de cuestionario.

#### 3.4.2. Descripción de los Instrumentos.

Ficha de observación.

Lista de cotejo.

Escalas libreta de notas.

Filmadora, cámara fotográfica y grabadora.

### 3.5. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

Se usará el análisis matemático y estadístico, usando programas de cálculo como Excel, minitap 18, spss 25, para luego procesar y mostrar la información obtenida, mediante tablas, registros, figuras, promedios y otros.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. CONDICIONES DE TRABAJO.

##### 4.1.1. Condiciones de trabajo para el diseño factorial.

Para el trabajo de investigación se consideró la liberación, nitrato de plomo, y tiempo con un máximo y mínimo como se detalla en la tabla 2.

Tanto los factores naturales y los codificados y las centrales para el diseño factorial que nos permitió realizar el trabajo de investigación.

*Tabla 2 Condiciones de trabajo en el diseño factorial natural y codificada*

| <b>Factor</b>          | <b>Unidad</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> | <b>Central</b> |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Z1: %-400m (36 $\mu$ ) | $\mu$         | 60.0          | 70.0          | 65.0           |
| Z2: PbNO <sub>3</sub>  | g/kg          | 0.5           | 1.5           | 1.0            |
| Z3: Tiempo             | hr            | 30.0          | 42.0          | 36.0           |

| <b>Factor</b>         | <b>Unidad</b> | <b>Nivel (-)</b> | <b>nivel (+)</b> | <b>nivel (0)</b> |
|-----------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|
| X1: %-400m (36u)      | $\mu$         | -1               | 1                | 0                |
| X2: PbNO <sub>3</sub> | g/kg          | -1               | 1                | 0                |
| X3: Tiempo            | hr            | -1               | 1                | 0                |

*Tabla 3 Condiciones de trabajo para las variables manipulables*

| N         | ESCALA CODIFICADA |                |                | ESCALA NATURAL |                |                |
|-----------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|           | X <sub>1</sub>    | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> |
| <b>1</b>  | -1                | -1             | -1             | 70.0           | 0.5            | 36             |
| <b>2</b>  | 1                 | -1             | -1             | 75.0           | 0.5            | 36             |
| <b>3</b>  | -1                | 1              | -1             | 70.0           | 1.5            | 36             |
| <b>4</b>  | 1                 | 1              | -1             | 75.00          | 1.5            | 36             |
| <b>5</b>  | -1                | -1             | 1              | 70.0           | 0.5            | 46             |
| <b>6</b>  | 1                 | -1             | 1              | 75.0           | 0.5            | 46             |
| <b>7</b>  | -1                | 1              | 1              | 70.0           | 1.5            | 46             |
| <b>8</b>  | 1                 | 1              | 1              | 75.0           | 1.5            | 46             |
| <b>9</b>  | 0                 | 0              | 0              | 72.5           | 1.0            | 41             |
| <b>10</b> | 0                 | 0              | 0              | 72.5           | 1.0            | 41             |
| <b>11</b> | 0                 | 0              | 0              | 72.5           | 1.0            | 41             |

En la tabla 3 se muestra las variables que se utilizarán en el trabajo de investigación realizando 11 pruebas de las cuales se realizarán tres pruebas centrales y ocho pruebas de acuerdo las condiciones descrita.



## 4.2. RESULTADOS DE PRUEBAS

### 4.2.1. Pruebas obtenidas de los experimentos.

*Tabla 4 Recuperación del oro de acuerdo el diseño de investigación*

| N° | ESCALA CODIFICADA |                |                | ESCALA NATURAL |                |                | Y     |
|----|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|    | X <sub>1</sub>    | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | (Obs) |
| 1  | -1                | -1             | -1             | 60             | 0.5            | 30             | 54.80 |
| 2  | 1                 | -1             | -1             | 70             | 0.5            | 30             | 52.27 |
| 3  | -1                | 1              | -1             | 60             | 1.5            | 30             | 46.09 |
| 4  | 1                 | 1              | -1             | 70.00          | 1.5            | 30             | 46.94 |
| 5  | -1                | -1             | 1              | 60             | 0.5            | 42             | 55.08 |
| 6  | 1                 | -1             | 1              | 70             | 0.5            | 42             | 55.36 |
| 7  | -1                | 1              | 1              | 60             | 1.5            | 42             | 52.55 |
| 8  | 1                 | 1              | 1              | 70             | 1.5            | 42             | 53.40 |
| 9  | 0                 | 0              | 0              | 65             | 1              | 36             | 53.40 |
| 10 | 0                 | 0              | 0              | 65             | 1              | 36             | 53.68 |
| 11 | 0                 | 0              | 0              | 65             | 1              | 36             | 53.96 |

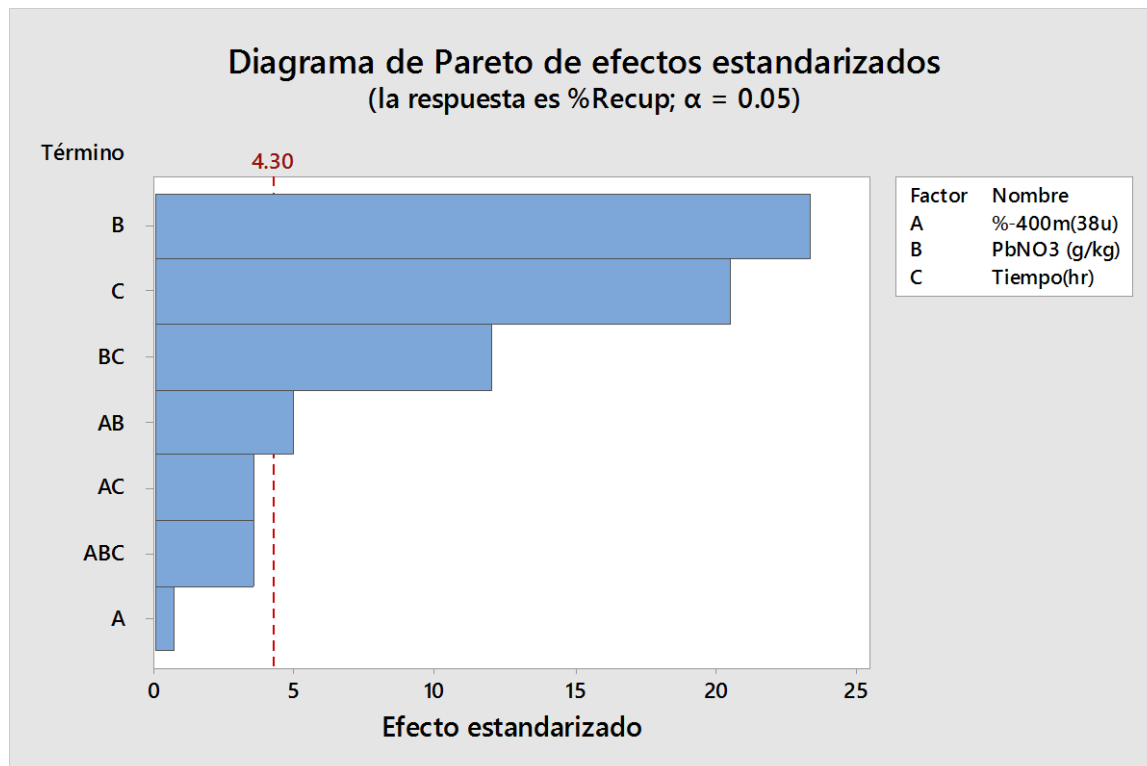
En la tabla 4 se detalla los resultados obtenidos de acuerdo las pruebas realizadas, donde se puede apreciar que la mejor recuperación es prueba 6 con una recuperación de 55.36% con una liberación de 60% pasante a la malla 400m, con 0.5 g/kg de nitrato de plomo y en 42 horas.

### 4.2.2. Tratamiento de la información de la varianza y su análisis

En el análisis de significancia de las variables inmersas la degradación del cianuro de sodio se evaluará primero por efecto normal estandarizado y el diagrama de Pareto, con el

programa estadístico minitab 18 que a continuación demuestra en las figuras 2.

Figura 2. Efectos de significancia con Diagrama de Pareto



En la figura 2 efectos estandarizado de Pareto se aprecia para un error de 5% y 95% de confiabilidad por encima de la línea 4.30, que el  $\text{PbNO}_3(\text{g/kg})$ , Tiempo(hr) y las interacciones de  $\text{\%-400m}(36\mu)*\text{PbNO}_3(\text{g/kg})$ , p  $\text{PbNO}_3(\text{g/kg})*\text{Tiempo}(\text{hr})$  tiene efectos significativos. Mientras que el  $\text{\%-400m}(38\mu)$ , interacción  $\text{\%-400m}(36\mu)*\text{Tiempo}(\text{hr})$  y la interacción  $\text{\%-400m}(36\mu)*\text{PbNO}_3(\text{g/kg})*\text{Tiempo}(\text{hr})$  tiene efectos no significativos.

Tabla 5. Análisis de varianza para el contenido final de la extracción del oro ANOVA (Test-Fisher)

| <b>Fuente</b>     | <b>SS</b> | <b>g.l</b> | <b>MS</b> | <b>Fo</b> | <b>valor-p</b> | <b>valor-p ≤ α</b> |
|-------------------|-----------|------------|-----------|-----------|----------------|--------------------|
| $\Sigma X1=$      | 0.03943   | 1          | 0.0394    | 0.50      | 0.5528         | No Significativo   |
| $\Sigma X2=$      | 42.94376  | 1          | 42.9438   | 544.50    | 0.0018         | Significativo      |
| <b>SSX3=</b>      | 33.16410  | 1          | 33.1641   | 420.50    | 0.0024         | Significativo      |
| <b>SSX1X2=</b>    | 1.93227   | 1          | 1.9323    | 24.50     | 0.0385         | Significativo      |
| <b>SSX1X3=</b>    | 0.98585   | 1          | 0.9859    | 12.50     | 0.0715         | No Significativo   |
| <b>SSX2X3=</b>    | 11.39646  | 1          | 11.3965   | 144.50    | 0.0068         | Significativo      |
| <b>SSX1X2X3=</b>  | 0.98585   | 1          | 0.9859    | 12.50     | 0.0715         | No Significativo   |
| <b>Curvatura=</b> | 5.68927   | 1          | 5.6893    | 72.14     | 0.0136         |                    |
| <b>Error=</b>     | 0.15774   | 2          | 0.0789    |           |                |                    |
| <b>Total=</b>     | 97.29474  | 10         |           |           |                |                    |

Nota: Procesado por el autor en el Microsoft Excel 2016 en función a los resultados de la investigación realizado.

Las condiciones si  $F_0 > F(\alpha; g_l T; g_l E)$ , entonces para  $F(\alpha; g_l T; g_l E) = F(0.05; 10; 2) = 19.40$

F tablas de 95% de confiabilidad, con un error de  $\alpha = 0.05$  y el grado de libertad total 10 y grado de error 2. Siendo  $F_0$  igual a 19.40 según la tabla 5, para os valores de  $F^\circ$  mayores a 19.40 serán significativos en nuestro caso sólo la liberación %-400m ( $36\mu$ ) no es significativa, lo que corrobora que el nitrato de plomo  $PbNO_3(g/kg)$  y tiempo (hr) son significativas en el proceso de investigación.

### 4.2.3. Cálculo del modelo matemático a escala codificada.

En el cálculo del modelo matemático a escala codificada se utilizará la matriz del diseño factorial con replicas en el centro y las respuestas obtenidas en el experimento.

*Tabla 6 Matriz del diseño factorial con replicas en el centro y respuestas*

| N | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> | X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> | X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> | X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> | Y     |       |
|---|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|-------|-------|
| 1 | -1             | -1             | -1             | 1                             | 1                             | 1                             | -1   | 54.80 |       |
| 2 | 1              | -1             | -1             | -1                            | 1                             | 1                             | 1  | 52.27 |       |
| 3 | -1             | 1              | -1             | -1                            | -1                            | -1                            | 1  | 46.09 |       |
| 4 | 1              | 1              | -1             | 1                             | -1                            | -1                            | -1   | 46.94 |       |
| 5 | -1             | -1             | 1              | 1                             | -1                            | -1                            | 1  | 55.08 |       |
| 6 | 1              | -1             | 1              | -1                            | -1                            | -1                            | -1   | 55.36 |       |
| 7 | -1             | 1              | 1              | -1                            | 1                             | 1                             | -1   | 52.55 |       |
| 8 | 1              | 1              | 1              | 1                             | 1                             | 1                             | 1  | 53.40 | 52.06 |
| 9 | 0              | 0              | 0              | 0                             | 0                             | 0                             | 0  | 53.40 |       |
| 9 | 0              | 0              | 0              | 0                             | 0                             | 0                             | 0  | 53.68 |       |
| 9 | 0              | 0              | 0              | 0                             | 0                             | 0                             | 0  | 53.96 | 53.68 |

Nota: Diseño por el autor en función al diseño factorial de la investigación

Con los datos obtenidos se calcula el efecto para cada variable e interacciones con se muestra en la tabla 7.

Tabla 7 Calculo el efecto  $\Delta$  para cada variable e interacciones

| <b>PROME.</b>                      | <b>X1</b> | <b>X2</b> | <b>X3</b> | <b>X1X2</b> | <b>X1X3</b> | <b>X2X3</b> | <b>X1X2X3</b> |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| (-)                                | 52.132    | 54.378    | 50.025    | 51.570      | 51.710      | 50.868      | 52.413        |
| (+)                                | 51.991    | 49.745    | 54.098    | 52.553      | 52.413      | 53.255      | 51.710        |
| <b>EFFECTO <math>\Delta</math></b> | -0.140    | -4.634    | 4.072     | 0.983       | 0.702       | 2.387       | -0.702        |
| <b><math>\Delta/2</math></b>       | -0.070    | -2.317    | 2.036     | 0.491       | 0.351       | 1.194       | -0.351        |

Nota: Procesado por el autor en Microsoft Excel 2016 de los resultados de la investigación en función al diseño factorial.

De los cálculos realizados los valores de los coeficientes de la ecuación matemática son:

| <b>Y</b> | <b>X1</b> | <b>X2</b> | <b>X3</b> | <b>X1X2</b> | <b>X1X3</b> | <b>X2X3</b> | <b>X1X2X3</b> |
|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 52.132   | -0.070    | -2.317    | 2.036     | 0.491       | 0.351       | 1.194       | -0.351        |

La ecuación matemática a escala codificada es:

$$Y=52.06-0.07X_1-2.32X_2+2.04X_3+0.49X_1X_2 +0.3510X_1X_3 +0.35X_2X_3 -0.35 X_1X_2X_3$$

El modelo matemático a escala codificada hallada del matriz e interacciones y respuestas por su significancia quedaría de la siguiente relación matemática:

$$Y=52.06-2.32X_2+2.04X_3+0.49X_1X_2 +0.35X_2X_3$$

#### 4.2.4. Análisis de residuos

En el análisis de residuos se interrelacionará la ecuación encontrada, para ello multiplicamos la matriz de variables independientes menos la columna X1, X1X3y X1X2X3 que resultó no significativa, y sus respectivos coeficientes del modelo matemático siendo Y los valores pronosticados del modelo.

*Tabla 8 Matriz codificada de las variables independientes, dependientes y residuales*

| Nº | X2 | X3 | X1X2 | X2X3 | Yr    | Y     | (Yr-Y) | (Yr-Y) <sup>2</sup> |
|----|----|----|------|------|-------|-------|--------|---------------------|
| 1  | -1 | -1 | 1    | 1    | 54.80 | 53.18 | 1.61   | 2.608               |
| 2  | -1 | -1 | -1   | 1    | 52.27 | 52.20 | 0.07   | 0.005               |
| 3  | 1  | -1 | -1   | -1   | 46.09 | 46.87 | -0.77  | 0.596               |
| 4  | 1  | -1 | 1    | -1   | 46.94 | 47.85 | -0.91  | 0.833               |
| 5  | -1 | 1  | 1    | -1   | 55.08 | 56.55 | -1.47  | 2.174               |
| 6  | -1 | 1  | -1   | -1   | 55.36 | 55.57 | -0.21  | 0.044               |
| 7  | 1  | 1  | -1   | 1    | 52.55 | 51.64 | 0.91   | 0.833               |
| 8  | 1  | 1  | 1    | 1    | 53.40 | 52.62 | 0.77   | 0.596               |
|    |    |    |      |      |       |       |        | <b>7.690</b>        |

Nota: Procesado por el autor en Microsoft Excel de los resultados de la investigación en función al diseño factorial.

$$SSMR = 1.2816$$

$$F_0 = 16.25$$

$$F_0 < F(\alpha; glR; glE),$$

$$F(0.05; 4; 2) = 19.25 \text{ Significativo}$$

19.25 > 16.25, por consiguiente, la ecuación matemática representa apropiadamente al fenómeno investigado.

}

#### 4.2.5. Decodificación de la ecuación matemático a escala natural y su análisis.

Tabla 9 Descodificación de modelo matemático

|                     | X1     | X2    | X3     | X1X2    | X1X3     | X2X3   | X1X2X3   |
|---------------------|--------|-------|--------|---------|----------|--------|----------|
| Nivel Inferior (-)  | 60.000 | 0.500 | 30.000 | 30.000  | 1800.000 | 15.000 | 900.000  |
| Nivel Superior (+)  | 70.000 | 1.500 | 42.000 | 105.000 | 2940.000 | 63.000 | 4410.000 |
| Centro de diseño Z° | 65.000 | 1.000 | 36.000 | 67.500  | 2370.000 | 39.000 | 2655.000 |
| Radio del diseño DZ | 5.000  | 0.500 | 6.000  | 37.500  | 570.000  | 24.000 | 1755.000 |
| Relación E          | 13.000 | 2.000 | 6.000  | 1.800   | 4.158    | 1.625  | 1.513    |

Reemplazando los datos en las ecuaciones obtenemos:

$$a_0 = 43.008$$

$$a_1 = -0.005$$

$$a_2 = -1.158$$

$$a_3 = 0.339$$

$$a_4 = 0.273$$

$$a_5 = 0.084$$

$$a_6 = 0.216$$

$$a_7 = -0.232$$

Para nuestro caso el modelo matemático descodificada es como se muestra a continuación:

$$Y = 43.008 - 1.1584 Z_2 + 0.3393 Z_3 + 0.273 Z_1 Z_2 + 0.216 Z_2 Z_3$$

Si el modelo matemático se lleva a la escala natural entonces será de la siguiente forma:

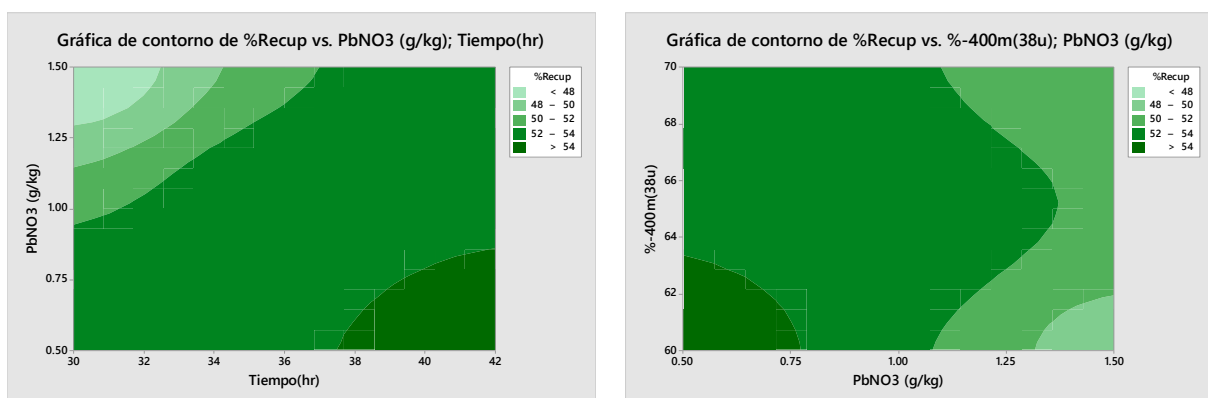
$$Y=43.008 - 1.1584\text{PbNO}_3(\text{g/kg}) + 0.3393 \text{Tiempo}(\text{hr}) + 0.273\% - 400\text{m}(36\mu)*\text{PbNO}_3(\text{g/kg}) + 0.216\text{PbNO}_3(\text{g/kg})*\text{Tiempo}(\text{hr})$$

Ahora si las tres variables y sus interacciones igualamos a cero, en este caso la recuperación del oro será igual a la constante cuyo signo es positivo (43.008%) el cual nos indica que está en su mínimo y se puede maximizarse.

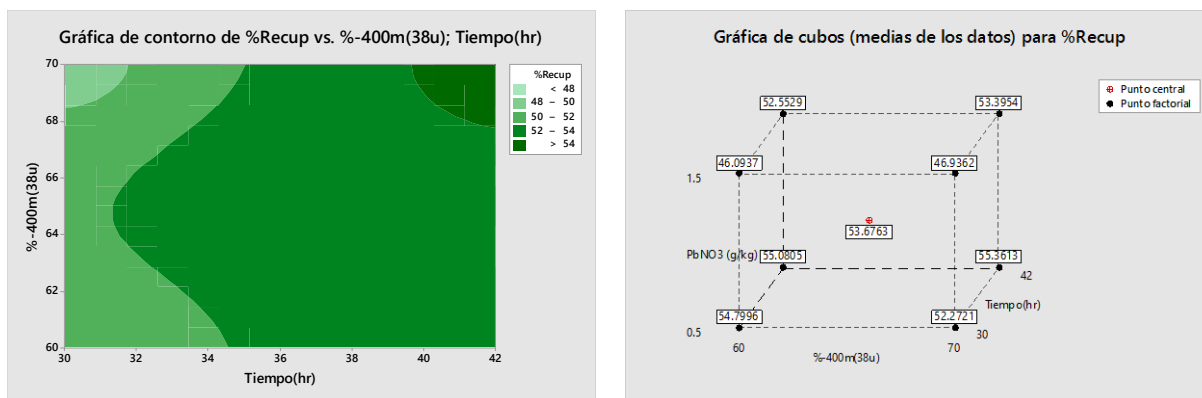
#### 4.2.6. Superficie de respuesta estimada

Para un análisis de la superficie de respuestas estimadas se utilizará la gráfica de contorno, grafica de cubos.

*Figura 3 Grafica de contorno recuperación de oro.*







En la figura 3, en la gráfica de contorno la recuperación mayor a 54% es cuando se trabaja entre 0.5 g/kg a 0.75 g/kg de nitrato de plomo y 38 a 42 horas, para 0.5 g/kg a 0.75 g/kg de nitrato de plomo y 60 a 63.5 %-400m(38 $\mu$ ), y para un tiempo de 38 a 42 horas 68 a 70 %-400m(38 $\mu$ ).

Por trata parte mayor recuperación es cuando el tiempo es de 42 horas, nitrato de plomo de 0.5 g/kg y 70% pasante a malla %-400m(38 $\mu$ ).

#### 4.2.7. Diagnóstico de las regresiones.

Para el análisis se tiene en consideración los 11 resultados de las pruebas realizados mediante regresiones lineales, para ello se tiene como vector respuesta el porcentaje de la recuperación de cada elemento.

En el para determinar la significancia se hará mediante el test Fisher (F tablas) calculando estadísticamente la significancia de cada variable del elemento analizado. Mostrando en el cuadro el resumen del resultado, en donde debe cumplir que:  $F_o$  (Tablas) >  $F_o$ (calculado) así contrastar las variables que sea significativa.

*Tabla 10 Significancia de respuestas de la recuperación de oro*

| Fo calculado  |                   |                          |            |                |          |
|---------------|-------------------|--------------------------|------------|----------------|----------|
| RESPUESTA     | %-400m(38 $\mu$ ) | PbNO <sub>3</sub> (g/kg) | Tiempo(hr) | %confiabilidad | F tablas |
| %Recuperación | 0.50              | 544.50                   | 420.50     | 95             | 19.40    |

Nota: Elaborado por el autor.

En la tabla 10 el test Fisher hallada estadísticamente calculada con Excel y minitab 18 se tiene para cada variable para él %-400m(38 $\mu$ ) es de 0.50, PbNO<sub>3</sub>(g/kg) de 544.50 y Tiempo(hr) es de 420.50 para un 95% de confiabilidad y de tabla es de 19.40.

*Tabla 11 Variables significativas*

| Fo calculado  |                   |                          |            |
|---------------|-------------------|--------------------------|------------|
| RESPUESTA     | %-400m(38 $\mu$ ) | PbNO <sub>3</sub> (g/kg) | Tiempo(hr) |
| %Recuperación | ----              | 544.50                   | 420.50     |

La variable significativa para la recuperación de oro de acuerdo las condiciones de mayores de Fo (19.40) para las condiciones son PbNO<sub>3</sub>(g/kg) Fo (544.50) y Tiempo(hr) Fo (420.50) calculadas.

*Tabla 12 Efectos de las variables significativas*

| %Recup  | %-400m<br>(36 $\mu$ ) | PbNO <sub>3</sub> (g/<br>kg) | Tiempo(h<br>r) | %-400m<br>(36 $\mu$ )*Pb<br>NO <sub>3</sub> (g/kg) | %-400m<br>(36 $\mu$ )*Tie<br>mpo(hr) | PbNO <sub>3</sub> (g/<br>kg)*Tiem<br>po(hr) | %-400m<br>(36 $\mu$ )*PbNO <sub>3</sub> (g/k<br>g)*Tiempo(hr) |
|---------|-----------------------|------------------------------|----------------|--|--------------------------------------|---|---|
| Efecto  | -0.14                 | -4.63                        | 4.07           | 0.98   | 0.70                                 | 2.38  | -0.70   |
| Valor t | -0.71                 | -23.33                       | 20.51          | 4.95   | 3.54                                 | 12.02                                       | -3.54   |

Nota: Fuente anexo 4, procesado de los datos experimentales Minitab 18.

En la tabla 12 se puede apreciar que la recuperación de oro tanto el efecto como valor t, para el  $PbNO_3(g/kg)$  tiene un efecto negativo (-4.63, -23.33), mientras que el Tiempo(hr) tiene un efecto positivo (+4.07, +20.51), con la interacción de %-400m (36 $\mu$ )\* $PbNO_3(g/kg)$  tiene un efecto positivo (+0.98, +4.95), y la interacción de  $PbNO_3(g/kg)$ \*Tiempo(hr) tiene un efecto positivo (+2.38, +12.02), para la recuperación de oro a partir de minerales refractarios.

#### 4.3. Contrastación de hipótesis de estudio.

Para la contrastación de la hipótesis se realiza mediante el análisis de varianza anova, de los resultados se muestran en la tabla 14.

Tabla 13 Análisis de Varianza

| Fuente   | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo   | 8  | 97.1370   | 12.1421   | 153.95  | 0.006   |
| <b>Lineal</b>                                  | 3  | 76.1473   | 25.3824   | 321.83  | 0.003   |
| %-400m (36 $\mu$ )                             | 1  | 0.0394    | 0.0394    | 0.50    | 0.553   |
| $PbNO_3(g/kg)$                                 | 1  | 42.9438   | 42.9438   | 544.50  | 0.002   |
| Tiempo(hr)                                     | 1  | 33.1641   | 33.1641   | 420.50  | 0.002   |
| <b>Interacciones de 2 términos</b>             | 3  | 14.3146   | 4.7715    | 60.50   | 0.016   |
| %-400m (36 $\mu$ )* $PbNO_3(g/kg)$             | 1  | 1.9323    | 1.9323    | 24.50   | 0.038   |
| %-400m (36 $\mu$ )*Tiempo(hr)                  | 1  | 0.9859    | 0.9859    | 12.50   | 0.072   |
| $PbNO_3(g/kg)$ *Tiempo(hr)                     | 1  | 11.3965   | 11.3965   | 144.50  | 0.007   |
| <b>Interacciones de 3 términos</b>             | 1  | 0.9859    | 0.9859    | 12.50   | 0.072   |
| %-400m (36 $\mu$ )* $PbNO_3(g/kg)$ *Tiempo(hr) | 1  | 0.9859    | 0.9859    | 12.50   | 0.072   |
| Curvatura                                      | 1  | 5.6893    | 5.6893    | 72.14   | 0.014   |
| Error  | 2  | 0.1577    | 0.0789    |         |         |
| Total  | 10 | 97.2947   |           |         |         |

Nota: Fuente procesado con minitab 18 de los datos obtenidos en el laboratorio

**a. Contratación de la Hipótesis Específicos.**

Para la contrastación de las hipótesis de acuerdo la tabla 13 se tiene:

- La liberación [%-400m (36 $\mu$ )] el valor calculado de p es  $0.055 > 0.05$  por consiguiente no tiene efecto en la extracción de minerales de los minerales, mientras que el nitrato de plomo  $PbNO_3(g/kg)$  el valor calculado de p es  $0.002 < 0.05$  por consiguiente tiene efecto en la extracción y tiempo Tiempo(hr) el valor calculado de p es  $0.002 < 0.05$  por consiguiente tiene efectos en la extracción del elemento de interés.
- En la doble interacción para liberación y el nitrato de plomo (%-400m (36 $\mu$ )\* $PbNO_3(g/kg)$ ), el valor calculado de p es  $0.038 < 0.05$  por consiguiente tiene efectos en la extracción del elemento valioso.
- En la doble interacción liberación y el tiempo [%-400m (36 $\mu$ )\*Tiempo(hr)], el valor calculado de p es  $0.072 > 0.05$  por consiguiente no tiene efectos en la extracción del elemento de interés.
- En la doble interacción de nitrato de plomo y el tiempo [  $PbNO_3(g/kg)$ \*Tiempo(hr)], el valor calculado de p es  $0.007 < 0.05$  por consiguiente tiene efectos en la extracción del elemento de interés.
- En la triple interacciones de liberación nitrato de plata y tiempo [%-400m (36 $\mu$ )\* $PbNO_3(g/kg)$ \*Tiempo(hr)], el valor calculado de p es  $0.072 > 0.05$  por consiguiente no tiene efectos en la extracción del oro.

## CAPITULO V

### DISCUSIÓN CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

#### 5.1. DISCUSIÓN.

Respecto a las pruebas experimentales sobre tratamiento de minerales auríferos, se sometieron a prueba mediante el diseño factorial donde interviene el %-400m ( $36\mu$ ) de 60% a 70% pasante malla 400m con un central de 65%, para el  $PbNO_3$  de 0.5 g/kg, 1.5 g/kg y medida central de 1.0 g/kg; mientras que para el tiempo se tiene 30, 42 horas, y una medida central de 36, la mayor recuperación se obtiene 55.36% con 60% de liberación, 0.5 g/kg de nitrato de plomo 42 horas de tratamiento.

Los resultados se procesaron mediante el diseño factorial estadístico, obteniendo un análisis del efecto significativo de 95% de probabilidades, tiene significancia el nitrato de plomo, tiempo y en las interacciones de liberación con el nitrato de plomo, nitrato de plomo tiempo tiene efectos significativos. Mientras que la liberación, en la interacción liberación con él tiempo tiene efectos y liberación nitrato de plomo y tiempo no significativos esto se fundamenta en con la gráfica diagrama de Pareto (figura 2), cuantificando en el análisis de varianza ANOVA test Fisher (tabla 5), para un error de 0.05 con grado de libertad total de 10, grado de error 2 F de tabla es de 19.40 mayores tiene efectos significativos y los menores efectos no significativos.

Para el presente estudio se estima que los rangos adecuado para una recuperación se tiene cuando se trabaja entre 0.5 g/kg a 0.75 g/kg de nitrato de plomo y 38 a 42 horas, para 0.5 g/kg a 0.75 g/kg de nitrato de plomo y 60 a 63.5 %-400m( $38\mu$ ), y para un tiempo de 38 a 42 horas 68 a 70 %-400m( $38\mu$ ). Una recuperación de 54%.

El efecto que tiene las variables y las interacciones que intervienen y cumplan con la significancia en la tabla 12 se puede ver que el efecto y el valor t tiene signo positivo que representa efecto positivo tenemos nitrato de plomo y tiempo, en las interacciones liberación con el nitrato de plomo, nitrato plomo con el tiempo tiene un efecto positivo, pero la liberación, liberación tiempo, liberación nitrato de plomo y tiempo tiene efecto negativo.

Sobre mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la preoxidación de minerales sulfurosos con ozono para (Salinas, y otros, 2004), el “resultado, indica que el mineral de estudio presenta de igual modo, ciertas características refractarias al proceso de cianuración debido a su naturaleza piritica, permitiendo hace ideal para su tratamiento por oxidación con ozono previo al proceso de cianuración”.

Sobre refractarias auríferas y su efecto en la extracción del oro, para (Gaviria, Gonzalez, & Mora), “Un incremento en la disolución de oro por el cianuro en el concentrado de El Roble, podría lograrse, siempre y cuando el cobre sea extraído previamente a la etapa de cianuración”.

Sobre refractariedad de concentrado aurífero, para (Arias, Coronado, Puente, & Lovera), “El potencial Thiobacillus y archeabacteria lixivian minerales incluyendo radiactivos in situ o en reactor, abriendo las posibilidades para optimizar recurso mineros en la industria metalurgia extractiva, si se realizan acciones conjuntas entre los centros de investigación y la industria”.

## **5.2. CONCLUSIONES.**

Sobre el estudio de tratamiento de minerales refractarios para la extracción de oro a nivel laboratorio, las que son predominantes sobre las variables influyentes y sus interacciones en el presente estudio se puede llegar a las siguientes conclusiones:

Una mejor recuperación se obtiene en la prueba 6 con un 55.36% con una liberación de 70% pasante a la malla 400m, con 0.5 g/kg de nitrato de plomo y en 42 horas.

Para un error de 5% y 95% de confiabilidad la presencia de  $\text{PbNO}_3(\text{g/kg})$ ,  $\text{Tiempo}(\text{hr})$  y las interacciones de  $\% -400\text{m } (36\mu) * \text{PbNO}_3(\text{g/kg})$ ,  $\text{PbNO}_3(\text{g/kg}) * \text{Tiempo}(\text{hr})$  tiene efectos significativos.

La ecuación predicha para la recuperación está relacionado de la siguiente manera:

$$Y = 43.008 - 1.1584 \text{PbNO}_3(\text{g/kg}) + 0.3393 \text{Tiempo}(\text{hr}) + 0.273\% - 400\text{m}(36\mu) * \text{PbNO}_3(\text{g/kg}) + 0.216 \text{PbNO}_3(\text{g/kg}) * \text{Tiempo}(\text{hr})$$

Para una mayor recuperación superior a 54% se da cuando se trabaja entre 0.5 g/kg a 0.75 g/kg de nitrato de plomo y 38 a 42 horas, para 0.5 g/kg a 0.75 g/kg de nitrato de plomo y 60 a 63.5  $\% -400\text{m}(38\mu)$ , y para un tiempo de 38 a 42 horas 68 a 70  $\% -400\text{m}(38\mu)$ .

Los efecto en el presente trabajo es para él  $\text{PbNO}_3(\text{g/kg})$  tiene un efecto negativo (-4.63, -23.33), mientras que el  $\text{Tiempo}(\text{hr})$  tiene un efecto positivo (+4.07, +20.51), en la interacción de  $\% -400\text{m } (36\mu) * \text{PbNO}_3(\text{g/kg})$  tiene un efecto positivo (+0.98, +4.95), y la interacción de  $\text{PbNO}_3(\text{g/kg}) * \text{Tiempo}(\text{hr})$  tiene un efecto positivo (+2.38, +12.02), para su recuperación del elemento de interés que es el oro a partir de minerales refractarios.

### 5.3. RECOMENDACIONES.

Posteriormente del análisis de estudio sobre el tratamiento de aquellos minerales que son refractarios para luego su extracción de oro a nivel laboratorio se puede describe las siguientes recomendaciones:

- La realizar cinética de recuperación para ver el tiempo optimo en el proceso y así mejorar el tiempo y el consumo de los insumos.
- Se recomienda realizar pruebas a diferentes granulometrías para ver en que rango

es el óptimo en la recuperación de los valores económicos.

- Realizar un estudio económico para ver si es rentable la extracción de este tipo de mineral específico.
- Realizar oxidación de los minerales refractarios con otros reactivos o métodos avanzados de oxidación que podría mejorar la extracción.

Con ello conllevaría a hacer un análisis más preciso de la recuperación a partir de minerales refractarios permitiendo así su extracción por métodos menos contaminantes al medio ambiente.



## CAPITULO VI

### FUENTES DE INFORMACIÓN

#### 6.1. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, V., Coronado, R., Puente, L., & Lovera, D. (2005). *Refractariedad de concentrados auríferos*. Obtenido de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol8\\_n16/a01.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol8_n16/a01.pdf)
- Bado, A. (1909). Tratamiento de los minerales auríferos refractarios y en especial los de las minas del intihuasi. *Grado de doctor en química*. Universidad nacional de buenos aires, Buenos aires. Obtenido de <https://docplayer.es/81016843-Bado-atilio-a-tesis-presentada-para-obtener-el-grado-de-doctor-en-quimica-de-la-universidad-de-buenos-aires.html>
- Corkhill, C., & Vaughan, D. (12 de 12 de 2009). *Arsenopyrite oxidation – A review*. Obtenido de ScienceDirect Elsevier: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292709002406>
- Gaviria, A., Gonzalez, J., & Mora, H. (07 de 06 de 2006). *Refractarias auríferas y su efecto en la extracción del oro*. Obtenido de Digital portal de revista UN: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/831/1278>
- Lovera, D., Quiñones, J., Aramburú, V., Gagliuffi, P., Puente, L., & Flores, R. (2002). *Procesos de tostación – lixiviación de minerales auríferos con metales cianicidas*. Obtenido de Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/2294/1998>
- Ospina, J., Osorno, L., Giraldo, J., Mejía, E., & Márquez, M. (08 de 04 de 2011). *Aplicaciones biotecnológicas en minería aurífera: Estado del arte sobre la oxidación bacteriana de arsenopirita (FeAsS)*. Obtenido de Sistema de Bibliotecas Portal de

revista: [http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf\\_tec/article/view/20/25](http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/20/25)

Ospina, J., Osorno, L., Giraldo, J., Mejía, E., & Márquez, M. (2011). *Biotechnological applications in auriferous mining: State-of-the-art on*. Obtenido de Sisitema de

biblioteca portal de revista:

[http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf\\_tec/article/view/20/25](http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/20/25)

Ramsden, E. (2001). *Calculations for A-level Chemistry*. Oxford: Fourth Edition. Obtenido de

<https://books.google.com.pe/books?id=mSI7LspMVUIC&printsec=frontcover&hl=es>

[&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=mSI7LspMVUIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Salinas, E., Rivera, I., Carrillo, R., Patiño, F., J, H., & Hernández, L. (10 de 12 de 2004).

*Mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la preoxidación de minerales sulfurosos con ozono*. Obtenido de Scielo Revista de la Sociedad Química

de México: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rsqm/v48n4/v48n4a21.pdf>

Suero, P. (2014). *Diseño de experimento para el control de los factores en análisis químico en las muestras de minerales de oro con contenido de arsénico*. Universidad del

Callao, Lima. Obtenido de

<http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/992/54.pdf?sequence=1&isAll>

owed=y

Zaldaña, E., & G., Z. (2016). *Influencia de la temperatura y de la granulometría en el pre-tratamiento por lixiviación alcalina (Na<sub>2</sub>S y NaOH) de un mineral refractario con*

*contenido de arsénico (As) procedente de Sayapullo, para incrementar la recuperación de oro mediante cianuración*. Obtenido de Repositorio Institucional

UNITRU:

<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8793/Zalda%C3%B1a%20Berm>

[m%C3%BAdez%20Esmil%20Mijail%20Zavaleta%20Dom%C3%ADnguez](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8793/Zalda%C3%B1a%20Berm)

[%20Gerson%20David.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8793/Zalda%C3%B1a%20Berm)

# **ANEXOS**

## Anexo 1: Matriz Consistencia General

| Titulo  | Problema   | Objetivos  | Hipótesis   | Variable                              | Indicadores   |
|---|--|--|---|---------------------------------------|---|
| “TRATAMIENTO DE MINERALES REFRACTARIOS PARA LA EXTRACCIÓN DE ORO A NIVEL LABORATORIO” | P. Generales   | O. General   | H. General  | V. Independiente                      |   |
|   | ¿Sera posible el tratamiento de minerales refractarios para extracción de oro a nivel laboratorio? | Evaluar el tratamiento de minerales refractarios para extracción de oro a nivel laboratorio. | Realizando un tratamiento de minerales refractarios mediante oxidación avanzada, para que posteriormente nos permita extraer el oro a nivel laboratorio | Tratamiento de minerales refractarios | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Oxidación:</b> Fenómeno químico de transforma de un compuesto por la acción de un oxidante, que hace que dicho compuesto aumente la cantidad de oxígeno y disminuya el número de electrones de alguno de los átomos.</li> <li>• <b>Cianuración:</b> Proceso de extracción de oro (insoluble en agua) en aniones metálicos complejos de aurocianida, solubles en agua.</li> <li>• <b>Tiempo:</b> Magnitud física que nos permite medir la duración de extracción de los elementos de interés.</li> </ul> |

Anexo 2: Matriz Consistencia Específico

| Titulo   | Problema  | Objetivos  | Hipótesis  | Variable   | Indicadores   |
|--|---|--|--|--|---|
| <p style="text-align: center;">“TRATAMIENTO DE MINERALES REFRACTARIOS<br/>PARA LA EXTRACCIÓN DE ORO A NIVEL<br/>LABORATORIO”</p> | Específicos   | Específicos  | Específicos  | Dependiente  |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Será posible realizar una oxidación avanzada de los minerales refractarios, para la liberación del oro para su posterior extracción mediante cianuración?</li> <li>- ¿En qué medida el mineral refractario oxidado se podrá realizar la cianuración, para concentrar en la solución como cianuro áurico?</li> <li>- ¿Será un factor importante el tiempo en el tratamiento de oxidación y cianuración, que nos permitirá elevar la recuperación del oro a nivel laboratorio?</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar la oxidación avanzada de los minerales refractarios, para la liberación del oro para su posterior extracción mediante cianuración.</li> <li>- Evaluar en qué medida el mineral refractario oxidado se podrá realizar la cianuración, para concentrar en la solución como cianuro áurico.</li> <li>- Evaluar el factor tiempo en el tratamiento de oxidación y cianuración, que nos permitirá elevar la recuperación del oro a nivel laboratorio.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizando una oxidación avanzada de los minerales refractarios, nos permitirá la liberación del oro para su posterior extracción mediante cianuración.</li> <li>- El mineral refractario oxidado se podrá realizar una cianuración, para su concentración en la solución como cianuro áurico.</li> <li>- El tiempo de tratamiento de oxidación y cianuración, nos permitirá elevar la recuperación del oro a nivel laboratorio.</li> </ul> | <p style="text-align: center;">Extracción de oro</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Liberación:</b> Es la acción de dejar libre al oro.</li> <li>- <b>Concentración:</b> Es la acción de elevar la presencia del oro en la solución</li> <li>- <b>Recuperación:</b> Es la relación de lo que se extrae con respecto de lo que había.</li> </ul> |

*Anexo 3 Análisis de Varianza*

| Fuente                              | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|-------------------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo                              | 8  | 97.1370   | 12.1421   | 153.95  | 0.006   |
| Lineal                              | 3  | 76.1473   | 25.3824   | 321.83  | 0.003   |
| %-400m(38u)                         | 1  | 0.0394    | 0.0394    | 0.50    | 0.553   |
| PbNO3 (g/kg)                        | 1  | 42.9438   | 42.9438   | 544.50  | 0.002   |
| Tiempo(hr)                          | 1  | 33.1641   | 33.1641   | 420.50  | 0.002   |
| Interacciones de 2 términos         | 3  | 14.3146   | 4.7715    | 60.50   | 0.016   |
| %-400m(38u)*PbNO3 (g/kg)            | 1  | 1.9323    | 1.9323    | 24.50   | 0.038   |
| %-400m(38u)*Tiempo(hr)              | 1  | 0.9859    | 0.9859    | 12.50   | 0.072   |
| PbNO3 (g/kg)*Tiempo(hr)             | 1  | 11.3965   | 11.3965   | 144.50  | 0.007   |
| Interacciones de 3 términos         | 1  | 0.9859    | 0.9859    | 12.50   | 0.072   |
| %-400m(38u)*PbNO3 (g/kg)*Tiempo(hr) | 1  | 0.9859    | 0.9859    | 12.50   | 0.072   |
| Curvatura                           | 1  | 5.6893    | 5.6893    | 72.14   | 0.014   |
| Error                               | 2  | 0.1577    | 0.0789    |         |         |
| Total                               | 10 | 97.2947   |           |         |         |

*Anexo 4 Coeficientes codificados*

| Término                             | Efecto  | Coef    | EE del coef. | Valor T | Valor p | FIV  |
|-------------------------------------|---------|---------|--------------|---------|---------|------|
| Constante                           |         | 52.0615 | 0.0993       | 524.34  | 0.000   |      |
| %-400m(38u)                         | -0.1404 | -0.0702 | 0.0993       | -0.71   | 0.553   | 1.00 |
| PbNO3 (g/kg)                        | -4.6338 | -2.3169 | 0.0993       | -23.33  | 0.002   | 1.00 |
| Tiempo(hr)                          | 4.0721  | 2.0361  | 0.0993       | 20.51   | 0.002   | 1.00 |
| %-400m(38u)*PbNO3 (g/kg)            | 0.9829  | 0.4915  | 0.0993       | 4.95    | 0.038   | 1.00 |
| %-400m(38u)*Tiempo(hr)              | 0.7021  | 0.3510  | 0.0993       | 3.54    | 0.072   | 1.00 |
| PbNO3 (g/kg)*Tiempo(hr)             | 2.3871  | 1.1935  | 0.0993       | 12.02   | 0.007   | 1.00 |
| %-400m(38u)*PbNO3 (g/kg)*Tiempo(hr) | -0.7021 | -0.3510 | 0.0993       | -3.54   | 0.072   | 1.00 |
| Pt Ctral                            |         | 1.615   | 0.190        | 8.49    | 0.014   | 1.00 |

“TRATAMIENTO DE MINERALES REFRACTARIOS PARA LA EXTRACCIÓN DE  
ORO A NIVEL LABORATORIO”

.....

Presidente

.....

.....

Secretario

Vocal

.....

Ing. ABARCA RODRIGUEZ, JOAQUIN JOSÉ

Asesor