

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Caracterización físico química y mineralógico de polisulfuros en la  
recuperación de oro por cianuración en el prospecto Canteño 2 – Lima**

**- 2019**

**Para optar el título profesional de**

**Ingeniero Metalurgista**

**Autor: Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI**

**Asesor: Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Caracterización físico química y mineralógico de polisulfuros en la  
recuperación de oro por cianuración en el prospecto Canteño 2 –**

**Lima, 2019**

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

---

**Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA**

**PRESIDENTE**

---

**Mg. Ramiro SIUCE BONIFACIO**

**MIEMBRO**

---

**Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ**

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis padres por haberme dado el regalo más preciado la vida y mi profesión, por esto y mucho más viviré eternamente agradecido.

## **RECONOCIMIENTO**

A mis hermanos que desde siempre me han enseñado que con perseverancia y paciencia todos los sueños se pueden hacer realidad, gracias por todo su apoyo incondicional.

A la Ing. Josefina Gómez de Quimic Lab, por sus consejos y apoyo en el desarrollo de este trabajo de investigación, una gran amiga y un ejemplo a seguir.

Finalmente un agradecimiento especial a todos los Catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica por sus enseñanzas, consejos, comprensión y recomendaciones para mi desarrollo profesional dentro del ámbito minero metalúrgico.

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo general determinar el comportamiento mineralógico de los polisulfuros que contienen oro y cuáles son los factores para su baja recuperación; después de tener la certeza de las reservas probables de oro y sobre la formación geológica, elaborar el sistema de procesamiento.

Este estudio se aborda desde el enfoque cuantitativo, del tipo aplicado y un diseño de investigación descriptivo - experimental y tiene cuatro etapas de desarrollo de la investigación del siguiente modo: el primero después de realizar el muestreo aleatorio simple para obtener la muestra representativa del volumen total de mineralización existente en la concesión, se observó 68 frentes de explotación minera artesanal. Las muestras presentan una apreciable cantidad de oro, en minerales sulfurosos como son: pirita, pirrotita, galena y esfalerita, sin obviar a los minerales silíceos como ganga. En base a estos datos se ha diseñado el sistema de caracterización mineralógica y posterior lixiviación básica experimental.

Se concluyó que las pruebas de caracterización mineralógica y cianuración experimental, demuestran obtener recuperaciones con valores de 88 % de oro, muy cercano a los minerales oxidados con contenidos de oro; siempre en cuando se realiza un pretratamiento con peróxido de hidrógeno al proceso.

**Palabras claves:** Caracterización mineralógica, porcentaje de disolución de oro, cianuración.

## ABSTRACT

This research had as a general objective to determine the mineralogical behavior of the polysulfides that contain gold and what are the factors for their low recovery; after having the certainty of the probable reserves of gold and on the geological formation, elaborate the processing system.

This study is approached from the quantitative approach, of the applied type and an descriptive - experimental research design and has four stages of research development as follows: the first one after performing the simple random sampling to obtain the representative sample of the total volume of mineralization existing in the concession, 68 fronts of artisanal mining were observed. The samples present an appreciable amount of gold, in sulphurous minerals such as: pyrite, pyrrhotite, galena and sphalerite, without ignoring the siliceous minerals as a bargain. Based on these data, the mineralogical characterization system and subsequent experimental basic leaching have been designed. It was concluded that the tests of mineralogical characterization and experimental cyanidation, show recoveries with values of 88% gold, very close to oxidized minerals with gold contents; always when a pretreatment with hydrogen peroxide is carried out to the process.

**Keywords:** Mineralogical characterization, percentage of gold dissolution, cyanidation.

## INTRODUCCIÓN

Una de las funciones básicas de la universidad es la investigación. La generación de conocimiento es una preocupación esencial de las universidades, es su razón de ser. Todos los programas en el mundo proponen un modelo curricular por competencias destinado a la formación del nuevo profesional capaz de resolver problemas sustanciales de la sociedad e innovar el conocimiento.

La tesis es la prueba “de fuego” que demuestra las competencias requeridas para obtener el grado académico. Se espera de ella una evidencia indiscutible de las competencias de investigación aprendidas en las aulas universitarias y se aplique al campo profesional.

El presente proyecto, titulado “*Caracterización físico química y mineralógico de polisulfuros en la recuperación de oro por cianuración en el prospecto Canteño 2 – Lima - 2019*”, es interesante porque se trata de un afloramiento interesante en minerales sulfurosos y que requiere una explotación ecológica y sostenible.

Los estudios desarrollados a través del muestreo y posterior tratamiento confirman que la recuperación de oro tiene bajos rendimientos al cianurar y se tiene una apreciable cantidad de oro que se va a los relaves. Se encuentra dividido en cuatro capítulos; sigue una secuencia lógica propia de los proyectos de investigación, del siguiente modo:

CAPÍTULO I. Se determina la problemática, para formularlo en preguntas, sobre como caracterizar a los polisulfuros de oro, con las sub preguntas que consisten en el análisis microscópico y pruebas de cianuración. Su objetivo está referido a demostrar las características mineralógicas de material en explotación, justificando la presente investigación, dada la importancia que significa llevarlo a explotar el yacimiento en forma sostenible.

CAPÍTULO II. Se expone cuatro antecedentes referidos al tema, dos investigaciones nacionales y dos internacionales, plasmados en tesis, seguido de una descripción de las bases teóricas desde una perspectiva general a específica de la microscopía de minerales; hasta definir el promedio de disolución de oro, para la respectiva valoración y rentabilidad de la mina; se plantea las hipótesis y se define las variables de operación.

CAPÍTULO III. Comprende el tipo de investigación: descriptivo - experimental; método de investigación científico, con diseño experimental, sobre una población que corresponde a una campaña media por minero artesanal de 10 toneladas métricas/mes y sobre ello diseñar el método de muestreo a seguir.

CAPÍTULO IV. Los cálculos procesados en el capítulo anterior se presentan en tablas y ecuaciones, para luego la hipótesis ser contrastada, demostrándose que el nivel de aceptación de los datos es correcto al rechazar la hipótesis nula.

CONCLUSIONES. Se concluye que el yacimiento es prometedor; las leyes de oro existentes demostradas son altas y la etapa de lixiviación básica a nivel laboratorio sugieren que es posible lograr mejores recuperaciones.

El autor.

## ÍNDICE

**DEDICATORIA**

**RECONOCIMIENTO**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**INTRODUCCIÓN**

**ÍNDICE**

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

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

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

|   |    |
|---|----|
| 2.1. Antecedentes de estudio. ....        | 6  |
| 2.2. Bases teóricas – científicas.....    | 10 |
| 2.3. Definición de términos básicos. .... | 33 |
| 2.4. Formulación de hipótesis.....        | 34 |
| 2.4.1. Hipótesis general. ....            | 34 |
| 2.4.2. Hipótesis específicas.....         | 34 |

|  |    |
|--|----|
| 2.5. Identificación de variables.....                        | 34 |
| 2.6. Definición operacional de variables e indicadores ..... | 35 |

### **CAPÍTULO III**

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

|  |    |
|--|----|
| 3.1. Tipo de investigación. ....   | 36 |
| 3.2. Métodos de investigación. ....  | 37 |
| 3.3. Diseño de la investigación.....   | 37 |
| 3.4. Población y Muestra. ....   | 37 |
| 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....                           | 38 |
| 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....                              | 40 |
| 3.7. Tratamiento estadístico.....  | 49 |
| 3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación..... | 50 |
| 3.9. Orientación ética.....  | 51 |

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

|   |    |
|---|----|
| 4.1. Descripción del trabajo de campo. ....                     | 52 |
| 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados..... | 52 |
| 4.3. Prueba de hipótesis. ....                                  | 62 |
| 4.4. Discusión de resultados. ....                              | 64 |

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

**ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Tabla 1  | Inclusiones frecuentes de oro – plata y telurios       | 14 |
| Tabla 2  | Tipos geométricos de intercrecimientos entre minerales | 16 |
| Tabla 3  | Clasificación de minerales auríferos                   | 19 |
| Tabla 4  | Desgaste de las briquetas con abrasivos                | 42 |
| Tabla 5  | Etapas de pulido de las briquetas                      | 43 |
| Tabla 6  | Etapas de lapeado para cada plaqueta                   | 45 |
| Tabla 7  | Tabla de colores de interferencia de Michel Levy       | 46 |
| Tabla 8  | Variables intervinientes                               | 48 |
| Tabla 9  | Diseño factorial                                       | 48 |
| Tabla 10 | Combinaciones experimentales                           | 49 |
| Tabla 11 | Efecto de las variables en las pruebas de cianuración  | 50 |
| Tabla 12 | Peso específico medio del mineral                      | 53 |
| Tabla 13 | Análisis de mallas de 10 min de Molienda               | 54 |
| Tabla 14 | Análisis de mallas de 15 min de Molienda               | 54 |
| Tabla 15 | Análisis de mallas de 18 min de Molienda               | 55 |
| Tabla 16 | Análisis de mallas de 20 min de Molienda               | 55 |
| Tabla 17 | Análisis químico promedio                              | 56 |
| Tabla 18 | Variables intervinientes                               | 59 |
| Tabla 19 | Diseño factorial con tres variables                    | 60 |
| Tabla 20 | Efecto de las variables en las pruebas de cianuración  | 60 |
| Tabla 21 | Resultados del modelo matemático propuesto             | 61 |
| Tabla 22 | Prueba de la primera hipótesis                         | 62 |
| Tabla 23 | Prueba de la segunda hipótesis                         | 63 |

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

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

En el Perú se encuentran muchos yacimientos auríferos ubicados en ceja de selva aún inexplorados, de los cuales se puede extraer una apreciable cantidad de oro, en determinados lugares extraen los mineros informales y artesanales. El proceso que siguen es: remoción de las arenas y luego es procesado por diversos métodos; el oro es recuperado por métodos gravimétricos y/o mercurio, siendo este elemento el primer contaminante de las playas y ríos de la selva con la consiguiente contaminación de la flora y fauna acuática.

En el prospecto Canteño 2, provincia de Canta, Lima, se encuentra un yacimiento ubicado en la formación Canta con presencia de silicatos que en las fallas geológicas contienen sulfuros de plomo, zinc, hierro con contenidos de oro que abarca un área de cuatro cuadrículas en afloramiento con esta

característica, explotado por los mineros informales, lo cual amerita desarrollar trabajos de prospección geológica y evaluación metalúrgica.

Las primeras evidencias muestran la presencia de oro en la galena y esfalerita.

La rentabilidad de este preciado metal ha conducido a muchos empresarios y ciudadanos de la sierra y selva peruana a extraer en forma desorganizada, destruyendo el ecosistema.

Estos antecedentes han obligado a los gobiernos a tomar medidas correctivas para que el estado sea beneficiario de los impuestos, se realice un trabajo sostenible para preservar la ecología y mejores condiciones de trabajo para el personal y su familia.

La minería artesanal en el Perú explota casi exclusivamente el oro, y se desarrolla principalmente en seis regiones en el país: Madre de Dios, Puno, Ica, Ayacucho, Arequipa y La Libertad. En las regiones de Ica, Ayacucho y Arequipa, la explotación minera artesanal se concentra en el territorio denominado eje Nazca – Ocoña (nombre asignado por el Instituto Geofísico del Perú).

Para el Ministerio de Energía y Minas, la más importante región según volumen de producción es Madre de Dios con el 59% del total de la producción artesanal de oro, Puno ocupa el segundo lugar con 21%, el eje Nazca – Ocoña en tercer lugar con 18% y finalmente La Libertad con 2% sobre el total de la producción aurífera artesanal.

Las regiones en donde se desarrolla la explotación minera artesanal de oro tienen yacimientos de distintas características. En la región de Madre de Dios, por ejemplo, las operaciones mineras se ubican principalmente en las localidades de la Llanura y el tipo de yacimiento es aluvial principalmente. En el eje Nazca -

Ocoña, la mineralogía se desarrolla en filones o vetas de espesor reducido y alta ley. En Puno, existen yacimientos primarios de tipo veta y mantos, y yacimientos secundarios denominados placeres. Finalmente, en La Libertad, los yacimientos son de tipo filoneano o aluviales.

Se tiene afloramiento visible de vetas con una potencia de 1,50 m a 6,0 m y los comuneros desean realizar una alianza estratégica con algún minero para explotar el yacimiento.

Los moradores que viven en las cercanías del paraje fueron informados de las intenciones de la empresa de extraer oro de las arenas existentes y paralelo a la explotación estabilizar el suelo con la siembra de árboles perenes, generando empleos, tributos al estado y recuperación del suelo actualmente devastado.

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

### **1.2.1. Espacial.**

El desarrollo del presente trabajo se ejecutará en el prospecto Canteño 2 – Lima.

### **1.2.2. Temporal**

El trabajo de investigación comprende diez meses (enero – octubre del 2019).

## **1.3. Formulación del problema.**

### **1.3.1. Problema General.**

¿Cómo desarrollar la caracterización físico química y mineralógico de polisulfuros en la recuperación de oro por cianuración en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019?

### **1.3.2. Problemas específicos.**

- ¿Cuál es la caracterización físico química y mineralógico de los polisulfuros en el prospecto Canteño 2 – Lima - 2019?
- ¿De qué manera las variables: concentración de NaCN, pH y oxigenación influye en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019?

## **1.4. Formulación de objetivos.**

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

Desarrollar un modelo de caracterización físico química y mineralógico en la recuperación de oro por cianuración en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- Determinar y desarrollar el modelo de caracterización físico química y mineralógico de los polisulfuros en el prospecto Canteño 2 – Lima - 2019.
- Evaluar las variables: concentración de NaCN, pH y oxigenación en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019.

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

El presente trabajo de investigación se justifica porque desarrollando pruebas experimentales que permita un proceso de explotación de oro, con explotación responsable, ausencia de áreas contaminadas, reforestación y buenas relaciones con los pobladores del entorno, permitirá alcanzar los permisos social y ambiental correspondientes y podrá implementarse a nivel industrial.

El trabajo de investigación beneficiará a los mineros artesanales de la concesión minera denominada prospecto Canteño 2, en el aspecto social, económico y medioambiental.

**1.6. Limitaciones de la investigación.**

La mayor limitación es la falta de microscopios electrónico de barrido y/o transmisión, para analizar profundamente y con la precisión que requiere toda investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

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

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

- Morales (2011), en su Tesis “*Procesamiento de un mineral aurífero refractario polisulfurado para la recuperación de oro*”, Escuela Politécnica Nacional – Ecuador; tiene como objetivo: establecer la combinación de operaciones necesarias para alcanzar recuperaciones de oro superiores al 90% de un mineral aurífero polisulfurado.

Concluye:

La caracterización físico – química y mineralógica del mineral aurífero polisulfurado estudiado, permite afirmar que el oro se encuentra asociado al cuarzo y a sulfuros como pirita, calcopirita, pirrotina, además de

inclusiones submicroscópicas en orden de ppm dentro de cristales de arsenopirita.

Los mayores porcentajes de recuperación de oro en los concentrados flotados, se obtienen a un tamaño de partícula de 190  $\mu\text{m}$ , que se consiguió a los 20 minutos de molienda a 62,5% de sólidos.

En los ensayos de cianuración directa (sin pretratamiento) del mineral polisulfurado, molido a 20 minutos se consigue una baja recuperación de oro, igual al 48%, por lo que es necesario aplicar un pretratamiento previo a la cianuración para recuperar el metal precioso que se queda en el relave final.

- Santos (2015) en la Tesis de Maestría “*Evaluación de cuatro métodos para recuperación de oro a partir de un mineral refractario*”, Centro de Investigación en Materiales Avanzados; tiene como objetivo: Evaluar la eficiencia de cuatro métodos para recuperar oro y plata a partir de un mineral refractario considerando su impacto ambiental, y la factibilidad científica y tecnológica para llevarla a cabo.

Concluye:

En cuanto a recuperación de oro se refiere los pretratamientos que resultaron ser más eficaces fueron la biooxidación al 5% y la molienda de alta energía, los dos son procesos alternativos al ya tradicional método de la tostación, ya que ninguno emite contaminación de gases al ambiente, pues la biooxidación mantiene el arsénico en solución y la molienda ultrafina solo reduce su tamaño de partícula, pero no sufre ninguna reacción química durante la molienda.

El consumo de cianuro para la molienda ultrafina resulta ser más baja que la de biolixiviación al 5% y relativamente parecida a la tostación.

Por lo que se sugiere realizar un análisis más profundo para saber cuál de los dos resulta ser más viable económicamente.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

- Rivera (2009) en su Tesis “*Recuperación de oro refractario aplicando lixiviación con thiosulfato y resina en pulpa en la UEA Condestable*”, Universidad Nacional del Centro del Perú, tiene como objetivo: Recuperar adecuadamente el oro a partir de un mineral refractario empleando el thiosulfato como agente lixivante en un proceso de resina en pulpa en la UEA Condestable.

#### Concluye:

Los minerales doblemente refractarios dobles de la mina Condestable fueron encontrados ser accesibles al proceso que incluye la oxidación del sulfuro (en autoclave), lixiviación del thiosulfato y la extracción de resina en pulpa. Las condiciones de lixiviación en medio tiosulfato requeridas para estos tipos de mineral son compatibles con recuperación eficiente y económica de oro por la adsorción en resinas de intercambio aniónico. La economía de este proceso fue presentada a ser similar al proceso del cianuración/ proceso CIL convencional esto es usado para tratar los minerales que no son preg robbing.

Se encontró que estas mismas condiciones se hallan en disposición para minerales de algunas otras compañías mineras igualmente, pero ellos no son universalmente aplicables. En muchos casos, condiciones mucho más agresivas de lixiviación con thiosulfato es necesario para lograr

recuperaciones de oro que son comparables al proceso de cianuración. Estas condiciones más agresivas de lixiviación no son compatibles con la resina en pulpa por la adsorción competitiva de las concentraciones altas de polithionatos que son producidos durante la lixiviación.

- Palo (2018) en su Tesis “*Optimización de la extracción de Au y Ag a partir de minerales refractarios con contenidos de Sb con una lixiviación sulfuro – alcalina*”, Universidad Nacional San Agustín, tiene como objetivo: Optimizar la extracción de oro y plata aplicando un pre tratamiento a un mineral refractario con contenidos de antimonio para luego aplicar la cianuración convencional.

Concluye:

Se optimizó la extracción de oro y plata aplicando un pretratamiento al mineral refractario con contenidos de antimonio, para luego aplicar la cianuración convencional; en el detallado análisis mineralógico del mineral se demuestra que el oro se halla presente en una aleación con plata 8 aprox. 12 a 15% de plata y principalmente asociado con andorita ( $Sb_3PbAgS_6$ ), el cual es el más importante mineral antimonial de plata. Las más altas extracciones de oro (81,51%) y de plata (87,20%) corresponden a un incremento de 29% para el oro y 74% para la plata, cuando se compara con el mineral sin pretratamiento.

Se seleccionó un proceso de pretratamiento para este mineral refractario; en donde el pre tratamiento de lixiviación sulfuro-alcalina, ha probado que mejora significativamente la extracción de oro y de plata, en particular mediante la cianuración; la temperatura y las concentraciones relativas de  $Na_2S$  y de  $NaOH$  en el medio lixivante se han identificado como los

factores más importantes que afectan la extracción de antimonio y en la posterior cianuración para la extracción de oro y de plata.

Se realizaron las pruebas comparativas del método propuesto con el método tradicional de cianuración, la mejora en la extracción de la plata se puede atribuir a la lixiviación de la andorita, puesto que se extrae hasta un 88.10% durante la lixiviación sulfuro alcalina, estos resultados confirman los trabajos anteriores, que indican que la lixiviación alcalina con  $\text{Na}_2\text{S}$ , es un método adecuado de pretratamiento, antes de realizar la cianuración convencional de minerales antimoniales refractarios de oro y de plata; así mismo las concentraciones óptimas en la extracción de antimonio son:  $[\text{NaOH}] = 150 \text{ g/l}$ ,  $[\text{Na}_2\text{S}] = 320 \text{ g/l}$ ; sin embargo, la interacción entre estas dos variables tiene mayor influencia en la extracción de antimonio.

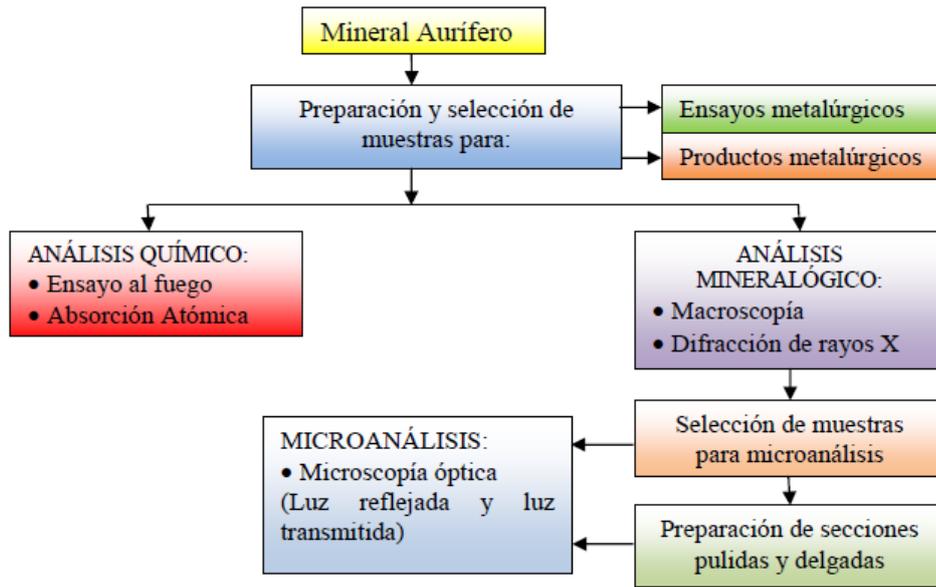
## **2.2. Bases teóricas – científicas.**

### **2.2.1. Caracterización mineralógica de polisulfuros de oro**

“El conocimiento de las diversas formas de ocurrencia de oro y minerales asociados, sus relaciones con las gangas no metálicas, abundancia, características texturales de los minerales que acompañan, requieren del conocimiento profundo para seleccionar el tratamiento a seguir; por lo que requiere un estudio detallado de sus características físico química y mineralógica”. (Franco et al., 1992).

El análisis a seguir podemos esquematizarlo del siguiente modo:

Gráfico 1. Esquema para caracterizar de un mineral poli sulfurado de oro



Fuente: Adaptación De La Torre y Guevara (2006).

### 2.2.2. Análisis macroscópico de minerales polisulfurados

Para el reconocimiento macroscópico se analiza identificando las propiedades físicas como son: color, brillo, hábito, raya, dureza, peso específico, entre otras, y si no es contundente el reconocimiento se recurre a otros análisis de carácter microscópico.

### 2.2.3. Análisis microscópico de minerales polisulfurados

Los minerales en general se usan dos tecnologías para el estudio microscópico:

**Microscopía Óptica (MO).** - Realiza la identificación basada esencialmente en la observación y eventual medición de las propiedades de la imagen formada por ondas electromagnéticas del espectro visible.

En la **MO** es muy importante el nivel de conocimientos mineralógicos y la experiencia del investigador, lo que conlleva a la identificación específica de los minerales para el tratamiento metalúrgico, en menor tiempo y con una exactitud considerable.

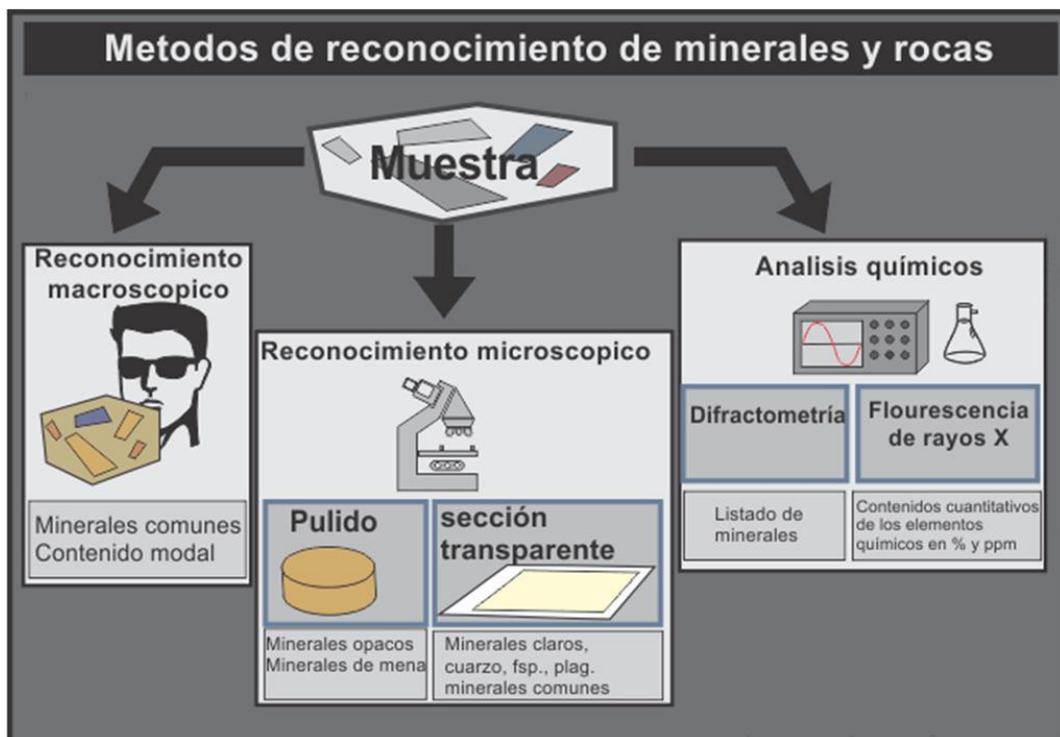
**Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).** - Se basa en la utilización del nivel de brillo de una imagen electrónica, generada por los rayos X que emiten los minerales sobre el campo de observación.

Se requiere del apoyo de un software (QemSCAN o el sistema MLA), así como de equipos analíticos de alta precisión.

**Microscopia de luz reflejada (opacos) - aplicada a la flotación.**

La aplicación en flotación está dedicada a minerales que, por su comportamiento a la luz, se les puede calificar como minerales opacos y muchos de ellos caen dentro del grupo de sulfuros y sulfosales. Por esta razón el método de la microscopía de luz reflejada es ampliamente aplicado en el estudio de las menas con estos minerales.

Gráfico 2. Métodos de reconocimiento de minerales y rocas



Fuente: Meza, J. (2018)

La información previa requerida para realizar con éxito el proceso de beneficio comprende:

**a) Información Composicional**

Es necesario saber a qué minerales está asociado el elemento que finalmente se va a beneficiar.

Hay una variedad de menas en las que, debido a procesos de oxidación posterior, sus minerales no responden al proceso de flotación, ocasionando grandes pérdidas.

Constituye una información valiosa el tipo de exfoliación de los minerales ya que ello tiene gran importancia en la producción de finos y molienda.

También se debe tener en cuenta la comercialización de concentrados y por lo tanto el mineralogista está obligado a reportar cualquier mineral que genere penalidades en la venta de los concentrados.

**b) Información textural**

En todos los estudios aplicados a los procesos de flotación trabajan con la mena reducida a partículas; por eso se detalla las características geométricas de las partículas:

**b.1 Rasgos texturales internos de una partícula mineral**

**Partículas Homogéneas**

Mineralógicamente, es raro encontrar partículas homogéneas. En gran parte de los casos se va a tener minerales acompañados por la cristalización de fases minoritarias, que resultan en la formación de inclusiones, encapsulamientos, etc.

**Partículas Heterogéneas.** - Son aquellas que contienen inclusiones, las no homogeneidades en una partícula mineral pueden ser:

**Tipo físico.** - Corresponden principalmente las imperfecciones en la estructura cristalina y porosidad (las maclas).

**Tipo Químico.** - Se manifiestan en forma ordenada como zonamientos o bandeamiento y en forma muy irregular dentro de la partícula mineral.

Las imperfecciones físicas o químicas de los minerales afectan tanto la molienda como la flotación de las partículas sometidas a los procesos de flotación.

*Tabla 1. Inclusiones frecuentes de oro – plata y telurios*

| Mineral       | Composición          |
|---------------|----------------------|
| Petzita       | $Ag_3AuTe_2$         |
| Silvanita     | $AgAuTe_4$           |
| Calaverita    | $AuTe_2$             |
| Hessita       | $Ag_2Te$             |
| Cervelleita   | $Ag_4TeS$            |
| Benleonardita | $Ag_8(Sb,As)Te_2S_3$ |

*Fuente: Elaboración propia*

## **b.2 Rasgos texturales externos de una partícula mineral**

Los rasgos texturales externos de una partícula mineral, abarcan los siguientes tres aspectos fundamentales:

### **Forma del grano**

Por diferentes variables en el proceso de cristalización, los granos minerales pueden o no conservar la forma plana de las caras correspondientes a un cristal individuo. El caso más general está representado por agregados de las formas más diversas. La presencia de granos limitados por contornos muy complicados, son de especial

importancia en la caracterización ya que generalmente constituye la causa de bajo grados de liberación de la mena.

### **Tamaño del grano**

Para una mena finamente granular de galena una partícula puede estar compuesta de varios granos pequeños, sin embargo, se podría considerar como una partícula.

### **Intercrecimientos**

Los minerales se presentan en una amplia gama de arreglos geométricos (Intercrecimientos), que son particulares para cada tipo de yacimiento. Desde el punto de vista de la molienda podemos clasificar los Intercrecimientos en forma global como:

***Intercrecimientos simples.*** - Están representados por arreglos de minerales cuyos contactos a nivel de una partícula son rectos o ligeramente curvados.

***Intercrecimientos complejos.*** - Son todos aquellos arreglos con contactos mixtos muy caprichosos o inclusiones muy finas de difícil liberación y dan como resultados gran producción de mixtos en los concentrados o una excesiva producción de finos.

Para los efectos de cuantificación es necesario agrupar los intercrecimientos de una mena en tipos. Una de ellas es la tabla de G. C. Amstutz, publicada por el American Geological Institute (1954-1960), en la cual se señalan 9 tipos básicos de intercrecimientos.

Sin embargo, es conveniente confeccionar un pequeño atlas de intercrecimientos de la mena que se está tratando, el cual debe ser hecho

a medida que se va realizando las investigaciones sistemáticas previas a los estudios de control mineralógico.

Esta documentación gráfica permitirá al metalurgista conocer en forma objetiva el mineral que va a tratar y las limitaciones texturales para la liberación de partículas.

La mineralogía está fuertemente ligada al proceso productivo, dado que es la que determina el comportamiento de la roca durante el proceso. Un acabado conocimiento de la mineralogía, sumado a otros estudios, llevará a planificar la planta de manera óptima para el tratamiento de los minerales encontrados en el yacimiento.

*Tabla 2. Tipos geométricos de intercrecimientos entre minerales*

|   |                |   |
|---|----------------|---|
|  | <b>Tipo 1a</b> | Intercrecimiento simple. Bordes rectilíneos o suavemente curvados. Muy común, numerosos ejemplos.   |
|  | <b>Tipo 1b</b> | Intercrecimiento moteado, con manchas o ameboideo. Simple. Común. Numerosos ejemplos.   |
|  | <b>Tipo 1c</b> | Intercrecimiento gráfico, mirmequitico, o eutectoide. Común. Ejemplos: calcopirita y estannita; cuarzo y feldespatos; etc.  |
|  | <b>Tipo 1d</b> | Diseminado, tipo emulsión, gota, perdigón o salpicado. Común. Ejemplos: calcopirita en esfalerita o estannita; sericita, etc. en feldespatos; tetrahedrita en galena; etc.    |
|  | <b>Tipo 2a</b> | Intercrecimiento tipo revestimiento, envoltorio o corona. Común. Ejemplos: calcosina o covellina alrededor de pirita, esfalerita, galena, etc..                               |
|  | <b>Tipo 2b</b> | Intercrecimiento tipo concéntrico-esferulítico o multi-capa. Bastante común. Ejemplos: uraninita con galena, calcopirita, bornita; cerusita-limonita; óxidos de Fe y Mn; etc. |
|  | <b>Tipo 3a</b> | Intercrecimiento tipo veta o <i>sandwich</i> . Común. Ejemplos: molibdenita-pirita; silicatos; carbonatos; fosfatos; etc.   |
|  | <b>Tipo 3b</b> | Intercrecimiento tipo laminar, capeado o polisintético. Poco común. Ejemplos: pirrotina-pentlandita; clorita-arcillas; etc.   |
|  | <b>Tipo 3c</b> | Intercrecimiento en red o tipo Widmanstätten. Poco común. Ejemplos: hematites-ilmenita-magnetita; bornita o cubanita en calcopirita; millerita-linneita; metales; etc.        |

*Fuente: Amstutz, 1962.*

#### 2.2.4. **Minerales refractarios**

“Los minerales refractarios son definidos como aquellos que presentan bajas recuperaciones de oro a los procesos de lixiviación como la cianuración directa, la concentración gravimétrica, otras. También reciben la denominación de minerales refractarios a aquellos que presentan recuperaciones aceptables de oro sólo con el uso de reactivos significativos y/o procesos de pretratamiento más complejos” (Wong W. & Arun S., 2009).

“Estableciendo diferencias entre los minerales refractarios y los minerales libres de molienda, diversos autores indican que, en términos de recuperación de oro, menos del 80% de recuperación por cianuración directa después de una molienda fina indicaría que se trata de un mineral refractario” (Rusanen, Aromaa, & Forsen, 2012).

Según Nagy et al, existen causas principales para considerar a un material refractario, a continuación, se presentan algunas de ellas (Nagy, Mrkucic, & McCulloch, 1969):

##### ***Causas de la Refractariedad***

- ✓ Por encapsulación del oro en la matriz sulfurada.
- ✓ Materiales sulfurados actúan como cianicidas.
- ✓ Oro en solución sólida en telurios son resistentes a la extracción con cianuro.
- ✓ Minerales de antimonio conteniendo estibina ocluyen al oro y ocasionalmente aurostibina donde el oro sustituye al antimonio en la matriz sulfurada.

- ✓ Minerales con el efecto preg-robbing, minerales de oro conteniendo varias formas de carbono gráfico u orgánico pueden adsorber las especies en solución de cianuro de oro, también las llamadas arcillas. (Nagy, Morkucic, & McCulloch, 1969) (Robinson, 1988).
- ✓ Minerales carbonosos, aquí el oro está por lo general asociado con los sulfuros (pirita o arsenopirita), que están presentes en minerales carbonosos. El Oro en estos tipos de minerales es recuperable normalmente por oxidación previa de los sulfuros, seguido por cianuración, con o sin previa concentración por flotación. Algunos se encuentran en la forma de granos de tamaño coloidal (<0,1m) en carbonatos o partículas microcristalinas de cuarzo. “La recuperación de Oro de los minerales sulfurados carbonoso es más difícil debido a que el oro es retenido a partir de la solución de cianuro por la materia carbonosa” (Joe ZHOU, Bruce JAGO, Chris MARTIN, 2004).
- ✓ Antimonio, sulfuro de bismuto y telurio conteniendo minerales de oro, son a menudo poco refractario debido a la presencia de disolución lenta (Joe ZHOU, Bruce JAGO, Chris MARTIN, 2004). Para liberar el oro de esta matriz es necesario alterarla, generalmente por una oxidación destructiva. “Los refractarios en su mayoría están constituidos por sulfuros auríferos” (Fairley, 1976).

Existe otra clasificación de los minerales auríferos y es basándose en las características mineralógicas y técnicas de procesamiento de minerales requeridos, este tipo de clasificación presenta once tipos (Zhou, J., Jago, B., Martin, Ch., 2004). Estos se detallan a continuación en la Tabla 3.

### 2.2.5. Lixiviación de oro de minerales polisulfurados

En procesos de lixiviación de oro con soluciones sulfuro alcalinos, se requiere tanto de un agente lixivante acomplejante, el ion  $S^{-2}$ , como oxidantes efectivos, los polisulfuros  $S_X^{-2}$ .

Es conocido que el azufre se descompone en soluciones causticas, formando aniones sulfuros, polisulfuros y oxisulfuros tales como el tiosulfato. La estequiometria es como sigue:

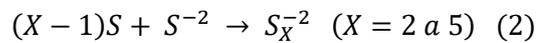
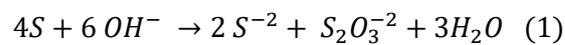


Tabla 3. Clasificación de los minerales auríferos

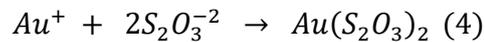
| TIPO DE MINERAL    | OCURENCIAS DEL ORO  | EJEMPLOS  | TRATAMIENTO                        |
|--------------------|---|---|------------------------------------|
| PLACERES           | El oro es fácilmente liberado o ha sido liberado primariamente, y normalmente en rangos de 50-100 $\mu\text{m}$ de tamaño, sin ser necesarios el chancado y la molienda.  | Witwatersrand (South Africa), Jacobina (Brazil), Tarkwa (Ghana)   | Amalgamación o Cianuración directa |
|                    | El oro está presente principalmente como oro nativo en venas de cuarzo, comúnmente ocurre como oro libre pero también puede ser estar como oro diseminado   | Timmins Camp: Hollinger - McIntyre (Canada), Homestake (USA), Bendigo (Australia), Shandong Camp: Linglong (China), Muruntau (Uzbekistan) | Gravimetría                        |
| MINERALES OXIDADOS | El oro usualmente está en forma libre o en minerales que fueron alterados naturalmente y presentan alta permeabilidad y el grado de la liberación del oro es generalmente incrementado por la oxidación.  | Pierina (Peru), Yanacocha (Peru), Yilgam región (Australia)   | Lixiviación en montón, botaderos   |
|                    | Cuando el contenido de plata es mayor a 10 g/t y/o el oro está presente como electrum, también es posible la presencia de plata nativa. El grado de reactividad de la plata influirá en el proceso como la flotación, lixiviación y/o el proceso de recuperación. | Rochester, Candelaria y Tombstone (USA), La Coipa (Chile)   |                                    |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <b>MINERALES DE SULFURO DE COBRE</b>     | Es poco común la asociación única del oro con minerales de cobre y siempre hay al menos pirita presente. Usualmente contiene valores por debajo de 1 g/t sin embargo es compensado con el tratamiento en grandes volúmenes. El oro está presente en partículas gruesas libres y partículas finas encapsuladas en pirita y sulfuros de cobre. | Grasberg and Batu Hijau (all in Indonesia), Bulyanhulu (Tanzania), Oyu Tolgoi (i.e. Turquoise Hill) (Mongolia)     | Flotación, gravimetría, tostación o autoclave    |
| <b>MINERALES DE SULFURO DE HIERRO</b>    | El oro está presente como partículas libres, adjuntas a inclusiones en el sulfuro (comúnmente en pirita, y menos común en marcasita y pirrotita y como oro submicroscópico en minerales sulfurados).   | Many sulfide ores, including Carlin-type gold ores   | Gravimetría Tostación autoclave                  |
| <b>MINERALES DE SULFURO DE ARSENICO</b>  | El oro está presente como partículas libres, inclusiones, y oro submicroscópico en la arsenopirita y productos oxidados.   | Giant Yellowknife, Campbell Mine (Canada), Sao Bento (Brasil) and Carlin-type ores                                 | Flotación, tostación, autoclave o Biolixiviación |
| <b>MINERALES DE SULFURO DE ANTIMONIO</b> | El oro esta principalmente como oro nativo con menor o moderados contenido de auroestibina, o liberado o incrustado en sulfuros.   | Big Bell (Australia), Hechi (China), Manhattan (USA)   |  |
| <b>MINERALES DE SULFURO DE BISMUTO</b>   | El oro esta principalmente como oro nativo con menor o moderados contenido de maldonita. El oro submicroscópico puede estar presente en los sulfuros.  | Maldon (Australia), Tongguan (China), Pogo (USA)   |  |
| <b>MINERALES TELURICOS</b>               | El oro está presente como oro nativo o telurico, o liberado o atrapado en los sulfuros. Oro submicroscópico puede estar presente.  | Cripple Creek (USA), Emperor (Fiji), Kalgoorlie (Australia), Kumtor (Kyrgyzstan)                                   |  |
| <b>MINERALES CARBONACIOS</b>             | El oro esta principalmente como granos finos y el oro submicroscópico en sulfuros, y el oro de la superficie absorbido en la superficie de materiales carbonosos y FeOx  | Carlin, Cortez, Getchell, Betze y Meikle (all in the USA), Jinya, Gaolong, Lannigou and Donbeizhai (Todo en China) |  |

*Fuente: (Zhou, J.; Jago, B.; Martin, Ch., 2004)*

Este método se ha empleado para disolver el oro que está asociado con el azufre elemental después de una oxidación parcial de los minerales sulfurados. Tanto el ion  $S^{-2}$  como el ion  $S_2O_3^{-2}$  forma complejos fuertes

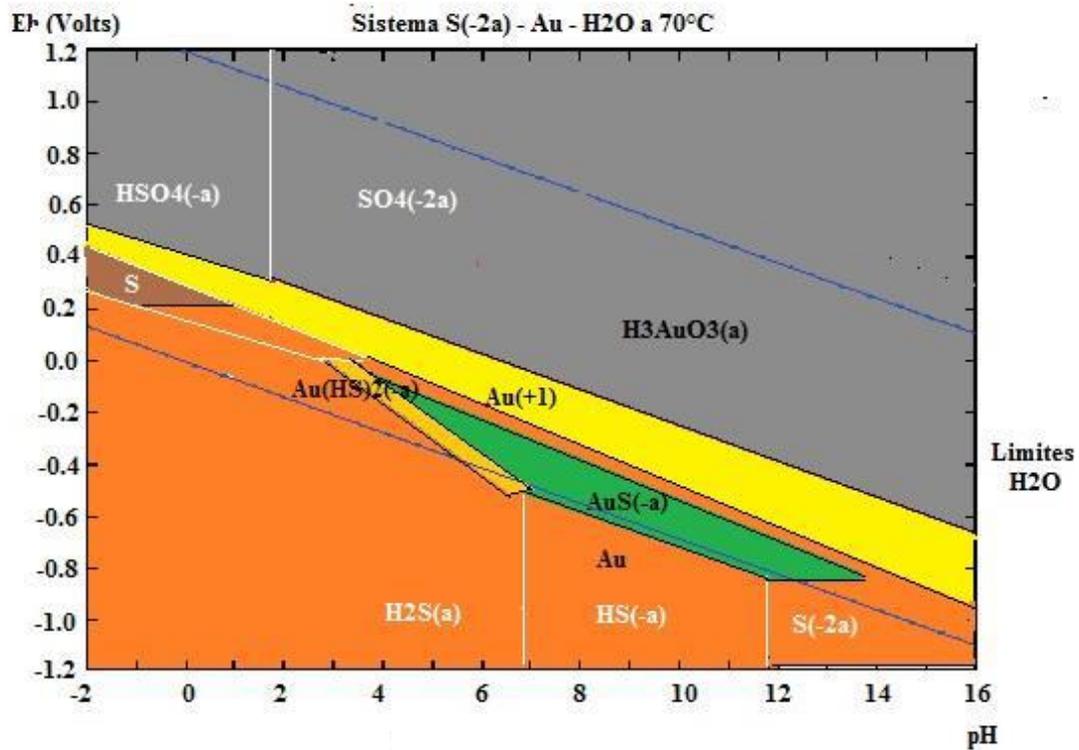
con el oro, tal como se muestra en las siguientes ecuaciones, en las cuales también se presentan las constantes de estabilidad (Hiskey y Atluri, 1986).



El gráfico siguiente muestra el diagrama E-pH para el caso de la lixiviación sulfuro alcalino de oro. Se puede observar en el diagrama que se forman dos especies de sulfuro de oro,  $Au(HS)_2^-$  y  $AuS$ . También se presenta el estado de oxidación (+1) para el Au, producto de la acción oxidante de los polisulfuros  $S_X^{-2}$ .

El oro lixiviado en un sistema sulfuro alcalino es rápidamente recuperable por muchos métodos, los que incluyen electrodeposición, precipitación gaseosa, precipitación química, cementación, extracción por solventes e intercambio iónico. Los métodos convencionales de recuperación de oro, tales como la cementación con zinc y con aluminio, no son aplicables a este tipo de solución debido a los peligros asociados con la generación de gas estibina. Asimismo, el método convencional de colección de oro mediante el carbón activado no se aplica para estas soluciones, como si se hace para las soluciones de cianuro.

Gráfico 3. Diagrama E-pH para el azufre y el sulfuro alcalino de oro



Fuente: Palo (2018)

Estando el oro disuelto como los complejos  $Au(HS)_2^-$  y  $AuS^-$ , al aplicar el ion  $CN^-$  durante la cianuración, se tiene la reacción:

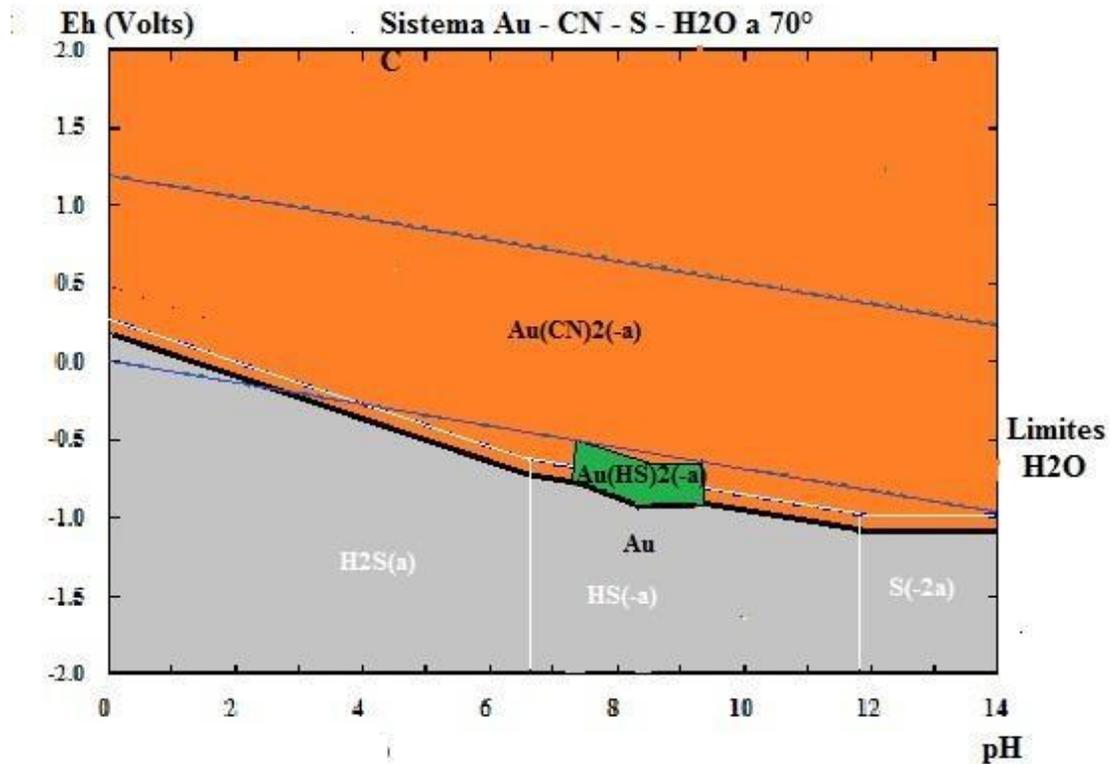


$$\Delta G^\circ \rightarrow -2,655 \frac{Kj}{mol} \quad (6)$$

Este valor de energía libre de Gibbs indica que esta reacción se produce espontáneamente, lo que indica que el complejo  $Au(CN)_2^-$  se produce al romper el complejo  $Au(HS)_2^-$  mediante el ion  $CN^-$ . Esto se puede apreciar en el siguiente gráfico, que presenta el diagrama E-pH del sistema Au-CN-S-2 a 70°C; se aprecia el campo de estabilidad del complejo  $Au(HS)_2^-$  y la del complejo  $Au(CN)_2^-$ . Como se puede deducir a partir de este diagrama el complejo  $Au(HS)_2^-$ , solo es estable

en el rango de pH 7.5 a 8.5; cuando el pH se incrementa a 10.5 el complejo estable es el Au (CN)<sub>2</sub><sup>-</sup>.

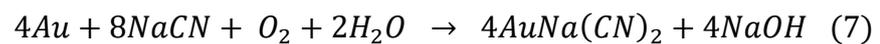
Gráfico 4. Diagrama E-pH para el sistema Au-CN-S-2 a 70°C



Fuente: Palo (2018)

### 2.2.6. Cinética de la cianuración

La reacción global de disolución del oro mediante la utilización de una solución acuosa de cianuro, en presencia de oxígeno la propuso Elsner en 1846 (Ballester *et al.*, 2001):



Esta reacción corresponde a una reacción heterogénea compuesta de tres fases diferentes: (Díaz y Guevara, 2002).

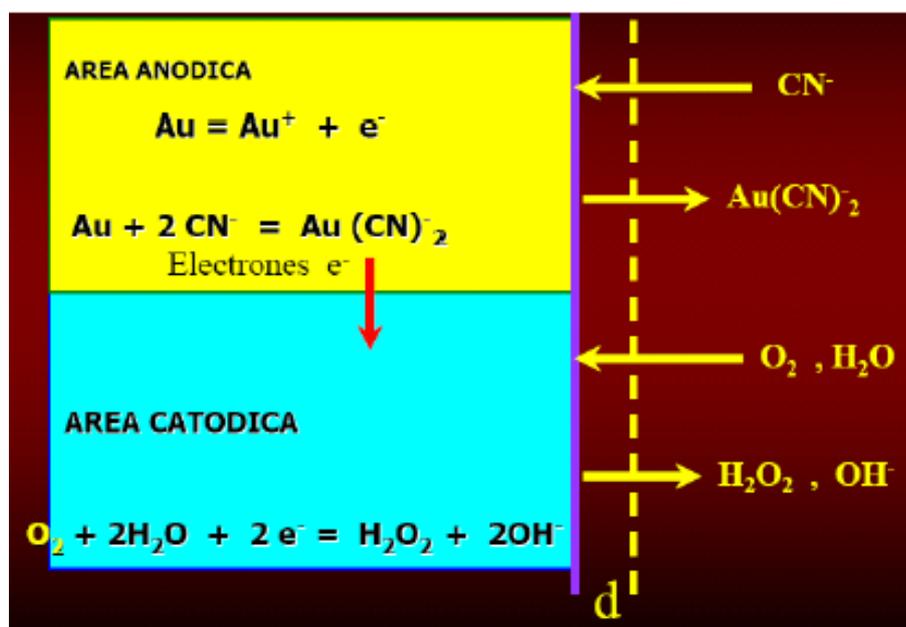
- Fase sólida: Oro metálico.
- Fase líquida: Agua, sales disueltas de cianuro.

- Fase gaseosa: oxígeno

La secuencia de las etapas que presentan la conversión de los reactantes a productos en el proceso de cianuración se detalla a continuación:

Inicia con una absorción de oxígeno en la solución, luego se tiene el transporte de cianuro disuelto y oxígeno a la interfase sólido – líquido, seguido del transporte de los reactantes al interior del sólido por poros o canales, para luego realizarse la absorción del cianuro y oxígeno en la superficie del sólido, reacción electroquímica que se detalla en el siguiente gráfico.

Gráfico 5. Mecanismo de disolución del oro



Fuente: Quintana (1997)

La siguiente etapa de desorción del complejo soluble oro – cianuro y otros productos de la reacción, se concluye así con el transporte de los productos desde la interfase fluido – sólido hacia la solución. (Guerrero, 2006)

### 2.2.7. Parámetros de la cianuración

La velocidad de disolución de oro en soluciones cianuradas obedece a varios factores como son: concentración de cianuro, pH, oxígeno disuelto, temperatura, granulometría del mineral y agitación.

- *Efecto de la concentración de cianuro*

La disolución de oro aumenta linealmente con la concentración de cianuro hasta alcanzar un máximo.

De la reacción global de cianuración, según Elsner, definió estequiométricamente: un mol de oro necesita un mol de oxígeno y dos moles de cianuro para disolverse; sin embargo la presencia de elementos indeseables como son el cobre, zinc, hierro entre otros, los cuales dificultan la recuperación posterior de oro, compiten por el consumo de cianuro debido a este fenómeno estos elementos se denominan cianicidas por tal motivo, se debe añadir mayor cantidad de cianuro requerido según la reacción (Ortiz, 2000).

- *Efecto de la concentración de oxígeno*

La concentración de oxígeno es difícil de controlar, pues es limitada la solubilidad de oxígeno en agua bajo condiciones atmosféricas. A nivel del mar a 25°C, se tiene oxígeno disuelto aproximadamente 8,2 mg/l. (Díaz y Guevara, 2002).

Existen dos métodos para incrementar la concentración de oxígeno disuelto:

- ✓ Inyección de aire en el proceso de lixiviación a baja presión.
- ✓ Inyección de oxígeno puro, aire enriquecido con O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> u otra fuente de oxígeno.

Ambos métodos son caros; se justifica si se tiene minerales con alta ley de oro y cianicidas. (Ortiz, 2000).

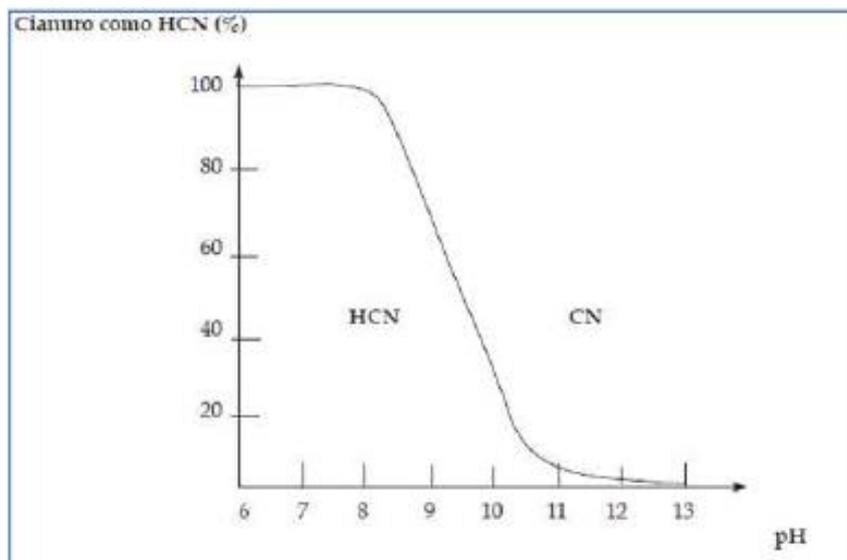
- *Efecto de la temperatura.*

Julian y Smart determinaron la solubilidad del oro en solución de: 0,25% de KCN a temperatura entre 0 a 100°C, encontrando que la mayor disolución de oro alcanza a 85°C

- *Efecto del pH y alcalinidad*

Para evitar pérdidas excesivas de NaCN, se considera importante mantener la solución a pH superior a 9,2.

*Gráfico 6. Separación HCN – CN-*



*Fuente: Hidrometalurgia - Domic (2001)*

En algunos casos la disolución de oro puede disminuir con el incremento de pH, por iniciar la disolución de sulfuros y otras especies. (Díaz y Guevara, 2002).

“La adición de hidróxido de calcio, sodio o potasio es usada comúnmente para mantener el pH en la cianuración. La velocidad

de disolución del oro presenta una disminución con el incremento del pH por dos razones:

La primera es la absorción del ión (OH)<sup>-</sup> en la superficie del metal, lo cual disminuye el área de contacto para el proceso de lixiviación”. (Domic, 2001).

La segunda es el aumento de la velocidad de las reacciones de competencia tales como la disolución de hierro o cobre. Estos efectos son generalmente severos para la regulación de CaOH que para el NaOH y KOH debido a la baja solubilidad de muchas sales formadas. (Marsden y House, 1992).

- *Efecto de la granulometría*

La velocidad de disolución del oro es proporcional al área superficial del oro la misma que depende del tamaño de la partícula y el grado de liberación.

“Al decrecer el tamaño de partícula, se incrementa las reacciones de competencia de otros elementos; es importante obtener la granulometría adecuada para mantener la relación óptima entre la recuperación de oro, consumo de cianuro y oxígeno”. (Manani y Alvarado, 1999).

- *Efecto de la agitación*

La disolución del oro se controla por el fenómeno de transporte de masa y depende del espesor de la capa de difusión y se incrementa con la agitación. (Díaz y Guevara, 2002).

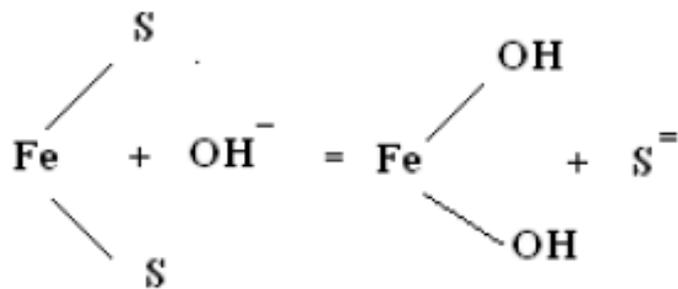
### 2.2.8. Comportamiento de los minerales refractarios en la recuperación de oro

Ciertos minerales compiten en disolverse con el oro. A continuación se describe el comportamiento de los principales minerales que afectan la disolución del oro por cianuración.

- *Pirita*

Se descompone en soluciones de cianuro para la disolución de oro.

A altas concentraciones de álcalis el sistema de lixiviación, la pirita sufre una alteración superficial se muestra en el gráfico siguiente:



La pirita es oxidada; los iones hidroxilos son retenidos sobre la superficie de la pirita, retardando cualquier reacción posterior como es la disolución del oro.

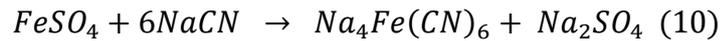
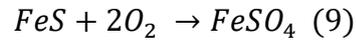
- *Pirrotita*

Debido a su estructura es más reactiva que la pirita, se descompone rápidamente en presencia de agua y aire para formar ácido sulfúrico, sulfato ferroso, sulfatos básicos de hierro. (Gasparrini, 1989).

La pirrotita tiene un enlace libre de azufre, que reacciona fácilmente con cianuro para formar el ión tiocianato según la siguiente ecuación:



El sulfuro ferroso se oxida rápidamente a sulfato, este reacciona con el cianuro para formar iones ferrocianuro, como sigue:

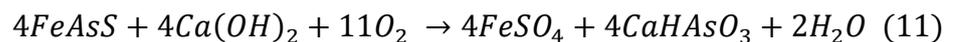


La pirrotita a mas de ser cianicida, consume bastante oxígeno de la solución y disminuye la disolución de oro. (Ortiz, 2000).

- *Minerales arsenicales*

En algunas menas de oro se encuentra minerales arsenicales de: arsenopirita (FeAsS), rejalgar (AsS) y oropimente (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>). (Gasparrini, 1989).

Los minerales arsenicales reaccionan con soluciones alcalinas para producir arsenitos alcalinos que inhiben la disolución del oro, según la siguiente reacción:



Es una reacción desoxidante, lo que resulta en una pérdida de oxígeno disuelto en la solución de lixiviación con cianuro, por tanto el oro no se disolverá. (Gasparrini, 1989).

El arsénico en forma de rejalgar y oropimente, presenta un serio problema en el proceso de cianuración; estos minerales se disuelven en soluciones alcalinas y forma compuestos tales como tioarseniato, los que reaccionan con el oxígeno de la solución para

formar arseniatos, los cuales dificultan la recuperación de oro. (Villacres, 1993).

Una alternativa para superar esta dificultad causada por los minerales arsenicales, es el tratamiento de menas de arsenopirita, antes de la cianuración, con un álcali, el cual protege al cianuro neutralizando la acidez de la pulpa, oxida al hierro disperso y transforma el exceso de azufre hacia la especie menos activa. (Nagy et al., 1993).

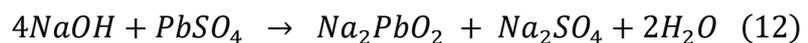
- *Minerales antimoniales*

El único mineral importante de este grupo es la estibina debido a que el oro asociado a este mineral, es soluble en las soluciones de cianuro. (Manani y Alvarado, 1999).

Forma tioantimonitos y disminuyen la disolución de oro debido al consumo de oxígeno por parte de estos compuestos.

- *Minerales de plomo (Galena, Anglesita).*

De este grupo los únicos minerales importantes que interfieren en el proceso de cianuración son galena (PbS) y la anglesita (PbSO<sub>4</sub>), debido a que en una alta concentración de cal se puede formar cantidades excesivas de plumbito alcalino los que reaccionan con el cianuro presente para formar un cianuro insoluble muy básico, así:



La formación de plumbito alcalino y la reacción con el cianuro forman un cianuro insoluble que interfiere en la recuperación de oro. (Domic, 2001).

Para obtener altas extracciones de oro desde las calcinas con alto contenido de plomo, se puede emplear como álcalis protectores la soda caustica, el amoníaco, óxido de magnesio las cuales evitan la pérdida de cianuro. (Nagy et al., 1993).

- *Minerales de cobre*

Los minerales de cobre forman cianicidas y disminuyen la velocidad de disolución del oro. Entre estos tenemos a calcosina, bornita, enargita, covelina y óxidos de cobre, estos se disuelven en cianuro y forman complejos como  $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$ ,  $\text{Cu}(\text{CN})_3^-$ ,  $\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$ , mientras que la calcopirita  $\text{CuFeS}_2$  es la especie menos soluble en soluciones de cianuro. (Nagy et al., 1993).

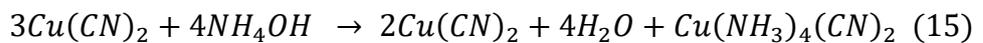
Para la remoción de cobre antes de la cianuración se presentan los siguientes métodos:

- a) Cuando la mena contiene minerales oxidados de cobre se sugiere una extracción preliminar del cobre con ácido sulfúrico. Las menas oxidadas muy a menudo contienen minerales de carbonato tales como calcita y dolomita, los que al disolverse rápidamente en ácidos diluidos resultan en un consumo excesivo de ácido. Además, el método ácido sufre una desventaja que en la práctica, la dificultad de neutralizar, frecuentemente en su totalidad los residuos de la lixiviación ácida antes de la cianuración. (Domic, 2001).

b) Los minerales de cobre se disuelven en amoníaco, luego del cual el material se cianura como es usual.

De acuerdo a Lemmon, se ha establecido que la adición de un exceso de amoníaco sobre la cantidad equivalente al cobre disuelto en la solución de cianuración, pero en cantidades menores que la requerida para llevar al cobre soluble total a la solución, permite incrementar la disolución de oro, reducir el consumo de cianuro de sodio y bajar sustancialmente la cantidad de cobre que entra al circuito de precipitación de oro. (Nagy et al., 1993)

El mecanismo de reacción es:



El cianuro cupriamonio se disocia en el radical complejo  $Cu(NH_3)_4^{+2}$  y cianógeno libre. Se cree que el cianógeno liberado reacciona con los iones hidroxilos para formar cianuros alcalinos, los que luego disuelven el oro. (Nagy et al., 1993).

- *Minerales carbonáceos*

Estos minerales contienen carbón que no se disuelven en cianuro. El inconveniente con estos minerales es que el complejo cianurado de oro es absorbido por el carbón presente y disminuye la recuperación del oro (De la Torre y Guevara, 2006).

### 2.3. Definición de términos básicos.

**Minerales polisulfuros:** Aquellos minerales que en su estructura contienen asociado a los iones azufre, más de dos elementos químicos enlazados.

**Cianuración:** Proceso de lixiviación por el cual se disuelve el elemento valioso a recuperar con el NaCN.

**Pre tratamiento:** Etapas físico – químicas previas que sirven para acondicionar el mineral para la disolución posterior del elemento valioso.

**Microscopía Óptica:** Realiza la identificación basada esencialmente en la observación y eventual medición de las propiedades de la imagen formada por ondas electromagnéticas del espectro visible.

**Microscopía Electrónica de Barrido:** Se basa en la utilización del nivel de brillo de una imagen electrónica, generada por los rayos X que emiten los minerales sobre el campo de observación.

**Microscopía de luz reflejada (opacos):** La aplicación en flotación está dedicada a minerales que, por su comportamiento a la luz, se les puede calificar como minerales opacos y muchos de ellos caen dentro del grupo de sulfuros y sulfosales.

**Información Composicional:** Es necesario saber a qué minerales está asociado el elemento que finalmente se va a beneficiar.

## **2.4. Formulación de hipótesis.**

### **2.4.1. Hipótesis general.**

Si desarrollamos un modelo de caracterización físico química y mineralógico de polisulfuros entonces; influirá en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019.

### **2.4.2. Hipótesis específicas.**

- Si determinamos el modelo de caracterización físico química y mineralógico de los polisulfuros, entonces, influirá en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019.
- Si determinamos el rango de trabajo óptimo de las variables: concentración de NaCN, pH y oxigenación entonces influirá en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019.

## **2.5. Identificación de variables.**

### **2.5.1. Variable dependiente.**

- % Recuperación de oro

### **2.5.2. Variable independiente.**

- Concentración de NaCN
- pH
- Oxigenación

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

| Variable  | Definición conceptual   | Definición operacional  | Dimensiones                                 | Indicadores                |
|---|---|---|---|----------------------------|
| <b>Dependiente:</b><br>Recuperación de oro                            | Resultado de enriquecer el contenido de cobre a través del proceso de flotación de sulfuros   | Proceso por el cual una mena extraído de la mina es concentrado para obtener elementos con mayores leyes químicas en su composición | • Volumen de concentrados                   | Oz/TM                      |
|   |   |   | • Elemento valioso existente en la solución | mg Au/l                    |
| <b>Independiente:</b><br>Caracterización mineralógica de polisulfuros | Diagnóstico realizado a los minerales extraídos de la mina, para determinar sus elementos, asociaciones y reacciones a su procesamiento | Diversas etapas de preparación para reconocer al microscopio las asociaciones minerales existentes                                  | • Análisis químico                          | Oz/TM Au                   |
|   |   |   | • Análisis macroscópico del mineral         | Composición mineralógica   |
|   |   |   | • Análisis microscópico del mineral         | Asociaciones mineralógicas |

## **CAPÍTULO III**

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

#### **3.1. Tipo de investigación.**

“El tipo de investigación del presente estudio es Descriptivo - Experimental”.

Descriptivo. Mediante este método se realizó la descripción de los fenómenos y comportamientos de las etapas que ocurrieron durante las pruebas experimentales realizadas.

Experimental. Se realizó la manipulación de las variables independientes y ver su resultado en la variable dependiente.

“La investigación experimental se ha ideado con el propósito de determinar, con la mayor confiabilidad posible, relaciones de causa - efecto, para lo cual un grupo, llamado experimental, se expone a los estímulos experimentales y los comportamientos resultantes se comparan con los comportamientos de otro grupo, llamados de control, que no reciben el tratamiento o estímulo experimental” (Mario Tamayo – 2012).

### **3.2. Métodos de investigación.**

En el presente trabajo de investigación el método utilizado es el Científico, porque se está aplicando los conocimientos existentes en la solución de problemas.

### **3.3. Diseño de la investigación.**

“Diseño de investigación se refiere a la estrategia que adopta el investigador para responder al problema, dificultad o inconveniente planteado en el estudio. Para fines didácticos se clasifican en diseño experimental, diseño no experimental y diseño bibliográfico”. (Filiberto Martins – 2010).

En el presente trabajo, el diseño de investigación que se aplicó al estudio fue el Diseño Factorial debido a que se realizó la intervención de las variables independientes que tuvo efecto sobre la variable dependiente.

### **3.4. Población y Muestra.**

#### **Población.**

Según (Tamayo – 1997) “La población se define conjunto de todas las cosas que concuerdan con una serie determinada de especificaciones a estudiar donde las unidades de la población poseen características comunes la cual se estudia y da origen a los datos de investigación”.

La población está representada por el mineral que se extrae de las 4 cuadrículas denominadas Canteño 2, extraído por mineros artesanales, y que lo venden a los acopiadores.

#### **Muestra.**

Para determinar la muestra representativa se procedió a realizar el muestreo aleatorio simple, donde cada muestra tiene una probabilidad de inclusión igual y conocida de  $n/N$  y que representa a una campaña de producción de los mineros artesanales; cabe recalcar que los trabajos de explotación minera se realiza por

campañas de van de 30 a 45 días, con una producción mínima de 10 toneladas/campaña de mineral extraído y luego después de acopiar en cancha de almacenamiento 300 a más toneladas productos de todos los mineros son vendidos a los acopiadores.

Para calcular el número de muestras a obtener se procedió a calcular con los siguientes valores:

|   |   |                               |   |      |
|---|---|-------------------------------|---|------|
| n | = | Tamaño de la muestra          | = |      |
| z | = | Nivel de confianza (95%)      | = | 1,96 |
| p | = | Proporción (50%)              | = | 50   |
| q | = | Proporción (50%)              | = | 50   |
| N | = | Tamaño de la población (días) | = | 40   |
| e | = | Error máximo permitido (3%)   | = | 3    |

$$n = \frac{z^2 * p * q * N}{e^2(N - 1) + z^2 p * q} \quad (1)$$

Reemplazando se tiene:

$$n = \frac{(1.96)^2 * 50 * 50 * 40}{3^2(40 - 1) + (1.96)^2 * 50 * 50} = 38.5 = 39$$

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

Para la recolección de datos se realizó las siguientes actividades:

Fase I: Identificación de las características físicas de las muestras representativas del mineral y son:

- Calculo del peso específico.
- Dureza del mineral.
- Etapa de molienda
- Análisis de mallas (granulometría).

- Caracterización de la liberación del mineral.
- Análisis cuantitativo.
- Evaluación microscópica del mineral.

Fase II: Pruebas de cianuración y para ello se seleccionó:

- Tratamiento previo a lixiviación.
- Pruebas de lixiviación variando la concentración de NaCN
- Pruebas de lixiviación variando el Tiempo.
- Pruebas de lixiviación a diferentes grados de pH.
- Estudio microscópico del relave.

Fase III: Optimización de la lixiviación.

Para el acopio de información se desarrolló las siguientes técnicas e instrumentos:

| <b>N°</b> | <b>Actividad</b>                 | <b>Técnica</b>              | <b>Instrumentos</b>   |
|-----------|----------------------------------|-----------------------------|---|
| 1         | Recolección de muestra           | Cono y cuarteado            | Palas, envases  |
| 2         | Cálculo del peso específico      | Método del picnómetro       | Picnómetro<br>Balanza   |
| 3         | Cálculo de la dureza del mineral | Reconocimiento experimental | Escala de campo   |
| 4         | Liberación del mineral           | Molienda                    | Molino de bolas<br>Balanza<br>Balde   |
| 5         | Reconocimiento mineralógico      | Análisis microscópico       | Microscopio de opacos<br>Briquetas  |
| 6         | Análisis cuantitativo            | Análisis químico            | Equipo de absorción atómica   |
| 7         | Disolución de oro                | Lixiviación                 | Celdas de lixiviación<br>NaCN<br>CaO<br>Cronómetro<br>Accesorios a la lixiviación |

|   |   |                       |                                    |
|---|---|-----------------------|------------------------------------|
| 8 | Reconocimiento microscópico de asociaciones minerales, irregularidades del grano e intercrecimiento | Análisis microscópico | Microscopio de opacos<br>Briquetas |
|---|---|-----------------------|------------------------------------|

### 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

- **Recolección de muestra**

Para la recolección de la muestra representativa, se obtuvo bajo el sistema de cono y cuarteado.

- **Cálculo del peso específico del mineral**

Para determinar el peso específico promedio de la muestra representativa se empleó la siguiente ecuación:

$$G = \frac{M - P}{W + (M - P) - S} \quad (2)$$

Donde:

M - P = Peso de muestra

W = Picnómetro + agua contenida

S = Muestra + picnómetro + agua no desplazada

W + (M - P) - S = Peso del agua desplazada por la muestra.

- **Cálculo de la dureza del mineral**

Utilizando la escala de campo, se determinó experimentalmente la dureza del mineral.

- **Liberación del mineral**

Para determinar el grado de liberación del mineral se procedió a una etapa de molienda por 10, 15, 18 y 20 minutos respectivamente diferentes muestras

representativas, obteniéndose muestras representativas que luego fue tamizado.

- **Análisis cuantitativo**

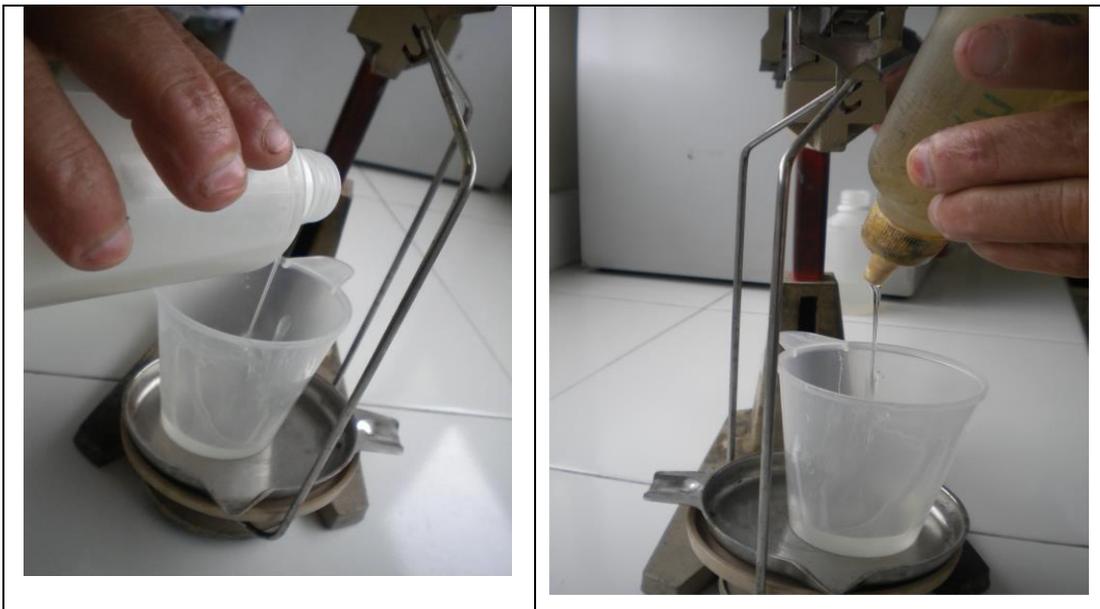
Para llevar a cabo el análisis químico, se analizó vía seca el oro presente en la muestra, encargado al laboratorio **Quimic lab**.

- **Reconocimiento mineralógico**

### 1. Preparación de briquetas

Se realizó el pesaje y secado de las muestras aproximadamente 10 gr de muestra (cabeza y relave a malla +200 y -200 respectivamente)

*Foto 1. Pesaje de resina*



*Fuente: Elaboración propia*

Se pesó 14 gr de resina epóxica, 2 gr de endurecedor por muestra.

La muestra es encapsulada dentro de un molde de 30 mm de diámetro estandarizado universalmente para el tamaño de una briqueta; y que facilitó su manipulación para mejor protección de la muestra.

Foto 2. Vaciado y secado de muestra



Fuente: Elaboración propia

El encapsulado de la muestra debe hacerse usando la resina en frío para evitar la alteración del componente de la muestra ya que estas mezclas de resina más endurecedor producen reacciones exotérmicas.

✓ **Lapeado o desgastado**

La muestra se desgastó con lijas de carburo de silicio sobre un vidrio teniendo como lubricante el agua en el siguiente orden:

Tabla 4. Desgaste de las briquetas con abrasivos

| Abrasivo (SiC)<br>Malla (micras) | Cantidad<br>(g) | Tiempo<br>(min) | Lado              |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| 200                              | 15              | 10              | Cara –<br>reverso |
| 400                              | 10              | 10              | Cara              |
| 600                              | 7               | 5               | Cara –<br>reverso |
| 1000                             | 3               | 5               | Cara              |

Fuente: Elaboración propia

Foto 3. Ilustración de las etapas del lapeado



Fuente: Elaboración propia

✓ **Pulido preliminar, intermedio y fino**

La primera etapa. Se realizó con un paño de jeans con la mezcla de la alúmina y agua en una proporción de 1 a 1 por un periodo de tiempo de 3-5 min.

La segunda etapa se realizó haciendo uso de la pulidora semiautomática Labopol-6 Struer con sus paños respectivos, lubricante de aceite orgánico y en medio con los granos de suspensión de diamantes.

Los paños que se utilizó en la etapa de pulido fueron los adecuados: como los autoadhesivos o magnéticos con pelo, con baja elasticidad y buena propiedad de retención de la suspensión de diamante, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 5. Etapas del Pulido de las briquetas

| Suspensión de diamantes (micrones) | Tiempo (min) | Velocidad (RPM) | Presión (Newton) |
|------------------------------------|--------------|-----------------|------------------|
| 6 a 10                             | 3 a 8        | 400 - 600       | 30 a 40          |
| 3 a 6                              | 3 a 4        | 300             | 20               |
| 1 a 1.4                            | 1            | 100 - 150       | 10               |

Fuente: Elaboración propia.

*Foto 4. Tipos de paños para el pulido*



*Fuente: Elaboración propia*

Después del lapeado y pulido toda briqueta debe cumplir con las siguientes características:

- La briqueta no debe presentar micro porosidad.
- La briqueta no debe presentar rayaduras.
- La briqueta debe tener una superficie totalmente plana por ambos lados.

Se pretende obtener información acerca de la mineralogía, génesis, grado de liberación, conteo de granos y la composición de la muestra; haciendo uso de las propiedades ópticas como color, hábito, pleocroísmo, maclas, reflectividad que poseen los minerales al ser incididos por la luz polarizada.

## **2. Preparación de plaquetas**

Solo se necesitó de 3 a 5 gramos de muestra de material pulverizado (cabeza y relave a malla +200 y - 200 respectivamente)

Utilizando esmalte sintético, se llevó a cabo el pegado de las muestras en los portaobjetos, con índice de refracción 1,53 (respecto al aire) y tratando

de pulverizar en forma uniforme con un alambre y calentado por un corto tiempo.

✓ **Desbaste**

Mediante el desbaste se consiguió poner al descubierto la superficie del mineral, reduciendo el espesor, eliminando todo lo que pudiera obstaculizar sus características naturales, a la vez que se obtiene una superficie plana con pequeña rugosidad, y se realiza sobre un vidrio triple con la acción de un aglutinante (agua); hasta alcanzar un espesor ideal de 30 micras.

*Tabla 6. Etapas de lapeado para cada plaqueta*

| Abrasivo (SiC) Malla (micras) | Cantidad (g) | Tiempo (min) | Lado | Espesor (micras) |
|-------------------------------|--------------|--------------|------|------------------|
| 400                           | 5            | 7            | Cara | 100              |
| 600                           | 10           | 10           | Cara | 40               |
| 1000                          | 7            | 5            | Cara | 30               |

*Fuente: Elaboración propia.*

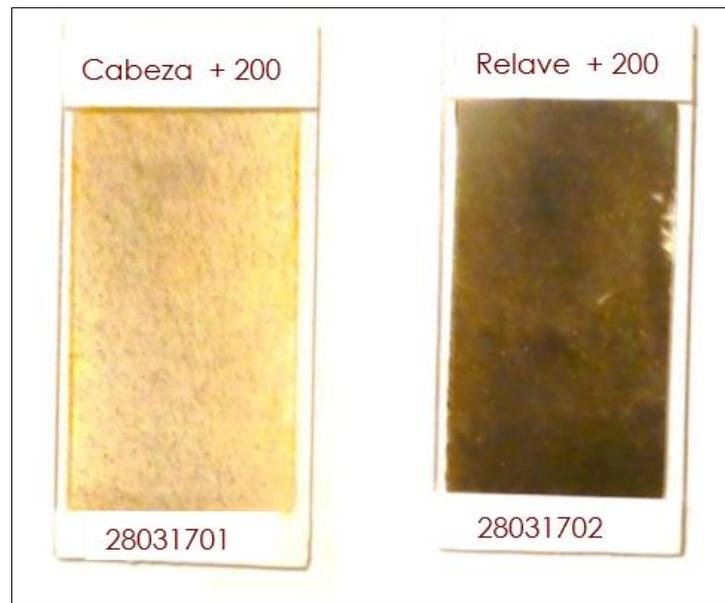
✓ **Montaje del cobre objeto**

Una vez que la plaqueta tiene el espesor de 30 micras, se coloca la lámina de cubierta o cobre objeto sobre la gota de resina y endurecedor, presionando cuidadosamente el vidrio de cubierta con una pinza para expulsar las burbujas de aire atrapadas y el excedente del esmalte. Para sujetarse se llevó a la plancha a 40°C, por recomendación técnica de los expertos.

✓ **Rotulado y codificación**

La limpieza de las plaquetas se realiza mediante la aplicación alcohol, como disolvente.

Foto 5. Plaquetas codificadas

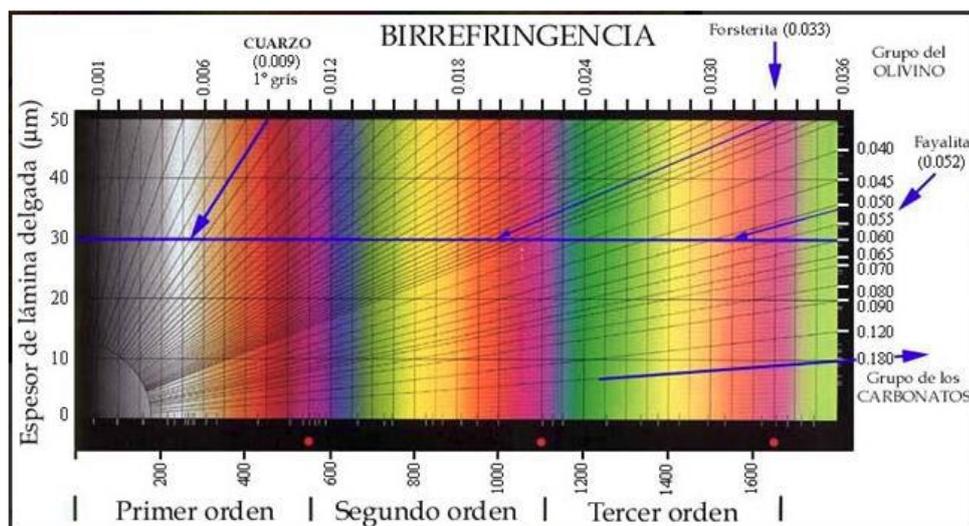


Fuente: Elaboración propia.

✓ **Control de calidad de las plaquetas**

El espesor de las briquetas debe corresponder al estudio a realizar. Tomando como referencia la coloración del cuarzo, plagioclasas, etcétera a fin de alcanzar las 30  $\mu\text{m}$  de espesor para láminas delgadas, este control se basa a la Tabla de colores de interferencia de Michel Levy.

Tabla 7. Tabla de colores de interferencia de Michel Levy



Fuente: INGEMMET (2017). Dirección de Laboratorios - Área de Petrotomía.

- **Lixiviación de oro**

- ✓ **Reactivos**

- NaCN: 2 Kg/TM
- CaO: 2 kg/TM
- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 1 – 2 l/TM

- ✓ **Diseño experimental**

La lixiviación es un proceso químico o electroquímico que puede ser desarrollado adecuadamente a través de un modelo matemático empírico definido por:

$$Y = f(x, u, z)$$

En el diseño factorial  $2^k$  se evalúan los efectos de los niveles de los factores o tratamientos que van siendo considerados en el estudio.

Para la lixiviación se ha considerado el diseño factorial a 2 niveles con 3 variables más significativas, considerando:

$$N = 2^k = 2^3 = 8$$

Dónde:

2 = Son los estados de la variable (menor y mayor)

k = Variables que intervienen en los experimentos del siguiente modo:

Gráfico 7. Estructura del diseño factorial 2<sup>3</sup>

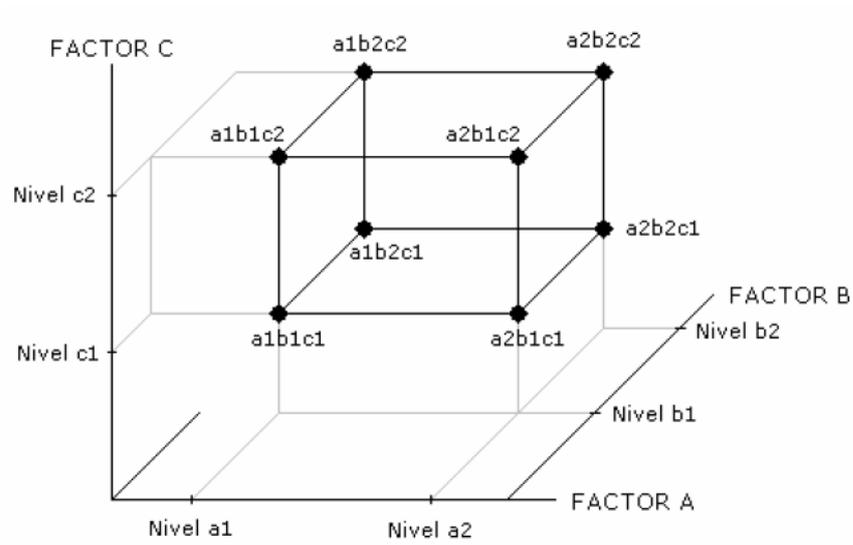


Tabla 8. Variables intervinientes

| VARIABLES | ESTADOS |        |
|-----------|---------|--------|
|           | MAXIMO  | MINIMO |
| % NaCN    | 0.02    | 0.01   |
| Aire      | 1       | 0      |
| pH        | 11,0    | 10,0   |

El diseño factorial desarrollada es el siguiente:

Tabla 9. Diseño factorial

| Prueba No | Efecto | A<br>% NaCN | B<br>Aire | C<br>pH |
|-----------|--------|-------------|-----------|---------|
| 1         | 1      | 0.01        | 0         | 10,0    |
| 2         | a      | 0.02        | 0         | 10,0    |
| 3         | b      | 0.01        | 1         | 10,0    |
| 4         | ab     | 0.02        | 1         | 10,0    |
| 5         | c      | 0.01        | 0         | 11,0    |
| 6         | ac     | 0.02        | 0         | 11,0    |
| 7         | bc     | 0.01        | 1         | 11,0    |
| 8         | abc    | 0.02        | 1         | 11,0    |

### 3.7. Tratamiento estadístico.

Para el tratamiento estadístico se desarrolló las siguientes etapas:

- **Modelo Matemático Propuesto**

El diseño factorial ( $2^k$ ) y el análisis de yates utilizados aquí se define para el siguiente modelo lineal:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + \text{error}$$

$B_0$  = promedio

$B_1$  = efecto "A"/2

$B_2$  = efecto "B"/2

$B_3$  = efecto "C"/2

- **Cálculo de los coeficientes**

Para estimar los coeficientes del modelo lineal, se utilizó el diseño factorial  $2^3$ .

*Tabla 10. Combinaciones experimentales*

| Prueba No | Efecto | A<br>% NaCN | B<br>Aire | C<br>pH |
|-----------|--------|-------------|-----------|---------|
| 1         | 1      | 0.01        | 0         | 10,0    |
| 2         | a      | 0.02        | 0         | 10,0    |
| 3         | b      | 0.01        | 1         | 10,0    |
| 4         | ab     | 0.02        | 1         | 10,0    |
| 5         | c      | 0.01        | 0         | 11,0    |
| 6         | ac     | 0.02        | 0         | 11,0    |
| 7         | bc     | 0.01        | 1         | 11,0    |
| 8         | abc    | 0.02        | 1         | 11,0    |

- **Cálculo de Efectos**

Con los datos obtenidos en laboratorio se desarrolló los siguientes efectos:

Tabla 11. Efecto de las variables en las pruebas de cianuración

| Efecto | %<br>Recup.    | II | III | IV | Efecto |
|--------|----------------|----|-----|----|--------|
| 1      | Y <sub>1</sub> |    |     |    |        |
| A      | Y <sub>2</sub> |    |     |    |        |
| B      | Y <sub>3</sub> |    |     |    |        |
| Ab     | Y <sub>4</sub> |    |     |    |        |
| C      | Y <sub>5</sub> |    |     |    |        |
| Ac     | Y <sub>6</sub> |    |     |    |        |
| Bc     | Y <sub>7</sub> |    |     |    |        |
| Abc    | Y <sub>8</sub> |    |     |    |        |

- **Desvío medio cuadrático:**

$$DMC = \frac{A^2}{2^3}$$

- **Error medio cuadrático:**

$$ECM = \frac{DMC}{2}$$

### 3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.

- **Selección de instrumentos de investigación**

La selección de los instrumentos de investigación se realizó desarrollando los procesos convencionales para cada etapa y con las técnicas aprendidas en los claustros universitarios.

- **Validación**

La validación de la investigación, estarán dadas por el análisis químico y la caracterización del mineral correcta que se otorga a cada muestra a experimentar.

- **Confiabilidad.**

La confiabilidad de los resultados, se basa en la experiencia del personal del laboratorio químico al cual se confió los ensayos y a la correcta toma de muestras, realizadas con el mayor cuidado posible por todos los que realizamos este trabajo.

### **3.9. Orientación ética.**

La aprobación o la desaprobación se basa en la aceptabilidad ética de la investigación, incluyendo su valor tecnológico y su validez científica, un índice aceptable de beneficios potenciales frente a los riesgos de daño, la minimización de los riesgos, los procedimientos adecuados de consentimiento informado (incluyendo la adecuación cultural y los mecanismos para garantizar la voluntariedad), los procedimientos justos para la selección de las variables, y la consideración de la repercusión de la investigación sobre la empresa de donde procede el mineral, tanto durante la investigación como después de que esta finalice. La revisión tiene en cuenta la revisión científica previa y las leyes aplicables.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

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

Los trabajos de campo realizados se abocó a la toma de muestras de cada campaña de los mineros artesanales y luego después de sucesivas etapas de reducción de la muestra a través del método de “redes” y “cono y cuarteado”, se fue obteniendo la muestra representativa que permitió, realizar el análisis químico y desarrollar las pruebas de microscopia y lixiviación respectivamente.

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

- **Recolección de muestra**

Para la recolección de la muestra representativa, se obtuvo una muestra de 2 kilos por campaña de extracción de mina, bajo el sistema de cono y cuarteado; en forma similar se realizó para obtener la muestra compósito de toda la

campana, obteniéndose 20 kilos con los cuales se realizó las pruebas experimentales siguientes.

- **Cálculo del peso específico del mineral**

Utilizando el método del picnómetro, se determinó el peso específico del mineral, de diez muestras y se procedió a obtener el promedio representativo.

*Tabla 12. Peso específico medio del mineral*

| Muestra   | Peso específico (gr/cm3) |
|-----------|--------------------------|
| 1         | 3,40                     |
| 2         | 3,65                     |
| 3         | 3,80                     |
| 4         | 3,20                     |
| 5         | 4,20                     |
| 6         | 3,89                     |
| 7         | 4,54                     |
| 8         | 4,35                     |
| 9         | 3,90                     |
| 10        | 3,85                     |
| Sumatoria | 38,78                    |
| Promedio  | 3,878                    |

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Cálculo de la dureza del mineral**

Utilizando la escala de campo, el mineral logró rayarse con un clavo de acero que otorga una dureza de 4,5.

- **Liberación del mineral**

Para determinar el grado de liberación del mineral se procedió a una etapa de molienda por 10, 15, 18 y 20 minutos respectivamente las diferentes muestras representativas, obteniéndose el siguiente resultado:

Tabla 13. Análisis de mallas de 10 min de Molienda

| Malla Tyler | Abertura (mm) | Mineral Retenido (g) | % Mineral Retenido | Acum (+) | Acum (-) |
|-------------|---------------|----------------------|--------------------|----------|----------|
| 4           | 4,76          | 0                    | 0                  | 0        | 100      |
| 6           | 3,36          | 15                   | 3                  | 3        | 97       |
| 10          | 1,68          | 30                   | 6                  | 9        | 91       |
| 20          | 0,841         | 40                   | 8                  | 17       | 83       |
| 28          | 0,595         | 110                  | 22                 | 39       | 61       |
| 35          | 0,420         | 150                  | 30                 | 69       | 31       |
| 48          | 0,297         | 70                   | 14                 | 83       | 17       |
| 65          | 0,210         | 50                   | 10                 | 93       | 7        |
| 100         | 0,149         | 20                   | 4                  | 97       | 3        |
| 200         | 0,074         | 10                   | 2                  | 99       | 1        |
| -200        |               | 5                    | 1                  | 100      | 0        |
| TOTAL       |               | 500                  |                    |          |          |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Análisis de mallas de 15 min de Molienda

| Malla Tyler | Abertura (mm) | Mineral Retenido (g) | % Mineral Retenido | Acum (+) | Acum (-) |
|-------------|---------------|----------------------|--------------------|----------|----------|
| 4           | 4,76          | 0                    | 0                  | 0        | 100      |
| 6           | 3,36          | 10                   | 2                  | 2        | 98       |
| 10          | 1,68          | 10                   | 2                  | 4        | 96       |
| 20          | 0,841         | 20                   | 4                  | 8        | 92       |
| 28          | 0,595         | 40                   | 8                  | 16       | 84       |
| 35          | 0,420         | 95                   | 19                 | 35       | 65       |
| 48          | 0,297         | 100                  | 20                 | 55       | 45       |
| 65          | 0,210         | 105                  | 21                 | 76       | 24       |
| 100         | 0,149         | 60                   | 12                 | 88       | 12       |
| 200         | 0,074         | 35                   | 7                  | 95       | 5        |
| -200        |               | 25                   | 5                  | 100      | 0        |
| TOTAL       |               | 500                  |                    |          |          |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Análisis de mallas de 18 min de Molienda

| Malla Tyler | Abertura (mm) | Mineral Retenido (g) | % Mineral Retenido | Acum (+) | Acum (-) |
|-------------|---------------|----------------------|--------------------|----------|----------|
| 4           | 4,76          | 0                    | 0                  | 0        | 100      |
| 6           | 3,36          | 5                    | 1                  | 1        | 99       |
| 10          | 1,68          | 5                    | 1                  | 2        | 98       |
| 20          | 0,841         | 10                   | 2                  | 4        | 96       |
| 28          | 0,595         | 20                   | 4                  | 8        | 92       |
| 35          | 0,420         | 30                   | 6                  | 14       | 86       |
| 48          | 0,297         | 50                   | 10                 | 24       | 76       |
| 65          | 0,210         | 55                   | 11                 | 35       | 65       |
| 100         | 0,149         | 150                  | 30                 | 65       | 35       |
| 200         | 0,074         | 100                  | 20                 | 85       | 15       |
| -200        |               | 75                   | 15                 | 100      | 0        |
| TOTAL       |               | 500                  |                    |          |          |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Análisis de mallas de 20 min de Molienda

| Malla Tyler | Abertura (mm) | Mineral Retenido (g) | % Mineral Retenido | Acum (+) | Acum (-) |
|-------------|---------------|----------------------|--------------------|----------|----------|
| 4           | 4,76          | 0                    | 0                  | 0        | 100      |
| 6           | 3,36          | 0                    | 0                  | 0        | 100      |
| 10          | 1,68          | 0                    | 0                  | 0        | 100      |
| 20          | 0,841         | 5                    | 1                  | 1        | 99       |
| 28          | 0,595         | 10                   | 2                  | 3        | 97       |
| 35          | 0,420         | 15                   | 3                  | 6        | 94       |
| 48          | 0,297         | 25                   | 5                  | 11       | 89       |
| 65          | 0,210         | 55                   | 11                 | 22       | 78       |
| 100         | 0,149         | 95                   | 19                 | 41       | 59       |
| <b>200</b>  | 0,074         | <b>150</b>           | <b>30</b>          | 71       | 29       |
| <b>-200</b> |               | <b>145</b>           | <b>29</b>          | 100      | 0        |
| TOTAL       |               | 500                  |                    |          |          |

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el análisis de mallas a diferentes tiempos de molienda, se identificó que la liberación del mineral más óptima se obtuvo a un tiempo de 20 minutos de molienda ubicada entre la malla +200 y -200, esto fue corroborado con la briqueta elaborada vista en el microscopio de luz reflejada, donde se puede observar que los elementos están liberados casi en su totalidad.

- **Análisis cuantitativo**

Para llevar a cabo el análisis por elementos del mineral compuesto se procedió a evaluar cinco muestras representativas con el siguiente resultado:

*Tabla 17. Análisis químico promedio*

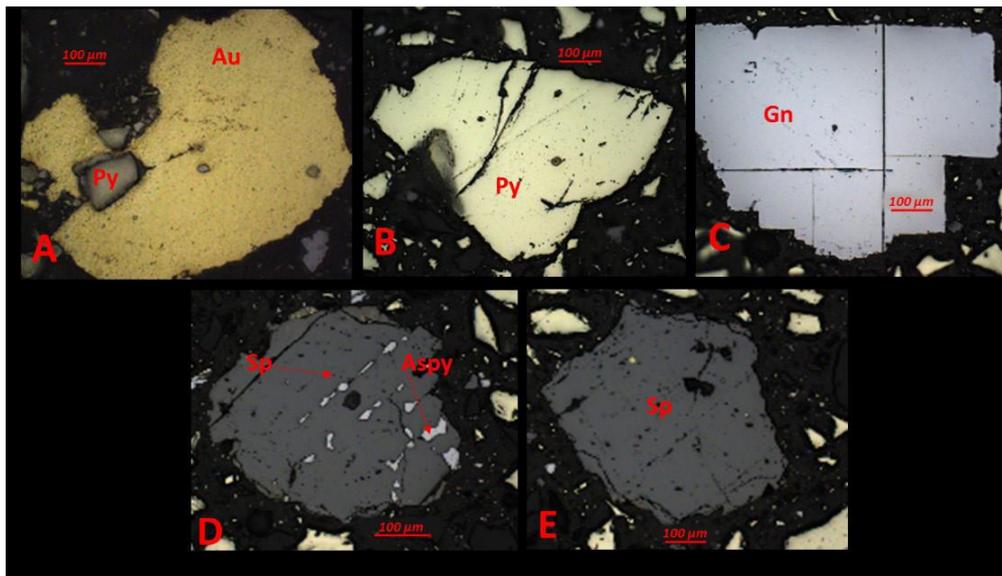
| Elemento | Au<br>(Oz/TM) | Fe    | Te   | Pb   | S     |
|----------|---------------|-------|------|------|-------|
| %        | 4,3           | 14,50 | 0,60 | 8,30 | 12,80 |

*Fuente: Laboratorio Quimic Lab.*

- **Reconocimiento microscópico**

- ✓ Identificación de las muestras de cabeza

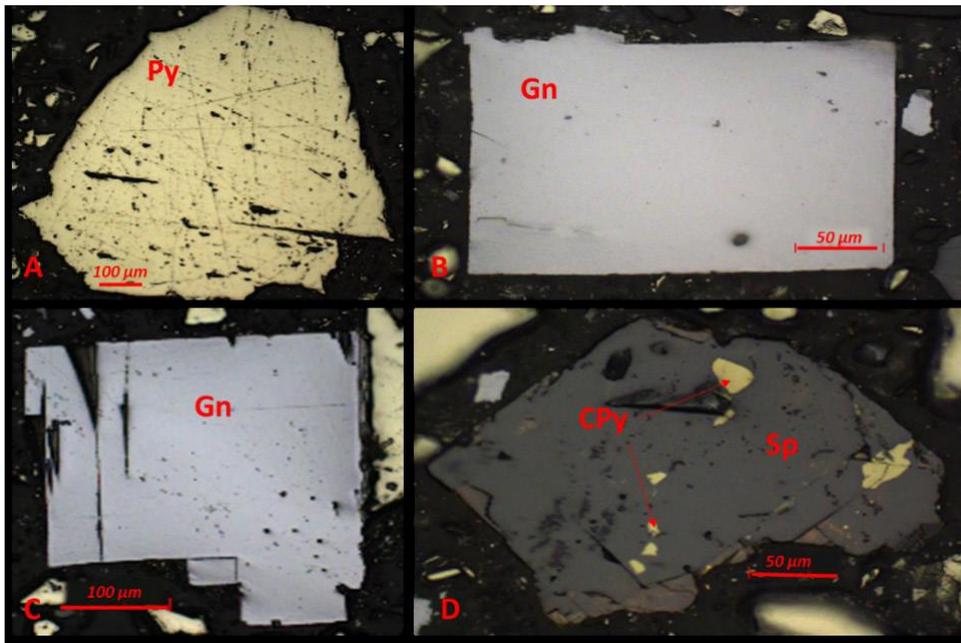
*Foto 6. Identificación microscópica de la muestra de cabeza a malla -200*



*Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNDAC.*

Comentario: Muestra (sin proceso de lixiviación): (A) Cristal de oro libre, (B) Cristal de pirita subhedral, (C) Cristal de galena con clivaje perfecto a 90°, (D) Cristales de arsenopirita como inclusiones en esfalerita, y (E) Cristal de esfalerita.

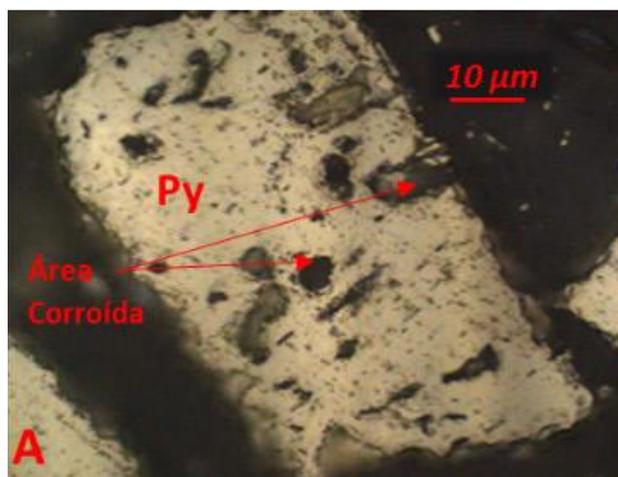
*Foto 7. Identificación microscópica de la muestra de cabeza a malla -200*



*Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNDAC.*

Comentario: Muestra (sin proceso de lixiviación): (A) Cristal de pirita subhedral con forma cuadrada característica de su cristalización isométrica, (B) Cristales de galena euahedral con forma cuadrada, (C) Cristal de galena con clivaje triangular, y (D) Cristal de esfalerita con inclusiones de calcopirita.

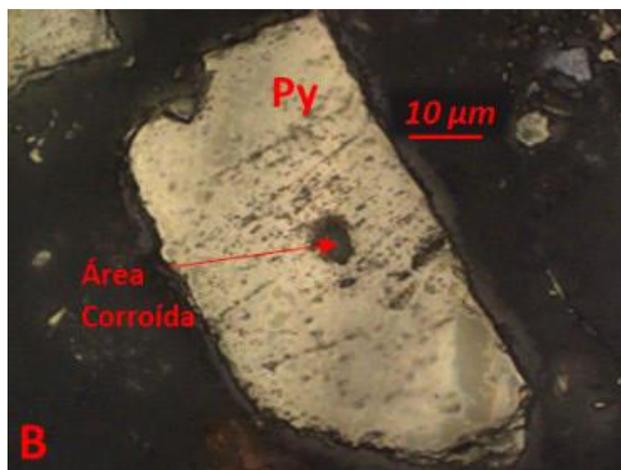
Foto 8. Identificación microscópica de la muestra de relave



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNDAC

Comentario: En la foto a 10 μm, se puede observar claramente la pirita con un área corroída con colores bien diferenciados.

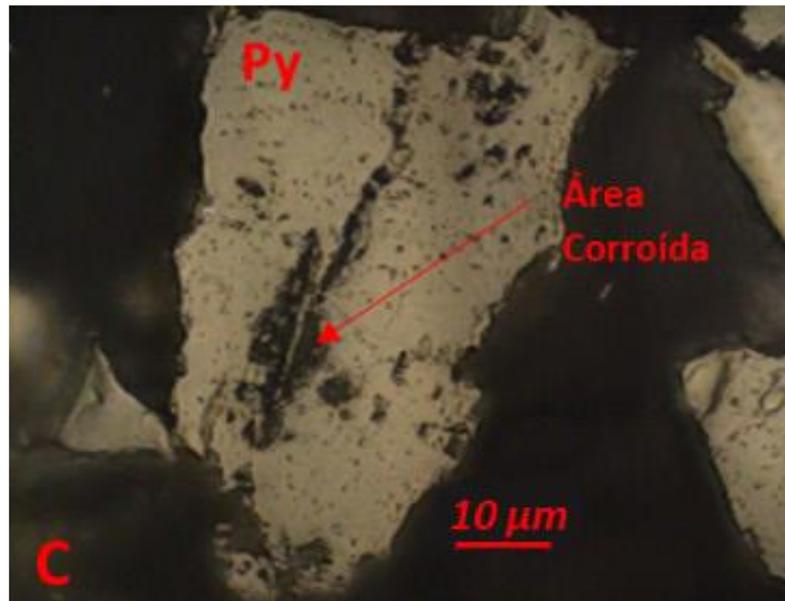
Foto 9. Identificación microscópica de la muestra de relave



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNDAC

Comentario: En la foto a 10 μm, se puede observar claramente la pirita libre, con un área corroída.

Foto 10. Identificación microscópica de la muestra de relave



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNDAC

Comentario: En la foto a 10 μm, se puede observar claramente la pirita que van de 3 mm a 0,1 mm distinguiéndose claramente por la diferencia de colores.

- **Pruebas de lixiviación**

Se hizo un pretratamiento añadiendo peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) – 2ml.

Las pruebas de lixiviación se desarrollaron en celdas de lixiviación, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 18. Variables intervinientes

| Variables | Estados |        |
|-----------|---------|--------|
|           | Máximo  | Mínimo |
| % NaCN    | 0.02    | 0.01   |
| Aire      | 1       | 0      |
| pH        | 11,0    | 10,0   |

Se trabajó con una sola ley de cabeza que es: 4,30 Oz Au/TM.

Tabla 19. Diseño factorial con 3 variables

| Prueba No | Efecto     | A % NaCN    | B Aire   | C pH      | Ley Rel. Au Oz/TM | % Recup.     |
|-----------|------------|-------------|----------|-----------|-------------------|--------------|
| 1         | 1          | 0.01        | 0        | 10        | 0.56              | 86,89        |
| 2         | A          | 0.02        | 0        | 10        | 0.53              | 87,56        |
| 3         | B          | 0.01        | 1        | 10        | 0.52              | 87,83        |
| 4         | Ab         | 0.02        | 1        | 10        | 0.52              | 88,01        |
| 5         | C          | 0.01        | 0        | 11        | 0.56              | 86,97        |
| 6         | Ac         | 0.02        | 0        | 11        | 0.52              | 87,84        |
| 7         | Bc         | 0.01        | 1        | 11        | 0.51              | 88,05        |
| <b>8</b>  | <b>Abc</b> | <b>0.02</b> | <b>1</b> | <b>11</b> | <b>0.48</b>       | <b>88,63</b> |

Tabla 20. Efecto de las variables en las pruebas de cianuración

| Efecto | Ext.  | II     | III    | IV     | Efecto |
|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1      | 86.89 | 174.45 | 350.29 | 701.78 |        |
| A      | 87.56 | 175.84 | 351.49 | 2.3    | 0.575  |
| B      | 87.83 | 174.81 | 0.85   | 3.26   | 0.815  |
| Ab     | 88.01 | 176.68 | 1.45   | -0.78  | -0.195 |
| C      | 86.97 | 0.67   | 1.39   | 1.2    | 0.3    |
| Ac     | 87.84 | 0.18   | 1.87   | 0.6    | 0.15   |
| Bc     | 88.05 | 0.87   | -0.49  | 0.48   | 0.12   |
| Abc    | 88.63 | 0.58   | -0.29  | 0.2    | 0.05   |
|        |       |        |        | 701.78 |        |

- **Modelo Matemático Propuesto**

El diseño factorial ( $2^k$ ) y el análisis de Yates utilizados aquí se presta para el siguiente modelo lineal:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + error$$

$$B_0 = \text{promedio} = 701,78/8 = 87,72$$

$$B_1 = \text{efecto "A"}/2 = 0,575/2 = 0,28$$

$$B_2 = \text{efecto "B"}/2 = 0,815/2 = 0,40$$

$$B_3 = \text{efecto "C"} / 2 = 0,3 / 2 = 0,15$$

Luego la fórmula será:

$$Y = 87,72 + 0,28X_1 + 0,40X_2 + 0,15X_3$$

Sustituyendo en la codificación:

$$\% \text{Recup} = 87,72 + 0,28 \frac{(\% \text{NaCN} - 0,015)}{0,5} + 0,40 \frac{(\text{Oxig} - 0,5)}{0,5} + 0,15 \frac{(\text{pH} - 10,5)}{0,5}$$

Con esta fórmula se determinó el % de recuperación calculado y de ahí los incrementos y desviación estándar en la siguiente forma.

*Tabla 21. Resultados del modelo matemático propuesto*

| Efecto | A      | B    | C  | Recuperación |         |       |                |
|--------|--------|------|----|--------------|---------|-------|----------------|
|        | % NaCN | Aire | pH | % Actual     | % Calc. | A     | A <sup>2</sup> |
| 1      | 0.01   | 0    | 10 | 86,89        | 87,09   | 0,20  | 0,04           |
| a      | 0.02   | 0    | 10 | 87,56        | 87,10   | -0,46 | 0,21           |
| b      | 0.01   | 1    | 10 | 87,83        | 87,89   | 0,06  | 0,003          |
| ab     | 0.02   | 1    | 10 | 88,01        | 87,90   | -0,11 | 0,012          |
| c      | 0.01   | 0    | 11 | 86,97        | 87,39   | 0,42  | 0,17           |
| ac     | 0.02   | 0    | 11 | 87,84        | 87,40   | -0,44 | 0,19           |
| bc     | 0.01   | 1    | 11 | 88,05        | 88,19   | 0,14  | 0,019          |
| abc    | 0.02   | 1    | 11 | 88,63        | 88,20   | -0,43 | 0,18           |
|        |        |      |    |              |         |       | <b>0,82</b>    |

El Desvío medio cuadrático es:

$$\frac{A^2}{2^3} = \frac{0,82}{8} = 0,10 \%$$

El error cuadrático de las medias de los resultados es:

$$ECM = \frac{0,10}{2} = 0,05 \%$$

El error cuadrático medio de 0,05 respecto al valor calculado nos muestra como aceptable el modelo matemático propuesto.

### 4.3. Prueba de hipótesis.

#### 4.3.1. Primera hipótesis específica

- La primera hipótesis indica que: Si determinamos el modelo de caracterización físico química y mineralógico de los polisulfuros, entonces, influirá en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019.

i. Formular la hipótesis de investigación

H<sub>0</sub>: La caracterización físico química y mineralógico de los polisulfuros mediante la microscopia de luz reflejada no influye en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019. **(Hipótesis nula)**

H<sub>a</sub>: La caracterización físico química y mineralógico de los polisulfuros mediante la microscopia de luz reflejada si influye en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019. **(Hipótesis alterna)**

- ii. Fijar el nivel de significación ( $\alpha$ ):  $\alpha = 0,05$
- iii. Estadístico de prueba: Z de Wilcoxon y significancia p – valor  $<0,05$
- iv. Decisión:

*Tabla 22. Prueba de la primera hipótesis específica*

|                             | Caracterizar físico química y mineralógica los polisulfuros |
|-----------------------------|---|
| Z                           | - 2,122   |
| Sig. Asintótica (bilateral) | 0,035   |

*Fuente: Elaboración propia.*

v. Conclusión

Con un nivel de significancia del 0,05, hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y afirmar que caracterizar físico químico y mineralógico los polisulfuros demuestra el grado de recuperación de oro.

#### 4.3.2. Segunda hipótesis específica

- La segunda hipótesis indica: Si determinamos el rango de trabajo óptimo de las variables: Concentración de NaCN, pH y Oxigenación entonces influirá en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019.

i. Formular la hipótesis de investigación

Ho: Determinar el rango de trabajo óptimo de las variables: Concentración de NaCN, pH y Oxigenación no influye en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019. (**Hipótesis nula**)

Ha: Determinar el rango de trabajo óptimo de las variables: Concentración de NaCN, pH y Oxigenación si influye en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019. (**Hipótesis alterna**)

ii. Fijar el nivel de significación ( $\alpha$ ):  $\alpha = 0,05$

iii. Estadístico de prueba: Z de Wilcoxon y significancia p – valor  $<0,05$

iv. Decisión:

Tabla 23. Prueba de la segunda hipótesis específica

|                             | Determinar el rango de trabajo óptimo de las variables de lixiviación en el proceso de recuperación de oro |
|-----------------------------|--|
| Z                           | - 2,235  |
| Sig. Asintótica (bilateral) | 0,030  |

Fuente: Elaboración propia.

v. Conclusión

Con un nivel de significancia del 0,05, hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y afirmar que Determinar el rango de trabajo óptimo de las variables: Concentración de NaCN, pH y Oxigenación si

influye en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019, toda vez que el estadístico Z de Wilcoxon es -2,235.

#### **4.3.3. Hipótesis general**

- La hipótesis general señala que: Si desarrollamos un modelo de caracterización físico química y mineralógico de polisulfuros entonces; influirá en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019.

Basado en los resultados de las hipótesis específicas es posible validar que el diagnóstico a los polisulfuros contribuye a demostrar el ratio de concentración de oro: concentrado y la rentabilidad del mineral.

#### **4.4. Discusión de resultados.**

El diagnóstico petro mineralógico de la muestra indica que el oro se encuentra asociado a cristales de pirita, galena, arsenopirita y esfalerita, lo cual requiere tratamientos previos de desulfurización, para liberar el oro y molienda con granulometría adecuada para realizar el proceso de cianuración.

Palo (2018), seleccionó un proceso de pretratamiento para el mineral refractario; en donde el pre tratamiento de lixiviación sulfuro-alkalina, ha probado que mejora significativamente la extracción de oro y de plata, en particular mediante la cianuración; la temperatura y las concentraciones relativas de  $\text{Na}_2\text{S}$  y de  $\text{NaOH}$  en el medio lixivante; demostrándose que resultaron convertirse en los factores más importantes que afectan la extracción de antimonio y en la posterior cianuración para la extracción de oro y de plata.

El proceso de desulfurización en el presente experimento se realizó con la adición de  $H_2O_2$ , previa a la lixiviación, para luego regular el pH con CaO; este reactivo permitió liberar parcialmente al oro incluido en las piritas y galena.

Palo (2018), optimiza la recuperación de oro y plata aplicando un pretratamiento al mineral refractario con contenidos de antimonio, para luego aplicar la cianuración convencional; en el detallado análisis mineralógico del mineral se demuestra que el oro se halla presente en una aleación con plata 8 aprox. 12 a 15% de plata y principalmente asociado con andorita ( $Sb_3PbAgS_6$ ), el cual es el más importante mineral antimonial de plata. Las más altas extracciones de oro (81.51%) y de plata (87.20%) corresponden a un incremento de 29% para el oro y 74% para la plata, cuando se compara con el mineral sin pretratamiento.

## CONCLUSIONES

1. El diagnóstico petro mineralógico realizado al microscopio de luz reflejada a 10  $\mu\text{m}$ , demuestra que el oro se encuentra asociado a polisulfuros de galena, pirita, arsenopirita y esfalerita, con leyes promedio obtenidas de 4,3 Oz Au/TM.
2. Para mejorar la recuperación de oro, se ha realizado la desulfurización con peróxido de hidrógeno, previo a la lixiviación, para liberar al oro de las inclusiones en la pirita, galena y pirrotita; estos sulfuros reaccionan parcialmente formando óxidos y dejando libre para la disolución posterior de oro. No se ha utilizado otros reactivos porque no se tiene presencia significativa de plata.
3. De las ocho pruebas experimentales, la mejor recuperación se dio cuando se suministra las variables: 0,02% NaCN, 11 de pH y presencia de oxígeno con 88,63% de recuperación de oro.

## **RECOMENDACIONES**

1. Desarrollar pruebas de investigación variando los reactivos en la etapa de desulfurización y molienda, para una mejor liberación de oro.
2. Desarrollar pruebas con microscopía electrónica de barrido, para determinar si el oro también se encuentra asociado a telurios y dificulta su recuperación en el proceso de cianuración, que es considerado muy adecuado.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Addison, R. (1986). Gold and Silver Extraction from Sulfides ores. "*Mining Congress Journal*" (págs. 47 - 54). Melbourne: Congress.
- 2) Argall, G. (1984). Precious Metals Extraction. "*International Mining*" (págs. 32 - 44). Utha: Congress.
- 3) Bergamashi, G. (1987). "*Oro*". Madrid - España: Mondadori.
- 4) Cánepa, C. (1992). "*Mineralogía del Oro y su significación en Metalurgia*". Lima: Tecsup.
- 5) Dana, J. (1992). "*Mineralogía de Dana*". Madrid - España: Reverte.
- 6) Dorr, J. (1956). "*Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores*". New York: McGraw-Hill.
- 7) Filmer, A. (1982). The Dissolution of Gold from roasted Pyrite Concentrates. "*Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*" (págs. 90 - 94). Johannesburgo: Journal Institute.
- 8) Hurtado, H. (2003). "*Oro oculto en el Perú*". Lima: UNAS.
- 9) Misari, F. (2010). "*Metalurgia del Oro*". Lima: CEPETEC.
- 10) Smith, K. (2005). "*Manual del Falcon Concentrator*". Australia: Falcon.
- 11) Van, M. (2006). Nuevas Aplicaciones de Concentración Centrífuga. "*VI Simposio Internacional de Mineralurgia*". Lima: Tecsup.
- 12) Varios. (2008). Compañías mineras productoras de Oro en el Mundo y el Perú. "*Mundo Minero*", págs. 70 - 72.
- 13) Varios. (2008). Conferencias. "*VIII Simposium Internacional del Oro*" (pág. 257). Lima: SNMP.
- 14) Wills, B. A. (1991). "*Mineral Processing Technology*". Mexico: Pergamon Press.

## **ANEXOS**

CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y MINERALÓGICO DE POLISULFUROS EN LA RECUPERACIÓN DE ORO POR CIANURACIÓN EN EL PROSPECTO CANTEÑO 2 – LIMA – 2019

Matriz de consistencia

| PROBLEMA   | OBJETIVOS   | HIPOTESIS  | VARIABLES  |
|--|---|--|--|
| <p><b>General</b></p> <p>¿Cómo desarrollar la caracterización físico química y mineralógico de polisulfuros en la recuperación de oro por cianuración en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019?</p>   | <p><b>General</b></p> <p>Desarrollar un modelo de caracterización físico química y mineralógico en la recuperación de oro por cianuración en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019.</p>  | <p><b>General</b></p> <p>Si desarrollamos un modelo de caracterización físico química y mineralógico de polisulfuros entonces; influirá en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019.</p>   | <p><b>Dependiente</b></p> <p>% Recuperación de oro</p>   |
| <p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es la caracterización físico química y mineralógica de los polisulfuros en el prospecto Canteño 2 – Lima - 2019?</li> <li>• ¿De qué manera las variables: concentración de NaCN, pH y oxigenación influye en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019?</li> </ul> | <p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar y desarrollar el modelo de caracterización físico química y mineralógico de los polisulfuros en el prospecto Canteño 2 – Lima - 2019.</li> <li>• Evaluar las variables: concentración de NaCN, pH y oxigenación en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019.</li> </ul> | <p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si determinamos el modelo de caracterización físico química y mineralógica de los polisulfuros, entonces, influirá en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019.</li> <li>• Si determinamos el rango de trabajo óptimo de las variables: concentración de NaCN, pH y oxigenación entonces influirá en la recuperación de oro en el prospecto Canteño 2 – Lima – 2019.</li> </ul> | <p><b>Independientes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conc. NaCN</li> <li>• pH</li> <li>• Oxigenación</li> </ul> |

## ANEXO 2

### INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

| N° | Actividad   | Técnica                     | Instrumentos  |
|----|---|-----------------------------|---|
| 1  | Recolección de muestra  | Cono y cuarteado            | Palas, envases  |
| 2  | Cálculo del peso específico   | Método del picnómetro       | Picnómetro<br>Balanza   |
| 3  | Cálculo de la dureza del mineral  | Reconocimiento experimental | Escala de campo   |
| 4  | Liberación del mineral  | Molienda                    | Molino de bolas<br>Balanza<br>Baldes  |
| 5  | Reconocimiento mineralógico   | Análisis microscópico       | Microscopio de opacos<br>Briquetas  |
| 6  | Análisis cuantitativo   | Análisis químico            | Equipo de absorción atómica   |
| 7  | Disolución de oro   | Lixiviación                 | Celdas de lixiviación<br>NaCN<br>CaO<br>Cronómetro<br>Accesorios a la lixiviación |
| 8  | Reconocimiento microscópico de asociaciones minerales, irregularidades del grano e intercrecimiento | Análisis microscópico       | Microscopio de opacos<br>Briquetas  |

## TRABAJO DE CAMPO

*Foto 11.*

*Toma de muestras en el sector Caracol de la Concesión Canteño 2*



*Fuente: Elaboración propia*

*Foto 12.*

*Mineros artesanales extrayendo mineral de la concesión Canteño 2*



*Fuente: Elaboración propia*

*Foto 13. Trabajos de laboratorio*



*Fuente: Elaboración propia*

*Foto 14. Trabajos de laboratorio*



*Fuente: Elaboración propia*