

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y DE MATERIALES



**PROYECTO DE GRADO**

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE PRETRATAMIENTO DE UN MINERAL AURÍFERO  
REFRACTARIO PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO EN LA EMPRESA MINERA  
GOLDMINS S.R.L.**

PRESENTADO POR: NEMY VILLCA ARO

TUTOR: M.SC. ING. AGUSTÍN MOISÉS CÁRDENAS REVILLA

LA PAZ- BOLIVIA

FEBRERO, 2023



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

**DEDICATORIA**

A mi querida familia.

Mi mamá Carmen

mi hermana Lizeth

y mis hermanos:

Wilmer, Rider y Cristian

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, dador de vida y voluntad.

A mi estimado Tutor de Proyecto, que ha sido un mentor, Ing. Agustín Cárdenas

A la Empresa Minera Goldmins SRL.

A mis Tribunales y profesores de mi querida Carrera

A los responsables del Laboratorio de Concentración del IIMETMAT

A la familia Ruiz Nina

A cada una de las personas que me han brindado su apoyo: amigas, amigos y familiares.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	viii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	ix
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍAS .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1 EL PROBLEMA.....	3
1.1 Planteamiento del Problema .....	3
1.1.1 Problematización .....	3
1.1.2 Delimitación del problema .....	3
1.1.3 Formulación del problema.....	4
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos .....	5
1.4 Alcance del Proyecto .....	5
CAPÍTULO II.....	6
2 MARCO REFERENCIAL.....	6
2.1 Marco Teórico .....	6
2.1.1 Antecedentes Históricos.....	6
2.1.2 Antecedentes Referenciales .....	7
2.2 Marco Legal .....	7
2.3 Marco Conceptual.....	8
2.3.1 Menas Refractarias de Oro .....	8
2.3.2 Mineralogía de las Menas Refractarias de Oro .....	8
2.3.3 Tratamientos de Menas Refractarias de Oro.....	11
2.3.4 Cianuración de Menas de Oro .....	13
2.3.5 Mecanismo de Cianuración.....	14

2.3.6	Efecto de Variables en el Proceso de Cianuración .....	15
2.4	HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	28
2.4.1	Hipótesis General .....	28
2.4.2	Declaración de Variables .....	28
CAPÍTULO III .....		30
3	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	30
3.1	Tipo y Diseño de Investigación.....	30
3.2	Diseño Experimental.....	30
3.3	Materiales y Equipos .....	32
3.4	EXPERIMENTACIÓN .....	38
3.4.1	Preparación de la muestra .....	38
3.4.2	Caracterización completa de la muestra.....	41
3.4.3	Ensayos de Preoxidación.....	50
3.4.4	Pruebas de Lixiviación por Cianuración.....	54
CAPÍTULO IV .....		63
4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	63
4.1	Resultados .....	63
4.1.1	Análisis Ley de Cabeza.....	63
4.1.2	Peso Específico Real y Aparente.....	63
4.1.3	Análisis Granulométrico .....	64
4.1.4	Análisis Mineralógico, DRX Y FRX .....	64
4.1.5	Ensayos de Lixiviación por Cianuración .....	70
4.2	Verificación de hipótesis .....	81
CAPÍTULO V .....		82
CONCLUSIONES.....		82
RECOMENDACIONES .....		83
BIBLIOGRAFÍA.....		83
ANEXO I .....		85
ANEXO II .....		90
ANEXO III .....		94
ANEXO IV.....		104
ANEXO V.....		106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Material huésped para el Oro .....	10
Tabla 2. Parámetros y variables experimentales.....	31
Tabla 3. Materiales empleados para la experimentación .....	32
Tabla 4. Equipos empleados en el desarrollo de las pruebas experimentales.....	35
Tabla 5. Informe de ensayo por FRX (Valores sólo referenciales) a la muestra original ..	43
Tabla 6. Datos para la obtención del peso específico real.....	45
Tabla 7. Datos para determinación de peso específico aparente .....	46
Tabla 8. Análisis químico de Ley de Cabeza en diferentes laboratorios .....	47
Tabla 9. Ley de cabeza calculado a partir de las pruebas de cianuración realizadas .....	47
Tabla 10. Análisis granulométrico alimentación a chancadora .....	47
Tabla 11. Análisis granulométrico descarga de chancadora.....	48
Tabla 12. Análisis granulométrico descarga de molino .....	49
Tabla 13. Rangos de concentración de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> para preoxidación .....	51
Tabla 14. Condiciones de la etapa de molienda.....	52
Tabla 15. Condiciones de preoxidación con peróxido de hidrógeno .....	52
Tabla 16. Condiciones de preoxidación con oxígeno industrial .....	53
Tabla 17. Condiciones de cianuración convencional .....	56
Tabla 18. Análisis ley de cabeza.....	63
Tabla 19. Análisis FRX al producto de pretratamiento y cianuración .....	64
Tabla 20. Balance metalúrgico de cianuración convencional a -200# de tamaño de partícula y 0,94 g/L NaCN .....	70
Tabla 21. Balance metalúrgico de cianuración preoxidando con O <sub>2</sub> (30 min de suministro) a -200# de tamaño de partícula y 0,94 g/L NaCN.....	77
Tabla 22. Balance metalúrgico de Cianuración preoxidando con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> a 34[g/l] ≈1[M], -200# y 0,94 g/L NaCN.....	73
Tabla 23. Balance metalúrgico de cianuración con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> a 25[g/l], -200# tamaño de partícula y 3,77 g/L NaCN .....	74
Tabla 24. Balance metalúrgico de Cianuración preoxidando con O <sub>2</sub> -150# de tamaño de partícula y 4 g/L NaCN .....	76
Tabla 25. Balance metalúrgico de Cianuración preoxidando con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> a 25[g/L], -200# tamaño de partícula y 3,77 g/L NaCN .....	75
Tabla 26. Balance metalúrgico de Cianuración preoxidando con O <sub>2</sub> (30 min de acondicionamiento) a -200# de partícula y 3,77 g/L NaCN .....	78

Tabla 27. Balance metalúrgico cianuración preoxidando con O <sub>2</sub> (50 minutos de suministro), a -200# de tamaño de partícula y 3,77 g/L NaCN.....	79
Tabla 28. Balance metalúrgico cianuración preoxidando con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> a 25[g/L], -150# y 3,77 g/L NaCN.....	72
Tabla 29. Resumen de pruebas experimentales desarrolladas .....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las menas de oro refractarias.....	9
Figura 2. Tratamientos posibles de menas refractarias .....	11
Figura 3. Asociación de Oro en Minerales Sulfurosos .....	12
Figura 4. Esquema de la reacción sólido-líquido para la disolución de oro en cianuro.....	14
Figura 5. Velocidades de disolución de la plata a diferentes presiones de oxígeno en función de la concentración de NaCN a 24°C .....	16
Figura 6. Esquema de una instalación Vítex para inyección en un tanque agitado por aire.....	17
Figura 7. Diagrama Eh-pH para el sistema Au-H <sub>2</sub> O a 25°C.....	18
Figura 8. Diagrama Eh-pH para el sistema CN-H <sub>2</sub> O a 25°C.....	19
Figura 9. Diagrama Eh-pH para el sistema Au-CN-H <sub>2</sub> O a 25°C .....	20
Figura 10. Efecto retardante de los iones calcio en la disolución del oro en alta alcalinidad.....	22
Figura 11. Efecto de la concentración de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en diferentes medios acuosos.....	23
Figura 12. Efecto de la temperatura en la oxidación de pirita. ....	25
Figura 13. Efecto de la concentración de hidróxido de potasio en la velocidad de disolución de oro y plata con KCN.....	26
Figura 14. Flujograma de proceso experimental .....	38
Figura 15. Micrografía de las colas auríferas refractarias .....	41
Figura 16. Segunda micrografía de las colas auríferas refractarias .....	42
Figura 17. Difracción de Rayos X a muestra de cabeza .....	44
Figura 18. Mecanismo de Preoxidación con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	51
Figura 19. Mecanismo de Preoxidación con O <sub>2</sub> .....	53
Figura 20. Mecanismo de cianuración convencional.....	56
Figura 21. Análisis de Difracción de Rayos X de la prueba de cianuración con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> a 25[g/l], -200# tamaño de partícula y 0,94 g/L NaCN .....	66



Figura 22. Difracción de Rayos X a muestra de la cianuración preoxidando con $H_2O_2$ a 25[g/L], -200# de partícula y 3,77 g/L NaCN .....	67
Figura 23. Difracción de Rayos X a muestra de cianuración preoxidando con $O_2$ (30 min de acondicionamiento) a -200# de partícula y 3,77 g/L NaCN .....	68
Figura 24. Difracción de Rayos X a muestra de cianuración preoxidando con $O_2$ (50 minutos de suministro), a -200# de tamaño de partícula y 3,77 g/L NaCN .....	69
Figura 25. Hoja técnica del peróxido de hidrógeno (50% grado técnico) .....	95
Figura 26. Diagrama de proceso experimental en laboratorio de pretratamiento y cianuración .....	105

### ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Representación gráfica del 80%PPA de alimentación a chancadora .....	48
Gráfica 2. Representación gráfica del 80%PPA de descarga de chancadora.....	49
Gráfica 3. Representación gráfica del 80%PPA de descarga de molino .....	50
Gráfica 4. Recuperación vs tiempo de cianuración convencional.....	71
Gráfica 5. Recuperación vs. Tiempo de cianuración a -150# de tamaño de partícula preoxidando con 25[g/L] de $H_2O_2$ y 3,77 g/L NaCN.....	72
Gráfica 6. Recuperación vs. Tiempo de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 34 g/L de $H_2O_2$ y 0,94g/L de NaCN.....	73
Gráfica 7. Recuperación vs. Tiempo de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de $H_2O_2$ y 3,77g/L de NaCN .....	74
Gráfica 8. Recuperación vs. tiempo de réplica de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de $H_2O_2$ y 3,77g/L de NaCN .....	75
Gráfica 9. Recuperación vs. tiempo de cianuración a -150# de tamaño de partícula, preoxidando con $O_2$ por 30 min y 3,77g/L de NaCN.....	76
Gráfica 10. Recuperación vs tiempo de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con $O_2$ por 30 min y 0,94g/L de NaCN.....	77
Gráfica 11. Recuperación vs. tiempo de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con $O_2$ por 50 min y 3,77g/L de NaCN.....	78
Gráfica 12. Recuperación vs. tiempo de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con $O_2$ por 30 min y 3,77g/L de NaCN.....	79
Gráfica 13. Resumen de pruebas de lixiviación Recuperación vs. Tiempo.....	80

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Papel pH para control de acidez .....	32
Fotografía 2. Bureta y matraz para titulación de CN- .....	33
Fotografía 3. Serie de tamices ASTM .....	33
Fotografía 4. Cuarteador de rifles .....	34
Fotografía 5. Vasos colectores de muestras .....	34
Fotografía 6. Mortero de acero .....	34
Fotografía 7. Chancadora de mandíbulas .....	35
Fotografía 8. Molino a barras .....	36
Fotografía 9. Cilindro de oxígeno industrial y manómetro .....	36
Fotografía 10. Filtro prensa .....	36
Fotografía 11. Agitador y tanque de lixiviación .....	37
Fotografía 12. Termocupla .....	37
Fotografía 13. Muestra de mineral proporcionada por Goldmins SRL .....	39
Fotografía 14. Proceso de trituración de la muestra .....	39
Fotografía 15. Homogenización y cuarteo de la carga por el “método de cono y cuarteo” .....	40
Fotografía 16. Empleo del cuarteador de rifles para distribuir a las diversas etapas del proceso .....	40
Fotografía 17. Mineral y agua para determinación de peso específico real .....	46
Fotografía 18. Sistema de oxidación con peróxido de hidrógeno .....	52
Fotografía 19. Sistema de oxidación con oxígeno industrial y lixiviación en laboratorio .....	54
Fotografía 20. Pesaje de nitrato de plata para preparar una solución de 500 ml de 0,0255 M .....	86
Fotografía 21. Temperatura inicial en la oxidación con peróxido de hidrógeno .....	97
Fotografía 22. Temperatura máxima de preoxidación con peróxido de hidrógeno .....	97
Fotografía 23. Sistema de oxidación empleando oxígeno industrial .....	98
Fotografía 24. Lectura de presión de oxígeno del manómetro del cilindro del cilindro .....	98
Fotografía 25. Lectura de presión de oxígeno después de su uso (30 min) .....	99

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍAS

ASTM	American Society for Testing Materials
CN <sup>-</sup>	Cianuro libre
d <sub>max</sub>	Diámetro de partícula de tamaño máximo
d <sub>80</sub>	Diámetro de partícula al 80%
DRX	Difracción de Rayos X
EMIPA	Empresa Minera Paitití
FRX	Fluorescencia de Rayos X
gAu/t	Gramos de oro por tonelada
GITOR	Grupo Interinstitucional de Trabajo de Oro Responsable
IGEMA	Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente
IIMETMAT	Instituto de Investigaciones Metalúrgicas y de Materiales
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de hidrógeno
mg/L	Miligramo por litro
O <sub>2</sub>	Oxígeno gaseoso
PLS	Pregnant Liquid Solution (solución rica)
ppm	Partes por millón
r	Coefficiente de correlación
SEM	Scanning Electron Microscope
µm	Micrómetro

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE PRETRATAMIENTO DE UN MINERAL AURÍFERO  
REFRACTARIO PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO EN LA EMPRESA MINERA  
GOLDMINS SRL.**

**Univ. Nemy Villca Aro**

**RESUMEN**

Una muestra significativa de colas auríferas refractarias, procedentes del proceso de concentración gravimétrica de mineral de veta, proporcionada por la Empresa Minera Goldmins SRL., con una ley de cabeza aproximada de 31 gAu/t y con una granulometría gruesa y fina entre 1,06" y malla 20 de la serie ASTM fue sometida a un estudio experimental de laboratorio. Iniciando con una caracterización mineralógica por Fluorescencia y Difracción de Rayos X (FRX y DRX), reportando un contenido de azufre (S) de 15%, hierro (Fe) 23%, sílice (SiO<sub>2</sub>) 7% y como mayor cianicida arsénico (As) 3,9%. Asimismo, los picos del difractograma confirman la presencia de compuestos con estos elementos, apreciando así compuestos sulfurosos como piritas y arsenopiritas que encapsulan al oro en su matriz refractaria, además de las micrografías realizadas en el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) donde se evidencia lo mencionado. De este modo, en función al resultado de la caracterización se ha desarrollado dos etapas importantes para la recuperación del oro de estas colas: pretratamiento y cianuración convencional.

La etapa de pretratamiento implicó remolienda a dos tamaños de partícula, -150 y -200 mallas (105 y 75 micrómetros respectivamente), seguido por la oxidación de la carga empleando peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) de concentración entre 25 a 75g/L o bien usando oxígeno industrial (O<sub>2</sub>). Posteriormente, se desarrolló la cianuración en tanque de agitación con una concentración de cianuro de sodio (NaCN) de entre 0,94 a 3,77 g/L. Se logró desarrollar nueve pruebas experimentales, considerando constantes los parámetros de porcentaje de sólidos, temperatura, velocidad de agitación y pH. Estas pruebas incluyeron una lixiviación sin oxidación, cuya recuperación fue menor a 10% para 24 horas. Las ocho pruebas restantes, oxidadas y cianuradas, reportaron recuperaciones por encima del 59% para el mismo tiempo. La mejor recuperación, 84% para 24 horas, fue bajo las condiciones de: molienda a 75µm, oxidación con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 25 g/L y lixiviación a una concentración de 3,77 g/L de NaCN.

**Palabras clave:** Pretratamiento, Oxidación, Cianuración

# EXPERIMENTAL STUDY OF PRETREATMENT OF A REFRACTORY GOLD MINERAL FOR THE RECOVERY OF GOLD IN THE GOLDMINS S.R.L. MINING COMPANY

Student: Nemy Villca Aro

## ABSTRACT

A significant sample of refractory gold tailings, from the gravimetric concentration process of vein ore, provided by Empresa Minera Goldmins SRL., with an approximate head grade of 31 gAu/t and with a coarse and fine grain size between 1,06" and mesh 20 of the ASTM series was subjected to an experimental laboratory study. Beginning with a mineralogical characterization by Fluorescence and X-Ray Diffraction (XRF and XRD), reporting a sulfur (S) content of 15%, iron (Fe) 23%, silica (SiO<sub>2</sub>) 7% and arsenic (As) as the major cyanicide) 3,9%. Likewise, the peaks of the diffractogram confirm the presence of compounds with these elements, thus appreciating sulfurous compounds such as pyrites and arsenopyrites that encapsulate gold in its refractory matrix, in addition to the micrographs made in the Scanning Electron Microscope (SEM) where the mentioned. In this way, depending on the result of the characterization, two important stages have been developed for the recovery of gold from these tailings: pretreatment and conventional cyanidation.

The pretreatment stage involved grinding to two particle sizes, -150 and -200 mesh (105 and 75 micrometers, respectively), followed by oxidation of the sample using hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) with a concentration between 25 and 75g/L or using industrial oxygen (O<sub>2</sub>). Subsequently, cyanidation was carried out in a stirred tank with a concentration of sodium cyanide (NaCN) between 0,94 and 3,77 g/L. It was possible to develop nine experimental tests, considering constant the parameters of percentage of solids, temperature, speed of agitation and pH. These tests included a leaching without oxidation, whose recovery was less than 10% for 24 hours. The remaining eight tests, oxidized and cyanide, reported recoveries above 59% for the same time. The best recovery, 84% for 24 hours, was under the following conditions: grinding at 75µm, oxidation with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> at 25 g/L and leaching at a concentration of 3,77 g/L of NaCN.

**Keywords:** Pretreatment, Oxidation, Cyanidation

# ESTUDIO EXPERIMENTAL DE PRETRATAMIENTO DE UN MINERAL AURÍFERO REFRACTARIO PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO EN LA EMPRESA MINERA GOLDMINS SRL

## INTRODUCCIÓN

La explotación de oro en Bolivia es a partir de dos fuentes: yacimientos de oro de veta (primario) y oro aluvial (secundario). En su mayoría desarrollado por el sector cooperativista y minería pequeña informal. Con respecto a la explotación de oro de veta, en su mineralogía se observa diversidad de compuestos como piritas, arsenopiritas, además de otros elementos como cobre, antimonio y arsénico. Asimismo, se conoce que la recuperación del oro libre de este tipo de yacimiento es por métodos convencionales de gravimetría y el uso de mercurio desde la molienda, siendo este inadecuado. Cabe indicar que en presencia de sulfuros y/o arseniuros en estas menas (de allí el nombre de refractarios), la recuperación del oro no es posible, por tanto, es necesario considerar otras técnicas de aprovechamiento para la recuperación de estos recursos que por lo general son desconocidas por el sector cooperativista que los trabaja. En consecuencia, sus colas de gravimetría presentan contenidos significativos de oro no recuperados con tenores de oro de hasta 30 g/t.

Con respecto al procesamiento hidrometalúrgico, que es una alternativa a la recuperación de oro fino que puede aplicarse a las menas refractarias, previo tratamiento de los mismos, siendo que los minerales de oro han sido clasificados en dependencia al consumo de cianuro durante la lixiviación: libres por molienda y complejos o refractarios. Los minerales que resultan en recuperaciones superiores al 80 %, en un proceso de lixiviación convencional con el 80 % de las partículas que pasan por un tamiz de 75  $\mu\text{m}$ , se los ha catalogado como “libres por molienda”. Por otro lado, si el mineral consume cantidades excesivas de cianuro con pobre recuperación (<40 %) se lo conoce como “oro refractario” (La Brooy, Linge, & Walker, 1994). Este comportamiento diverso frente a la cianuración se debe a: i) el oro se encuentra encapsulado en la matriz del mineral ocasionando que este sea inalcanzable para el reactivo; ii) los minerales presentes en el material consumen los reactivos de lixiviación reduciendo la cantidad de lixivante disponible para la disolución del oro; y iii) los componentes del mineral pueden adsorber o precipitar a los complejos disueltos de oro y cianuro provocando pérdidas de oro en la solución cargada (La Brooy, Linge, & Walker, 1994)

En adición, como tratamiento previo a la lixiviación de menas auríferas complejas/refractarias, se han diseñado técnicas físicas, químicas y biológicas que permiten liberar el oro asociado a los sulfuros que lo encapsulan. Procesos como la oxidación a presión, la tostación, la biooxidación, etc., que en el mundo son usados por plantas de beneficio para incrementar la recuperación de oro. Por ello, con la finalidad de realizar la oxidación química de especies sulfuradas; en el presente Proyecto de Grado se realiza un estudio experimental del uso de agentes oxidantes en la etapa de “pretratamiento” que no sólo incluye la remolienda a distintos tamaños de partícula para mayor exposición de la superficie a la oxidación, sino, también incluye la oxidación con agentes como: oxígeno ( $O_2$ ) o peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) a una carga aurífera refractaria proporcionada por la Empresa Minera Goldmins S.R.L. que acopia el producto colas de concentración gravimétrica de minerales auríferos de diversas cooperativas del sector de Sorata, Yani e Illimani. Así llegar a evaluar la posibilidad de recuperar el oro de difícil extracción a través un pretratamiento de oxidación seguida de lixiviación por cianuración hasta la obtención de la solución rica.

# CAPÍTULO I

## 1 EL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del Problema

#### 1.1.1 *Problematización*

El oro de yacimiento primario atrapado en la matriz de los sulfuros (piritas y arsenopiritas), no puede ser recuperado por métodos convencionales de concentración gravimétrica. Cabe mencionar que Bolivia tiene como principales actores productivos de oro a las pequeñas cooperativas auríferas, que según el reporte del 2020, de un aproximado de 2077 cooperativas, 70 % son auríferos (Villegas Flores, Sandoval Camponovo, Zenteno, & Salmón, 2021, pág. 10), y por el escaso conocimiento de las nuevas técnicas metalúrgicas en la recuperación óptima del oro de veta de menas con mineralización compleja, no logran recuperar el oro fino y encapsulado por gravimetría ni por amalgamación, presentándose pérdidas de valores de interés económico significativo en sus colas. Por ello, para liberar el oro de su matriz sulfurosa, es necesario realizar un tratamiento previo para lograr romper la superficie no porosa de estos sulfuros, en este caso particular con un tenor aproximado a 30g Au/t. C

#### 1.1.2 *Delimitación del problema*

El presente Proyecto de Grado contempla el estudio mineralógico (análisis de Difracción de Rayos X, Fluorescencia de Rayos X y Microscopía SEM) de las colas auríferas refractarias, procedentes del proceso de concentración gravimétrica de oro libre. Seguido del pretratamiento de estas colas (remolienda y oxidación), y finalmente la cianuración para llegar a obtener una solución rica PLS (Pregnant Liquid Solution); considerando las variables de operación experimental necesarias a fin de obtener las mejores recuperaciones de oro posibles, además de los parámetros de operación constantes.



### **1.1.3 Formulación del problema**

La concentración gravimétrica y amalgamación recupera oro visible y hasta oro fino; sin embargo, no permite recuperar el oro refractario (encapsulado en sulfuros) por tanto, en un trabajo de este tipo de mena, sus colas presentan contenidos significativos de oro. Los sectores que trabajan oro de veta y con presencia de mineralogía compleja, con conocimiento de estos tenores (de hasta 30 gAu/t), comercializan este producto a intermediarios que también observan la dificultad de recuperar este contenido valioso por una cianuración convencional, debido a la superficie dura de los sulfuros que impiden el ingreso de la solución lixivante. Entonces, para fracturar su superficie son necesarios métodos de oxidación, sean físicos, químicos o bacteriológicos. De esta manera, en el presente Proyecto de Grado se realiza una oxidación química para observar la posibilidad extraer el oro por cianuración y obtener la PLS.

### **1.2 Justificación**

Se evidencia el agotamiento de menas de oro de fácil extracción en el país y en el mundo, asimismo, en las operaciones mineras que explotan oro de veta se observa la presencia de menas de mineralogía más compleja, acompañadas por lo general de sulfuros. Además, la demanda de oro en el mercado mundial va en aumento, es así que los precios de éste, oscilan ya los 1800 dólares la onza troy. Observándose la necesidad de considerar el aprovechamiento de aquellos minerales auríferos refractarios y de difícil extracción, buscando nuevas alternativas de procesamiento para la recuperación de este elemento valioso.

De esa manera, en la actualidad, en el sector aurífero de veta del departamento de La Paz (Sorata, Yani, Illimani) existen grandes cantidades de colas del proceso de concentración gravimétrica con tenores de oro que oscilan entre 5 a 30 g Au/t en sulfuros, que son de gran interés económico para recuperar al menos una mitad de ese contenido dado por perdido; los beneficios implicados para tal efecto son técnicos, económicos y ambientales.

Ya que, si se verificase que un buen porcentaje en peso del oro de las colas estudiadas se encuentra en fracción fina y encapsulado, vale la pena encontrar un proceso de lixiviación para este tipo de mineral, considerando la caracterización mineralógica y tratamientos previos para llegar a recuperar el oro descartado anteriormente, todo ello en función del estudio experimental a ser desarrollado.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Realizar un estudio experimental de pretratamiento para colas auríferas refractarias de la Empresa Minera Goldmins SRL, a fin de recuperar el oro de su matriz sulfurosa por vía hidrometalúrgica.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar la caracterización mineralógica de las colas auríferas refractarias.
- Desarrollar un pretratamiento/ acondicionamiento de las colas en función a los resultados de la caracterización mineralógica para la liberación del oro de su matriz sulfurosa y/o refractaria.
- Efectuar pruebas de cianuración a las colas pretratadas.
- Proponer un diagrama de proceso experimental de pretratamiento de las colas hasta la cianuración y obtención de PLS.

## **1.4 Alcance del Proyecto**

El Proyecto desarrollado se enfocará en encontrar las condiciones para realizar un pretratamiento de las colas auríferas refractarias y lixiviarla. Una vez oxidadas con peróxido de hidrógeno o bien con oxígeno industrial se procederá con la cianuración convencional hasta la obtención de la PLS. Identificando las mejores condiciones para las dos etapas, oxidación y lixiviación. El Proyecto no contempla el proceso posterior a la lixiviación para recuperar oro metálico, que puede ser por carbón activado o por uso de zinc en polvo, entre otros.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 Marco Teórico

##### 2.1.1 Antecedentes Históricos

Desde la conocida “relocalización de los mineros” después de la promulgación del Decreto Supremo 21060 el 29 de agosto de 1985 los trabajadores mineros fueron dispersados, migrando con sus familias a diversos lugares del territorio nacional, llegando a organizarse en cooperativas las cuales continúan dedicándose a la explotación minera hasta la actualidad y en cuanto al departamento de La Paz, varios de ellos se dedicaron al sector aurífero.

Con respecto a la recuperación de oro de yacimientos de baja ley en Bolivia, se hace referencia a la lixiviación por cianuración, realizados en los proyectos: Kori Chaca, Kori Kollo, Llallagua, Oruro, por la Empresa Minera Inti Raymi SA subsidiaria de Newmont Mining-USA. (1980 – 2004) y Proyecto Don Mario por EMIPA, Santa Cruz, subsidiaria de Orvana Minerals-USA.

En nuestros días, la cianuración es la pieza clave en el procesamiento de estos minerales, cuando la cianuración convencional produce pobres recuperaciones, inferiores al 80%, el mineral se clasifica como refractario. Las estadísticas muestran que, en el mundo, 2/3 de los depósitos de oro pertenecen a minerales difíciles de procesar, estimándose que la tercera parte de la producción total de oro en el mundo proviene de estos minerales (La Brooy, Linge, & Walker, 1994).

Mas en el país no se cuenta con referentes respecto el tratamiento de cargas auríferas refractarias por lixiviación a pesar de que existen muchas colas auríferas sulfurosas del trabajo de las cooperativas que concentran oro de veta por gravimetría. Es así que, los nuevos profesionales del área de procesamientos metalúrgicos tienen la labor de desarrollar proyectos alternos a la recuperación de oro por métodos convencional; considerando que hay bastante material de leyes bajas y de difícil recuperación.

### **2.1.2 Antecedentes Referenciales**

A lo largo de estos últimos años, se ha tratado de encarar las problemáticas presentes en la forma de operación y trabajo en la minería aurífera pequeña dentro del país, descritas en párrafos anteriores. Es así, que se han creado instituciones como el Grupo Interinstitucional de Trabajo de Oro Responsable (GITOR) que fomenta proyectos de desarrollo minero aurífero responsable; asimismo, a nivel internacional se menciona Gold Planet y Escuelas de Campo realizados por ciertas instituciones. Por otro lado, en el Instituto de Investigaciones Metalúrgicas y de Materiales (IIMETMAT) con la misión de formar profesionales que brinden respuestas a este tipo de retos en bien del país y su desarrollo apoya al desarrollo de estos proyectos dentro de sus predios.

A la vez se alega estudios e investigaciones realizados por universidades de Perú, Ecuador y México; como el proyecto *“Pretratamiento de la lixiviación de un mineral refractario de oro y plata asociado a sulfuros con la adición de sulfuro de sodio e hidróxido de sodio”* (Coaguila Cornejo & Lázaro Taco, 2018), o la publicación de la Revista del Instituto de Investigación Geológico Minero Metalúrgico *“Estudio de la lixiviación de oro refractario en un concentrado gravimétrico de minerales del sector minero de Torata, provincia de El Oro, usando peróxido de hidrógeno y ácido nítrico”* (Alvarez & Morales , 2015) y *“Cianuro de concentrado de pirita aurífera, empleando ozono como pretratamiento”*. (Rodriguez , 2022), entre otros, como otros artículos y estudios presentados y desarrollados por Gekko Systems, con lixiviación intensiva para tratar minerales auríferos de baja ley y con presencia de sulfuros. Material bibliográfico que concluye en resultados apreciables a considerar para contrastar con el presente Proyecto.

### **2.2 Marco Legal**

Cualquier actividad minera debe cumplir con todas las leyes y reglamentos aplicables al sector minero metalúrgico, así como: Ley de Medio Ambiente y sus reglamentos (RLMA); Ley de Minería y Metalurgia (Ley 535); Reglamento Ambiental para Actividades Mineras (RAAM) y otras leyes y reglamentos conexos.

Además, el (RAAM) indica que se debe hacer minería responsable y con tecnología limpia. Todo esto nos conduce a buscar otras tecnologías para recuperar oro fino diseminado y encapsulado que no son recuperados por los procesos gravimétricos y amalgamación desarrollados en la minería cooperativizada que cuenta con este tipo de material.

## **2.3 Marco Conceptual**

### **2.3.1 Menas Refractarias de Oro**

Se definen como menas refractarias, aquellas que al “molerse normalmente” y tratar por cianuración dan bajas recuperaciones en oro (menores a 80%). Es así que estas menas de oro refractarias son menas no oxidadas (o parcialmente oxidadas) que contienen material carbonáceo, sulfuros y/o teluros. El oro asociado con arsénico y algunas veces con bismuto, es a menudo sólo parcialmente soluble en soluciones de cianuro. El oro se encuentra en venas, granos visibles, partículas de submicrones y partículas muy finas incluso no visibles con resoluciones de 15,000Xsem (Casparini, 1983) (Hausen, Process Mineralogy of Auriferous Pyritic Ores at Carlin, Nevada, 1981).

Los minerales primarios de oro a menudo son refractarios porque el oro se encuentra ocluido (diseminado en pequeñas partículas que miden  $< 1 \mu\text{m}$ ), en una matriz de sulfuros. Las especies más comunes son la piritita y la arsenopiritita encontrándose en menor cantidad sulfuros como la esfalerita y la galena, además de sulfosales de cobre y antimonio, la presencia de carbonatos, sulfuros y aluminosilicatos también influyen en una baja recuperación de oro y plata. (Ofori Sarpong, Osseo Asare, & Tien, 2011)

### **2.3.2 Mineralogía de las Menas Refractarias de Oro**

La refractariedad de las menas de oro puede ser caracterizada generalmente como de naturaleza fisicoquímica. La refractariedad química es relativamente rara y se resume a tres condiciones:

- Teluros de oro insolubles.
- Componentes de la mena que pueden descomponerse y reaccionar con el cianuro (cianicidas).
- Componentes de la mena que consumen oxígeno.

Las dos últimas condiciones ocasionarán la precipitación del oro de la solución (Ver Figura 1). (Casparini, 1983) hizo conocer que los teluros en un amplio rango muestran diferentes solubilidades en soluciones de cianuro, siendo algunos insolubles.

La refractariedad preponderante de las menas de oro es de naturaleza física y debería ser especificada por medio de mineralogía microscópica. La Figura 1 da la posibilidad de identificar la refractariedad física de cinco tipos de menas

- R<sub>1</sub> contiene oro fino encapsulado o adherido a la roca huésped.
- R<sub>2</sub> contiene aleaciones de oro.
- R<sub>3</sub> contiene oro recubierto con capas (películas de minerales o películas formadas durante el tratamiento de la mena).
- R<sub>4</sub> contiene materiales absorbentes (carbones y/o arcillas) que quitan el oro disuelto de la solución preñada (materiales preg robbing<sup>1</sup>).
- R<sub>4</sub> contiene la descomposición de minerales huéspedes (los sulfuros pueden descomponerse y formar cianidas; los sulfuros, tiosulfitos, arseniatos e iones ferrosos pueden consumir oxígeno con los complejos de oro).

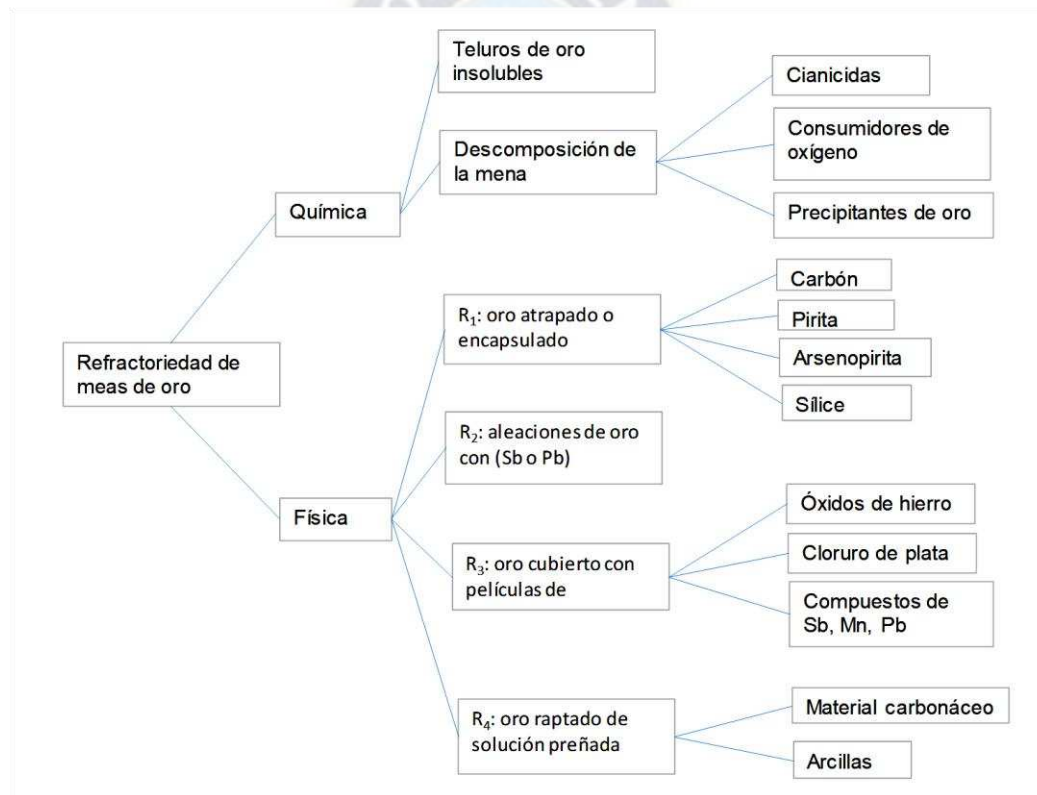


Figura 1. Clasificación de las menas de oro refractarias

Fuente: (Casparini, 1983)

<sup>1</sup>Preg-robbing es la adsorción activa (secuestro) de oro de las soluciones de cianuro preñadas por los componentes de la mena (Hausen & Bucknam, Study of Preg-Robbing in the Cyanidation of Carbonaceous Gold Ores From Carlin, 1985)

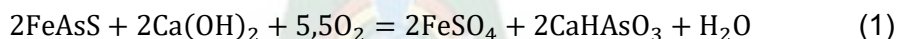
La refractariedad más común ocurre por encapsulación del oro fino. En la Tabla 1, se listan los minerales que actúan como matriz para los granos de oro encapsulados.

Tabla 1. Material huésped para el Oro

Pirita	Roca huésped más común
Arsenopirita	Relativamente común
Sulfuros	
Calcosita	
Covelita	
Pirrotita	
Galena	Relativamente común
Calcopirita	No muy común
Sulfuros de níquel	
Arsenuros	
Sulfo-arsenuros	Relativamente común
Óxidos de hierro	Relativamente común
Minerales de uranio	Común en Sud África
Silicatos y carbonatos	Relativamente común, oro atrapado o distribuido en límites de capas
Material carbonáceo	Huésped común

Fuente: (Hausen, Process Mineralogy of Auriferous Pyritic Ores at Carlin, Nevada, 1981)

Cuando la arsenopirita está presente en una mena de oro, una parte del oro está frecuentemente en íntima asociación con la estructura cristalina del sulfuro. La arsenopirita en una mena puede dar arsenitos alcalinos cuando la mena finamente molida es agitada con una fuerte concentración de cal, o puede formar otros álcalis en presencia de aire.



Esta reacción es un fuerte consumidor de oxígeno. Esto podría afectar la velocidad de cianuración si acaso no se descompone la arsenopirita antes de la etapa de lixiviación.

Por otro lado, la mayoría de las causas de la refractariedad puede ser eliminada por un tratamiento de oxidación. En la práctica, las menas refractarias se someten, como regla, a algún tratamiento de oxidación (Figura 2)

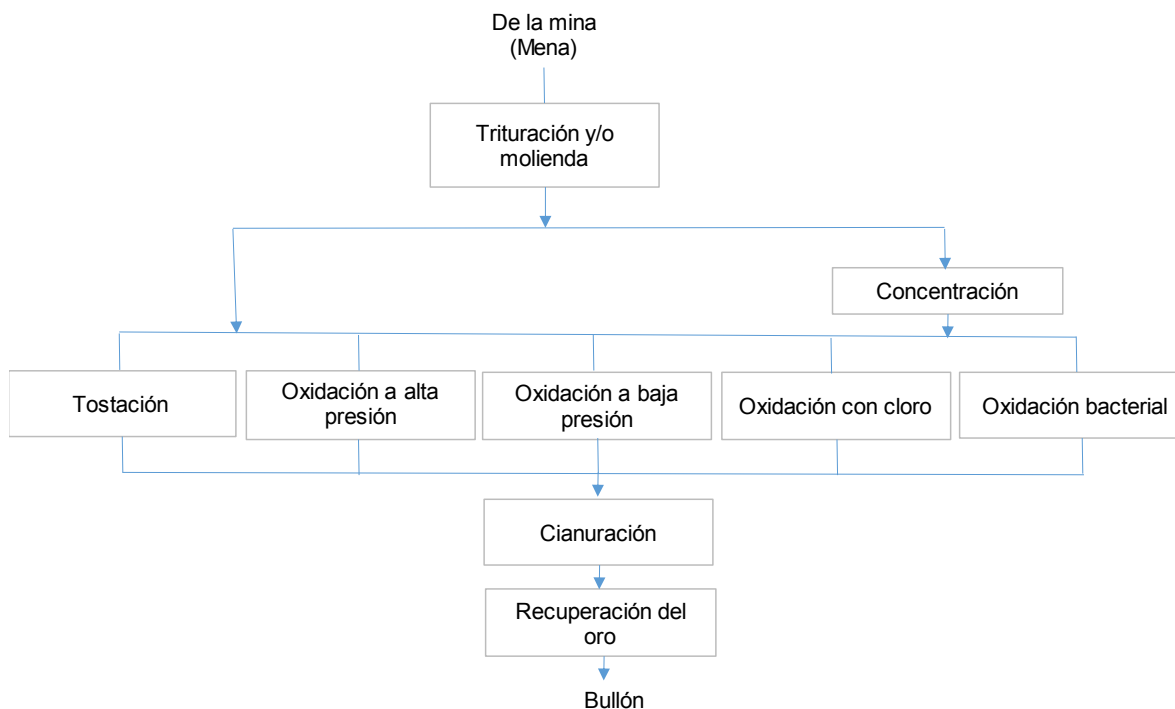


Figura 2. Tratamientos posibles de menas refractarias

Fuente: (Yannopoulos , 1991)

Los sulfuros son una interferencia habitual en los efluentes mineros con un pH elevado y un contenido deficiente de oxígeno. El sulfuro puede ser destilado junto con el ácido cianhídrico, colorear la solución y alterar el resultado. También, puede reaccionar con el cianuro para formar tiocianato, especialmente a valores elevados de pH, y disminuir la cantidad de cianuro medida.

### 2.3.3 Tratamientos de Menas Refractarias de Oro

La principal razón de la refractariedad es la presencia de sulfuros en el mineral. Por lo tanto, para tratar el mineral por cianuración con éxito, primero se deben destruir los sulfuros. Esto generalmente se logra mediante un pretratamiento como la flotación, seguido de tostado u oxidación a presión. Una serie de métodos químicos para oxidar los componentes de sulfuro del mineral también se pueden considerar, como los pretratamientos con ácido nítrico o ácido sulfúrico, (La Brooy, Linge, & Walker, 1994). Otro proceso que cada vez va ganando más reconocimiento e investigación es el pretratamiento biológico de sulfuros refractarios. Esto implica el ataque bacteriano del sulfuro en lodos aireados a temperatura ambiente y presión en solución ácida, con la consiguiente oxidación de los minerales refractarios.



Aparte de los procesos de oxidación, el único otro tratamiento disponible para los minerales refractarios es molienda fina o ultrafina. Una molienda más fina puede, en algunos casos, exponer las partículas de oro a los reactivos de lixiviación. Sin embargo, la molienda es la operación que consume más energía en un molino de oro y el beneficio económico de la molienda fina deben sopesarse cuidadosamente contra el aumento de los costos. En resumen, la recuperación de oro de un mineral por cianuración depende mucho de ambos, la mineralogía y la ocurrencia de oro dentro del mineral.



Figura 3. Asociación de Oro en Minerales Sulfurosos

Fuente: (Hinojosa Carrasco, 2016)

Cuando el oro se encuentra asociado a sulfuros metálicos (como hierro, cobre, plomo y zinc); o se encuentra asociado a ganga cuarzosa en forma fina y también como telururos, el proceso de concentración más indicado es la flotación.

Cuando el oro se encuentra con bajo contenido y al estado de partículas finas asociadas a ganga cuarzosa, entonces, el proceso aconsejable es la cianuración como método

de extracción por disolución del oro, siempre que no intervengan compuestos extraños consumidores de cianuro.

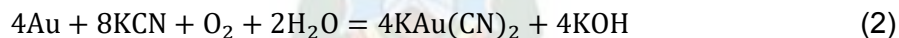
Cuando la asociación del oro con sulfuros metálicos es tan fina que técnicamente sea imposible separarlos con una molienda fina, en tal caso el proceso de flotación seguido de cianuración de los concentrados directamente, o previa tostación de ellos, puede ser una solución.

También se puede presentar el caso de menas en las que el oro se encuentra en parte libre y en parte finamente diseminado en la ganga; en tal caso, es recomendable un proceso combinado de flotación-cianuración. Por otra parte, si el oro libre está en tamaños relativamente gruesos, que permitan su recuperación por concentración gravitacional, se realiza un procesamiento combinado de concentración gravitacional-cianuración. (Hinojosa Carrasco, 2016)

#### **2.3.4 Cianuración de Menas de Oro**

La solubilidad del oro en solución acuosa de cianuro de potasio fue conocida por los alquimistas del siglo XVIII J. W. Mellor (1923) menciona específicamente que Scheele en 1783 y Bagraton en 1843, notaron que la solución acuosa de cianuro alcalino podría disolver el oro. El cianuro de potasio fue principalmente usado para preparar el electrolito necesario, para el electroplatinado del oro y plata por el proceso Elkington, patentado en 1840.

Sin embargo, Elsner en 1846, fue el primero en darse cuenta de la importancia del oxígeno, en la solución del oro y la plata con solución acuosa de cianuro de potasio. La siguiente reacción es a menudo mencionada como la ecuación de Elsner (no obstante, esta no fue publicada por Elsner):



Científicos y metalurgistas ratificaron el trabajo de Elsner y experimentaron con cianuros alcalinos como solventes del oro, durante los siguientes 40 años obteniendo resultados de poca o ninguna importancia práctica. Fueron J.S. MacArthur y sus colaboradores R.W. Forrest y W. Forrest, quienes fueron los primeros en comprender la importancia práctica de la lixiviación de menas auríferas y argentíferas con cianuro. En 1887, para la producción de oro MacArthur y los hermanos Forrest patentaron la disolución de oro a partir de sus menas con solución débil de cianuro. También patentaron su precipitación de la solución preñada con limaduras de zinc, así cambiaron radicalmente el proceso de extracción de oro.

La amalgamación sólo podía ser aplicada a menas de alta ley conteniendo oro grueso, con recuperaciones mediocres (75-80%) y el proceso MacArthur-Forrest ha marcado huella en la hidrometalurgia debido al alto grado de eficiencia que se consigue en plantas de oro. La tasa de producción global y los depósitos de oro en el mundo, incrementaron significativamente después de la aplicación de las patentes de MacArthur-Forrest.

### 2.3.5 Mecanismo de Cianuración

El proceso de disolución de oro en cianuro (y consiguientemente la extracción de oro con cianuro partir de sus menas) involucra reacciones heterogéneas en la interfase sólido-líquido (Figura 3) Por tanto, los siguientes pasos secuenciales pueden ser asumidos como principales para la disolución del oro con cianuro:

- Absorción de oxígeno en la solución
- Transporte de cianuro y oxígeno disuelto a la interfase sólido-líquido
- Adsorción de los reactantes ( $\text{CN}^-$  y  $\text{O}_2$ ) en la superficie sólida
- Reacción electroquímica
- Desorción de los complejos solubles de oro-cianuro y otros productos desde la fase sólida
- Transporte de los productos desorbidos a la solución

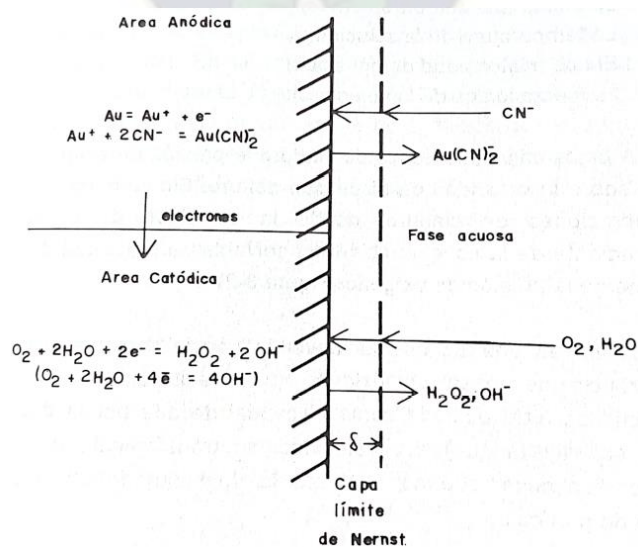


Figura 4. Esquema de la reacción sólido-líquido para la disolución de oro en cianuro

Fuente: (Yannopoulos , 1991)

El proceso de cianuración está afectado por varios parámetros influyentes que se mencionan más adelante y las que se consideran para el presente Proyecto de Grado. Estos incluyen la disponibilidad de oxígeno en la interfase sólido, líquido, el pH y Eh de la suspensión sólido-solvente, el efecto de álcalis e iones extraños (otros que no sean CN<sup>-</sup> en solución).

### **2.3.6 Efecto de Variables en el Proceso de Cianuración**

#### **2.3.6.1 Efecto del Oxígeno en la Cianuración del Oro**

La importancia del oxígeno en la solución del oro debe ser enfatizadas. Si bien, se han usado oxidantes como el peróxido de sodio, permanganato de potasio, bromo y cloro una aireación adecuada dará resultados tan buenos como aquellos logrados por oxidantes químicos, a bajo costo. La cantidad de oxígeno disuelto en soluciones diluidas de cianuro depende de cuatro factores:

- La altitud (presión barométrica)
- La temperatura de la solución
- El tipo de intensidad de agitación
- La fuerza iónica de la solución

A bajas concentraciones de cianuro la presión de oxígeno no tiene efecto sobre la velocidad de disolución del oro. Sin embargo, a elevadas concentraciones de cianuro, donde la velocidad de disolución es independiente de la concentración del solvente, la velocidad de reacción depende de la presión de oxígeno (Figura 5)

Se ha encontrado que la mayor influencia sobre la velocidad de transferencia de masa de oxígeno (a la solución) es la velocidad superficial de aire (definida como el caudal de aire por unidad de área transversal del tanque). La velocidad de transferencia de masa del oxígeno disminuye, cuando aumenta la densidad de pulpa y baja el tamaño de partícula.

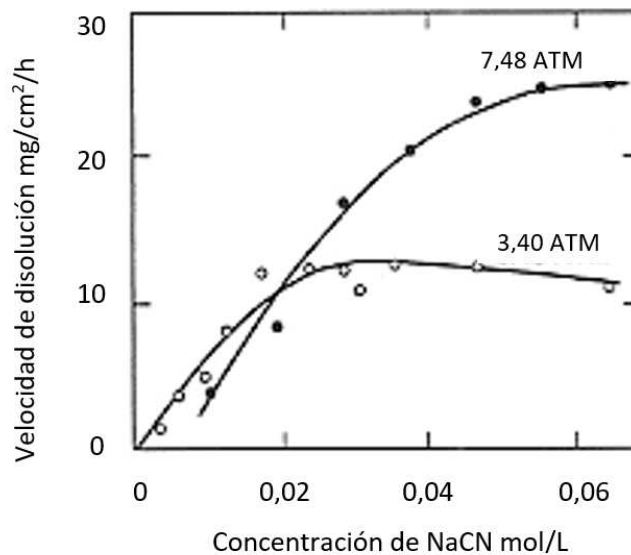
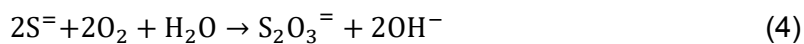
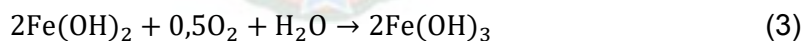


Figura 5. Velocidades de disolución de la plata a diferentes presiones de oxígeno en función de la concentración de NaCN a 24°C

Fuente: (Yannopoulos , 1991)

El uso de oxígeno puro en la cianuración ha sido estudiado desde 1950 pero su primera aplicación industrial fue en 1983 para la cianuración a presión. Un ejemplo de este sistema es el de Oxigenación Vítex (Figura 6) consiste en un tanque de oxigenación con una tubería de recirculación a la cual se inyecta oxígeno a través de un tubo Vénturi; el sistema alcanza altas eficiencias en la disolución de oxígeno. Con una oxigenación eficiente, se espera incrementar la velocidad de cianuración (ahorrando costos de capital) y la recuperación de oro, ésta debería disminuir el consumo de cianuro (por la destrucción de cianicidas). Es así, que todas las reacciones que consumen oxígeno durante el tratamiento de menas de oro son perjudiciales para la cianuración. Por ejemplo:



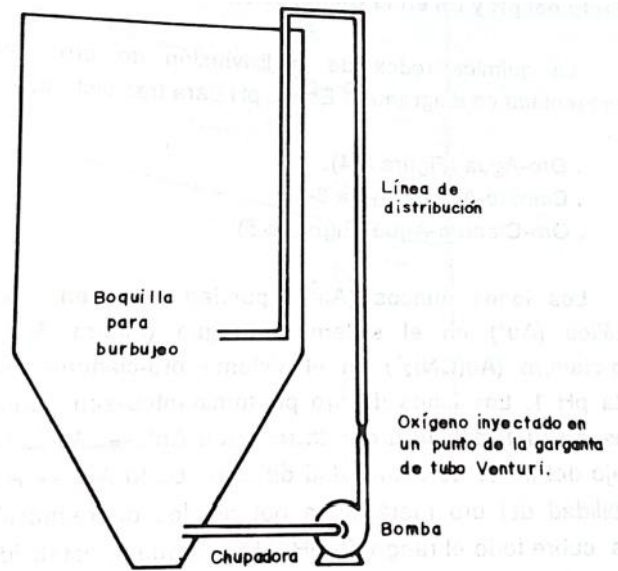


Figura 6. Esquema de una instalación Vítex para inyección en un tanque agitado por aire

Fuente: (Yannopoulos , 1991)

### 2.3.6.2 Efecto de la Concentración de Cianuro

A presión atmosférica, la cianuración no depende de la concentración de cianuro. A temperatura ambiente y presión atmosférica, se disuelven en agua 8,2 mg/L de oxígeno, equivalente a:  $0,26 * 10^{-3} * 49 = 0,051\text{g/L}$ . Concentraciones de cianuro de sodio mayores a 0,05g/L, no afectan la velocidad de disolución del oro, ya que a presión atmosférica esta es controlada por la concentración de oxígeno constante en la solución.

### 2.3.6.3 Efecto del pH y Eh en la Cianuración del Oro

La química redox de la lixiviación de oro con cianuro está representada en diagramas Eh vs. pH para tres sistemas:

- Oro-agua (Figura 7)
- Cianuro-Agua (Figura 8)
- Oro-Cianuro-Agua (Figura 9)

Los iones aúricos  $\text{Au}^{3+}$  pueden estar en equilibrio con otro metálico  $\text{Au}^0$  en el sistema oro-agua (Figura 7) o con iones auro-cianuro  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$  en el sistema oro-cianuro-agua (Figura 8), hasta pH 1. Los iones predominantes son aúricos  $\text{Au}^{3+}$  y no aurosos  $\text{Au}^+$  debido a que la

reacción  $\text{Au}^0 \rightarrow \text{Au}^{3+}$  se ubica muy por debajo del límite de estabilidad de la reacción  $\text{Au}^0 \rightarrow \text{Au}^+$ . El campo de estabilidad del oro metálico, a potenciales de reducción relativamente bajos, cubre todo el rango de pH, al igual que la estabilidad del agua (Ver Figuras 7 y 9)

El oro puede formar especies de óxidos insolubles, óxido aúrico hidratado  $\text{Au}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Au}(\text{OH})_3$  o peróxido de oro,  $\text{AuO}_2$  a potenciales relativamente altos. Ambos óxidos son termodinámicamente inestables y por tanto fuertes oxidantes. Las figuras 7 y 9 indican que la fuerza del oxidante (el potencial) de estos óxidos por ende de la acidez del sistema y declina cuando incrementa el pH. El ácido cianhídrico HCN y los iones cianuro  $\text{CN}^-$  son las especies estables a muy bajos potenciales (ver Figura 8) siendo el último predominante a pHs mayores a 9,24. A potenciales elevados el ion cianato  $\text{CNO}^-$ , es la única especie estable.

A pesar de haberse reportado en la literatura el cianuro auroso sólido  $\text{AuCN}$  y el complejo aúrico de cianuro  $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ , el complejo auroso de cianuro  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$  es el único complejo de cianuro estable, durante la cianuración (Ver figura 8)

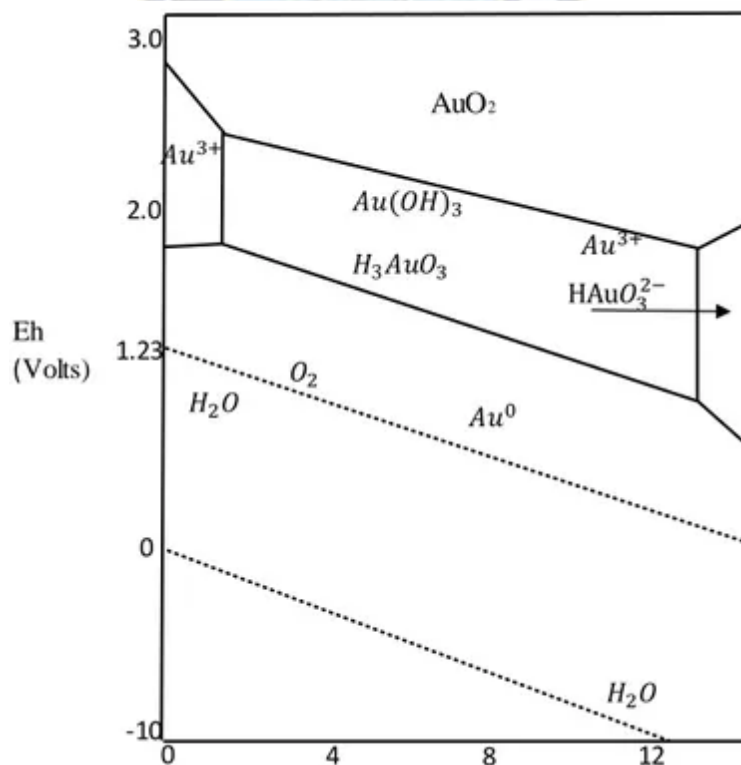


Figura 7. Diagrama Eh-pH para el sistema Au-H<sub>2</sub>O a 25°C

Fuente: (Yannopoulos, 1991)

Una comparación entre las figuras 6 y 8 indica que la introducción de cianuro en el sistema reduce drásticamente el campo de estabilidad del oro metálico y sus óxidos. El complejo auroso de cianuro  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$  tiene un amplio campo de estabilidad (ver Figura 8) extendiéndose en un área grande del campo de estabilidad agua/oro (como se estimó en ausencia de cianuro en la Figura 6). La presencia del campo de estabilidad extenso del auro-cianuro especialmente a pH mayor a 9, donde la formación de HCN puede ser totalmente evitada, hace la lixiviación con cianuro de menas portadoras de oro, sea factible.

#### 2.3.6.4 Efecto de Adición de Alcalis

El propósito de añadir bases ( $\text{CaO}$ ,  $\text{NaOH}$  o  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) al proceso de cianuración incluye lo siguiente:

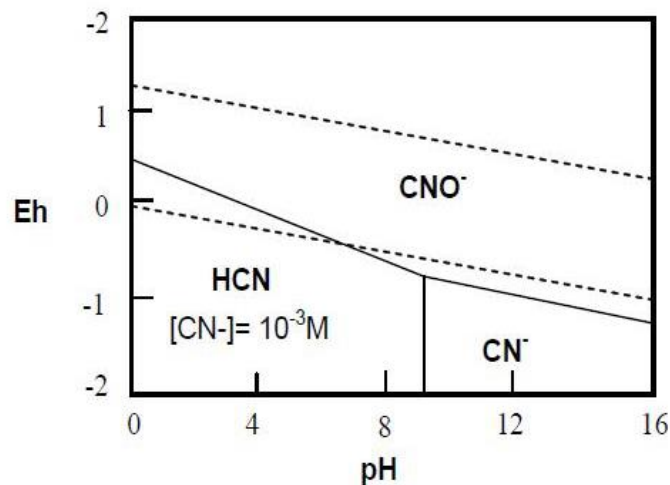


Figura 8. Diagrama Eh-pH para el sistema CN-H<sub>2</sub>O a 25°C

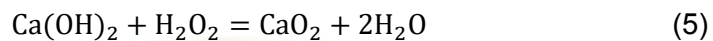
Fuente: (Yannopoulos , 1991)

- Prevenir pérdida de cianuro por hidrólisis
- Prevenir pérdida de cianuro por la acción del dióxido de carbono en el aire
- Descomponer bicarbonatos en el agua de proceso antes de su uso en la cianuración
- Neutralizar componentes ácidos tales como sales ferrosas, sales férricas y sulfato de magnesio en el agua de proceso antes de su adición al circuito de cianuro
- Neutralizar constituyentes ácidos (pirita, etc) en la mena.



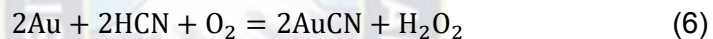


calcio y otra que contenía 5%. Por tanto, se concluyó que la reducción en la velocidad de disolución de oro en soluciones de NaCN, causada por la adición de Ca(OH)<sub>2</sub> no se debe ni a la baja solubilidad de oxígeno ni a la presencia de iones calcio. Habashi (1967) atribuyó el efecto retardante del Ca(OH)<sub>2</sub> a la formación de peróxido de calcio sobre la superficie del metal, lo cual evita la reacción con cianuro. Se pensó que el peróxido de calcio se formaba por la reacción de la cal con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> acumulado en la solución, de acuerdo a la siguiente reacción:



Puesto que, en la cianuración de oro, la cal es el reactivo comúnmente usado para ajustar el pH de la pulpa y promover el asentamiento, el efecto de su uso debe ser cuidadosamente monitoreado.

El agua saturada con gas HCN y oxígeno ataca al oro, con la formación de AuCN insoluble y peróxido de hidrógeno:

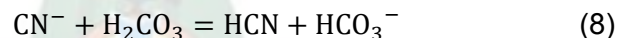


Por tanto, para evitar la formación de AuCN, la solución de cianuro debería ser alcalina durante la lixiviación de oro para prevenir dos cosas:

1. La hidrólisis del ion cianuro



2. La descomposición por el CO<sub>2</sub> de la atmósfera



En ambos casos se libera ácido cianhídrico (HCN), el cual forma AuCN insoluble y no Au(CN)<sub>2</sub><sup>-</sup> soluble. Por otra parte, el pH alto tiene un efecto adverso en la velocidad de disolución del oro (ver Figura 10). Luego el pH de la solución de lixiviación con cianuro debería ser cuidadosamente optimizado, para prevenir la formación de HCN y alcanzar altas velocidades de extracción de oro. Como regla, en la práctica el rango de pH óptimo es de 11 a 12.

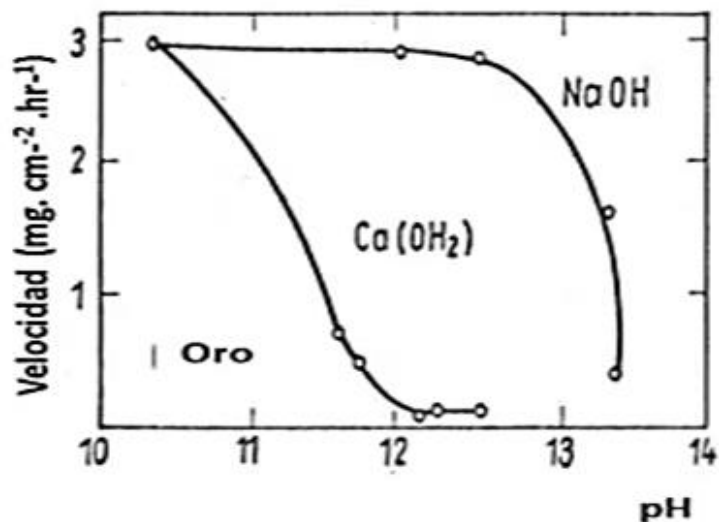


Figura 10. Efecto retardante de los iones calcio en la disolución del oro en alta alcalinidad

Fuente: (Yannopoulos , 1991)

#### 2.3.6.5 Efecto de la Concentración de Peróxido de Hidrógeno

Las curvas para la disolución de pirita en las soluciones ácidas con variable concentraciones de  $H_2O_2$  se muestran en la Figura 11. Los resultados indican una mayor disolución de pirita en proporción al aumento concentración de  $H_2O_2$ . Similar a los resultados anteriores, los datos de la Figura 11 revela que la reacción es muy intensa durante la primera 30 minutos; después, la disolución de pirita procede con menor intensidad. Para cada ácido diferente, la fracción reaccionada más alta se obtuvo cuando se empleó  $H_2O_2$  1,0 M.

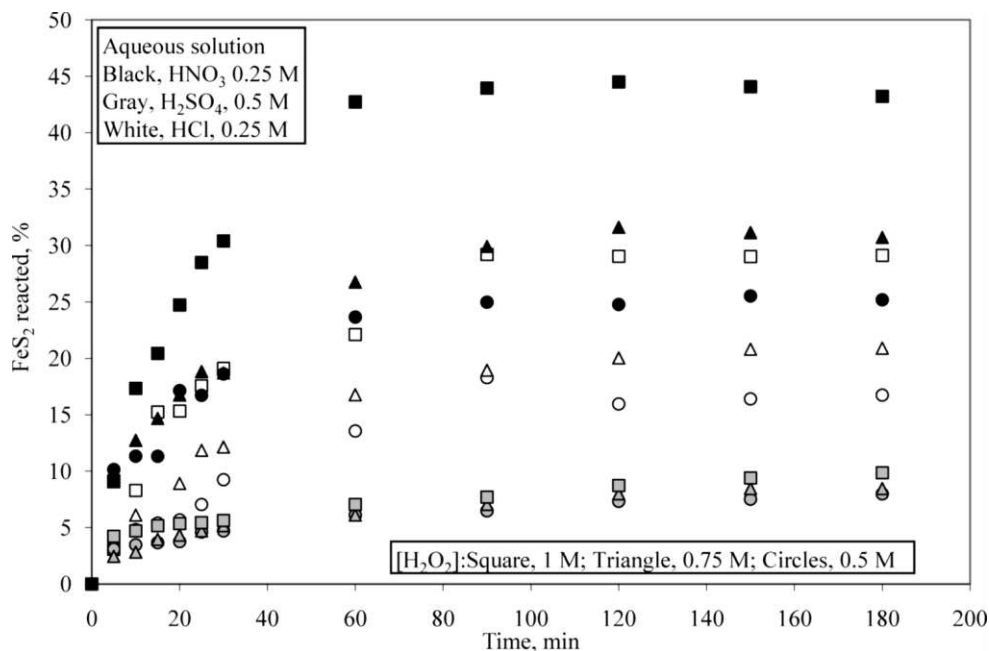


Figura 11. Efecto de la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en diferentes medios acuosos

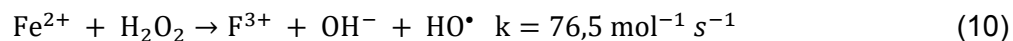
Fuente: (Carrillo Pedroza, Dávalos Sánchez, Soria Aguilar, & Peciña Treviño, 2009)

Pruebas anteriores indican que la descomposición del peróxido en la presencia de pirita es muy intensa.

De acuerdo con la literatura, la descomposición del peróxido de hidrógeno en agua y el oxígeno (Ec. 9) puede ser catalizado por iones Fe<sup>3+</sup> y Zn<sup>2+</sup>, superficies metálicas, sólidos, carbón, etc., que sugieran la ocurrencia de reacciones paralelas de consumo de oxidante.

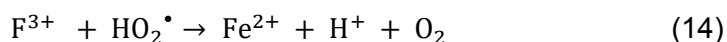
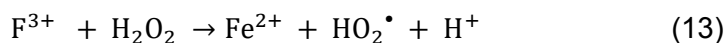
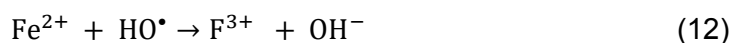
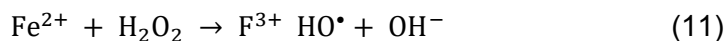


El ion ferroso reacciona con el peróxido según Fenton. reacción, que resulta en la producción de Fe<sup>3+</sup>, OH<sup>-</sup>, y HO



Según la ecuación 1, la presencia de una sal ferroso aumenta la capacidad de oxidación del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Borah et al. muestran que el HO• radical participa en la oxidación de compuestos orgánicos de azufre con la producción de ácido sulfónico. De acuerdo con Borah et al., el hierro depositado en el carbón está presente en estado divalente; por lo tanto, los

iones ferrosos pueden catalizar la descomposición de  $H_2O_2$  durante la disolución. Igualmente, el oxidante reacciona en etapas sucesivas de oxidación y reducción y forma  $HO^\bullet$  y  $HO_2^\bullet$  radicales libres basados en el Fenton reacción. Así, se producen las siguientes reacciones:



El  $HO^\bullet$  y  $HO_2^\bullet$  radicales libres producidos por descomposición catalítica de  $H_2O_2$  por los iones metálicos  $Fe^{2+}$  y  $Fe^{3+}$  son vigorosos agentes oxidantes. Los resultados anteriores (no presentados) muestran que la destrucción del peróxido es catalizada por la matriz de carbón y los productos de oxidación de pirita a  $60^\circ C$ . Además, establece que el agua oxigenada no se activa a temperaturas de  $< 20^\circ C$ , lo que explica la pequeña desulfuración del carbón a temperatura ambiente o menos. (Carrillo Pedroza, Dávalos Sánchez, Soria Aguilar, & Peciña Treviño, 2009)

#### 2.3.6.6 Efecto de la temperatura en la oxidación de las piritas

El efecto de la temperatura sobre la disolución de pirita del carbón se estudió en  $H_2O_2$  1,0 M y solución ácida 0,5 M. Los resultados se muestran en la Figura 12. En general, la reacción es muy intensa durante los primeros 30 min. Después de este tiempo, el proceso de disolución de la pirita muestra un diferente comportamiento con la temperatura; en medio de ácido sulfúrico, la disolución de pirita tiene una fuerte dependencia, y en mayores temperaturas, existe mayor disolución. Sin embargo, cuando se utiliza ácido clorhídrico, el efecto de la temperatura no es importante. Cuando se utiliza ácido nítrico, el aumento de temperatura disminuye la disolución de pirita. Como anteriormente dicho, una de las razones de este comportamiento ( $t > 30$  min) es que la estabilidad del peróxido se vio afectada por la temperatura y especies redox, entre otras cosas.

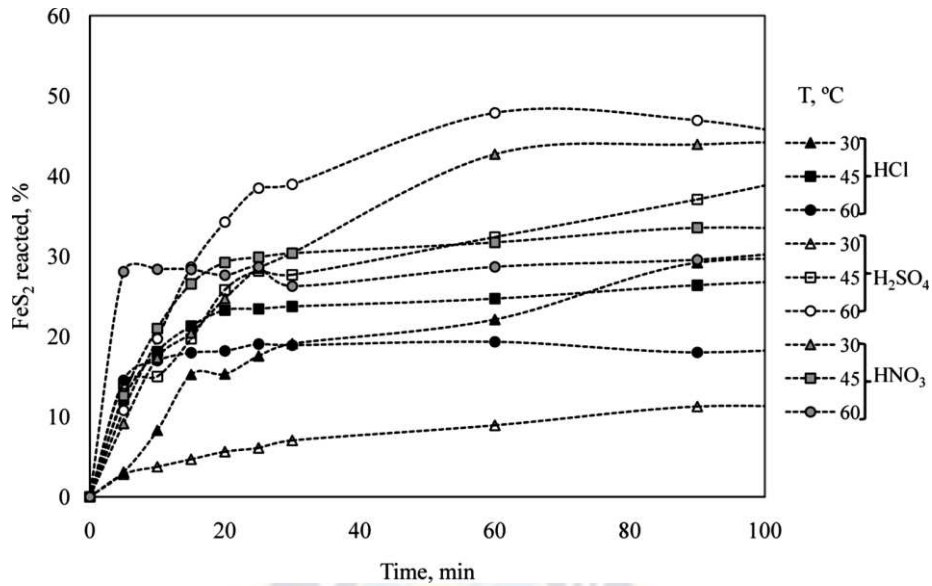
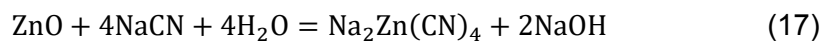


Figura 12. Efecto de la temperatura en la oxidación de pirita.

Fuente: (Carrillo Pedroza, Dávalos Sánchez, Soria Aguilar, & Peciña Treviño, 2009)

### 2.3.6.7 Efecto de los iones extraños en la cianuración

Muchos investigadores están de acuerdo que la disolución de oro por cianuro está controlada por difusión, pero en la cianuración de menas, el cianuro y/o sustancias consumidoras de oxígeno pueden afectar decididamente industrial la velocidad de extracción del oro. La pirrotita (y pirita en menor grado), cobre, zinc (y todos los metales fundamentales), arsénico y minerales de antimonio consumen cianuro. Algunas de las reacciones de cianicidas conocidos se citan a continuación:



Iones de metales fundamentales ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  y  $\text{Zn}^{2+}$ ) y forman con el cianuro complejos estables, consumiéndolo, reduciendo su actividad y retardando la cianuración de oro.

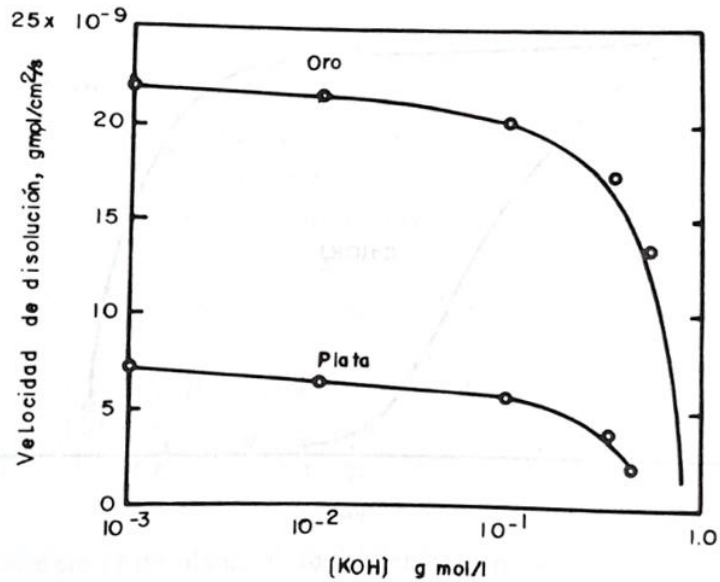


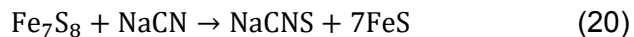
Figura 13. Efecto de la concentración de hidróxido de potasio en la velocidad de disolución de oro y plata con KCN

Fuente: (Yannopoulos , 1991)

Los minerales sulfurosos reaccionan con el cianuro y oxígeno para formar iones tiocyanatos:

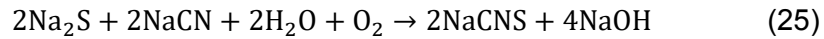
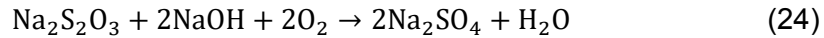
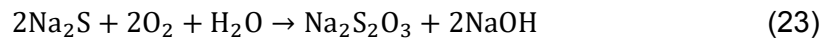


La pirita es el más estable (menos problemático) de los sulfuros de hierro. La marcasita se descompone más rápido que la pirita y puede ser un cianicida, pero es menos detestable que la pirrotita. Este es un cianicida particularmente dañino en el medio alcalino de cianuración; su velocidad de descomposición es mucho más rápida que otros minerales piríticos. La pirrotita es propensa especialmente a la oxidación, formando sulfatos ferrosos y férricos. Por tanto, no es sólo un cianicida odioso sino también un consumidor del oxígeno disuelto en la solución:

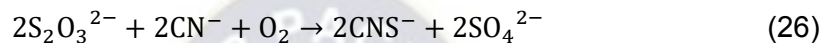


El sulfuro alcalino puede ser uno de los productos iniciales de la reacción entre la pirrotita y el cianuro alcalino de la solución. El ion sulfuro es un veneno muy poderoso para la cianuración de oro. Se ha reportado inclusive que cantidades menores a 0,05 ppm de ion

sulfuro, disminuirá notablemente la disolución (Fink & Putnam, 1950). El sulfuro alcalino debería ser oxidado en presencia de oxígeno a tiosulfato, sulfato y/o tiocianato:



De este modo, la descomposición de minerales portadores de azufre puede dar iones tiosulfato y policianatos que merman el cianuro y el oxígeno disuelto en la solución:



El tiocianato se forma como una de las anteriores reacciones por la reacción del cianuro con sulfuro, oxisulfuro, iones arseno-sulfuro y azufre elemental. Minerales portadores de arsénico, arsenopirita ( $\text{FeS}\cdot\text{FeAs}$ ,  $\text{As}_2\text{S}_2$  y  $\text{As}_2\text{S}_3$ ) están asociados a menudo con menas de oro y pueden reaccionar con soluciones cianuradas, consumiendo oxígeno y cianuro.  $\text{AsS}_3^{2-}$ ,  $\text{AsO}_3^{2-}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$  y  $\text{CNS}^{2-}$  han sido identificados como los productos de reacción de oropimente y solución alcalina de cianuro aireada. Algunos de estos iones consumirán oxígeno adicional para alcanzar un estado estable y otros, como el  $\text{S}^{2-}$  y  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ , pueden ser adsorbidos sobre la superficie del oro e inhibir la posterior cianuración.

Si está presente arsenopirita en la mena, puede causar la pérdida de cianuro y oxígeno disuelto a través de su descomposición. En este aspecto, la estibina puede ser peor que la arsenopirita; en adición al oxígeno adsorbido por los sulfuros alcalinos formados durante su descomposición, los iones de tioantimonita ( $\text{SbS}_3^{2-}$ ) y sulfuro ( $\text{S}^{2-}$ ) generados pueden ser adsorbidos sobre la superficie del oro e impedir la reacción con cianuro.

Una preaireación de las pulpas alcalinas con alto contenido de minerales de pirrotita, arsénico y/o antimonio, es el prerequisite anterior a la cianuración. Por lo general las menas de oro portadoras de piritita, pirrotita, arsenopirita y/o estibina son refractarias; minerales de arsénico y antimonio, además del alto consumo de cianuro, pueden contener oro microcristalino atrapado en su red cristalina.

#### 2.3.6.8 Efecto del Tamaño de Partícula

La mena tiene que ser molida muy fina para liberar los metales preciosos y hacerlos adecuados para la lixiviación con cianuro. Con respecto a la aireación y agitación, bajo condiciones óptimas se ha determinado que la máxima velocidad de disolución del oro es de



3,25 mg/cm<sup>2</sup>/h. esto es igual a una penetración de 1,68 micrones en cada lado de una partícula plana de oro de 1 cm<sup>2</sup>, o una reducción total en espesor de 3,36 micrones por hora. Por tanto, una pieza de oro de 37 micrones de espesor tomaría alrededor de 11 horas para disolverse. Generalmente, las partículas gruesas de oro son separadas por concentración gravimétrica antes de la cianuración, ya que las partículas gruesas no podrían ser disueltas completamente en un tiempo de cianuración económicamente aceptable.

## **2.4 HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **2.4.1 Hipótesis General**

Es posible extraer oro a partir de minerales auríferos refractarios realizando un pretratamiento y lixiviación elevando la recuperación de oro.

#### **2.4.1.1 Hipótesis Verdadera**

Sí es posible recuperar oro a partir de minerales auríferos refractarios.

#### **2.4.1.2 Hipótesis Falsa**

No es posible recuperar oro a partir de minerales auríferos refractarios

#### **2.4.1.3 Hipótesis Particulares**

- i. A través de la caracterización mineralógica completa de la carga se establece las causas de la refractariedad del mineral para determinar una alternativa de pretratamiento (oxidación química, física, flotación, etc.) y acondicionamiento para la liberación del oro de su matriz.
- ii. Los resultados de las condiciones de pretratamiento permiten lixiviar oro mediante un proceso de cianuración.

### **2.4.2 Declaración de Variables**

#### **2.4.2.1 Variables para el Pretratamiento/Acondicionamiento**

Las variables independientes para considerar en el Pretratamiento de la carga refractaria son:

- Tamaño de partícula
- Concentración del agente oxidante

La variable dependiente es:

- % de Recuperación

#### 2.4.2.2 Variables para la Lixiviación por Cianuración

Las variables independientes para considerar en el proceso de lixiviación por cianuración después del pretratamiento de la carga son:

Concentración del agente lixivante

Las variables dependientes para considerar son:

- 1) %Recuperación de oro
- 2) Tiempo de lixiviación

Parámetros intervinientes:

1. Temperatura °C
2. Agitación, rpm
3. Porcentaje de sólidos en pulpa
4. pH



## **CAPÍTULO III**

### **3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

#### **3.1 Tipo y Diseño de Investigación**

El tipo y diseño de investigación es de Tipo Experimental a escala laboratorio, declarando así que los resultados obtenidos son de tipo cualitativo ya que el estudio de la muestra considerada es variado en cuanto a la cantidad de compuestos químicos y el porcentaje de estos en ella, siendo relevante y de mucha importancia el contenido de oro que llega a ser soluble después del pretratamiento y cianuración.

#### **3.2 Diseño Experimental**

Con respecto al diseño experimental, se trata de un proceso no estadístico y finito donde se cuenta con seis parámetros constantes: ley de cabeza, rpm del equipo, %sólidos en lixiviación, tiempo de preoxidación, pH de lixiviación y temperatura ambiente. En cuanto a las variables independientes se tiene: tamaño de partícula y concentración del agente oxidante y agente lixivante; mismos que influyen en las variables dependientes declaradas: tiempo de lixiviación y porcentaje de recuperación.

A continuación, se presenta el detalle de estos parámetros y variables.

Tabla 2. Parámetros y variables experimentales

Ítem	Unidad	Parámetro	Variable		Observación
			Independiente	Dependiente	
Ley de oro	g/t	x			31,31
Velocidad del agitador	rpm	x			
Contenido de sólidos en lixiviación	% (m/m)	x			25
Tiempo de preoxidación	min	x			30
pH lixiviación		x			10,5
Temperatura ambiente	°C	x			18
Tamaño de partícula	µm		x		
Concentración agente oxidante [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ]	g/L		x		
Concentración agente oxidante [O <sub>2</sub> ]	g/L		x		
Concentración agente lixivante [NaCN]	g/L		x		
Recuperación de oro	% (m/m)			x	
Tiempo de lixiviación	h			x	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2 se observa un panorama general de los parámetros y variables dependientes e independientes considerados para la realización de las pruebas experimentales.

### 3.3 Materiales y Equipos

Se han empleado equipos y materiales del Laboratorio de Concentración de Minerales del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas y de Materiales, los cuales se describen a continuación:

Tabla 3. Materiales empleados para la experimentación

Materiales		
N°	Nombre	Observación
1	Papel pH	
2	Vasos colectores de muestra	100 ml capacidad
3	Papel filtro cualitativo lento	
4	Matraz aforado	500 ml
5	Matraz Erlenmeyer	250 ml
6	Bureta	100 ml
7	Soporte universal	
8	Pinza nuez	
9	Vidrio reloj	
10	Mortero	de acero
11	Embudos	de plástico
12	Gotero	1ml
13	Jeringa	10 ml
14	Cuarateador de rifles	
13	Serie de tamices ASTM	Rango 1,06" a -400#

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 1. Papel pH para control de acidez

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 2. Bureta y matraz para titulación de CN-

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 3. Serie de tamices ASTM

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 4. Cuarteador de rifles  
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 5. Vasos colectores de muestras  
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 6. Mortero de acero  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Equipos empleados en el desarrollo de las pruebas experimentales

Equipos		
N°	Nombre	Observación
1	Chancadora de mandíbulas	
2	Molino a barras	2 kg capacidad
3	Serie de tamices ASTM	Rango 1,06" a -400#
4	Filtro prensa	
5	Compresora de aire	
6	Balanza analítica electrónica	
7	Termocupla digital	
8	Plancha eléctrica	
9	Agitador	
10	Tanque de lixiviación	5L de capacidad
11	Tanque de oxígeno	6m <sup>3</sup> capacidad
12	Manguera de presión	1,5 m largo

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 7. Chancadora de mandíbulas

Fuente: Elaboración propia





Fotografía 8. Molino a barras  
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 9. Cilindro de oxígeno industrial y manómetro  
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 10. Filtro prensa  
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 11. Agitador y tanque de lixiviación

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 12. Termocupla

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 EXPERIMENTACIÓN

El desarrollo de las pruebas experimentales de la muestra sometida a estudio es desglosado en la siguiente ilustración:

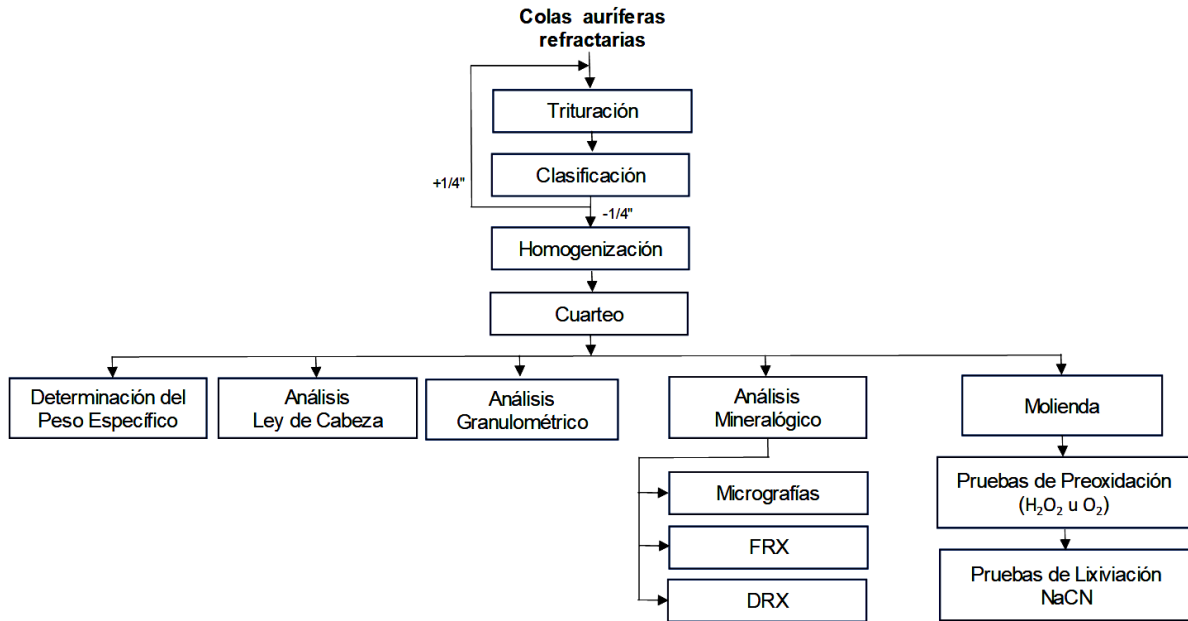


Figura 14. Flujograma de proceso experimental

Fuente: Elaboración propia

#### 3.4.1 Preparación de la muestra

La muestra de mineral (colas del proceso de concentración gravimétrica) proporcionada por la Empresa Minera Goldmins S.R.L. fue de 50 kg, la misma fue triturada, homogenizada y cuarteada para las diversas etapas del proceso.



Fotografía 13. Muestra de mineral proporcionada por Goldmins SRL

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 14. Proceso de trituración de la muestra

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 15. Homogenización y cuarteo de la carga por el “método de cono y cuarteo”

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 16. Empleo del cuarteador de rifles para distribuir a las diversas etapas del proceso

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2 Caracterización completa de la muestra

#### 3.4.2.1 Análisis Mineralógico

##### a) Microscopía electrónica de barrido

El análisis microscópico fue realizado en el Instituto de Investigaciones Metalúrgicas y de Materiales (IIMETMAT- UMSA) empleando el Microscopio Electrónico de Barrido, con sus siglas en inglés Scanning Electron Microscope (SEM).

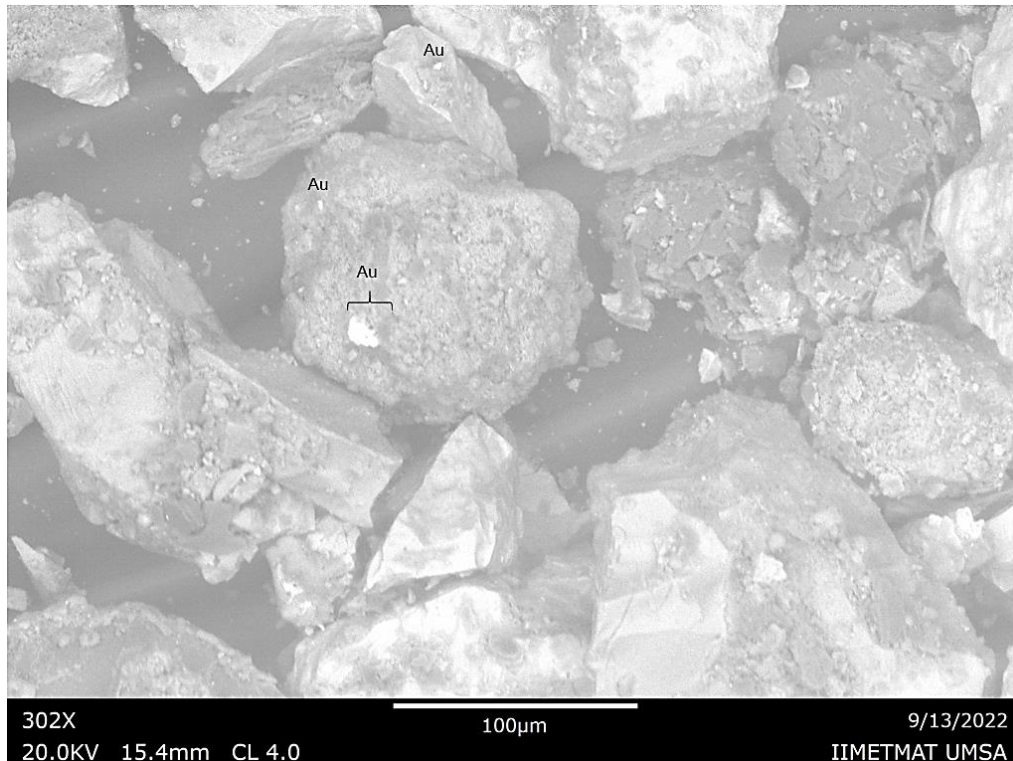


Figura 15. Micrografía de las colas auríferas refractarias

En la figura 15, se observa el material de cabeza preparado, molido en mortero a una malla 150 (100µm), donde las partículas más brillantes son el oro encapsulado que tienen tamaños menores a 25 µm aproximadamente.

Del mismo modo en la figura 16, que fue preparado a 65 mallas (224 µm), correspondientes al preconcentrado de piritas obtenidas en mesa vibratoria, se observa las micropartículas de oro encapsulado en la roca huésped, piritas y en menor proporción arsenopiritas.

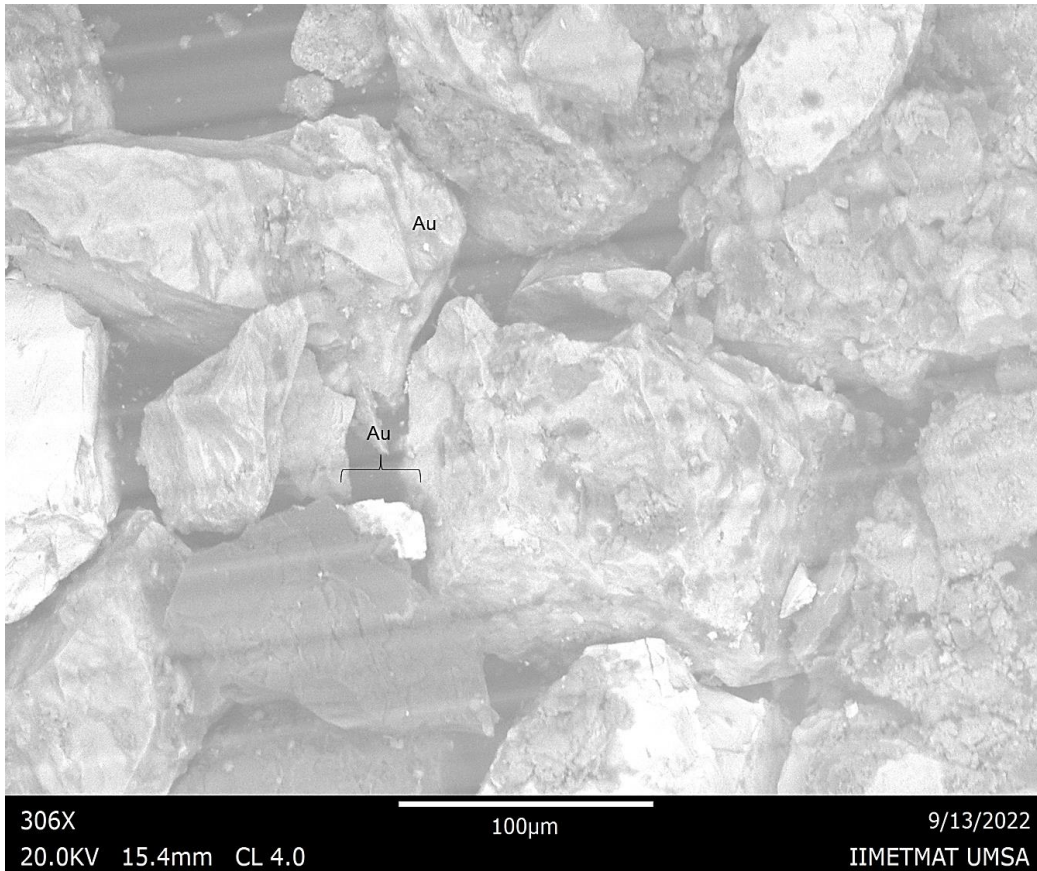


Figura 16. Segunda micrografía de las colas auríferas refractarias

#### **b) Fluorescencia de Rayos X (FRX)**

El análisis de Fluorescencia de Rayos X fue desarrollado los Laboratorios Conde Morales de la ciudad de Oruro y en los laboratorios del Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente (IGEMA-UMSA)

Tabla 5. Informe de ensayo por FRX (Valores sólo referenciales) a la muestra original

<b>TROZOS (%)</b>	
Zn	0,039
Pb	0,128
Sn	0,004
As	3,968
Cu	0,032
Sb	0,014
Pb	0,134
WO <sub>3</sub>	0,205
Ca	0,24
Fe	23,624
S	15,334
SiO <sub>2</sub>	7,128
Bi	0,013
Al	0,279
K	0,769
Ti	0,313
V	0,04
Cr	0,029
Co	0,002
Ni	0,001
Ga	0,003
Rb	0,005
Sr	0,003
Y	0,004
Zr	0,003
Ba	0,037
Hg	0,001
U	0,002

Fuente: Laboratorio Conde Morales

Se realizó el análisis de FRX al producto después del pretratamiento y cianuración para observar y contrastar con el análisis de FRX a la muestra inicial, observándose los mismos porcentajes de esos elementos.

### c) Difracción de Rayos X (DRX)

El ensayo de Difracción de Rayos X fue desarrollado en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente (IGEMA-UMSA)



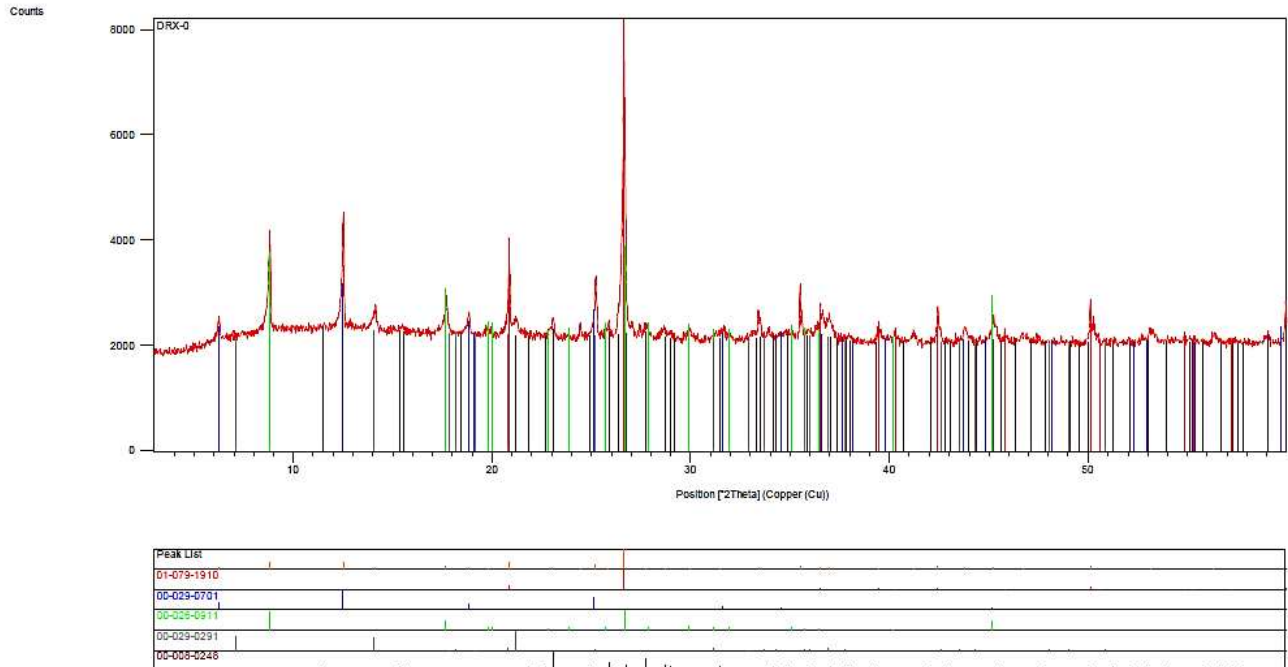


Figura 17. Difracción de Rayos X a muestra de cabeza

Fuente: Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente - IGEMA

### Identificación de fases cristalinas

#### A. Componentes mayoritarios

- 1) Clinocloro  $(\text{Mg, Fe})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$
- 2) Illita  $(\text{K, H}_3\text{O}) \text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{AlO}_{10} (\text{OH})_2$

#### B. Componentes minoritarios

- 1) Cuarzo  $\text{SiO}_2$
- 2) Vertuminita  $\text{Ca}_4 \text{Al}_4 \text{Si}_4 \text{O}_6 (\text{OH})_{24} \cdot 13 \text{H}_2\text{O}$
- 3) Brimstona  $\text{S}$

El análisis mineralógico de fases sólidas cristalinas se realizó en un equipo de Difracción (DRX) PanAnalytical Expert Plus con tubo generador de Rayos X de Cu (cobre) y filtro de Ni, dando radiación K alfa del Cu con longitud de onda de 1.54178 Å, bajo las condiciones de operación: Radiación a 40 Kv. y 40mA., rango de registro de 3° a 60°, detección con XCELERATOR de 125 canales y escala de detección automática.

El difractograma DRX obtenido es acompañado de sus correspondientes cuadros de identificación de especies minerales. La identificación de fases cristalinas se realizó con el auxilio del software especializado “X’Pert High Score” de la Pan Analytical-Philips sobre una base de datos de más de más de 130.000 registros de comparación.

### 3.4.2.2 Determinación de Peso Específico

#### a) **Determinación de Peso específico Real**

Para la determinación del peso específico real se empleó el método de la Fiola que consiste en el uso de un matraz aforado, registrando los siguientes datos y empleando la siguiente ecuación:

$$P.E. = \frac{m_1}{m_2 + m_1 - m_3}$$

Donde:

$m_1$ : masa del mineral [g]

$m_2$ : masa del matraz con agua [g]

$m_3$ : masa del matraz con agua y mineral [g]

Tabla 6. Datos para la obtención del peso específico real

Prueba	$m_1$	$m_2$	$m_3$	P.E. [g/ml]
1	50,2	272,6	306,3	3,04
2	50,1	272,6	306,5	3,09
3	50,1	272,4	305,9	3,02
			<b>P.E. PROM.</b>	3,05

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 17. Mineral y agua para determinación de peso específico real

Fuente: Elaboración propia

### b) Determinación de Peso Específico Aparente

Para la determinación del peso específico aparente se hizo uso de un cubo de dimensiones: a partir de ello se registró los valores del peso y el volumen.

$$P.E. = \frac{\text{masa de mineral}}{\text{volumen de mineral (cubo)}}$$

Tabla 7. Datos para determinación de peso específico aparente

Prueba	Masa mineral (g)	Volumen cubo (ml)	P.E. (g/ml)
1	909,0	524,47	1,73
2	925,2	524,47	1,76
3	939,2	524,47	1,79
		<b>P.E. PROM.</b>	1,76

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2.3 Análisis de ley de cabeza

El análisis de ley de cabeza fue desarrollado en tres diferentes laboratorios (Ver Anexo 2,1,2,3):

Tabla 8. Análisis químico de Ley de Cabeza en diferentes laboratorios

<b>Ley de Cabeza</b>	<b>g/t</b>
IIMETMAT	38,67
GOLDMINS SRL	29,34
Conde Morales	44,30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Ley de cabeza calculado a partir de las pruebas de cianuración preliminares realizadas

<b>Ley de Cabeza Calculada</b>	<b>g/t</b>
Cianuración Convencional	32,65
Cianuración con O <sub>2</sub> (30 min), -200# y 0,94 g/L NaCN	19,39
Cianuración con 34g/L de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , -200# y 0,94 g/L de NaCN	24,00
Cianuración 25g/L de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , -200# y 3,77g/L de NaCN	24,73

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2.4 Análisis Granulométrico

#### a) **Análisis granulométrico alimentación chancadora**

La carga proporcionada tiene tamaños superiores a los adecuados para el ingreso a la etapa de molienda, por lo que su reducción previa es necesaria. En las siguientes tablas se presenta la distribución de tamaños antes del ingreso a trituración, descarga de chancadora e ingreso a molienda. Además de la representación gráfica del 80 % PPA de estos productos (Ver Anexo II)

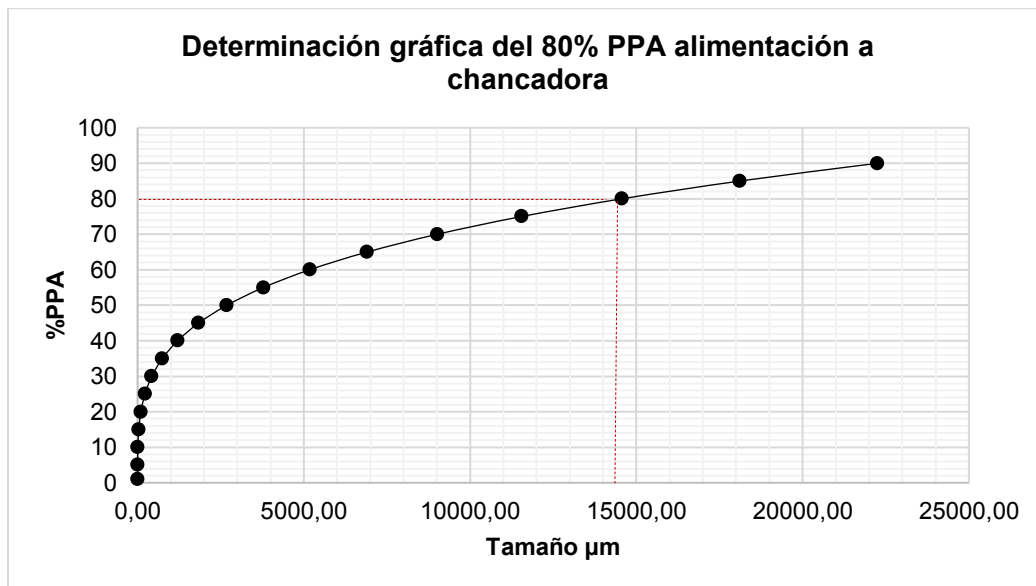
Tabla 10. Análisis granulométrico alimentación a chancadora

<b>Malla ASTM No.</b>	<b>Tamaño (micrones)</b>	<b>Peso Alimento Chancadora (g)</b>	<b>% Peso</b>	<b>% Peso Rechazo Acumulado</b>	<b>% Peso Paso Acumulado</b>
<b>1'06</b>	26500	87,80	6,89	6,89	93,11
<b>31/2</b>	5613	414,40	32,51	39,40	60,60
<b>8</b>	2360	79,10	6,21	45,60	54,40
<b>10</b>	1651	167,80	13,16	58,77	41,23
<b>14</b>	1168	37,60	2,95	61,72	38,28
<b>20</b>	841	26,80	2,10	63,82	36,18
<b>-20</b>	841	461,20	36,18	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>		1274,70	100,00		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis granulométrico de la alimentación a la chancadora se puede observar que los rangos de distribución de tamaño están en tamaños grandes 5613 micrones y tamaños pequeños -20# equivalente a 850 micrones.

Gráfica 1. Representación gráfica del 80%PPA de alimentación a chancadora



Fuente: Elaboración propia

En la representación gráfica del 80% PPA de alimentación a chancadora puede observarse que corresponde a un tamaño de 14500 micrones aproximadamente. (Ver Anexo II)

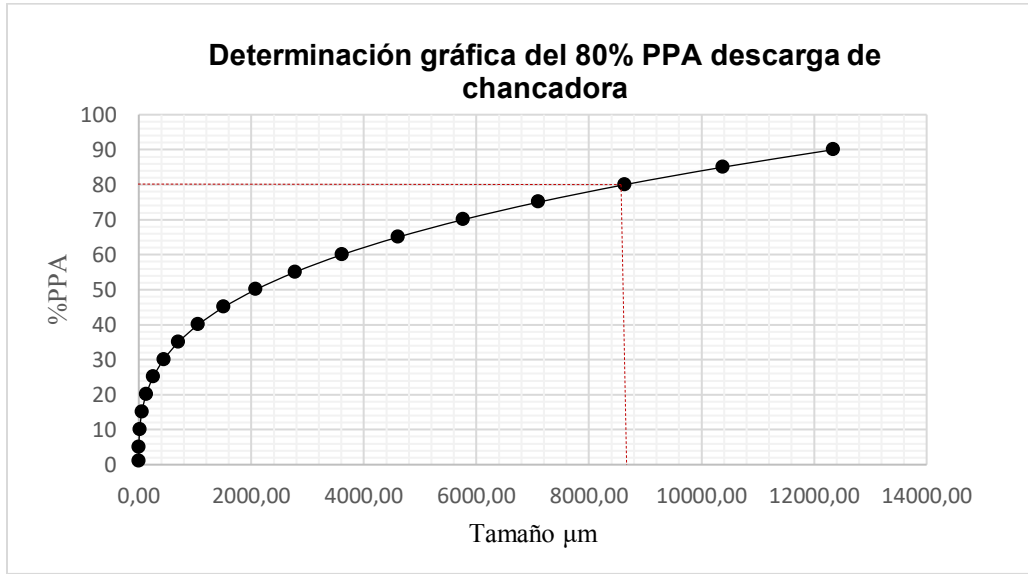
### b) Descarga de chancadora

Tabla 11. Análisis granulométrico descarga de chancadora

Malla ASTM No.	Tamaño (micrones)	Peso Alimento Chancadora (g)	% Peso	% Peso Rechazo Acumulado	% Peso Paso Acumulado
31/2	5613	417,70	30,99	30,99	69,01
8	2360	131,10	9,73	40,71	59,29
10	1651	233,40	17,31	58,03	41,97
14	1168	45,10	3,35	61,37	38,63
20	841	30,90	2,29	63,66	36,34
35	500	40,90	3,03	66,70	33,30
-35	500	448,90	33,30	100,00	0,00
TOTAL		1348,00	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 2. Representación gráfica del 80%PPA de descarga de chancadora



Fuente: Elaboración propia

En la representación gráfica del 80% PPA de descarga de la chancadora puede apreciarse que el tamaño corresponde a más de 8600 micrones.

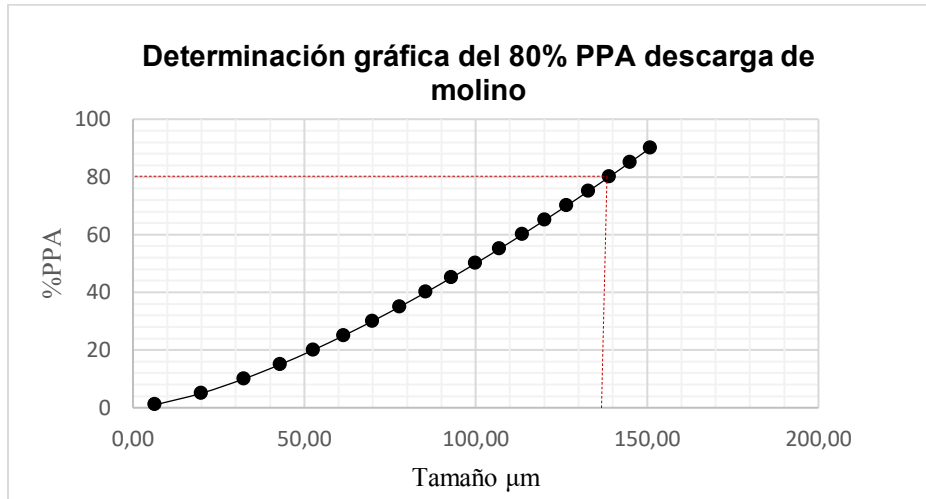
### c) Descarga de molino

Tabla 12. Análisis granulométrico descarga de molino

Malla ASTM No.	Tamaño (micrones)	Peso Alimento Chancadora (g)	% Peso	% Peso Rechazo Acumulado	% Peso Paso Acumulado
65	210	8,70	0,81	0,81	99,19
100	149	21,40	2,00	2,81	97,19
150	105	143,30	13,40	16,22	83,78
200	74	506,40	47,36	63,57	36,43
270	53	145,40	13,60	77,17	22,83
325	44	133,00	12,44	89,61	10,39
400	37	61,80	5,78	95,39	4,61
-400		49,30	4,61	100,00	0,00
TOTAL		1069,30	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3. Representación gráfica del 80%PPA de descarga de molino



Fuente: Elaboración propia

Observando la Gráfica 3 correspondiente a la descarga del molino, se observa que el 80% PPA corresponde al tamaño aproximado de 138 micrones.

### 3.4.3 Ensayos de Preoxidación

La preoxidación de la muestra se realizó empleando uno de estos dos oxidantes:

- Peróxido de Hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )
- Oxígeno industrial ( $\text{O}_2$ )

Que viene siendo la variable independiente en esta etapa.

### 3.4.3.1 Preoxidación con Peróxido de Hidrógeno

El mecanismo para la preoxidación es esquematizado de la siguiente manera que contempla las etapas de trituración y molienda a dos distintos tamaños de partícula (-150# o -200#) que es una de las variables independientes y a dos concentraciones de cianuro de sodio:

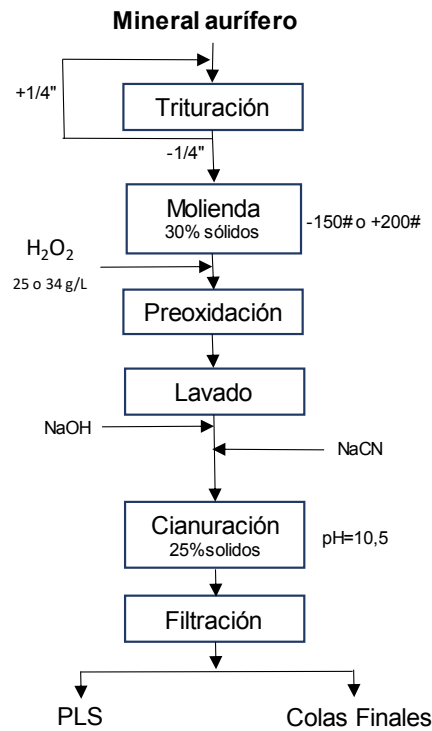


Figura 18. Mecanismo de Preoxidación con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Fuente: Elaboración propia

Por bibliografía (Carrillo Pedroza, Dávalos Sánchez, Soria Aguilar, & Peciña Treviño, 2009) y (Alvarez Caiza, Morales Arias, Tapia Batallas, Muños Rivadeneira, & López Veleceta, 2015) se consideró los siguientes rangos de concentración de peróxido de hidrógeno:

Tabla 13. Rangos de concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para preoxidación

Prueba	Concentración H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> [g/L]
1	25
2	34≈ [1M]

Fuente: Elaboración propia



Nota. El  $H_2O_2$  se halla en el mercado a una concentración del 50% m/m así que se usa el doble en peso para llegar a la concentración requerida.

Asimismo, se presentan los parámetros considerados hasta en la etapa de molienda:

Tabla 14. Condiciones de la etapa de molienda

<b>Condiciones de molienda</b>	
Cantidad de mineral	2 [Kg]
%Sólidos	30%
Tiempo de molienda	30 [min]
Granulometría	-150# (97%)
Granulometría	-200# (93%)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Condiciones de preoxidación con peróxido de hidrógeno

<b>Condiciones de preoxidación</b>	
pH natural <sub>pulpa</sub>	5
Oxidante	$H_2O_2$
Cantidad	25, 34[g/L]
Tiempo acondicionamiento	30[min]
Con enjuague	sí

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 18. Sistema de oxidación con peróxido de hidrógeno

Fuente: Elaboración propia Nota: reacción exotérmica con desprendimiento de gases Ver Anexo III

### 3.4.3.2 Preoxidación con Oxígeno Industrial

El mecanismo para la preoxidación es esquematizado de la siguiente manera:

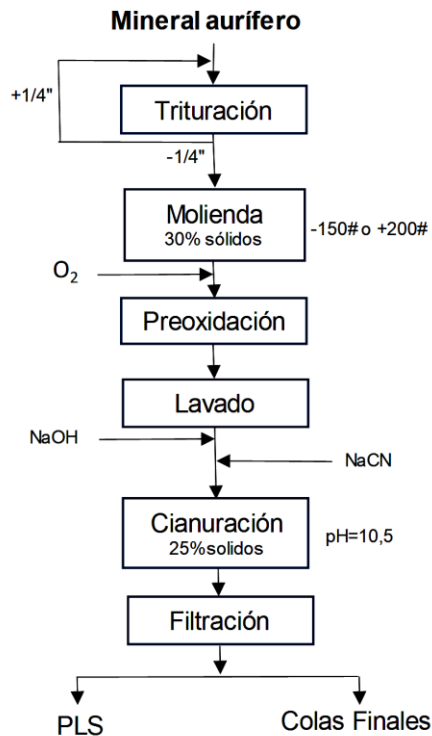


Figura 19. Mecanismo de Preoxidación con O<sub>2</sub>

Fuente: Elaboración propia

Las condiciones de molienda para el pretratamiento de oxidación con oxígeno industrial son las mismas que para el pretratamiento usando peróxido de hidrógeno. Ahora bien, en la siguiente tabla se presentan las condiciones para la etapa de oxidación con oxígeno.

Tabla 16. Condiciones de preoxidación con oxígeno industrial

<b>Condiciones de preoxidación</b>	
pH natural	5
NaOH	18[g]
Oxidante	O <sub>2</sub>
Cantidad	[L/min]
Tiempo acondicionamiento	30[min]
Con enjuague	

Fuente: Elaboración propia Nota: Se hizo uso de un cilindro de oxígeno de 6m<sup>3</sup> recién recargado. En el Anexo III se halla los cálculos para la estimación de la cantidad de oxígeno suministrado en la preoxidación.



Fotografía 19. Sistema de oxidación con oxígeno industrial y lixiviación en laboratorio

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.4 Pruebas de Lixiviación por Cianuración

Para la experimentación de cianuración después de la etapa de preoxidación, se consideraron los siguientes parámetros y las dos variables independientes restantes: tamaño de partícula y concentración de NaCN, con valores que se muestran a continuación:

#### Parámetros para la cianuración

##### Parámetros de Cianuración

Rpm:	del equipo
%Sólidos:	25
pH cianuración:	10,5
Temperatura:	ambiente

## VARIABLES DE LIXIVIACIÓN

### Cianuración

Tamaño de partícula:	150# y -200#
Concentración de NaCN [g/l]:	0,94 y 3,77

Se procedió a realizar una prueba de cianuración convencional, posteriormente se desarrollaron ocho pruebas de cianuración con NaCN a dos distintas concentraciones de acuerdo a bibliografía de 500 ppm de cianuro libre [CN<sup>-</sup>], que representa 0,94 g/L NaCN (Ver Anexo I) y al 1,2 % de cianuro que representa 2000ppm de [CN<sup>-</sup>] o 3,77 g/L de NaCN.

A continuación, se nombran las pruebas desarrolladas:

- **Una cianuración convencional, sin preoxidar la carga**

A) Cianuración convencional a -200# de tamaño de partícula y 0,94 g/L NaCN

- **Pruebas preoxidando con peróxido de hidrógeno**

B) Cianuración a -150# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN

C) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 34 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 0,94g/L de NaCN

D) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN

E) Réplica cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN

- **Pruebas experimentales preoxidando con oxígeno industrial**

F) Cianuración a -150# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 3,77g/L de NaCN

G) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 0,94g/L de NaCN

H) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 50 min y 3,77g/L de NaCN

I) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 3,77g/L de NaCN

**Prueba A) Cianuración convencional a -200# de tamaño de partícula y 0,94 g/L NaCN**

El mecanismo de cianuración convencional se ilustra en la siguiente figura:

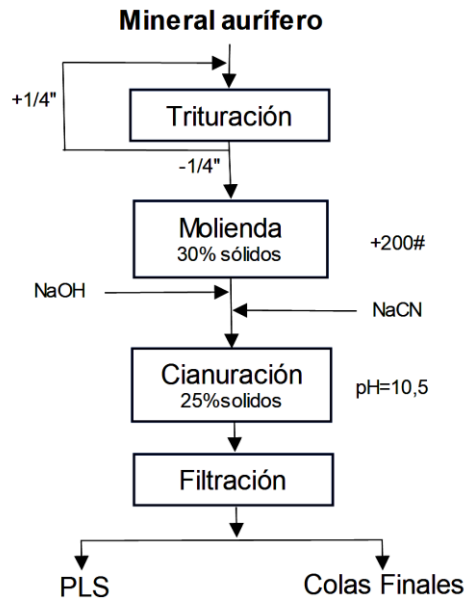


Figura 20. Mecanismo de cianuración convencional

Fuente: Elaboración propia

Las condiciones para la cianuración convencional:

Tabla 17. Condiciones de cianuración convencional

<b>Condiciones de cianuración</b>	
pH natural pulpa	4,5-5
%sólidos	25%
rpm	del equipo
NaOH	12,3 [g]
pH lixiviación	10,5
CN <sup>-</sup>	500 [ppm]
NaCN <sub>Total</sub>	2,83 [g]

Fuente: Elaboración propia

**Prueba B) Cianuración a -150# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN**

Se describen las condiciones para la molienda, pretratamiento y cianuración:

**Condiciones de molienda**

Tiempo de molienda:	30 [min]
Granulometría:	-150# (97%)
%Sólidos:	30%

Antes de la preoxidación con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se eleva el pH de la pulpa a 9 con NaOH ya que peróxido de hidrógeno al 50% puede actuar como oxidante (en pHs alcalinos) y como reductor (en pHs ácidos). (Químicos, Sydney 2000 Productos, 2000).

Se procede del mismo modo en las tres pruebas restantes oxidadas con peróxido de hidrógeno.

**Condiciones de preoxidación**

pH <sub>pulpa</sub> con NaOH:	9
Oxidante:	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Concentración oxidante:	25[g/L]
Tiempo acondicionamiento:	30[min]
Con enjuague	

Después de realizar la oxidación se procede a un enjuague con 2/3 del volumen de la solución, entonces el pH natural de la pulpa retorna al valor de 4,5 - 5, por lo que es necesario elevarlo a 10,5 empleando NaOH nuevamente. Del mismo modo las tres pruebas restantes son desarrolladas, considerando el valor del pH.

**Condiciones de cianuración**

pH natural pulpa:	4,5-5
%Sólidos:	25%
Rpm:	del equipo
NaOH:	9 [g]
pH lixiviación:	10,5
CN <sup>-</sup> :	500 [ppm]
NaCN <sub>(Total)</sub> :	2,83 [g]

**Prueba C) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 34 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 0,94g/L de NaCN**

Del mismo modo, en esta tercera prueba (denominada Prueba “C”) las condiciones para la cianuración previo tratamiento fueron las siguientes:

**Condiciones de molienda**

Tiempo de molienda:	30 [min]
Granulometría:	-200# (93%)
%Sólidos:	30%

**Condiciones de preoxidación**

Oxidante:	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Concentración del agente oxidante:	34[g/L]
Tiempo acondicionamiento:	30[min]
Con enjuague	

**Condiciones de cianuración**

pH natural pulpa:	4,5-5
%sólidos:	25%
rpm:	del equipo
NaOH:	12,3 [g]
pH lixiviación:	10,5
CN <sup>-</sup> :	500 [ppm]
NaCN <sub>(Total)</sub> :	2,83 [g]

**Prueba D) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN**

Para esta cuarta prueba experimental de cianuración del material refractario, las condiciones de la molienda, preoxidación y cianuración fueron las siguientes:

**Condiciones de molienda**

Tiempo de molienda:	30 [min]
Granulometría:	-200# (93%)
%Sólidos:	30%

### Condiciones de preoxidación

Oxidante:	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Concentración oxidante:	25[g/L]
Tiempo acondicionamiento:	30[min]
Con enjuague:	

### Condiciones de cianuración

pH natural pulpa:	4,5-5
%Sólidos:	25%
Rpm:	del equipo
NaOH:	10 [g]
pH lixiviación:	10,5
CN <sup>-</sup> :	500 [ppm]
NaCN <sub>(Total)</sub> :	11,31 [g]

### Prueba E) Réplica cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN

En esta quinta prueba experimental se tienen las siguientes condiciones para las etapas de molienda, preoxidación y cianuración:

### Condiciones de molienda

Tiempo de molienda:	30 [min]
Granulometría:	-200# (93%)
%Sólidos:	30%

### Condiciones de preoxidación

Oxidante:	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Concentración oxidante:	25[g/L]
Tiempo acondicionamiento:	30[min]
Con enjuague:	

### Condiciones de cianuración

pH natural pulpa:	4,5-5
%Sólidos:	25%



Rpm:	del equipo
NaOH:	10 [g]
pH lixiviación:	10,5
CN <sup>-</sup> :	500 [ppm]
NaCN <sub>(Total)</sub> :	11,31 [g]

**Prueba F) Cianuración a -150# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 3,77g/L de NaCN**

En la sexta prueba experimental se oxida la carga de colas remolida empleando oxígeno industrial por un tiempo de 30 minutos, los cálculos para la estimación de la cantidad se detallan en el Anexo III.

Se tienen las siguientes condiciones para estas etapas:

**Condiciones de molienda**

Tiempo de molienda:	30 [min]
Granulometría:	-150# (97%)
%Sólidos:	30%

**Condiciones de preoxidación**

pH natural:	5
Oxidante:	O <sub>2</sub>
Cantidad:	[L/min]
Tiempo acondicionamiento:	30[min]
Con enjuague	

**Condiciones de cianuración**

pH natural pulpa:	4,5-5
%Sólidos:	25%
Rpm:	del equipo
NaOH:	9 [g]
pH lixiviación:	10,5
CN <sup>-</sup> :	2000 [ppm]
NaCN <sub>(Total)</sub> :	11,31 [g]

**Prueba G) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 0,94g/L de NaCN**

La prueba número siete fue desarrollada bajo las siguientes condiciones:

**Condiciones de molienda**

Tiempo de molienda:	30 [min]
Granulometría:	-200# (93%)
%Sólidos:	30%

**Condiciones de preoxidación**

Oxidante:	O <sub>2</sub>
Cantidad:	[L/min]
Tiempo acondicionamiento:	30[min]
Con enjuague	

**Condiciones de cianuración**

pH natural pulpa:	4,5-5
%Sólidos:	25%
Rpm:	del equipo
NaOH:	9 [g]
pH lixiviación:	10,5
CN <sup>-</sup>	500 [ppm]
NaCN <sub>Total</sub>	2,81 [g]

**Prueba H) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 50 min y 3,77g/L de NaCN**

La octava prueba de pretratamiento y cianuración fue desarrollada bajo las siguientes condiciones:

**Condiciones de molienda**

Tiempo de molienda:	30 [min]
Granulometría:	-200# (93%)
%Sólidos:	30%

**Condiciones de preoxidación**

pH natural:	5
Oxidante:	O <sub>2</sub>
Cantidad:	[L/min]
Tiempo acondicionamiento:	30[min]
Con enjuague	

### Condiciones de cianuración

pH natural pulpa:	4,5-5
%Sólidos:	25%
Rpm:	del equipo
NaOH:	9 [g]
pH lixiviación:	10,5
CN <sup>-</sup> :	2000 [ppm]
NaCN <sub>(Total)</sub> :	11,31 [g]

### Prueba I) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 3,77g/L de NaCN

La última prueba experimental, fue desarrollada bajo las siguientes condiciones:

### Condiciones de molienda

Tiempo de molienda:	30 [min]
Granulometría:	-200# (93%)
%Sólidos:	30%

### Condiciones de preoxidación

Oxidante:	O <sub>2</sub>
Cantidad:	[L/min]
Tiempo acondicionamiento:	30[min]
Con enjuague	

### Condiciones de cianuración

pH natural pulpa:	4,5-5
%Sólidos:	25%
Rpm:	del equipo
NaOH:	9[g]
pH lixiviación:	10,5
CN <sup>-</sup> :	2000 [ppm]
NaCN <sub>(Total)</sub> :	11,31 [g]

## CAPÍTULO IV

### 4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Resultados

##### 4.1.1 Análisis Ley de Cabeza

Como la carga sometida a estudio es de oro y este se encuentra en sulfuros como se reporta en los análisis de caracterización mineralógica, se obtuvieron tres valores cercanos de diferentes laboratorios, cuyo promedio es de 37, 44 g/t. Sin embargo, se realizaron otros cuatro análisis químicos de colas de los procesos de lixiviación, llegando así a contar con siete muestras, por tanto, el promedio a considerarse es:

Tabla 18. Análisis ley de cabeza

<b>Ley de cabeza</b>	<b>[g Au/t]</b>
IIMET MAT	38,67
GOLDMINS SRL	29,34
CONDE MORALES	44,3
<b>Promedio</b>	<b>37,44</b>
<b>Ley de Cabeza Calculada</b>	<b>[g/t]</b>
Cianuración Convencional	32,65
Cianuración con O <sub>2</sub> (30 min), -200# y 0,94 g/L de NaCN	19,39
Cianuración con 34g/L de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , -200# y 0,94 g/L de NaCN	24,00
Cianuración con 25g/L de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , -200# y 3,77 g/L de NaCN	24,73
<b>Promedio</b>	<b>25,19</b>
<b>Promedio Gral. Ley Cabeza</b>	<b>31,31</b>

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla el promedio general de ley de cabeza considerado para este Proyecto es de 31,31 g Au/t

##### 4.1.2 Peso Específico Real y Aparente

El peso específico real promedio que se determinó es.

Peso Específico Real: 3, 05 [g/ml]

Característico de los minerales con contenidos de sulfuros

En cuanto al peso específico aparente, el valor calculado promedio

Peso específico aparente: 1,76 [g/ml]

### 4.1.3 Análisis Granulométrico

De acuerdo a las gráficas elaboradas en función al tamaño de malla y el %Peso Rechazo Acumulado y % Peso Paso Acumulado, se conoce lo siguiente (Ver Anexo II):

- a) Tamaño de corte al 80% PPA de alimentación a chancadora es: 14569,87 $\mu$ m
- b) Tamaño de corte al 80% PPA de descarga de chancadora es: 8635,91 $\mu$ m
- c) Tamaño de corte al 80% PPA de descarga de molino es: 138,96 $\mu$ m

Lo que indica que nuestro mineral es de baja dureza.

### 4.1.4 Análisis Mineralógico, DRX Y FRX

Los reportes de los análisis de FRX fueron realizados a la muestra original (Ver Tabla 2) y al producto del pretratamiento oxidando con peróxido de hidrógeno y posterior cianuración a la "Prueba E" (Tabla 19).

Tabla 19. Análisis FRX al producto de pretratamiento y cianuración de la "Prueba E"

TROZOS (%)	
Zn	0,058
Pb	0,121
Sn	0,012
As	6,186
Cu	0,024
Sb	0,018
P	0,018
WO <sub>3</sub>	0,416
Ca	0,210
Fe	24,329
S	11,156
SiO <sub>2</sub>	5,169
Mg	0,414
Al	0,277
K	0,650
Ti	0,316
V	0,005
Cr	0,014
Mn	0,025
Co	0,006
Ni	0,012
Ga	0,002
Rb	0,001
Sr	0,003
Y	0,004
Zr	0,001
Ba	0,030
Hg	0,030
Th	0,001
U	0,002

De acuerdo con los resultados de FRX a la muestra inicial y después del proceso, se puede observar el efecto de la oxidación con peróxido que no alteró las cantidades de los elementos presentes en la muestra, es posible que sí hubo reacciones de combinación o sustitución misma que se apreciará en los resultados del análisis DRX.

De este modo se han realizado los correspondientes análisis de Difracción de Rayos X (DRX), a la muestra original y a los productos de la preoxidación (empleando peróxido u oxígeno), todo ello antes de la lixiviación. A continuación, se presentan los resultados del análisis DRX a cuatro de las ocho pruebas realizadas, esto en base a los productos donde se obtuvieron mejores recuperaciones:

**[Prueba D]** Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de  $H_2O_2$  y 3,77g/L de NaCN

**[Prueba E]** Réplica cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de  $H_2O_2$  y 3,77g/L de NaCN

**[Prueba H]** Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con  $O_2$  por 50 min y 3,77g/L de NaCN

**[Prueba I]** Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con  $O_2$  por 30 min y 3,77g/L de NaCN

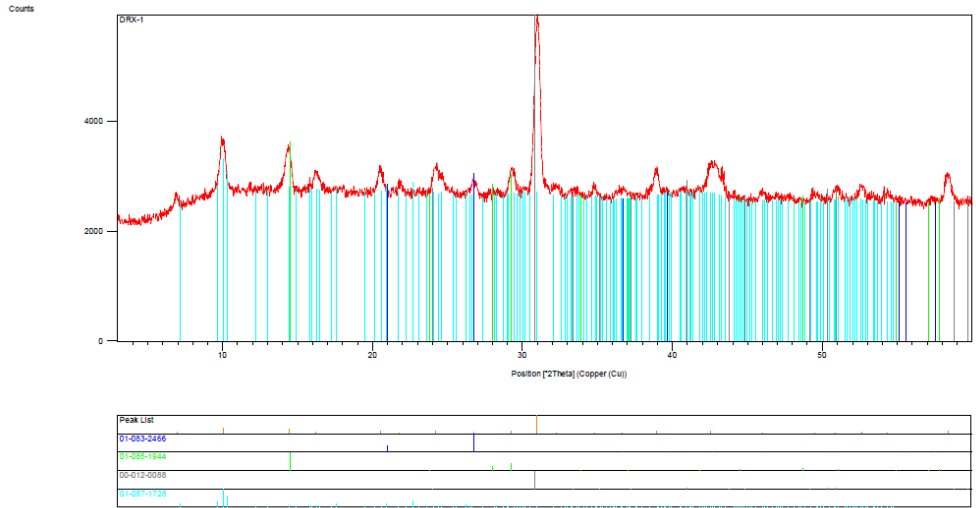


Figura 21. Análisis de Difracción de Rayos X de la prueba de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN (Prueba D)

Fuente: Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente - IGEMA

### Identificación de fases cristalinas

#### A. Componentes mayoritarios

1	Ankerita	Ca ( Mg <sub>0.67</sub> Fe <sub>0.33</sub> +2 ) ( C O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
---	----------	---

#### B. Componentes minoritarios

1	Cuarzo	Si O <sub>2</sub>
2	Pyrochloro	K <sub>0.056</sub> Sr <sub>0.014</sub> Ca <sub>0.017</sub> ( H <sub>2</sub> O ) <sub>0.704</sub> Nb <sub>1.04</sub> Ti <sub>0.288</sub> ( O <sub>2.595</sub> ( OH ) <sub>1.234</sub> ) ( H <sub>2</sub> O ) <sub>2.405</sub>
3	Stilbita	Na <sub>16.75</sub> Ca <sub>5.48</sub> ( Al <sub>17.27</sub> Si <sub>54.40</sub> O <sub>148.56</sub> ) ( H <sub>2</sub> O ) <sub>5.84</sub>

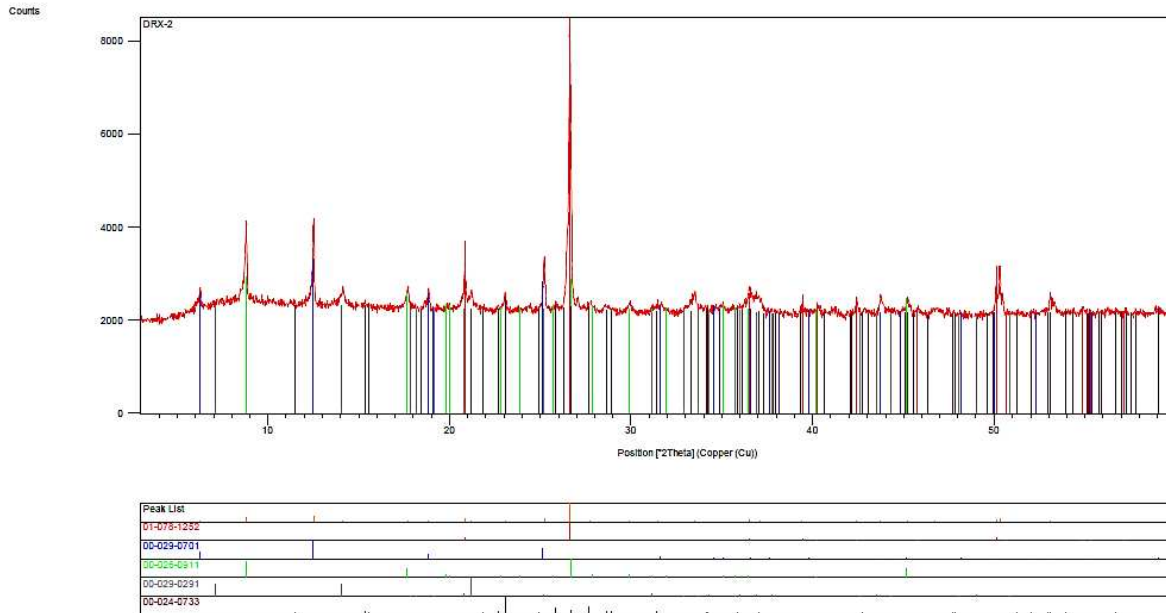


Figura 22. Difracción de Rayos X a muestra de la réplica cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN (Prueba E)

Fuente: Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente – IGEMA

## Identificación de fases cristalinas

### A. Componentes mayoritarios

1	Clinochloro	( Mg , Fe ) <sub>6</sub> ( Si , Al ) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ( O H ) <sub>8</sub>
2	Illita	( K , H <sub>3</sub> O ) Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( O H ) <sub>2</sub>

### B. Componentes minoritarios

1	Cuarzo	Si O <sub>2</sub>
2	Vertumnita	Ca <sub>4</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>6</sub> ( O H ) <sub>24</sub> ! <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O
3	brimstona	S



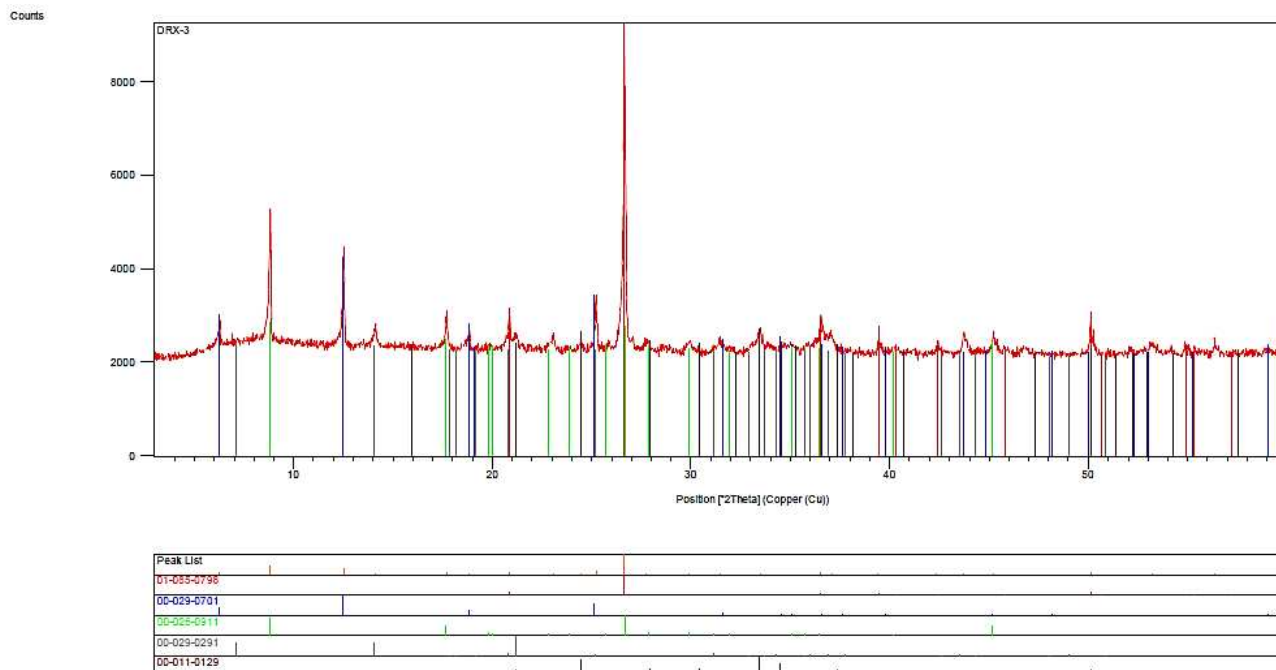


Figura 23. Difracción de Rayos X a muestra de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 50 min y 3,77g/L de NaCN (Prueba H)

Fuente: Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente – IGEMA

## Identificación de fases cristalinas

### A. Componentes mayoritarios

1	Clinochloro	( Mg , Fe ) <sub>6</sub> ( Si , Al ) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ( O H ) <sub>8</sub>
2	Illita	( K , H <sub>3</sub> O ) Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( O H ) <sub>2</sub>

### B. Componentes minoritarios

1	Cuarzo	Si O <sub>2</sub>
2	Vertumnita	Ca <sub>4</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>6</sub> ( O H ) <sub>24</sub> I <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O
3	Monticellite	Ca Mg Si O <sub>4</sub>

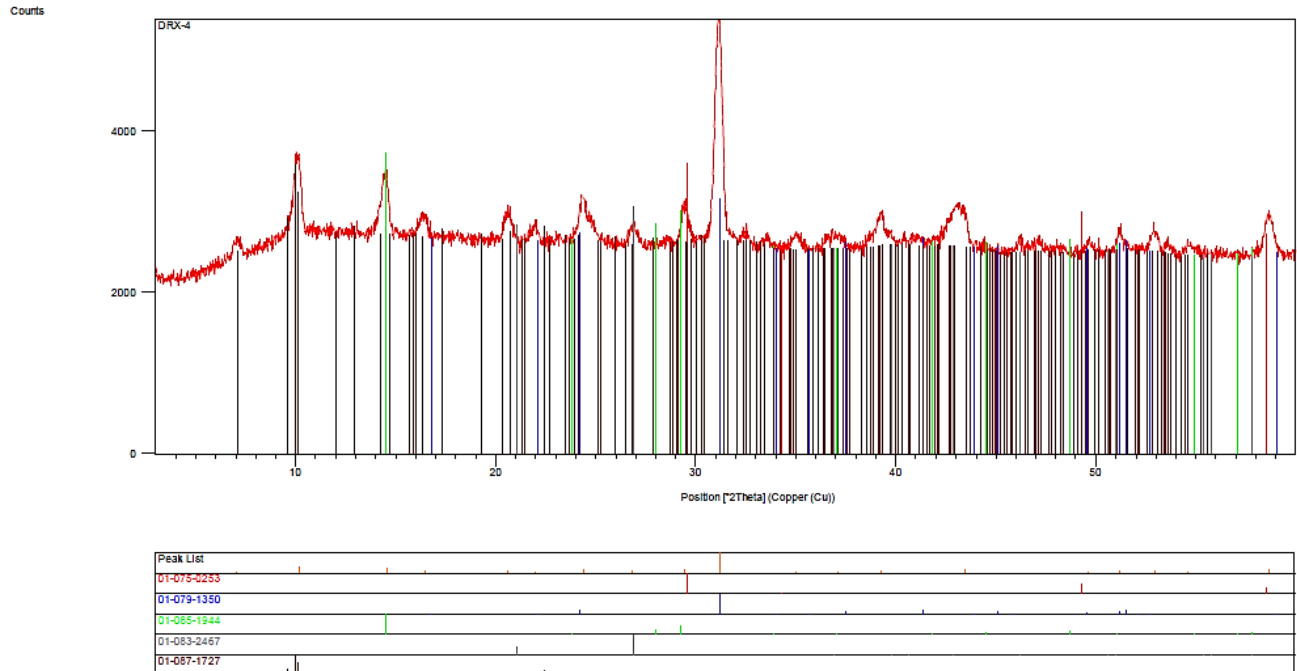


Figura 24. Difracción de Rayos X a muestra de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 3,77g/L de NaCN (Prueba I)

Fuente: Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente – IGEMA

## Identificación de fases cristalinas

### A. Componentes mayoritarios

1	Ankerita	Ca.997 ( Mg.273 Fe.676 Mn.054 ) ( C O3 )2
2	Pyrochloro	K.056 Sr.014 Ca.017 ( H2 O ).704 Nb1.04 Ti.288 ( O2.595 ( OH )1.234 ) ( H2 O )2.405
3	Stilbita	Na7.67 Ca4.84 ( Al17.35 Si54.65 O144 ) ( H2 O )17.04

### B. Componentes minoritarios

1	Cuarzo	Si O2
2	Chalcopirita	Cu Fe S2

## Ensayos de oxidación con Peróxido de Hidrógeno y Oxígeno Industrial

De acuerdo con los análisis de Difracción de Rayos X a los productos de las pruebas de oxidación realizadas con peróxido de hidrógeno bajo las condiciones descritas a continuación:

**[Prueba D]**

**[Prueba E]**

Se puede apreciar la presencia de piritas y calcopiritas que no han cambiado su estructura sino lo que se logró con la preoxidación fue fracturar la superficie dura de estos sulfuros para así lograr la lixiviación por cianuración del oro encapsulado en su matriz sulfurosa.

Por otro lado, de acuerdo con los análisis de Difracción de Rayos X a los productos de las pruebas de oxidación con oxígeno industrial bajo las condiciones descritas a continuación:

**[Prueba H]**

**[Prueba I]**

Fue del mismo modo, la fracturación de las superficies sulfurosas ya que los compuestos presentes tienen contenido de sulfuros y hierro.

### 4.1.5 Ensayos de Lixiviación por Cianuración

#### Prueba A) Cianuración convencional a -200# de tamaño de partícula y 0,94 g/L NaCN

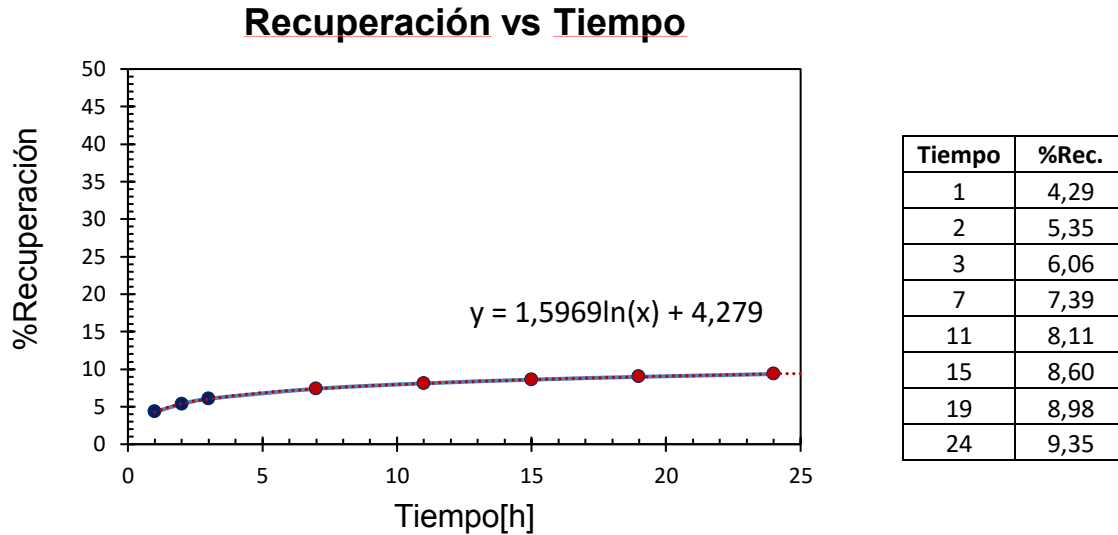
Tabla 20. Balance metalúrgico de cianuración convencional a -200# de tamaño de partícula y 0,94 g/L

NaCN

Balance Metalúrgico							
Producto	Peso [Kg]	Volumen [L]	mg/L Au	Au [g/t]	Finas Au[g]	%Recuperación	Hora
PLS 1		3,00	0,467		0,00140	4,29	1
PLS 2		3,00	0,582		0,00175	5,35	2
PLS 3		3,00	0,659		0,00198	6,06	3
Colas	1,00			30,67	0,03067	93,94	
Alim.	1,00			32,65	0,03265	100,00	
Calc.							

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. Recuperación vs tiempo de cianuración convencional



Fuente: Elaboración propia

Tiempo	%Rec.
24 h	9,35

Todos los minerales no oxidados exhiben un nivel muy bajo de oro lixiviable con bajas recuperaciones (típicamente <20%) cuando es por cianuración directa. Esta sugerencia que el mineral primario, en su conjunto, es de naturaleza altamente refractaria y por lo tanto tendrá que ser procesado usando un apropiado método (Badri & Zammankhan, 2013) esto puede comprobarse observando la recuperación a la cual se llegó que es de aproximadamente 10% para 24 horas.

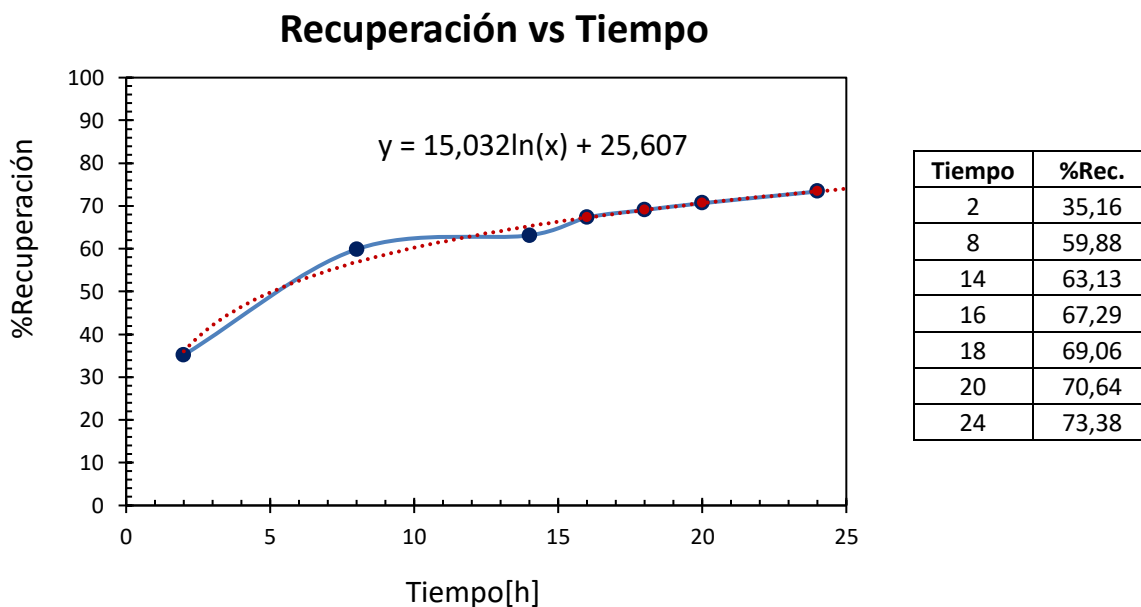
**Prueba B) Cianuración a -150# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN**

Tabla 21. Balance metalúrgico de cianuración a -150# de tamaño de partícula preoxidando con 25[g/L] de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77 g/L NaCN

Balance Metalúrgico							
Producto	Peso [Kg]	Volumen [L]	mg/L Au	Au [g/t]	Finas Au[g]	%Recuperación	Hora
PLS 1		3,00	3,67		0,0110	35,16	2
PLS 1		3,00	6,25		0,0188	59,88	8
PLS 3		3,00	6,59		0,0198	63,13	14
Colas Calc.	1,00			11,54	0,0115	36,87	
Alim. Calc.	1,00			31,31	0,0313	100,00	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5. Recuperación vs. Tiempo de cianuración a -150# de tamaño de partícula preoxidando con 25[g/L] de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77 g/L NaCN



Fuente: Elaboración propia

<b>Tiempo</b>	<b>%Rec.</b>
24 h	73,38

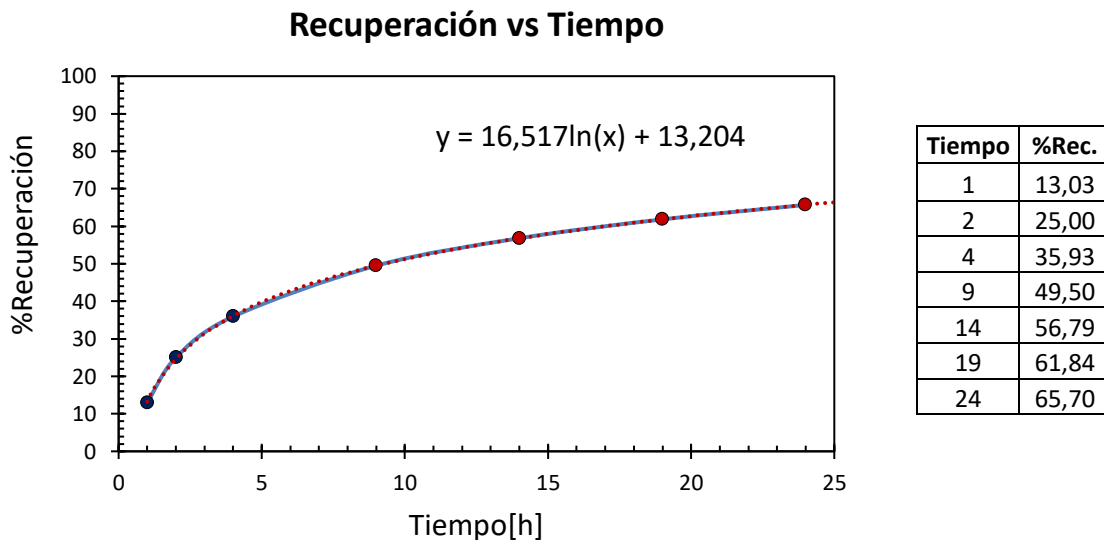
**Prueba C) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 34 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 0,94g/L de NaCN**

Tabla 22. Balance metalúrgico de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 34 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 0,94g/L de NaCN

Balance Metalúrgico							
Producto	Peso [Kg]	Volumen [L]	mg/L Au	Au [g/t]	Finas Au [g]	%Recuperación	Hora
PLS 1		3,00	1,36		0,0041	13,03	1
PLS 2		3,00	2,61		0,0078	25,00	2
PLS 3		3,00	3,75		0,0113	35,93	4
Colas Calc.	1,00			20,06	0,0201	64,07	
Alim. Calc.	1,00			31,31	0,03131	100,00	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 6. Recuperación vs. Tiempo de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 34 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 0,94g/L de NaCN



Fuente: Elaboración propia

**Tiempo**      **%Rec.**  
**24 h**        **65,70**

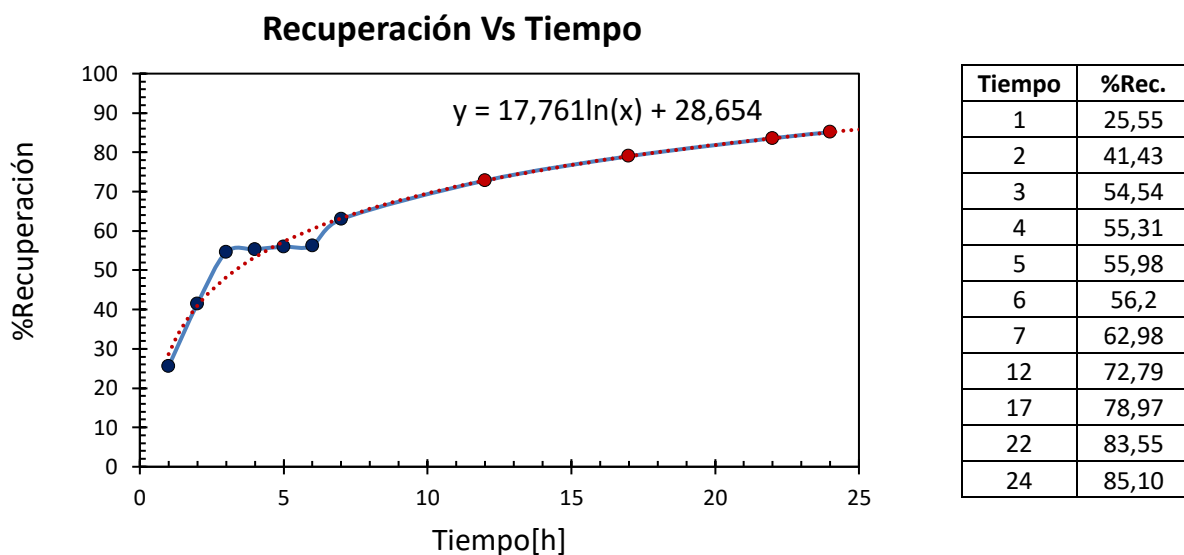
**Prueba D) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN**

Tabla 23. Balance metalúrgico de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN

Balance Metalúrgico							
Producto	Peso [Kg]	Volumen [L]	mg/L Au	Au [g/t]	Finas Au [g]	%Recuperación	Hora
PLS 1		3,00	2,3		0,007	25,55	1
PLS 2		3,00	3,73		0,011	41,43	2
PLS 3		3,00	4,91		0,015	54,54	3
PLS 4		3,00	4,98		0,015	55,31	4
PLS 5		3,00	5,04		0,015	55,98	5
PLS 6		3,00	5,06		0,015	56,20	6
PLS 7		3,00	5,67		0,017	62,98	7
Colas	1,00			10,0	0,010	37,02	
Alim. Calc.	1,00			27,01	0,027	100,00	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 7. Recuperación vs. Tiempo de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN



Fuente: Elaboración propia

**Tiempo**    **%Rec.**  
**24 h**      **85,10**

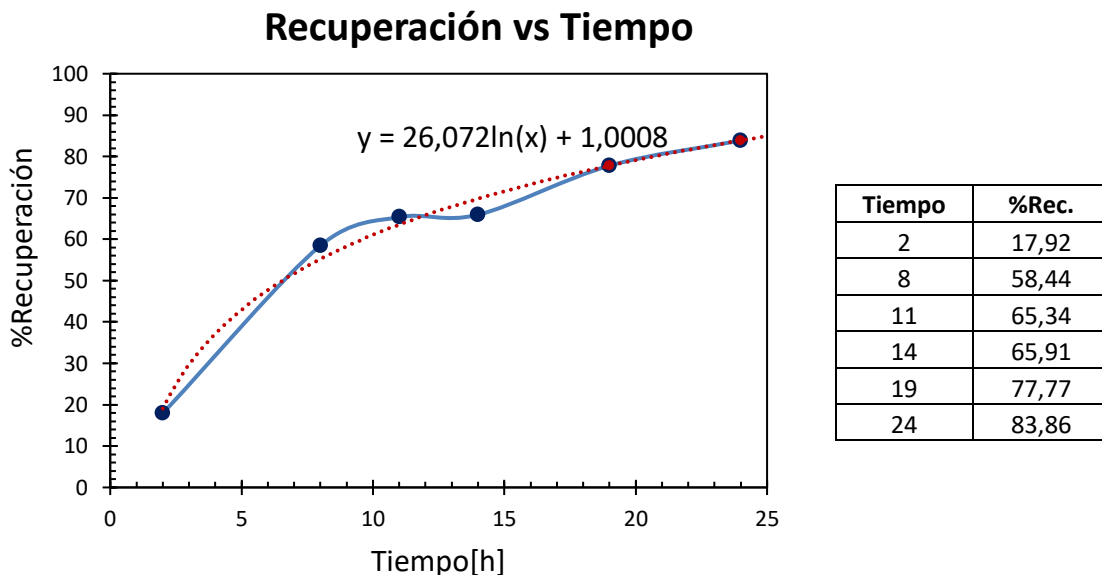
**Prueba E) Réplica cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN**

Tabla 24. Balance metalúrgico de réplica cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN

Balance Metalúrgico							
Producto	Peso [Kg]	Volumen [L]	mg/L Au	Au [g/t]	Finas Au[g]	%Recuperación	Hora
PLS 1		3,00	1,87		0,0056	17,92	2
PLS 1		3,00	6,10		0,0183	58,44	8
PLS 3		3,00	6,82		0,0205	65,34	11
PLS 4		3,00	6,88		0,0206	65,91	14
Colas Calc.	1,00			10,67	0,0107	34,09	
Alim. Calc.	1,00			31,31	0,0313	100,00	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 8. Recuperación vs. tiempo de réplica de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con 25 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 3,77g/L de NaCN



Fuente: Elaboración propia

<b>Tiempo</b>	<b>%Rec.</b>
24 h	83,85



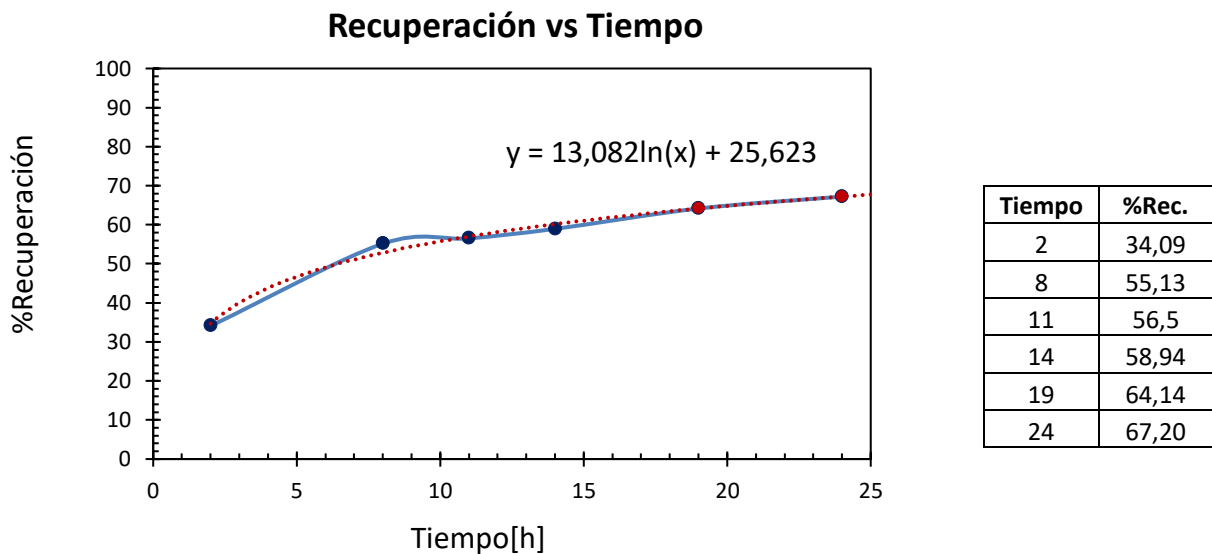
**Prueba F) Cianuración a -150# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 3,77g/L de NaCN**

Tabla 25. Balance metalúrgico de cianuración a -150# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 3,77g/L de NaCN

Balance Metalúrgico							
Producto	Peso [Kg]	Volumen [L]	mg/L Au	Au [g/t]	Finas Au[g]	%Recuperación	Hora
PLS 1		3,00	3,56		0,0107	34,09	2
PLS 1		3,00	5,76		0,0173	55,13	8
PLS 3		3,00	5,90		0,0177	56,50	11
PLS 4		3,00	6,15		0,0185	58,94	14
Colas Calc.	1,00			12,86	0,0129	41,06	
Alim. Calc.	1,00			31,31	0,0313	100,00	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 9. Recuperación vs. tiempo de cianuración a -150# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 3,77g/L de NaCN



Fuente: Elaboración propia

<b>Tiempo</b>	<b>%Rec.</b>
<b>24 h</b>	<b>67,20</b>

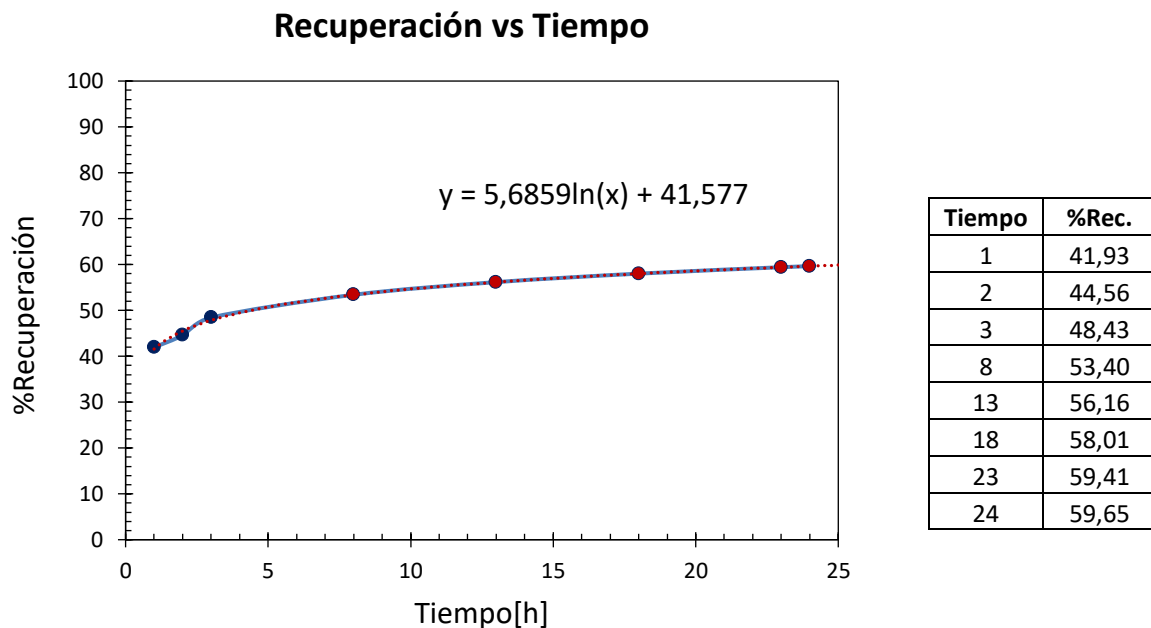
**Prueba G) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 0,94g/L de NaCN**

Tabla 26. Balance metalúrgico de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 0,94g/L de NaCN

Balance Metalúrgico							
Producto	Peso [Kg]	Volumen [L]	mg/L Au	Au [g/t]	Finas Au[g]	%Recuperación	Hora
PLS 1		3,00	2,71		0,0081	41,93	1
PLS 1		3,00	2,88		0,0086	44,56	2
PLS 3		3,00	3,13		0,0094	48,43	3
Colas	1,00			10,00	0,0100	51,57	
Alim. Calc.	1,00			19,39	0,0194	100,00	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 10. Recuperación vs tiempo de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 0,94g/L de NaCN



Fuente: Elaboración propia

<b>Tiempo</b>	<b>%Rec.</b>
<b>24 h</b>	<b>59,66</b>

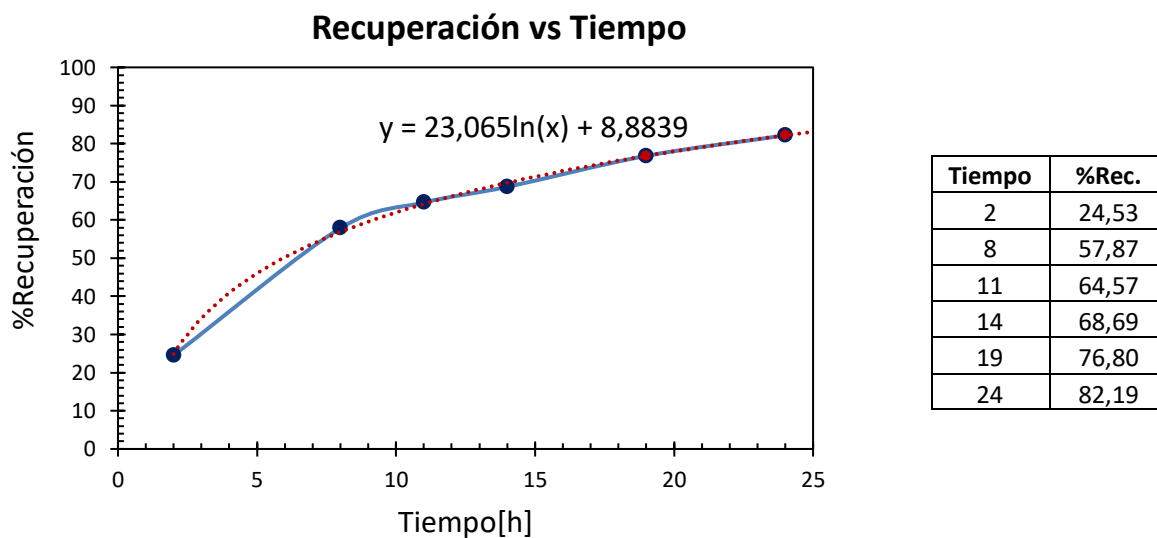
**Prueba H) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 50 min y 3,77g/L de NaCN**

Tabla 27. Balance metalúrgico de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 50 min y 3,77g/L de NaCN

Balance Metalúrgico							
Producto	Peso [Kg]	Volumen [L]	mg/L Au	Au [g/t]	Finas Au[g]	%Recuperación	Hora
PLS 1		3,00	2,56		0,0077	24,53	2
PLS 1		3,00	6,04		0,0181	57,87	8
PLS 3		3,00	6,74		0,0202	64,57	11
PLS 4		3,00	7,17		0,0215	68,69	14
Colas Calc.	1,00			9,80	0,0098	31,31	
Alim. Calc.	1,00			31,31	0,0313	100,00	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 11. Recuperación vs. tiempo de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 50 min y 3,77g/L de NaCN



Fuente: Elaboración propia

<b>Tiempo</b>	<b>%Rec.</b>
<b>24 h</b>	<b>82,18</b>

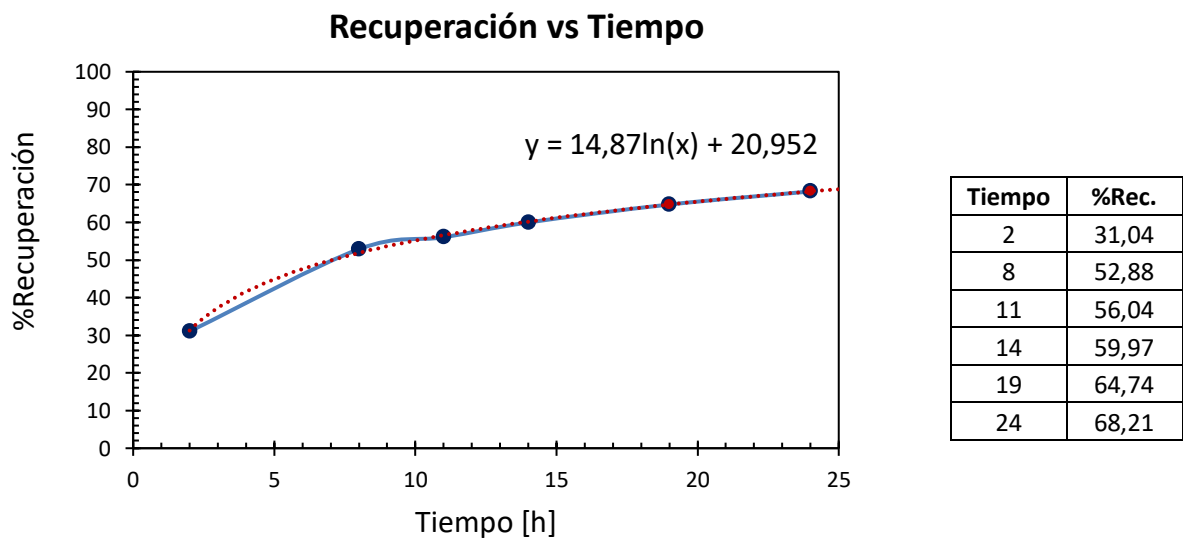
**Prueba I) Cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 3,77g/L de NaCN**

Tabla 28. Balance metalúrgico cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 3,77g/L de NaCN

Balance Metalúrgico							
Producto	Peso [Kg]	Volumen [L]	mg/L Au	Au [g/t]	Finas Au[g]	%Recuperación	Hora
PLS 1		3,00	3,24		0,0097	31,04	2
PLS 1		3,00	5,52		0,0166	52,88	8
PLS 3		3,00	5,85		0,0176	56,04	11
PLS 4		3,00	6,26		0,0188	59,97	14
Colas	1,00			12,53	0,0125	40,03	
Alim.	1,00			31,31	0,0313	100,00	
Calc.							

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 12. Recuperación vs. tiempo de cianuración a -200# de tamaño de partícula, preoxidando con O<sub>2</sub> por 30 min y 3,77g/L de NaCN



Fuente: Elaboración propia

Tiempo	%Rec.
24 h	68,21%

En síntesis, en la siguiente tabla y gráfico se presenta las recuperaciones de las nueve pruebas experimentales bajo las condiciones establecidas con anterioridad, realizando una regresión para 24 horas:

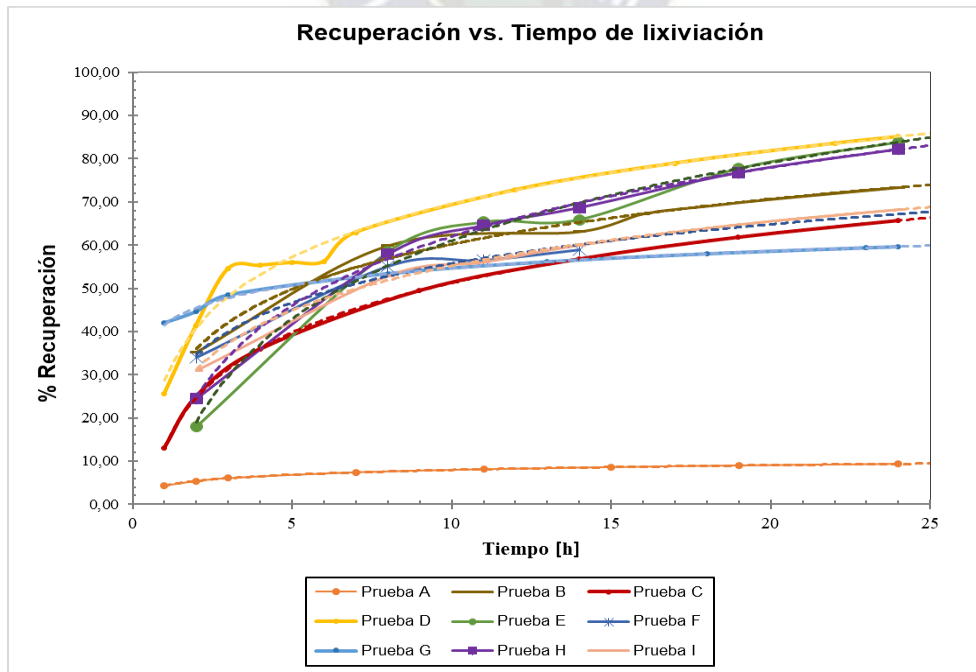
Tabla 29. Resumen de pruebas experimentales desarrolladas

PRUEBA	Tamaño de partícula		Oxidante		Lixiviante	Tiempo [h]	Recuperación [%]
	150#	200#	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> [g/L]	O <sub>2</sub> [min]	NaCN[g/L]		
	<b>A</b>		✓				
<b>B</b>	✓		25		3,77	24	73,38
<b>C</b>		✓	34		0,94	24	65,70
<b>D</b>		✓	25		3,77	24	85,10
<b>E</b>		✓	25		3,77	24	83,85
<b>F</b>	✓			30	3,77	24	67,20
<b>G</b>		✓		30	0,94	24	59,66
<b>H</b>		✓		50	3,77	24	82,18
<b>I</b>		✓		30	3,71	24	68,21

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 29, las mejores recuperaciones se presentan en las pruebas “D” y “E” fueron realizadas bajo las mismas condiciones, y el promedio de la recuperación de ambas es 84,48%.

Gráfica 13. Resumen de pruebas de lixiviación Recuperación vs. Tiempo



## 4.2 Verificación de hipótesis

Se plantearon dos hipótesis:

- Hipótesis verdadera: que establecía que sí es posible recuperar oro de las colas auríferas refractarias.
- Hipótesis falsa: que establecía que no es posible recuperar oro de las colas auríferas refractarias.

Entonces, observado los resultados de los balances hidrometalúrgicos y de las gráficas de cinética de lixiviación (Recuperación vs Tiempo) se puede decir lo siguiente:

Es posible la recuperación de oro de este tipo de muestra dados las siguientes condiciones:

- a) La oxidación debe ser a un tamaño de partícula de -200# que significa a un tamaño de  $74\mu\text{m}$  con el agente oxidante peróxido de hidrógeno  $\text{H}_2\text{O}_2$  a una concentración de 25 g/L ya que la reacción es exotérmica y favorece el proceso de oxidación. El tiempo de acondicionamiento es de 30 minutos posteriormente se realiza un enjuague de la muestra y se procede a la cianuración convencional al 25% en sólidos y 3,77 g/L NaCN.
- b) El tiempo de lixiviación experimental en laboratorio que fue de 14 horas brindó una recuperación de 66% proyectando a un tiempo de 24 horas de las dos pruebas "D" y "E" se tiene una recuperación aproximada de 84,48%

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

1. De acuerdo con la caracterización mineralógica se tiene como elementos mayoritarios a hierro [Fe] 23,62%, azufre [S] 15,33% y sílice [SiO<sub>2</sub>] 7,13%, Observando como mayores cianicidas al arsénico [As] con un contenido referencial de 3,968%; seguido de cobre [Cu] 0,032% y antimonio [Sb] 0,014%. Asimismo, en las micrografías se aprecia subpartículas de oro menor a 150 mallas. Por otro lado, la ley de cabeza promedio tomado en cuenta para los cálculos en el Proyecto fue de 31,31 g/t Au. De ese modo se establece que el oro se encuentra encapsulado y diseminado en los sulfuros.
2. Se ha desarrollado el siguiente pretratamiento de la carga de colas auríferas refractarias: una remolienda a – 75 y -105 micrones de tamaño (-200 y -150# respectivamente) prosiguiendo con la preoxidación empleando por un lado peróxido de hidrógeno y por el oxígeno industrial para posteriormente proseguir con la etapa de cianuración.
3. Se realizaron nueve pruebas de cianuración, incluyendo una cianuración directa sin pretratamiento a dos distintas concentraciones de cianuro de sodio, 0,94 y 3,77 g/L. Las ocho pruebas restantes fueron desarrolladas variando la concentración del agente lixivante, previa variación en el tamaño de partícula y variación del agente oxidante desarrollados con anterioridad.
4. Finalmente, se propone el siguiente mecanismo de tratamiento del mineral aurífero refractario, proporcionado por la Empresa Minera Goldmins S.R.L. esto en función a las pruebas ya desarrolladas, las mejores pruebas “D” y prueba “E”, que consiste en la preoxidación con peróxido de hidrógeno a una concentración de 25 g/L y a un tamaño de partícula de -200 mallas y lixiviación con una concentración de cianuro de sodio de 3,77 g/L aproximadamente. Llegando a una recuperación sobre el 80% para un tiempo de 24 horas. Es así que, el diagrama de proceso de tratamiento de esta carga hasta la obtención de la solución rica puede apreciarse en el Anexo IV.

## RECOMENDACIONES

Trabajar horas corridas el proceso de cianuración, llegando a 48 horas que normalmente es el tiempo de residencia en planta y así poder escalar y lograr llegar a un resultado de escala piloto.

Realizar las pruebas de acondicionamiento de pH con cal para contrastar los resultados obtenidos con los desarrollados en este Proyecto que fue con la adición de NaOH para subir el pH, además por el tema de costos de estos reactivos.

Enviar a analizar la PLS identificando qué otros compuestos posiblemente hayan logrado lixiviarse, además de sólo oro.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez , A., & Morales , S. (2015). Estudio de la Lixiviación de Oro Refractario en un Concentrado Gravimétrico de Minerales del Sector Minero de Torata, provincia de El Oro, usando Peróxido de Hidrógeno y Ácido Nítrico. *Revista del Instituto de Investigación Geológico Minero Metalúrgico*.
- Alvarez Caiza, A. M., Morales Arias, S., Tapia Batallas, L., Muños Rivadeneira, G., & López Velecela, F. (2015). Estudio de la Lixiviación de Oro Refractario en un Concentrado Gravimétrico de Materiales del Sector Minero de Torata, Provincia de El Oro Usando Peróxido de Hidrógeno y Ácido Nítrico. *Revista del Instituto de Investigación Geológico Minero Metalúrgico*.
- Badri , R., & Zammankhan, P. (2013). Sulphidic Refractory Gold Ore-Pretreatment by Selective and Bulk Flotation Methods. *Advanced Powder Technology*, 512-519.
- Buckley, A., Woods, R., & Hamilton, I. (1985). Flotation of Sulphide Minerals. *Elsevier*.
- Carrillo Pedroza, F. R., Dávalos Sánchez, A., Soria Aguilar, M., & Peciña Treviño, E. (2009). Coal Desulfurization in Oxidative Acid Media Using Hydrogen. *Energy & Fuels*, 3703–3710.
- Casparini, C. (1983). *The Mineralogy of Gold and It's Significance in Metal Extraction*. C.I.M. Bull.



- Coaguila Cornejo, R., & Lázaro Taco, V. (2018). *Pretratamiento de la Lixiviación de un Mineral Refractario de Oro y Plata Asociado a Sulfuros con la Adición de Sulfuro de Sodio e Hidróxido de Sodio*.
- Fink, C. G., & Putnam, G. L. (1950). The Action of Sulphide Ion and of Metal Salts on the Dissolution of Gold in Cyanide Solutions. *Trans. S.M.E.-A.I.M.E.*
- Hausen, D. (1981). Process Mineralogy of Auriferous Pyritic Ores at Carlin, Nevada. En *In Process Mineralogy, Metal Extraction, Mineral Exploration and Energy Materials* (págs. 271-89). New York: AIME.
- Hausen, D., & Bucknam, C. H. (1985). Study of Preg-Robbing in the Cyanidation of Carbonaceous Gold Ores From Carlin. En *Nev. Proceedings Internat. Conference of Applied Mineralogy* (págs. 833-57). New York: TMS-AIME.
- Hinojosa Carrasco, O. (2016). Concentración Gravimétrica de Menas Auríferas. *Revista Metalúrgica N°38 Universidad Técnica de Oruro*, 38-50.
- La Brooy, S. R., Linge, H. G., & Walker, G. S. (1994). Review of gold extraction from ores. En *Minerals Engineering* (págs. 1213-124).
- Ofori Sarpong, G., Osseo Asare, K., & Tien, M. (2011). Minerals Engineering. En *Fungal pretreatment of sulfides in refractory gold ores* (págs. 499-504). Pensilvania: Elsevier.
- Químicos, Sydney 2000 Productos. (2000). Hoja Técnica del Peróxido de Hidrógeno (50% Grado Técnico). Estado de México. Obtenido de [https://sydney2000.com.mx/Hoja\\_tecnica/PEROXIDO\\_HIDROGENO\\_T.pdf](https://sydney2000.com.mx/Hoja_tecnica/PEROXIDO_HIDROGENO_T.pdf)
- Rodriguez , C. (2022). *Cianuración de Concentrado de Pirita Aurífera, Empleando Ozono como Pretratamiento*.
- Villegas Flores, K., Sandoval Camponovo, S., Zenteno, R., & Salmón, J. J. (2021). *Mercurio en la Pequeña Minería Aurífera de Bolivia, Un Estudio Sobre las Normativas el Mercado hy el Uso de Mercurio*. La Paz: Plural Editores.
- Yannopoulos , J. (1991). The extractive Metallurgy of Gold. En *Treatment of Refractory Gold Ores* (págs. 79-114). New York.

## **ANEXO I**

### **Preparación de Reactivos, Titulación y Consumo de Cianuro de Sodio**

## Preparación de reactivos

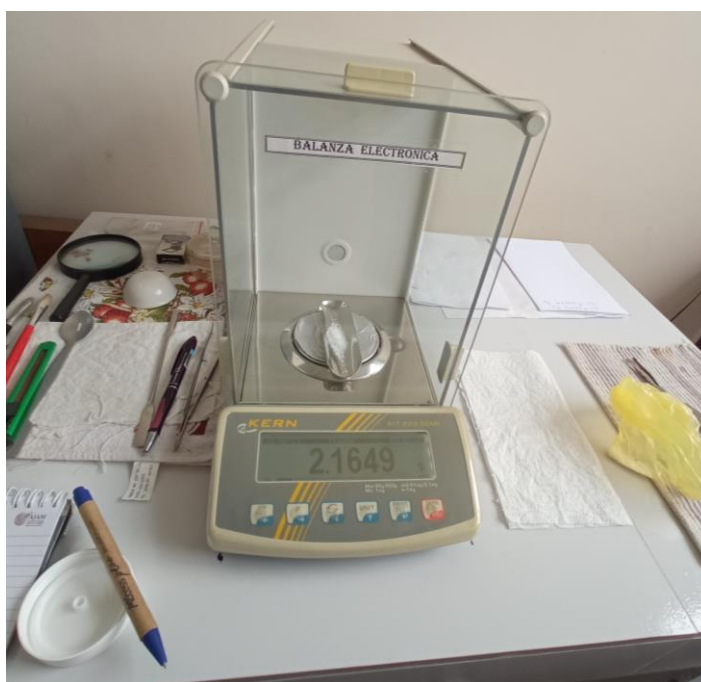
### 1. Preparación de nitrato de plata $AgNO_3$ (titulante)

Se emplearon 4,34 gramos de nitrato de plata  $AgNO_3$ , enrasado a un litro de agua en un matraz aforado.

Pureza min 99,8%

Se requiere una concentración de 0,0255M

$$0,0255 \frac{\text{mol } AgNO_3}{L} * \frac{169,87 \text{ g } AgNO_3}{1 \text{ mol } AgNO_3} * \frac{100 \text{ g } AgNO_3 (\text{q. p.})}{99,8 \text{ g } AgNO_3} = 4,34 \frac{\text{g}}{L} AgNO_3$$



Fotografía 20. Pesaje de nitrato de plata para preparar una solución de 500 ml de 0,0255 M

Fuente: Elaboración propia

### 2. Preparación de nitrato de yoduro de potasio KI (indicador)

Se requiere preparar un volumen mínimo al 5% en peso, pureza min 99,8%

Por tanto, se preparó 5g de KI en completando a 100g con agua desionizada.

$$5 \text{ g KI} * \frac{100 \text{ g KI (q. p.)}}{99,8 \text{ g KI}} = 5,01 \text{ g KI (q. p.)}$$

### 3. Acondicionamiento de pH

El pH natural de la pulpa (25% en sólidos para lixiviación) es de 4,5 el mismo que es elevado a 10,5-11 con adición de NaOH, según la relación experimental de:

25 g mineral en 100 g de pulpa total → 0,4 g NaOH

$$1000 \text{ g}_{(\text{min})} * \frac{0,4 \text{ g NaOH}}{25 \text{ g}_{(\text{min})}} = 16 \text{ g NaOH}$$

### 4. Cantidad de cianuro de sodio añadido al sistema

Se trabaja con la constancia de mantener  $\text{CN}^-$  a un valor constante de 500ppm para una cianuración óptima para una primera variación de esta variable independiente.

En la cianuración se trabaja con 1kg de mineral que representa el 25% de sólidos en la pulpa, de ese modo, los cálculos correspondientes son los siguientes:

$$1 \text{ kg (min)} * \frac{75 \text{ kg (sol)}}{25 \text{ kg (min)}} * \frac{1 \text{ L(sol)}}{1 \text{ kg (sol)}} = 3 \text{ L sol.}$$

500ppm $\text{CN}^-$ :

$$3 \text{ L(sol)} * \frac{500 \text{ mg CN}^-}{1 \text{ L(sol)}} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 1,5 \text{ g CN}^-$$

Asimismo:

$$500 \text{ ppm CN}^- * \frac{49 \text{ ppm NaCN}}{26 \text{ ppm CN}^-} = 942,31 \text{ ppm NaCN}$$

Entonces:

$$3 \text{ L (sol)} * \frac{942,31 \text{ mg NaCN}}{1 \text{ L(sol)}} * \frac{1 \text{ g NaCN}}{10^3 \text{ mg NaCN}} = 2,83 \text{ g NaCN}$$

Es así que para los 3L de solución de nuestro sistema se requiere de 2,83g NaCN, equivalente a 0,94 g/L

Por otro lado, se quiere trabajar con una concentración de 2000ppm de  $\text{CN}^-$  como segunda variación de la variable independiente que es la concentración del agente lixivante. Por tanto, los cálculos desarrollados son:

$$1 \text{ kg (min)} * \frac{75 \text{ kg (sol)}}{25 \text{ kg (min)}} * \frac{1 \text{ L(sol)}}{1 \text{ kg (sol)}} = 3 \text{ L sol.}$$

2000ppm $\text{CN}^-$ :

$$3 \text{ L(sol)} * \frac{2000 \text{ mg CN}^-}{1 \text{ L(sol)}} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 6 \text{ g CN}^-$$

Asimismo:

$$2000 \text{ ppm CN}^- * \frac{49 \text{ ppm NaCN}}{26 \text{ ppm CN}^-} = 3769,23 \text{ ppm NaCN}$$

Entonces:

$$3 \text{ L (sol)} * \frac{3769,23 \text{ mg NaCN}}{1 \text{ L (sol)}} * \frac{1 \text{ g NaCN}}{10^3 \text{ mg NaCN}} = 11,31 \text{ g NaCN}$$

De tal manera, se observa que se requieren de 11,31 g NaCN para nuestra solución de 3L, equivalente a 3,77 g/L

## 5. Cantidad de peróxido de hidrógeno añadido

- Primera preoxidación [25 g/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]

Recordando que el peróxido se encuentra al 50% m/m y que la cantidad de sólidos es al 25%. Por tanto, la cantidad requerida de peróxido es:

$$1 \text{ kg}_{(\text{min})} * \frac{75 \text{ kg}_{(\text{sol})}}{25 \text{ kg}_{(\text{min})}} * \frac{1 \text{ L}_{(\text{sol})}}{1 \text{ kg}_{(\text{sol})}} * \frac{25 \text{ g}_{(\text{H}_2\text{O}_2)}}{1 \text{ L}_{(\text{sol})}} * \frac{100 \text{ g}_{(\text{sol.H}_2\text{O}_2)}}{50 \text{ g}_{(\text{H}_2\text{O}_2)}} = 150 \text{ g}_{(\text{sol.H}_2\text{O}_2)}$$

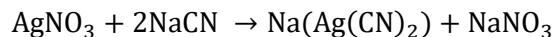
- Segunda preoxidación [34 g/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>≈1M]:

Recordando que el peróxido se encuentra al 50% m/m y que la cantidad de sólidos es al 25%. Por tanto, la cantidad requerida de peróxido es:

$$1 \text{ kg}_{(\text{min})} * \frac{75 \text{ kg}_{(\text{sol})}}{25 \text{ kg}_{(\text{min})}} * \frac{1 \text{ L}_{(\text{sol})}}{1 \text{ kg}_{(\text{sol})}} * \frac{1 \text{ mol}_{(\text{H}_2\text{O}_2)}}{1 \text{ L}_{(\text{sol})}} * \frac{34 \text{ g}_{(\text{H}_2\text{O}_2)}}{1 \text{ mol}_{(\text{H}_2\text{O}_2)}} * \frac{100 \text{ g}_{(\text{sol.H}_2\text{O}_2)}}{50 \text{ g}_{(\text{H}_2\text{O}_2)}} = 204 \text{ g}_{(\text{sol.H}_2\text{O}_2)}$$

## 6. Titulación de cianuro libre con nitrato de plata

La reacción del proceso de titulación de cianuro de sodio con nitrato de plata es la siguiente:



La cantidad de NaCN remanente en la pulpa, en ppm, es:

$$\text{NaCN}_{\text{ppm}} = \frac{V_{\text{AgNO}_3}(\text{gastado}) C_{\text{AgNO}_3}}{V_{\text{muestra}}(\text{ml})} * \frac{2 \text{ PM}_{\text{NaCN}}}{\text{PM}_{\text{AgNO}_3}} * 1000 \quad (\text{A})$$

El volumen de muestra tomada en cada titulación fue de 10ml y la concentración del nitrato de plata de 0,0255 M. Por otro lado, con el propósito de conocer la cantidad de cianuro libre que debe estar para una primera variación de la concentración del agente lixiviante fue de 500 ppm y en otra instancia fue de 2000ppm  $\text{CN}^-$

$$\text{CN}^-_{\text{ppm}} = \text{NaCN}_{\text{ppm}} * \frac{\text{PM}_{\text{CN}^-}}{\text{PM}_{\text{NaCN}}} \quad (\text{B})$$

La ecuación (A) en (B):

$$\text{CN}^-_{\text{ppm}} = \frac{\text{NaCN}_{\text{ppm}}}{1,884}$$

## 7. Reposición de cianuro de sodio

Para reponer la cantidad de cianuro de sodio consumido se toma en cuenta la cantidad de NaCN ppm necesarios para tener una fuerza de cianuro libre de 500ppm

Nuevamente:

$$500 \text{ ppm } \text{CN}^- * \frac{49 \text{ ppm NaCN}}{26 \text{ ppm } \text{CN}^-} = 942,31 \text{ ppm NaCN}$$

$$3 \text{ L (sol)} * \frac{942,31 \text{ mg NaCN}}{1 \text{ L (sol)}} * \frac{1 \text{ g NaCN}}{10^3 \text{ mg NaCN}} = 2,83 \text{ g NaCN}$$

Entonces, gramos de cianuro de sodio a añadir:

De la ecuación (A) se obtiene la cantidad de NaCN remanente en la pulpa en ppm y se lo denota por "X"

$$(942,31 - X) \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ NaCN} * \frac{1 \text{ g}}{10^3 \text{ mg}} * 3 \text{ L (sol.)} = Y \text{ g NaCN}$$

"Y" llega a ser la cantidad de NaCN a añadir a la solución para completar las 500 ppm de cianuro libre

Se procede del mismo modo para la reposición de cianuro de sodio cuando se trabaja con una concentración de cianuro libre de 2000 ppm

## **ANEXO II**

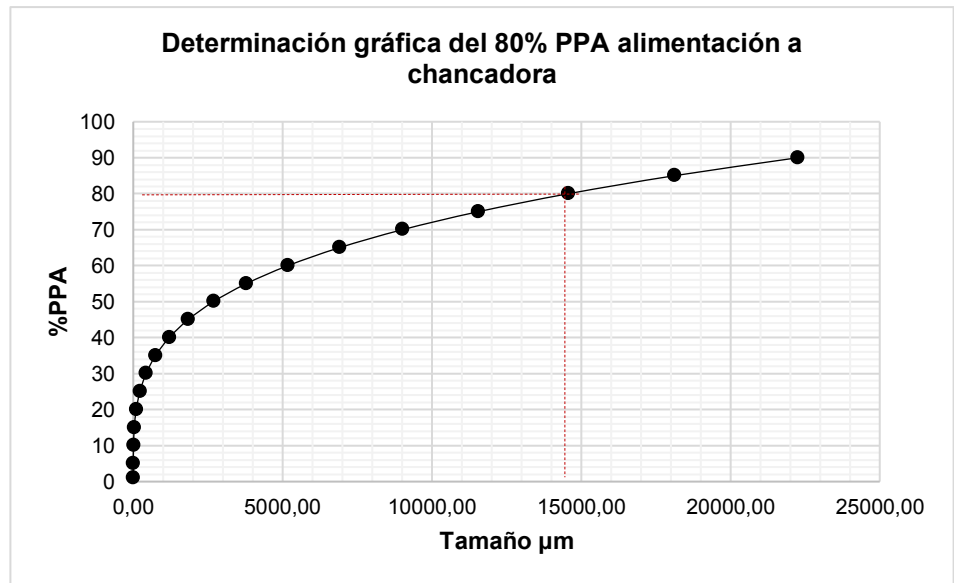
### **Análisis Granulométrico por el Método de GGS (Gates Gaudin Schuhmann)**

## 1. Análisis Granulométrico Alimentación Chancadora

Malla ASTM No.	Tamaño (micrones)	Peso Alimento Chancadora (gr)	% Peso	% Peso Rechazo Acumulado	% Peso Paso Acumulado	Log (x)	Log F(x)
1,06"	26500	87,80	6,89	6,89	93,11	1,97	4,42
3 1/2"	5613	414,40	32,51	39,40	60,60	1,78	3,75
8	2360	79,10	6,21	45,60	54,40	1,74	3,37
10	1651	167,80	13,16	58,77	41,23	1,62	3,22
14	1168	37,60	2,95	61,72	38,28	1,58	3,07
20	841	26,80	2,10	63,82	36,18	1,56	2,92
-20	841	461,20	36,18	100,00	0,00		
TOTAL		1274,70	100,00				

	A	B	r	d <sub>max</sub>	d <sub>80</sub>
Aliment.	0,746	0,278	0,985	32511,19	14569,87

F <sub>i</sub>	d <sub>80</sub>
1	0,00
5	0,68
10	8,22
15	35,36
20	99,52
25	222,06
30	427,84
35	744,88
40	1204,14
45	1839,36
50	2686,91
55	3785,64
60	5176,80
65	6903,95
70	9012,88
75	11551,51
80	14569,87
85	18120,02
90	22255,99



El %PPA, el ochenta por ciento del peso paso acumulado corresponde al tamaño de 14569,87 µm, un aproximado a la malla 5/8" ASTM

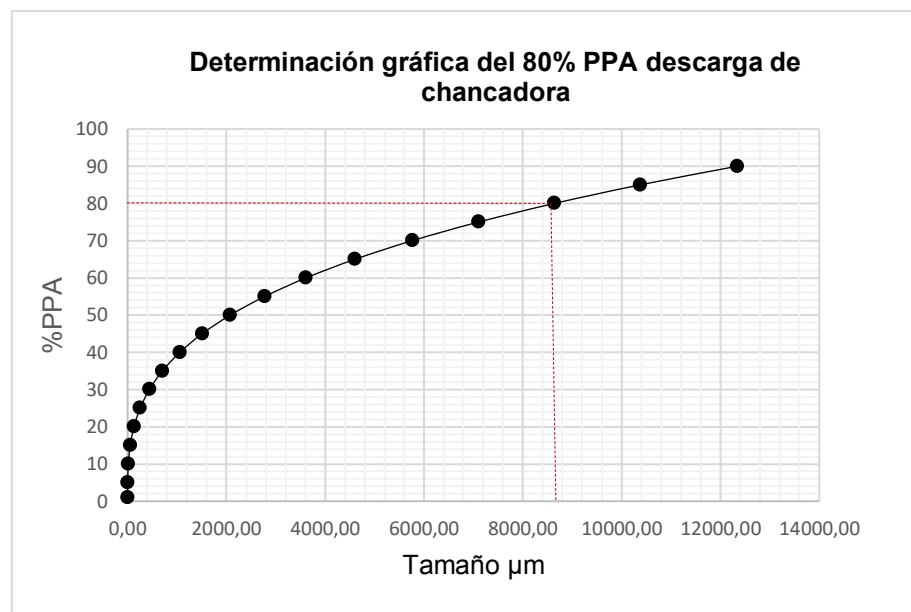


## 2. Análisis Granulométrico Descarga Chancadora (Alim. molino)

Malla ASTM No.	Tamaño (micrones)	Peso Alimento Chancadora (gr)	% Peso	% Peso Rechazo Acumulado	% PESO Paso Acumulado	Log (x)	Log F(x)
3 1/2"	5613	417,70	30,99	30,99	69,01	1,84	3,75
8	2360	131,10	9,73	40,71	59,29	1,77	3,37
10	1651	233,40	17,31	58,03	41,97	1,62	3,22
14	1168	45,10	3,35	61,37	38,63	1,59	3,07
20	841	30,90	2,29	63,66	36,34	1,56	2,92
35	500	40,90	3,03	66,70	33,30	1,52	2,70
-35	500	448,90	33,30	100,00	0,00		2,70
TOTAL		1348,00	100,00				

	A	B	r	d <sub>max</sub>	d <sub>80</sub>
Aliment.	0,604	0,330	0,957	16978,85	8635,91

F <sub>i</sub>	d <sub>80</sub>
1	0,01
5	1,94
10	15,86
15	54,17
20	129,51
25	254,62
30	442,37
35	705,68
40	1057,55
45	1511,04
50	2079,23
55	2775,28
60	3612,36
65	4603,70
70	5762,55
75	7102,18
80	8635,91
85	10377,07
90	12339,02



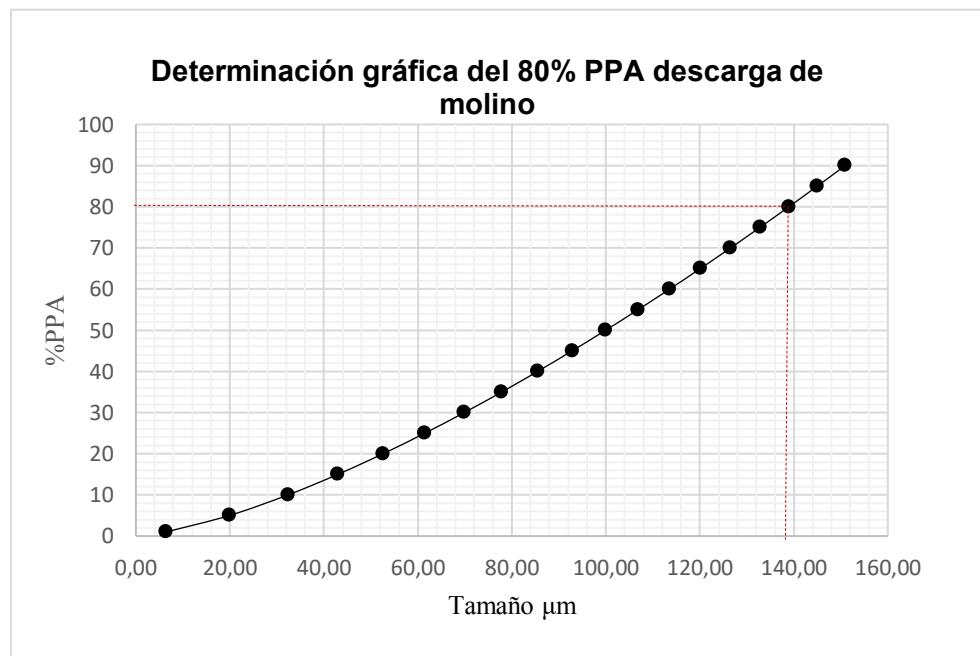
El %PPA, el ochenta por ciento del peso paso acumulado corresponde al tamaño de 8635,91µm, un aproximado a la malla 5/16" ASTM

### 3. Análisis Granulométrico Descarga Molino

Malla ASTM No.	Tamaño (micrones)	Peso Alimento Chancadora (gr)	% Peso	% Peso Rechazo Acumulado	% Peso Paso Acumulado	Log (x)	Log F(x)
65	210	8,70	0,81	0,81	99,19	2,00	2,32
100	149	21,40	2,00	2,81	97,19	1,99	2,17
150	105	143,30	13,40	16,22	83,78	1,92	2,02
200	74	506,40	47,36	63,57	36,43	1,56	1,87
270	53	145,40	13,60	77,17	22,83	1,36	1,72
325	44	133,00	12,44	89,61	10,39	1,02	1,64
400	37	61,80	5,78	95,39	4,61	0,66	1,57
-400		49,30	4,61	100,00	0,00		
TOTAL		1069,30	100,00				

	A	B	r	d <sub>max</sub>	d <sub>80</sub>
Aliment.	-1,154	1,427	0,935	162,48	138,96

F <sub>i</sub>	d <sub>80</sub>
1	6,44
5	19,90
10	32,35
15	42,99
20	52,59
25	61,49
30	69,88
35	77,85
40	85,49
45	92,84
50	99,96
55	106,87
60	113,58
65	120,14
70	126,54
75	132,81
80	138,96
85	144,99
90	150,92



El %PPA, el ochenta por ciento del peso paso acumulado corresponde al tamaño de 138,96μm, un aproximado a la malla 100# o 125# ASTM

## **ANEXO III**

### **Proceso de Oxidación con Peróxido de Hidrógeno y Cálculo de la Cantidad de Oxígeno Industrial Consumido en la Etapa de Preoxidación**

➤ **Proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno**

El peróxido de hidrógeno puede actuar como oxidante (en pHs alcalinos) y como reductor (en pHs ácidos). En la industria de la minería puede usarse como oxidante de muchos iones metálicos, en el procesamiento del Oro y la Plata, en la recuperación de Uranio, en la eliminación del Vanadio, Molibdeno y Sodio por lixiviación in situ. Separación por flotación del Cobre/Molibdeno, lixiviación del cobre, purificación de la roca fosfórica. (Químicos, Sydney 2000 Productos, 2000)

El proceso de oxidación de la carga aurífera refractaria fue desarrollado empleando peróxido de hidrógeno de las siguientes características:

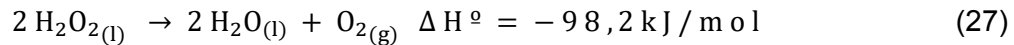
**Peróxido de Hidrógeno 50%**

<b>PARAMETROS:</b>	<b>ESPECIFICACIONES:</b>
COLOR Y FORMA	LIQUIDO TRANSPARENTE.
CONCENTRACION H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (% EN PESO)	50.0
CONCENTRACION H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (G/L) A 20 °C	598
CONTENIDO DE OXIGENO ACTIVO, %	23.5
1 KILOGRAMO CONTIENE 500 GR DE H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> CON 235 GR. DE OXIGENO ACTIVO.	
1 LITRO CONTIENE 598 GR DE H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> CON 281 GR DE OXIGENO ACTIVO.	
PESO MOLECULAR PROMEDIO, g/gmol	23.55
DENSIDAD A 20 °C (g/cm <sup>3</sup> )	1.196
CONCENTRACION EN "VOLUMENES"	199
CALOR ESPECIFICO MEDIO DE 0 A 27 °C	0.790 cal/g °C
pH (rango aproximado)	1 – 2
INDICE DE REFRACCION A 25 °C	1.366
ESTABILIDAD, (16 HRS. A 96 °C), %	> 95
PUNTO DE CONGELACION, °C	- 52
PRESION DE VAPOR A 30 °C, mmHg	18
KPa	2.4
PUNTO DE EBULLICION, °C	114
VISCOSIDAD A 0 °C cps (mPa.seg)	1.87
A 30 °C cps (mPa.seg)	1.17
Estabilidad a 30 °C (pérdida)	1 % al año
A 66 °C	1% a la semana
A 100 °C	2 – 3 % en 24 horas.

Figura 25. Hoja técnica del peróxido de hidrógeno (50% grado técnico)

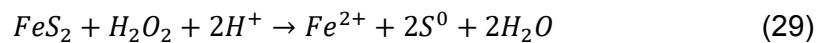
Fuente: (Químicos, Sydney 2000 Productos, 2000)

El peróxido de hidrógeno concentrado es sumamente reactivo y al descomponerse en agua y oxígeno se desprende calor, siendo esta una reacción exotérmica, según la siguiente reacción termoquímica:

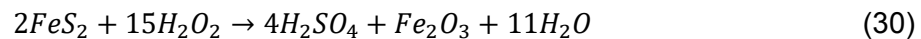


Como los reporte de FRX y DRX mostraron la presencia de compuestos sulfurosos como piritas y calcopiritas, las reacciones de oxidación de estas, son como se presentan a continuación:

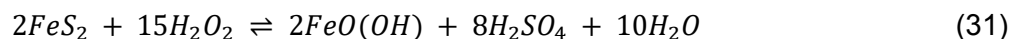
Reacción total del proceso de oxidación de la pirita



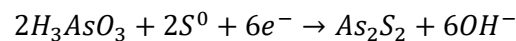
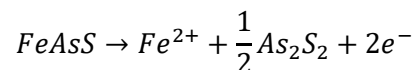
En la etapa de oxidación como tal las posibles reacciones del sistema en contacto con el peróxido de hidrógeno:



En condiciones ácidas de pH, la oxidación de la pirita se da en dos pasos: i) la disolución de la pirita en iones ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ) debido al decremento del pH, por medio de la formación de una capa deficiente en Fe o una rica en  $\text{S}^{2-}$ , y ii) la oxidación de esta capa forma sulfatos con bajo contenido de Fe, y eventualmente pasan a azufre elemental que podrían ser oxidadas a especies oxisulfúricas (Buckley, Woods, & Hamilton, 1985). La formación de óxidos de hierro [ $\text{FeO}(\text{OH})$ , goetita/lepidocrocita] sugiere el seguimiento de la Ec. (31), siendo este fenómeno el que posiblemente ocasione la formación de sulfatos con bajo contenido de hierro.



La oxidación de la arsenopirita sigue las siguientes ecuaciones:





Fotografía 21. Temperatura inicial en la oxidación con peróxido de hidrógeno

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 22. Temperatura máxima de preoxidación con peróxido de hidrógeno

Fuente: Elaboración propia

Durante el proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno al 50% m/m se aprecia el desprendimiento de vapores, conociendo la descomposición del mismo se desprende oxígeno y se trata de una reacción exotérmica cuya variación de temperatura es de:

$$\Delta t = (38,1 - 17,3)^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 20,8^{\circ}\text{C}$$

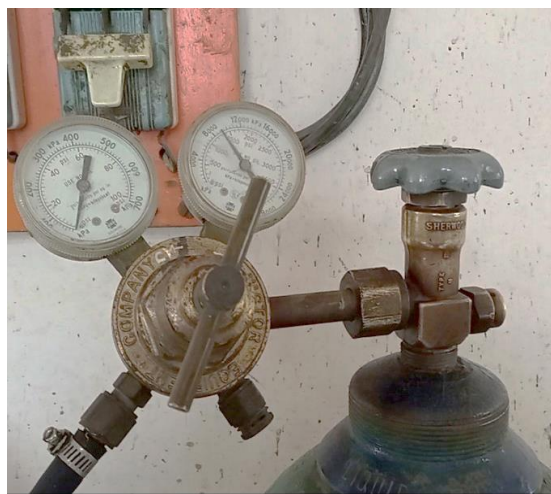
➤ **Suministro de oxígeno durante el proceso de oxidación, 50 minutos (Prueba h)**

El pretratamiento del material aurífero refractario implicó la oxidación que fue desarrollada empleando agentes oxidantes. Por un lado, peróxido de hidrógeno y por otro empleando oxígeno industrial. El proceso de suministro del oxígeno en la pulpa (después de molienda) fue desarrollado de manera cualitativa ya que no se contaba con un oxímetro. Se procedió a trabajar con el manómetro del cilindro y el flujómetro de salida. La lectura de los mismos fue como se muestra en las Fotografías 23 y 24.



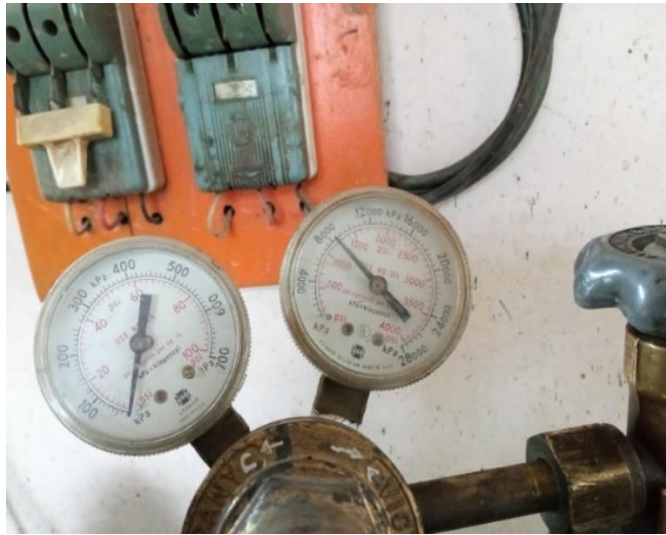
Fotografía 23. Sistema de oxidación empleando oxígeno industrial

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 24. Lectura de presión de oxígeno del manómetro del cilindro de del cilindro

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 25. Lectura de presión de oxígeno después de su uso (50 min)

Fuente: Elaboración propia

Capacidad	Diámetro	Altura	Peso vacío
1 m <sup>3</sup> – (6,6 litros)	140 mm	655 mm	13,4 Kg
2 m <sup>3</sup> – (13,3 litros)	140 mm	1170 mm	22,6 Kg
4 m <sup>3</sup> – (20 litros)	232 mm	680 mm	28 Kg
6 m <sup>3</sup> – (30 litros)	232 mm	920 mm	36 Kg
8 m <sup>3</sup> – (40 litros)	234 mm	1180 mm	45 Kg
9 m <sup>3</sup> – (45 litros)	235 mm	1300 mm	50 Kg
10 m <sup>3</sup> – (50 litros)	232 mm	1420 mm	53 Kg

Figura 26. Especificaciones de cilindros de oxígeno industrial

Fuente: Macrocil, cilindros de gas para aire



A continuación, se muestra las lecturas:

Volumen cilindro [m <sup>3</sup> ]:	6
Volumen nominal [L]:	30
Temperatura ambiente[°C]:	17,5
Tiempo de consumo [min]:	50
Presión inicial [PSI]:	1400
Presión final [PSI]:	1220
PSI de seguridad:	200

Empleando la ecuación de Gases Reales:

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

Además:

$$a_{O_2} = 1,3820 \frac{\text{dm}^6 \text{bar}}{\text{mol}^2}, \quad b_{O_2} = 0,031860 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}}$$

$$n = \frac{m}{M}, \quad P.M._{O_2} = 32\text{g/mol}$$

Moles de oxígeno inicial

$$\left[ (1400 - 200)\text{PSI} * \frac{1\text{atm}}{14,7\text{PSI}} + 1,3820 \frac{\text{dm}^6 \text{bar}}{30^2 \text{L}^2 \text{mol}^2} * \frac{1\text{L}}{1\text{dm}^3} * \frac{1\text{atm}}{1.01325 \text{bar}} * n^2 \right] *$$

$$\left[ 30\text{L} - 0,031860 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} * \frac{1\text{L}}{\text{dm}^3} * n \right] = 0,082 \frac{\text{atmL}}{\text{mol K}} * (17,5 + 273)\text{K} * n$$

$$n_{O_2i} = 111,28 \text{ moles}$$

Moles de oxígeno final

$$\left[ (1220 - 200)\text{PSI} * \frac{1\text{atm}}{14,7\text{PSI}} + 1,3820 \frac{\text{dm}^6 \text{bar}}{30^2 \text{L}^2 \text{mol}^2} * \frac{1\text{L}}{1\text{dm}^3} * \frac{1\text{atm}}{1.01325 \text{bar}} * n^2 \right] *$$

$$\left[ 30\text{L} - 0,031860 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} * \frac{1\text{L}}{\text{dm}^3} * n \right] = 0,082 \frac{\text{atmL}}{\text{mol K}} * (17,5 + 273)\text{K} * n$$

$$n_{O_2f} = 92,60 \text{ moles}$$

Moles de oxígeno suministrado en los 50 minutos

$$n_{O_2sum} = 111,28 - 92,60 \text{ moles}$$

$$n_{O_2sum} = 18,68 \text{ moles}$$

$$m_{O_2sum} = P. M. * N$$

$$m_{O_2sum} = 9,66 \text{ mol} * 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$m_{O_2sum} = 597,76 \text{ g}$$

➤ **Suministro de oxígeno industrial 30 minutos (Prueba F)**

Volumen cilindro [m <sup>3</sup> ]	6
Temperatura ambiente [°C]	16
Tiempo de consumo [min]	30
Presión inicial [PSI]	1200
Presión final [PSI]	1100

Moles de oxígeno inicial

$$\left[ (1200 - 200) \text{ PSI} * \frac{1 \text{ atm}}{14,7 \text{ PSI}} + 1,3820 \frac{\text{dm}^6 \text{ bar}}{30^2 \text{ L}^2 \text{ mol}^2} * \frac{1 \text{ L}}{1 \text{ dm}^3} * \frac{1 \text{ atm}}{1.01325 \text{ bar}} * n^2 \right] *$$

$$\left[ 30 \text{ L} - 0,031860 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} * \frac{1 \text{ L}}{\text{dm}^3} * n \right] = 0,082 \frac{\text{atmL}}{\text{mol K}} * (16 + 273) \text{ K} * n$$

$$n_{O_2i} = 92,25 \text{ moles}$$

Moles de oxígeno final

$$\left[ (1100 - 200) \text{ PSI} * \frac{1 \text{ atm}}{14,7 \text{ PSI}} + 1,3820 \frac{\text{dm}^6 \text{ bar}}{30^2 \text{ L}^2 \text{ mol}^2} * \frac{1 \text{ L}}{1 \text{ dm}^3} * \frac{1 \text{ atm}}{1.01325 \text{ bar}} * n^2 \right] *$$

$$\left[ 30 \text{ L} - 0,031860 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} * \frac{1 \text{ L}}{\text{dm}^3} * n \right] = 0,082 \frac{\text{atmL}}{\text{mol K}} * (16 + 273) \text{ K} * n$$

$$n_{O_2f} = 82,50 \text{ moles}$$

Moles de oxígeno suministrado en los 50 minutos

$$n_{O_2sum} = 92,25 - 82,50 \text{ moles}$$

$$n_{O_2sum} = 9,75 \text{ moles}$$

$$m_{O_2sum} = P.M.* N$$

$$m_{O_2sum} = 9,75 \text{ mol} * 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$m_{O_2sum} = 312g$$

➤ **Suministro de oxígeno industrial 30 minutos (Prueba G)**

Volumen cilindro [m <sup>3</sup> ]	6
Temperatura ambiente [°C]	17
Tiempo de consumo [min]	30
Presión inicial [PSI]	1000
Presión final [PSI]	900

Moles de oxígeno inicial

$$\left[ (1200 - 200) \text{PSI} * \frac{1 \text{atm}}{14,7 \text{PSI}} + 1,3820 \frac{\text{dm}^6 \text{bar}}{30^2 \text{L}^2 \text{mol}^2} * \frac{1 \text{L}}{1 \text{dm}^3} * \frac{1 \text{atm}}{1.01325 \text{bar}} * n^2 \right] *$$

$$\left[ 30 \text{L} - 0,031860 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} * \frac{1 \text{L}}{\text{dm}^3} * n \right] = 0,082 \frac{\text{atmL}}{\text{mol K}} * (17 + 273) \text{K} * n$$

$$n_{O_2i} = 91,64 \text{ moles}$$

Moles de oxígeno final

$$\left[ (1100 - 200) \text{PSI} * \frac{1 \text{atm}}{14,7 \text{PSI}} + 1,3820 \frac{\text{dm}^6 \text{bar}}{30^2 \text{L}^2 \text{mol}^2} * \frac{1 \text{L}}{1 \text{dm}^3} * \frac{1 \text{atm}}{1.01325 \text{bar}} * n^2 \right] *$$

$$\left[ 30 \text{L} - 0,031860 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} * \frac{1 \text{L}}{\text{dm}^3} * n \right] = 0,082 \frac{\text{atmL}}{\text{mol K}} * (17 + 273) \text{K} * n$$

$$n_{O_2f} = 81,98 \text{ moles}$$

Moles de oxígeno suministrado en los 30 minutos

$$n_{O_2sum} = 91,64 - 81,98 \text{ moles}$$

$$n_{O_2sum} = 9,66 \text{ moles}$$

$$m_{O_2sum} = P.M.* N$$

$$m_{O_2sum} = 9,66 \text{ mol} * 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$m_{O_2sum} = 309,12g$$

➤ **Suministro de oxígeno industrial 30 minutos (Prueba I)**

Volumen cilindro [m <sup>3</sup> ]	6
Temperatura ambiente [°C]	18
Tiempo de consumo [min]	30
Presión inicial [PSI]	900
Presión final [PSI]	800

Moles de oxígeno inicial

$$\left[ (900 - 200) \text{PSI} * \frac{1 \text{atm}}{14,7 \text{PSI}} + 1,3820 \frac{\text{dm}^6 \text{bar}}{30^2 \text{L}^2 \text{mol}^2} * \frac{1 \text{L}}{1 \text{dm}^3} * \frac{1 \text{atm}}{1.01325 \text{bar}} * n^2 \right] *$$

$$\left[ 30 \text{L} - 0,031860 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} * \frac{1 \text{L}}{\text{dm}^3} * n \right] = 0,082 \frac{\text{atmL}}{\text{mol K}} * (18 + 273) \text{K} * n$$

$$n_{O_2i} = 62,82 \text{ moles}$$

Moles de oxígeno final

$$\left[ (800 - 200) \text{PSI} * \frac{1 \text{atm}}{14,7 \text{PSI}} + 1,3820 \frac{\text{dm}^6 \text{bar}}{30^2 \text{L}^2 \text{mol}^2} * \frac{1 \text{L}}{1 \text{dm}^3} * \frac{1 \text{atm}}{1.01325 \text{bar}} * n^2 \right] *$$

$$\left[ 30 \text{L} - 0,031860 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} * \frac{1 \text{L}}{\text{dm}^3} * n \right] = 0,082 \frac{\text{atmL}}{\text{mol K}} * (18 + 273) \text{K} * n$$

$$n_{O_2f} = 53,49 \text{ moles}$$

Moles de oxígeno suministrado en los 30 minutos

$$n_{O_2sum} = 62,82 - 53,49 \text{ moles}$$

$$n_{O_2sum} = \text{moles}$$

$$m_{O_2sum} = P. M. * N$$

$$m_{O_2sum} = 9,33 \text{ mol} * 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$m_{O_2sum} = 298,56g$$

## **ANEXO IV**

### **Diagrama de Proceso Sugerido Para el Tratamiento de Mineral Aurífero Refractario**

A continuación, se presenta el diagrama de proceso experimental sugerido a nivel laboratorio para la obtención de la PLS, realizando el pretratamiento necesario (remolienda y oxidación con peróxido de hidrógeno) y posterior lixiviación por cianuración en un tanque de agitación.

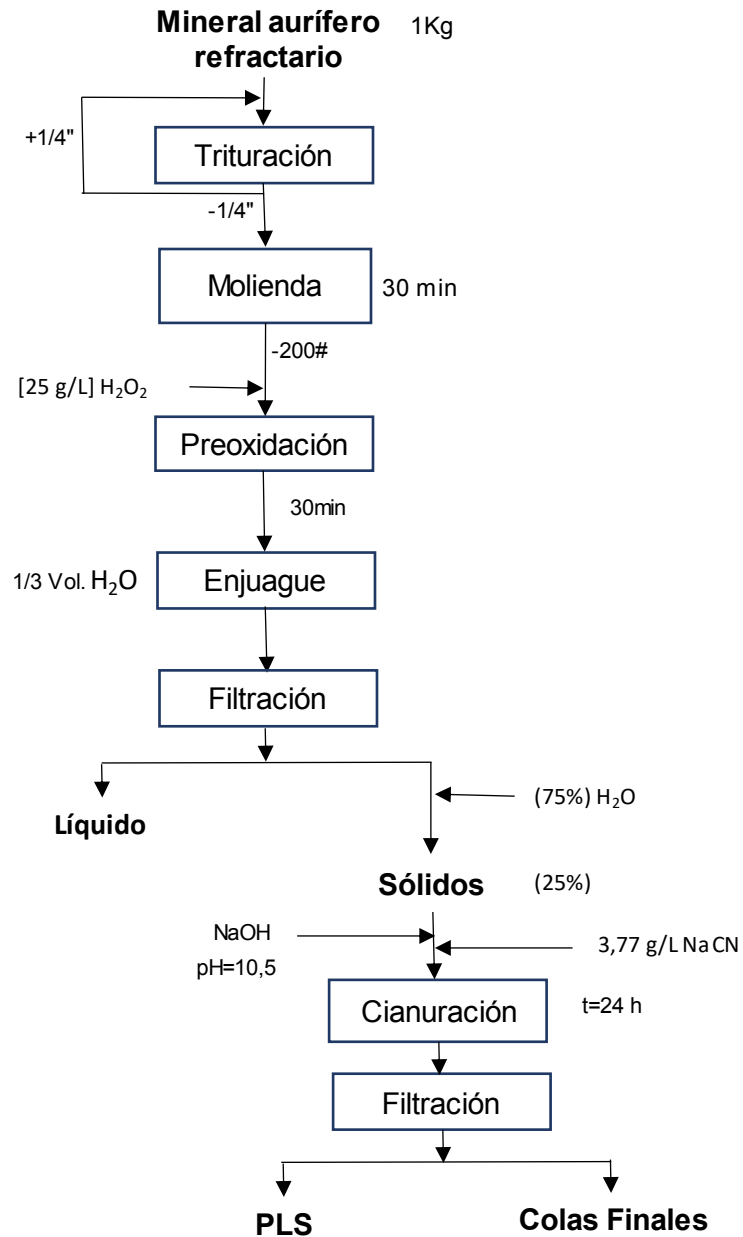
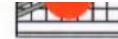


Figura 27. Diagrama de proceso experimental en laboratorio de pretratamiento y cianuración

## **ANEXO V**

### **Informes de Análisis de Caracterización de Muestra y Análisis Químico**



# INFORME DE ENSAYO

0729426  
\* ORIGINAL \*

**CLIENTE** : Srs: Nemy Villca Aro.  
**DIRECCIÓN** :  
**CARACTERISTICAS** : Muestra s-s.  
**ANÁLISIS DE** : Muestra de: CUALI  
**LOTE N°** : FRX  
**FECHA RECEPCIÓN** : 28/01/2022 **FECHA MUESTREO** : 28/01/2022 **FECHA ANÁLISIS** : 28/01/2022  
**ANÁLISIS N°** : F - 002302/22 3.1. **N° MUESTRAS** : Una **PAG.** : 1 / 1

## TROZOS

Zn	-----	0,039 %
Pb	-----	0,128 %
Sn	-----	0,004 %
As	-----	3,968 %
Cu	-----	0,032 %
Sb	-----	0,014 %
P	-----	0,134 %
WO <sub>3</sub>	-----	0,205 %
Ca	-----	0,240 %
Fe	-----	23,624 %
S	-----	15,334 %
SiO <sub>2</sub>	-----	7,128 %
Bi	-----	0,013 %
Al	-----	0,279 %
K	-----	0,769 %
Ti	-----	0,313 %
V	-----	0,004 %
Cr	-----	0,029 %
Co	-----	0,002 %
Ni	-----	0,001 %
Ga	-----	0,003 %
Rb	-----	0,005 %
Sr	-----	0,003 %
Y	-----	0,004 %
Zr	-----	0,003 %
Ba	-----	0,037 %
Hg	-----	0,001 %
U	-----	0,002 %

**Nota 1: Técnica de Fluorescencia de Rayos X.**  
**Valores SOLO REFERENCIALES**



*Oruro*

Oruro C. Conde Ortega  
RESPONSABLE TÉCNICO

Oruro, 31 de Enero de 2022



c.c. Archivo 28235 - 305 C

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, P08-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del IBMETRO, según certificado DTA- CET-027.

Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.







## LABORATORIOS GOLDMINS

DIRECCION: Carretera a Laja, Comunidad Sekejauri N° 100, VIACHA - LA PAZ.  
WHATSAPP: (+591) 69853963 – (+51) 950010214 – (+591) 78883131 –  
(+591) 61000850

CORREO: [contactos@goldmin.com.bo](mailto:contactos@goldmin.com.bo)

WEB: [www.goldmin.com.bo](http://www.goldmin.com.bo)

### **CERTIFICADO DE ANÁLISIS INFORME DE ENSAYO EMG-M1-PL-000126**

Cliente : Coop. Señor de Mayo  
Atención : Dionicia Mamani  
Solicitud de Análisis : NEWMONT: Au.  
NIT/C.I. :  
Dirección : El Alto – Rio Seco  
Teléfono : (+591) 71299069  
N° de Muestra : A – 161  
Características : Pirita Aurífera Oxidado  
Procedencia : Zorata, La Paz - Bolivia  
Fecha de Solicitud : 27.08.2021  
Fecha de Entrega : 29.08.2021

### RESULTADOS

ITEM	N° DE MUESTRA	N° LAB.	RESULTADOS Au (Gr/TM)		
			MALLA +150	MALLA -150	LEY FINAL Gr/TM
001	A - 161	00289	22,25	36,42	29,34

**GOLDMINS**  
INGENIERÍA MINERA & QUÍMICA

William Ibarra Rondan  
ING. QUÍMICO METALÚRGICO  
DIRECTOR DE LABORATORIOS  
GOLDMINS

Jamer Delgado Vasquez  
TÉCNICO EN ANÁLISIS QUÍMICO  
ENCARGADO DE LABORATORIOS  
GOLDMINS



# LABORATORIO QUIMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • ORURO BOLIVIA



## INFORME DE ENSAYO

0730243  
\* ORIGINAL \*

**CLIENTE** : Srs: Nemy Villca Aro.  
**DIRECCIÓN** :  
**CARACTERISTICAS** : Muestra s-s.  
**ANÁLISIS DE** : Muestra de: Au  
**LOTE N°** : CABEZA  
**FECHA RECEPCIÓN** : 28/01/2022      **FECHA MUESTREO** : 28/01/2022      **FECHA ANÁLISIS** : 28/01/2022  
**ANÁLISIS N°** : F - 002302/22 1.1.      **N° MUESTRAS** : Una      **PAG.**: 1 / 1

=====

Au	-----	44,30 g/t
----	-------	-----------

=====



*Omar E. Conde Ortega*  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

Oruro, 01 de Febrero de 2022



c.c. Archivo 28235 - 41 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, P08-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra acreditado por la DTA del IBMETRO, según certificado DTA- CET-027.

Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación. (logo color verde)



31% ✓



No. Certif.: 119/2021  
Fecha: 26/10/2021

### CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

CLIENTE: Ing. Agustín Cárdenas      EMPRESA:

MUESTRA: 1 Muestra      ANALISIS POR: Au

#### RESULTADOS:

N°	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	N-2	Au	g/Ton	38,67
2				

  
Lic. Oscar Calle Calderón.  
LABORATORIO QUÍMICO

  
VoBo.

  
Ing. Juan Carlos Montenegro Bravo  
DIRECTOR  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
METALURGIAS Y DE MATERIALES



No. Certif.: 023/2022

Fecha: 08/03/2022

### CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

**CLIENTE:** Nemy Villca Aro    **EMPRESA:** Proyecto de Grado "Estudio Experimental de pretratamiento de un mineral Aurífero refractorio para recuperación de Oro en la Empresa Minera GOLDMIYS SRL."

**MUESTRA:** 5 Muestras

**ANÁLISIS POR:** Au

#### RESULTADOS:

N°	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	NL-1	Au	mg/Lt	0,467
2				
3	NL-2	Au	mg/Lt	0,582
4				
5	NL-3	Au	mg/Lt	0,659
6				
7	NL-4	Au	mg/Lt	2,71
8				
9	NL-5	Au	mg/Lt	2,88
10				

*Lic. Oscar Calle Calderón*  
RESPONSABLE QUÍMICO  
IIMETMAT - UMSA

Lic. Oscar Calle Calderón.  
LABORATORIO QUÍMICO

VoBo.

*Juan Carlos Montenegro Bravo*  
DIRECTOR  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
METALURGIAS Y DE MATERIALES





No. Certif.: 022/2022

Fecha: 08/03/2022

### CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

CLIENTE: Nemy Villca Aro      EMPRESA: Proyecto de Grado

MUESTRA: 1 Muestra      ANALISIS POR: Au

#### RESULTADOS:

N°	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	NL-6	Au	mg/Lt	3,13
2				



Lic. Oscar Calle Calderón.  
LABORATORIO QUÍMICO

VoBo.   
Juan Carlos Montenegro Bravo  
DIRECTOR  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
METALURGIA Y DE MATERIALES  
UMSA

C.c. Archivo IIMETMAT



No. Certif.: 027/2022

Fecha: 15/03/2022

### CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

CLIENTE: Nemy Villca Aro

EMPRESA: Proyecto de grado

MUESTRA: 4 Muestras

ANALISIS POR: Au

#### RESULTADOS:

Nº	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	NK-1	Au	mg/Lt	0,553
2				
3	NK-2	Au	mg/Lt	1,02
4				
5	NK-3	Au	mg/Lt	1,56
6				
7	NK-4	Au	mg/Lt	2,11
8				

Lic. Oscar Calle Calderón.  
LABORATORIO QUÍMICO

VoBo.

Ing. Juan Carlos Montenegro Bravi  
DIRECTOR  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
METALURGIAS Y DE MATERIALES  
IIMSA

Cc.: Archivo IIMETMAT





No. Certif.: 035/2022

Fecha: 25/03/2022

### **CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO**

**CLIENTE:** Nemy Villca Aro

**EMPRESA:** Nemy Villca Aro

**MUESTRA:** 4 Muestras

**ANÁLISIS POR:** Au

#### **RESULTADOS:**

N°	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	NT-1	Au	mg/Lt	2,30
2				
3	NT-2	Au	mg/Lt	3,73
4				
5	NT-3	Au	mg/Lt	5,06
6				
7	NT-4	Au	mg/Lt	5,67
8				

  
Lic. Oscar Calle Calderón.  
**LABORATORIO QUÍMICO**

VoBo.

  
Ing. Juan Carlos Montenegro Braso  
DIRECTOR  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
METALÚRGICAS Y DE MATERIALES  
UMSA

Cc.: Archivo IIMETMAT





No. Certif.: 042/2022

Fecha: 05/04/2022

### CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

CLIENTE: Nemy Villca Aro

EMPRESA: Proyecto de Grado

MUESTRA: 3 Muestras

ANÁLISIS POR: Au

#### RESULTADOS:

N°	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	NT-5	Au	mg/Lt	4,98
2				
3	NT-6	Au	mg/Lt	5,04
4				
5	NT-7	Au	mg/Lt	4,91
6				

  
Lic. Osair Calle Calderón.  
**LABORATORIO QUÍMICO**

Cc: Archivo IIMETMAT

VoBo.

  
Juan Carlos Montenegro Brusa.  
DIRECTOR  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
METALURGÍAS Y DE MATERIALES  
IIMSA







**CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO**

**CLIENTE:** Nemy Villca Aro      **EMPRESA:** Proyecto de Grado  
**MUESTRA:** 4 Muestras      **ANÁLISIS POR:** Au

**RESULTADOS:**

N°	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	NS-1	Au	mg/Lt	1,87
2				
3	NS-2	Au	mg/Lt	6,88
4				
5	NS-3	Au	mg/Lt	6,82
6				
7	NS-4	Au	mg/Lt	6,10
8				



  
Lic. Oscar Calle Calderón.  
**LABORATORIO QUÍMICO**

**VoBo.**   
Ing. Juan Carlos Montenegro Bravo  
**DIRECTOR**  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
METALURGIAS Y DE MATERIALES  
I I M S A

Cc. Archivo IIMETMAT



No. Certif.: 059/2022

Fecha: 20/04/2022

### CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

CLIENTE: Nemy Villca Aro

EMPRESA: Proyecto de Grado

MUESTRA: 4 Muestras

ANÁLISIS POR: Au

#### RESULTADOS:

N°	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	Nx-1	Au	mg/Lt	3,56
2				
3	Nx-2	Au	mg/Lt	6,15
4				
5	Nx-3	Au	mg/Lt	5,90
6				
7	Nx-4	Au	mg/Lt	5,76
8				

Lic. Oscar Calle Calderón.  
LABORATORIO QUÍMICO

VoBo Ing. Juan Carlos Montenegro Bravo  
DIRECTOR  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
METALURGIAS Y DE MATERIALES  
UMSA



Cc: Archivo IIMETMAT



No. Certif.: 065/2022

Fecha: 26/04/2022

### CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

**CLIENTE:** Nemy Villca Aro

**EMPRESA:** Proyecto de Grado

**MUESTRA:** 4 Muestras

**ANÁLISIS POR:** Au

#### RESULTADOS:

N°	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	NM-1	Au	mg/Lt	2,56
2				
3	NM-2	Au	mg/Lt	6,04
4				
5	NM-3	Au	mg/Lt	6,74
6				
7	NM-4	Au	mg/Lt	7,17
8				

14

  
Lic. Oscar Calle Calderón.  
**LABORATORIO QUÍMICO**

  
VoBo. Juan Carlos Montenegro  
DIRECTOR  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
METALURGIAS Y DE MATERIALES  
UMSA



Cc.: Archivo IIMETMAT



**CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO**

**CLIENTE:** Nemy Villca Aro      **EMPRESA:** Proyecto de Grado

**MUESTRA:** 4 Muestras      **ANÁLISIS POR:** Au

**RESULTADOS:**

N°	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	NR-1	Au	mg/Lt	3,24
2				
3	NR-2	Au	mg/Lt	6,26
4				
5	NR-3	Au	mg/Lt	5,85
6				
7	NR-4	Au	mg/Lt	5,52
8				



  
Cje. Oscar Calle Calderon.  
**LABORATORIO QUÍMICO**

VoBo.   
Juan Carlos Mintenegro Bravo  
**DIRECTOR**  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES



No. Certif.: 077/2022  
Fecha: 24/05/2022

### **CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO**

**CLIENTE:** Nely Vilca Aro      **EMPRESA:** Proyecto de Grado

**MUESTRA:** 3 Muestras      **ANALISIS POR:** Au

#### **RESULTADOS:**

N°	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	NB-1	Au	mg/Lt	1,36
2				
3	NB-2	Au	mg/Lt	2,61
4				
5	NB-3	Au	mg/Lt	3,75
6				

  
Lic. Oscar Calle Calderón.  
**LABORATORIO QUÍMICO**

VoBo.

  
Oscar Calle Calderón  
Licenciado en Ingeniería  
Química y Física



Cc Archivo IIMETMAT



No. Certif.: 081/2022

Fecha: 31/05/2022

### CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

CLIENTE: Nely Villca Aro      EMPRESA: Proyecto de Grado

MUESTRA: 3 Muestras      ANALISIS POR: Au

#### RESULTADOS:

N°	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	NC-1	Au	mg/Lt	3,67
2				
3	NC-2	Au	mg/Lt	6,59
4				
5	NC-3	Au	mg/Lt	6,25
6				

Ljc. Oscar Calle Calderón.  
LABORATORIO QUÍMICO

Cc.: Archivo IIMETMAT

VoBo.

Ing. Juan Carlos Montenegro Bravo  
DIRECTOR  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
METALURGIAS Y DE MATERIALES  
UMSA





No. Certif.: 028/2022

Fecha: 15/03/2022

### **CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO**

**CLIENTE:** Empresa Minera GOLDMINS SRL. **EMPRESA:** Minera GOLDMIRNS SRL.

**MUESTRA:** 2 Muestras

**ANÁLISIS POR:** Au

#### **RESULTADOS:**

Nº	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	GP-1	Au	g/Ton	30,67
2				
3	GP-2	Au	g/Ton	10,00
4				

  
Lic. Oscar Calle Calderón.  
**LABORATORIO QUÍMICO**

**VoBo.**   
Ing. Juan Carlos Montenegro Bravo  
DIRECTOR  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
METALURGIAS Y DE MATERIALES  
UMSA

Cc: Archivo IIMETMAT





No. Certif.: 032/2022

Fecha: 17/03/2022

### **CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO**

**CLIENTE:** Empresa Minera GOLDMINS SRL. **EMPRESA:** Minera GOLDMINS SRL.

**MUESTRA:** 1 Muestra

**ANÁLISIS POR:** Au

#### **RESULTADOS:**

N°	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	GP-3	Au	g/Ton	17,67
2				

  
Lc. Oscar Calle Calderón.  
**LABORATORIO QUÍMICO**

**VoBo.**   
Mg. Juan Carlos Montenegro Braco  
DIRECTOR  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
METALURGIAS Y DE MATERIALES  
IIMETA

Cc.: Archivo IIMETMAT





No. Certif.: 044/2022

Fecha: 05/04/2022

### **CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO**

**CLIENTE:** Empresa Minera GOLDMIS S.R.L. **EMPRESA:** Minera GOLDMIS S.R.L.

**MUESTRA:** 1 Muestra **ANÁLISIS POR:** Au

#### **RESULTADOS:**

N°	Código	Elemento	Unidades	Contenido
1	GP-4	Au	g/Ton	10,00
2				

  
Lic. Oscar Calle Calderón.  
**LABORATORIO QUÍMICO**

Cc: Archivo IIMETMAT

VoBo.

  
Juan Carlos Montenegro Bravo  
DIRECTOR  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
EN METALURGIA Y DE MATERIALES  
IIMSA





# LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • ORURO BOLIVIA



## INFORME DE ENSAYO

0780202  
\* ORIGINAL \*

**CLIENTE** : Srs: Nemy Villea Aro.  
**DIRECCIÓN** :  
**CARACTERÍSTICAS** : Muestra s-s.  
**ANÁLISIS DE** : Muestra de: CUALI  
**LOTE N°** : FRX-2  
**FECHA RECEPCIÓN** : 23/08/2022 **FECHA MUESTREO** : 23/08/2022 **FECHA ANÁLISIS** : 23/08/2022  
**ANÁLISIS N°** : F- 025636/22 1.1. **N° MUESTRAS** : Una **PAG:** 1 / 1

### TROZOS

Zn	-----	0,058 %
Pb	-----	0,121 %
Sn	-----	0,012 %
As	-----	6,186 %
Cu	-----	0,024 %
Sb	-----	0,018 %
P	-----	0,099 %
WO <sub>3</sub>	-----	0,416 %
Ca	-----	0,210 %
Fe	-----	24,329 %
S	-----	11,156 %
SiO <sub>2</sub>	-----	5,169 %
Mg	-----	0,414 %
Al	-----	0,277 %
K	-----	0,650 %
Ti	-----	0,316 %
V	-----	0,005 %
Cr	-----	0,014 %
Mn	-----	0,025 %
Co	-----	0,006 %
Ni	-----	0,012 %
Ga	-----	0,002 %
Rb	-----	0,001 %
Sr	-----	0,003 %
Y	-----	0,001 %
Zr	-----	0,012 %
Ba	-----	0,030 %
Hg	-----	0,030 %
Tl	-----	0,001 %
U	-----	0,006 %

Nota 1: Técnica de Fluorescencia de Rayos X.  
Valores SOLO REFERENCIALES





Amun E. Conde Ortega  
RESPONSABLE TÉCNICO

Oruro, 25 de Agosto de 2022



S.E. Archivo 28235 - 327 C

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, P08-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la OTA del IBMETRO, según certificado DTA-CEI-027.

Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)

Prohíbe la reproducción total o parcial del presente documento.



**Autor: Nemy Villca Aro**

**Correo: nemyvillca@gmail.com**

**Celular: 77763306**



**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR  
Y DERECHOS CONEXOS**  
**RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-1354/2023**  
La Paz, 26 de Mayo del 2023

**VISTOS:**

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **22 de Mayo del 2023**, por **NEMY VILCA ARO** con C.I. N° **9214634 LP**, con número de trámite **DA-E 300163/2023**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: **"Estudio Experimental de Pretratamiento de un Mineral Aurífero Refractario Para la Recuperación de Oro en la Empresa Minera Goldmins S.R.L."**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

**CONSIDERANDO**

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*.



**Oficina Central - La Paz**  
Av. Ramón, N° 90,  
entre las Vías Uruguay y  
C. Bolívar (frente),  
Tel.: 22004 - 22005  
22007 fax: 22008

**Oficina - Santa Cruz**  
Av. Uruguay, Calle  
patricios (frente)  
N° 24, Tel. 22000000,  
Tel.: 22000 - 22001

**Oficina - Cochabamba**  
Calle Bolivia, N° 10,  
entre el cruce y Bolívar,  
Tel.: 22000 - 22000

**Oficina - El Alto**  
Av. Juan Pablo I, N° 100  
Calle Walfredo G. Gudi,  
Calle Paz 1, N° 18,  
entre el cruce y  
Tel.: 22000 - 22000

**Oficina - Oruro**  
Calle Romero 1, N° 100  
Calle del Interoceánico,  
entre Parque Bolívar  
Tel. 22000

**Oficina - Tarija**  
Av. La Paz, entre  
Calle del Interoceánico  
y Calle Sucre (frente),  
Tel. Santa Cruz, N° 100,  
Tel. 22000

**Oficina - Sucre**  
Calle 8 de Octubre,  
N° 100, entre Argentina  
y Calle Sucre (frente),  
Tel. La Paz, N° 100,  
Tel. 22000

**Oficina - Potosí**  
Av. Wladimir Pérez Collar,  
Barrancón Viejo y San Alberto,  
Tel. 22000, Santa Cruz, N° 100,  
Entre Paz, 22000

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*.

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ..."*, por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

**POR TANTO**

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas

**RESUELVE:**

**INSCRIBIR** en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: **"Estudio Experimental de Pretratamiento de un Mineral Aurífero Refractario Para la Recuperación de Oro en la Empresa Minera Goldmins S.R.L."**, a favor de la autora y titular: **NEMY VILLCA ARO** con C.I. Nº 9214634 LP, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.



Abg. Alexander Villegas Calle  
**DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y  
DERECHOS CONEXOS a.i.**  
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Senapi  
C.A. Coch



**Oficina Central - La Paz**  
Av. Murillo, Nº 35,  
entre las calles Sagasta y  
T. Benavente Alvarado  
Telf.: 291200 - 291201  
291202 Telf.: 291203

**Oficina - Santa Cruz**  
Av. Incahuasi, Calle  
Independencia Sur, Nº 25,  
entre las calles Incahuasi  
Telf.: 22212 - 22213

**Oficina - Cochabamba**  
Calle Bolívar, Nº 10,  
entre las calles de Arce y Arce  
Telf.: 31111 - 31112

**Oficina - Oruro**  
Av. San Pedro, Nº 100  
Calle Independencia Sur  
Calle, No. 1, Nº 10,  
entre las calles  
Telf.: 33111 - 33112

**Oficina - Sucre**  
Calle Obispo, Nº 10  
Calle No. 100, Calle  
Independencia Sur  
Telf.: 35111

**Oficina - Tarija**  
Av. La Paz, entre  
Calle San Pedro y Bolívar  
Telf.: 37111 - 37112  
Telf.: 37113

**Oficina - Potosí**  
Calle 6 de Octubre,  
Nº 100, entre las calles  
Independencia Sur y  
Calle Bolívar Sur,  
Calle No. 100, Nº 10,  
Telf.: 39111

**Oficina - Puno**  
Av. Bolívar entre las  
calles Bolívar y San Martín  
Telf.: 41111 - 41112  
Telf.: 41113