

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

**RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA DESDE RELAVES
APLICANDO CIANURO DE SODIO Y SANDIOSS EN
LA EMPRESA EXPLOTACIÓN GOLDEN
MINERALES**

TESIS

Presentada por:

Bach. Benjamín Giancock Ibacache Calizaya

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA

TACNA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

**RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA DESDE RELAVES
APLICANDO CIANURO DE SODIO Y SANDIOSS EN
LA EMPRESA EXPLOTACIÓN GOLDEN
MINERALES**

TESIS

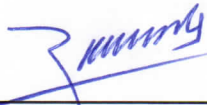
Tesis sustentada el 16 de noviembre de dos mil dieciocho, siendo el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE :



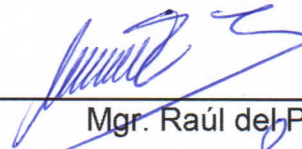
Msc. Edgardo Teófilo Valdez Cortijo

SECRETARIO :



Ing. Daniel Jesús Zevallos Ramos

VOCAL :



Mgr. Raúl del Pozo Tello

ASESOR :



Dr. Tolomeo Raúl Soto Pérez

DEDICATORIA

A mi familia y mis padres

Ivon y Aitana, Luis y María

AGRADECIMIENTOS

Inicio de la siguiente manera, brindado un sincero reconocimiento y agradecimiento al Dr. Raúl Soto Pérez por el tiempo dedicado y esfuerzo prestado con el gran apoyo en la elaboración de esta tesis. En ciertas empresas se presentan situaciones que modifican el desarrollo de las mismas, pero que gracias a su denodado esfuerzo se logró superar.

También mencionar a mis padres, fuente de inspiración para continuar de manera firme en la obtención de las metas que me he propuesto en mi vida.

Por último, agradecer el soporte y paciencia de todas las personas que de una u otra manera aportaron, con la paciencia y consejos en este camino largo, que significa la realización de una tesis.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XII
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema	3
1.1.1. Antecedentes del problema	3
1.1.2. Problemática de la investigación	4
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Justificación e importancia	4
1.4. Limitación de la investigación	5
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
1.6. Hipótesis	6
1.6.1. Hipótesis general	6

1.6.2. Hipótesis específica	6
1.7. Variables	6
1.7.1. Identificación de las variables	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio	8
2.2. Bases teóricas	9
2.2.1. Lixiviación de oro y plata por cianuración	9
2.2.2. Clasificación de los minerales de oro	10
2.2.3. Química de la cianuración del oro	12
2.2.4. Química de soluciones de cianuro	12
2.2.5. Disolución del oro	13
2.2.6. Tipos de lixiviación	18
2.2.7. Oxidación-Reducción potencial (ORP)	21
2.2.8. Factores que afectan en la lixiviación del oro	23
2.2.9. Recuperación de la solución lixiviada del oro	31
2.2.10. Instrucción operativa de lixiviante de oro SANDIOSS	35
2.2.11. Efectos ambientales de Cianuro	38
2.2.12. Tratamiento, recuperación y destrucción de cianuro	39
2.2.13. Aspectos ambientales y de seguridad	40
2.3. Definición de términos	40

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación	45
3.1.1. Tipo y nivel de investigación	45
3.1.2. Diseño de la investigación	45
3.2. Población y muestra	46
3.2.1. Población	46
3.2.3. Muestra	47
3.3. Operacionalización de variables	47
3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos	48
3.4.1. Técnica	48
3.4.2. Instrumentos para recolección de datos	48
3.4.3. Procedimiento experimental	50
3.5. Procesamiento y análisis de datos	53

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Resultados	55
4.1.1. Resultados de la caracterización física	55
4.1.2. Resultados del análisis granulométrico	56
4.1.3. Resultados de la lixiviación con cianuro de sodio	59
4.1.4. Resultados de la lixiviación con SANDIOSS	62

4.1.5. Resultados del % de recuperación de Au y Ag	66
4.2. Análisis de resultados	71
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química del sandioss en elementos pesados	37
Tabla 2: Descripción de los componentes	38
Tabla 3: Identificación de los reactivos y el tipo de mineral	47
Tabla 4: Parametro para la lixiviación con cianuro de sodio y sandioss	47
Tabla 5: Resultados de la caracterización física del relave	55
Tabla 6: Resultado del análisis granulométrico del relave	56
Tabla 7: Comparación de resultado de ajuste de curva granulométrica	58
Tabla 8: Determinación de cianuro libre en la lixiviación con NaCN	59
Tabla 9: Adición y consumo de reactivo utilizado en lixiviación con CN	60
Tabla 10: Recuperación del Au y Ag en la lixiviación con NaCN	60
Tabla 11: Determinación de sandioss libre en lixiviación con sandioss	62
Tabla 12: Adición y consumo de reactivos utilizados en la lixiviación con sandioss	63
Tabla 13: Recuperación del au y ag en la lixiviación con sandioss	63
Tabla 14: Recuperación de Au, Ag y consumo de sandios y NACN	66
Tabla 15: Determinación de hipótesis para el % de recuperación Au	67
Tabla 16: Determinación de hipótesis para el % de recuperación Au	69
Tabla 17: Prueba de hipótesis de diferencia del consumo de reactivo	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de cianuración anódica para el oro	15
Figura 2: Representación esquemática de la celda de corrosión local	18
Figura 3: Diagrama potencial-ph para el sistema de Au	23
Figura 4: Efecto del ph en la extracción de oro	26
Figura 5: Efecto de temperatura sobre velocidad de disolución de Au	27
Figura 6: Efecto de la arsenopirita y galena sobre disolución de Au	29
Figura 7: Efecto de adición de nitrato de plomo en lixiviación de mineral	31
Figura 8: Esquema de las etapas del desarrollo de las pruebas	46
Figura 9: Curva angra	57
Figura 10: Curva angra g.g.s	57
Figura 11: Curva Angra R - R	58
Figura 12: Gráfica de consumo de NACN	61
Figura 13: Recuperación de Au vs Ag utilizando NACN	61
Figura 14: Gráfica de consumo de sandioss	64
Figura 15: Recuperación de Au vs Ag utilizando sandioss	65
Figura 16: Gráfico de valores atípicos recuperación	66
Figura 17: Cuadro de prueba de normalidad de la diferencia del % recuperación	67
Figura 18 Gráfico de valores atípicos recuperación	68

Figura 19: Cuadro de prueba de normalidad de la diferencia del % recuperación	68
Figura 20: Gráfico de caja de diferencia de consumo de reactivos	69
Figura 21: Prueba de normalidad de consumo de reactivos	70

RESUMEN

El presente trabajo es de investigación aplicada y el nivel de estudio es el experimental, la finalidad de esta investigación es buscar nuevos reactivos lixiviantes para minerales auríferos de tipo óxido que sustituyan al cianuro de sodio, y así disminuir los problemas generados por contaminación ambiental y el manejo del cianuro, el uso de cianuro es el más utilizado en la minería para la extracción de oro y plata en distintas empresas mineras.

Para la realización del trabajo se usó dos reactivos cianuro de sodio y sandioss ambos reactivos son utilizados para la extracción del Au y Ag mediante la lixiviación por agitación, los datos obtenidos son de carácter comparativo y las condiciones operativas como granulometría se llegó mediante la molienda a un 91,25 % -m200, con una ley de cabeza de 0,362 oz/t de Au y 0,539 oz/t de Ag, a una velocidad de agitación de 300 rpm, a un pH 11, cal como regulador de pH, con tiempos de agitación a distintas horas en condiciones normales de temperatura y presión.

En las pruebas se determinó el consumo de cianuro y sandioss de las pruebas de lixiviación realizadas en este trabajo de investigación, mediante la lixiviación por agitación utilizando cianuro y sandioss en relaves se llegó a la conclusión del consumo de NaCN 2,82 kg/t y consumos de cal fue de

4,78 kg/t, para el reactivo sandioss el consumo fue 3,25 kg/t y el consumo de cal fue de 4,78 kg/t.

Se determinó el porcentaje de recuperación con los reactivos de lixiviación cianuro y sandioss, de las cuales se obtuvieron que en la lixiviación usando cianuro un 96,17 % Au y 61,47 % Ag de recuperación, y en la lixiviación usando sandioss se obtuvo 94,55 % Au y 72,36 % Ag de recuperación, en un tiempo de 72 horas, en general, la recuperación del Au y Ag utilizando sandioss es similar al obtenido con cianuro de sodio y sería una buena alternativa el reemplazo y uso del reactivo sandioss, con el uso de sandioss se evitaría la contaminación del medio ambiente.

Palabras clave: sandioss, cianuro de sodio, porcentaje de recuperación, lixiviación, contaminación ambiental.

INTRODUCCIÓN

En el país hay empresas mineras que trabajan con minerales auríferos que para la extracción del oro y la plata utilizan cianuro de sodio y este es un reactivo que tiene problemas ambientales, para evitar dichos problemas algunas empresas están realizando pruebas a escala de laboratorio con un nuevo reactivo chino llamado sandioss y aun no se está aplicando en la industria esto es debido a que no existe mucha información sobre las investigaciones realizadas entre el reactivo sandioss vs. el cianuro de sodio en la recuperación de oro y plata mediante lixiviación, es por esta razón que se plantea hacer un estudio comparativo de los reactivos mencionados, para saber el porcentaje de recuperación en minerales auríferos de tipo óxidos, mediante lixiviación por agitación.

El reactivo sandioss es proveniente y desarrollado en China, y que es algo nuevo en nuestro país ya que según las instrucciones describe que es un producto amigable con el medio ambiente y como alternativa de reemplazo al cianuro de sodio, para la recuperación de oro y plata mediante lixiviación. El cianuro es utilizado en la gran minería, así como en la pequeña minería ya que

es una herramienta útil y muy usada para la recuperación de metales preciosos.

Este trabajo consiste en la lixiviación por agitación de relaves de la empresa Explotación Golden Minerales, en el desarrollo de cuatro capítulos, en el primer capítulo se desarrolla el planteamiento del problema; en el segundo capítulo, el marco teórico; en el tercer capítulo, marco metodológico y, por último; el cuarto capítulo, resultados y análisis de datos obtenidos en las pruebas metalúrgicas realizadas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

1.1.1. Antecedentes del problema

Durante muchos años, para poder extraer el oro de sus minerales, es utilizado a escala comercial a nivel mundial, el método de cianuración, que se puede explicar químicamente como la disolución del oro y la plata, que tienden a acomplejarse en soluciones de cianuros alcalinos en condiciones oxidantes. Este método permite a la empresa calcular el uso de reactivos necesarios para recuperar el oro mediante los siguientes procesos: precipitación con polvo de zinc o adsorción en carbón activado. Aunque en estos procesos de cianuración presentan datos importantes para obtener el porcentaje de recuperación de oro y plata, también produce un alto impacto ambiental, muchas veces difíciles de revertir en caso de ocurrir algún accidente durante el proceso de cianuración, o durante el traslado del licor resultante del proceso de lixiviación.

1.1.2. Problemática de la investigación

La problemática de la investigación son las consecuencias ambientales que se desprenden del uso del cianuro en la recuperación del oro y la plata, ante esta problemática se presenta un nuevo reactivo lixivante denominado sandioss, que ofrece resultados similares al uso del cianuro, siendo el sandioss una alternativa que se diferencia por su comportamiento amigable con el medio ambiente.

1.2. Formulación del problema

Ante la problemática de la existencia de relaves con contenido de oro y plata se plantea lo siguiente:

¿Al realizar un proceso de lixiviación por agitación utilizando como reactivo lixivante al cianuro de sodio y sandioss con iguales parámetros y variables se obtendrá la misma recuperación de oro y plata de la empresa Minera Explotación Golden Minerales?

1.3. Justificación e importancia

Este proyecto se justifica en la necesidad de ofrecer nuevas alternativas, en reactivos lixiviantes, mediante la comparación de resultados al ser aplicado cianuro de sodio y sandioss, siendo la diferencia los impactos ambientales de cada uno de los reactivos, razón por la cual

se realizará la investigación de generar nuevas alternativas en el proceso de tratamiento del oro, que sean más amigables con el ambiente.

1.4. Limitación de la investigación

En el desarrollo de este trabajo de tesis se incluyen los procesos de extracción de oro, la forma del proceso está ligado a las características mineralógicas del material, lo cual limita la investigación, por el elevado costo de estos ensayos en el desarrollo del proyecto.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Comparar la recuperación de oro y plata de los relaves con el uso de cianuro de sodio y sandioss.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la caracterización y ocurrencia mineralógica del oro en los relaves.
- Determinar el consumo de cianuro y sandioss mediante la lixiviación por agitación en relaves.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

- En el proceso de lixiviación para recuperación del oro y plata, se pretende obtener una mayor recuperación utilizando como agente lixivante el sandioss en reemplazo del cianuro de sodio.

1.6.2. Hipótesis específica

- A partir de datos se caracterizó la ocurrencia mineralógica del oro en los relaves de la empresa Explotación Golden Minerales.
- Que el consumo de sandioss sea igual al consumo de cianuro de sodio o sea mayor el consumo de sandioss.

1.7. Variables

1.7.1. Identificación de las variables

Las variables que afectan el proceso de lixiviación del oro y la plata son las siguientes:

Variables independientes:

- Consumo de cianuro de sodio.
- Consumo de sandioss.

Variable dependiente:

- Porcentaje de recuperación del oro y plata.

Variables fijas:

- pH 11 - 11,5
- Velocidad de agitación 300 rpm
- Tiempo 24 a 72 horas
- Granulometría 60 a 90 % - malla -200
- Temperatura ambiente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Padierna & Zegarra (2016) realizaron un trabajo comparativo de la extracción de oro usando el reactivo sandioss versus el cianuro de sodio para tres tipos de minerales siendo estos: sulfuros, óxidos y carbonáceos; a similares condiciones operativas como granulometría 80 % malla 200, 33 % de sólidos, 500 ppm de concentración de reactivo lixivante, pH 11, cal como regulador de pH, con tiempo de agitación 72 horas rolado en botella y a condiciones normales de temperatura y presión, la recuperación de oro utilizando sandioss es similar al obtenido con cianuro de sodio y se presenta como una alternativa en la lixiviación alcalina por agitación de minerales tipo óxido, sulfuro y carbonáceo. A un 95 % de significancia existe evidencia empírica suficiente para concluir que la recuperación de oro con los reactivos es similar, siendo los tipos de minerales los que presentan mayor influencia en la recuperación de oro.

COMARSA (2015), se tiene conocimiento que en una empresa minera de la región La Libertad se hicieron pruebas comparativas en lixiviación por

agitación en botella con sandioss vs. cianuro de sodio, obteniendo resultados muy similares en la recuperación de oro.

Lemcorp (2015), el procedimiento para controlar la concentración de reactivo sandioss en la solución y los parámetros usados son similares al cianuro de sodio.

Huaco (2017), en el estudio realizado, las condiciones de operación que se usaron en estas pruebas metalúrgicas fueron las mismas que se usan en el proceso de cianuración, variando únicamente el reactivo lixivante por el sandioss, el cual reemplaza al cianuro. Las variables de mayor influencia en el proceso de lixiviación con sandioss son la concentración de sandioss y el tiempo de lixiviación; las cuales al pasar de su nivel inferior (0,2 % y 24 horas) a su nivel superior (0,4 % a 48 horas) aumentan el porcentaje de la disolución de oro.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Lixiviación de oro y plata por cianuración

Dentro del contexto de la extracción del oro y la plata, la lixiviación con cianuro es la disolución de estos metales o sus minerales en una solución alcalina de cianuro. El mayor interés en este proceso es la reacción de

disolución selectiva del oro y la plata en una solución acuosa formando complejos metálicos (Cárdenas,1994).

El cianuro forma complejos estables con el oro y la plata para ser usado en los procesos de extracción. Este proceso de lixiviación se usa porque tiene relativamente un bajo costo y gran eficiencia para la disolución de estos metales nobles. El oxidante comúnmente utilizado en la lixiviación con cianuro es el oxígeno del aire, el cual contribuye a la economía de este proceso (Misari,1993).

2.2.2. Clasificación de los minerales de oro

Oraby (2009) clasifica los minerales de oro en siete categorías que se presenta a continuación:

- a) Minerales de molienda libres: Cianuración de la que puede extraer el 95 % del oro cuando el mineral es molido a un tamaño de 80 % bajo 75 μm . Por ejemplo, para oro en veta de cuarzo placeres son las dos clases principales de minerales de molienda libres.
- b) Minerales oxidados: El material mineral está en forma oxidada en estos minerales. El grado de liberación del oro se incrementa en grado de oxidación. Por ejemplo, óxidos de hierro tales como minerales de

hematita, magnetita, limonita y goethita son los minerales oxidados más comunes.

- c) Los sulfuros de hierro: Estos sulfuros impiden la liberación de oro en la lixiviación. El comportamiento de los sulfuros de hierro afecta en la selección y operación del proceso. Por ejemplo, la pirita, pirrotita y marcasita son los minerales más comunes de sulfuro de hierro.
- d) Sulfuros de arsénico: Si el oro se asocia con sulfuro de arsénico que pertenece a esta clase. Sulfuros de arsénico, como arsenopirita tienen un efecto negativo en la lixiviación de oro.
- e) Sulfuros de cobre: Minerales que contienen oro asociado con minerales de sulfuro de cobre pertenecen a esta clase. Calcopirita y calcosina son los principales minerales de cobre y tienen un efecto perjudicial en la lixiviación de oro.
- f) Tellurides: Son minerales de oro que tienen importancia económica como el oro metálico y aleaciones de oro y plata. Los más importantes son tellurides calverite, petzita, hessite, krennerita y maldonite.
- g) Minerales que contienen carbono: Estos son minerales de oro que contienen componentes carbonosos. Ellos adsorben oro disuelto

durante cianuración y por lo tanto reducir la extracción de oro. Se necesitan métodos de pre-tratamiento antes de la lixiviación de cianuro.

En la mayoría de los minerales refractarios, la cianuración es incapaz de liberar cantidades significativas de oro sin consumir cantidades excesivas de reactivos. Tiosulfato es un agente lixivante más eficaz de minerales que contienen oro y de cianuro porque la lixiviación con tiosulfato es menos sensible que la cianuración en cuanto a la contaminación por cationes no deseados (Grosse et al., 2003).

2.2.3. Química de la cianuración del oro

Cianuración del oro ha sido utilizado como el principio de la técnica de extracción de oro desde finales del siglo XIX. El cianuro se utiliza universalmente debido a su costo relativamente bajo y gran efectividad para la disolución de oro. Además, a pesar de algunas preocupaciones sobre la toxicidad del cianuro, que se puede aplicar con poco riesgo para la salud y el medio ambiente (Waroonkarn,2008).

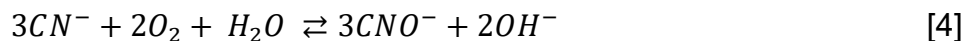
2.2.4. Química de soluciones de cianuro

Sales de cianuro simples, por ejemplo, cianuro de sodio (NaCN), cianuro de potasio (KCN) y cianuro de calcio [Ca (CN₂)], han sido ampliamente utilizados como fuentes de lixiviación con cianuro (Waroonkarn,2008). Ellos se

disuelven y se ionizan en agua para formar sus respectivas catión de metal y iones cianuro libres (CN) tal como se presenta a continuación:



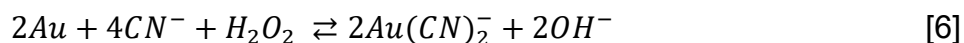
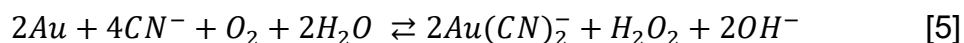
Iones cianuro se hidrolizan en agua para formar iones de cianuro de hidrógeno (HCN) e hidroxilo (OH), que también aumentan el pH. A un pH de aproximadamente 9,3, la mitad de cianuro total existe como cianuro de hidrógeno y la mitad de iones cianuro libres. A pH más alto, el cianuro total existe en gran medida iones cianuro libres. reacciones adversas pueden ocurrir durante la lixiviación porque el cianuro de hidrógeno, así como cianuro libre, se pueden oxidar con oxígeno para formar cianato (CNO) que no disuelva el oro y por lo tanto, reduce la concentración de cianuro libre (Marsden y House, 1992).



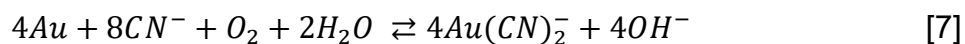
2.2.5. Disolución del oro

La oxidación de oro es un prerrequisito para su disolución en solución de cianuro alcalino. Aunque el oro es inerte a la oxidación, es ampliamente aceptado que, en presencia de un agente de complejo adecuado, tal como

cianuro, el oro se oxida y es disuelto para formar el ion complejo estable $[Au(CN)_2]$. El oxígeno se reduce y el peróxido de hidrógeno se forma como producto intermedio en la primera etapa y se convierte en el agente oxidante en la segunda etapa, que conduce a las siguientes reacciones químicas que proceden en paralelo (Marsden y House, 1992; Kondos *et al*, 1995; Ling *et al*, 1996; de Andrade Lima and Hodouin, 2005; Senanayake, 2005).



La suma de las dos reacciones parciales se presenta en la ecuación [7], tal como se propone por Elsner:

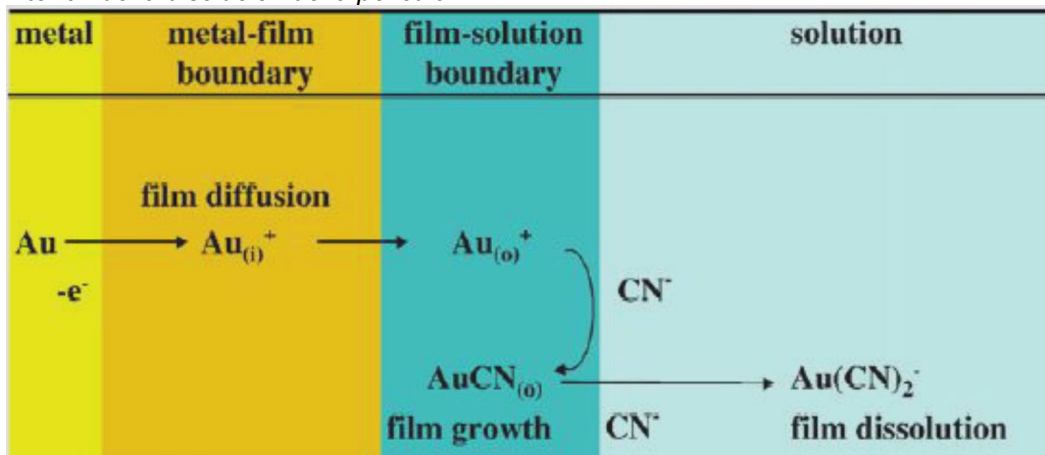


Esta ecuación, llamada ecuación de Elsner, es estequiométricamente correcta. Sin embargo, no describe completamente las reacciones catódicas asociados con la disolución (Marsden y House, 1992).

El mecanismo de disolución ha sido objeto de debate tanto en condiciones ácidas y alcalinas. Disolución implica un proceso electroquímico en el que la reacción anódica es la oxidación oro, mientras que la reacción catódica es la reducción de oxígeno. (Senanayake, 2008) ha ilustrado la difusión de iones de oro a través de los interfaces en la solución como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Modelo de cianuración anódica para el oro; de límites i: interfaz de oro de película, límite o: interfaz de la disolución de la película



Los pasos importantes durante la reacción anódica en la fase de solución se presentan a continuación (Kondos et al, 1995; Wadsworth et al, 2000):

- ✓ Adsorción de cianuro en superficie del oro



- ✓ Extracción electroquímica de un electrón



- ✓ Combinación del adsorbido intermedio con otro ion cianuro



Donde:

- (s) = Se refiere a la superficie especies adsorbidas.

- AuCN=Es una especie intermedios neutros adsorbidos en la superficie.

✓ Reacción global anódica

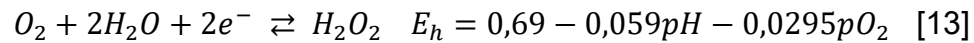


para la ecuación de Nernst es:

$$E_h \rightleftharpoons -0,60 + 0,118 pCN + 0,059 \log(C_{Au(CN)_2^-}) \cdot V \quad [12]$$

La disolución anódica se acompaña por la reducción catódica de oxígeno que participan varias reacciones en paralelo y en serie:

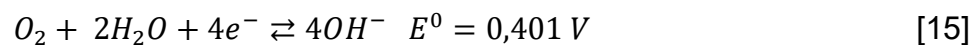
✓ Reducción de oxígeno a H₂O₂



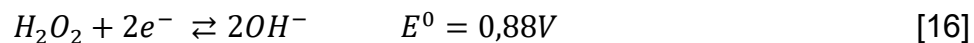
✓ La descomposición del peróxido de hidrógeno



✓ Reducción de oxígeno a iones de hidróxido



El peróxido de hidrógeno formado es un agente oxidante fuerte que puede capaz de reducir a los iones hidróxido (OH⁻) como sigue:

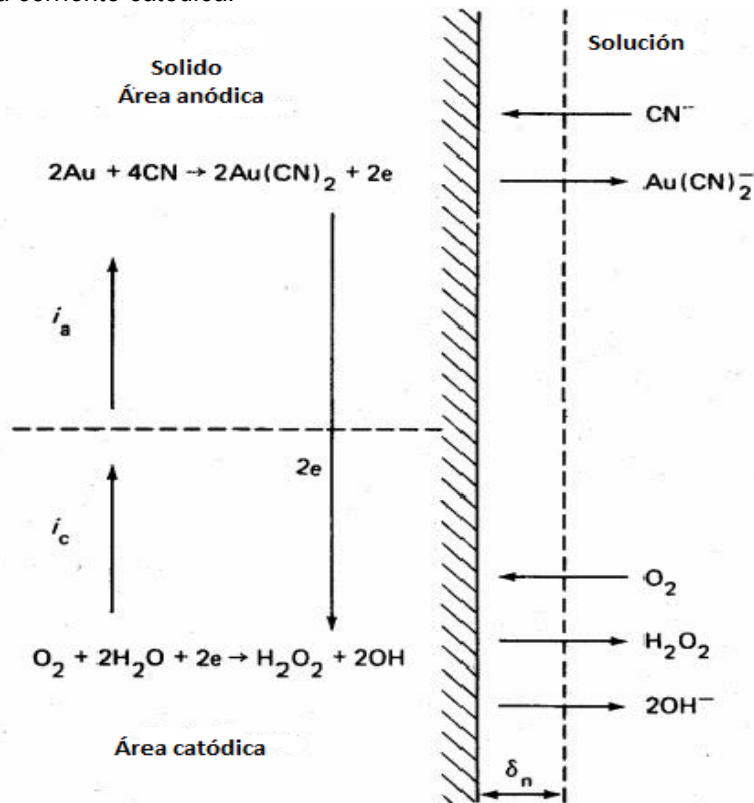


Sin embargo, se ha demostrado que la reducción de esta especie es difícil de pasar y la velocidad de disolución de oro en soluciones libres de oxígeno que contienen peróxido de hidrógeno es muy lento (Marsden y House, 1992).

La Figura 2 ilustra las principales reacciones de los dos procesos de electrones. Las condiciones de limitación de velocidad aparecen cuando las velocidades de difusión de cianuro y el oxígeno son iguales. A continuación, la velocidad de difusión más lenta de cualquier especie proporcionará la tasa de factor limitante (Marsden y House, 1992). La tasa lenta se ha relacionado con la formación de una capa pasiva sobre la superficie de oro. (Zheng et al., 1995).

Figura 2

Representación esquemática de la celda de corrosión local en una superficie de oro en contacto con una solución de cianuro que contiene oxígeno. i_a = es la corriente anódica; i_c = es la corriente catódica:



2.2.6. Tipos de lixiviación

2.2.6.1. Lixiviación por agitación

La lixiviación por agitación se aplica comúnmente en un amplio rango de tipos de minerales. El material a ser lixiviado se reduce a un tamaño en el cual

se optimiza la recuperación de oro y plata, típicamente 80 % entre 45 y 150 μm (Rojas,2003).

La lixiviación por agitación comúnmente se desarrolla en tanques de acero y los sólidos se mantienen en suspensión por aire o algún aparato mecánico. Sistemas bien diseñados pueden aprovechar perfectamente las condiciones de mezcla de flujo en un reactor simple, el cual ayuda a optimizar la cinética de la reacción y hacer más productivo el equipo de cianuración (Rojas,2003).

2.2.6.2. Lixiviación en pila o montón

La lixiviación en pila es un proceso económico conveniente para el tratamiento de materiales de bajo grado, los cuales no justifican el alto costo de la molienda y lixiviación por agitación. La lixiviación en pilas significa cianurar las menas que han sido minadas, trituradas y transportadas a plataformas impermeables para lixiviación por regado o inmersión y percolación de la solución a través de la mena apilada. La elección para usar este proceso de lixiviación depende de la ley, toneladas de mena disponible y además de su permeabilidad, que es un factor crítico. Sin una adecuada permeabilidad no habrá percolación, disolución ni extracción de oro económicamente aceptable (Azañero,2001).

2.2.6.3. Lixiviación intensiva

El proceso de lixiviación intensiva utiliza una concentración de reactivo alta, principalmente cianuro y oxígeno y frecuentemente se eleva la temperatura y/o la presión para incrementar la velocidad de disolución de los metales nobles. Esto es aplicado a materiales de alto grado, los cuales pueden justificar al elevado costo de tratamiento para alcanzar una elevada recuperación. Tales materiales incluyen concentrados de flotación y gravimétricos que pueden contener oro grueso o en los que el oro puede estar presente en minerales solubles en cianuro como sulfuros o donde el oro puede aparecer con otros minerales que interfieren en la cianuración estándar, tales como telurio y mercurio (Rojas,2003).

2.2.6.4. Lixiviación en bateas

La lixiviación en tinas (estanques) es por definición, inundar o sumergir la mena finamente triturada (-2,54 cm) en una solución de cianuro, en grandes tinas capaces de recibir miles de toneladas de mena. El grado de trituración y aglomeración debe ser justificado por una mejora en la recuperación de oro. El objetivo de la lixiviación de menas de oro en tinas, es reducir el tiempo de lixiviación e incrementar la extracción y contenido de oro de la solución cargada, en comparación con los otros tipos de lixiviación. Este proceso es

poco utilizado debido al alto costo de capital asociado con la construcción de las bateas, pero posee la ventaja de un eficiente mojado de toda la superficie del mineral (Rojas,2003).

2.2.6.5. Lixiviación *in situ*

Este proceso consiste básicamente en la aplicación de la solución de cianuro diluida en un mineral directamente en el lugar en donde se encuentra. Para esto se requiere que la permeabilidad del mineral sea tal que la solución pueda tener acceso a una porción económicamente significativa de metal noble. El requerimiento de permeabilidad puede ser una propiedad del cuerpo mineral (poroso o fracturado) o puede ser inducido por voladura para crear suficiente fragmentación. En la práctica el proceso ha sido aplicado solo en contados casos debido a la baja eficiencia de contacto metal – solución, baja recuperación de las soluciones cargadas y restricciones medioambientales (Rojas,2003).

2.2.7. Oxidación-Reducción potencial (ORP)

Redox potencial o ORP se pueden utilizar para explicar las estabildades de metales y otras especies en soluciones acuosas. ORP está relacionada con los diagramas potencial-pH, también llamado *Eh*-pH o de Pourbaix diagramas, por la ecuación de Nernst. Cada línea en el diagrama de *Eh*-pH representa la

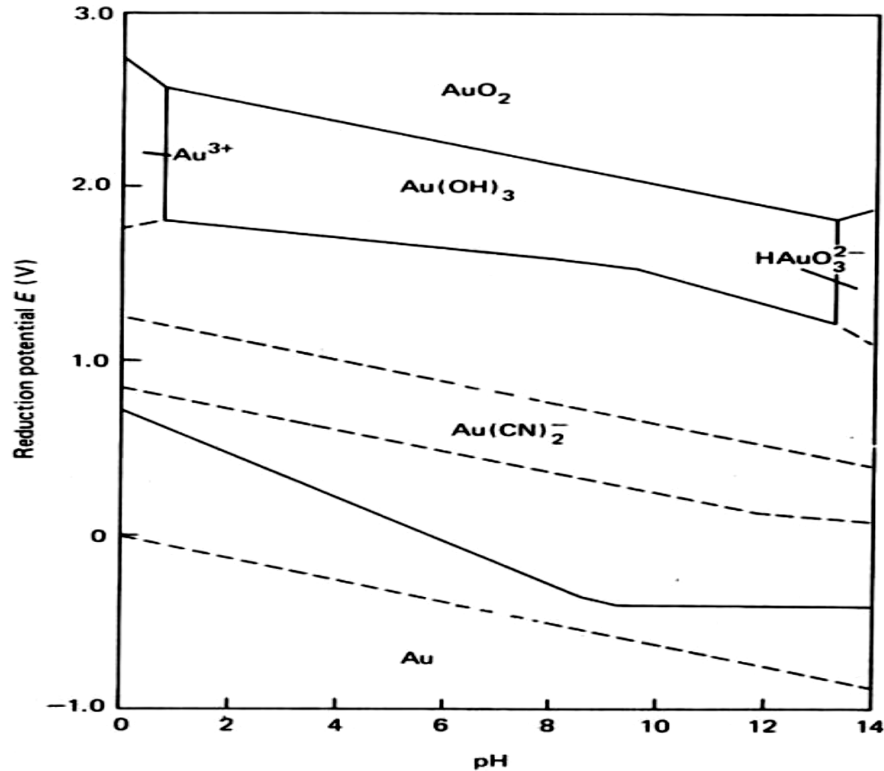
condición en la que las actividades de los reactivos y los productos de la reacción considerado están en equilibrio.

La Figura 3 ilustra las condiciones de pH aplicadas en el proceso de extracción de oro industrial. Este diagrama Pourbaix indica que la reacción del complejo de Au (I) tiene lugar más fácilmente que el complejo de Au (III) desde el E_h valor de la reacción compleja Au (I) es más negativo que el otro.

Wadsworth et al.,(2000) presenta que la disolución de oro en solución de cianuro alcalino ($Au(CN)_2$) se encontró que ocurrir en el rango potencial redox de -0,4 y -0,7 V. La Figura 3 indica también que la diferencia de potencial entre las líneas de las reacciones de oxidación de oro y de reducción de oxígeno se maximiza en valor de pH de alrededor de 9,5. El diagrama de Pourbaix también es capaz de explicar el papel de otros minerales que compiten con la cianuración del oro.

Figura 3

Diagrama potencial-pH para el sistema de Au - H₂O - CN⁻ A 298,15 °K (25°C). Las concentraciones de todas las especies de oro soluble = 10⁻⁴ M:



Nota. Marsden y House, 1992.

2.2.8. Factores que afectan en la lixiviación del oro

Muchas variables afectan la lixiviación de oro y se han estudiado los parámetros de lixiviación, por tanto, muchos estudiosos investigaron la optimización del proceso de cianuración. Las variables tales como las concentraciones de oxígeno y cianuro, pH, tamaño de partícula, temperatura, etc. Estos afectan la disolución de oro, la extracción de oro y el consumo de cianuro (Srithammavut, 2008).

2.2.8.1. Efecto del pretratamiento

Un pretratamiento del mineral refractario antes de la lixiviación da una mejor extracción de oro y disminuye el consumo de reactivos. Métodos de pretratamiento utilizados son, por ejemplo, el tostado, la cloración, la bio-oxidación, la oxidación a presión y la oxidación química (Nanthakumar et al., 2007; Celep et al., 2011).

2.2.8.2. Efecto de oxígeno

El oxígeno es uno de los reactivos clave en cianuración del oro, ya que se reduce en el cátodo y la reducción de oxígeno se determina por la concentración de oxígeno. El oxígeno puede ser suministrado al sistema por el aire, oxígeno puro o en forma de burbujas de aire enriquecido. Pequeñas burbujas de oxígeno dispersas en la suspensión dan suficiente concentración de oxígeno para la disolución de oro. Con cantidad adecuada de oxígeno en la solución, la recuperación de oro es superior, más corto tiempo de retención y menor consumo de cianuro se puede lograr. Diferentes composiciones mineralógicas necesitan diferentes cantidades de oxígeno y concentración de oxígeno disuelto no tiene efecto significativo en el consumo de cianuro, la cinética de lixiviación es más rápida, pero se ha observado mediante el uso de mayores concentraciones de oxígeno disuelto (Srithammavut, 2008).

Cualquier reacción secundaria en la que la solución de cianuro se le priva de su contenido de oxígeno causará una disminución en la tasa de lixiviación del oro (Habashi, 1999).

2.2.8.3. Efecto de la concentración de cianuro

La extracción de oro es mayor cuando aumenta la concentración de cianuro. Cuando es máxima el exceso de cianuro no tiene efecto. La concentración máxima de cianuro es 0,075 % KCN o NaCN 0,06 %, equivalente a 600 ppm (Srithammavut, 2008).

2.2.8.4. Efecto del pH

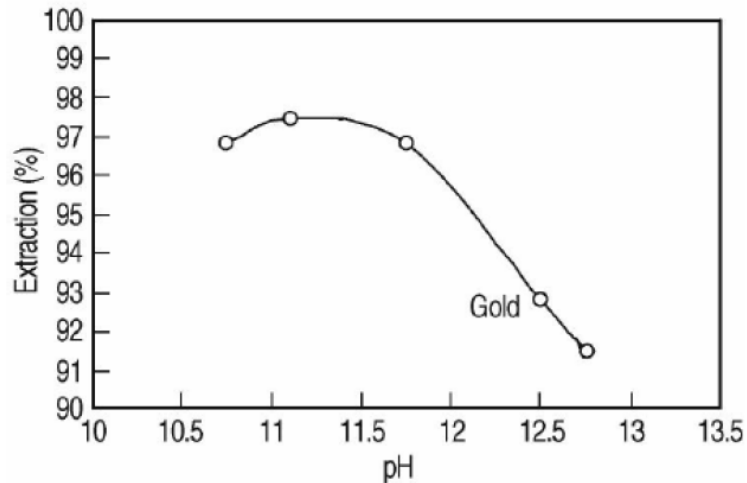
La alcalinidad de las soluciones de cianuro es importante para lograr altas velocidades de disolución del oro, el pH por lo general oscila entre 11 y 12 (Habashi, 1999).

El valor del pH se mantiene por la adición de cal (CaO) pH. El aumento reduce la velocidad de disolución de oro debido a la adsorción de OH⁻ ion, sobre la superficie del oro disminuye la disponible para la lixiviación con cianuro. En La Figura 4 se observa que la extracción de oro se reduce en el sistema de alta presión cuando el pH aumenta. Después de todo, cada tipo de

mineral y sistema de lixiviación tiene el pH óptimo en particular (Srithammavut, 2008).

Figura 4

Efecto del pH en la extracción de oro. Condiciones: 20 % solida, 0.6 MPa, 300 min⁻¹, 353,15 °K (80 °C), 1 % de NaCN, 1 hr:



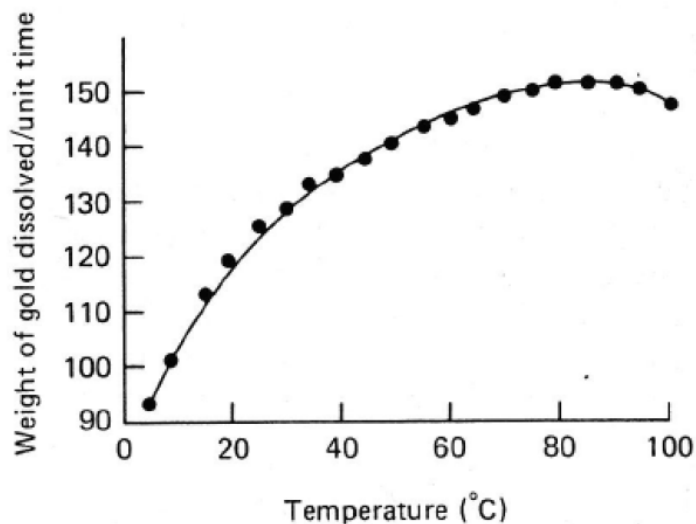
Nota. Parga et al., 2007.

2.2.8.5. Efecto de la temperatura

Un aumento de la temperatura aumenta la velocidad de disolución del oro. Por otro lado, el aumento de la temperatura disminuye el contenido de oxígeno de la solución. Como se ve en la Figura 5, la temperatura óptima es de aproximadamente 358,15 K (85 °C) (Habashi, 1999).

Figura 5

Efecto de la temperatura sobre la velocidad de disolución de oro en solución aireada 0,25 % KCN.



Nota. Mardsen y House, 1992.

2.2.8.6. Efecto del tamaño de partícula

El tamaño medio de partículas de mineral molido es, por lo general, 30 a 180 μm . El tamaño de partícula más pequeño puede mejorar la velocidad de disolución de oro porque el tamaño de partícula más pequeño proporciona una mayor área de superficie de contacto entre sólido y líquido (Kondos et al., 1995).

También lo contrario a lo mencionado en una investigación se encontró que la molienda más fina aumenta el consumo de cianuro y no mejora la extracción de oro. La tasa de disolución puede disminuir con la reducción del tamaño de

partícula debido a la mayor tasa de reactivo del consumo y las reacciones secundarias (Kondos et al., 1995).

2.2.8.7. Efecto de la agitación

Según Habashi (1999), la lixiviación de oro es un proceso de difusión controlada. Por lo tanto, la velocidad de disolución aumenta con el aumento de la agitación. velocidad de disolución de oro depende del espesor de capa de difusión y las características de mezcla de la solución a general. Todas las partículas deben ser suspendidas en la suspensión por agitación suficiente (Srithammavut, 2008).

2.2.8.8. Efecto de la presión

La solubilidad del gas aumenta cuando aumenta la presión. Por lo tanto, la presión puede mejorar la disolución del oro. De alta presión con la temperatura apropiada mejora la extracción de oro (Shrithammavut, 2008).

2.2.8.9. Efecto de la densidad

Densidad de la suspensión típica en la lixiviación varía entre 35 % y 50 % de sólidos. Esto depende de factores tales como la gravedad específica de sólidos, tamaño de partícula y la presencia de minerales afectando la

viscosidad de la suspensión, por ejemplo, la arcilla. La transferencia de masa se maximiza cuando la densidad es baja (Shrithammavut, 2008).

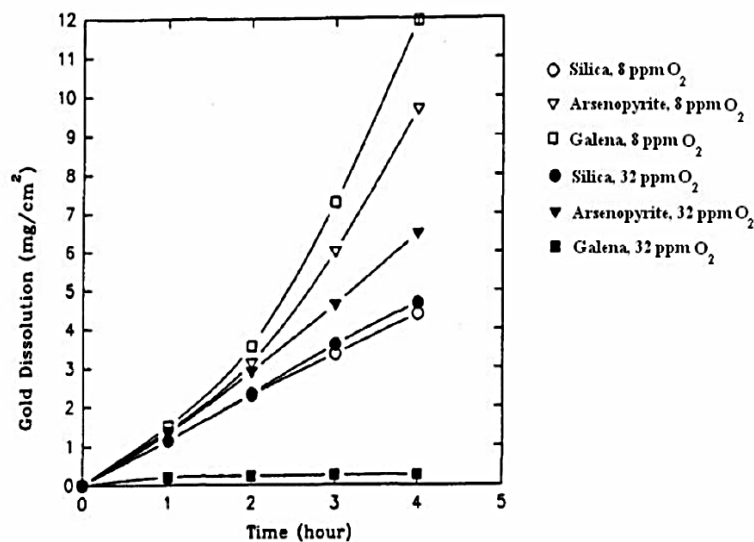
2.2.8.10. Efecto de iones extraños

a) Efecto de minerales sulfurados

La mayor parte de los iones sulfuro tienen efecto negativo sobre la disolución de oro ya que ellos pasivan la superficie de oro y consume cianuro y oxígeno. Una excepción es la galena que tiene aumento de la disolución de oro bajo condiciones atmosféricas en 8 ppm. Cuando la concentración del O_2 aumenta a 32 ppm la velocidad de disolución de oro se encuentra a ser casi cero, como se ve en la Figura 6 (Shrithammavut, 2008).

Figura 6

Efecto de la arsenopirita y galena sobre la disolución de oro.



Nota. Lui y Yen, 1995.

b) Efecto de iones de cobre

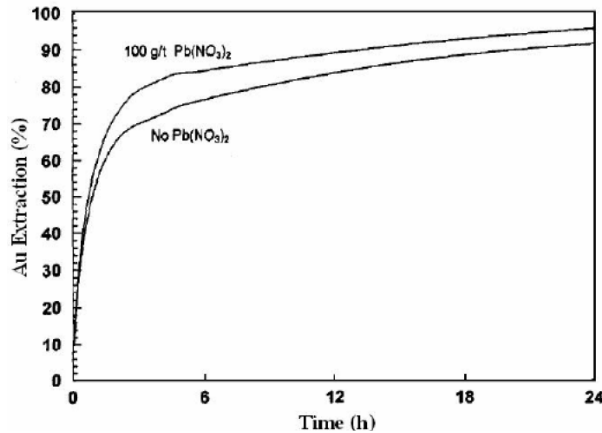
Los minerales de cobre pueden disolver y formar una variedad de complejos de cianuro de cobre tales como $CuCN$, $Cu(CN)_2^-$, $Cu(CN)_3^{2-}$ y $Cu(CN)_4^{3-}$ a un pH conveniente. Disolución del cobre tiene efecto perjudicial sobre la disolución de oro ya que consume el oxígeno y el cianuro (Shrithammavut, 2008).

c) Efecto de iones de plomo

La adición de solución de plomo por ejemplo nitrato de plomo $Pb(NO_3)_2$, puede mejorar la cinética de lixiviación del oro. Se observa que el nitrato de plomo activa la superficie de partículas del oro pasivado y evita la formación de película de pasivación en la superficie de oro. En la Figura 7 se ilustra el efecto de la adición de nitrato de plomo en el mineral de oro con pirita, calcopirita y pirrotita (Shrithammavut, 2008).

Figura 7

Efecto de la adición de nitrato de plomo en la lixiviación de mineral de oro con pirita, pirrotita y calcopirita:



Nota. Deschenes et al., 1995.

2.2.9. Recuperación de la solución lixiviada del oro

Existen varias técnicas para recuperar la solución de lixiviación con cianuro convencionales. Estos son de adsorción de carbono, resina de adsorción, precipitación, extracción con disolventes y electrodeposición (Grosse et al., 2003).

Incluso tiosulfato se considera que es una de las alternativas prometedoras al cianuro, es difícil recuperar el complejo de tiosulfato de oro (Oraby, 2009; Aylmore y Muir, 2001). Los mismos procesos que se utilizan para la lixiviación con cianuro también se han aplicado para recuperar el oro en lixiviación amoniacal tiosulfato con diversos grados de éxito (Crosse et al., 2003).

A continuación, se describen las técnicas de recuperación del oro.

2.2.9.1. Adsorción con carbono activado

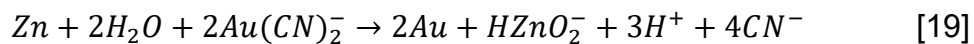
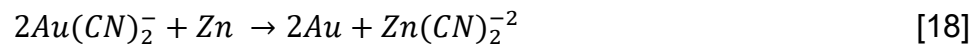
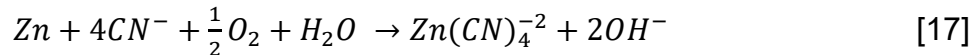
Adsorción con carbono activado se puede dividir en dos procesos, los cuales con, el carbono en pulpa (CIP) y el carbono en lixiviación (CIL). procesos CIP y CIL se han utilizado ampliamente desde 1970 y ellos son los métodos de recuperación de oro dominantes debido a su alta eficiencia, es relativamente bajo los costos y buena pureza de producto (Grosse et al., 2003).

El proceso CIP es más utilizado que la CIL debido a sus costos más bajos y más altos de recuperación de oro. Juntos, representan aproximadamente el 44 % de la producción de oro en el mundo. En la cianuración del oro del proceso CIP se compone de tres etapas. La primera etapa es la adsorción donde el oro disuelto en la pulpa se carga sobre carbón activado. después de la adsorción sigue la elución donde el oro se elimina de carbono en una solución de cianuro alcalino. Por último, en electro deposición del oro se retira de la solución de cianuro alcalino por un proceso eléctrico y se deposita sobre los electrodos (Srithammavut, 2008).

2.2.9.2. Precipitación

La Precipitación, también conocido como el proceso Merrill-Crowe o cementación, es una recuperación técnica donde el oro se puede recuperar de

soluciones de lixiviación madre por la adición de un pulverizado metálico. El mecanismo principal de esta técnica de recuperación es la reacción redox, el objetivo del oro del metal noble es precipitado estequiométricamente que desplaza el oro de la solución como se muestra en las Ecuaciones [17], [18] y [19]. Los precipitantes comunes son el zinc y el cobre, aunque el hierro o aluminio también a veces se utiliza. Las partículas precipitantes con oro se eliminan de la solución utilizando un filtro prensa de placas y marcos (Grosse et al., 2003; Parga et al., 2007).



2.2.9.3. Extracción por solventes

En la extracción por solvente, la solución de lixiviación se pone en contacto con una solución de extractante más un disolvente orgánico inmiscible. El complejo de oro se reparte en la fase orgánica y los otros metales permanecen en la fase acuosa. Después de esto la fase orgánica se puede separar, despojando el oro y recirculando al circuito de extracción. Los diluyentes tales como benceno, querosene y 1 y 2 octanol se han probado en la extracción con disolvente (Grosse et al., 2003).

2.2.9.4. Electro obtención

Cuando se utiliza corriente continua los iones de oro se recuperan a partir de la electro obtención. Los iones Aurocianuro en la solución de licor de lixiviación se migra al cátodo y forma un depósito metálico. Los iones de cobre en los líquidos de lixiviación de tiosulfato son problemáticos para la extracción electrolítica porque pueden contaminar el producto metálico. También reacciones diferentes de oxidación y reducción de tiosulfato tienen lugar en el ánodo y el cátodo. Por lo tanto, extracción electrolítica no es una opción viable para la recuperación de oro de los líquidos de lixiviación de tiosulfato (Aylmore y Muir, 2001; Grosse et al., 2003).

2.2.9.5. Resina de adsorción

El uso de adsorbentes de resina para la recuperación de oro a partir de licores de lixiviación es relativamente subdesarrollado de la hidrometalurgia, debido a la abundancia de carbón activado barato. Los adsorbentes de resina son más caros que sus necesidades de aplicación de carbono y la instalación de aparatos especializados. La resina de adsorción se puede dividir en resina- Leach (RIL) y resina en pulpa (RIP) (Aylmore y Muir, 2001). En RIL, el adsorbente se añade a la mena, al mismo tiempo que los reactivos de lixiviación, mientras que en el RIP se añade adsorbente después de un período

de lixiviación inicial. Las resinas de intercambio iónico deben estar despojados químicamente después de la separación de la pulpa de lixiviación (Grosse et al., 2003).

En la lixiviación con tiosulfato la adsorción es una resina de intercambio iónico, se considera que es una técnica apropiado para la recuperación de oro a partir de lixiviación con tiosulfato comercial. La principal dificultad es la adsorción competitiva de los aniones no deseados, tales como tritionato y tetrionato con los complejos de oro y cobre (Oraby, 2009).

2.2.10. Instrucción operativa de lixivante de oro sandioss

2.2.10.1. Forma de lixivante de oro sandioss

Sandioss lixivante de oro se presenta en forma de polvo o granulado de color blanco o gris de fácil disolución en agua. De acuerdo con el tipo de mineral, sus soluciones acuosas se vuelven alcalinas, ácidas o neutras (Lemcorp, 2015).

2.2.10.2. Transporte y almacenamiento de lixivante de oro sandioss

Sandioss lixivante de oro no es inflamable, no es explosivo, no tiene peligro oxidante, no es radiactivo, no tiene peligro al transportar, pueden ser transportados por carretera, ferrocarril, mar, aire, etc.

- Sandioss lixivante de oro puede absorber fácilmente la humedad para su almacenamiento debe evitar espacios húmedos, evitar el contacto con agua, debe mantener sellado, debe ser colocado a la sombra, en lugar frío y seco.
- Sandioss lixivante de oro para su almacenamiento debe ser aislado, se prohíbe almacenar junto con productos químicos ácidos y artículos comestibles.
- Se debe impedir ser consumido por personas o animales.
- Establecer y perfeccionar el sistema de producción y el uso seguro de Sandioss lixivante de oro según la disposición pertinente del estado.

2.2.10.3. Alcance aplicable del lixivante de oro sandioss

Es aplicable para la lixiviación en tanque, lixiviación en pilas, lixiviación en estanque y el proceso de carbón en pulpa de oro y plata en mineral oxidado y mineral de semi-oxidado (Lemcorp, 2015).

2.2.10.4. Métodos de uso del lixivante de oro sandioss

Cuando la temperatura del ambiente llega a más de 283,15 K (10 °C), el efecto de lixiviación del lixivante de oro sandioss es mejor. El carbón activado

de cáscara de coco especialmente para la extracción de oro puede ser utilizado para adsorción de oro. Al licor estéril después de la adsorción con carbón activado se le puede añadir lixiviante de oro sandioss para poder ser reutilizado (Lemcorp, 2015).

2.2.10.5. Composición química de sandioss en elementos pesados

Tabla 1

Composición química del sandioss en elementos pesados:

Sample Number				13-03536.001
Sample Matrix				Solid
Sample Description				-
Receive Date				2013/12/02
Parameter	Units	LOR	Limit	
Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry Method: USEPA 6020A-2007				
Pretreatment Method: HJ/299-2007				
Arsenic (As)	mg/L	0,005	≤ 5	0,074
Cadmium (Cd)	mg/L	0,0001	≤ 1	< 0,0010
Chromium (Cr)	mg/L	0,001	≤ 15	0,014
Copper (Cu)	mg/L	0,001	≤ 100	0,048
Nickel (Ni)	mg/L	0,001	≤ 5	0,030
Lead (Pb)	mg/L	0,001	≤ 5	0,012
Zinc (Zn)	mg/L	0,005	≤ 100	< 0,050
Sample Number				13-03536.001
Sample Matrix				Solid
Sample Description				-
Receive Date				2013/12/02
Sample Number				13-03536.001
Parameter	Units	LOR	Limit	
Pretreatment Method : HJ/299-2007				
Metals – Hg Method: USEPA 7473 -1998				
Mercury (Hg)	mg/L	0,0001	≤ 0,1	0,0006

Nota. Lemcorp, 2015.

2.2.10.6. Composición química de sandioss

Tabla 2

Descripción de los componentes

Nombres de los componentes	Nro. CAS	Porcentaje de peso
Óxido de Sodio (Na ₂ O)	1313-59-3	35-50 %
Nitrógeno (N)	7727-37-9	12-20 %
Amonio (NH ₄ ⁺)	14798-03-9	7-12 %
Ferrocianuro de Sodio (Na ₄ Fe(CN) ₆ .10H ₂ O)	13601-19-9	7-12 %
Agua (H ₂ O)	7732-18-5	1-4 %
Calcio (Ca)	7440-70-2	1-5 %
Hierro (Fe)	7439-89-6	1-5 %
Insoluble en agua	--- --- ---	3-8 %

Nota. Lemcorp, 2015.

2.2.11. Efectos ambientales de cianuro

Las causas ambientales han aumentado y los accidentes graves de cianuro ocurridos allí es una gran preocupación pública sobre el uso y la toxicidad del cianuro en todo el mundo. Algunos países como República Checa, Argentina, Turquía y algunos estados de EE.UU. tienen campaña para prohibir el cianuro en aplicaciones de procesamiento de minerales (Duffield y May, 2003).

Se requiere un control ambiental de los niveles de cianuro total en el medio ambiente en todas las minas que utilizan cianuro. La mayor parte del cianuro de hidrógeno (HCN) que se emite al ambiente se mantiene en la parte más baja de la atmósfera llamada troposfera, por lo general, se produce la degradación ambiental de cianuro de hidrógeno a partir de las aguas superficiales a través de la volatilización, biodegradación, hidrólisis y de adsorción. La aireación y el pH afectan a la tasa de volatilización de cianuro de hidrógeno, por lo tanto, el pH debe mantenerse por encima de 9,2 de modo que el cianuro libre no existiría como cianuro de hidrógeno en la solución, sales de cianuro tal como sodio y potasio se pueden perder a partir de agua superficial a través de la volatilización mientras que el cianuro metálico solubles se eliminan del agua por sedimentación (Oraby, 2009).

2.2.12. Tratamiento, recuperación y destrucción de cianuro

Para minimizar el impacto ambiental del cianuro, una gran variedad de químicos, físicos y procesos biológicos se han desarrollado para el tratamiento, la recuperación y la destrucción del cianuro de las aguas de mina. Los procesos de tratamiento son, por ejemplo, carbón activado adsorción, resinas de intercambio iónico, la cloración alcalina, tratamiento biológico, ácido caro y el proceso INCO (Oraby, 2009; Duffield y May, 2003).

2.2.13. Aspectos ambientales y de seguridad

Los principales problemas ambientales causados por la minería de oro están causando la contaminación del aire y el agua con productos químicos y tóxicos. El cianuro es un gran químico tóxico y tiene impactos ambientales perjudiciales en el suelo, la superficie, el agua subterránea y el aire si se libera a la naturaleza. Algunas de ellas graves derrames de cianuro y accidentes relacionados con las minas han sucedido en las últimas décadas. Debido a la alta toxicidad del cianuro existe la necesidad de encontrar sustituto menos tóxico para el cianuro debido a factores ambientales y políticos, tiosulfato es una alternativa menos tóxica al cianuro y se utiliza comúnmente como un fertilizante y una indirecta y el ingrediente de alimentos en humanos(Oraby,2009).

2.3. Definición de términos

Lixiviación: La lixiviación es un proceso por el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.

Cianuro de Sodio: El cianuro de sodio o cianuro sódico (NaCN) es la sal sódica del ácido cianhídrico (HCN). Se trata de un compuesto sólido e incoloro que hidroliza fácilmente en presencia de agua y óxido de carbono (IV) para dar carbonato de sodio y ácido cianhídrico:

Cianuración: Es una técnica metalúrgica para la extracción de oro de mineral de baja calidad, que busca convertir el oro (insoluble en agua) en aniones metálicos complejos de aurocianida, solubles en agua.

Precipitación: Es un método para la recuperación del oro, consiste en la adición del zinc en una ratio de 5 y 30 veces el requerimiento estequiométrico de los metales preciosos en función de la composición de la solución y la eficiencia operativa. Por ejemplo, una solución que contiene 5 g/t de oro requeriría una tasa de adición de zinc de 17 g/t en solución, con 10 veces el requerimiento estequiométrico. El polvo de zinc se puede agregar directamente a la solución preñada (solución rica), o puede ser premezclada con una solución de cianuro, para preparar la superficie del zinc, se agregará como un lodo.

Ripios o relaves: Los relaves (o cola) son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas.

- Los relaves contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en «tranques o pozas de relaves» donde lentamente los contaminantes se van decantando en el fondo y el agua es recuperada o evaporada.

Degradación: En química se refiere a varias reacciones en que las moléculas orgánicas pierden uno o varios átomos de carbono, o donde las moléculas complejas se descomponen en otras más simples.

- En física es la transformación de la energía de una forma a otra menos apta para producir un trabajo mecánico y con carácter irreversible.

Oxidación- Reducción: Se denomina reacción de reducción-oxidación, de óxido-reducción o, simplemente, reacción redox, a toda reacción química en la que uno o más electrones se transfieren entre los reactivos, provocando un cambio en sus estados de oxidación.

- El agente reductor es aquel elemento químico que suministra electrones de su estructura química al medio, aumentando su estado de oxidación, es decir, siendo oxidado.

- El agente oxidante es el elemento químico que tiende a captar esos electrones, quedando con un estado de oxidación inferior al que tenía, es decir, siendo reducido.

Cinética de la cianuración: Como el tiempo en el cual se lleva a efecto la reacción es, en gran parte, el de la etapa de menor velocidad (llamada entonces etapa controlante) es importante identificar a esta para incrementar su rapidez. Una reacción fisicoquímica en la cual se halla involucradas una fase sólida y otra líquida se consume en los cinco etapas siguientes:

- Difusión de los reactantes desde la solución hasta la interfase sólida y líquido.
- Adsorción de los reactantes en la superficie del sólido.
- Reacción en la superficie.
- Desorción de los productos de la reacción de la superficie del sólido.
- Difusión de estos productos de la interfase sólido – líquido a la solución.

Granulometría: Es el tamaño de las partículas del mineral utilizado en la lixiviación. Esta práctica mantiene en recirculación las partículas de oro más pesadas a la molienda hasta que ellos sean lo suficiente pequeñas o lo suficientemente delgadas para rebozar el clasificador en el circuito de cianuración.

Mineral sulfurado: Son aquellos minerales constituidos por el enlace entre el azufre y elementos metálicos, tales como el cobre, hierro, plomo, y zinc, entre otros. Los minerales sulfurados de cobre más comunes son calcopirita (CuFeS_2), bornita (Cu_5FeS_4) calcosina (Cu_2S), covelina (CuS) y enargita (Cu_3AsS_4). Un subproducto importante de estos yacimientos es el molibdeno, que está en la forma de molibdenita (MoS_2).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

3.1.1. Tipo y nivel de investigación

Tipo

Por el tipo de investigación, la presente tesis reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, porque, se utilizaron conocimientos metalúrgicos, a fin de aplicarlas en el proceso de las pruebas usando dos reactivos, cianuro de sodio y SANDIOSS.

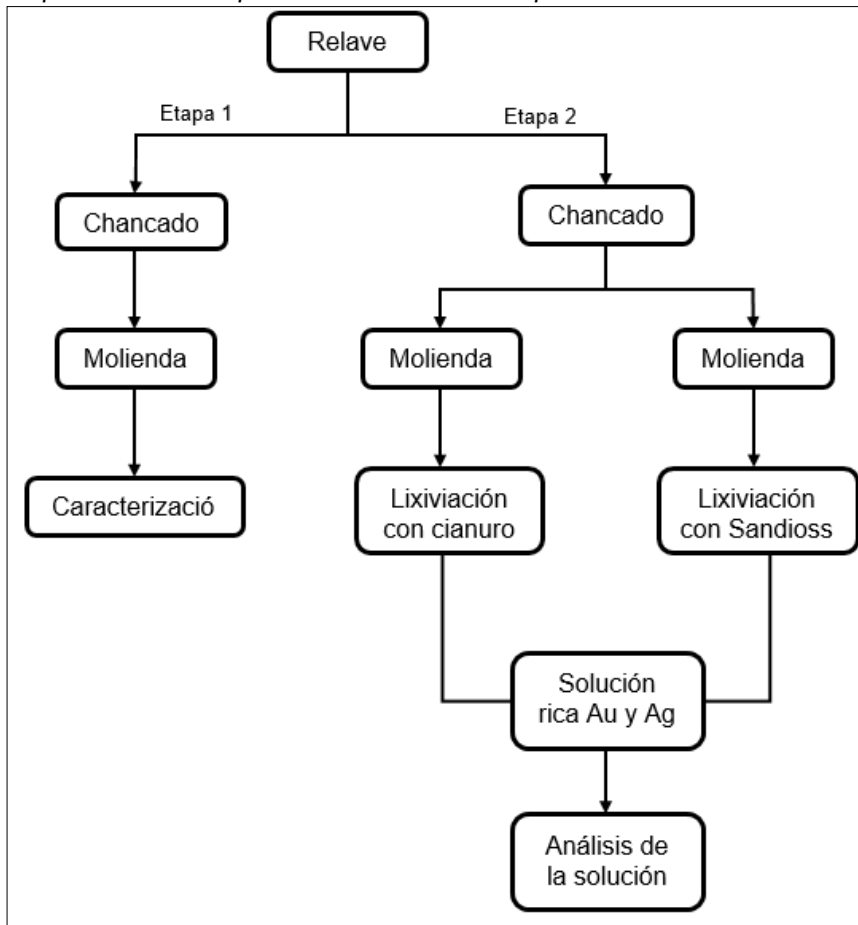
Nivel

De acuerdo al estudio de la investigación, se utilizó el nivel de estudio descriptivo – experimental.

3.1.2. Diseño de la investigación

Para la realización del presente estudio de investigación en la aplicación de dos lixiviantes como el cianuro de sodio y el lixiviante sandioss para relaves oxidados para ver la disolución del oro y extracción de oro y plata, se consideró el siguiente esquema:

Figura 8
Esquema de las etapas del desarrollo de las pruebas.



3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población es mineral de tipo óxido provenientes de la empresa explotación Golden Minerales.

3.2.3. Muestra

La muestra estudiada son de relaves que se evaluaron mediante la lixiviación utilizando dos reactivos distintos, las variables de operación fueron iguales para ambos reactivos.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 3

Identificación de los reactivos y el tipo de mineral:

Tipo de reactivo utilizado como lixivante	Tipo de mineral	Procedencia
Cianuro de sodio	Oxido	Empresa explotación Golden Minerales
SANDIOSS	Oxido	Empresa explotación Golden Minerales

Nota. *Elaboración propia*

Tabla 4

Parámetros para la lixiviación con cianuro de sodio y sandioss

Parámetros	Cantidad	Unidad
Peso mineral	120	g
Agua	0,3	L
Concentración AgNO ₃	2,17	g/L
NaCN inicial	15	g
Dilución	2,5	-
Velocidad de agitación	300	rpm
Ph	11	-
Ley Cabeza Au	0,362	oz/t
Ley Cabeza Ag	0,539	oz/t
Granulometría	91,25	% malla -200

Nota.: *Elaboración propia.*

3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.4.1. Técnica

La técnica que se aplicó en la elaboración de la tesis fue experimental directa, porque existe una relación directa entre la ley de oro y plata en los relaves y la ley después de la lixiviación.

3.4.2. Instrumentos para recolección de datos

3.4.2.1. Instrumentos, materiales y reactivos

Los materiales, equipos e instrumentos utilizados para la elaboración del presente trabajo de tesis se mencionan a continuación.

Instrumentos

- Molino de bolas
- Ro-Tap
- pH digital
- Agitadores
- Tanques agitadores
- Reactor
- Balanza analítica
- Horno

- Tamiz de la serie Tyler

Materiales

- Botellas de plástico
- Vaso de precipitado
- Probeta
- Buretas
- Papel de filtro
- Pipeta
- Embudo

Reactivos

- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Nitrato de plata (AgNO₃)
- Cianuro de sodio
- SANDIOSS
- Yoduro de potasio (IK)
- Agua destilada

3.4.3. Procedimiento experimental

3.4.3.1. Descripción del material relave

El material usado para las pruebas metalúrgicas proviene de la empresa Explotación Golden Minerales, con una granulometría de 1", con un peso de 10 kg de relave y es de tipo óxido.

Para la obtención de una muestra representativa se procedió de la siguiente manera:

- Los 10 kg de material son homogenizados y mediante el método de cono y cuarteo se tomó dos muestras representativas, cada muestra con un peso de 2 kg, tanto para realizar la caracterización y las pruebas de lixiviación con cianuro de sodio y sandioss.

3.4.3.2. Caracterización física y granulometría

- **Caracterización física**

Con la caracterización física del material se obtuvo las condiciones propias del relave, esta caracterización consiste en determinar la densidad aparente, humedad natural.

- **Densidad aparente**

Para determinar la densidad aparente de la muestra se pesó en una balanza analítica, 200 g de muestra y se pesó la probeta de 200 ml de

capacidad, luego se agrega cuidadosamente la muestra pesada a la probeta, seguidamente se hizo la lectura del volumen que ocupa la muestra en la probeta y se determinó un valor de la densidad aparente.

- **Porcentaje de humedad natural**

El procedimiento para la determinación del porcentaje de humedad se realizó con el uso de una balanza analítica, primeramente se pesó la bandeja seguidamente se pesó 200 g de muestras homogenizada, luego se colocó la bandeja con la muestra en el horno y se mantuvo a una temperatura de 373,15 K (100 °C) durante 15 minutos, después del tiempo transcurrido, se retiró la bandeja y se esperó a que alcance la temperatura ambiente, finalmente se pesó las muestras para la determinación del % de humedad propia del material.

- **Granulometría**

La granulometría es la distribución de los diferentes tamaños de partículas de un mineral o muestra sólida en como es este caso del relave, y esto se expresa en porcentaje porque existe una relación con el material retenido en cada malla con el peso total de la muestra seca. Para esto se utilizó 500 g de muestra y un set de mallas o tamices normalizados, numerados y ordenados en forma decreciente según su abertura.

3.4.3.2. Lixiviación con cianuro de sodio y sandiós

Para la lixiviación se utilizó 120 g y un pasante de 91,25 % malla -200 y a continuación se describe los procedimientos que se realizaron para los cálculos requeridos.

- **Preparación de la solución cianurada**

- a) En un vaso precipitado se colocó 120 g de mineral molido.
- b) Se echó 360 ml de agua destilada.
- c) Se esperó 5 minutos y se introdujo el indicador, nuestra mezcla tiene un PH de 10.
- d) Para aumentar el PH, primeramente, se pesó 2 g de cal, se le echó un poco de cal a la mezcla y se colocó a la agitadora, se repitió 4 veces el mismo paso, pero en un intervalo de tiempo de 1 minuto se volvió a introducir el indicador y se obtuvo un pH 11.
- e) Una vez que tuvo el pH 11 por 20 minutos se dejó agitando, mientras se volvía a pesar el resto que quedaba de cal.
- f) Se pesó 0,0025 g de NaCN y se agregó a la mezcla, se dejó en la agitadora durante un tiempo de 8 horas.
- g) Se filtró la mezcla para obtener la solución cianurada rica en oro.

- **Procedimiento para determinar el cianuro libre**

Para la preparación del titulante se pesó 2,165 g de nitrato de plata y se aforó con agua destilada a 500 ml.

Preparación del indicador, se pesó 1 g de yoduro de potasio al 5 % y se mezcló con agua destilada de 10 ml.

- a) Se tomó 10 ml de solución cianurada rica en oro.
- b) Se agregó 3 gotas de IK (yoduro de potasio al 5 %).
- c) Se tituló con la solución AgNO_3 (4,33 g/L).

- **Determinación del consumo del cianuro de sodio**

Inicialmente el cianuro estuvo en una concentración de 1,5 g/L y el promedio resultó 0,44 g/L, entonces se puede calcular el consumo del cianuro.

Para la lixiviación con el reactivo sandioss es de remplazo, el procedimiento es el mismo de lo mencionado anteriormente, se remplace el cianuro de sodio por sandioss, este reactivo cumple la misma función de captar a los metales preciosos en este caso al oro y plata.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Los procesamientos de las pruebas metalúrgicas se realizaron experimentalmente con pruebas a diferentes tiempos de lixiviación con las

soluciones obtenidas se hizo los cálculos requeridos para la determinación del consumo de cianuro de sodio y sandioss.

Los análisis de datos se procesaron con la ayuda de Microsoft Excel y Minitab para la realización de los cálculos de recuperación y consumos de reactivos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados de la caracterización física

A continuación, se muestra los resultados del porcentaje de humedad y la densidad aparente del relave, para obtener un dato correcto se repitió tres veces las pruebas del porcentaje de humedad y la densidad aparente y se obtuvo un promedio.

Tabla 5
Resultados de la caracterización física del relave

N° de ensayos	% de humedad	Densidad aparente
Ensayo 1	4,8	1,155
Ensayo 2	4,75	1,149
Ensayo 3	4,69	1,153
Promedio	4,746	1,152

Nota. Elaboración propia.

4.1.2. Resultados del análisis granulométrico

Se muestran los resultados del análisis granulométrico, realizadas a las muestras obtenidas de la empresa Explotación Golden Minerales antes de haber realizado la molienda.

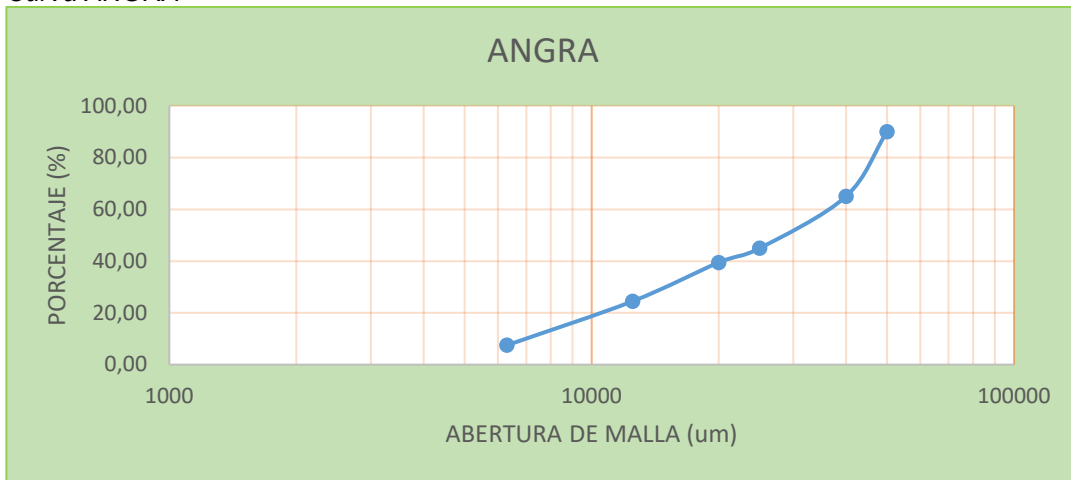
Tabla 6

Resultado del análisis granulométrico del relave

Nº malla	Abertura μm	peso en gr	% parcial	% Acumulado retenido G(x)	% acumulado pasante F(x)
2"	50000	200,00	10,00	10,00	90,00
1 1/2"	40000	500,00	25,00	35,00	65,00
1"	25000	400,00	20,00	55,00	45,00
3/4"	19000	110,00	5,50	60,50	39,50
1/2"	12500	300,00	15,00	75,50	24,50
1/4"	6300	340,00	17,00	92,50	7,50
ciego	0	150,00	7,50	100,00	0,00
Total		2000,00	100,00		

Nota. Elaboración propia.

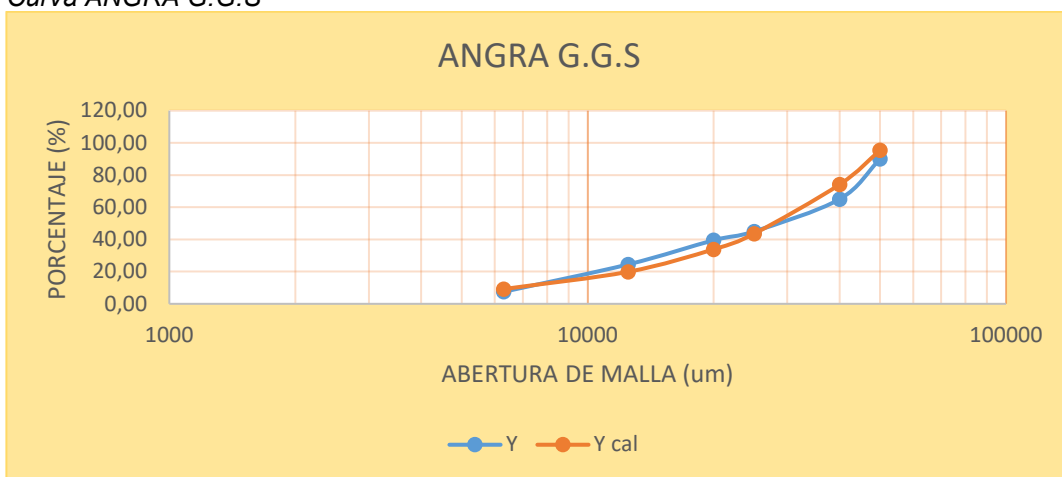
Figura 9
Curva ANGRA



Nota. Elaboración propia

En la Figura 9 se muestra la curva de distribución granulométrica realizado al relave antes de haber realizado la molienda.

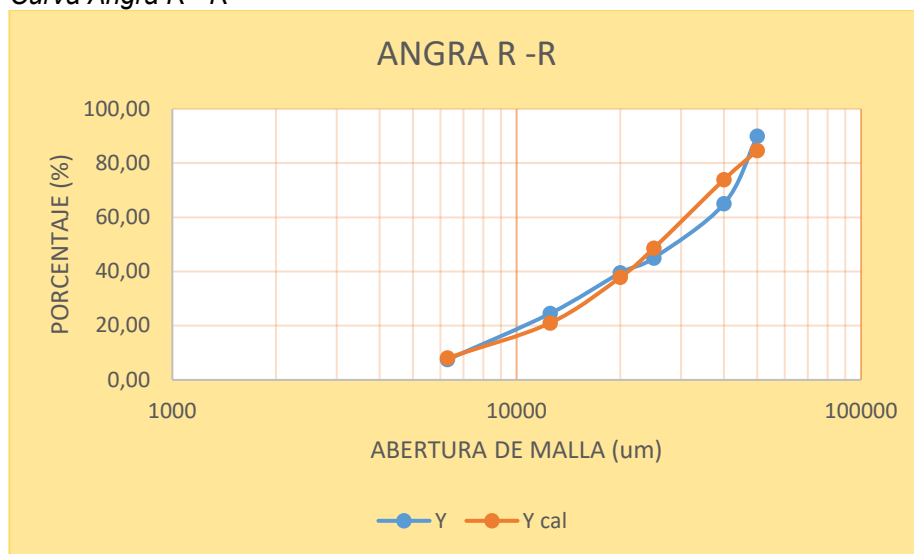
Figura 10
Curva ANGRA G.G.S



Nota. Elaboración propia

En la Figura 10 se tiene el ajuste de la curva del análisis granulométrico mediante el método G.G.S. obteniendo un $F_{80} = 42794 \text{ um}$.

Figura 11
Curva Angra R - R



Nota. Elaboración propia

En la Figura 11 se muestra el ajuste de la curva granulométrica mediante el método R - R. por el cual se obtiene un $F_{80} = 45098 \text{ um}$.

Tabla 7
Comparación de resultados de ajustes de curvas granulométricas

TABLA RESUMEN DE CÁLCULO					
	D (80)	R ²	RMSE	MAPE	TS
G.G.S	42794	0,9665	5,3167	13,09%	-0,9880
R.R	45098	0,9769	4,7605	8,99%	-0,6909

Nota. Elaboración propia

De la Tabla 7 se puede observar que el menor RMSE lo presenta el método R – R. con un 4,7605 y con un 8,99 % de error según el MAPE.

4.1.3. Resultados de la lixiviación con cianuro de sodio

Luego de haber realizado las pruebas necesarias para la determinación de consumos de cianuro y cianuro libre, se muestran en las siguientes tablas los resultados obtenidos.

Tabla 8
Determinación de cianuro libre en la lixiviación con cianuro de sodio

Tiempo	pH	Consumo AgNO ₃	Concentración AgNO ₃	volumen de Alicota	NaCN libre	[CN]- libre
hr		ml	gr/L	ml	gr/L	gr/L
0	0	12	2,17	10	1,50	0,79
6	11	8	2,17	10	1,03	0,55
12	11	7	2,17	10	0,86	0,46
24	11	6	2,17	10	0,78	0,42
48	11	5	2,17	10	0,60	0,32
72	11	3	2,17	10	0,37	0,20

Nota. *Elaboración propia.*

Tabla 9*Adición y consumo de reactivos utilizados en la lixiviación con cianuro de sodio*

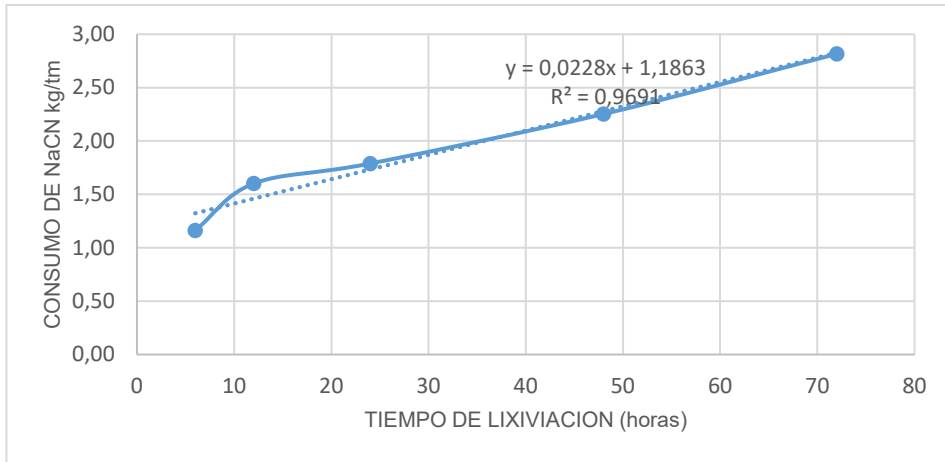
Tiempo de lixiviación	Vol PLS (L)	Medición de Ph	React. Agregado		Determinación de [CN]- Libre			Consumo de reactivos		
			NaCN (g)	Cal (g)	Vol. Alicota	Consumo de AgNO ₃	Conc de AgNO ₄	[CN]-	NaCN	Cal
H					ml	ml	Gpl	g/Tm	Kg/Tm	Kg/Tm
0	0,3		0,45	0,57						
6	0,3	11	0	0	10	8,28	2,17	0,62	1,16	4,78
12	0,3	11	0	0	10	6,88	2,17	0,85	1,6	4,78
24	0,3	11	0	0	10	6,28	2,17	0,95	1,79	4,78
48	0,3	11	0	0	10	4,8	2,17	1,2	2,25	4,78
72	0,3	11	0	0	10	3	2,17	1,49	2,82	4,78

Nota. *Elaboración propia.***Tabla 10***Recuperación del Au y Ag en la lixiviación con cianuro de sodio*

Tiempo de lixiviación	Volumen PLS	Relave			Total		Recuperación	
		Peso	Ley Au	Ley Ag	Au	Ag	Au	Ag
H	L	g	Oz/Tc	Oz/Tc	mg	Mg	%	%
6	0,300	120,00	0,36	0,54	1,486	2,220	0,50	0,07
12	0,300	120,00	0,06	0,5	1,503	2,151	84,57	4,49
24	0,300	120,00	0,02	0,36	1,479	1,984	93,97	25,45
48	0,300	120,00	0,02	0,27	1,487	1,842	94,52	39,78
72	0,300	120,00	0,01	0,16	1,471	1,706	96,17	61,47

Nota.: *Elaboración propia.*

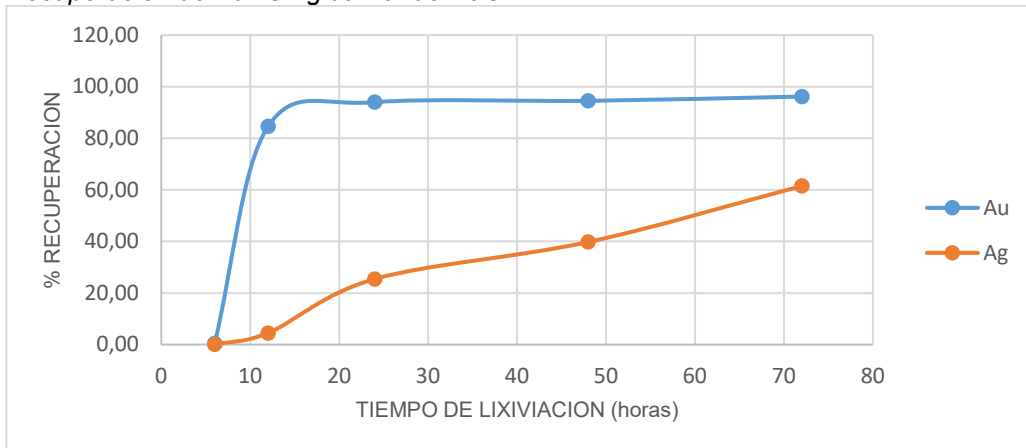
Figura 12
Grafica de consumo de NaCN



Nota. Elaboración propia.

En la Figura 12 se puede observar el consumo de NaCN, este aumenta ascendentemente a partir de las 24 horas de tiempo de lixiviación.

Figura 13
Recuperación de Au vs Ag utilizando NaCN



Nota. Elaboración propia.

En la Figura 13 se puede observar la curva de recuperación del oro, en 24 horas de lixiviación la recuperación es constante a cualquier tiempo de lixiviación, mientras que la recuperación de la plata es mucho mejor a más tiempo de lixiviación.

4.1.4. Resultados de la lixiviación con sandioss

Seguidamente se ha realizado las pruebas necesarias para la determinación de consumos de sandioss y sandioss libre, la prueba con este reactivo fue de reemplazo y se utilizó los mismos parámetros de lixiviación con cianuro de sodio, a continuación, se muestran en las siguientes tablas los resultados obtenidos.

Tabla 11
Determinación de SANDIOSS libre en la lixiviación con sandioss

Tiempo hr	pH	Consumo	Concentración	volumen de Alicota MI	Sandioss
		AgNO ₃ ml	AgNO ₃ gr/L		libre g/L
0	0	12	2,17	10	1,50
6	11	10	2,17	10	0,88
12	11	9	2,17	10	0,65
24	11	9	2,17	10	0,62
48	11	7	2,17	10	0,30
72	11	6	2,17	10	0,20

Nota. *Elaboración propia.*

Tabla 12*Adición y consumo de reactivos utilizados en la lixiviación con sandioss*

Tiempo de lixiviación	Vol PLS (L)	Medición de Ph	React. Agregado		Determinación de sandioss libre		Consumo de reactivos		
			Sandioss	Cal (g)	Vol. Alicota	Sandioss	Sandioss	Sandioss	Cal
Hr									
0	0,3		0.45	0.57	ml	g	G	Kg/Tm	Kg/Tm
6	0,3	11	0	0	10	0,26	0,19	1,55	4,78
12	0,3	11	0	0	10	0,19	0,26	2,13	4,78
24	0,3	11	0	0	10	0,19	0,26	2,2	4,78
48	0,3	11	0	0	10	0,09	0,36	3	4,78
72	0,3	11	0	0	10	0,06	0,39	3,25	4,78

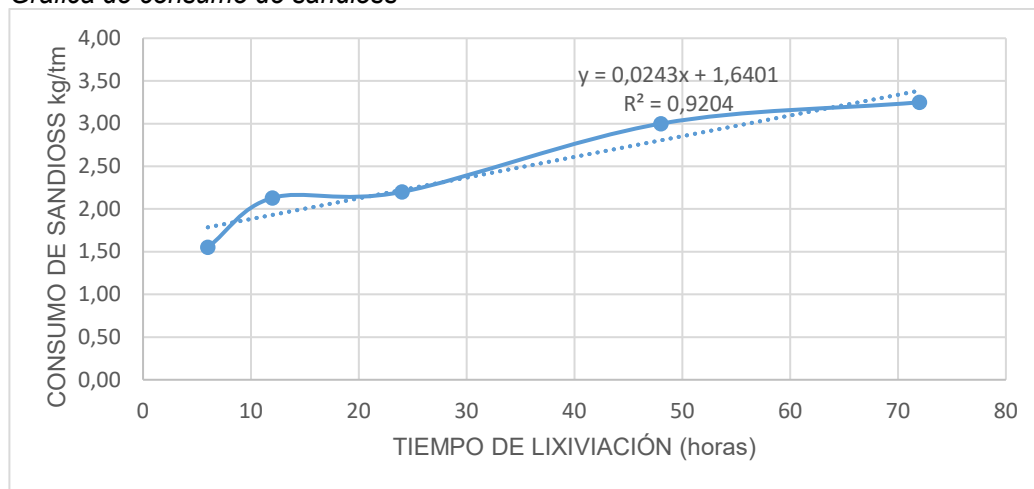
Nota. *Elaboración propia.***Tabla 13***Recuperación del Au y Ag en la lixiviación con SANDIOSS*

Tiempo de lixiviación	Volumen PLS	Relave			Total		Recuperación	
		Peso	Ley Au	Ley Ag	Au	Ag	Au	Ag
		g	Oz/Tc	Oz/Tc	mg	Mg	%	%
H	L							
6	0,30	120,00	0,360	0,54	1,486	2,220	0,50	0,07
12	0,30	120,00	0,200	0,51	1,479	2,214	44,43	5,38
24	0,30	120,00	0,100	0,37	1,503	2,221	72,67	31,55
48	0,30	120,00	0,060	0,25	1,494	2,260	83,51	54,55
72	0,30	120,00	0,020	0,15	1,507	2,229	94,55	72,36

Nota. *Elaboración propia.*

Figura 14

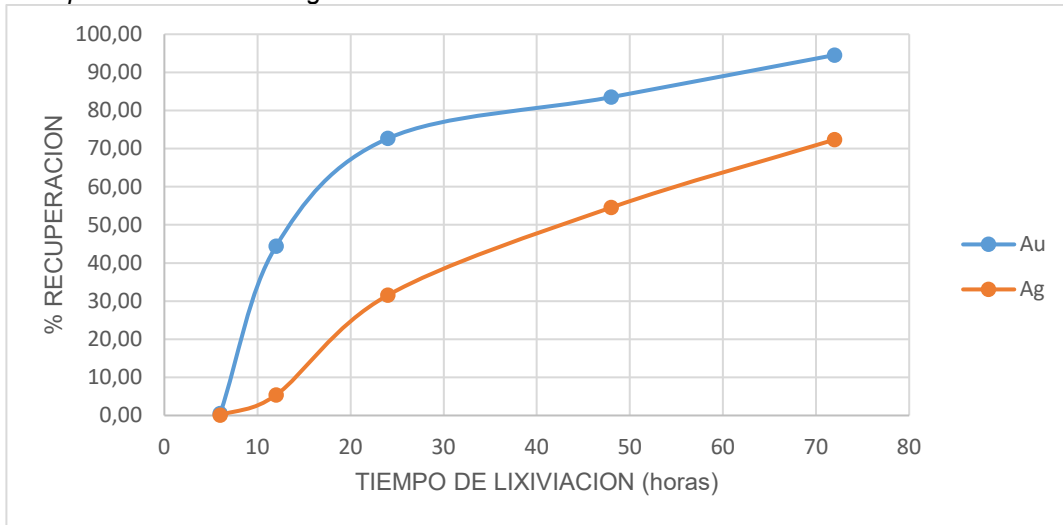
Grafica de consumo de sandioss



Nota. *Elaboración propia.*

En la Figura 14 se tiene el tiempo de lixiviación con el consumo de sandioss, se observa un mayor consumo en el tiempo de 24 horas de lixiviación utilizando este reactivo llamado sandioss y este aumenta en forma ascendente a mayor tiempo de lixiviación, mientras que el NaOH se mantiene constante a cualquier tiempo de lixiviación.

Figura 15
Recuperación de Au vs Ag utilizando sandioss



Nota. *Elaboración propia.*

En la **Figura 15** se observa el porcentaje de recuperación del oro y en la curva se puede observar una buena recuperación a partir de las 24 horas de lixiviación con sandioss, de la misma manera para la recuperación de la plata se tiene una recuperación ascendente donde según la curva se puede decir que a mayor tiempo de lixiviación se tienen una buena recuperación.

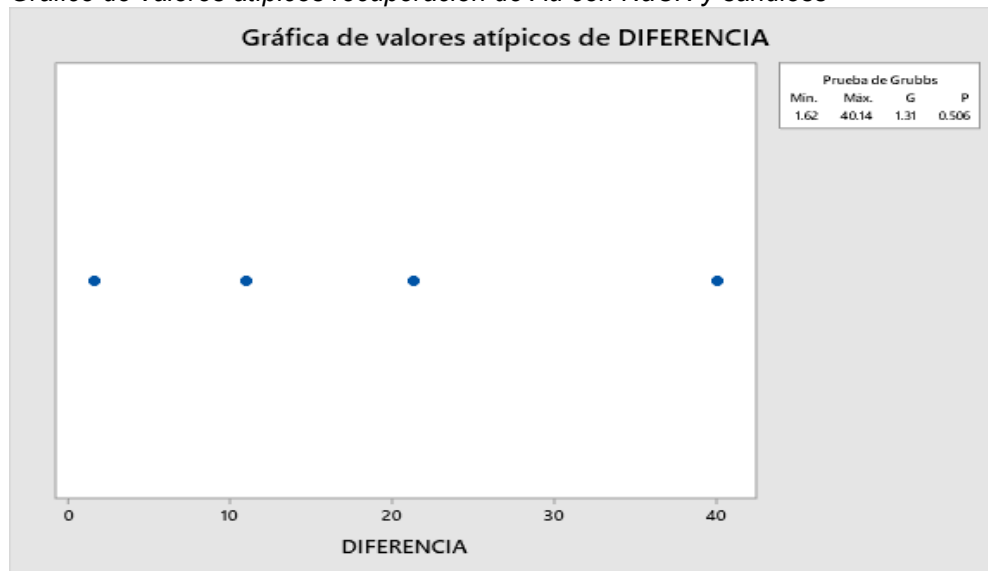
4.1.5. Resultados del porcentaje de recuperación de Au y Ag y consumo de reactivos

Tabla 14
Recuperación de Au y Ag y consumo de sandioss y NaCN

Tiempo de lixiviación Hr	Sandioss		NaCN		Consumo de sandioss Kg/tm	Consumo de NaCN Kg/tm
	%Recuperación		%Recuperación			
	Au %	Ag %	Au %	Ag %		
12	44,43	5,38	84,57	4,49	2,13	1,60
24	72,67	31,55	93,97	25,45	2,20	1,79
48	83,51	54,55	94,52	39,78	3,00	2,25
72	94,55	72,36	96,17	61,47	3,25	2,82

Nota. *Elaboración propia*

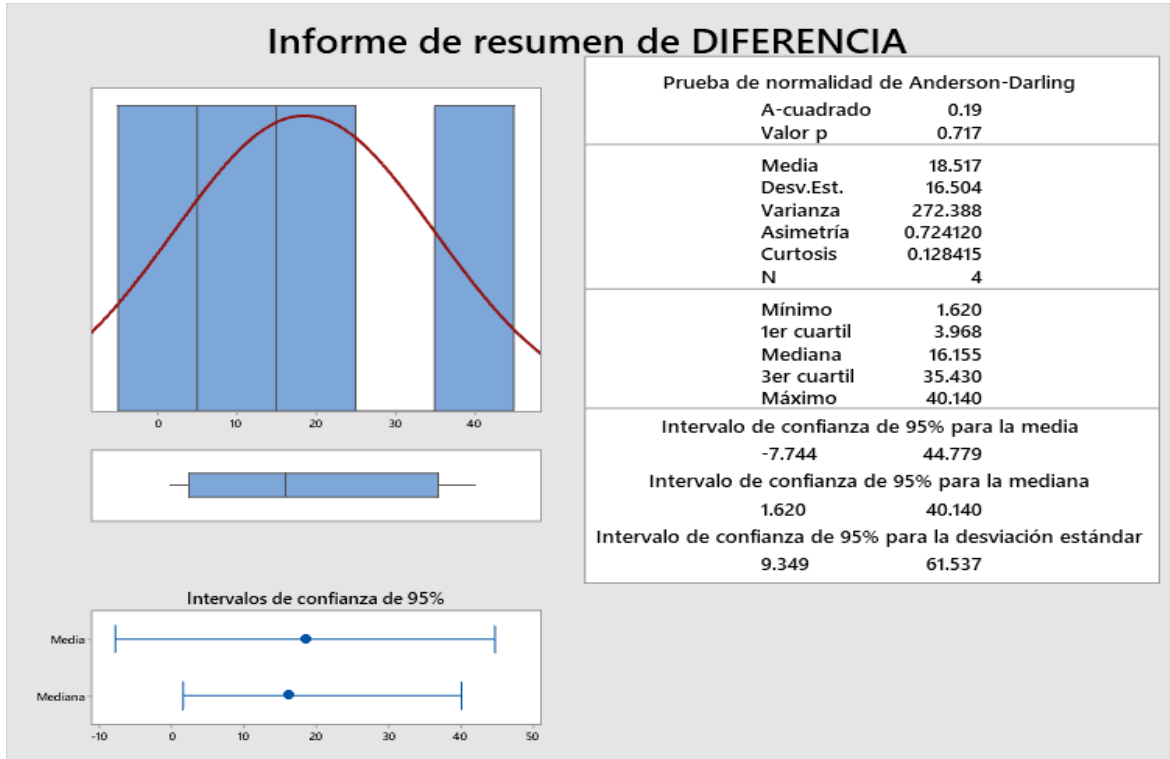
Figura 16
Gráfico de valores atípicos recuperación de Au con NaCN y sandioss



Nota. *Elaboración propia*

Figura 17

Prueba de normalidad de la diferencia del porcentaje de recuperación de Au con NaCN y sandioss



Nota. *Elaboración Propia*

Determinación de la hipótesis para el porcentaje de recuperación de Au con NaCN y sandioss

Tabla 15

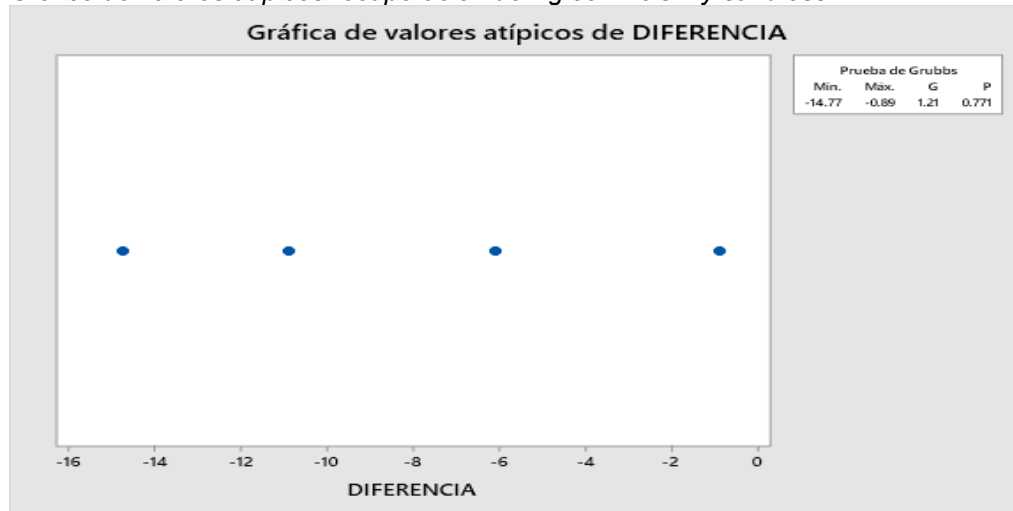
Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \text{diferencia}_\mu = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \text{diferencia}_\mu \neq 0$
Valor T	Valor p
2,24	0,111

Nota. *Elaboración propia*

Figura 18

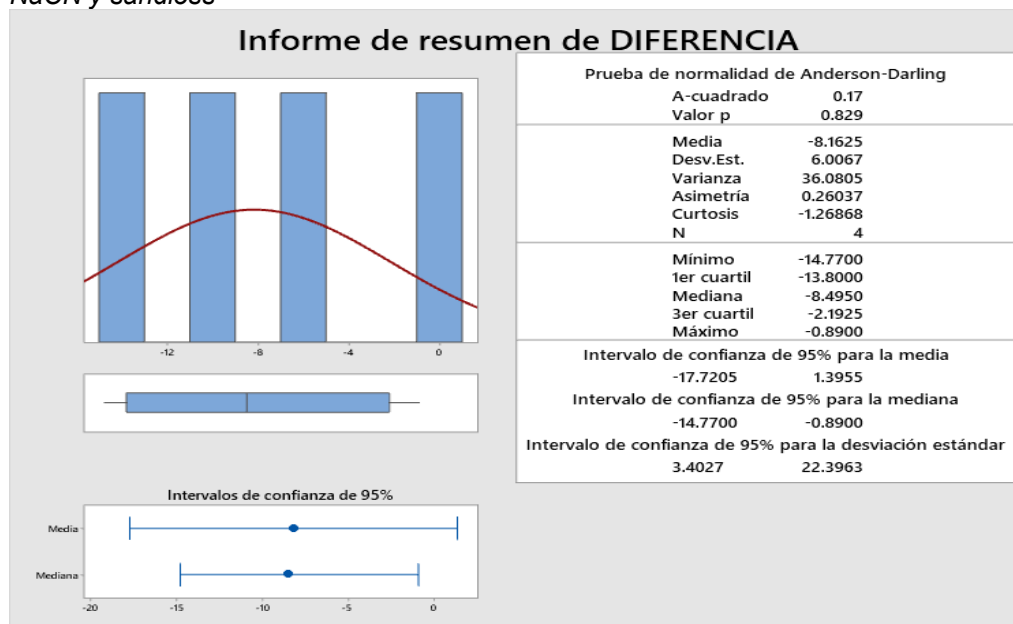
Gráfico de valores atípicos recuperación de Ag con NaCN y sandioss



Nota. Elaboración propia

Figura 19

Cuadro de prueba de normalidad de la diferencia del porcentaje de recuperación de Ag con NaCN y sandioss



Nota. Elaboración propia

Determinación de la hipótesis para el porcentaje de recuperación de Au con NaCN y sandioss

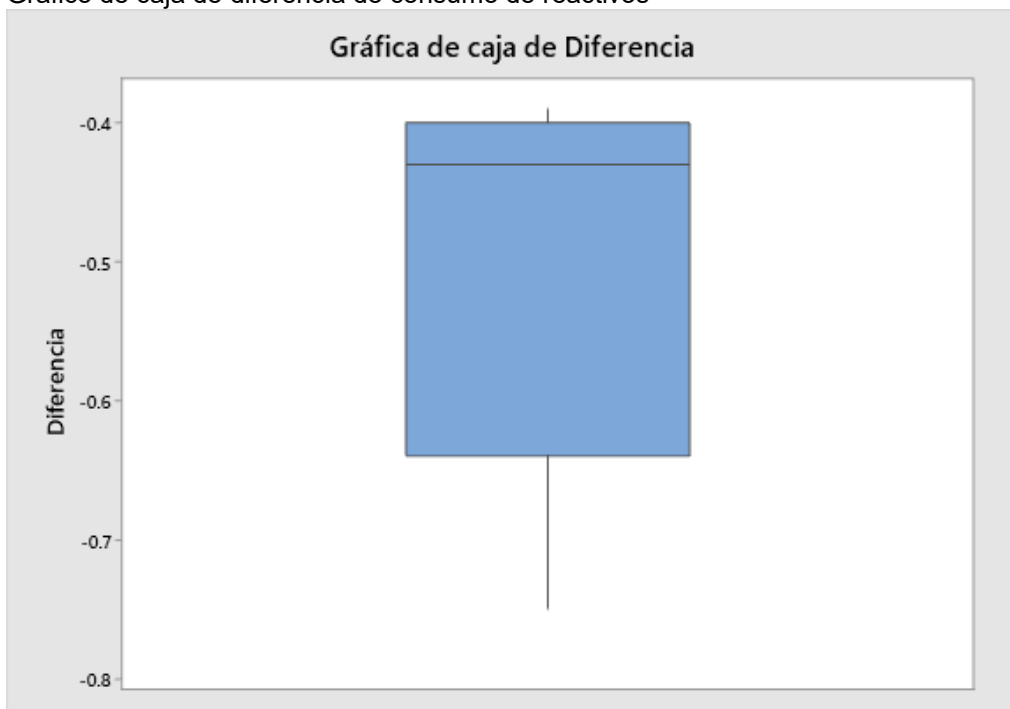
Tabla 16
Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \text{diferencia}_\mu = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \text{diferencia}_\mu \neq 0$
Valor T	Valor p
-2,72	0,073

Nota. *Elaboración propia*

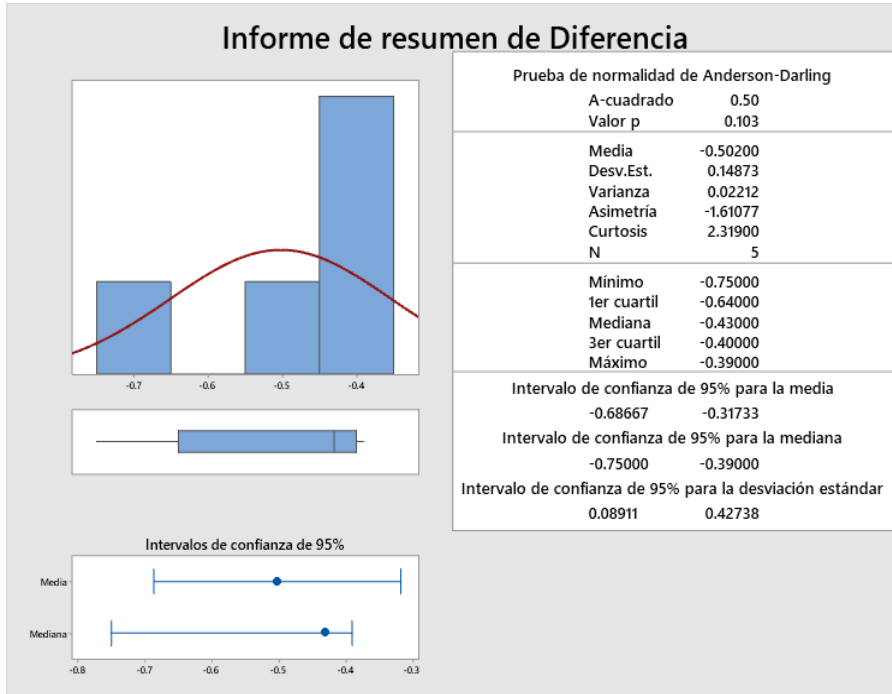
Figura 20

Gráfico de caja de diferencia de consumo de reactivos



Nota. *Elaboración propia*

Figura 21
Prueba de normalidad de consumo de reactivos



Nota. *Elaboración propia*

Prueba de hipótesis de la diferencia del consumo de los reactivos.

Tabla 17
 Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \text{diferencia}_\mu = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \text{diferencia}_\mu \neq 0$
Valor T	Valor p
-7,55	0,002

Nota. *Elaboración propia*

4.2. Análisis de resultados

Con los datos de la Tabla 6 se ha obtenido los datos para realizar ajustes a la curva granulométrica que se muestra en la **Tabla 7**, que ayuda a determinar el mejor ajuste granulométrico a usar, obteniendo el mejor método de ajuste R – R con un $F_{80} = 45098 \text{ um}$.

De la **Tabla 15** se puede determinar que el valor de P (0,111) es mayor a 0,05; aceptando la hipótesis nula que indica que se obtiene la misma recuperación de Au con cada reactivo (NaCN y sandioss).

De la **Tabla 16** se puede determinar que el valor de P (0,073) es mayor a 0,05, aceptando la hipótesis nula que indica que se obtiene la misma recuperación de Ag con cada reactivo (NaCN y sandioss).

De la **Tabla 17** se puede determinar que el valor P (0,002) es menor a 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alterna que indica que existe diferencia en el consumo de los reactivos analizados (NaCN y sandioss).

CONCLUSIONES

De las pruebas realizadas se puede concluir que la recuperación de Au y Ag mediante el uso de cianuro en lixiviación por agitación son estadísticamente iguales, con un nivel de confianza del 95 %, a la recuperación de Au y Ag obtenida usando el sandioss en el proceso de lixiviación.

De las pruebas realizadas se comprobó que el porcentaje de humedad del relave trabajado es de 4,746 y una densidad aparente de 1,152, y el F80 trabajado es de 45098 μm .

De las pruebas realizadas se determinó con un nivel de confianza del 95 %, que, en el proceso de lixiviación por agitación, existe diferencia en el consumo de NaCN con respecto al consumo de sandioss en el mismo proceso de lixiviación por agitación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios a nivel económico sobre el uso del sandioss en el proceso de lixiviación por agitación y así sea una opción para el reemplazo del reactivo NaCN.

Continuar con el estudio de la evaluación del reactivo sandioss en el proceso de lixiviación aplicando el diseño experimental, para una mejor evaluación de parámetros.

Se recomienda a las empresas mineras, el buscar y experimentar con nuevos reactivos amigables con el ambiente, que sustituyan el uso de NaCN en sus procesos de lixiviación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aylmore, M.G. & Muir, D.M. (2001) *Thiosulfate Leaching of Gold – A Review*. *Minerals Engineering*, Vol 14, pp. 135-174.
- Azañero Ángel. (2001) “*Recuperación de oro y plata de minerales por Heap Leaching*”, Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, Lima, Perú, Vol. 4, N° 07.
- Cárdenas Revilla Agustín. (1994) “*Metalurgia extractiva del oro*”, Imprenta Offset “Imral” Ltda. Oruro, Bolivia. p 175-209.
- Celep, O. & Alp, I. & Deveci, H. (2011) *Improved Gold and Silver Extraction from a Refractory Antimony Ore by Pretreatment with Alkaline Sulphide Leach*. *Hydrometallurgy*, Vol 105, pp. 234-239.
- De Andrade Lima, L.R.P. (2007) *Dynamic Simulation of the Carbon-in-Pulp and Carbon-in-Leach Processes*. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol 24, N° 4, pp. 623-635.
- Deschénes, G. & Wallingford, G. (1995) *Effect of Oxygen and Lead Nitrate on the Cyanidation of a Sulphide Bearing Gold Ore*. *Minerals Engineering*, Vol 8, pp. 923-931.

- Duffield, J. & May, P. (2003) *Cyanide Management*. Department of the Environment Australia.
- Grosse, A.C. & Dicoski, G.W. & Shaw, M.J. & Haddad, P.R. (2003) *Leaching and Recovery of Gold Using Ammoniacal Thiosulfate Leach Liquors (a Review)*. *Hydrometallurgy*, Vol 69, pp. 1-21.
- Habashi, F. (1999) *Textbook of Hydrometallurgy*. Quebec City, Canada
- Huaco Condori, Marilia C. (2017) *Evaluación del porcentaje de disolución de oro en la lixiviación con sandioss mediante diseños experimentales*, tesis de grado de la Universidad Nacional San Agustín- Arequipa.
- Kondos, P.D. Deschênes, G. & Morrison, R.M. (1995) *Process Optimization Studies in Gold Cyanidation*. *Hydrometallurgy*, Vol 39, pp. 235-250.
- Lemcorp. (2015) Revisado en 07 de julio de 2018 Recuperado de:
<http://www.lemcorp.com.pe>
<http://bioper.com.pe/#caracteristicas> (Fecha de visto 2015-07-23)
- Ling, P. et al. (1996) *An Improved Rate Equation for Cyanidation of a Gold Ore*. *Canadian Metallurgical Quarterly*, Vol 35, No 3, pp. 225-234.
- Lui, G.Q. & Yen, W.T. (1995) *Effects of Sulphide Minerals and Dissolved Oxygen on the Gold and Silver Dissolution in Cyanide Solution*. *Minerals Engineering*, Vol 8, pp. 111-123. Ref. Shrithammavut, W. (2008).

- Marsden, J. & House, I. (1992) *The Chemistry of Gold Extraction*. West Sussex, England: Ellis Horwood.
- Misari Fidel. (1993) *"Metalurgia del oro"*, Centro de Estudios y Promoción en Ciencias de la Tierra, CEPECT. Perú.
- Nanthakumar, B. & Pickles, C.A. & Kelebek, S. (2007) *Microwave Pretreatment of a Double Refractory Gold Ore*. Minerals Engineering, Vol 20, pp. 1109-1119.
- Oraby, E.A. (2009) *Gold Leaching in Thiosulfate Solutions and Its Environmental Effects Compared with Cyanide*. Doctor of Philosophy Thesis, Curtin University of Technology.
- Padierna León, Juan C. & Zegarra Esquivel, Yuri A. (2016) *Recuperación de oro utilizando "SANDIOSS" como alternativa al "cianuro de sodio" en la lixiviación alcalina por agitación de minerales tipo óxido, sulfuro y carbonáceo*. Tesis de grado de la Universidad Nacional de Trujillo, revisado el 06 de agosto de 2018, recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/54245410.pdf>
- Parga, J.R. & Valenzuela, J.L. & Cepeda T, F. (2007) *Pressure Cyanide Leaching for Precious Metals Recovery*. JOM, October 2007, pp. 43-47.

- Rojas Reyes, Néstor R. (2003) *Recuperación de oro y plata desde residuos ferríticos mediante cianuración*, Tesis de grado de la Universidad de Concepción.
- Senanayake, G. (2005) *Kinetics and Reaction Mechanism of Gold Cyanidation: Surface Reaction Model via Au(I)-OH-CN Complexes*. Hydrometallurgy, Vol 80, pp. 1-12.
- Senanayake, G. (2008) *A Review of Effects of Silver, Lead, Sulfide and Carbonaceous Matter on Gold Cyanidation and Mechanistic Interpretation*. Hydrometallurgy, Vol 90, pp. 46-73.
- Shrithammavut, W. (2008) *Modelling of Gold Cyanidation*. Master of Science Thesis, Lappeenranta University of Technology.
- Wadsworth, M.E. et al. (2000) *Gold Dissolution and Activation in Cyanide Solution*. Hydrometallurgy, Vol 57, pp. 1-11.
- Zheng, J. et al. (1995) *Study of Gold Leaching in Oxygenated Solutions Containing Cyanide-Copper-Ammonia Using a Rotating Quartz Crystal Microbalance*. Hydrometallurgy, Vol 39, pp. 277-292.
- Bioper "Distribuidor exclusivo de sandioss en el Perú" Página Web revisada en 2018-08-24, recuperado de: <https://www.bioper.com.pe/>

ANEXOS 1

Hoja de datos de seguridad- SANDIOSS

1 / 6

Material Safety Data Sheet (MSDS)

圣的 Sandioss GOLD LIXIVIAN T

El reactivo sin cianuro Sandioss, es nacional e internacionalmente un producto nuevo de alta tecnología para extraer oro. Con el producto, no hay que cambiar los aparatos anteriores de lixiviación ni cambiar el proceso anterior de cianuración.

El producto 100% lixivante ecológico aplica en las minas de micro-fino, primarias, de óxido, de semi-óxido, de sulfuro, de concentrado, el relave cianurado y escombros electrónicos, además en las pilas (heap leaching), la pulpa (agitación) y piscina (poza) tienen las ventajas de recuperación alta, disolución de oro rápida, costo bajo en la lixiviación, rendimiento bueno de extraer, la manipulación fácil, almacenamiento seguro y transportación fácil.

1 Introducción

La marca: 圣的 Sandioss
Nombre chino: 环保选矿剂
Nombre en inglés: GOLD LIXIVIAN T



2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Nombres de los componentes: Complejo
Apariencia: Partículas sólidas, Gris, Olor a amoníaco
Solubilidad: Soluble
Densidad: (Agua=1): 1.28 (17°C)
Valor pH: 10.5

3 COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

Descripción: porcentaje de los componentes

Nombres de los componentes	CAS NO	Porcentaje de peso %
Na2O	1313-59-3	30%
N	7727-37-9	20%
NH4	14798-03-9	20%

上海圣的新材料有限公司
Shanghai Sandioss New Material Co., Ltd

CaO	1305-78-8	20%
Fe2O3	1309-37-1	10%

4 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

- Datos de toxicidad aguda por vía oral de animales: el método de prueba, el de prueba de sustancia química 401 y la prueba de toxicidad aguda por vía oral está aprobado por la Administración Estatal de Protección Ambiental (2004) ; según resultado de la prueba y bajo las circunstancias de la presente prueba, el valor LD50 de toxicidad aguda de administración oral para ratón hembra sería 584mg/kg y el intervalo de confianza 95% sería 430-794mg/kg; el valor LD50 para ratón macho sería 584mg/kg y el intervalo de confianza 95% sería 430-794mg/kg.

El presente producto es ligeramente tóxico y de protección ambiental.

- Identificación del peligro de corrosión: no pertenece a corrosivos.
- Identificación de contenido de sustancia tóxica de residuos peligrosos: Requerimiento de norma o cláusula de norma - Identificación de Residuos Peligrosos GB 5085.6-2007 y Identificación de Contenido de Sustancia Tóxica Estándar 4.1 -GB5085.6-2007. De acuerdo con resultado de la prueba, no se detectaron iones cianuro y el mínimo contenido detectado es $5,12 \times 10^{-3}$ mg/kg. El contenido de iones cianuro no supere el límite.
- Datos de estimulación de animales: de ligera irritación.
- Detección de cromo hexavalente de residuos sólidos: todos los siguientes elementos no sobrepasan la norma: arsénico, cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y cinc.

5 AREA DE APLICACION

- El producto Sandioss sirve para oro micro fino, minas oxidadas y semi-óxido, primarias, de sulfuro, de concentrado, de relave cianurado, lodo anódico, escombros electrónicos etc.

6 PROPIEDADES FISICAS Y QUÍMICAS

- Solubilidad: soluble en el agua
- Componentes de disolución: se separan iones tales como amonio, cianuro de oxígeno, cianúrico, etc. Es el agente complejante orgánico compuesto que cuenta con naturaleza de reducción, y se puede formar complejos con varios iones metálicos.
- La degradación: los iones tales como amonio, cianuro de oxígeno, cianúrico, etc. Puede degradarse por si mismo.
- Oligómero Nocivo: La polimerización peligrosa no ocurriría.

7 INFORMACIÓN ECOLÓGICA

- Perjuicio ecológico: no es perjudicial sobre los organismos acuáticos y medio ambiente acuático.
- Aguas residual/degradación: agua residual de lixiviación de oro (solución pobre) puede ser reutilizado y agua de lavado puede degradarse automáticamente en un corto período de tiempo, descargandose seguramente.
- Relaves(residuos): Después del lavado, no se detectó iones de cianuro de relaves.
- Emisión de gas: No contiene gases tóxicos en el producto.
No contiene gas de exterminio.
No cuenta con gas radiactivo en los relaves, es inodoro y no huele mal tras largo temporada de existencia de presa de relaves.
- Medio ambiente y precauciones: requerimientos sobre medio ambiente local varían según países y tiene que ejercer depuración de agua residual de acuerdo con requerimientos del gobierno local.

8 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

- *NFPA* – Categoría (Area: 0 - 4)



**Peligro para salud = 1 (Baja Toxicidad, Irritación) ; Peligro de incendio = 0 (no inflamable) ;
Reactividad = 0 (estable)**

- Riesgos: El producto es de baja toxicidad, no inflamable y alta estabilidad, el polvogenerado en el proceso causa perjuicio al inhalarlo.
- Vía de intrusión: contacto con la piel, contacto con los ojos, ingestión, inhalación.
- Potenciales efectos agudos sobre la salud:
- Contacto con los ojos: es irritable al contactar directamente con los ojos, puede causar algún dolor, enrojecimiento y lógrima de los ojos si no lo trata eficiente y adecuadamente, no frotar si entra algún polvo a los ojos.
- Contacto con la piel: no produce irritación significativa el contacto de poco tiempo y poca cantidad, pero puede estimular las áreas heridas de la piel y causar inflamación. Dada labuena higiene industrial, el contacto directo con cualquier producto químico se debemantener al mínimo y hacer el trabajo de protección personal
- Inhalación: no causa daño significativo la inhalación de polvo con poco tiempo y

pequeña cantidad, el exceso de inhalación de una cantidad grande en poco tiempo puede provocar irritación respiratoria. Si la inhalación de polvo es de largo tiempo puede causar el daño pulmonar; en el momento del proceso y aplicación se debe tener protección respiratoria para evitar la inhalación excesiva del polvo.

- **Ingestión:** La ingestión del producto es considerado peligroso, no dejar al alcance de los niños.
- **Potenciales efectos crónicos sobre la salud:**
- **Efectos cancerígenos:** ingredientes contenidos en el producto no tiene un conocido carcinógeno significativo. (Clasificado por la NTP de IARC y OSHA de E.E.U.U).

9 MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación:** Si produce malestar, alejese de inmediato a un lugar aireado y fresco y mantenga la permeabilidad de la vía respiratoria, se debe dar oxígeno si tiene dificultad para respirar, si paraliza la respiración inmediatamente se aplica respiración artificial y se dirige a urgencias médicas.
- **Contacto con la piel:** limpie a fondo con agua corriente y jabón. **Contacto con los ojos:** Retire lentes de contacto (si los hay), levante los párpados superiores e inferiores, lave inmediatamente con abundante agua durante varios minutos si la situación no mejora consulte inmediatamente al médico.
- **Ingestión:** Después de ingerir excesivamente se enjuaga con agua, tome leche o clara de huevo y luego provoque vómito, consulte a un médico de inmediato

10 LUCHA CONTRA INCENDIOS

- **Información general:** En cualquier incendio, los bomberos deben usar aparatos de respiración autónoma y ropa protectora para evitar la inhalación de los gases tóxicos y nocivos generados por la combustión de la descomposición o a alta temperatura, y deben proteger los extintores para evitar una posible explosión cuando el recipiente se caliente.
- **Medios para extinguir el fuego:** Agua y extintor.
- **Punto de inflamación:** No aplicable.
- **Temperatura de auto ignición:** No aplicable.
- **Riesgo de incendio y peligro:** Ninguno.
- **Riesgo de incendio anormal o explosión:** Ninguno.

11 MEDIDAS CONTRA LIBERACIÓN ACCIDENTAL

- **Pequeñas fugas:** Cuando se produce una pequeña fuga, se limpia la sustancia directamente al recipiente de tratamiento.
- **Derrame y fuga importantes:** Cuando una fuga grande se produce, el área de la fuga debe ser aislada, el acceso es restringido para evitar la contaminación con el material fugado, se recicla el material fugado no contaminado al recipiente respectivo; los personales de reciclaje deben usar ropa de protección contra el

polvo, guantes protectores y máscaras contra el polvo, y limpian el material contaminado al recipiente de tratamiento dependiendo de la situación.

12 MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Manejo y manipulación:** Disponer medidas de protección para los operadores del producto, prestar atención en el momento de empacar y manipular para no producir daños y fugas, debe evitar la producción del polvo para que los operadores no inhalen excesivamente.

En el proceso de producción puede generar polvo o humos, por lo tanto, se debe hacer el trabajo relacionado de la protección personal y un plan integral del control de ventilación.

- **Almacenamiento:** el producto es fuertemente estable, generalmente no tiene exigencia estricta sobre la condición del almacenamiento, se puede almacenar según las condiciones normales, mantenga la zona de almacenamiento seca, ventilada y alejada de cualquier producto alimenticio y sustancia que puede reaccionar con el producto.

13 CONTROL DEL CONTACTO/ PROTECCIÓN PERSONAL

- **Control de ventilación e ingeniería:**

Cuando el producto está en el procesamiento se debe mantener buena ventilación.

- **Protección respiratoria:**



No hay necesidad de protección respiratoria si el tiempo del contacto con el producto es corto. Usar la máscara contra el polvo cuando por mucho tiempo aplica el producto en el procesamiento.

- **Protección corporal:**



Es necesaria la ropa a prueba del polvo.

- **Guantes protectores:**



Puede usar guantes largos de caucho.

- **Protección de los ojos:**



Use gafas protectoras.

No es necesario aplicar la protección de los ojos si el uso o el contacto con el producto son de poco tiempo o de poca cantidad.

Es necesario usar gafas protectoras si el procesamiento es de tiempo largo o de una cantidad masiva.

14 INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

- **Identificación de peligro:** Ninguno
- **Peligro de explosión:** La presente mercancía no pertenece a explosivo.

上海圣的新材料有限公司

- Peligro inflamable: La presente mercancía no pertenece a inflamable.
- Peligro de oxidación: La presente mercancía no pertenece a oxidante y peróxido orgánico.
- Peligro de toxicidad y de infección: La presente mercancía pertenece a sustancia tóxica e infecciosa.
- Peligro radiactivo: La presente mercancía no cuenta con peligro radiactivo.
- Peligro corrosivo: La presente mercancía no pertenece a sustancia corrosiva.
- Otros peligros: La presente mercancía no cuenta con otros peligros.
- Requerimientos de embalaje: puede embalsarse según condiciones de la mercancía común.
- Facturación de transporte de mercancía de modo terrestre, marítimo, aéreo y de ferrocarril: hacerlo de acuerdo con las condiciones de mercancía común.
- Embalaje del producto: bolsa de membrana PP/PE impermeable, con revestimiento interior de membrana PE que es impermeable, antihumedad y anti-rotura.
- Peso de cada bolsa: 25 kg de peso neto.
- Paquete de tonelada estándar: una paleta es de 1000 kg (40 sacos* 25 kg).
- Dimensiones de paleta: largo 1,1 * ancho1,1 * alto 1M.
- Estándar de embalaje: contenedor de 20 pies, capaz de transportar 20 toneladas de productos.
- Almacenamiento del producto: El producto es fácil de absorber la humedad, por lo tanto debe prestar atención a humedad, impermeable y sellado, y se lo coloca en un lugar seco y fresco realizando almacenamiento por paquete sellado.
- Almacenamiento en separación: se prohíbe almacenarse juntos con productos químicos ácidos y alimentos evitando que se come por ser humano y ganado.
- Establece régimen de producción y uso de seguridad completo del producto de acuerdo con regulaciones relevantes del país.



Presentación del reactivo SANDIOSS



Informe Sunat N°156-2015

INFORME N° 156 -2015-SUNAT/6C2000

A : Marcia Gisele Bellido Luglio
Gerente (e)
Gerencia Operativa del Registro de Bienes Fiscalizados
Intendencia Nacional de Insumos Químicos y Bienes
Fiscalizados

ASUNTO : Consulta sobre control de Insumos Químicos y Productos
Fiscalizados

REFERENCIA : Expediente N° 000-6E8120-2015-089419-9

FECHA : Lima, 23 FEB. 2015

Me dirijo a usted para informar lo siguiente:

I. ANTECEDENTES

Mediante el expediente de la referencia, la persona natural GRECIA LORELEY FLORES VILLON solicita se le indique si el producto denominado SANDIOS, AGENTE DE EXTRACCIÓN DE ORO, se encuentra sujeto a control y fiscalización, para lo cual adjunta las especificaciones técnicas del producto.

II. BASE LEGAL

- 2.1 Decreto Legislativo N° 1126.- Decreto Legislativo que establece medidas de control en los insumos químicos y productos fiscalizados, maquinarias y equipos utilizados para la elaboración de drogas ilícitas.
- 2.2 Reglamento del Decreto Legislativo N° 1126, aprobado por el Decreto Supremo N° 044-2013-EF, modificado por Decreto Supremo N° 107-2013-EF, en adelante el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1126.
- 2.3 Decreto Supremo N° 024-2013-EF, especifica los insumos químicos, productos y sus subproductos o derivados, objeto de control y fiscalización a que se refiere el artículo 5° del Decreto Legislativo N° 1126, de acuerdo a lo siguiente:
- a) El artículo 1°.- establece la lista de los insumos químicos y productos sujetos a control y fiscalización cualquiera sea su denominación, forma o presentación, precisando que se encuentran sujetos a control y fiscalización siempre que se encuentren a una concentración igual o superior al 80%, excepto el óxido de calcio que se controla a partir del 70%; asimismo que se encuentran sujetos a control y fiscalización aún cuando se encuentren diluidos o rebajados en su concentración porcentual en solución acuosa (agua) excepto el hipoclorito de sodio que se encuentra sujeto a control y fiscalización en concentraciones superiores al 8%.
- b) El artículo 2°, inciso 2.1.- establece las mezclas que se encuentran sujetas a control y fiscalización, las mismas que se detallan a continuación:
- Del ácido clorhídrico en una concentración superior al 10%
 - Del ácido sulfúrico en una concentración superior al 30%
 - Del permanganato de potasio en una concentración superior al 30%
 - Del carbonato de sodio en una concentración superior al 30%
 - Del carbonato de potasio en una concentración superior al 30%



Handwritten signature
QNB5

Handwritten signature
QX-45

- c) El artículo 2°, inciso 2.2.- establece que se considera un disolvente sujeto a control y fiscalización, con características similares al thinner, a toda mezcla líquida orgánica capaz de disolver (disgregar) otras sustancias como lacas, tintas, pinturas, celulosas, resinas, entre otras, para formar una mezcla uniforme; que contenga uno o más solventes químicos fiscalizados; tal como acetona, acetato de etilo, benceno, éter etílico, hexano, metil etil cetona, metil isobutil cetona, tolueno y xileno, en concentraciones que sumadas sean superiores a un veinte por ciento (20%) en peso.

III. ANÁLISIS

De la Ficha de Datos de Seguridad, adjunta a la solicitud, se tiene que el producto denominado Agente de extracción de oro, que correspondería a la denominación SANDIOS, AGENTE DE EXTRACCIÓN DE ORO, es una mezcla que contiene en su composición las sustancias químicas: óxido de sodio (Na_2O); nitrógeno (N); amonio (NH_4^+), identificado con CAS N° 14798-03-9; ferrocianuro de sodio ($\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$); agua (H_2O); calcio (Ca); hierro (Fe) e insolubles en agua, las cuales no se encuentran comprendidas en la lista de los insumos químicos y productos fiscalizados aprobada mediante Decreto Supremo N° 024-2013-EF, consecuentemente, el producto no se encuentra sujeto a control y fiscalización.

IV. CONCLUSIÓN

De lo expuesto en el análisis, se concluye que el producto denominado Agente de extracción de oro, que correspondería a la denominación SANDIOS, AGENTE DE EXTRACCIÓN DE ORO, no se encuentra sujeto a control y fiscalización por el Decreto Legislativo N° 1126.

Es cuanto informo, para su consideración.

Atentamente,



Lourdes Vargas Meléndez
Reg. QX45



SANDIOSS Vs Cianuro

PRUEBA EN COLUMNA 300 PPM : SANDIOSS vs. CIANURO

MINERAL DE LA CONCESION MINERA PUEBLA DE LOS INFANTES - CASERIO DE HUAYDAY - DISTRITO DE LUCMA - PROVINCIA DE GRAN CHIMU - LA LIBERTAD

CONDICIONES DE LA PRUEBA

Peso de Mineral : 25 kg
 Fuerza : 300 ppm
 pH : 11
 Granulometría : < 1/4 "

RESULTADOS

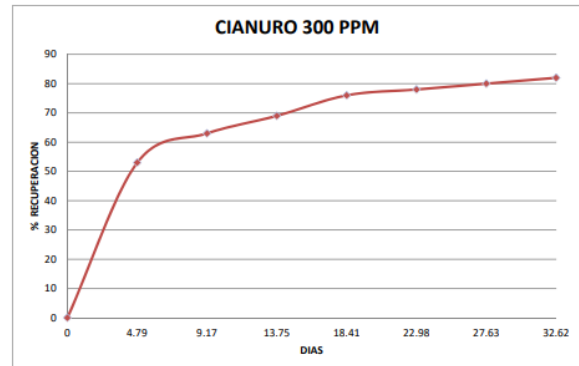
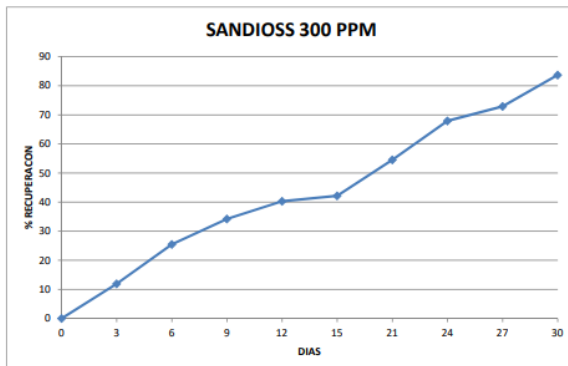
% Extracción : 83.73 Au
 Consumo SS : 1.039 kg/TM
 Consumo de Cal : 1.5 kg/TM

CONDICIONES DE LA PRUEBA

Peso de Mineral : 25 kg
 Fuerza : 300 ppm
 pH : 11
 Granulometría : < 1/4 "

RESULTADOS

% Extracción : 82.00 Au
 Consumo CN : 1.197kg/TM
 Consumo de Cal : 1.5 kg/TM



PARA ESTA PRUEBA, CUYO MINERAL SE DETERMINO A PRIORI QUE ES REFRACTARIO, SU LIXIVIACION ES DE 30 DIAS APROXIMADAMENTE . SE DETERMINA LO SIGUIENTE:

- 1.- **RECUPERACION DE ORO** : EL % DE EXTRACCION CON SANDIOSS ES DE 83.73% Y DE CIANURO DEL 82.00% ES DECIR: SANDIOSS TIENE MAYOR % DE RECUPERACION
- 2.- **CONSUMO DE REACTIVO** : EL CONSUMO DE SANDIOSS ES DE 1.039 Kg/Tn Y DEL CIANURO DE 1.197 Kg/Tn, ES DECIR EL CONSUMO DE SANDIOS ES MENOR QUE DEL CIANURO
- 3.- **TIEMPO DE LIXIVIACION** : CON SANDIOSS EL TIEMPO DE LIXIVIACION (30 DIAS) ES MENOR QUE CON CIANURO (32.62 DIAS)
- 4.- **VELOCIDAD DE LIXIVIACION** : LA VELOCIDAD DE LIXIVIACION CON SANDIOSS ES CASI CONSTANTE Y LA DEL CIANURO ES AL INICIO RÁPIDA Y LUEGO LENTA.

CONCLUSION :

CON SANDIOSS SE OBTIENE MAYOR RECUPERACION, MENOR CONSUMO DE REACTIVO Y MENOR TIEMPO DE OPERACIÓN

ANEXOS 2



Toma de muestra

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería


Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

**RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA DESDE RELAVES
APLICANDO CIANURO DE SODIO Y SANDIOSS EN
LA EMPRESA EXPLOTACIÓN GOLDEN
MINERALES**


TESIS

Tesis sustentada el 16 de noviembre de dos mil dieciocho, siendo el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE :


Msc. Edgardo Teófilo Valdez Cortijo

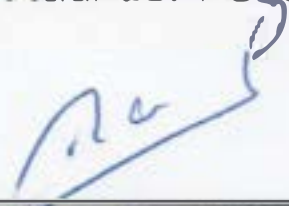
SECRETARIO :


Ing. Daniel Jesús Zevallos Ramos

VOCAL :


Mgr. Raúl del Pozo Tello

ASESOR :


Dr. Tolomeo Raúl Soto Pérez



Toma de muestra



Preparación de muestra



Agitación de muestra