

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN POR AGITACIÓN
DE MINERALES OXIDADOS AURÍFEROS DE LA
COMUNIDAD CHALHUANCA - APURÍMAC

TESIS

Presentada por:

Bach. Henry Nina Mamani

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA

TACNA - PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN POR AGITACIÓN DE MINERALES OXIDADOS AURÍFEROS DE LA COMUNIDAD CHALHUANCA - APURÍMAC

TESIS

Tesis sustentada el 04 de octubre de dos mil diecinueve, siendo el jurado calificador integrado por:


PRESIDENTE


:.....
Dr. Tolomeo Raúl Soto Pérez

SECRETARIO


:.....
Dr. Luis Fortunato Caso Palpa

VOCAL


:.....
Ing. Daniel Jesús Zevallos Ramos

ASESOR


:.....
Mgr. Matías Carlos Vivar Colquicocha

DEDICATORIA

Mi gratitud infinita a nuestro creador Dios.

A mis queridos padres a quienes con su siempre constante apoyo durante todo el transcurso de mi vida y mi carrera contribuyeron en mi formación académica y personal.

A mi esposa y hermano por ser fuente inagotable de amor, estímulo y superación.

AGRADECIMIENTO

Por la presente, dejo constancia de mi agradecimiento a mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería, quienes dirigieron en forma acertada mi formación profesional.

A los jurados quienes evaluaron este trabajo y me permitieron plasmar mis propósitos y desde ya serán parte de varias iniciativas para evaluar los recursos mineros.

CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción del problema	2
1.1.1. Antecedentes del problema	2
1.1.2. Problemática de la investigación	3
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Justificación e importancia	3
1.4. Alcances y limitaciones	5
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.6. Hipótesis	6
CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO	8

2.1.Antecedentes del estudio	8
2.2.Bases teóricas	10
2.2.1.Concepto de lixiviación	10
2.2.2.Lixiviación de oro y plata por cianuración	10
2.2.3.Clasificación de los minerales de oro	11
2.2.4.Métodos de lixiviación	12
2.2.5.Reacciones de oro en soluciones diluidas de cianuro	16
2.2.6.Mecanismo de la lixiviación con cianuro de sodio	17
2.2.7.Cinética del proceso de cianuración	21
2.2.8.Disolución de metales preciosos	22
2.2.9.Cinética de la reacción de cianuración de oro	23
2.2.10.Implicancias ambientales en la metalurgia del oro	25
2.2.11.Ubicación y accesibilidad de la región Apurímac	34
2.2.12.Marco geológico	36
2.3.Definición de términos	38
CAPÍTULO III : MARCO METODOLÓGICO	43
3.1.Tipo y nivel de la investigación	43
3.2.Población, muestra y material de estudio	43

3.2.1.Población	43
3.2.2.Muestra	43
3.2.3.Material de estudio	44
3.3.Operacionalización de variables	44
3.4.Método, técnicas e instrumentos para recolección de datos	45
3.4.1.Método	45
3.4.2.Técnica	46
3.4.3.Materiales, equipos, reactivos e instrumento	46
3.5.Procesamiento y análisis de datos	48
3.5.1.Procedimiento experimental	48
3.5.2.Análisis de datos	49
CAPÍTULO IV : RESULTADOS Y ANÁLISIS	50
4.1.Resultados	50
4.1.1.Resultados de la lixiviación con Sandioss	50
4.1.2.Resultados de la lixiviación con Gold Max	54
4.1.3.Resultados de la lixiviación con cianuro de sodio	58
4.2.Análisis de resultados	62

4.2.1. Gráficos de resultados de lixiviación con Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio	64
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Porcentaje de componentes</i>	38
Tabla 2: <i>Propiedades Físico y químico</i>	39
Tabla 3: <i>Componentes del Gold Max</i>	40
Tabla 4: Parámetros fijos de las variables de operacionalización	45
Tabla 5: Parámetros de la lixiviación por agitación	49
Tabla 6: Resultados de la lixiviación con el reactivo Sandios	50
Tabla 7: Resultados de la solución de oro analizados	50
Tabla 8: Resultados de la extracción ensayada para el oro	51
Tabla 9: Resultados de la solución de plata analizado	51
Tabla 10: Resultados de la extracción ensayada para la plata	52
Tabla 11: Resultados de cálculos realizados con el reactivo Sandioss	53
Tabla 12: Resumen de resultados	53
Tabla 13: Consumo de reactivo	53
Tabla 14: Resultados de la lixiviación con el reactivo Gold Max	54
Tabla 15: Resultados de la solución de oro analizados	54
Tabla 16: Resultados de la extracción ensayada para el oro	55
Tabla 17: Resultados de la solución de plata analizado	55
Tabla 18: Resultados de la extracción ensayada para la plata	56
Tabla 19: Resultados de cálculos realizados con el reactivo Gold Max	57
Tabla 20: Resumen de resultados	57

Tabla 21: Consumo de reactivo	57
Tabla 22: Resultados de la lixiviación con el reactivo cianuro de sodio	58
Tabla 23: Resultados de la solución de oro analizados	58
Tabla 24: Resultados de la extracción ensayada para el oro	59
Tabla 25: Resultados de la solución de plata analizado	59
Tabla 26: Resultados de la extracción ensayada para la plata	60
Tabla 27: Resultados realizados con el reactivo cianuro de sodio	61
Tabla 28: Resumen de resultados	61
Tabla 29: Consumo de reactivo	61
Tabla 30: Comparación de consumo de reactivos	62
Tabla 31: Comparación de precios de reactivos utilizados	63
Tabla 32: Comparación de recuperación del oro y plata	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Proceso de lixiviación en pilas	14
Figura 2 : Equipo para lixiviación por agitación	15
Figura 3 : Modelo electroquímico para la cianuración del oro	18
Figura 4 : Equilibrio de CN^- / HCN con el pH	19
Figura 5 : Diagrama Eh-pH para el sistema CN^- H_2O a 298,15 K	20
Figura 6 : Interpretación de la cinética de cianuración de oro	21
Figura 7 : Diagrama Eh - pH para el sistema Au^- CN^- H_2O a 298,15 K	23
Figura 8 : Diagrama Eh - pH para el sistema Ag^- CN^- H_2O a 298,	23
Figura 9 : Representación esquemática de una celda de corrosión local	25
Figura 10 : Ciclo del cianuro	29
Figura 11 : Ejemplo de degradación del cianuro	30
Figura 12 : Mapa de ubicación de la región Apurímac	36
Figura 13 : Muestra mineral de tipo óxido aurífero para la lixiviación	44
Figura 14 : Cinética de extracción de oro y plata con reactivo Sandioss	52
Figura 15 : Cinética extracción del oro y la plata con reactivo Gold Max	56
Figura 16 : Cinética extracción del oro y la plata con cianuro de sodio	60
Figura 17 : Cinética de extracción del oro con agentes lixiviantes Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio	64
Figura 18 : Cinética de extracción de la plata con agentes lixiviantes Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio	65

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se busca nuevos reactivos lixiviantes para minerales auríferos que puedan reemplazar al cianuro de sodio, con el objeto de minimizar los problemas generados por la contaminación ambiental y social, en las pruebas realizadas se hizo una comparación de la extracción de oro usando el reactivo Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio para un tipo de mineral óxidos aurífero provenientes de la comunidad Chalhuanca -Apurímac en iguales condiciones operativas como granulometría 65 % -m200, 30 % de sólidos, 2000 ppm de concentración de reactivo lixivante, pH 10,5 -11, se usó cal como regulador de pH, con tiempo de agitación de 48 horas a temperatura y presión ambiente. De los resultados de las pruebas de lixiviación por agitación se concluye que sí hay una alternativa de lixiviación con el reactivo Sandioss y este reactivo no es contaminante y tiene similares propiedades de lixiviación y se podría reemplazar al NaCN. Se determinó los consumos de reactivos de las pruebas de lixiviación por agitación, como resultado se obtuvo un consumo para Gold Max con un valor de 6,067 kg/t, seguido para el reactivo Sandioss que resultó con un consumo de 5,333 kg/t y para el consumo del cianuro de sodio dio un valor de 4,667 kg/t.

Se concluye que la recuperación de oro utilizando Sandioss es superior a la obtenida con cianuro de sodio y Gold Max, el reactivo Sandioss se

presenta como una alternativa en la lixiviación alcalina por agitación de minerales tipo óxido auríferos provenientes de la Comunidad Chalhuanca - Apurímac, como resultado se obtuvo las recuperaciones de oro, fueron un 92,92 % usando Sandioss, 91,42 % usando cianuro de sodio y 89,03 % usando Gold Max.

Palabras clave: Sandioss, Gold Max, recuperación, lixiviación, reactivos.

ABSTRACT

In this research work, new leaching reagents for gold minerals are sought that can replace sodium cyanide, in order to minimize the problems generated by environmental and social contamination, in the tests carried out a comparison of gold extraction was made. using Sandioss reagent, Gold Max and sodium cyanide for a type of gold oxide mineral from the Chalhuanca -Apurímac community under the same operating conditions such as granulometry 65% -m200, 30% solids, 2000 ppm concentration of leaching reagent, pH 10,5-11, lime was used as pH regulator, with stirring time of 48 hours at room temperature and pressure. From the results of the agitation leaching tests, it is concluded that there is a leaching alternative with the Sandioss reagent and this reagent is not polluting and has similar leaching properties and could be replaced by NaCN. The reagent consumptions of the agitation leaching tests were determined, as a result a consumption was obtained for Gold Max with a value of 6,067 kg / t, followed for the Sandioss reagent, which resulted in a consumption of 5,333 kg / t for the consumption of the sodium cyanide gave a value of 4,667 kg / t.

It is concluded that the recovery of gold using Sandioss is superior to that obtained with sodium cyanide and Gold Max, the Sandioss reagent is presented as an alternative in the alkaline leaching by agitation of gold oxide-type minerals from the Chalhuanca-Apurímac Community, such as

As a result, gold recoveries were obtained, they were 92,92% using Sandioss, 91,42% using sodium cyanide and 89,03% using Gold Max.

Keywords: Sandioss, Gold Max, recovery, leaching, reagents.

INTRODUCCIÓN

La pequeña, mediana y gran minería sigue desarrollando proyectos de exploración y explotación de minerales auríferos, mediante procesos hidrometalúrgicos, el reactivo que más se usa en lixiviación aurífera, por ser económico, de fácil manejo y obtener altas recuperaciones de oro, es el cianuro de sodio, sin embargo, este reactivo genera grandes problemas ambientales y problemas de salud y hasta conflictos sociales. Por el lado ambiental, es un material peligroso debido a que puede suceder o hay casos que ya sucedieron derrames durante el transporte y uso de este reactivo, y generar problemas de contaminación por la liberación del cianuro libre, existe otros reactivos ecológicos que pueden sustituir al NaCN, el presente trabajo busca alternativas de lixiviación en la hidrometalurgia.

El desarrollo de la tesis consta de cuatro capítulos en los cuales en el primer capítulo se desarrolla el planteamiento del problema de investigación, en el segundo capítulo se desarrolla el fundamento teórico, en este capítulo se revisa las bases teóricas que viene a ser el complemento para el desarrollo de la tesis, luego se tiene el tercer capítulo que se denomina marco metodológico y por último está el cuarto capítulo donde se obtiene resultados del desarrollo del capítulo III.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

1.1.1. Antecedentes del problema

Algunas variedades de minerales oxidados auríferos provienen de la pequeña minería de la comunidad Chalhuanca-Apurímac, ya presenta dificultades en la recuperación de oro y la contaminación al medio ambiente, sobre todo cuando tiene impurezas causada por la presencia de otros minerales, y la falta de tecnología y conocimiento de trabajar con nuevas alternativas de reactivos de lixiviación en este sector imposibilita soluciones inmediatas para estos problemas que son causados por el uso principalmente del cianuro de sodio.

En las investigaciones realizadas por distintos autores deducen que efectivamente los reactivos como es el Sandioss y Gold Max cumplen la misma función que el cianuro de sodio utilizado en la lixiviación de minerales auríferos, y es posible reemplazar al cianuro de sodio por esos reactivos mencionados y así mejorar las recuperaciones del oro y evitar la contaminación ambiental que muchas veces conllevan a conflictos sociales entre la población y empresas mineras.

1.1.2. Problemática de la investigación

La problemática de la investigación es la necesidad de encontrar un producto que pueda reemplazar al cianuro de sodio en la lixiviación con la misma eficiencia que este presenta y con un menor impacto sobre la salud y medio ambiente, es por eso que el trabajo de investigación se realizaron pruebas metalúrgicas de comparación en la extracción de oro con Sandioss, Gold Max y cianuro de Sodio.

Cabe destacar que la informalidad de pequeñas empresas mineras trabaja con el reactivo cianuro de sodio para la recuperación del oro y esto conlleva a que ocurra la contaminación al medio ambiente, no solo al medio ambiente, sino que también a los mismos trabajadores atentando contra la salud de las personas que laboran cerca de las operaciones y manejo de reactivos peligrosos como es el cianuro de sodio.

1.2. Formulación del problema

Ante la problemática se plantea la siguiente interrogante:

¿Será factible la recuperación del oro mediante lixiviación por agitación de minerales óxidos auríferos utilizando Sandioss y Gold Max como alternativa de lixiviación frente al cianuro de sodio?

1.3. Justificación e importancia

Este trabajo de tesis se justifica de la siguiente manera:

- ✓ Reemplazar al cianuro de sodio con los reactivos Sandioss y Gold Max para la recuperación del oro, estos reactivos mencionados cumplen la misma función que el cianuro de sodio y es menos contaminante, actúa amigablemente con el medio ambiente.
- ✓ Se justifica porque hoy en día hay mayor problemática con la contaminación ambiental con reactivos como el cianuro de sodio ya que las empresas mineras utilizan este reactivo para la lixiviación del oro, causando daños frente al medio ambiente.
- ✓ Promover e incentivar a las pequeñas mineras que utilicen nuevos reactivos para la recuperación de metales preciosos y así puedan cooperar con la comunidad y la empresa minera evitando conflictos sociales que hoy en día suelen suceder.

La importancia de este trabajo de investigación es la siguiente:

- ✓ Una de las importancias del presente trabajo es realizar pruebas con reactivos menos contaminantes como es Sandioss y Gold Max y comparar con el reactivo que más se utiliza, el cianuro de sodio, comparando los resultados de recuperación del oro.
- ✓ Mejorar el proceso de lixiviación con nuevas alternativas, y obtener recuperaciones adecuadas tanto a favor de la empresa

minera y a la población con el único objeto de no contaminar el medio ambiente.

- ✓ Y por último, la importancia de esta investigación es mejorar las recuperaciones del oro con las nuevas alternativas de reactivos ecológicos y competitivos y minimizar o hasta dejar de utilizar la aplicación del reactivo cianuro de sodio en el tratamiento de minerales auríferos.

1.4. Alcances y limitaciones

El desarrollo de este trabajo tiene como alcance enmarcar en los procesos de lixiviación por agitación del oro, sobre todo en la aplicación y comparación de reactivos de lixiviación Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio en la recuperación del oro, en definición se basa en el procesamiento según las características mineralógicas del material proveniente de la comunidad Chalhuanca - Apurímac, utilizando las nuevas alternativas para minimizar el uso del cianuro de sodio en la hidrometalurgia.

Esta investigación se limita a realizar pruebas con otros reactivos lixiviantes alternativos al cianuro de sodio y uno de ellos es el tiosulfato de amonio, el cual también presenta un comportamiento muy favorable frente a la recuperación del oro ya que es una alternativa no contaminante en comparación con la alta toxicidad del cianuro de sodio.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Estudiar de las nuevas alternativas de lixiviación de oro por agitación con reactivos Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio a los minerales óxidos auríferos provenientes de la Comunidad Chalhuanca - Apurímac.

1.5.2. Objetivos específicos

- ✓ Realizar pruebas de lixiviación por agitación con parámetros iguales para los tres reactivos Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio.
- ✓ Determinar los consumos de reactivos Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio en la lixiviación por agitación.
- ✓ Realizar una comparación de cianuro Sodio, Sandioss y Gold Max en la recuperación de oro en minerales óxidos auríferos provenientes de la comunidad Chalhuanca - Apurímac.

1.6. Hipótesis

- ✓ Será factible la recuperación de oro utilizando Sandioss y Gold Max que es equivalente en la recuperación con cianuro de sodio en la lixiviación por agitación de minerales tipo óxidos auríferos, conservando parámetros de operación similares y/o iguales para todos los reactivos mencionados.
- ✓ Utilizando los minerales provenientes de la zona oxidada de la comunidad de Chalhuanca – Apurímac se evalúa el rendimiento de

consumo de los reactivos Sandioss y Gold Max comparando con cianuro de Sodio.

- ✓ En el proceso de recuperación de oro por el método de lixiviación por agitación será posible determinar si el Sandioss y Gold Max es alternativa de reemplazo al cianuro de Sodio.

1.7. Definición operacional de las variables

Las variables a estudiar en forma detallada son la disolución del oro de minerales oxidados, esto será en función a la concentración del reactivo lixivante, el tiempo de agitación, las velocidades de agitación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

En el tema de la investigación se tiene los siguientes antecedentes de estudio:

Adams (2005). Indica que desde tiempos remotos el oro ha sido un metal de interés para el ser humano. Junto al cobre, fueron los primeros metales utilizados para desarrollar herramientas, reliquias y armamento, principalmente por las ventajas que proporcionan sus propiedades dúctiles.

La extracción de oro comenzó a muy temprana edad. Es muy probable que el primer método de extracción haya sido manual y el procesamiento haya sido mediante sorting. Murales encontrados en Egipto que datan de aproximadamente el 1450 a.c., sirven como antecedente para demostrar que los egipcios fueron unos de los primeros pueblos o los primeros en extraer rocas portadoras de oro.

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.

Tremolada (2011). Demostró experimentalmente que los minerales arcillosos y/o coloides arcillosos evidenciaron el fenómeno de la adsorción y/o re precipitación del oro a partir de soluciones cianuradas, concluyéndose que el efecto preg-robbing contribuye a una pérdida de oro y plata en una cianuración convencional. La pérdida de oro es dependiente del tipo de arcilla y parece ser afectada por la extensión del tiempo de cianuración. Fue observado que la capacidad de adsorción de la plata fue arriba del 80 % y que el grado de adsorción del oro osciló entre 1,68 % y 7,49 %.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concepto de lixiviación

El proceso de lixiviación es una etapa fundamental en un proceso hidrometalúrgico, que involucra la disolución del metal a recuperar desde una materia prima sólida, en una solución acuosa mediante la acción de agentes químicos. Esta transferencia del metal hacia la fase acuosa permite la separación del metal contenido en la fase sólida de sus acompañantes no solubles. En la hidrometalurgia del cobre, dada la variedad de sustancias sólidas que contienen cobre, factibles de beneficiar por lixiviación, complican la extensión de los fundamentos del sistema, lixivante (sólidos - agentes extractantes - métodos) (Almonacid & Riese, 2013).

2.2.2. Lixiviación de oro y plata por cianuración

Dentro del contexto de la extracción del oro y la plata, la lixiviación con cianuro de sodio es la disolución de estos metales o sus minerales en una solución alcalina de cianuro de sodio. 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 de sodio 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 de sodio es el oxígeno del aire, el cual contribuye a la economía de este proceso (Misari, 1993).

2.2.3. 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 cálvente, 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 reducen 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).

2.2.4. Métodos de lixiviación

Los principales métodos de lixiviación usados en la actualidad se pueden clasificar de la forma que sigue:

- **Lixiviación in-situ:** Consiste en la aplicación de soluciones directamente sobre el mineral que está ubicado en el lugar del yacimiento, sin someterlo a labores de extracción minera alguna (López, 2014).
- **Lixiviación en botaderos:** Consiste en el tratamiento de minerales de muy bajas leyes, normalmente debajo de la ley de corte económica para la planta principal conocidos como “estéril mineralizado”. En los yacimientos más antiguos, este material muchas veces se acumuló sin prestar atención a su tratamiento posterior, normalmente en cañones o quebradas cercanas a las minas. Alcanzando alturas de 100 metros o más y el sustrato basal no siempre es el adecuado para recoger soluciones, sin embargo, estas continúan aplicándose en la parte superior y colectándose en una laguna de intersección en la roca impermeable más próxima (López, 2014).
- **Lixiviación en pilas (Pad):** A diferencia de los botaderos, en este caso el mineral tiene una mayor ley y, por lo tanto, económicamente paga por un tratamiento más complejo a través de una planta de chancado. Las pilas se cargan habitualmente entre 3 y 10 metros, sobre un sustrato impermeable, normalmente protegido con una membrana de plástico del tipo polietileno de alta, baja o muy baja densidad o cloruro de polivinilo, que puede tener desde 0,1 a 1,5 mm de espesor según

las exigencias de cada aplicación. Para ayudar a la recolección de las soluciones se usan cañerías de drenaje perforadas y canaletas abiertas. Las soluciones se distribuyen por medio de goteros, incluso enterrados en los casos de condiciones climáticas extremas o bien mediante aspersores dependiendo de la evaporación y la disponibilidad de agua en cada operación (López, 2014).

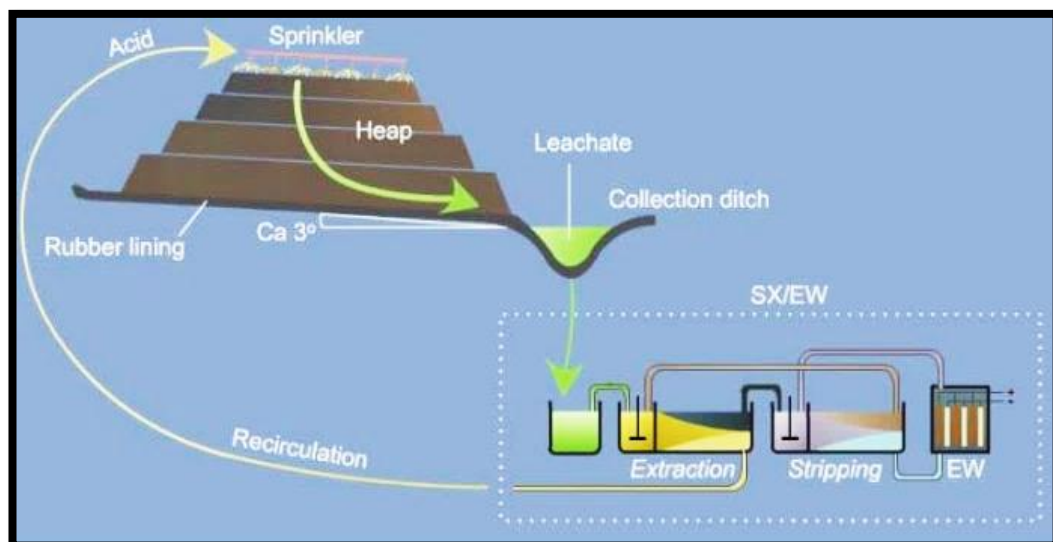


Figura 1. Proceso de lixiviación en pilas.
Fuente: Vest et al., 2009.

- **Lixiviación en bateas inundadas:** Conocido como sistema de lixiviación por percolación, consiste en una estructura con forma de paralelepípedo de hormigón, protegido interiormente con asfalto antiácido o resina epóxica, provisto de un fondo falso de madera y una tela filtrante, que se llena hasta arriba de mineral y que se inundan con las soluciones de lixiviación (López, 2014).

- Lixiviación por Agitación:** Para ello se requiere que el mineral esté finamente molido, por esto se aplica solamente a minerales frescos de leyes altas, que por su mayor valor contenido justifican una molienda húmeda, a cambio de una mayor recuperación y de un menor tiempo de proceso. Así se aumentan en el área expuesta a la lixiviación y a la agitación permite disminuir el espesor de la capa limitante de difusión, al mismo tiempo que se maximiza el área de la interfase gas-líquido (López, 2014).

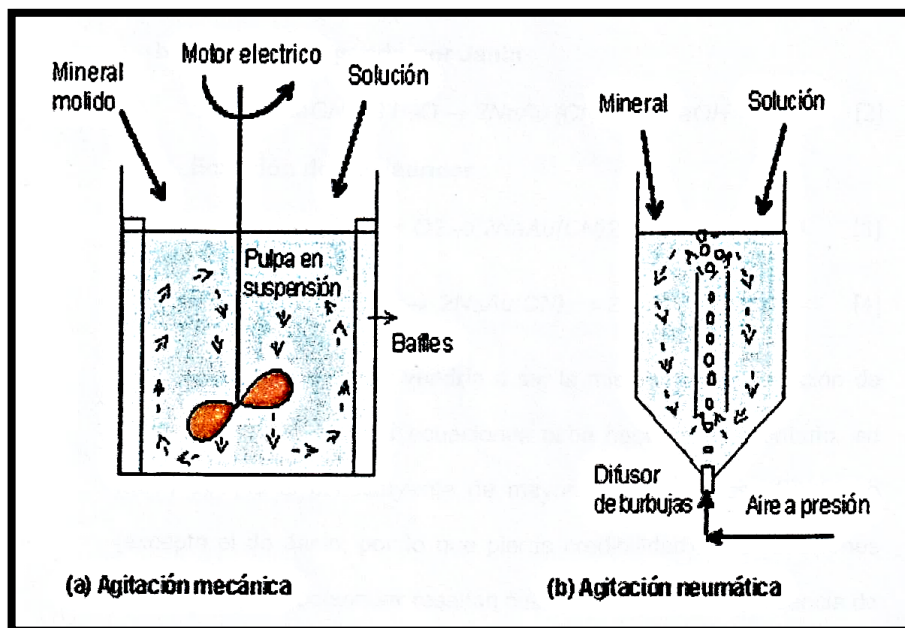
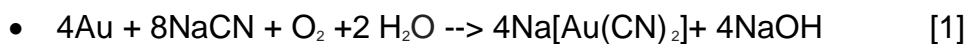


Figura 2. Equipo para lixiviación por agitación.
Fuente: Cáceres, 2007.

2.2.5. Reacciones de oro en soluciones diluidas de cianuro

Indican que las reacciones de mayor significación en el proceso de cianuración son las que a continuación se presentan (Sancho & Verdeja, 1998):

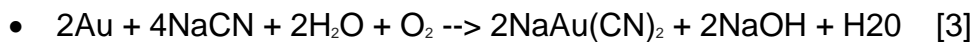
a. Ecuación de Elsner



b. Ecuación sugerida por Janin



c. Ecuaciones de Bodlaender

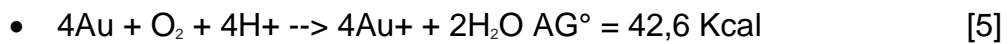


La ecuación global vendría a ser la misma que la ecuación de Elsner.

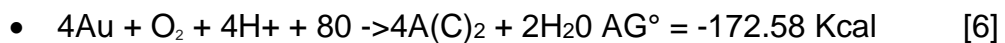
Respecto a estas ecuaciones cabe hacer un comentario, en razón de que el constituyente de mayor importancia es el oxígeno (excepto el de Janin, por lo que pierde credibilidad). Las reacciones propuestas por Bodlaender resaltan cuán importante es la presencia de oxígeno, la cual, en una cantidad limitada, forma el peróxido necesario por la disolución del oro y en exceso, propicia la oxidación del ion cianuro a ion cianato.

2.2.6. Mecanismo de la lixiviación con cianuro de sodio

Indica que la lixiviación de oro con cianuro de sodio es bien conocido y termodinámicamente probado que el oxígeno no oxida al oro en un ambiente normal (Haung D.H.H. et al.,1986).



En la presencia de iones cianuro, el oro es fácilmente soluble. Existe formación de un complejo de cianuro de oro estable.



La disolución de oro en soluciones de cianuro es electroquímica por naturaleza. El oro es disuelto en sitios anódicos mientras que el oxígeno es reducido en sitios catódicos. El ánodo y el cátodo forman un par de corrosión en el cual existe transferencia de electrones de los sitios anódicos a los sitios catódicos a través del oro sólido.

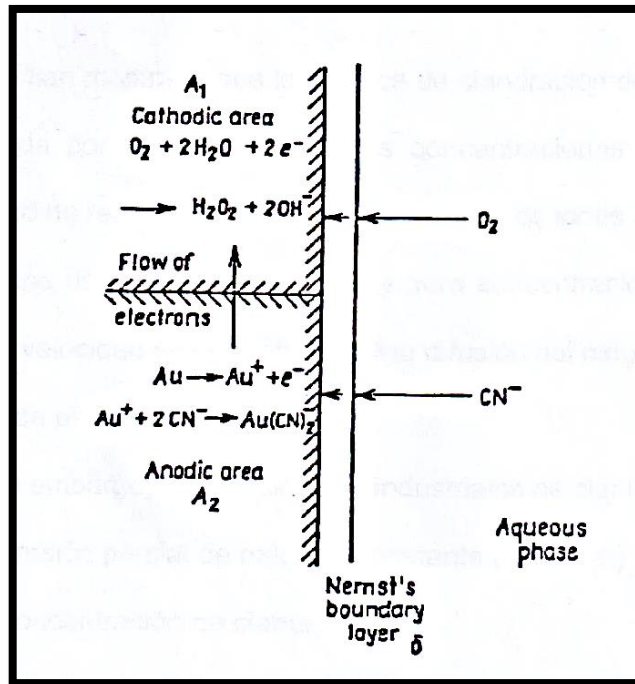


Figura 3. Modelo electroquímico para la cianuración del oro.
Fuente: Astucuri, 1984.

Las reacciones anódicas y catódicas son:

Reacción anódica:

- $A \rightarrow A^+ + e^-$ [7]
- $A^+ + 2C^- \rightarrow A(C)_2^-$ [8]

Reacción catódica

- $O_2 + 2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2O_2 + 2OH^-$ [9]

Se han mostrado que la cinética de cianuración del oro y plata es controlada por difusión. Para altas concentraciones de oxígeno, la velocidad de reacción depende de la difusión de iones cianuro a través de la capa de película del líquido, y para concentraciones de cianuro altas, la

velocidad es controlada por la difusión del oxígeno a través de la capa de película (Astucuri,1984).

Sin embargo, las condiciones industriales de cianuración son:

- Presión parcial de oxígeno constante (0,21 atm)
- Concentración de cianuro baja
- pH elevado. Estas dos últimas condiciones son para evitar la hidrólisis del cianuro y su posterior volatilización, según la reacción:

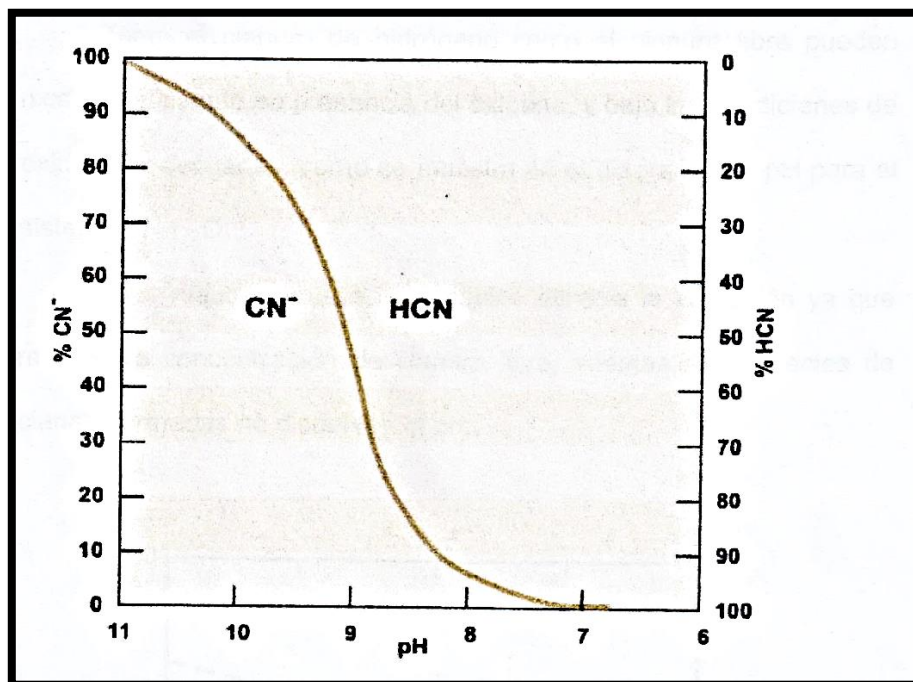


Figura 4. Equilibrio de CN^-/HCN con el pH.
Fuente: Scott, J.S. y J. Ingle, 1981.

La Figura 4 muestra la curva de equilibrio ácido-base del cianuro, correspondiente a la reacción:



Esta curva muestra bien que para tener el cianuro estable en solución y evitar la formación del ácido cianhídrico, veneno mortal y volátil, es necesario trabajar a un valor de pH igual o superior a 11 (Chávez, 2014).

Tanto el cianuro de hidrógeno como el cianuro libre pueden oxidarse a cianato en presencia del oxígeno, y bajo las condiciones de oxidación adecuadas, como se muestra en el diagrama Eh-pH para el sistema $\text{CN}^-/\text{H}_2\text{O}$.

Las reacciones son indeseables durante la lixiviación ya que reducen la concentración de cianuro libre; además, las especies de cianato formadas no disuelven el oro.

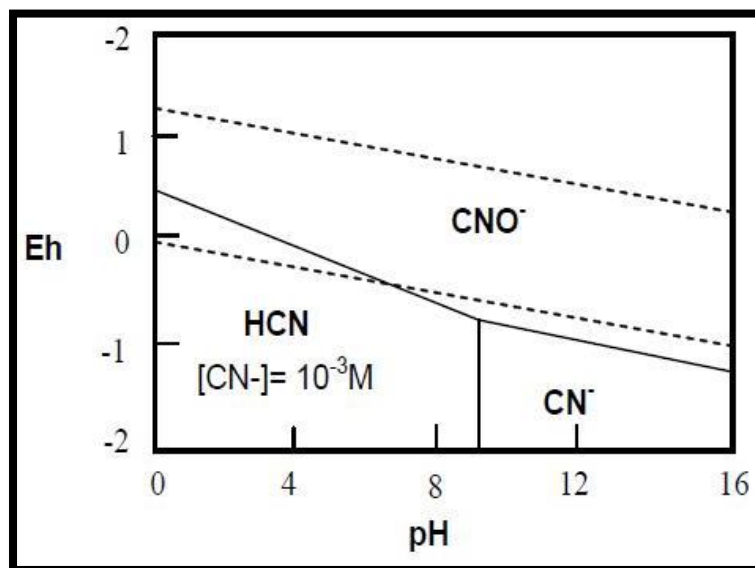


Figura 5. Diagrama Eh-pH para el sistema $\text{CN}^-/\text{H}_2\text{O}$ a 298,15 K (25 °C). Fuente: Cáceres, 2007.

2.2.7. Cinética del proceso de cianuración

Los aspectos cinéticos de la disolución del oro en medio de cianuro, pueden ser examinados con la ayuda de las curvas de polarización de los sistemas electroquímicos involucrados, representados en la Figura 6. (Chávez, 2014).

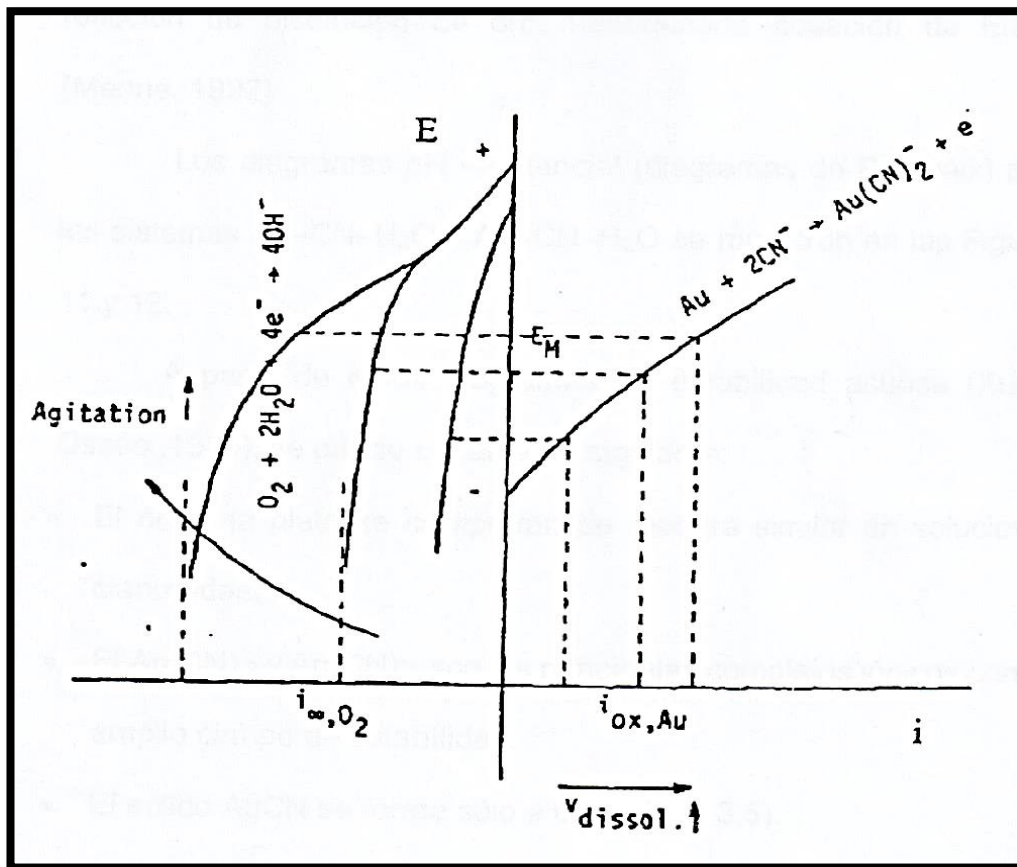


Figura 6. Interpretación de la cinética de cianuración de oro.
Fuente: Cáceres, 2007.

2.2.8. Disolución de metales preciosos

2.2.8.1. Naturaleza electroquímica de la cianuración.

El principal avance en la comprensión de la química de la cianuración de oro fue hecho por Kudryk y Kellog, quienes demostraron la naturaleza electroquímica de la cianuración del oro. La reacción de disolución de oro, denominada ecuación de Elsner (Menne, 1992).

Los diagramas pH - potencial (diagramas de Pourbaix) para los sistemas Au-CN-H₂O y Ag-CN-H₂O se muestran en las Figuras 7 y 8.

A partir de estos diagramas de estabilidad acuosa (Xue y Osseo ,1985), se puede observar lo siguiente:

- El oro y la plata se comportan de manera similar en soluciones cianuradas.
- El Au(CN)₂ y Ag(CN)₂ son los principales complejos iónicos con un amplio campo de estabilidad.
- El sólido AgCN se forma sólo a bajo pH (< 3,5).
- La fuerza impulsora electroquímica para la disolución de los dos metales es maximizada a valores de pH sobre 9,4. Las Lixiviaciones con cianuro de sodio a pH menor a 9,4 se han efectuado en Australia.

Perry & Dunner (1999). Se demostró que el HCN no disuelve el oro tan rápido como el ion CN⁻ y además el consumo de cianuro fue considerable durante todo el proceso de disolución.

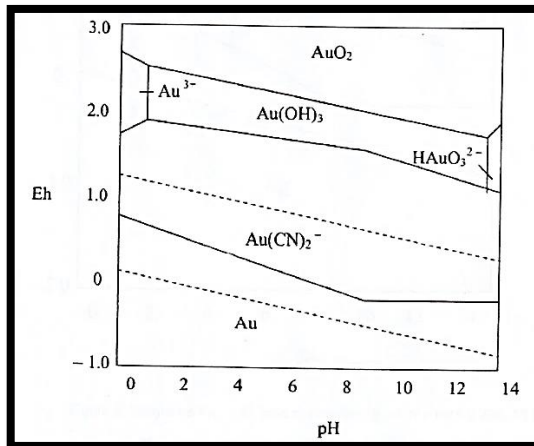


Figura 7. Diagrama Eh - pH para el sistema Au - CN - H₂O a 298,15 K. Concentración de todas las especies de oro solubles = 10⁻⁴ M, [CN⁻] = 10⁻³ M, P(O₂) = 1 atm.
Fuente: Xue & Osseo, 1985.

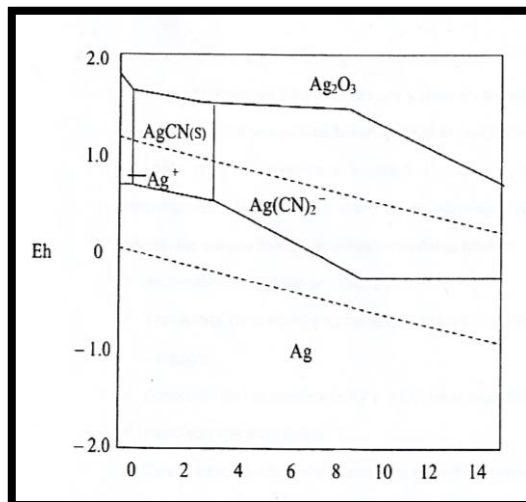


Figura 8. Diagrama Eh - pH para el sistema Ag - CN - H₂O a 298,15 K. Concentración de todas las especies de plata solubles = 10⁻⁴ M, [CN⁻] = 10⁻³ M, P(O₂) = 1 atm.
Fuente: Xue y Osseo, 1985.

2.2.9. Cinética de la reacción de cianuración de oro

El proceso de disolución de oro y plata en soluciones con cianuro involucra reacciones heterogéneas en la interfase sólido - líquido, como se observa en Figura 8. Por lo tanto, los pasos secuenciales siguientes pueden

ser considerados como principales para la lixiviación de estos metales nobles:

- Absorción de oxígeno en la solución.
- Transporte de cianuro y oxígeno disuelto a la interfase sólido - líquido.
- Adsorción de los reactantes (CN^- y O_2) en la superficie sólida S
Reacción electroquímica.
- Desorción de los complejos solubles de oro - cianuro, plata -cianuro y otros productos de reacción desde la fase sólida.
- Transporte de los productos desorbidos a la solución.

El proceso de cianuración es función de diferentes parámetros tales como disponibilidad de oxígeno en la interfase sólido - líquido, concentración de cianuro en la solución, temperatura de pulpa, pH y Eh de la suspensión sólido – solvente, área superficial disponible y velocidad de agitación (Rojas, 2003).

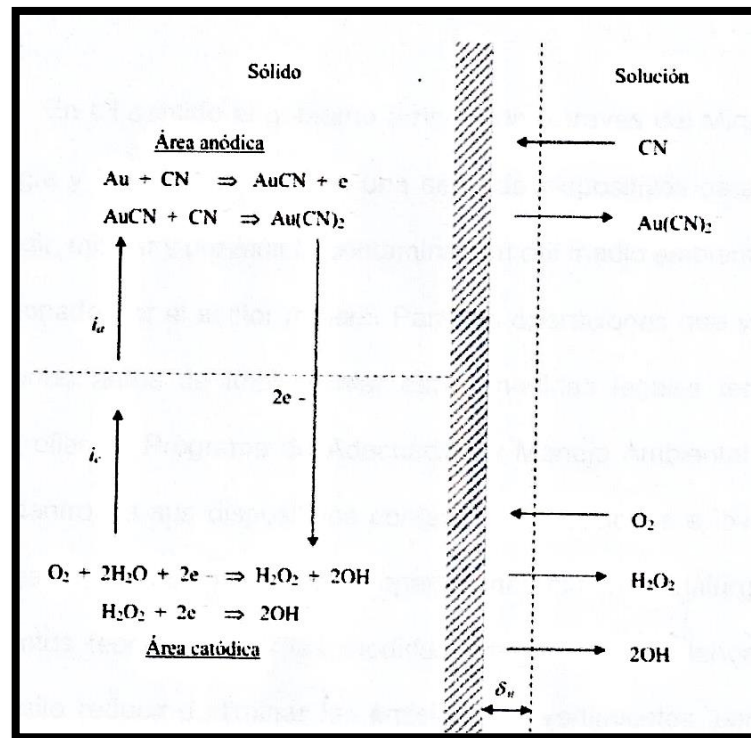


Figura 9. Representación esquemática de una celda de corrosión local en la superficie del oro en contacto con una solución de cianuro que contiene oxígeno, i_a = corriente anódica, i_b = corriente catódica.

Fuente: Marsden, 1992.

2.2.10. Implicancias ambientales en la metalurgia del oro

La importancia al manejo ambiental en los procesos extractivos minero metalúrgico tienen su punto de partida en la actual Constitución Política del Perú de 1993, en el que se indica dentro de algunos aspectos que es obligación del gobierno proteger el ambiente promoviendo el uso sostenible de los recursos naturales (Varillas, 2014).

En tal sentido, el gobierno a normado a través del Ministerio de Energía y Minas, y ha dictado una serie de dispositivos para regular, corregir, mitigar

y prevenir la contaminación del medio ambiente que es ocasionado por el sector minero. Para las operaciones que ya venían operando antes de implementar estas medidas legales tenían que desarrollar un Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) que dentro de sus dispositivos contenían las acciones e inversiones necesarias para incorporar a las operaciones minero-metalúrgicas, los adelantos tecnológicos y las medidas alternativas que tengan como propósito reducir o eliminar las emisiones o vertimientos, para poder cumplir con los niveles máximos permisibles de contaminación que ha sido establecida por la autoridad competente (Varillas, 2014).

Los principales residuos generados por esta actividad están constituidos por: residuos sólidos (roca procesada); residuos líquidos (mercurio, cianuro, cal, sales de metales pesados y reactivos); emisiones gaseosas (amalgamación, cianuración, gases nitrosos, polvo, gases de combustión). Las medidas ambientales tienen la finalidad de minimizar y controlar los impactos ambientales, que básicamente consisten en el análisis e implementación de técnicas en los diferentes procesos que generen dichos residuos y emisiones gaseosas. Los impactos positivos conllevan beneficios a los seres humanos, por ejemplo, el empleo, mejor educación, las mejoras socioeconómicas, etc.

Los impactos negativos perjudican la calidad de vida, con la contaminación de la atmósfera, del agua, del entorno social, etc., debido a derrames de petróleo, relaves mineros (residuos de los procesos metalúrgicos), fugas, emisiones gaseosas, ruidos, olores fuertes, etc. A nivel mundial se está tomando conciencia, tal es así que se han conformado instituciones específicas con la finalidad de afrontar esta problemática (Varillas, 2014).

En Estados Unidos de Norteamérica el Mineral Policy Center, indica en artículo aparecido de Internet, acerca de los impactos ambientales, que la minería causa serios problemas ambientales para las comunidades locales a través de los Estados Unidos y a través de todo el mundo. Desde la polución perpetua de agua causado por el drenaje ácido de mina a derrames de cianuro y contaminación con metales pesados; desde la destrucción del hábitat de la vida salvaje y matanza de peces a la creación de desechos de roca minada tóxicos perpetuos con devastadoras consecuencias ambientales (Varillas, 2014).

El Mineral Policy Center estima que existen más de 557 000 lugares de minas abandonadas de roca dura. Estas minas abandonadas pueden poseer serias amenazas ambientales para la salud y seguridad públicas. Por ejemplo, los efluentes de las minas han pululado más de 12 000 millas

de los ríos y torrentes americanos y 180 000 acres de nuestros lagos y reservorios. Tal contaminación presenta una creciente amenaza para los acuíferos subterráneos (Varillas, 2014).

2.2.10.1. Tratamiento y reutilización de soluciones de cianuro

Se emplean cuatro formas generales de tratamiento de la solución de cianuro:

- Degradación natural
- Oxidación química
- Precipitación
- Biodegradación

Además, existen varias tecnologías que permiten la reutilización del cianuro mediante el reciclado.

a) Degradación natural

El principal mecanismo de degradación natural es la volatilización con posteriores transformaciones atmosféricas a sustancias químicas menos tóxicas. Otros factores como la oxidación biológica, la precipitación y los efectos de la luz solar también contribuyen a la degradación del cianuro (Logsdon et al., 2001).

Las especies de cianuro pueden ser adsorbidas sobre las superficies de los minerales o del desecho de carbono orgánico en los suelos del terraplén

de un estanque, en un recubrimiento de arcilla o a lo largo de una vía de agua subterránea. En los suelos, las bacterias asimilan el cianuro mediante diversas reacciones aeróbicas y anaeróbicas. En algunos casos, las combinaciones de estos procesos de degradación natural son suficientes para satisfacer los requisitos que reglamentan la descarga de soluciones que contienen cianuro (Logsdon et al., 2001).

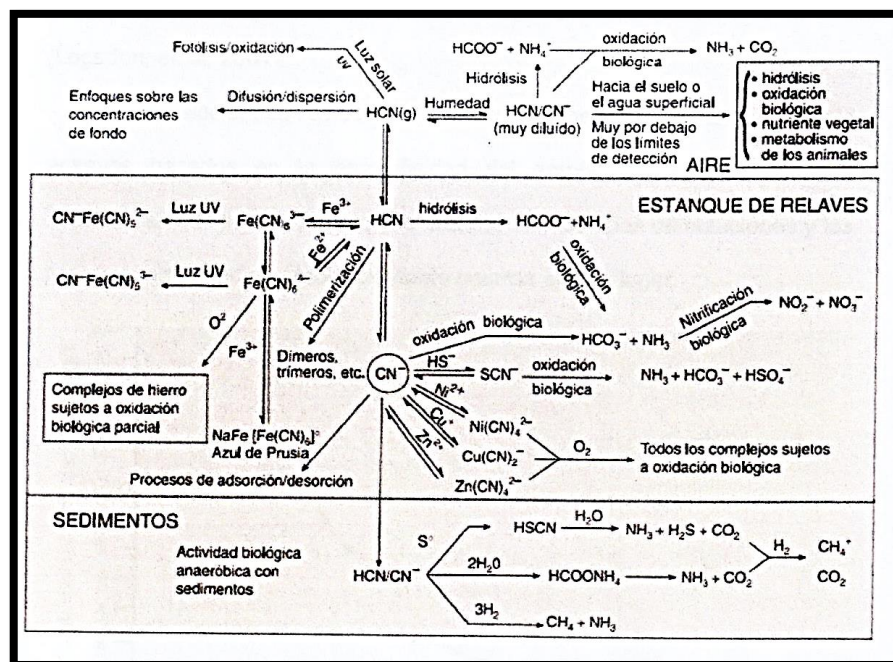


Figura 10. Ciclo del cianuro
Fuente: Smith y Mudder, 1991.

En los depósitos de relaves, la gran superficie permite la descomposición del cianuro DAD. La Figura 11 ilustra una situación típica en la cual la mitad del cianuro total (CNT) se degradó naturalmente en menos de tres semanas a partir de la concentración inicial de 20 miligramos

por litro. El CNT desapareció casi completamente en aproximadamente 100 días (Logsdon et al., 2001).

Las velocidades reales de degradación deben determinarse mediante ensayos basados en la especificidad del emplazamiento y empleando condiciones que imiten, tanto como sea posible, los tipos de soluciones y los procesos naturales que probablemente ocurran en ese lugar.

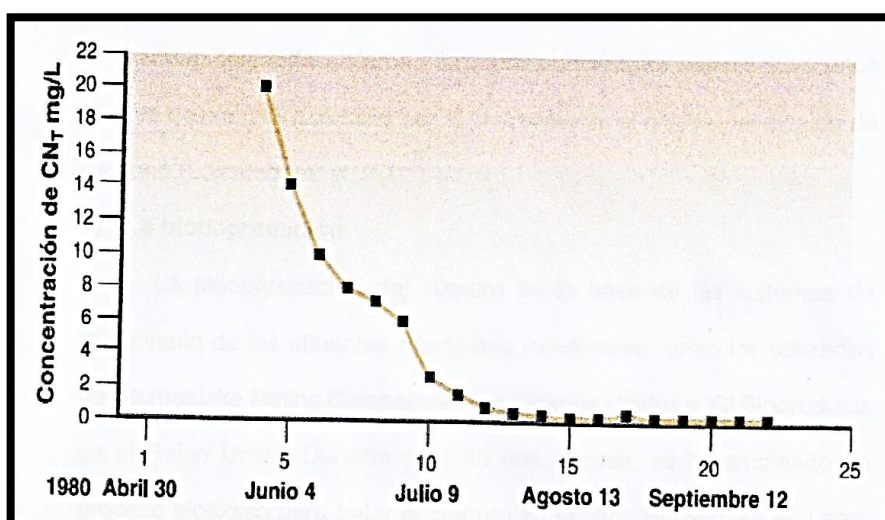


Figura 11. Ejemplo de degradación del cianuro
Fuente: Adaptado de Schmidt et al., (1981).

b) La precipitación

La precipitación de cianuros estables se puede obtener mediante el agregado deliberado de complejantes tales como el hierro. Esto reduce la concentración de cianuro libre y también es eficaz para controlar los elevados niveles de otros metales que pueden estar presentes. Los cianuros de hierro pueden reaccionar con otras sustancias químicas en

solución y producir precipitados sólidos, que pueden contener una docena de sales insolubles de cianuro, removiendo de esta manera el cianuro de la solución. Parte del cianuro de las soluciones de los procesos reaccionará con otros componentes químicos que se encuentren dentro del sistema y formarán concentraciones mucho menos tóxicas de compuestos tales como el amoníaco, el nitrato y el dióxido de carbono (Logsdon et al., 2001).

c) La biodegradación

La biodegradación del cianuro es la base de los sistemas de tratamiento de los efluentes residuales industriales, como los utilizados por Homestake Mining Company en los Estados Unidos e ICI Bioproducts en el Reino Unido. Durante más de una década, se ha empleado un proceso biológico para tratar el cianuro en la Mina Homestake en Lead, Dakota del Sur, con el fin de satisfacer los criterios ambientales de descarga. Las condiciones aeróbicas son mucho más favorables para la degradación del cianuro que las condiciones anaeróbicas, aunque los organismos anaeróbicos pueden ser eficaces para tratar el cianuro en concentraciones de hasta varios miligramos por litro. Se han creado tanto sistemas activos como sistemas pasivos de tratamiento biológico; estos sistemas remueven el cianuro empleando microorganismos aeróbicos o anaeróbicos (Logsdon et al., 2001).

d) Reciclado

Aunque las tecnologías para el manejo del cianuro se han centrado en la destrucción del cianuro en sistemas de paso único, es posible recuperar y reutilizar el cianuro, y de este modo reducir al mínimo la cantidad total de cianuro utilizado y disminuir los costos operativos para algunas minas. El reciclado reduce las concentraciones de cianuro en las soluciones residuales y disminuye el costo de la destrucción del cianuro (Logsdon et al., 2001).

2.2.10.2. Impactos del cianuro sobre la salud y el ambiente

Las evaluaciones completas del riesgo exigen especificaciones detalladas de las condiciones inherentes al sitio. En el caso del cianuro, su uso varía tanto que el riesgo puede evaluarse significativamente sólo si se consideran los procedimientos operativos inherentes a un sitio en particular. No obstante, es posible describir los peligros que representa el cianuro y las posibles exposiciones.

El cianuro es un veneno de acción rápida capaz de matar a una persona en cuestión de minutos si está expuesta a una dosis suficientemente elevada. Los seres humanos pueden estar expuestos al cianuro mediante inhalación, ingestión o absorción a través de la piel.

El cianuro impide a las células utilizar el oxígeno, lo cual causa hipoxia de los tejidos y “cianosis” (decoloración azulada de la piel). El sistema respiratorio deja de nutrir a las células con oxígeno, un estado que, si no se trata, causa respiración rápida y profunda seguida por convulsiones, pérdida del conocimiento y asfixia. El antídoto más común es el nitrito de amilo, que puede administrarse en forma oral o por inyección (Logsdon et al., 2001).

Los trabajadores deben usar protección respiratoria contra los posibles peligros a través del aire. La capacitación para la colocación, uso y prueba de dicho equipo se incorpora a los procedimientos de la compañía relacionados con la salud y la seguridad. La mayoría de las modernas operaciones mineras tienen detectores o monitores de HCN gaseoso que hacen sonar alarmas en áreas cerradas donde pueda haber HCN gaseoso.

La mayoría de los seres humanos pueden detectar el olor del cianuro de hidrógeno gaseoso (olor a almendra amarga) en concentraciones inferiores a las que pueden resultar peligrosas para su salud (Logsdon et al., 2001).

2.2.10.3. Toxicología e impactos ambientales

Los materiales peligrosos afectan no sólo a los seres humanos, sino también a los receptores ecológicos. En los ambientes mineros, hay tres grupos importantes de receptores ecológicos o ambientales: los mamíferos,

los reptiles y los anfibios; las aves (especialmente las aves silvestres migratorias); y los peces y otros integrantes de la vida acuática (Logsdon et al., 2001).

Existen pocos informes sobre impactos adversos importantes sobre los animales causados por el cianuro en emplazamientos mineros. El cianuro de sodio y las soluciones que contienen cianuro se manejan en áreas restringidas de los emplazamientos mineros. El acceso de los animales que caminan o se arrastran está limitado por paredes, plataformas de hormigón, bermas y vallas, y al mismo tiempo, la presencia de personas alrededor de las instalaciones mineras también disuade a los animales de acercarse (Logsdon et al., 2001).

Evaluaciones del gobierno en los Estados Unidos demostró que los diseños de contención estándar y un buen control de ingeniería han mitigado eficazmente los riesgos para los mamíferos, los reptiles y los anfibios (Glynn, 1983).

2.2.11. Ubicación y accesibilidad de la región Apurímac

Apurímac es una región del Perú, situada en la sierra sur del país, en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes. Apurímac tiene una superficie territorial de 20 895,8 km² y representa el 1,6 por ciento del territorio nacional, siendo la provincia de Aymaraes la más extensa con el

20,2 por ciento de la superficie territorial del departamento. Apurímac está situada en la zona elevada de los Andes centrales. Sus coordenadas son 13° 10' de latitud sur y entre los meridianos 73° 45' 20 y 73° 50' 44,5 de longitud oeste (Acosta et. al, 2011). Limita por el norte con la región Ayacucho y Cuzco; por el sur con Arequipa; por el este con la región del Cuzco; por el oeste con la región de Ayacucho. La altura promedio de la región es de 2900 msnm. Su población asciende a 404 190 (Acosta et al., 2011).

La capital de la región es la ciudad de Abancay. Allí se realiza la mayor actividad económica, social y cultural de la región. Es la sede del Gobierno Regional y sede de las instituciones públicas y privadas de representación nacional. La Región de Apurímac está conformada por siete provincias y 80 distritos (Acosta et al., 2011).

areniscas, limonitas rojas y lutitas de la formación Mara y las calizas de la formación Ferrobamba (Formación Arcurquina). Esta secuencia está intruída por las rocas del batolito de Andahuaylas-Yauri del Oligoceno-Mioceno, compuesto por intrusiones de composición diorítica-granodiorita a monzonita de facies hipabisales (Acosta et al., 2011).

Este sector está comprendido dentro de la franja de pórfidos-skarns de cobre-molibdeno (hierro, oro) del Eoceno-Oligoceno. Se ubica en el borde noreste de la cordillera Occidental y en el Altiplano del sur del Perú.

La franja está controlada, por una parte, por el sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri, Cusco-Lagunillas-Mañazo, Abancay-Andahuaylas, y por otra parte por el Alto Condoroma-Caylloma. Las estructuras tienen dirección NO-SE y cambian a E-O al nivel de la deflexión Abancay (Acosta et al., 2011).

2.2.12.1. Depósitos eluviales

Los depósitos cubren grandes extensiones en los flancos de los valles principales, cerca de la ciudad de Abancay y en los flancos del río Apurímac. Bajo la acción del agua, los productos eluviales se pueden movilizar y formar huaycos o flujos de barro (cantos angulosos de tamaño muy variable, envueltos por una matriz areno-arcillosa), de color rojizo.

Algunas veces los depósitos eluviales alcanzan un espesor de varios centenares de metros y son muy antiguos (Acosta et al.,2011).

2.3. Definición de términos

- **Oro:** Su símbolo Au proviene del término en latín *aurum*, que significa brillante amanecer. Es un metal noble, es decir, resistente a la acción de los ácidos y a la oxidación atmosférica. Su número atómico es 79; su masa atómica es 196,96 y su densidad 19,32 gr/cm³. Es de color amarillo brillante, ya que refleja toda la gama de colores excepto el amarillo que absorbe. Es muy maleable y dúctil, por lo que con frecuencia es aleado con otros metales como plata, cobre, níquel, etc.
- **Sandioss:** Producto chino que reemplaza al cianuro de sodio en todos los procesos de lixiviación de oro y plata, que no es tóxico y tampoco es material peligroso, al punto que es posible descargarlo al medio ambiente.
- **Porcentaje de los componentes:**

Tabla 1
Porcentaje de componentes

Nombre de los componentes	Porcentaje de peso %
Na ₂ O	10 %
N	20 %
NH ₄	20 %
CaO	20 %
Fe ₂ O ₃	10 %

Fuente: Elaboración propia.

- **Propiedades Físicas y Químicas:**

Tabla 2

Propiedades Físico y químico

Apariencia:	Partículas sólidas Gris, Olor a amoniac
Solubilidad:	Soluble
Densidad:	1,28 g/m; 290,15 K (17°C).
Valor pH:	10,5

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de toxicidad aguda por vía oral está aprobada 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 584 mg/kg y el intervalo de confianza 95 % sería 430-794 mg/kg; el valor LD50 para ratón macho sería 584 mg/kg y el intervalo de confianza 95 % sería 430-794 mg/kg.

- **Gold Max:** Es un producto de innovadora fórmula fabricado con materias primas exentas de impurezas y que se utilizan en la manufactura de fertilizantes siendo paralelo de un reactivo lixiviantes ecológico y además de favorable al medio ambiente.

Descripción: Mezcla formada por las sustancias especificadas a continuación con adiciones de:

Tabla 3
Componentes del Gold Max

Componentes	CAS Numero	Aproximado % por peso
Oxido de sodio Na ₂ O	1313 – 59 - 3	35 – 50 %
Nitrógeno Na	7727 – 37 - 9	12 – 20 %
Amonio	14796 – 03 - 9	7 – 12 %
Humedad	7732 - 18 – 5	1- 4 %
Calcio	7440 – 70 - 2	1 - 5 %
Hierro	7439 – 39 – 6	1 - 5 %
Substancia insoluble de agua	3 – 8 %

Fuente: Elaboración propia.

- **El hidróxido de sodio (NaOH):** También conocido como soda cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejido, y detergentes. A temperatura ambiente el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino, sin olor que absorbe humedad del aire (higroscópico).

Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles.

- **Cal:** También llamada cal viva, es un término que designa todas las formas físicas en las que puede aparecer el óxido de calcio (CaO). Se

obtiene como resultado de la calcinación de las rocas calizas o dolomías. El principal uso del CaO o Cal Viva en la Minería, es como reactivo en procesos de flotación de minerales con presencia de sulfuros de cobre o en lixiviación en pilas o tanques con extracción cianurada para minerales auríferos.

- **Cianuro de sodio (NaCN):** Es un producto químico tóxico como altamente reactivo, se utiliza en el procesamiento del oro, orfebrería, laboratorios químicos, en la producción de plásticos, pinturas, adhesivos, diluyentes, esmaltes, papel resistente, herbicidas, plaguicidas y fertilizantes. Durante incendios, a través de la combustión de lana, seda, poliuretano o vinilo puede dispersarse cianuro y ser motivo de una nefasta toxicidad al ser inhalado.
- **Porcentaje de recuperación de oro:** Es la cantidad de oro recuperado expresado en porcentaje luego del proceso de lixiviación.
- **Lixiviación:** Es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.
- **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.

- **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.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de la investigación

El tipo de investigación es aplicada, trata de encontrar una explicación de los nuevos reactivos aplicados en la disolución de oro con respecto al tradicional cianuro de sodio.

El nivel de la investigación es el experimental, porque para determinar en función a los objetivos se realizaron pruebas metalúrgicas según corresponden a la investigación del trabajo realizado.

3.2. Población, muestra y material de estudio

3.2.1. Población

Las poblaciones son minerales tipo óxido auríferos provenientes de la comunidad Chalhuanca - Apurímac.

3.2.2. Muestra

Las muestras fueron extraídas de las muestras de los lotes como se muestra en la Figura 13 y son de tipo óxido auríferos, y se realizaron pruebas con reactivos Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio.

3.2.3. Material de estudio

El material de estudio son los reactivos Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio para el tipo de mineral: óxidos auríferos.



Figura 13. Muestra del mineral de tipo óxido aurífero utilizado para la lixiviación.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.3. Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables de lixiviación con reactivos Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio y como resultado la recuperación del oro, fueron de la siguiente manera:

Tabla 4

Parámetros fijos de las variables de operacionalización de los reactivos Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio.

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	MEDIDA	UNIDAD
Variable Independiente (x)	Concentración de reactivos	2000	ppm
	Velocidad de agitación	100	rpm
	pH	10,5-11	-
	Tiempo de lixiviación	48	Hora
	Granulometría	65%-malla 200	%
	Temperatura	298,15	K
	% sólidos	30	%
Variable dependiente (Y)	% recuperación	-	%

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Método, técnicas e instrumentos para recolección de datos

A continuación, se describen el método, técnica e instrumentos utilizados para la recolección de datos:

3.4.1. Método

El método que se utilizó para la realización de las pruebas de lixiviación del oro, fue el método analítico y comparativo metalúrgico para determinar la recuperación de metales valiosos.

3.4.2. Técnica

La técnica que se aplicó fue una técnica experimental - directa, debido a que el porcentaje de extracción del oro será medido a través de la relación entre concentración de oro en la solución acuosa con respecto al total que vendría a ser el porcentaje de recuperación de oro calculado, y el contenido de oro inicial en la cabeza de mineral con el contenido de oro final en el relave.

3.4.3. Materiales, equipos, reactivos e instrumento

Para la realización de las pruebas de lixiviación se utilizaron los siguientes materiales, equipos, reactivos e instrumentos:

Materiales

- Vasos precipitados con capacidad de 2000 ml
- Papel filtro.
- Probeta graduada de 25 ml.
- Bureta de 25 ml.
- Matraz Erlenmeyer 250 ml.
- Embudo de vidrio.
- Pipeta.
- Tamiz malla -200 tyler.
- Bandeja metálica.

- Cucharas
- Bolsas plásticas
- Accesorios de limpieza

Equipos

- Molino de bolas
- Rotap
- Plancha eléctrica
- Balanza digital
- Tanque agitador
- EPP

Reactivos

- Sandioss
- Gold Max
- Cianuro de sodio (NaCN)
- Cal
- Nitrato de plata
- Ioduro de potasio

Instrumento

- pH metro

3.5. Procesamiento y análisis de datos

3.5.1. Procedimiento experimental

Se seleccionó 10 kg de cada mineral de tipo óxido aurífero proveniente de la comunidad de Chalhuanca - Apurímac y se cuarteó hasta obtener una muestra representativa de 2 kg de mineral a ensayar.

Luego se realizó la preparación mecánica hasta obtener el 65 % pasante malla - 200, a los 2 kg del mineral oxidado aurífero.

Seguidamente se homogenizó y se hizo el cuarteo para obtener una muestra de 300 g de mineral aurífero, haciendo un total de 5 muestras por cada tiempo y tipo de reactivo a utilizar en la lixiviación por agitación en total fueron 15 muestras.

Una vez obtenidas las muestras codificadas en distintas bolsas se realizaron las pruebas metalúrgicas de lixiviación por agitación en vasos precipitados, considerando el uso de lixivante de Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio, los parámetros de operación para la lixiviación por agitación para los tres reactivos fueron iguales como se describen en la siguiente tabla:

Tabla 5*Parámetros de la lixiviación por agitación*

Descripción	Medida	Unidad
Concentración de	2000	ppm
Reactivos		
Velocidad de agitación	180	rpm
pH	10,5- 11	-
Tiempo de lixiviación	2, 12, 24 y 48	hora
Granulometría	65 % - malla 200	%
Temperatura	298,15	K

Fuente: Elaboración propia.

Luego de haber realizado las pruebas de agitación se obtuvo una muestra de solución rica de oro, se hizo lavado al ripio que quedó atrapado en el papel filtro, este se colocó en las bandejas metálicas y se puso en la plancha eléctrica para eliminar la humedad. Y finalmente se realizó los balances metalúrgicos para cada prueba.

3.5.2. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó con Microsoft Excel para los cálculos y balance metalúrgico de las pruebas de lixiviación realizadas.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados de la lixiviación con Sandioss

Tabla 6

Resultados de la lixiviación con el reactivo Sandioss

Horas de Lixiviación	Sandioss (ppm)	pH	Reactivo agregado			Volumen desechado (ml)
			NaCN (0,2%)	NaCN (mg)	NaOH (g)	
0	2000	11,10	0.00	2000	0,950	0
2		11,06	0.00	0	0,000	20
4		11,06	0.00	0	0,000	20
8		11,05	0.00	0	0,100	20
24		11,05	0.00	0	0,000	20
48		11,05	0.00	0	0,000	20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

Resultados de la solución de oro analizados

Tiempo de lixiviación (h)	Solución Laboratorio químico (ppm)	Solución Calculado (ppm)	Solución (mg)	Solución Calculado (mg)
0	0	0	0	0
2	1,57	1,57	1,099	1,099
4	2,80	2,8	1,904	1,904
12	6,29	6,29	4,148	4,149
24	11,60	11,60	7,424	7,424
48	17,78	17,78	11,024	11,024

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8*Resultados de la extracción ensayada para el oro*

Tiempo de lixiviación (h)	Descartado acumulado (mg)	Total (mg)	Total (mg) calculado	Extracción ensayada acumulada Au (%)	Extracción calculada acumulada Au (%)
0	0	0	0	0	0
2	0,03	1,10	1,10	8,90	8,89
4	0,09	1,94	1,94	15,68	15,66
12	0,21	4,24	4,24	34,32	34,27
24	0,45	7,64	7,64	61,88	61,79
48	0,80	11,47	11,47	92,92	92,79

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9*Resultados de la solución de plata analizado*

Tiempo de lixiviación (h)	Solución (ppm)	Solución (mg)	Descartado acumulado (mg)
0	0	0	0
2	0,13	0,09	0,00
4	0,21	0,14	0,01
12	0,60	0,40	0,02
24	1,18	0,75	0,04
48	1,71	1,06	0,08

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10*Resultados de la extracción ensayada para la plata*

Tiempo de lixiviación (h)	Total (mg)	Extracción Ensayada Acumulada Ag (%)	Extracción Calculada Acumulada Ag (%)
0	0	0	0
2	0,09	5,44	5,48
4	0,14	8,44	8,49
12	0,40	23,56	23,70
24	0,77	45,08	45,35
48	1,10	64,30	64,70

Fuente: Elaboración propia.

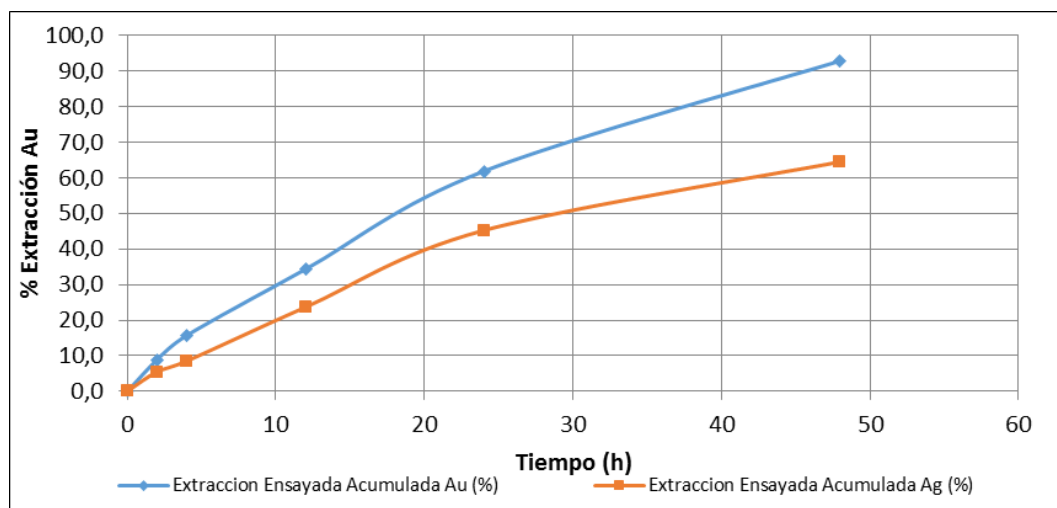


Figura 14. Cinética de extracción del oro y la plata utilizando el reactivo Sandioss.

Fuente: Tabla 10.

En la Figura 14 se puede observar la cinética de lixiviación en la recuperación utilizando el reactivo Sandioss, para un tiempo de 48 horas se tiene una recuperación de 92,22 % para el oro y un 64,30 % para la plata.

Tabla 11*Resultados de cálculos realizados con el reactivo Sandioss*

Metales		Au	Ag
Cabeza ensayada	g/t	41,140	5,700
Cola ensayada	g/t	2,970	2,000
Cabeza calculada	g/t	41,199	5,665
Recuperación ensayada	%	92,78	64,91
Recuperación calculada	%	92,79	64,70
Metal en cabeza	mg	12,342	1,710
Metal en solución	mg	11,469	1,100
Metal en cola	mg	0,891	0,600
Metal total	mg	12,360	1,700

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12*Resumen de resultados*

	Resumen	
	Au	Ag
Ley [g/t]	41,140	5,70
% Recuperación	92,92	64,30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13*Consumo de reactivo*

	Consumo de reactivos	
Sandioss	5,333	Kg/t
NaOH	3,667	Kg/t

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Resultados de la lixiviación con Gold Max

Tabla 14

Resultados de la lixiviación con el reactivo Gold Max

Tiempo de lixiviación (h)	Gold Max (ppm)	pH	Reactivo agregado			Volumen desechado (ml)
			GM (0,2 %)	GM (mg)	NaOH (g)	
0	2000	11,10	0,00	2000	1,200	0
2		11,08	0,00	0	0,000	20
4		11,08	0,00	0	0,000	20
8		11,07	0,00	0	0,000	20
24		11,07	0,00	0	0,000	20
48		11,07	0,00	0	0,000	20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15

Resultados de la solución de oro analizados

Tiempo de lixiviación (h)	Solución (ppm) lab. Quim.	Solución (ppm) Calculado	Solución (mg)	Solución (mg) Calculado
0	0	0	0	0
2	1,666	1,666	1,166	1,166
4	5,594	5,594	3,804	3,804
8	12,125	12,125	8,003	8,003
24	15,844	15,844	10,140	10,140
48	16,587	16,587	10,284	10,284

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16*Resultados de la extracción ensayada para el oro*

Tiempo de lixiviación (h)	Descartado acumulado (mg)	Total (mg)	Total, Calculado (mg)	Extracción ensayada acumulada Au (%)	Extracción calculada acumulada Au (%)
0	0	0	0	0	0
2	0,03	1,17	1,17	9,45	9,63
4	0,15	3,84	3,84	31,09	31,68
8	0,39	8,15	8,15	66,02	67,26
24	0,70	10,53	10,53	85,30	86,91
48	1,04	10,99	10,99	89,03	90,71

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17*Resultados de la solución de plata analizado*

Tiempo de lixiviación (h)	Solución (ppm)	Solución (mg)	Descartado acumulado (mg)
0	0	0	0
2	0,35	0,25	0,01
4	0,51	0,34	0,02
8	1,27	0,84	0,04
24	1,78	1,14	0,08
48	1,84	1,14	0,12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18*Resultados de la extracción ensayada para la plata*

Tiempo de lixiviación (h)	Total (mg)	Extracción ensayada acumulada Ag (%)	Extracción calculada acumulada Ag (%)
0	0	0	0
2	0,25	14,33	14,45
4	0,35	20,57	20,74
8	0,86	50,02	50,43
24	1,18	69,22	69,79
48	1,22	71,29	71,88

Fuente: Elaboración propia.

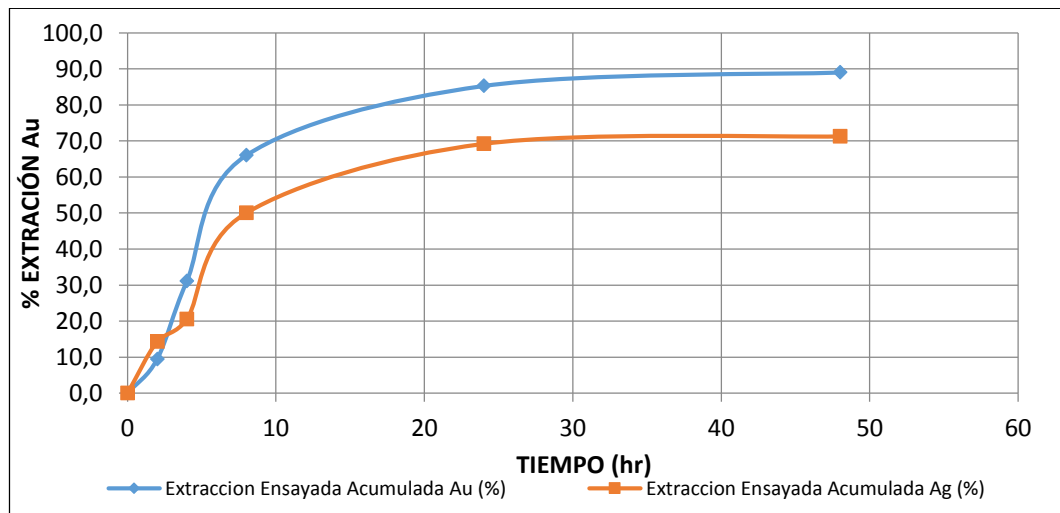


Figura 15. Cinética de extracción del oro y la plata utilizando reactivo Gold Max.

Fuente: Tabla 18.

En la Figura 15 se puede observar la cinética de lixiviación en la recuperación utilizando el reactivo Gold Max, para un tiempo de 48 horas se tiene una recuperación de 89,03 % para el oro y un 71,29 % para la plata.

Tabla 19*Resultados de cálculos realizados con el reactivo Gold Max*

Metales		Au	Ag
Cabeza ensayada	g/t	41,140	5,700
Cola ensayada	g/t	3,750	1,590
Cabeza calculada	g/t	40,378	5,653
Recuperación Ensayada	%	90,88	72,11
Recuperación calculada	%	90,71	71,88
Metal en cabeza	mg	12,342	1,710
Metal en solución	mg	10,988	1,219
Metal en cola	mg	1,125	0,477
Metal total	mg	12,113	1,696

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20*Resumen de resultados*

Resumen		
	Au	Ag
Ley [g/t]	41,140	5,700
% Recuperación	89,03	71,29

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21*Consumo de reactivo*

Consumo de reactivos		
Gold Max:	6,067	kg/t
NaOH:	4,333	kg/t

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Resultados de la lixiviación con cianuro de sodio

Tabla 22

Resultados de la lixiviación con el reactivo cianuro de sodio

Tiempo de lixiviación (h)	NaCN (ppm)	pH	Reactivo agregado			Volumen desechado (ml)
			NaCN (0,2 %)	NaCN ppm	NaOH (mg)	
0	2000	11,10	0,00	2000	0,980	0
2		11,08	0,00	0	0,000	20
4		11,08	0,00	0	0,000	20
8		11,06	0,00	0	0,000	20
24		11,06	0,00	0	0,000	20
48		11,07	0,00	0	0,000	20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23

Resultados de la solución de oro analizados

Tiempo de lixiviación (h)	Solución (ppm) Laboratorio químico	Solución (ppm) calculado	Solución (mg)	Solución (mg) calculado
0	0	0	0	0
2	9,918	9,918	6,942	6,942
4	12,122	1,122	8,243	8,243
8	13,540	13,540	8,936	8,936
24	16,375	16,375	10,480	10,480
48	16,523	16,523	10,244	10,244

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24*Resultados de la extracción ensayada para el oro*

Tiempo de lixiviación (h)	Descartado acumulado (mg)	Total (mg)	Total Calculado (mg)	Extracción ensayada acumulada Au (%)	Extracción calculada acumulada Au (%)
0	0	0	0	0	0
2	0,198	6,942	6,942	56,250	57,025
4	0,441	8,441	8,441	68,393	69,335
8	0,712	9,377	9,377	75,977	77,024
24	1,039	11,192	11,192	90,679	91,928
48	1,370	11,283	11,283	91,422	92,681

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25*Resultados de la solución de plata analizado*

Tiempo de lixiviación (h)	Solución (ppm)	Solución (mg)	Descartado acumulado (mg)
0	0	0	0
2	1,250	0,875	0,025
4	1,507	1,025	0,055
8	1,670	1,102	0,089
24	1,783	1,141	0,124
48	1,840	1,141	0,161

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26*Resultados de la extracción ensayada para la plata*

Tiempo de lixiviación (h)	Total (mg)	Extracción Ensayada acumulada Ag (%)	Extracción Calculada acumulada Ag (%)
0	0	0	0
2	0,875	51,170	48,476
4	1,050	61,389	58,158
8	1,157	67,681	64,119
24	1,230	71,910	68,125
48	1,265	73,977	70,083

Fuente: Elaboración propia.

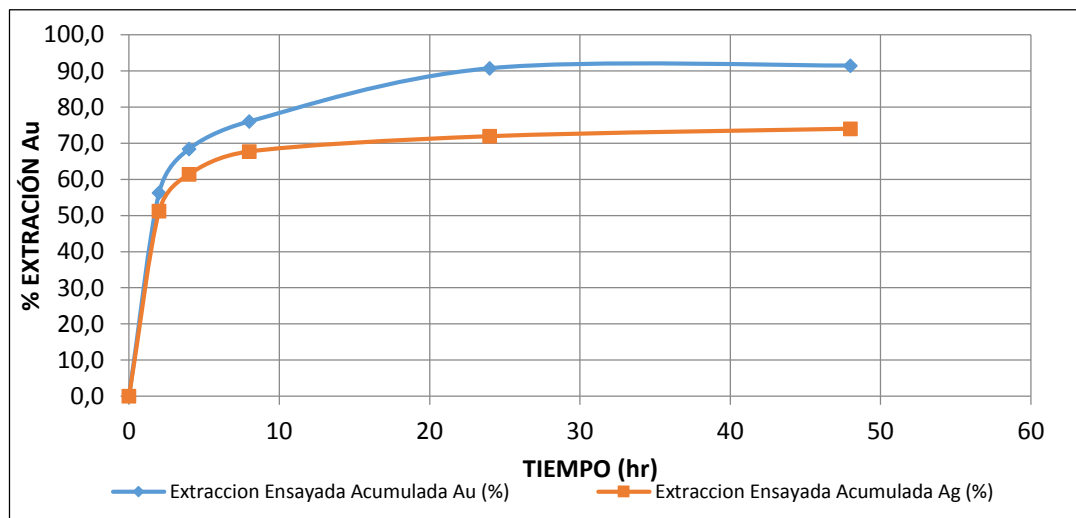


Figura 16. Cinética de extracción del oro y la plata utilizando reactivo cianuro de sodio.
Fuente: Tabla 26.

En la Figura 16 se puede observar la cinética de lixiviación en la recuperación utilizando el reactivo cianuro de sodio, para un tiempo de 48 horas se tiene una recuperación de 91,42 % para el oro y un 73,98 % para la plata.

Tabla 27*Resultados de cálculos realizados con el reactivo cianuro de sodio*

Metales		Au	Ag
Cabeza ensayada	g/t	41,140	5,700
Cola ensayada	g/t	2,970	1,800
Cabeza calculada	g/t	40,581	6,017
Recuperación ensayada	%	92,78	68,42
Recuperación calculada	%	92,68	70,08
Retal en cabeza	mg	12,342	1,710
Retal en solución	mg	11,283	1,265
Retal en cola	mg	0,891	0,540
Retal total	mg	12,174	1,805

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28*Resumen de resultados*

Resumen		
	Au	Ag
Ley g/t	41,140	5,700
% Recuperación	91,42	73,98

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29*Consumo de reactivo*

Consumo de reactivos		
NaCN:	4,667	kg/t
NaOH:	3,333	kg/t

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Análisis de resultados

El mineral oxidado aurífero proveniente de la comunidad Chalhuanca – Apurímac, tenía una ley de 41,140 g/t de Oro y 5,700 g/t de plata, el consumo de reactivos es mayor para Gold Max con un valor de 6,067 kg/t, seguido para el reactivo Sandioss que resultó con un consumo de 5,333 kg/t y según se observa en la Tabla 27 el consumo del cianuro de sodio y dio un valor de 4,667 kg/t, en el análisis que se hizo según los resultados el reactivo Gold Max presenta un mayor consumo y a la vez el consumo de NaOH utilizado para la prueba con el reactivo Gold Max también presenta mayor consumo con un valor de 4,333 kg/t.

Tabla 30
Comparación de consumo de reactivos

Consumo de reactivos		
Sandioss	5,333	kg/t
NaOH:	3,667	kg/t
Gold Max	6,067	kg/t
NaOH:	4,333	kg/t
NaCN:	4,667	kg/t
NaOH:	3,333	kg/t

Fuente: Elaboración propia.

En los minerales tipo óxidos auríferos se observa que el porcentaje de recuperación de oro es el más elevado con 92,92 % usando Sandioss, 91,42 % usando cianuro de sodio y 89,03 % usando Gold Max y para la

recuperación de la plata el más elevado con 73,98 % usando cianuro de sodio, 71,29 % usando Gold Max y 64,30 % usando Sandioss, en el análisis con respecto al reactivo Sandioss se tiene una mayor recuperación de oro superando en porcentaje al reactivo cianuro de sodio.

Tabla 31

Comparación de precios de reactivos utilizados como agentes lixiviantes.

Reactivos	Sandioss	Gold Max	Cianuro de Sodio
Precios en dólares (\$)	5,5	4,5	3,7
Consumo kg/t	5,33	6,06	4,66
Costo de reactivo \$/t	29,33	27,30	17,27

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32

Comparación de recuperación del oro y plata

Descripción	Sandioss		Gold Max		Cianuro de Sodio	
	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
Ley [g/t]	41,140	5,700	41,140	5,700	41,140	5,700
% Recuperación	92,92	64,30	89,03	71,29	91,42	73,98

Fuente: Elaboración propia.

Estas recuperaciones corroboran que el reactivo lixivante Sandioss presenta un comportamiento de recuperación de oro superior en porcentaje al NaCN, mostrando que a 48 horas de lixiviación el agente lixivante

Sandioss, estas pruebas se realizaron con los mismos parámetros operacionales para los tres reactivos.

4.2.1. Gráficos de resultados de lixiviación con Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio

La figura 17 y 18 representa en la cinética de extracción del oro y plata con agentes lixiviantes Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio, respectivamente.

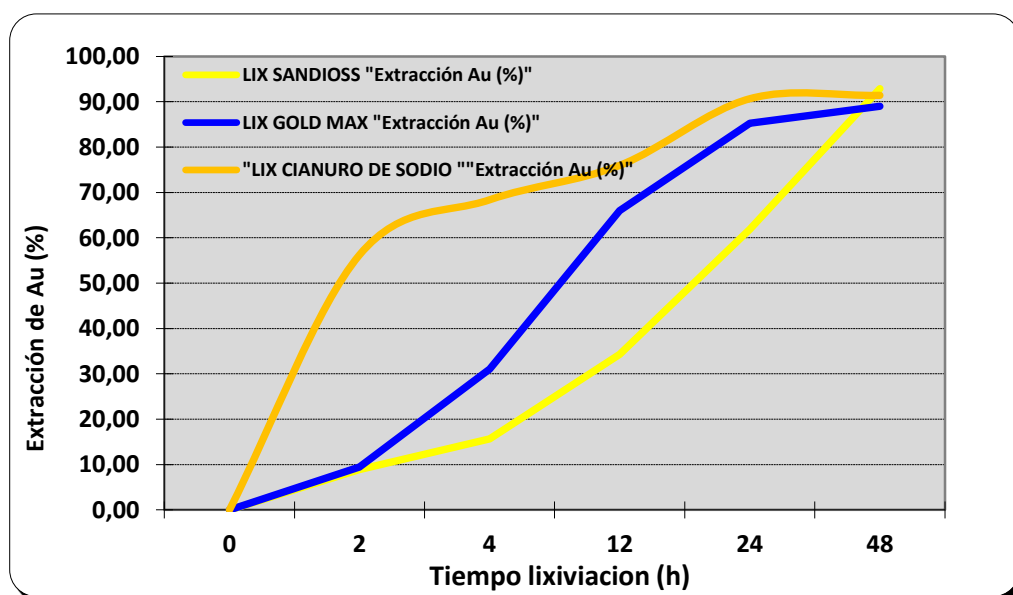


Figura 17. Cinética de extracción del oro con agentes lixiviantes Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio.
Fuente: Tablas 10; 18 y 26.

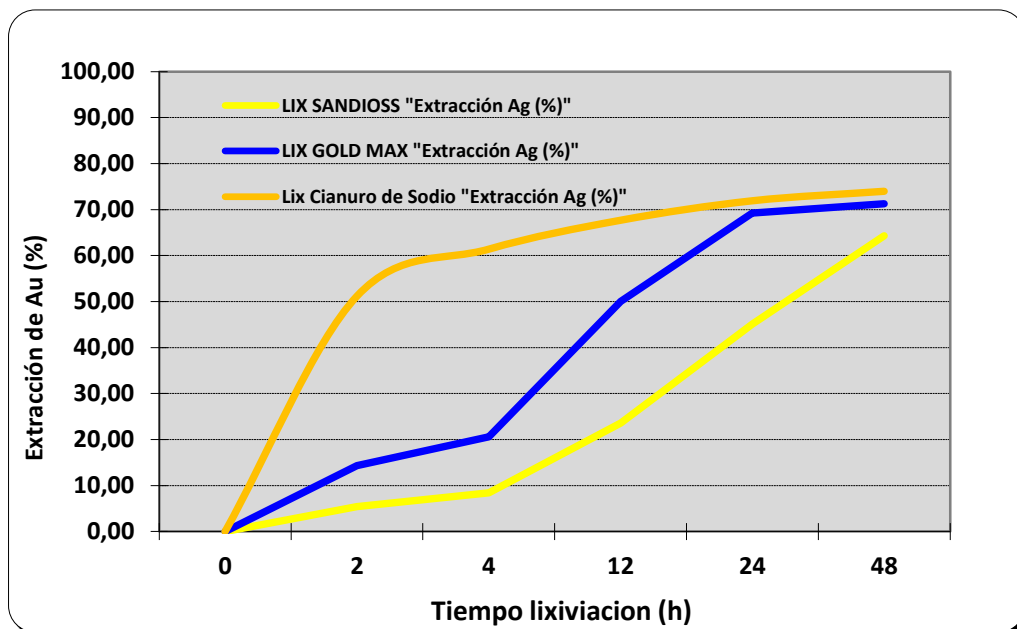


Figura 18. Cinética de extracción de la plata con agentes lixiviantes Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio.
Fuente: Tablas 10; 18 y 26.

CONCLUSIONES

Se realizó pruebas de lixiviación por agitación con parámetros iguales para los tres reactivos Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio, mediante la cual se concluye que sí hay una alternativa de lixiviación con el reactivo Sandioss y este reactivo no es contaminante y tiene similares propiedades de lixiviación y podría reemplazar al cianuro de sodio.

Se determinó los consumos de reactivos de las pruebas de lixiviación por agitación, como resultado se obtuvo un consumo para Gold Max con un valor de 6,067 kg/t, seguido para el reactivo Sandioss que resultó con un consumo de 5,333 kg/t y para el consumo del cianuro de sodio dio un valor de 4,667 kg/t.

Se concluye que la recuperación de oro utilizando Sandioss es superior a la obtenida con cianuro de sodio y Gold Max, el reactivo Sandioss se presenta como una alternativa en la lixiviación alcalina por agitación de minerales tipo óxido auríferos provenientes de la Comunidad Chalhuanca - Apurímac, como resultado se obtuvo 92,92 % usando Sandioss, 91,42 % usando cianuro de sodio y 89,03 % usando Gold Max.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar pruebas comparativas para determinar el consumo de reactivos variando las concentraciones de reactivos lixiviantes de Sandioss, Gold Max y cianuro de sodio.

Realizar pruebas de lixiviación en el mayor tiempo, por ejemplo, a las 72 horas, y determinar el 5 % de recuperación en el mencionado tiempo, también evaluar el consumo de reactivos.

Se recomienda realizar el análisis en equipos especializados como por ejemplo el equipo de absorción atómica para luego comparar los resultados calculados directamente de las pruebas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, M. (2005). *Advances in Gold Ore Processing*. Guildford, Australia: Developments in mineral Processing.
- Acosta Jorge, Rodríguez Italo, Villarreal Eder & Huanacuni Dina (2011). *“Memoria sobre la geología económica de la región Apurímac - metalogenia y geología económica por regiones”*. INGEMMET, Lima - Perú.
- Almonacid Gómez, Ricardo & Riese Chamorro Joñas E., (2013). *“Recuperación hidrometalurgia de cobre y molibdeno de las menas de la unidad minera TOROMOCHO”*, tesis para optar el título de Ingeniero Metalurgista y de Materiales, Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Astucuri Ticona, Venancio, (1984). *“Principios de Hidrometalurgia y algunas Aplicaciones Fundamentales”*.
- Cáceres Arenas, Germán, (2007). *“Hidrometalurgia”*, Universidad de Atacama”.
- Cárdenas Revilla Agustín. (1994). *“Metalurgia Extractiva del Oro”*, Imprenta Offset “Imral” Ltda. Oruro, Bolivia. p 175-209.
- Chávez Flores, Paola O., (2014). *“Determinación de la dosificación óptima de cianuro para lograr la mayor recuperación de oro y plata en el proceso de lixiviación intensiva de concentrados”*.

- Glynn, P., (1983). "*Ucyanide Behavior in Groundwater Environments*"
[Comportamiento del cianuro en ambientes de aguas subterráneas],
sin publicar, Disertación para la licenciatura. Groundwater Research
Institute, University ofwaterloo, Cañada.
- Haung, D.H.H.; Twidwel, D.L.G. y Miller, D.J.D. (1986). "*Hidrometalurgia*".
- Logsdon Mark J., Hagelstein Karen & Mudder Terry I. (2001). "*El Manejo
del Cianuro en la Extracción de Oro*", Traducido de la publicación en
inglés titulada "The Management of Cyanide in Gold Extraction".
Traducción al español: Ana María Paonessa.
- López Rosello Arturo S., (2014). *Efecto de la densidad de pulpa y de la
concentración de cianuro de sodio en la lixiviación por agitación para
la recuperación de oro en la planta de beneficio doble d – Arequipa*.
Tesis de grado de la Universidad Nacional del Altiplano. Puno- Perú.
- Marsden John and House Iain, (1992). "*The Chemistry of Gold Extractivo,
Ellis Horwood Series in Metals and Associated Materials*".
- Menne David, (1992). "*Assaying Cyanide-extractable Gold Within an Hour,
and Addressing Effects of Preg - and Assay-robbing*", The AusIMM
International Conference on Extractive Metallurgy of Gold and Base
Metals, Kalgoorlie - Western Australia.

- MINEM. (2001). *Estudio de minas*. Obtenido de http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/mapas/minas_abandonadas/apurimac/mi_apurim.htm
- Misari Fidel. (1993). *“Metalurgia del Oro”*, Centro de Estudios y Promoción en Ciencias de la Tierra, CEPECT Péru.
- 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. Obtenido de: <https://core.ac.uk/download/pdf/54245410.pdf>.
- Perry R., Browner R., Dunner R. and Stoitis N., (1999). *“Low pH cyanidation of gold”*, *Minerals Engineering*, Vol. 12.
- Rojas Reyes Néstor Ricardo. (2003). *“Recuperación de oro y plata desde residuos ferríticos mediante cianuración”*. Tesis de grado de la Universidad de Concepción.

Royal Chemical Gold Max. (2015). "*Agente lixivante que reemplaza al cianuro*" revisado en 18 de noviembre de 2018. Obtenido de: <http://www.lxiviantegoldmax.com/ficha-tecnica/>.

Sancho, José; Verdeja, Luís Felipe, (1998). "*Metalurgia Extractiva*".

Scott, J. S. y J. Ingle, (1981). "*Removal of cyanide from Gold Millings Effluents*" [*Remoción del cianuro de los efluentes de molinos de oro*]. *Canadian Mineral Processors Thirteenth Annual Meeting* [*Procesadores Canadienses de Minerales, 13a Reunión Anual*]. Ottawa, Ontario, Canadá, enero 20-22, pp. 380-418.

Smith, A. C. S. y T. I. Mudder, (1991). "*The Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes*" [Química y tratamiento de residuos de la cianuración].

Tremolada, J. (2011) "*Caracterización, influencia y tratamiento de arcillas en procesos de cianuración en pilas, Departamento de Explotación de minas, Oviedo*".

Varillas Sánchez, Juan Carlos (2014). "*Uso de la resina aurix®100 para optimizar la recuperación del oro de la solución cianurante de la planta de beneficio la Ytaruma*".

Vest, M., Lützerath, A., Friedrich, B., & Seelmann-Eggebert, H. P. (2009). *Improvements in Copper Heap Leaching by Use of Wetting Agents. Proceedings of EMC, 1-12.*

Xue T. and Osseo-Asare K., (1985). "*Heterogeneous Equilibria in the Au-CN- H₂O and Ag-CN₂O Systems*", *Metallurgical Transactions B*, Volume 16 B, September, p 455-463.

ANEXOS

Hoja de datos de seguridad del reactivo Sandioss

1 / 6

Material Safety Data Sheet (MSDS)

圣的 Sandioss GOLD LIXIVANT

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% lixiviante 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 LIXIVANT



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 FÍSICAS 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 sí 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 periodo 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 polvogenarado 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 l ágrima 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 la buena higiene industrial, el contacto directo con cualquier producto químico se debe mantener 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.

- 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 * ancho 1,1 * 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.



Ficha técnica del reactivo Gold Max



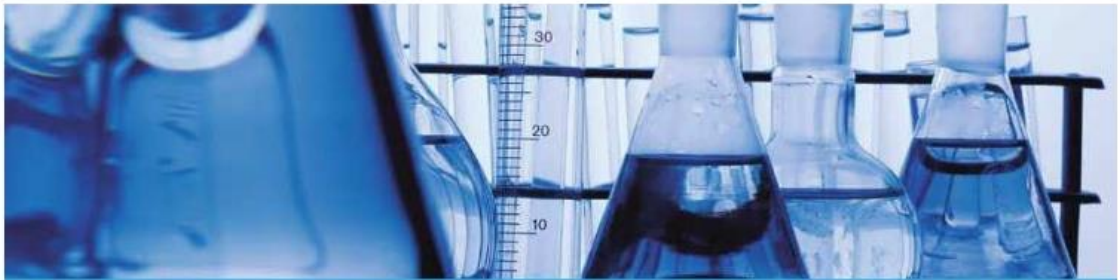
Gold MAX[®]
AGENTE LIXIVIANTE QUE REEMPLAZA AL CIANURO

**FICHA TÉCNICA
DE REACTIVO Gold MAX[®]**

FICHA TÉCNICA

Gold MAX®

AGENTE LIXIVIANTE QUE REEMPLAZA AL CIANURO



DTS – Gold MAX®

Gold MAX® es un producto de innovadora fórmula, fabricado con materias primas exentas de impurezas y que se utilizan en la manufactura de fertilizantes, siendo por ello un reactivo lixivianante ecológico y además de favorable al medio ambiente.

Este agente de extracción de oro, puede reemplazar el tradicional uso de cianuro de sodio (NaCN), el cual es altamente tóxico y que por lo general se considera como único lixivianante de Au-Ag, lo cual se verá de un enfoque distinto con este nuevo producto.

Este producto representa un logro científico y tecnológico, realizado a través de ardua labor y años de investigación por expertos e instituciones de investigación científica, relevantes de nuestra empresa. Nuestro producto **Gold MAX®**, es de muy baja toxicidad y contribuye a preservar el medio ambiente.

Gold MAX® puede aplicarse desde la molienda, además de la lixiviación en tanque y el proceso de lixiviación del tipo CIP y CIL, sin mayor inconveniente, además de su total aplicación en el proceso Merrill Crowe.

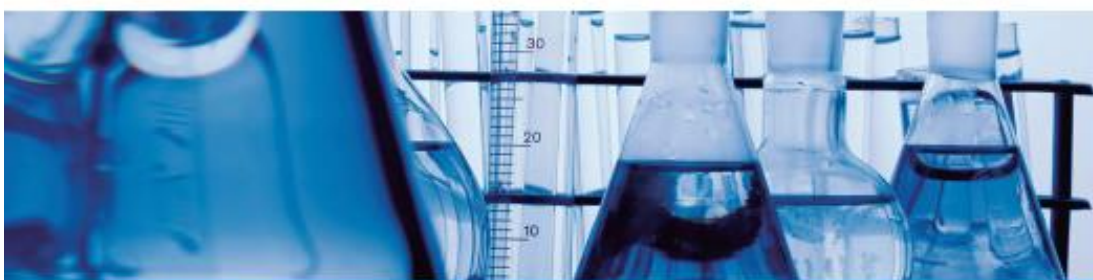
Como es sabido actualmente el 85% del oro, producido en el mundo se extrae mediante el uso de procesos de cianuración. Para hacer frente a la contaminación de productos altamente tóxicos como el cianuro, expertos investigadores de prestigiosas entidades de el extranjero, han llevado a cabo un gran número de experimentos e investigaciones para buscar productos de extracción de oro sin el uso de cianuro en los últimos años, buscando baja toxicidad o de ser posible toxicidad nula, pero ningún avance se ha hecho hasta el momento.

Actualmente **Gold MAX®** agente de extracción de oro, se plantea como la solución definitiva a esta problemática ofreciendo a el rubro minero, un lixivianante eficaz, de bajo consumo, que ofrece alta recuperación de oro muy similar a la que se obtiene con el Cianuro, y a un precio razonable para hacer viable cualquier operación basado en el costo-beneficio.

FICHA TÉCNICA

Gold MAX[®]

AGENTE LIXIVIANTE QUE REEMPLAZA AL CIANURO



DTS – Gold MAX[®]

Gold MAX[®] agente de extracción de oro, ha sido sometido a todas las pruebas pertinentes y que garantizan la total funcionalidad y eficacia de el producto, realizándose pruebas exhaustivas con todo tipo de mineral y en todas las condiciones garantizando altas recuperaciones Au-Ag, tanto en minerales oxidados, Sulfuros y Mixtos.

Funcionamiento – Lixivianante Gold MAX[®]:

La Lixiviación con **Gold MAX[®]**, se desarrolla en forma eficiente en pH =11-12 es muy estable y fiable en el rendimiento, con una mayor tasa de lixiviación por unidad de tiempo, lo que proporciona rapidez en el tiempo de extracción (cinética), es decir estable en eficiencia y rendimiento.

Exhibiendo marcadas ventajas técnico-económicas, cuando se le compara con otros productos similares que se ofrecen en el mercado, ya que estos no actúan eficientemente con todo tipo de mineral, muy por el contrario presentan consumos elevadísimos, reportándose en los estudios realizados hasta 7 a 12 veces consumos más altos, que cuando se usa **Gold MAX[®]**.

Gold MAX[®], también presenta un mejor precio de venta, costo por Kg, Ton, etc y la disponibilidad de este reactivo es inmediata.

Es decir se trata de un producto muy superior, sumado a la seguridad, facilidad de uso y preservación del medio ambiente que ofrece su aplicación, en comparación con el NaCN (Cianuro). Es un producto que lixivia en forma selectiva discriminando Fe y Cu, lo cual no ocurre con NaCN y otros productos, además su costo es muy competitivo frente a cianuro, haciendo fácil tomar una decisión de rápido cambio de reactivo.

Almacenamiento:

Gold MAX[®] es un producto altamente estable y puede almacenarse largos periodos sin sufrir efecto de descomposición siempre que se le proteja de los elementos, como Luz solar y lluvias.

Transporte y Manejo:

Este reactivo, no está sujeto a fiscalización, ni control de ninguna índole, ante algún control policial y sunat el procedimiento es como se aplica a cualquier químico común y corriente. Lo que no ocurre con productos fiscalizados o controlados como el NaCN, que si esta sujeto a controles.

Poseidón Mz. 20, lote 04 - Santiago de Surco.
Av. 5 de Abril Maz. G Lt. 04 Zona Industrial, Carabaylita, Lima 39 - Perú
Teléfonos: (511) 719 3162 / 719 3163 RPM: #942 040 340 / #966 892 963
royalchemical@royalchemical.com.pe ventas-mineria@royalchemical.com.pe
investigaciones-metalurgicas@royalchemical.com.pe www.royalchemical.com.pe



Síguenos en    

www.lixiviananteGoldMAX.com

FICHA TÉCNICA

Gold MAX®

AGENTE LIXIVIANTE QUE REEMPLAZA AL CIANURO



DTS – Gold MAX®

NOTA: Este producto no contiene ninguna forma de NaCN .

Nuestros productos han pasado las pruebas y evaluación de los servicios técnicos interesados.

1. Los productos de baja toxicidad: LD50 oral aguda = 50.1mg / kg en ratones. El Centro de Prevención y Control de Enfermedades ha llevado a cabo ensayos de toxicidad, cuyo resultado es DL50 oral aguda es 50.1mg / kgBW, una menor toxicidad que la soda cáustica (DL50 de la soda cáustica es de 40 mg / kgBW).

2. Protección del Medio Ambiente

Análisis Ambiental y Centro de Pruebas de Protec-

ción Ambiental Consulting Co., Ltd realizaron análisis y pruebas sobre la toxicidad de lixiviación de los residuos después del uso de los productos, el resultado de lo que muestra que los relaves mineros después de la pulverización satisfacen el requisito de la protección del medio ambiente, y reducen el envenenamiento del medio ambiente significativamente.

3. Conveniente para el transporte

Nuestros productos pueden ser transportados con seguridad por aire, ferrocarril, carretera y mar.

Composición sobre los componentes

Descripción: Mezcla formada por las sustancias especificadas a continuación con adiciones		
Componentes	CAS número	Aproximado (%) por peso.
óxido de sodio (Na2O)	1313-59-3	35-50%
nitrógeno (N)	7727-37-9	12-20%
amonio (NH4)	14798-03-9	7-12%
Humedad (H2O)	7732-18-5	1-4%
Calcio (Ca)	7440-70-2	1-5%
Hierro (Fe)	7439-89-6	1-5%
Substancia insoluble en agua	—	3-8%

Uso del producto:

Gold MAX®, Agente de extracción de oro , es aplicable en minerales de óxido de oro y plata, mineral de sulfuro, relaves de mineral , puede aplicarse en lixiviación en pilas (Heap Leaching , Vat Leaching) , Lixiviación en pozas – estanque de inmersión, (lixiviación agitación CIP – CIL) y el proceso es idéntico a la producción cuando se usa cianuro de sodio .