Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0

Universidad Nacional "San Luis Gonzaga"

Software Antiplagio

UNICHECK

INFORME DE REVISIÓN

Se ha realizado el analisis con el software antiplagio de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga", por parte de los docentes reponsables, al documento cuyo titulo es:

EMPLEO DEL TRIYODURO DE POTASIO Y SU RELACIÓN CON EL NIVEL DE EFICIENCIA EN LA RECUPERACIÓN DEL ORO MEDIANTE LIXIVIACIÓN

presentado por:

Yeivy Edith Zarate Jayo
Victoria Marilin Lévano Vergara

del nivel **PREGRADO** de la facultad de **INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA** obteniéndose como resultado una coincidencia de **18.04%** otorgándosele el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presenta el reporte de evaluación del software antiplagio.

Observaciones:

El BORRADOR DE TESIS ha sido APROBADO con un 18.0% de coincidencias.

Ica, **7** de **Diciembre** de **2020**

SANTOS HUMBERTO OLIVERA MACHADO
COORDINADOR
SOFTWARE ANTIPLAGIO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA

RAUL GERARDO AVILA MEZA
ASESOR
SOFTWARE ANTIPLAGIO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUÍS GONZAGA" DE ICA

Facultad de Ingeniería de Ingeniería Química y Petroquímica

"EMPLEO DEL TRIYODURO DE POTASIO Y SU RELACIÓN CON EL NIVEL DE EFICIENCIA EN LA RECUPERACIÓN DEL ORO MEDIANTE LIXIVIACIÓN"

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

Presentado por:

Bach. LEVANO VERGARA, Victoria Marilin
Bach. ZÁRATE JAYO, Yeivy Edith

ICA – PERÚ
2019

INTRODUCCIÓN

En el tratamiento de minerales de oro, cada día se busca nuevos métodos y técnicas a fin de disminuir la contaminación ambiental, y salvaguardar la salud de las personas que trabajan en las plantas hidrometalúrgicas, el fin de esos métodos es emplear cada vez menos el cianuro de sodio o de potasio, reactivos extremadamente venenosos que desde hace muchos años se usa con mayor frecuencia en la lixiviación del oro, debido a que es más fácil su aplicación a nivel industrial. En este sentido en la presente investigación se propone el empleo del triyoduro de potasio como alternativa y se hará el correspondiente estudio para verificar su eficiencia en la recuperación del oro.

INDICE

		Pág.
INTRODUCCIÓN		02
INDICE		03
CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DEL PROYECTO		05
1.1.	Situación problemática.	05
1.2.	Formulación del problema.	07
1.3.	Objetivos.	08
1.4.	Justificación e importancia de la investigación.	08
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO.		09
2.1.	Antecedentes	09
2.2.	Bases teóricas.	12
	2.2.1. Reacción química del oro	12
	2.2.2. Lixiviación del oro con iodo	15
	2.2.3. Mineral refractario.	18
	2.2.4. Técnicas para tratar mineral refractario de oro.	24
2.3.	Definición de términos básicos.	35
CAPITULO III: PARTE EXPERIMENTAL		39
3.1.	Generalidades.	39
3.2.	Recolección de muestras	40
3.3.	Preparación física de la muestra	40
3.4.	Tamizado.	41

3.5. Obtención de la muestra representativa 41

3.6. Análisis del mineral 42

3.7. Ensayo con triyoduro de potasio. 48

CAPÍTULO IV: RESULTADOS 50

4.1. Resultados obtenidos 50

4.2. Discusión de resultados. 59

CONCLUSIONES. 62

RECOMENDACIONES 63

BIBLIOGRAFÍA. 64

ANEXO. 67

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DEL PROYECTO

1.1. SITUACIÓN PROBLEMATICA

El cianuro es un excelente reactivo que se puede utilizar para disolver el oro de los minerales. Durante el proceso de lixiviación (comúnmente llamado cianuración), sus aguas residuales líquidas y gaseosas contaminarán el medio ambiente y entrarán al aire, agua y suelo, como consecuencia de las actividades mineras. El contenido de cianuro en el aire suele estar muy por debajo del nivel peligroso. En el aire, el cianuro existe principalmente en forma de gas cianuro de hidrógeno. La vida media del cianuro de hidrógeno en la atmósfera (el tiempo necesario para eliminar la mitad del material) es de aproximadamente 1-3 años. La mayor parte del cianuro en el agua superficial formará cianuro de hidrógeno y se evaporará. Sin embargo, la cantidad de cianuro de hidrógeno formado suele ser insuficiente para afectar la salud humana. Algunos microorganismos (animales y plantas muy pequeños) convertirán algo de cianuro en el agua en productos químicos menos dañinos o formarán complejos con metales (como el hierro). Se desconoce la vida media del cianuro en el agua. El cianuro en el agua no se acumula en los peces.

El cianuro es relativamente fácil de mover en el suelo. Después de ingresar al suelo, el cianuro se puede eliminar mediante varios métodos. Parte del cianuro en el suelo puede formar cianuro de hidrógeno y evaporarse, mientras que otros pueden ser convertidos en otras sustancias químicas por los microorganismos del suelo. Por lo tanto, el cianuro no suele penetrar en las aguas subterráneas. Sin embargo, se ha detectado cianuro en las aguas subterráneas de algunos vertederos y en sitios para disposición de residuos industriales. Superar estos graves inconvenientes ambientales producidos por el cianuro, solo puede ser posible, reemplazando su uso por otras sustancias que tengan la misma función, durante el tratamiento de los minerales auríferos, pero un alto rendimiento en la recuperación de el metal, por ello en la presente investigación se estudiará la eficiencia de recuperación del oro por parte del triyoduro de potasio, un complejo de iodo que tiene la propiedad de disolver este metal.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. Problema general.

¿Existe relación entre el empleo del triyoduro de potasio y el nivel de eficiencia en la recuperación del oro mediante lixiviación?

1.2.2. Problemas específicos:

- ¿Cuál es el mecanismo de extracción del oro empleando triyoduro de potasio?
- ¿Qué ventajas operativas ofrece la recuperación del oro por lixiviación con triyoduro de potasio?

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivo General.

Establecer si existe relación entre el empleo del triyoduro de potasio y el nivel de eficiencia en la recuperación del oro mediante lixiviación

1.3.2. Objetivos específicos:

- Establecer el mecanismo de extracción del oro empleado triyoduro de potasio.
- Determinar las ventajas operativas que ofrece la recuperación del oro por lixiviación con triyoduro de potasio.

1.4. HIPÓTESIS.

1.4.1. Hipótesis general.

Existe relación directa y significativa entre el empleo del triyoduro de potasio y el nivel de eficiencia en la recuperación del oro mediante lixiviación

1.4.2. Hipótesis secundarias.

- El mecanismo de extracción empleado en la lixiviación con triyoduro de potasio es químico.
- Las ventajas operativas que ofrece la recuperación del oro por lixivación con triyoduro es la rapidez del proceso y la inocuidad de este.

1.5. VARIABLES.

Variable Independiente:

Empleo de triyoduro de potasio

Variable Dependiente.

Nivel de eficiencia en la recuperación del oro

1.6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.

La presente investigación se justifica desde el punto de vista tecnoógico, en tanto permitirá emplear un nuevo método a nivel experimental para la recuperación del oro de manera más eficiente y menos contaminante ya que el proceso que en esta investigación se propone es inocua, no afectando el medio ambiente ni la salud de los operarios.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES.

Torres, J en 2009 presentó su tesis *Determinación del nivel de contaminación del aire con cianuro en un proyecto minero de extracción de oro por la técnica de lixiviación,* a la Universidad de San Carlos de Guatemala, investigación en la que se afirma que El mal manejo del cianuro puede causar desastres de magnitudes catastróficas ya que el cianuro, que es el compuesto utilizado para la acomplejación y separación del oro del mineral es altamente toxico. Si no se maneja adecuadamente se puede dar la contaminación de las fuentes de agua y de los suelos, esto a través del aire y los ciclos biogeoquímicos de los elementos esenciales. Uno de estos ciclos es el ciclo del agua, donde el aire y el agua están estrechamente relacionados porque muchos compuestos se pueden transportar a través del agua como nutrientes o contaminantes. Además, si las personas que están expuestas a los compuestos nocivos para la salud todos los días no toman las medidas de seguridad necesarias y no pueden trabajar en un entorno que respete los límites de los compuestos tóxicos, pueden enfermarse a corto plazo y a largo plazo, incluso se da la muerte inmediata debido a la alta toxicidad de la sustanciaSe trata de un estudio del agua producida por la lluvia en la zona cercana al proyecto minero El

Sastre, se encontró que el nivel de contaminación en los parámetros de análisis, por exceder el límite máximo permisible propuesto por COGUANOR, es decir, la concentración es de 0.07mg / L, lo que puede dar lugar a Las personas que beben agua causan enfermedades, el agua de lluvia de estas personas está estancada y almacenada en lagos, incluso en ríos, el agua se recoge en tanques para su uso posterior. Además, debido al alto nivel de agua detectado, se puede decir que la fuente de agua cercana a la mina está levemente contaminada.

Perea, C. en el año 2016 Presentó a la Universidad Nacional de Colombia su trabajo "Una Evaluación de Otra Metodología para Disolver Oro por el Método del Cianuro". El trabajo de investigación de este trabajo fue realizado a la Universidad Nacional de Colombia. El trabajo de investigación evaluó el uso de solventes orgánicos para extraer oro. Para esto se utilizó como solventes orgánicos la glicina, y el glutamato de sodio se utilizan como disolventes orgánicos en presencia de peróxido de hidrógeno y permanganato de potasio a pH alcalino. Analizar la cinética y el mecanismo de lixiviación.

Con el fin de evitar la influencia de la difusión en los poros minerales, la prueba se realizó con aguja eléctrica y escamas de oro puro. Bajo la condición de una concentración máxima de 25 horas, se evaluó el

efecto del oxidante en las condiciones de 0.03, 0.01, 0.004 M, y pH 9.4 y 11.

En cada condición de evaluación, se debe tomar una muestra de la solución para determinar la concentración de oro. Al final de la prueba, se analizó el material sólido para determinar el porcentaje de extracción del metal objetivo para cada concentración y cada pH del oxidante.

Los resultados experimentales muestran que la tasa de extracción del oro se ve afectada por la concentración de oxidantes y el pH, y aumenta con la presencia de iones Cu2 +. El valor de extracción de la glicina es 2 veces mayor, y es aproximadamente 6 veces mayor en presencia de estos iones. En comparación con la solución de glicina, el contenido de ácido glutámico es mayor.

Al evaluar el porcentaje de oro extraído en diferentes condiciones a temperaturas de 25 y 40 ° C, se puede observar que la cinética de extracción es muy sensible a los cambios de temperatura, lo que indica que el mecanismo de lixiviación puede ser controlado químicamente.

2.2. BASES TEÓRICAS.

2.2.1. Reacción química del oro

El oro es el más caro de todos los metales, esta es la clave para ser considerado un metal precioso y tener múltiples usos en la industria (Nicol et al., 1992) porque es muy estable y apenas reacciona con los metales. Oxígeno y ácido fuerte en aire o agua. La disolución de oro en solución acuosa requiere agentes complejantes y agentes oxidantes para lograr velocidades de lixiviación aceptables La estabilidad del oro solo se limita a un número limitado de ligandos (como cianuro, cloruro, haluro, tiourea, tiocianato). El tiosulfato y algunos ácidos orgánicos forman complejos estables (Marsden & House, 2006).

Complejos de oro

Cuando el oro está en solución acuosa, aparece principalmente en dos estados de oxidación, a saber, oro (Au + 1) y oro (Au + 3), tienen la capacidad de formar complejos estables y son de mayor importancia para la hidrometalurgia. Se han elaborado y determinado los estados de oxidación -1, +2, +4 y +5, pero la investigación sobre los estados de oxidación es más de interés académico que su aplicación en la industria (Nicol et al., 1992).

La Tabla 1-1 enumera las constantes de estabilidad (β2 o β3) de varios complejos de oro Au + 1 y Au3 +, y sus potenciales de

reducción estándar. Sus constantes de estabilidad indican que algunos ligandos forman complejos más estables con Au + 1, mientras que otros forman complejos con Au3. El estado de oxidación preferido está relacionado con la configuración electrónica del ligando. Los llamados ligandos donantes de electrones blandos, como el cianuro, tiourea, tiocianato y tiosulfato, prefieren los iones metálicos de baja valencia, como Au + 1, mientras que los ligandos donantes de electrones duros, como el cloro, el amoniaco El yodo, el bromo y otros haluros prefieren los iones metálicos de alta valencia, como el Au3 (Marsden & House, 2006).

Lixiviación

La lixiviación es la disolución de un metal (oro en este caso) en un líquido. La reacción principal es la disolución del oro en soluciones acuosas, lo que requiere agentes complejantes y oxidantes para lograr velocidades de lixiviación aceptables. Solo en presencia de un número limitado de ligandos (como cianuro, iones de cloruro, iones de tiourea y tiosulfato), la estabilidad del oro disminuirá, dando como resultado la formación de complejos estables (Marsden & House, 2006).

Tabla 1-1**:** Constantes de estabilidad y potencial de reducción estándar para complejos de oro a 25°C (Aylmore, 2005).

Ligando	**Complejo Au^{+1} o Au^{3+}**	**Log** β2 o β3	**E° Au(+1 o +3)/ Au(V vs SHE)**	**Rango de pH**
CN-	AuCN)2-	38.3	-0.57	>9
SCN-	Au(SCN)2-	17.1	0.66	<3
Au(SCN)4-	43.9		0.66	
S2O32-	Au(S2O3)23-	28.7	0.17	8 - 10
Cl-	AuCl2-	9.1	1.11	<3
AuCl4-	25.3		1.00	
Br-	AuBr2-	12.0	0.98	5 – 8
AuBr4-	32.8		0.97	
I-	AuI2-	18.6	0.58	5 – 9
AuI4-	47.7		0.69	
CS(NH2)2	Au(NH2CSNH2)2+	23.3	0.38	<3
HS-	Au(HS)2-	29.9	-0.25	<9
NH3	Au(NH3)2+	26.5	0.57	>9
Glicinato	$Au(NH_2CH_2COO)_{2-}$	18.0	0.63	9
SO32-	Au(SO3)23-	15.4	0.77	>4

Entre los métodos de disolución del oro, se conocen los métodos tradicionales y los métodos alternativos, que se ilustran brevemente en la Figura 1-2.

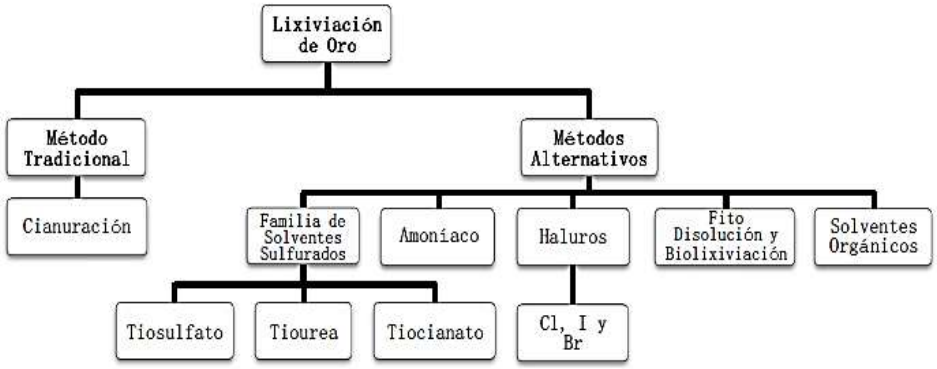

Fig.1. Métodos de disolución del oro.

2.2.2. Lixiviación de mineral de oro con iodo

Curiosamente, la aplicación inicial del sistema yoduro/yodo fue para recuperar oro de materiales electrónicos y otros desechos similares, por lo que su desarrollo fue impulsado principalmente por desarrollo sea promovido principalmente por no metalurgistas. McGrew y Murphy (Qi e Hiskey, 1991) propusieron por primera vez un método de lixiviación de mineral de oro utilizando una solución de yodo (I-) (Qi e Hiskey, 1991), y lograron recuperar el 80% del mineral con mineral máfico en 1985. % De oro. (FeS2).

El proceso es básicamente una columna cromatográfica separada por lixiviación en solución, en la que existe una composición de yoduro / yodo, que es una composición que actúa como oxidante. El carbón activado se usa para recuperar el oro y el yoduro en exceso formado en el proceso se oxida electroquímicamente a yodo a través de una batería de diafragma especial.

En la Figura 2, se observa que el yodo puede formar complejos con el oro de dos formas, dependiendo del número de oxidación del oro. Entre AuI4- y AuI2-, los complejos de Au (I) son los más adecuados para el potencial REDOX típico. Solución de yodo, las principales especies oxidantes son el I_2 y el I_3^-.

Al igual que el bromo, la solubilidad del yodo en agua pura es muy

pobre, pero su solubilidad aumentará con el aumento del contenido de iones yoduro. La disolución conduce a la formación de múltiples iones, como: I_3^-, I_4^{2-}, I_5^- e I_6^{2-} . En las reacciones 1 y 2 se describe el proceso para el caso de ion triyoduro.

$I_2(s) = I_2(aq)$ (1)

$I_2(aq) + I^- = I_3^-$ (2)

la disolución del oro en un electrolito iodado es un proceso electroquímico que puede representarse como:

$Au + 2I^- \rightarrow AuI_2^- + e^-$ Reacción anódica (3)

$I_3^- + 2e^- \rightarrow 3I^-$ Reacción catódica (4)

$2Au + I + I_3^- \rightarrow 2AuI_2^-$ Reacción total (5)

Comparado con otros halógenos, este sistema de lixiviación tiene ciertas ventajas, como su bajo potencial de oxidación y buena estabilidad en soluciones acuosas.

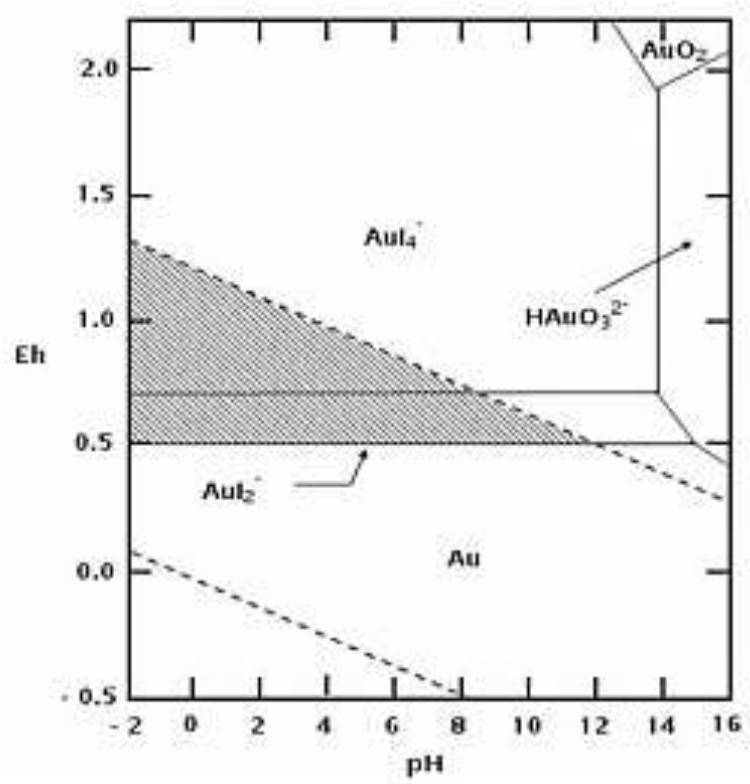

Figura 2: Diagrama de Pourbaix para el sistema Au-I-H_2O a 25°C para [Au]=10^{-5}M y [I]= 10^{-2}M (Hiskey y Atlury, 1988).

Según los trabajos de Qi y Hiskey (1991) y Davis et al. (1993)

Los resultados de la revisión bibliográfica muestran que la mayor parte del trabajo se centra en comprender el mecanismo y la cinética de reacción del proceso de disolución del oro mediante técnicas termodinámicas y electroquímicas. Condiciones tales como pH, concentración de iones yoduro, temperatura y oxidante.

En términos generales, el experimento se lleva a cabo a temperatura ambiente, y en comparación con el uso combinado de yodo

elemental con hipoclorito y peróxido de hidrógeno, el yodo demostró ser el mejor oxidante a un pH de 2,7 a 11,5. La relación entre yodo y yodo es la clave (Davis et al., 1993 y 1991). Según el estudio de Qi e Hiskey (1991), al comparar el sistema con el cianuro, bajo las condiciones de investigación, encontraron que la tasa de disolución del oro era de 2.6 × 10-9 mol / cm2s, que resultó ser la misma que la suya. Los resultados obtenidos en el experimento de cianuración son muy similares y se puede considerar que representa un método convencional.

2.2.3. Mineral refractario.

Los minerales refractarios pueden definirse desde varios ángulos, por ejemplo, desde un punto de vista operativo, incluso después de una molienda fina, la tasa de recuperación de metal no puede ser superior al 70-80% por métodos convencionales, y el mineral es refractario. Por otro lado, los minerales también pueden considerarse refractarios, aunque pueden recuperar hasta el 80% de los minerales, aún pueden producir relaves de alta ley, que pueden llegar a 3-10 g / TM de metal.

La naturaleza de los materiales refractarios puede ser diversa y estar causada por muchas razones, incluidas las siguientes:

Encapsulamiento físico:

El bloqueo de partículas metálicas submicroscópicas en la matriz de sulfuro evita el contacto entre el cianuro y el metal. Este tipo de encapsulación es común en minerales que contienen azufre como pirita y arsenopirita.

Consumo excesivo de reactivo lixiviante:

La presencia de sulfuros y compuestos que consumen reactivos de lixiviación afectará el potencial redox de la solución y promoverá la pasivación de metales durante el proceso de recuperación, consumiendo así el exceso de reactivos.

Limitación de oxígeno:

Ciertos iones, incluidos iones ferrosos, iones sulfuro, iones sulfato, etc., tienden a consumir oxígeno cuando se disuelven, lo que limita la cantidad de este elemento, que es esencial para el proceso de cianuración.

Presencia de materiales carbonáceos en el mineral:

Los residuos de hidrocarburos pesados, como el carbón de madera, el grafito o el carbón amorfo, tienen la capacidad de absorber complejos solubles en metales, lo que perjudica la tasa de recuperación del metal.

Revestimiento de la superficie de las partículas del metal:

Debido a la formación de capas de varios compuestos (principalmente hierro, antimonio o plomo), puede evitar que los metales se disuelvan.

Como se mencionó anteriormente, se denominan minerales refractarios, aquellos minerales que no permiten la recuperación rentable de oro (menos del 80%) a través de métodos de cianuración convencionales. Además, también se pueden considerar como minerales refractarios. El contenido de oro en los residuos o relaves de estos minerales es muy alto, alrededor de 3-30 g / TM.

El oro refractario que se encuentra en la zona minera de Nasca Ocoña suele estar encapsulado en pirita y calcopirita, donde se micronizа o en forma de carbón vegetal, y no se liberará incluso después de una molienda fina. Es imposible que el cianuro lo corroa.

La pirita es el sulfuro que se combina más comúnmente con el oro. Esta asociación puede ser en forma de oro natural o electrones, y existe en una amplia gama de tamaños de partículas, desde granos fácilmente visibles hasta la escala de micrones.

La asociación de oro y calcopirita existe en los depósitos de cobre y depende de la textura del depósito. La combinación de pirita-

calcopirita-oro es más frecuente, donde el oro se ubica en el límite de la pirita o calcopirita, o se encapsula en la estructura en forma de partículas finas.

El oro natural existe naturalmente en la naturaleza, y su tamaño de grano varía de diez micrones a diez milímetros. La plata es su principal impureza y se caracteriza por contener hasta un 99% de Au, pero la mayoría varía entre el 85% y el 95%. En la mayoría de los depósitos, el oro primario es relativamente puro, pero por lo general contiene cantidades variables de plata, cobre y hierro, que son los principales elementos que constituyen las impurezas. Tiene un color amarillo brillante.

Según Parga y Carrillo, si los métodos convencionales no pueden utilizarse para extraer de manera eficiente una gran parte del metal y el mineral de oro, se clasifican como metales refractarios.

Los depósitos de minerales refractarios se clasifican geoquímicamente como minerales sedimentarios, incluido el oro libre y los minerales hidrotermales, en los que el oro se combina con compuestos de sulfuro de carbono y sílice..

Ambos tipos de sedimentos se consideran difíciles de recuperar. el termino Los refractarios también definen los minerales de oro y plata,

que tienen bajas tasas de recuperación (<80%) mediante procesos de cianuración convencionales.

La causa más común de refracción es el bloqueo o dispersión de partículas finas de oro submicrónicas (<1µm) envueltas en minerales de sulfuro, incluyendo pirita (FeS2), arsenopirita (FeAsS) y cuarzo (SÍO2). Son de matriz insoluble y son difíciles de penetrar por solución de cianuro en lixiviación convencional.

Otras posibles causas de la refractabilidad son las siguientes:

- La insolubilidad de los minerales de oro (como telururo, esmeril, diabasa) y compuestos formados durante el tostado por reducción de minerales de plomo, antimonio y arsénico.

- Durante ciertos procesos de extracción, se forman capas de óxidos y compuestos de hierro, plomo, arsénico y antimonio alrededor de las partículas de oro y plata. Estas capas o películas inhibirán la disolución de metales preciosos en la solución de cianuro.

- Descomponer minerales relacionados, como pirrotita, covelita y calcocita, en compuestos complejos que consumen cianuro y reducen la disolución del cianuro en oro al consumir oxígeno

durante la descomposición de estos minerales. (El proceso de cianuración requiere oxígeno para su disolución).

- La presencia de carbón amorfo o materia carbonosa confiere propiedades de pre-deposición (pre-preg), es decir, el carbón adsorbe el oro disuelto durante el proceso de cianuración, por lo que es difícil extraer el metal.

2.2.4. Técnicas para tratar minerales refractarios de oro.

La mayor parte de los avances en el tratamiento de minerales de oro refractarios se ha dado en el proceso hidrometalúrgico, básicamente en tres aspectos: oxidación química del agua u oxidación atmosférica en medios ácidos o alcalinos, oxidación biológica o bioquímica, y alta temperatura y alta presión. Un mejor futuro en medios oxidantes, ácidos o alcalinos.

Oxidación química

Hay varios métodos de oxidación química o química del agua. Uno de los principales métodos de los minerales refractarios es la cloración, porque los minerales que contienen carbono requieren condiciones de oxidación más estrictas o estrictas que la pirita, por lo que la cloración se usa en minerales más carbonosos. El paso más efectivo es usar cloruro de sodio y Na2CO3 (carbonato de sodio) preoxidado para la oxidación para prevenir la pasivación de

materiales carbonosos y la preadsorción y deposición de oro, y luego oxidar parcialmente la matriz de pirita. En tecnología de cloración, especialmente en el diseño de reactores de lixiviación, se han desarrollado nuevos procedimientos para mejorar la efectividad del método y eliminar la etapa de preoxidación. El otro proceso es el proceso de cloro-oxígeno, que se basa en una serie de reacciones de lixiviación y precipitación.:

$MS + 2HCl + l/2O2(g) \rightarrow MCI2 + S + H2O$

donde MS son sulfuros metálicos y MCI2 cloruros (de Fe, Cu, Pb, Zn, Ni).

A pH bajo (1,4-2), el FeCl2 se oxida y precipita como piedras de tierra, regenerando HCl. El azufre producido se oxida a H2SO4 y luego se trata con CaCl2 para producir CaSO4 y regenerar HCl. La arsenopirita se oxida y produce hierro insoluble o arseniato de calcio o un complejo de ambos. Este procedimiento tiene como objetivo reducir el impacto de los desechos en el medio ambiente; sin embargo, existen problemas con medios altamente corrosivos como el HCl y su producción continua, que deben eliminarse del circuito.

Para los minerales refractarios de sulfuro (pirita y arsenopirita), recientemente existen dos métodos: el primero es NITROX, que usa HNO3 para descomponer la pirita y la arsenopirita en sulfato.:

$$FeS2 + 5HNO3 \rightarrow I/2Fe(SO4)3 + I/2H2SO4 + + 5NO(g) + 2H2O$$

El NO producido se escapa a la fase gaseosa y reacciona con el oxígeno para generar NO 2 que es soluble en agua, regenerando así el ácido nítrico.

El proceso NITROX puede trabajar a 90 ° C y presión atmosférica, el tiempo de retención es de 1 a 2 h, y la tasa de recuperación es superior al 90%. Además de las ventajas de trabajar a presión atmosférica, cuando se lixivia arsénico con HNO3, el arseniato de hierro precipitará un alto nivel de arsénico y la tasa de recuperación de plata también es alta. Sin embargo, es necesario tratar el sulfuro en los desechos oxidados y reducir el nitrato en las aguas residuales, lo que agrega cierto grado de complejidad y costo.

El segundo proceso, ARSENO, es una variante del proceso anterior porque se realiza a 80 ° C durante 15 minutos bajo una presión de O2 de 5 atmósferas. Este método genera principalmente ácido nitroso:

$$2NO2(g) + H2O \rightarrow HNO2 + HNO3$$

$$3HNO2 \rightarrow HNO3 + 2NO(g) + H2O$$

El tiempo de lixiviación de este método es corto y no permite una gran cantidad de precipitación de hierro, azufre, sulfatos y arsénico

presentes, que permanecen en la solución, pudiéndose recuperar la plata, ya que la jarosita no precipita.

Una variante del método ARSENO implica trabajar a altas temperaturas (> 180 ° C) para solucionar el problema de formación de azufre y producción de arsénico durante el proceso, y la eliminación de arsénico plantea un problema.

En este proceso, se agregan hierro redox y cal para eliminar todos los sulfatos y promover la precipitación del arseniato de hierro.

Tostación

El tostado libera partículas de oro envueltas en sulfuro en el carbón y destruye los materiales carbonosos y el cianuro..

Durante el proceso de horneado en el rango de temperatura de 500 a 700 ° C, la temperatura de los gránulos puede ser varios cientos de grados más alta que la atmósfera del horno, y luego los gránulos se fusionarán y en el material calcinado puede haber algo de azufre y/o arsénico residual. que actúan como cianicidas.

Para contrarrestar estos efectos nocivos, el circuito debe lavarse con agua. La molienda fina del calcinador antes de la cianuración puede aumentar la extracción de oro. Para lograr una alta recuperación de oro y un bajo consumo de cianuro, se requiere la siguiente mezcla: 75/25 hematita / magnetita.

El tostado de minas de oro refractario puede causar una grave contaminación ambiental, que en realidad es muy peligrosa porque se elimina en el proceso: azufre, óxido de arsénico y telurio y partículas finas (material particulado).

Durante el proceso de cocción, el calcinador se funde y, debido a la alta temperatura, estas partículas fundidas ocluirán el oro. La alta temperatura también hace que la hematita cristalizada atrape el oro, haciendo imposible la lixiviación. Para evitar esto, se necesita demasiado aire y control de temperatura para producir hematita porosa, de lo contrario los poros se cerrarán debido a la recristalización de la hematita.

El contenido de calcita del mineral, a altas temperaturas genera la reacción exotérmica: $CaCO3 \rightarrow CaO + CO2$

También se puede formar: el sulfuro de calcio es un cianuro, es decir, consume cianuro. También se formará sulfato de calcio, que tiene un efecto negativo al bloquear los poros del calcinador. Las principales reacciones que ocurren durante el proceso de horneado son las siguientes:

Para la pirita–pirrotita:

$FeS2 \rightarrow FeS + S$

$FexSy \rightarrow xFeS+(y–x)S$

$FeS2+O2 \rightarrow FeS+SO2$

$4FeS2+11O2 \rightarrow 2Fe2O3+8SO2$

$3FeS2+8O2 \rightarrow Fe3O4+6SO2$

$3FeS+5O2 \rightarrow Fe3O4+3SO2$

$4FeS+7O2 \rightarrow 2Fe2O3+4SO2$

$4Fe3O4+O2 \rightarrow 6Fe2O3$

$S+O2 \rightarrow SO2$

$2SO2+O2 \rightarrow 2SO3$

Para la arsenopirita:

$4FeAsS+3O2 \rightarrow 4FeS+2As2O3$

$12FeAsS+6FeS2+6O2 \rightarrow 18FeS+2As2S3+4As2O3$

$2As2S3+9O2 \rightarrow 2As2S3+6SO2$

$12FeAsS+27O2 \rightarrow 8FeAsO4+4FeS+2As2O3+8SO2$

$FeAsS+3O2 \rightarrow FeAsO4+SO2$

Oxidación a presión

La oxidación a presión se ha convertido en la mejor alternativa a la oxidación de minerales refractarios y tiene muchas ventajas en comparación con el proceso de tostado. Tanto el mineral como el concentrado pueden procesarse mediante oxidación a presión sin causar contaminación ambiental debido a emisiones de gases (como SO2 y arsénico). La oxidación a presión se realiza a una temperatura de 170 a 225 ° C, una presión total de 1,100-3,200 kPa y una presión

parcial de oxígeno de 350-700 kPa, logrando así la oxidación completa de los sulfuros y la liberación de oro y plata. Dentro de 1-3 horas.

En comparación con el tostado, el método de oxidación presurizada como pretratamiento con cianuro tiene las siguientes ventajas: alto porcentaje de oro extraído de concentrados oxidados; alta cantidad de oro recuperado de minerales o concentrados; resistencia al antimonio, arsénico, plomo y mercurio Otras impurezas son selectivas, el manejo y tratamiento de las impurezas es muy fácil, por lo que el impacto en el medio ambiente es pequeño.

El procedimiento se puede realizar tanto en medios alcalinos como ácidos, sin embargo, este último fue desarrollado para aplicaciones comerciales. En el método alcalino, el contenido de azufre y arsénico se disuelve completamente en sulfato y arseniato de sodio, mientras que el hierro se obtiene como residuo de Fe2O3. La ventaja de este método es que se usa una temperatura de oxidación más baja y hay menos problemas de corrosión en las autoclaves.

Al parecer, el procedimiento no ha sido atractivo debido a los altos costos del reactivo empleado, el NaOH, y los problemas para disponer del Na3AsO4, un subproducto altamente contaminante.

Obviamente, este método no es atractivo debido a los reactivos utilizados, el alto costo del NaOH y la eliminación del subproducto contaminante Na3AsO4. La oxidación a presión en un medio ácido es el método más común para procesar minerales refractarios. Mediante este procedimiento, FeS2 y FeAsS pueden oxidarse completamente a sulfato y arseniato, mientras se forma el azufre menos elemental. El último elemento es indeseable porque aumenta el consumo de reactivos en la siguiente etapa de cianuración.

Las principales reacciones que ocurren en la oxidación a presión en medio ácido son:

$2FeS2 + 7O2 + 2H2O \rightarrow 2FeS04 + 2H2SO4$

$4FeAsS + 1IO2 + 2H2O \rightarrow 4HASO2 + 4FeS04$

$MS + 202 \rightarrow MS04$

donde M = Pb, Fe, Zn, Ni, Co, etc.

Para evitar la formación de azufre, se requieren altas temperaturas (180-190 ° C). Luego, el ion ferroso y el ion arsénico trivalente se oxidan.

El consumo de ácido y las condiciones de trabajo promueven la hidrólisis y precipitación de hierro y arsénico (como arseniato y sulfato de hierro, hematita y pirita). Para facilitar las siguientes operaciones (neutralización de pulpa, recuperación de oro y

tratamiento de relaves o residuos), se prefieren los dos últimos compuestos mencionados.

Sin embargo, la recuperación de plata a través del proceso de oxidación a presión en medios ácidos es muy baja. A través de este método, aunque la plata se liberará primero en las principales condiciones de trabajo, aunque la plata está relacionada con la pirita, la pirita se forma por hidrólisis y precipitación de iones de hierro. Por lo tanto, se requiere un tratamiento adicional (con cal) para liberar la plata de la jarosita.

Oxidación a alta presión.

En condiciones de oxidación moderadas, se puede formar azufre elemental en presencia de un exceso de H2SO4 y Fe2 (SO4) 3.

La formación de azufre elemental debe ser evitado para prevenir:

- Oclusión de los sulfuros no reaccionados
- Oclusión de las partículas de oro
- Aumento en el consumo de cianuro y oxígeno durante la Cianuración

La oxidación a presión puede controlar la contaminación ambiental hasta cierto punto, lo que puede lograrse mediante la precipitación de As, Fe y S (como sulfatos). La oxidación de minerales refractarios

a alta presión se lleva a cabo en las siguientes condiciones de operación:

- Temperatura: 160 –190°C
- Presión: 1500 –2000 Kpa
- Tiempo de disolución: 1.0 –4.0 horas
- Fineza del concentrado: 80 –92 % , -44u
- Densidad de pulpa: 6 –15% de sólidos

En este proceso, no ocurre la disposición de gases tóxicos de SO2 a la atmósfera, como si sucede en la tostación

Oxidacion a baja presion

Primera alternativa:

En comparación con el proceso de alta presión, se utiliza un proceso de media presión y temperatura. Mediante el uso de oxígeno y catalizador, la tasa de oxidación del sulfuro es muy rápida..

Pirita:

$4FeS2 + 15O2 + 2H2O \rightarrow 2Fe2(SO4)3 + 2H2SO4$

Arsenopirita:

$15FeAsS + 48O2 + 21HNO3 + 12H2O \rightarrow 4Fe2(SO4)3 + 7Fe(NO3)3 + 15H2SO4 + S°$

- Tiempo de disolución solo de15 minutos.
- Efectivo en la oxidación de material carbonáceo.

- El HNO3 que es el catalizador se regenera.

Segunda alternativa:

Proceso que opera a presión atmosférica y solo utiliza aire en vez de oxígeno. El HNO3 reacciona directamente con la pirita y arsenopirita.

Pirita:

$3FeS2+18HNO \rightarrow 3Fe2(SO4)3+Fe(NO3)3+3H2SO4+15NO+6H2O$

Arsenopirita:

$3FeAsS+14HNO3+2H2O3 \rightarrow Fe.AsO4.2H2O+3H2SO4+14NO$

El oxígeno no interviene en las reacciones de disolución de la pirita y arsenopirita. El oxígeno solo interviene en la regeneración de HNO3.

$2NO+3/2O2+H2O \rightarrow (H2O+N2O5) \rightarrow 2HNO3$

Oxidación con cloro

Se usa para oxidar el carbón o compuestos de carbón del mineral, el cloro también oxida a los telururos. El cloro se puede emplear como gas cloro y como hipoclorito de calcio.

Este proceso tiene las siguientes características:

- Alto consumo de cloro

- Alto consumo de cal
- El cloro solubiliza componentes del mineral que resulta en ensuciamiento de la solución.
- Cuando los metales base son disueltos por el cloro, estos serán cementados en la precipitación con zinc.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Disolución: proceso en el que un soluto en fase gaseosa, líquida o sólida se disuelve en un disolvente para formar una solución.

Dureza: es la resistencia de un material a la deformación de un indentador de tamaño y forma específicos bajo una carga conocida.

Flotación: es un procedimiento en el que las sustancias sólidas hidrófobas se separan de las hidrófilas mediante burbujas de aire. Si se sopla aire a través de una suspensión, en la que se añaden sustancias que facilitan la creación de espuma, se crean burbujas de aire que se adhieren a la materia hidrófoba y la llevan a la superficie.

Hidrometalurgia: es una técnica dentro del campo de la metalurgia extractiva, la obtención de metales a partir de sus minerales. La hidrometalurgia implica el uso de soluciones acuosas para la recuperación de metales de minerales, concentrados y materiales reciclados o residuales..

Ley de corte: Corresponde al grado más bajo de mineralización que debe explotarse económicamente. Todos los materiales con contenido de cobre por encima del grado crítico se clasifican como minerales y se envían a la fábrica para su procesamiento, mientras que los materiales restantes con menor contenido de cobre se consideran estériles o lastrados y deben enviarse a vertederos.

Ley de mineral: hace referencia a la concentración de oro, plata, cobre, estaño, etc. Que encontramos en las rocas; y el material mineralizado de un yacimiento.

Ley de mena: Se refiere al contenido de cierto metal en el mineral, expresado en porcentaje (%), ppm (partes por millón) o gramos / tonelada (g / t).

Ley de un yacimiento: la distribución de la mineralización en el depósito es desigual, y los minerales en algunas áreas tienen una mineralogía similar o la misma, pero grados diferentes. La ley del depósito es un promedio ponderado de las leyes del mineral en diferentes áreas del depósito.

Línea de los sulfuros: Conjunto de procesos y procedimientos para extraer cobre de minerales sulfurados. En este tipo de roca, el cobre se combina con azufre y otros metales. La línea de producción de

sulfuros incluye: extracción, trituración, trituración, flotación, secado, fundición y electro-refino..

Lixiviación: describe principalmente el proceso por el que el agua transporta sustancias solubles o pequeñas partículas a través del suelo o la roca. Aunque este proceso parece trivial, la lixiviación es uno de los procesos clave de la Zona Crítica, que controla la velocidad y la dirección en la que se mueven los compuestos.

Mena: minerales de valor económico, que constituyen entre el 5 y el 10% del volumen total de la roca. Corresponden a azufre y minerales oxidados, que contienen el elemento de interés, por ejemplo, cobre, molibdeno, zinc, etc.

Metal: un metal es un elemento que forma fácilmente iones positivos (cationes) y tiene enlaces metálicos.

Metalurgia extractiva: La metalurgia extractiva es la práctica de eliminar metales valiosos de un mineral y refinar los metales en bruto extraídos en una forma más pura. La hidrometalurgia utiliza soluciones acuosas para extraer metales de los minerales (lixiviación).

Mineral: son sustancias sólidas que están presentes en la naturaleza y pueden estar formadas por uno o más elementos combinados (compuestos químicos).

El oro, la plata y el carbono son elementos que forman minerales por sí mismos. Se les llama elementos nativos. En cambio, la sal de cocina común es un compuesto químico llamado sal de roca, que es un mineral formado por iones de sodio y cloro. Los átomos, iones y moléculas que forman un mineral están presentes en el espacio de forma ordenada y según formas geométricas bien definidas, que se denominan celosías cristalinas.

Sulfuros: cualquier miembro de un grupo de compuestos de azufre con uno o más metales. La mayoría de los sulfuros son de estructura simple, exhiben una alta simetría en sus formas cristalinas y tienen muchas de las propiedades de los metales, incluido el brillo metálico y la conductividad eléctrica. A menudo tienen colores llamativos y tienen una dureza baja y un peso específico alto. Los sulfuros se encuentran en todos los tipos de rocas. A excepción de la diseminación en ciertas rocas sedimentarias, estos minerales tienden a ocurrir en concentraciones aisladas que forman cuerpos minerales como vetas y rellenos de fracturas o que comprenden reemplazos de rocas preexistentes en forma de mantas.

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1. GENERALIDADES.

La parte experimental de la tesis, se llevó a cabo empleando los métodos de ensayos establecidos para determinar la composición química de los minerales, entre ellos el oro y el oro refractario, métodos de uso común en todos los laboratorios metalúrgicos. Los equipos y materiales empleados corresponden a los necesarios para llevar a cabo la preparación física del mineral como son las chancadoras y molinos de bolas, en la parte química se empleó, material de vidrio de uso general y de uso específico, junto con los reactivos para llevar a cabo el análisis del oro y de los otros componentes del mineral refractario. El análisis del oro se llevó a cabo por el método propuesto por INDECOPI, que corresponde al análisis en mufla eléctrica, empleando para ello fundentes (flux); los ensayos de los otros componentes se llevaron a cabo por los métodos tradicionales de análisis volumétricos y gravimétricos considerados en el manual “Guía de ensayes químicos por vía clásica en metalurgia extractiva” (Chia, 1985). Las corridas empleando el triyoduro de potasio se llevaron a cabo empleando métodos químicos llamados pruebas de jarras, que permiten evaluar con cantidades variables de sustancia, el comportamiento de los

reactantes y de los compuestos resultantes que en este caso es el oro.

3.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras de mineral empleadas para desarrollar la parte experimental de la tesis ha sido recolectada en la cancha de minerales de la planta Najash, situada en el distrito de Vista Alegre, provincia de Nasca. Las muestras de sulfuros entre ellas calcopirita y pirita, contenían otras especies mineralógicas como cuarzo, hematita, magnetita, covelina, malaquita, bornita y crisocola, por lo que su color era variado, prevaleciendo el amarillo de la calcopirita y la iridiscencia de la bornita, además del verde, azul, negro y pardo rojizo. La cantidad de muestra tomada fue de 40 kilogramos, los que fueron distribuidos en cuatro alforjas de 10 kg cada una, para trasladarlas al laboratorio de minerales.

3.3. PREPARACIÓN FÍSICA DE LA MUESTRA.

Las muestreas recolectadas tenían diversos tamaños superiores a las 8 pulgadas por lo que se llevaron primeramente a la chancadora de quijadas del laboratorio, para reducir su tamaño a 1,5 pulgadas como promedio, para esto se reguló el ángulo de pellizco de la chancadora, para luego alimentar la tolva con las muestras tomadas, haciendo pasar todo el mineral recolectado.

Con el material chancado se alimenta luego el molino de bolas, considerando para cada etapa de molienda 10 kg de mineral, del cual se obtiene un material pulverizado que pasa por malla 150.

3.4. TAMIZADO.

La muestra pulverizada se tamiza en malla 150, separando el material que pasa la malla de la que queda retenida sobre ella, para enviarla nuevamente al molino de bolas y continuar con la molienda, esta operación se repite hasta lograr que todo el mineral pase por la malla seleccionada. Para el tamizaje se empleó un sacudidor universal , que permitió un rápido procesamiento del mineral. El mineral tamizado se fue colocando en un piso de cemento limpio y seco, formando un cono.

3.5. OBTENCIÓN DE LA MUESTRA REPRESENTATIVA.

La muestra pulverizada con la que se formó un cono con ayuda de una tabla se esparce formando una torta, la misma que se corta en cuatro y se eliminan dos de ellas, volviendo a formar otro cono con lo que queda mezclando bien y luego se procede de nuevo a formar el cono y la torta, dividiéndola en cuatro y eliminando dos partes, para luego proseguir como en el caso anterior hasta obtener una muestra representativa de 1 kg aproximadamente.

3.6. ANÁLISIS DEL MINERAL.

De esta muestra representativa se toman las cantidades necesarias para llevar a cabo el análisis del mineral y determinar su composición de acuerdo a los objetivos de la tesis, es decir, se determinará oro, cobre, hierro y plata y azufre.

Determinación del oro.

Oro – método de la mufla eléctrica.

PROCEDIMIENTO

1. Pesar 0.5 AT para concentrados de Pb, Zn y Cu y 1.0 AT. Para el anverso y el reverso, las muestras deben prepararse en una malla -100 en crisol de 30 gramos, que debe contener 65 g de flux (utilziar de 85 - 90 g de flux para 1,0 A.T).
2. Se debe de añadir un poco de nitrato de plata y realizar la mezcla correctamente con apoyo de una espátula; así mismo se debe colocar un clavo con una medida de 5'' y 25 g de flux. Si no se llega a utilizar clavo, se debe se utilizar 10g de nitrato de potación. Para el mineral paco; no se debería de utilizar clavo ni nitrato sino más bien se debería de usar 5gr de harina.
3. El crisol debe estar en la mufla eléctrica a una temperatura de 900°C; e ir aumentando hasta que llega los 1100°C; dicho procedimiento tiene un tiempo aproximado de 50 a 60 minutos. (con el trascurrir del tiempo se determinará que el

mineral ha sido fundido; pudiéndose notar la transparencia en el crisol)

4. Retirar la mufla y vaciar el molde de manera cónica; y posterior a ello se debe dejarlo enfriar (antes de ello se debería de calentar el molde colocado sobre la mufla en un tiempo de 2 a 3 minutos; con la finalidad de que no salte la escoria en el proceso de vaciado)
5. Se debe de discriminar la escoria del metal; apoyándose de un martillo; con el objetivo de moldear el metal; hasta el punto de obtener una figura en forma de cubo.
6. Escorificar y vaciar, entre otros; tomando como referencia el caso anterior; cuando existe Bi o As se recomienda escorificar más de una vez.
7. Se debería de color el cubo metálico; sobre una copeta previamente haya sido calentada por medio de 15 a 20 minutos en una temperatura de 1000°C.
8. Se procede a la copelación tomando como referencia el caso anterior.
9. Se procede a sacar la copeta de la mufla; y a enfriar en su totalidad (de manera que en el caso de la plata; se debe de pesar el botón posterior al frio, tomando en consideración la onz/ton cuando carece de nitrato de plata)
10. El oro esta contenido en el botón de la plata; de manera que se procede a realizara la limpieza por medio de una brocha

especial; para de esta manera colocarlo en un crisol de porcelana, añadiendo acido nítrico (1:7); si el botón tiene un tamaño grande; sin embargo si posee un tamaño pequeño el valor es de (1:5); de tal manera que proceso de calentamiento se realiza de forma lenta hasta que no existe un elevado daño a la plata.

11. Descartar con bastante cuidado la solución, agregar ácido nítrico (1:1) y seguir atacando a calor lento, hasta que toda la plata haya reaccionado, si es necesario se puede decantar y echar ácido 1:1 y seguir el mismo proceso. Tener cuidado de no atacar a calor fuerte por que el oro se sedimenta en pequeñas partículas que al lavar o decantar se pierden y los resultados salen errados.
12. Decantar la solución cuidadosamente. Se procede a lavar el oro hasta 3 veces por decantación; aplicando agua amoniacal caliente (1:7).
13. Añadir aproximadamente 5 cc de amoniaco y proceder al calentamiento suave. Después de ello se debe de bajar y decantar y proceder a lavarlo hasta dos veces con agua cliente por cada decantación.
14. Tomar el crisol y proceder su secado con la plancha; para posteriormente trasladarlo al horno por 20 min.

15. Finalmente se da paso al proceso de enfriamiento; pesar el botón de oro y determinar sus valores en onzas por toneladas o en función a la forma que lo requieran.

Determinación de azufre en minerales.

PROCEDIMIENTO

1. Pesar 0.5 gramos de muestra en un vaso de 400 mL.
2. Agregar 0,01 g de clorato de potasio, 25 mL de agua de bromo y 15 mL de ácido nítrico y atacar lentamente en plancha con asbesto y llevar sequedad.
3. Agregar 5 mL de HCl y atacar lentamente hasta sequedad. retirar de la plancha.
4. Agregar 70 mL de solución de carbonato de sodio al 10% y hervir por 15 minutos. Bajarlo.
5. Filtrar en vaso de 600 mL usando papel filtro Nº2 de 12,5 cm (ó Nº 40 de 12,5 cm)
6. Neutralizar la solución con ácido clorhídrico usando Methyl Orange como indicador y agregar 5 mL en exceso.
7. Llevar a ebullición. Añadir 25 mL de solución caliente de cloruro de bario al 10 % y hervir durante 5-10 minutos. Bajarlos y dejarlos en reposo toda la noche (para precipitar es recomendable que ambas soluciones estén a la misma temperatura de lo contrario salta el precipitado).

8. Filtrar en papel filtro Nº 42 usando un poco de pulpa de papel y lavar 10-12 veces con agua caliente.

9. Pasar el papel con el precipitado a un crisol de arcilla, secar y calcinar a 800ºC durante 2 horas.

10. Enfriar y pesar como $BaSO_4$

CALCULO:

$$\%S = \frac{\textbf{P}\text{eso } (BaSO_4) \times 0.13735 \times 100}{\text{Peso de muestra.}}$$

Determinación del cobre.

Esta técnica se lleva cabo a través de la precipitación del cobre como tiocianato cuproso; el cual permite que descomponga después de realizarse el filtro con sulfito sodio al 7-8% hirvieron y posterior a ello se procede a lavar el filtro con agua a temperatura alta, permitiendo que la solución se vuelva acida con H_2SO_4 (1:1), y se estructura a través de una solución de mucho valor de permanganato de potasio; hasta precintarse y tornarse un color rosa momentáneamente.

Durante el desarrollo del método se producen las siguientes reacciones químicas:

$$2CuSO_4 + 2NaCNS + Na_2SO_3 + H_2O \rightarrow 2CuCNS + 2Na_2SO_4$$

$$CuCNS + NaOH \rightarrow CuOH + NaCNS$$

y $$5NaCNS + 6KMnO_4 + 4H_2SO_4 \rightarrow$$

$$\rightarrow 3K_2SO_4 + 6MnSO_4 + 5NaCH + 4H_2O$$

La solución del sulfocianuro cuproso en la manipulación de este método es posible que sufra una oxidación incompleta.

PROCEDIMIENTO**.**

1. Pesar de 0,5 a 2,0 gramos de muestra preparada a malla -100, y ponerla en un Erlenmeyer de 300 mL.
2. Agregar 10-15 mL de ácido nítrico y atacar a bajo calor, cuando ha cesado de desprender vapores nitrosos, agregar 0,1 g de clorato de potasio y seguir atacando a bajo calor, hasta que el volumen de la solución se reduzca a unos 7 mL aproximadamente.
3. Agregar 5-10 mL de ácido clorhídrico y continuar el ataque hasta que quede 7 mL aproximadamente.
4. Agregar 5 mL de ácido sulfúrico, seguir atacando hasta que comience a desprenderse vapores blancos, mantener en la plancha caliente hasta que se obtenga una masa pastosa, bajar y enfriar.
5. Agregar cuidadosamente 30 mL de agua y calentar hasta ebullición, hervir por 5 minutos, bajar.
6. Filtrar en caliente, usando filtro Nº 2 ó 4, recibiendo el filtrado en un Erlenmeyer de 300 mL. Lavar bien el recipiente usado para el ataque, limpiandolo si es preciso con una vagueta con protector de goma en su extremo para arrastrar todo el sólido que pudiera quedar en él.. Lavar el precipitado 5 veces con

pequeñas porciones de agua caliente, descartar el residuo del filtro.

7. Neutralizar la solución con hidróxido de amonio, hasta que aparezca precipitado de hierro, agregar HCl gota a gota hasta que desaparezca el precipitado, agregar dos gotas de exceso, lavar las paredes del frasco con agua caliente.
8. Agregar 10-20 mL de solución de sulfito de sodio al 10 % y calentar.
9. Agregar 5-10 mL de solución de sulfito de sodio al 10% y hervir unos minutos más. Agregar más sulfito si el color rojo persiste. El precipitado debe ser blanco lechoso.
10. Filtrar la solución en caliente, usando papel filtro Nº 5 (o doble papel filtro Nº 2 ó Nº 4). Pasar todo el precipitado con agua caliente a un Erlenmeyer de 300 mL. Descartar el filtrado.
11. Colocar debajo del embudo el frasco de 300 mL. Disolver el precipitado de CuCNS, con solución caliente de NaOH al 7% lavando dos veces, removiendo bien el precipitado.
12. Lavar 6 veces con pequeñas porciones de agua caliente. Descartar el residuo que queda en el papel filtro.
13. Dejar enfriar la solución. Agregar 25 mL de ácido sulfúrico (1:1) al frasco y titular con solución valorada de permanganato de potasio.
14. Hacer una prueba en blanco usando los mismos reactivos. Descontar el blanco de la titulación.

$$\%Cu = \frac{\text{Gasto x factor de la solución x 100}}{\text{Peso de la muestra}}$$

3.7. ENSAYOS CON TRIYODURO DE POTASIO.

Se desarrollaron ensayos para determinar los parámetros óptimos para lixiviar el mineral de oro refractario con el triyoduro de potasio, para lo cual se determinó la concentración del reactivo lixiviante, el pH, la temperatura de trabajo, el tiempo de residencia del mineral en el reactor, la concentración de cobre y la velocidad de agitación, durante el proceso.

3.8. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE LIXIVIACIÓN.

Después del tratamiento con triyoduro de potasio, el mineral de oro se trató mediante lixiviación dinámica, la cual se lleva a cabo en un reactor, que consiste en un tanque agitado de laboratorio con doble pared, lo que permite calentar la carga (mineral y los reactivos) hasta la temperatura adecuada, a la vez que se mantiene en constante agitación.

Las pruebas se realizaron con 500 g de muestra y agua en una cantidad de 1500 mL incluyendo los reactivos necesarios para el proceso, es decir, el triyoduro de potasio, el hidróxido de sodio y el cobre.

Las condiciones a las que se desarrollaron las diversas pruebas

fueron las siguientes:

Peso del mineral: 500 g

Volumen de agua: 1500 mL

Peso de hidróxido de sodio: de 10 a 20 g

Peso de triyoduro de potasio: de 1 a 2 g

Relación L/S: 1500/500 = 3/1

pH inicial de la muestra: 10 - 12

Velocidad de agitación: 250 a 400 RPM

Temperatura de 40 a 80ºC

Porcentaje de sal de cobre: de 0,5 a 4%

Tiempo de lixiviación de 1 a 4 horas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS OBTENIDOS.

4.1.1. Del análisis de la muestra.

TABLA 4.1

RESULTADOS DEL ANÁLISIS MINERALÓGICO CUALITATIVO DE LA MUESTRA

COMPONENTE	RESULTADO
Chalcopirita	+++
Pirita	+++
Covelina	++
Bornita	++
Calcosina	+++
Cuarzo	+++

Fuente: Datos experimentales.

NOTA:

+++ En mayor cantidad

++ En menor cantidad

TABLA 4.2

RESULTADOS DEL ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LA MUESTRA

COMPONENTE	UNIDAD	CONCENTRACIÓN
Au	g/TM	152,3
Ag	g/TM	28,5
S	%	17
Cu	%	4,8
Fe	%	1,3
Si	%	13,7

Fuente: Datos experimentales.

4.1.2. De las pruebas de la lixiviación con triyoduro de potasio.

TABLA 4.3

RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DEL TRIYODURO DE POTASIO Y ORO RECUPERADO

CONCENTRACIÓN DEL KI_3, g	PESO DE LA MUESTRA, g	ORO RECUPERADO, mg
0,36	500	65,71
0,40	500	71,43
0,42	500	73,67
0,45	500	76,13
0,47	500	76,13
0,50	500	76,13

Fuente: Datos experimentales.

Contenido inicial de oro en la muestra: 76,15 mg.

TABLA 4.4

RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DEL KI_3 Y EL pH

CONCENTRACIÓN DEL KI_3, g	pH	ORO RECUPERADO, mg
0,45	7	74,39
0,45	8	75,97
0,45	9	76,04
0,45	10	76,13
0,45	11	76,11
0,45	12	75,86

Fuente: Datos experimentales.

Temperatura de ensayo: 60ºC

Peso de la muestra: 500 g

TABLA 4.5

RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DEL KI_3

Y LA TEMPERATURA

CONCENTRACIÓN DEL KI_3, G	TºC	ORO RECUPERADO, mg
0,45	45	75,76
0,45	50	75,92
0,45	55	76,01
0,45	60	76,13
0,45	65	76,06
0,45	70	75,91

Fuente: Datos experimentales.

Peso de la muestra: 500 g

pH 10

TABLA 4.6

RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DEL KI_3

Y EL TIEMPO DE RESIDENCIA

CONCENTRACIÓN DEL KI_3, g	TIEMPO, Horas	ORO RECUPERADO, mg
0,45	1	6,95
0,45	1,5	12,04
0,45	2	13,78
0,45	2,5	15,01
0,45	3	76,13
0,45	4	76,13

Fuente: Datos experimentales.

Temperatura de ensayo: 60ºC

Peso de la muestra: 100 g

pH 10

TABLA 4.7

RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DEL KI_3

Y LA CONCENTRACIÓN DE IONES Cu^{++}

CONCENTRACIÓN DEL KI_3, G	CONCENTRACIÓN DEL Cu, %	ORO RECUPERADO, mg
0,45	0,00	75,56
0,45	0,01	75,89
0,45	0,02	76,04
0,45	0,03	76,13
0,45	0,04	75,83
0,45	0,05	74,28

Fuente: Datos experimentales.

Temperatura de ensayo: 60ºC

Peso de la muestra: 100 g

pH 10

Tiempo de residencia: 3 horas.

TABLA 4.8

RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DEL KI_3

Y LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN

CONCENTRACIÓN DEL KI_3, g	Velocidad de agitación, rpm	ORO RECUPERADO, mg
0,45	350	75,61
0,45	400	75,80
0,45	450	76,03
0,45	500	76,13
0,45	550	76,13
0,45	600	76,13

Fuente: Datos experimentales.

Temperatura de ensayo: 60ºC

Peso de la muestra: 100 g

pH 10

Concentración del Cu 0,03%

TABLA 4.9

RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA LA LIXIVIACIÓN DEL ORO REFRACTARIO CON TRIYODURO DE POTASIO

PARÁMETRO	UNIDADES	MAGNITUD
Concentración Del KI_3	g	0,45
pH	-	10
Temperatura	ºC	60
Tiempo	Horas	3
Concentración de Cu	%	0,03
Velocidad de agitación	rpm	500
Cantidad de muestra	g	500

Fuente: Datos tablas 4.2-4.8.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En esta tesis se ha hecho un estudio experimental con el objeto de demostrar que se puede emplear el triyoduro de potasio en el tratamiento del oro refractario, como un lixiviante, que posee la capacidad de separar químicamente el sulfuro del oro que se encuentra como finísimas partículas ocluido en la calcopirita y la pirita entre otros sulfuros secundarios de cobre y otros metales. Para lograr el objetivo planteado en la tesis, se llevaron a cabo los ensayos correspondientes para establecer los parámetros adecuados, mediante los cuales se puedan más adelante hacer corridas con mayores cantidades de minerales y poner el método a disposición de las empresas.

Experimentalmente se ha demostrado que el triyoduro solo no se puede utilizar para una lixiviación eficiente, ya que se presentan inconveniente químicos que impiden una buena recuperación del oro, debido a que se impermeabiliza el sulfuro por la formación de una capa finísima de azufre, el mismo que se forma durante la lixiviación por efecto de la reacción, que descompone el triyoduro, generando azufre sólido que se distribuye en la solución lixiviante, por lo que es preciso agregar cobre como catalizador el cual capta azufre y permite que la reacción continúe liberando finalmente oro.

Por otro lado la reacción del triyoduro de potasio en un medio ácido que posee un pH bajo es muy lenta y requiere no solo de un catalizador, que es otro de los efectos del cobre, sino además de un aumento de la temperatura para hacer posible la lixiviación bajo condiciones industriales. La temperatura tampoco puede ser muy elevada ya que generaría un desprendimiento masivo de vapores de dióxido de azufre en el ambiente. Esta temperatura no debe por ello, superar los 60 ºC

Desde el punto de vista de la cinética química, el proceso llevado a cabo empleando el triyoduro de potasio para lixiviar el oro refractario, requiere de temperatura alta (60ºC), una agitación constante y enérgica (500 rpm) que permita la llegada constante de nuevas porciones de líquido a la superficie del sulfuro y el catalizador que en este caso es el cobre, que en pequeñas proporciones capta el azufre, permitiendo que la reacción llegue a su fase final y el oro quede liberado.

Se ha podido constatar que la actividad del triyoduro es más eficiente cuando el pH de la solución lixiviante se eleva por encima de los valores de neutralidad (pH 7), prueba de ello es que su rendimiento es mayor cuando el pH es superior a diez. Para elevar el pH en este caso se emplea la cal que se agrega en pequeñas cantidades. Al

contacto con el agua de la solución lixiviante la cal se transforma en hidróxido de calcio y se eleva el pH hasta el nivel adecuado.

CONCLUSIONES

1. Se han podido determinar experimentalmente los parámetros óptimos para el empleo del triyoduro de potasio como lixiviante de minerales refractarios de oro, siendo la cantidad de triyoduro que se debe utilizar de 0,90 g/Kg de mineral, un pH de 10, rpm de 500, 0,03% de cobre como catalizador y una temperatura de proceso de 60ºC.

2. Se ha establecido que el empleo del triyoduro de potasio permite elevar el nivel de eficiencia en la recuperación del oro mediante el proceso de lixiviación, habiéndose recuperado la totalidad del oro presente en la muestra

3. El triyoduro de potasio, siendo un reactivo altamente oxidante permite disolver los sulfuros y el oro, eliminando así la imposibilidad de tratar minerales refractarios.

4. Desde el punto de vista operativo, la recuperación del oro por lixiviación con triyoduro de potasio, ofrece la ventaja de no ser contaminante, ni peligroso y tecnológicamente se puede usar en las instalaciones ya existentes en las plantas de lixiviación.

.

RECOMENDACIONES

a. Se recomienda hacer el estudio para la construcción de un reactor que permita realizar ensayos con cantidades mayores de carga, donde se pueda comprobar la eficacia del método y a la vez tener el equipo necesario para llevar a cabo el proceso a nivel industrial.

b. Se recomienda hacer el estudio correspondiente para recuperar azufre de los efluentes líquidos de la lixiviación con tiosulfato y darle una aplicación comercial o industrial.

c. Se recomienda hacer estudios para el trabajo directo con el tiosulfato en un medio ácido y verificar si se puede descomponer el sulfuro y liberar el oro, ya que el tiosulfato en un medio ácido (H_2SO_4), se descompone generando azufre sólido.

BIBLIOGRAFÍA

1) W. Staunton, G. Wardell-Johnson & K. Barbetti. Lixiviantes alternativos al cianuro en el proceso de recuperación del oro. Curso sobre el oro 2005, Calgary Alberta, 2005

2) Jiang Tao, Chen Jin and Xu Shi. Cinética de la aplicación del tiosulfato en la recuperación del oro. Principios de innovación hidrometalúrgica, Tecnología e innovación, China pag.119-126. 1993.

3) Jan D. Miller. Investigación de soluciones no cianuradas para recuperar oro. Principios de innovación hidrometalúrgica, Tecnología e innovación, pag.415-436 USA, 1993.

4) P.L. Breuer, M.I. Jeffrey. Reducción con tiosulfato de cobre II en la recuperación del oro. Revista de hidrometalurgia. 70(2003) 163-173

5) Larry A. Cramer. Avances en la investigación de los metales**.** XXII Congreso de procesos industriales de los metales. Africa del Sur, pag. 156-157 2003.

6) P. Navarro, R. Alvarez, C. Vargas, F.J. Alguacil. Uso del zinc en la recuperación del oro extraído con tiosulfato. Revista Ingeniería de los materiales. 17(2004) 825-831

7) Andrew C. Grosse, W. Dicinoski, Matthew J. Shaw, Paul R. Haddad. Principios del uso de soluciones de tiosulfato en la recuperación del oro.

8) C.A. Fleming, J. McMullen, K.G. Thomas, J.A. Wells. Recuperación del oro con resinas de intercambio iónico. Minerales y Procesos metalúrgicos, Vol.20 Nº1. USA, Febrero, 2003.

9) Hongguang Zhang, David B. Dreisinger**.** Recuperación del oro con tiosulfato amónico e intercambio. Revista hidrometalurgia. 72(2004) 225-234

10) G. Senanayake. Principios de aplicación de sustancias no cianuradas en la extracción del oro. Revista Hidronmetalurgia. 17(2004) 785-801

11) Stephen Gos, Andreas Rubo**.** Ingeniería de la recuperación del oro de minerals refractarios. Tomado: Internet www.cyplus.com . 2001.

12) D.M. Muir y M.G. Aylmore. El tiosulfato como alternativa al cianuro en la recuperación del oro: Procesos de recuperación de metales de minerales. Institutao de mineralogía. C). Marzo, 2014 Vol. 113

13) Ke-jun Liu, Atsuchi Shibayama, Wan-Tai Yen, Toyoshisa Fujita. Particularidades de la recuperación del oro con tiosulfato**.** XXII Congreso Internacional de Procesos Mineros, Africa del Sur, Octubre, 2003.

ANEXO

DETERMINACIÓN DE SULFUROS EN MINERALES

PROCEDIMIENTO

Disgregación alcalina.

Esta la realizamos en crisol de platino con hidróxido sódico y peróxido sódico (2:1), también da buenos resultados la disgregación en crisol de hierro o níquel.

La temperatura adecuada para la disgregación es generalmente de unos 400°C como máximo y la duración del ataque, en la mayoría de los casos, es de unos 10 minutos.

Cuando la temperatura es más alta que la indicada, trabajando con crisol de platino, se tiene ya un sensible ataque del crisol que alcanza unos pocos mg.

Una vez frío el crisol que contiene el disgregado se disuelve en agua caliente (en lugar de ácido) a una temperatura no superior a los 40ºC y se procede a la oxidación con agua de bromo, en este medio fuertemente alcalino, introduciendo el oxidante en frío para evitar su volatilización antes de oxidar.

Esta segunda oxidación es necesaria para asegurar que todo el azufre ha conseguido su estado de valencia VI antes de pasar a medio ácido.

Obtenido el ataque alcalino, la disolución de la muestra en agua y la oxidación de la misma en medio alcalino, se pasa la solución a medio ácido con ácido clorhídrico y hacemos la separación previa de la sílice antes de la precipitación del ion sulfato por el cloruro de bario para impedir que, una formación accidental de sílice precipitada durante los tratamientos en medio ácido por la polimerización de los ácidos silícicos, impurifique los precipitados de sulfato de bario.

En cuanto a la precipitación del ion sulfato con cloruro de bario, lo hemos efectuado de la forma usual tan sólo remarcando la necesidad de proceder a la precipitación, sin parar el estado de ebullición, por el empleo de las dos soluciones precipitantes hirvientes y la de recurrir a una maceración del precipitado a 90ºC durante 2 ó 3 horas como mínimo.

Método operativo

Se toma 1 g de muestra, pulverizada a un tamaño de partícula comprendido entre las 60 y 90 micras, se colocan 4 g de hidróxido sódico en lentejas y 1 g de peróxido sódico en un crisol de oro.

Se funde cuidadosamente sobre mechero de Bunsen evitando que la llama pueda introducir azufre del gas en la muestra. Generalmente con una temperatura del orden de los 400ºC se consigue un ataque completo de la muestra.

Una vez frío el crisol se introduce dentro de una cápsula de platino (o porcelana) con unos 40 mL de agua caliente a unos 40°C, se mantiene hasta su disolución total y se retira el crisol.

Luego se enfría a la temperatura ambiente; se vierten 5 mL de solución saturada de bromo; se calienta lentamente y se hierve hasta eliminación del bromo.

Se enfría y se añade ácido clorhídrico 1:1 hasta medio ácido fuerte y se adiciona aún un fuerte exceso de unos 20 mL de ácido clorhídrico concentrado con las debidas precauciones para evitar el desprendimiento de partículas.

Se evapora a sequedad bajo la campana extractora; se procede a la insolubilización de la sílice evaporando a sequedad y se disuelve el residuo con unos 40 mL de ácido clorhídrico diluido en la forma usual.

Se filtra, se lava, y en el filtrado se determina el ion sulfato por precipitación con cloruro de bario de la forma habitual teniendo presente de que la precipitación se haga con las dos soluciones precipitantes hirvientes y se continúe con una maceración a 90°C durante unas 3 horas, dejando reposar al cabo de ellas unas 12 horas, a ser posible.

Se filtra y se lava con agua hasta eliminación del ion cloruro; se incinera a baja temperatura hasta combustión total del papel; se oxida con unas gotas de ácido nítrico y ácido sulfúrico;

Se evapora a sequedad y se calcina a la temperatura de unos 800°C; se enfría en desecador y se pesa.

Los contenidos pequeños de sulfuro, en este tipo de materiales, hacen normalmente innecesaria una purificación del precipitado de sulfato de bario.

Se obtiene así el valor del contenido en azufre total en la muestra. Para hallar el valor de azufre que contiene la muestra en estado hexavalente procedemos del modo siguiente:

Un gramo de la misma muestra representativa, homogeneizada y reducida al tamaño anteriormente indicado, se disgrega en crisol de hierro (en lugar

de oro, para evitar en este caso la formación de la correspondiente tiosal) con 5 g de hidróxido sódico en lentejas sin aportación de oxidante alguno.

Se funde cuidadosamente en las mismas condiciones de tiempo y temperatura indicadas antes.

Una vez frío, se disuelve en agua caliente; se retira el crisol y se ataca con ácido clorhídrico 1:3 en caliente, y se sigue de la misma forma que anteriormente, separando también previamente la sílice.

El resultado obtenido corresponde prácticamente al azufre que originariamente se encuentra en la muestra como hexavalente.

Al valor del contenido en azufre total, expresado en forma de SO3 %, descontamos el valor del contenido en SO3 % que procede del azufre hexavalente y obtenemos el contenido en la muestra, en tanto por ciento, de azufre en estado de valencia inferior a VI expresado en forma de SO3 %.

HOJA DE SEGURIDAD DEL TRIYODURO DE POTASIO

EFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación: Puede causar irritación en el tracto respiratorio. Los síntomas pueden incluir tos y dificultad para respirar.

Ingestión: Grandes dosis por vía oral pueden causar irritación en el tracto gastrointestinal.

Contacto con la piel: Puede causar irritación con enrojecimiento y dolor.

Contacto con los ojos: Puede causar irritación, enrojecimiento y dolor.

La exposición crónica: La ingesta crónica de yoduros puede producir "iodismo", que puede manifestarse por erupción cutánea, rinorrea, dolor de cabeza e irritación de las membranas mucosas. Debilidad, anemia, pérdida de peso y depresión en general también puede presentarse.

Agravación de condiciones pre-existentes: No se encontró información.

MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Sacar a la víctima al aire fresco. Si no respira, dar respiración artificial. Si la respiración es difícil, dar oxígeno. Obtener atención médica inmediatamente. Observar el desarrollo de edema pulmonar.

Ingestión: Provocar el vómito inmediatamente como lo indique el personal médico. No dar nada por boca a una persona inconsciente. Obtener atención médica inmediatamente.

Contacto con la piel: Limpie el exceso de material de la piel con abundante agua durante al menos 15 minutos mientras se quita la ropa y zapatos contaminados. Obtener atención médica inmediatamente. Lave la ropa antes de volver a usarla. Limpie completamente los zapatos antes de volver a usarlos. Las manchas de yodo pueden ser eliminadas de la piel lavándola inmediatamente con el 5% de solución de tiosulfato de sodio.

Contacto con los ojos: Lavar los ojos inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos, elevando los párpados superior e inferior ocasionalmente. Obtener atención médica inmediatamente.

MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Fuego: No se considera un riesgo de incendio.

Explosión: No se considera un riesgo de explosión. Medios de extinción de incendios: Utilizar cualquier medio apropiado para extinguir fuego alrededor.

Información Especial: En el caso de un fuego, use vestidos protectores completos y aprobados por NIOSH y equipo autónomo de respiración con

mascarilla completa operando en la demanda de presión u otro modo de presión positiva.

MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Ventilar el área de la fuga o derrame. Use el apropiado equipo de protección personal.

Derrames: Barrer y la contener para la recuperación o eliminación. Pasar la aspiradora o barrer de forma húmeda para evitar la dispersión de polvo.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Mantener alejado de la luz, en envase resistente y cerrado herméticamente, almacenado en un lugar fresco, seco y ventilado. Proteger contra daño físico. Aislar de sustancias incompatibles.

El almacenamiento prolongado no es recomendable debido a problemas de degradación. Siempre inspeccione el color del yoduro de potasio y la calidad global antes de usar. Los envases de este material pueden ser peligrosos cuando están vacíos ya que retienen residuos del producto (polvo, sólidos); observar todas las advertencias y precauciones indicadas para el producto.

CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Límites de Exposición: ACGIH (TWA) para Yoduros: 0,01 ppm para la fracción inhalable y vapor.

Sistema de Ventilación: Un sistema de ventilación local y/o general es recomendado para las exposiciones de empleados por debajo de los

Límites de Exposición Aérea. La extracción local es generalmente preferida porque se pueden controlar las emisiones del contaminante en su fuente, impidiendo la dispersión del mismo en el área de trabajo general.

Respiradores Personales (Aprobados por NIOSH): Para las condiciones de uso donde la exposición al polvo o niebla es aparente y los controles de ingeniería no son factibles, un respirador de partículas (NIOSH tipo N95 o mejores filtros) deberá ser usado. Si las partículas de aceite (por ejemplo, lubricantes, fluidos de corte, glicerina, etc.) están presentes, use un NIOSH tipo R o un filtro P. Para emergencias o casos donde los niveles de exposición no son conocidos, use un respirador de aire completo con presión positiva.

ADVERTENCIA: Respiradores purificadores de aire no protegen a los trabajadores en atmósferas deficientes de oxígeno.

Protección de la piel: Guantes y bata de laboratorio, delantal o monos.

Protección de los ojos: Utilice gafas protectoras contra productos químicos. Mantenga una fuente de lavado de ojos y regaderas de emergencia en el área de trabajo.

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Aspecto: Cristales blancos.

Olor: Inodoro.

Sabor: Amargo. Salino

Solubilidad: 140 g/100 g en el agua.

Densidad: 3,1

pH: 7-9 %

De Volátiles por Volumen @ 21C (70F): 0

Ebullición: 1330C (2426F)

Punto de fusión: 680C (1256F)

Peso molecular: 166g/mol

Gravedad especifica: 3.1 (agua=1)

Densidad de vapor (Aire = 1): No se encontró información.

Presión de Vapor (mm Hg): 1 @ 745C (1373F)

Tasa de evaporación (BuAc = 1): No se encontró información.

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Estable bajo condiciones normales de uso y almacenamiento. En una larga exposición al aire se vuelve amarillo debido a la liberación de yodo.

Condiciones de inestabilidad: La luz, la humedad, los materiales incompatibles. Es estable en condiciones normales de uso y almacenamiento. Con la exposición al aire, se vuelve amarillo debido a la liberación de yodo.

Productos de descomposición peligrosos: Óxidos del metal contenido de halógenos y, posiblemente, también gratuita, o halógeno iónico.

Polimerización peligrosa: No ocurrirá. Incompatibilidades: Las sales de diazonio; peroxidicarbonato diisopropilo; oxidantes; trifluorides bromo y cloro, perclorato de flúor; calomel (cloruro de mercurio), clorato de potasio, sales metálicas, ácidos tartárico y otros. Condiciones a evitar: Aire, humedad, luz e incompatibles.

Corrosividad: Corrosivo en presencia de acero, de aluminio, de zinc. No es corrosivo en presencia de vidrio, de cobre, de acero inoxidable (304), de acero inoxidable (316).

Observaciones especiales sobre reactividad: Sensible a la humedad. Sensible a la luz. Sensible al aire. El aire causa la descomposición de yodo. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, bromotrifluorides, chlorotrifluorides, perclorato de flúor, sales metálicas. Ataca a los metales en los ambientes húmedos. Clorato de potasio, además, incompatible con las sales de alcaloides, hidrato de cloral, calomel (cloruro de mercurio). Los ácidos tartárico y otros oxidantes, sales de diazonio, carbón vegetal, la capa de ozono, reductores fuertes, metales alcalinos, metales (cobre, magnesio y aluminio, zinc, cadmio, cobre, estaño, níquel, acero), sales metálicas, materiales orgánicos, la luz...

Observaciones especiales sobre Corrosividad: Incompatibles con el agua, produciendo un corrosivo. Corrosivo en todas las concentraciones a la mayoría de los metales, excepto al acero inoxidable, titanio y tántalo.

INFORMACION TOXICOLOGICA

Rutas de entrada: Inhalación. Ingestión. Toxicidad en los animales: DL50: No disponible. CL50: No disponible.

Efectos crónicos en los seres humanos: Efectos Mutágenos: Mutagénico de células somáticas de mamíferos. Toxicidad en el desarrollo: Clasificado como toxina para el sistema reproductor femenino, [posible]. Puede causar daños a la tiroides. Otros efectos tóxicos en seres humanos:

Ligeramente peligroso en caso de contacto cutáneo (irritante), de ingestión y de inhalación.

Observaciones especiales sobre toxicidad en los animales: Publicado bajo Dosis letal: LDL [Mouse] - Ruta: Vía oral; Dosis: 1862 mg / kg LDL [Conejo] - Ruta: Vía oral, dosis: 916 mg / kg

Observaciones especiales sobre los efectos crónicos en los seres humanos: Puede causar efectos adversos reproductivos y defectos de nacimiento sobre la base de datos en animales. Puede afectar el material genético según pruebas hechas en animales.

Observaciones especiales sobre otros efectos tóxicos en el hombre: Aguda potenciales para la salud: Piel: Puede causar irritación de la piel. Ojos: Puede causar irritación ocular. Inhalación: Puede causar irritación de las vías respiratorias y de las mucosas con tos. Puede causar edema pulmonar y la inflamación de las amígdalas.

Ingestión: Causa irritación del tracto gastrointestinal con náuseas, vómitos y diarrea. Puede afectar el comportamiento (somnolencia, debilidad muscular), la respiración (disnea). Causa enfermedades de hipersensibilidad como fiebre, artralgia ampliación de los ganglios linfáticos y eosinofilia. Trombocitopenia trombótica, y poliarteritis nudosa mortal atribuida a la hipersensibilidad al yodo se han descrito.

Efectos crónicos potenciales para la salud: Puede conducir a la iodismo caracteriza por la salivación, secreción nasal, estornudos, conjuntivitis,

fiebre, dolor de cabeza, laringitis, bronquitis, estomatitis, parotiditis, anemia y erupciones en la piel. La ingestión crónica también puede afectar el metabolismo (anorexia), y las glándula tiroides (hipotiroidismo, bocio). Además, la ingestión de yoduros (en animales) durante el embarazo ha resultado en la muerte fetal y bocio grave en los recién nacidos.