

LIXIVIACIÓN DE MENAS AURÍFERAS CON SALES OXIDANTES EN MEDIO ÁCIDO MEDIANTE EL PROCESO SEVERO

M.Sc. Palacios C. Severo*

RESUMEN

El trabajo de Lixiviación se desarrolla en Menas, Concentrados y Material Refractario (sulfurado), en pulpa o partículas (agitación o pilas) a temperatura ambiente con tiempo de lixiviación máximo de doce horas, usando como medio lixivante el ácido sulfúrico concentrado adicionado sales oxidantes como los cloruros y nitrato de sodio o nitrato de amonio en distintas proporciones. Los resultados obtenidos respecto a la recuperación de oro alcanzan el 98%.

Si el oro está encapsulado en el cuarzo o arena aurífera, deberá adicionarse fluoruro de sodio (nunca usar el calcio, porque forma yeso que entorpece el proceso) con la finalidad de disolver el cuarzo, no disuelve ni forma complejos con el oro, además sirve para dejar en libertad metales nobles como el titanio, platino, talio, germanio, etc. los cuales luego son recuperados con el medio lixivante al cual he denominado Proceso SEVERO.

La adición de sales a la pulpa ácida, tiene por finalidad producir cloro y agua regia *in situ*, lixivante energético para recuperar elementos nobles de concentrados o minerales auríferos.

Palabras claves: sales oxidantes, cloro nascente, agua regia *in situ*, hidrometalurgia.

ABSTRACT

The work of leaching is developed in Fewer, Concentrated and Refractory Material (sulfured), in pulp or particles (agitation or piles) to ambient temperature in advance of maximum leaching of twelve hours, using like half lixivante the acid sulfuric concentrate added salts oxidizers like the chlorides and nitrate of sodium or ammonium nitrate in different proportions. The results obtained regarding the recovery of gold reach 98%.

If the gold is encapsulated in the quartz or auriferous sand, fluoride of sodium will be added (never to use the calcium, because it forms plaster that hinders the process) with the purpose of dissolving the quartz, it doesn't dissolve neither complex form with the gold, it is also good to leave in you liberate noble metals as the titanium, platinum, talio, germanium, etc., those which then are recovered with the means lixivante to which I have denominated SEVERO Process.

The addition of salts to the sour pulp, has for purpose to produce chlorine and regal water in situ, energetic lixivante to recover noble elements of concentrated or auriferous minerals.

Key words: salt oxidizers, nascent chlorine, aqua regia *in situ*, Hydrometallurgy.

I. INTRODUCCIÓN

El cianuro de sodio ha sido el reactivo de lixiviación preponderante para el oro, debido a su excelente extracción de una gran variedad de me-

nas y su bajo costo. Si bien el cianuro es un lixivante poderoso para oro y plata, no es selectivo y forma compuestos complejos con una variedad de iones metálicos y minerales.

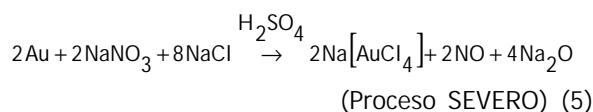
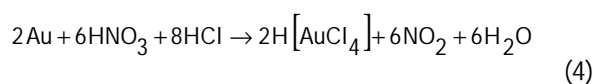
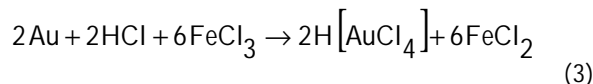
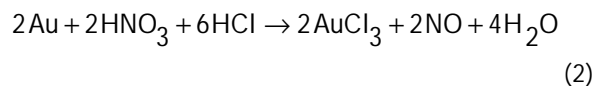
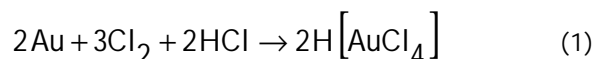
* Consultor Metalúrgico: UNJBG-FAIM – Proyecto Minero Metalúrgico
Gerente Operaciones Cía. Minera Aurífera Golden Fishing S.A.
espc01@hotmail.com, Celular 01-995-5021

Las velocidades de cianuración son relativamente lentas y la industria ha estado investigando reacciones de lixiviación de oro más rápidas, que sean capaces de alcanzar extracciones de oro muy altas. Debido al elevado valor del metal amarillo, incluso pequeños incrementos en la recuperación son siempre preferibles para mejorar la velocidad de lixiviación.

Por otro lado la aplicación de los métodos hidrometalúrgicos en el oro, especialmente la lixiviación cianurada, que tiene una aplicación mayoritaria en el tratamiento de minerales oxidados, ha dado lugar al desarrollo de técnicas ecológicas e innovadoras de lixiviación, extracción por carbón activado, extracción por solventes y electrodeposición del oro, con la finalidad de obtener cátodo de oro de gran pureza.

II. METODOLOGÍA

LIXIVIACIÓN DEL ORO EN DIVERSOS MEDIOS ÁCIDOS



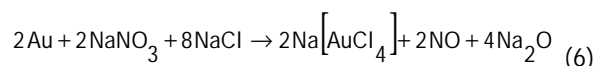
PROCESO OPERATORIO DE LIXIVIACIÓN

El presente proceso es innovativo y ecológico para la recuperación de oro de menas, concentrados y material refractario (sea por agitación, en pilas o inundación), el cual se ha patentado como Proceso SEVERO. La lixiviación se realiza mediante la adición de sales oxidantes en medio ácido y tiene las siguientes ventajas frente a los procesos convencionales:

- ✓ Alta sensibilidad a elementos incrustados en las menas de Pb, Cu, Zn, Sb, etc. No interactúan con el azufre residual liberándolo del proceso.

- ✓ Alta recuperación del oro y elementos nobles: platino, paladio, iridio, rodio, osmio, rutenio, titanio, germanio, talio, etc. de las arsenopiritas y calcopiritas.
- ✓ Recuperación satisfactoria del oro de menas refractarias.
- ✓ Regeneración del lixivante adicionando sales y precipitando sales.

Las sales con el oro forman un complejo aniónico en medio ácido, siendo su mecanismo de reacción:

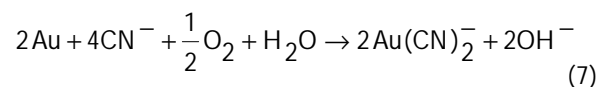


Esta reacción es rápida y logra extracciones de oro hasta un 98%. La principal ventaja es que se recicla la solución lixivante. Además, no se genera gas de dióxido de nitrógeno que es venenoso y tóxico.

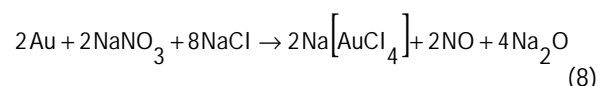
QUÍMICA DE LA LIXIVIACIÓN

Las reacciones de lixiviación del oro con cianuro y sales oxidantes son mostradas a continuación:

CIANURADO



SALES OXIDANTES



Las ventajas existentes para el proceso en estudio son:

- ✓ La reacción con sales oxidantes utiliza como lixivante el nitrato y cloruro de sodio formando, por la reacción con el medio ácido, el cloruro de nitrosilo NOCl. Por lo tanto, cinéticamente la lixiviación con sales oxidantes es función de la concentración del ácido y sales.
- ✓ Las sales disueltas del oro forman compuestos complejos ($\text{H}[\text{AuCl}_4]$, $\text{Au}[\text{AuCl}_4]$) de oro (I) y (III) estables en el medio. Las sales forman un ligando de cloruro y nitrosilo con el oro.

Para la recuperación del oro, plata, titanio, germanio, talio, platino, etc. del mineral, el costo de las sales es insignificante.

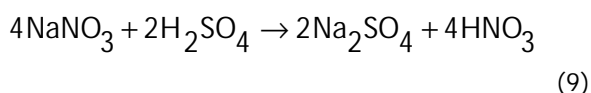
La recuperación del oro del medio lixiviante se desarrolló por cementación, carbón activado, extracción por solventes, reducción gaseosa o electrodeposición.

MECANISMO DE REACCIÓN

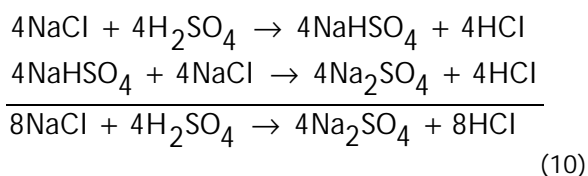
Si en la mena aurífera existe plata, cobre, rutilo, germanio, platino, titanio, talio, etc. dichos elementos valiosos son lixiviados bajo las siguientes semirreacciones:

SEMIRREACCIONES

El ácido nítrico se forma mediante la interacción del nitrato de sodio, amonio o potasio, adicionando ácido sulfúrico concentrado, siendo el mecanismo de reacción:



Para obtener ácido clorhídrico se hace reaccionar cloruro de sodio, cloruro cuproso, cloruro férrico o cualquier cloruro adicionando ácido sulfúrico concentrado, siendo el mecanismo de reacción en dos etapas:



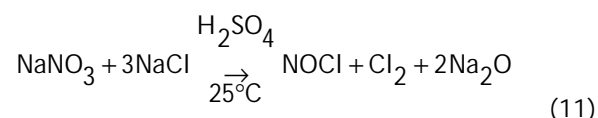
Notará que el cloruro de sodio en reacción con el ácido sulfúrico concentrado primeramente forma bisulfato, en una segunda reacción recién forma sulfato de sodio; así mismo, en la reacción existe un exceso de cloruro de sodio el cual forma un exceso de ácido clorhídrico, y se convierte en benefactor para la lixiviación de los metales nobles (especialmente para la lixiviación de la plata) presentes en el mineral.

El nitrato de sodio o potasio es de calidad industrial (fertilizante) o comercial, el cual interactúa con el medio ácido produciendo ácido nítrico naciente *in situ*. El cloruro de sodio, de igual manera, es de calidad comercial.

Dichas reacciones favorecen en el proceso para poder lograr formar el cloruro de nitrosilo. La formación de agua regia *in situ* es mucho más energética que el agua regia obtenida al hacer reaccionar el ácido nítrico y clorhídrico concentrado, ya que el agua

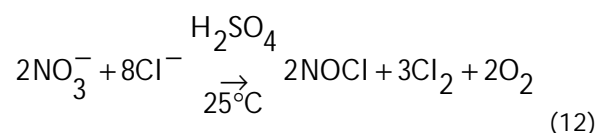
regia a partir de sales oxidantes se genera en el medio, de tal manera que disuelve todo el material valioso sin eliminarse (evaporarse) como ocurre con los ácidos comunes.

La generación de cloruro de nitrosilo, NOCl, se desarrolla al hacer reaccionar las sales oxidantes en el medio ácido, es necesario controlar la cantidad de las sales, ya que un exceso del nitrato genera la formación de gas NO₂, el exceso de cloruro de sodio, genera la formación de compuestos de cloro (indeseables en el medio). La ecuación que se adjunta a continuación es recomendable para desarrollar el presente proceso.



REACCIÓN DEL LIXIVIANTE

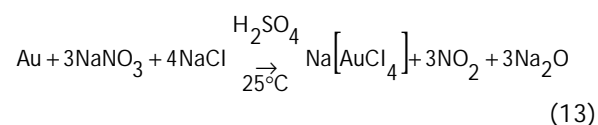
La reacción general del proceso de lixiviación se desarrolla bajo:



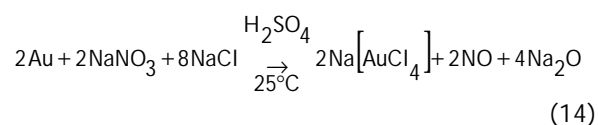
Siendo el cloruro de nitrosilo, NOCl, parte importante en el proceso de formación del agua regia en el medio.

REACCIÓN CON EL MINERAL AURÍFERO

La interacción del mineral aurífero con el medio lixiviante se desarrolla bajo la reacción:



Dicha reacción no es recomendable por la generación del gas NO₂, que es altamente tóxico, por lo que se ha desarrollado la siguiente reacción química que es bastante favorable para el proceso de lixiviación con sales oxidantes:

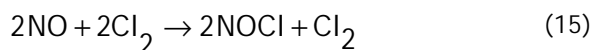


Notará que se obtiene NO, óxido nítrico, el cual luego es regenerado a cloruro de nitrosilo, dicho mecanismo lo vemos en el siguiente párrafo.

Podrá establecer usted amable lector que la adición de las sales oxidantes es muy importante en el presente proceso, por lo que es necesario dosificar adecuadamente de tal manera evitar la contaminación del medio ambiente, ya que el presente proceso es ecológico, y loable ya que se regenera la solución lixivante para procesos posteriores de lixiviación de mineral fresco.

RECICLADO DEL ÓXIDO NÍTRICO

Dicha reacción es espontánea ya que la presencia del ion cloro (en exceso) en el medio interactúan con el óxido nítrico y genera cloruro de nitrosilo y cloro naciente, por lo tanto el gas nitrosilo siempre estará presente en dicho medio lixivante, bajo la siguiente reacción:



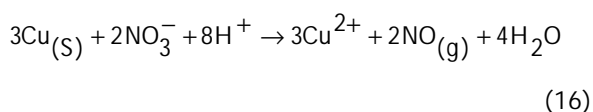
El óxido nítrico (NO), a pesar de su carácter endotérmico, es perfectamente estable en condiciones normales. Es un gas incoloro, relativamente, es poco soluble en agua, y no se combina con ella. Entrega su oxígeno con gran dificultad.

El óxido nítrico se combina directamente con el oxígeno. El dióxido de nitrógeno (NO₂), es un gas de color pardo, que se condensa fácilmente formando un líquido que hierve a +21°C. El NO₂ es un agente oxidante muy poderoso.

El principal producto resultante de la reducción del ácido nítrico moderadamente fuerte, es el óxido nítrico y del concentrado, el dióxido de nitrógeno.

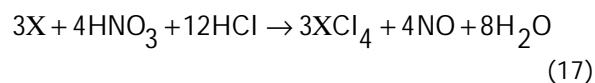
Si el proceso se lleva a cabo en disoluciones no muy concentradas, de los gases formados por descomposición del ácido nítrico solo se desprende óxido nítrico, puesto que el dióxido de nitrógeno, al reaccionar con el agua, da ácido nítrico y óxido nítrico.

Nota: El cobre reacciona con el ácido nítrico concentrado dando el gas dióxido de nitrógeno, de color pardo rojizo, mientras que con el mismo ácido diluido forma el óxido nítrico, incoloro:



El agua regia obtenida a partir de sales oxidantes *in situ*, tiene acción mucho más energética que el obtenido por la mezcla de ácidos. El oro, platino,

titanio, germanio, paladio, iridio, rodio, osmio, rutenio son disueltos para dar los compuestos clorurados, según el mecanismo de reacción:

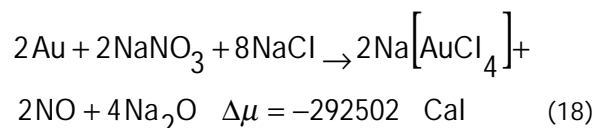


Nota: El principal componente activo del agua regia se constituye, por una parte, el cloro naciente, y por otra, el cloruro de nitrosilo, que entrega su cloro con facilidad.

TERMODINÁMICA DE LIXIVIACIÓN DEL ORO

La termodinámica define el estado de equilibrio a que deberá llegar finalmente la reacción de lixiviación en las condiciones dadas, aunque en la práctica no se logre alcanzar el equilibrio.

La termodinámica nos indica qué reacciones son posibles, y cuales no, por lo tanto para las ecuaciones se obtuvieron los siguientes valores:



Dicha reacción es factible ya que la energía libre es espontánea, no requiriendo energía externa para su formación.

Por tal motivo es importante estudiar la termodinámica primero, antes de desarrollar cualquier trabajo que pueda entorpecer el estudio.

Los diagramas de estabilidad (E-pH) son representaciones termodinámicas del sistema que permiten visualizar de una manera global las zonas de estabilidad de los elementos y compuestos basándose en el pH y el potencial del proceso de oxidación y reducción.

Dichas variables son tan importantes para mostrar la extensión de las reacciones. Las cuales se pueden expresar mediante ecuaciones en que intervienen las variables mencionadas.

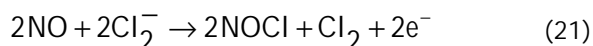
Siempre hay que tener presente que los diagramas representan, en cuanto a exactitud, por los datos experimentales un aproximado a la realidad. En dicho caso no se considera la cinética del proceso involucrado.

Los diagramas de estabilidad son herramientas muy valiosas para el estudio de los procesos de lixiviación. El conocimiento real de las variables per-

ferencia de masa) del cloruro y el nitrato de sodio disuelto a través de la capa límite de la interfase sólido-líquido (figura N.º 2). La velocidad de disolución se incrementa con la concentración del cloruro de sodio, el oro puede llegar a pasivarse (por la presencia del cloruro de plata-insoluble en el medio, esto debido a que parte del cloruro disuelto interactúa con la plata por ello se recomienda un exceso de cloruro de sodio) y disminuir su velocidad de disolución a un nivel más bajo y constante.

A bajas concentraciones de nitrato de sodio, el cloruro de sodio tiene efecto sobre la velocidad de disolución del oro, mientras que a elevadas concentraciones de nitrato de sodio, donde la reacción no está controlada por el nitrato, la velocidad de reacción depende del cloruro de nitrosilo, NOCl. Las reacciones que ocurren en el proceso están ilustradas en la figura N.º 2, tanto para el área anódica como catódica.

La descarga de óxido nítrico, NO, es instantánea y conduce a una acumulación de cloruro de nitrosilo bajo la siguiente reacción:



En la solución. La lixiviación de minerales auríferos con sales oxidantes es controlada por la difusión. La rapidez de reacción involucra difusión en la capa líquida, de los iones cloro para capturar al ion oro y formar el complejo de cloruro de oro, esto debido a la alta concentración de cloruro de sodio y el ion cloruro causa la alta concentración de cloruro de nitrosilo (figura N.º 3).

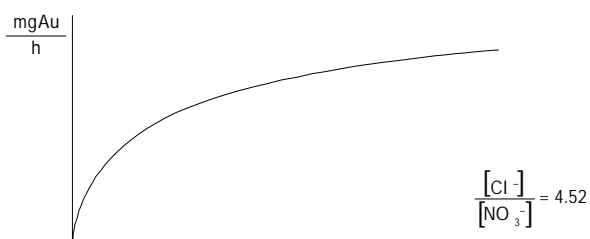


Figura N.º 3. La rapidez de reacción involucra la difusión de la capa líquida de los iones cloro para capturar el ion oro y formar el complejo de cloruro de oro

$$\frac{[\text{Cl}^-]^4}{[\text{NO}_3^-]} = 4 \frac{D_{\text{NO}_3^-}}{D_{\text{Cl}^-}} = 4 \frac{2.59 \times 10^{-5}}{2.29 \times 10^{-5}} = 4.52 \quad (22)$$

Por lo tanto, se alcanza la velocidad límite, cuando la razón de concentración de iones nitrato a cloruro en solución es igual a cuatro y punto cinco.

Lo cual corrobora que la ecuación estequiométrica está bien aplicada porque se requiere una relación de 1:4 de nitrato de sodio a cloruro de sodio.

La razón de las dos concentraciones es de gran importancia. Si se usa un exceso de solución concentrada de cloruro, respecto al nitrato disuelto, éste es desperdiciado.

Por otro lado, si se alcanza a saturar de iones cloruro una solución pobre de ion nitrato, la velocidad de lixiviación será lenta. Para la máxima velocidad de lixiviación con sales oxidantes en un proceso productivo, es importante el control de la concentración de nitrato y cloruro de sodio disuelto en un radio molar óptimo (igual o cercano a cuatro y medio).

Lo cual nos confirma que la ecuación estequiométrica de la lixiviación con sales oxidantes requiere una relación de uno a cuatro para establecer la disolución del oro presente en el mineral.

III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los experimentos de lixiviación con sales oxidantes a minerales auríferos procedentes de la mina Huaracane, Moquegua, fueron realizados para establecer el efecto de los factores sobre la disolución del oro metálico.

Todas las pruebas se desarrollaron a temperatura ambiente, y a un tiempo establecido.

El mineral previamente fue molido con la finalidad de liberar al oro, ya que dicho material se encuentra en forma microscópica conjuntamente con el óxido de hierro, con una ley promedio de 15 g/t, las sales oxidantes son de calidad comercial (fertilizantes).

En todas las pruebas se llegan a desarrollar reacción exotérmica con el fin de acelerar el proceso de disolución del oro.

El contenido de oro en la solución lixiviada se analizó por electrogravimetría. Para determinar el efecto de los factores se estudió a dos niveles la concentración de las variables con el fin de no interferir en el análisis del oro.

FACTORES	NIVELES	
	-	+
A: H ₂ SO ₄	100	120
B: NaNO ₃	20	30
C: NaCl	70	90

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al concluir con las pruebas experimentales, se procedió analizar la extracción de oro del material aurífero, para lo cual se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS Plus, de cuyo tratamiento de datos se obtuvo la estimación de los efectos de cada uno de los factores siendo éste el resultado de dicho análisis:

ÁCIDO SULFÚRICO: El efecto de la concentración de ácido sulfúrico se estudia en el rango de 110 a 120, manteniendo constante la temperatura, el tiempo de lixiviación así como la agitación del proceso.

El efecto de la concentración de ácido sulfúrico es positivo con una pendiente pequeña, evaluando dicho factor podemos llegar a la siguiente conclusión: que dicho factor está en su mínimo nivel, debiendo ser maximizado hasta llegar al óptimo, a fin de poder obtener una máxima extracción de oro del material aurífero.

Comment: Proceso SEVERO
Estimated effects for Au

Average	=	98.6274
A: H2SO4	=	0.885365
B: NaNO3	=	1.48441
C: NaCl	=	-12.7076
AA	=	-7.32279
AB	=	0.25
AC	=	4.75
BB	=	-8.73692
BC	=	11.25
CC	=	-18.6366

NITRATO DE SODIO: Los resultados obtenidos al desarrollar el experimento factorial con el fin de establecer el efecto de dicho factor, se llega a la siguiente conclusión: si se incrementa fuera del rango establecido se generan gases tóxicos de dióxido de nitrógeno, altamente contaminante para el medio ambiente.

El objeto de adicionar nitrato de sodio es la generación de ácido nítrico, el cual al interactuar con el ácido clorhídrico genera agua regia *in situ*, compuesto altamente corrosivo, debiendo de controlarse la dosificación de dicha sal a fin de evitar la formación de gases tóxicos.

El efecto de la concentración del nitrato de sodio está en su nivel mínimo, debiendo maximizarse hasta llegar al óptimo y obtener buenas extracciones del material valioso.

CLORURO DE SODIO: La dosificación del cloruro de sodio es con la finalidad de producir cloruro de nitrosilo y cloro naciente *in situ*, los experimentos se llevaron a cabo manteniendo constante la temperatura, el tiempo de lixiviación así como la agitación.

La disolución del oro se incrementa al incrementarse la dosificación de dicha sal, la concentración tiene efecto significativo sobre la solubilidad del oro, debido a que el ion cloro tiene habilidades de formar especies complejas con el oro.

El efecto de dicha sal nos indica que está en su nivel máximo, indicándonos que al incrementarse sobre el máximo se disminuye la recuperación de oro.

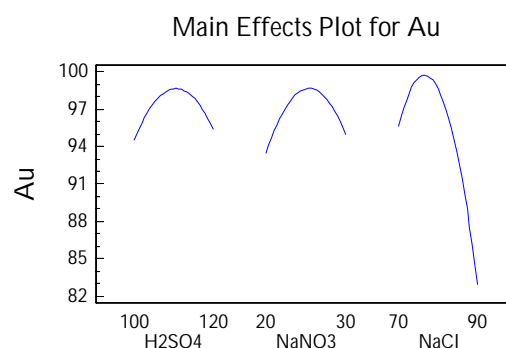


Figura N.º 4. Efectos medios de los factores en recuperación de oro, Proceso SEVERO

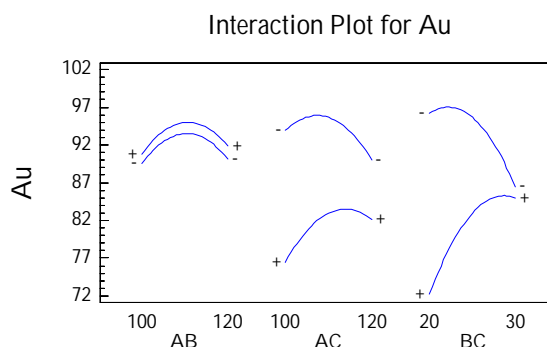


Figura N.º 5. Interacciones de factores, Proceso SEVERO

Tal como visualizamos el análisis gráfico del efecto medio podemos establecer que la mayor recuperación para el ácido sulfúrico y nitrato de sodio esté cercano al promedio, en cambio el cloruro de sodio está en su máxima concentración debiendo de ser disminuido hasta llegar al óptimo.

Entre los factores en estudio existe interacción, por lo que no es posible manipular cada factor independientemente, ya que todos los factores están entrelazados para poder desarrollar el Proceso SEVERO.

El análisis de varianza (ANAVA) confirma la importancia que tienen los factores, así mismo las interacciones y cuadraturas del proceso.

Analysis of Variance for Au - Proceso SEVERO

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A: H2SO4	2.6763	1	2.6763	0.04	0.8463
B: NaNO3	7.52312	1	7.52312	0.11	0.7456
C: NaCl	551.334	1	551.334	8.21	0.0186
AA	182.993	1	182.993	2.72	0.1333
AB	0.125	1	0.125	0	0.9665
AC	45.125	1	45.125	0.67	0.4337
BB	260.497	1	260.497	3.88	0.0805
BC	253.125	1	253.125	3.77	0.0842
CC	1185.25	1	1185.25	17.64	0.0023
Total error	604.753	9	67.1948		
Total (corr.)	2827.15	18			

R-squared = 78.6091 percent
R-squared = (adjusted for d.f. = 57.2181 percent

El modelo matemático, con un coeficiente de correlación aceptable, si igualamos a cero los tres factores, nos indica que la extracción de oro está en su máximo, debiendo ser regulado éste por las dosificaciones del ácido sulfúrico y las sales oxidantes.

$$Au = -566.86 + 6.13684 \cdot H_2SO_4 - 0.389635 \cdot NaNO_3 + 8.84891 \cdot NaCl - 0.036614 \cdot H_2SO_4^2 + 0.0025 \cdot H_2SO_4 \cdot NaNO_3 + 0.02375 \cdot H_2SO_4 \cdot NaCl - 0.174738 \cdot NaNO_3^2 + 0.1125 \cdot NaNO_3 \cdot NaCl - 0.093183 \cdot NaCl^2$$

En el análisis gráfico se visualiza que la máxima recuperación de oro se encuentra señalada por el signo más que está dentro de la zona (98 a 99% Au). Debiendo de dosificarse adecuadamente con el fin de llegar a dicha recuperación.

Contours of Estimated Response Surface

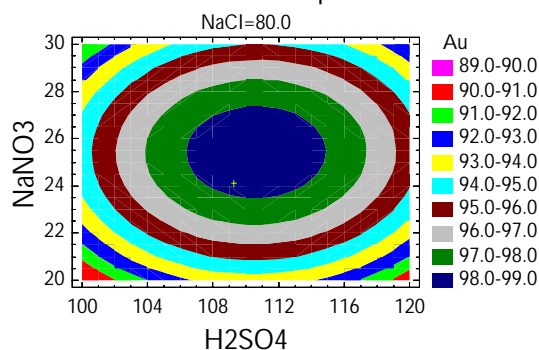


Figura N.º 7. Respuesta en el Plano de extracción de oro con punto óptimo, Proceso SEVERO.

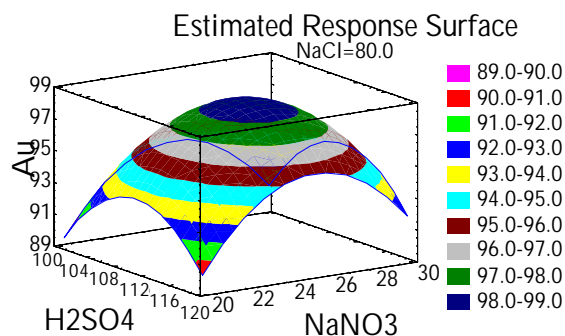


Figura N.º 8. Respuesta espacial de extracción de oro, Proceso SEVERO.

RECUPERACIÓN DE ION TETRACLOROAUROATO MEDIANTE RESINA ANIÓNICA espC02

La resina espC02, elaborada por el autor del presente estudio, trabaja a condiciones ambientales y depende de la concentración de la solución, una vez cargada con oro puede ser desorbida en una solución ácida.

OPERATIVIDAD DE ADSORCIÓN DE RESINA ANIÓNICA espC02

Wresina	=	1 a 5 gramos
Vsolución	=	200 a 500 ml
[Au]	=	5 a 100 mg Au/l
pH	=	< 1,7
T	=	ambiente
t	=	2 horas
% extracción	=	98%

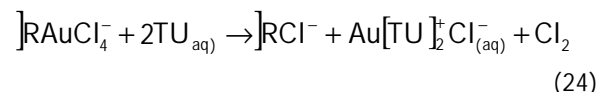
MECANISMO DE ADSORCIÓN



OPERATIVIDAD DESORCIÓN DE RESINA ANIÓNICA ESPC02

[HCl]	=	3,5 g/l
TU	=	10 g/l
T	=	ambiente
t	=	2 horas
pH	=	< 1,7

MECANISMO DESORCIÓN



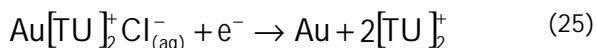
Las condiciones operativas con cinco gramos de resina por litro de solución recupera el 98% de oro en un tiempo estimado de dos horas.

REGENERACIÓN DE RESINA

La regeneración de la resina se desarrolla en medio acuoso, se utiliza una solución de ácido clorhídrico y tiourea, la resina se lava con agua para eliminar los contaminantes superficiales y se sumerge en la solución regenerante.

ELECTRODEPOSICIÓN DE ORO DE SOLUCIÓN DESORBIDA

El complejo oro(I)-tioúrea puede ser reducido electrolíticamente de acuerdo al siguiente mecanismo:



Esta es una reacción controlada por difusión con un rango de potencial catódico de -0,15 a -0,35V, la tioúrea, como tal, no contribuye a la reacción catódica del oro, pero su producto de oxidación, el disulfuro de formamidina, puede ser reducida sobre la superficie catódica.

Es necesario compartimientos separados (anódica y catódica) utilizando diafragmas, a fin de evitar dos situaciones:

- √ La deposición anódica de tioúrea y el resultado de la contaminación del depósito de oro con azufre
- √ La disolución del oro depositado por productos anódicos

Bajas densidades de corriente dan mejores eficiencias de corriente. El uso de ánodos de plomo minimiza la descomposición de la tioúrea. Se obtiene una máxima deposición del oro con altas velocidades de circulación del catolito.

V. CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados en las pruebas experimentales permiten plantear las siguientes conclusiones:

- √ Técnicamente es posible recuperar oro a partir de minerales por Lixiviación con sales Oxidantes en Medio Ácido (Proceso SEVERO).
- √ Las variables importantes del Proceso son las concentraciones de ácido sulfúrico, nitrato y cloruro de sodio, los cuales tienen la función de generar cloro naciente y agua regia *in situ*.
- √ La presencia del ion cloruro permite la formación de cloro naciente y cloruro de nitrosilo *in situ* (agua regia) que permite la formación del complejo aniónico tetracloroaurato e incrementa la solubilidad del oro.
- √ El presente proceso se desarrolla a condiciones ambientales, la solubilidad del oro está limitada por la dosificación adecuada de sales oxidantes y el ácido sulfúrico.

- √ Es posible restablecer el poder oxidante del medio incrementando sustancialmente las sales oxidantes y regulando el pH.
- √ La aplicación del presente Proceso en el ámbito industrial resultaría económica, ya que se regenera el medio lixivante y utiliza productos que se encuentran en el mercado local (fertilizantes).
- √ Los resultados obtenidos y condiciones de operación en la lixiviación son los siguientes:

CONDICIONES DE OPERACIÓN	
H ₂ SO ₄	109
NaNO ₃	24
NaCl	75
Temperatura	ambiente
Tiempo	12 horas
Tamaño de grano	-150 Tyler
Recuperación (oro)	99,82%

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Baes F. CH. (1978). The hydrolysis of cations. John Wile and Sons, New York.
2. Dutrizac J.E. (1992) "The leaching of sulfide mineral in chloride media". Hydrometallurgy, 29: 1-45.
3. Kalocsai G.I. (1984). Improvements in or relating to the dissolution of noble metals, Austral. Provisional Patent 3028/84.
4. Kerley B.J. (1981) Recovery of precious metals from difficult ores, U.S. Patent 4, 269, 622, May 26.
5. McDonald G.W. (1987). "The fate of gold in cupric chloride Hydrometallurgy". Hydrometallurgy, 18: 321-335.
6. Palacios C.S. (1994). Ingeniería de Lixiviación, CONCYTEC, 1994.
7. Palacios C.S. (1994). Lixiviación de Menas Auríferas con Sales Oxidantes en Medio Ácido (Proceso Severo).
8. Palacios C.S. (1993). "Simulation of dump leach", XXIV APCOM, Application of computers and operations research in the mineral industries; Montreal (Canadá).
9. Rose T.K. (1937). The Metallurgy of gold. Philadelphia, P.A: J.B. lippincott Co., 18: 76.
10. Tataru S. (1968). "Precipitation par cementation de I⁻ or en solutions acid". Rev. Roum. Chim.: 1043-49.

-
11. Van Weert G. (1992). "Reagent recovery in chloride Hydrometallurgy-some missing link", Hydrometallurgy, 29: 513-526.
 12. Von Michaelis. (1987). "The prospects for alternative leach reagents (for gold)". Eng. Min. J., June: 42-47.
 13. Winand R. (1991). "Chloride Hydrometallurgy", Hydrometallurgy, 27: 285-316.
 14. Tataru S. (1968). "Precipitación por cementación de l'or en soluciones acid". Rev. Roum. Chim.: 1043-49.
 15. Van Weert G. (1992). "Reagent recovery in chloride Hydrometallurgy-some missing link". Hydrometallurgy, 29: 513-526.
 16. Von Michaelis. (1987). "The prospects for alternative leach reagents (for gold)". Eng. Min. J., June: 42-47.
 17. Winand R. (1991). "Chloride Hydrometallurgy", Hydrometallurgy, 27: 285-316.