

Obtención de metales preciosos a partir de residuos sólidos mineros o relave

Recepción Enero 2009/ Aceptación Abril 2009

Alfonso Romero Baylón¹
 Silvana Flores Chávez²
 Rosa Medina Sandoval³

RESUMEN

Este estudio hace referencia a la recuperación de metales preciosos, como el oro y la plata presentes en los relaves sulfurados de los residuos mineros abandonados, mediante el empleo del Tratamiento Hidrometalúrgico, tal como lo constituye la lixiviación por cianuración por empozamiento. Este es un método de curado que involucra el empleo de cemento para aglomerar el oro y de esta manera recuperar valores de oro y plata, con la finalidad de darle un valor agregado al relave.

El estudio involucra el análisis químico inicial de tres puntos de muestreo críticos in situ: P190, P192, P197, cuyas leyes iniciales son: 0.514 gr/TC, 0.987 gr/TC, 0.719 gr/TC respectivamente, que posteriormente fueron sometidos a pruebas experimentales de Lixiviación por cianuración, con la finalidad de obtener la recuperación de metales valiosos de oro presente en los tres puntos mencionados.

PALABRAS CLAVE: recuperación hidrometalúrgica, lixiviación por cianuración.

OBTAINING PRECIOUS METAL FROM MINING SOLID WASTES

ABSTRACT

This study tell us about the recovery of precious metals like: gold and silver which are present in the mining tailing through the Hidrometallurgy Treatment such as the leaching by cyanidation in ponds, which is a method of curate that involves the use of cement for agglomerating the gold and in this way recovering values of gold and silver with the purpose of giving an aggregate value to the tailing.

The study involves the initial chemical analysis of the three critical points of sampling in situ: P190, P192, P197, whose initials grades are: 0.514 gr/TC, 0.987 gr/TC, 0.719 gr/TC respectively, that then there were subjected to the experimental tests of leaching by cyanidation with the purpose of obtaining the recovery of valuable metals of gold present in the three point above mentioned.

KEYWORDS: Hidrometallurgy recovery, leaching by cyanidation

I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio, se realizó con la finalidad de darle valor agregado a este importante pasivo ambiental, en cuanto a su valoración económica.

El objetivo es recuperar la máxima concentración de oro a partir de un relave de flotación refractario con elevado contenido de metales pesados. Para ello se tiene en consideración el tratamiento de cianuración por empozamiento, empleando el método de curado del relave. Este tiene como base el empleo de cemento, que tiene la propiedad de encapsular a los metales pesados presentes en el relave. Estos son considerados como "cianicidas", elementos que dificultan la recuperación de oro, por el consumo de cianuro empleado en el proceso.

Uno de los principales factores que afectan la velocidad de disolución del oro en la cinética de la reacción de todo sistema de lixiviación se fundamenta en el transporte de masa y la química de la cianuración que se basa en el hecho de que bajo condiciones oxidantes, el oro y la plata se disuelven y acomplejan en soluciones de cianuros alcalinos.

La lixiviación con cianuro por empozamiento se fundamenta en la química de la cianuración que se basa en el hecho de que bajo condiciones oxidantes, el oro y la plata se disuelven y acomplejan en soluciones de cianuros alcalinos.

En la reacción, el ión CN⁻ es el que tiene la fuerza disolvente y la base alcalina de sodio le da la estabilidad química al compuesto. Con respecto a esta reacción química, cabe resaltar la principal ocurrencia mineralógica del oro, el cual puede presentarse como oro nativo y fino en forma de inclusiones dentro de otros minerales: piritas, arsenopiritas, calcopiritas, esfaleritas, limonitas, cuarzo y en materia carbonosa, siendo estos componentes de la mena de oro, un factor importante que afecta la disolución del oro.

1 Docente de la FIGMMG, aromerob@unmsm.edu.pe
 2 Miembro del IIGEO
 3 Docente de la FIGMMG

Obtención de metales preciosos a partir de residuos sólidos mineros o relave

II. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Aspectos generales

Los residuos sólidos mineros han sido y siguen siendo un problema de contaminación del medio físico, por ello, el sector de Energía y Minas se ha preocupado en dar solución a este problema mediante la promulgación de la Ley de Pasivos Ambientales, Ley General de Aguas, y la aprobación de sus respectivos reglamentos, entre otros.

Actualmente estos relaves en su mayoría se encuentran alterando el medio natural y produciendo impactos ambientales negativos, además se presentan en cantidades considerables. En la mayoría de las regiones los niveles de contaminación están fuera de control y la principal causa de este ineficiente control es el escaso trabajo de campo desarrollado por la Universidad o el sector de Energía y Minas. Estos trabajos permitirían involucrar la investigación de la zona de la cuenca de los ríos, lo cual conducirá a la promoción de un eficiente aprovechamiento de las Tecnologías de Control, Neutralización, Remediación y Mitigación, que permita la instauración de tecnologías limpias y de limpieza en la zona de estudio.

Cabe resaltar que la información referente a los tratamientos hidrometalúrgicos de recuperación de oro a partir de relave polimetálico mediante procesos de cianuración de los relaves es escasa; casi no existen estudios ni informes técnicos sobre este tema.

El estudio muestra que la relavera polimetálica ubicada en el distrito de Ticapampa, en la cuenca del río Santa, tiene un impacto negativo desde 1900, por las labores mineras de Collaracra, el Triunfo y la Florida. En 1908 se puso en funcionamiento la planta concentradora y la fundición de la empresa minera "The Anglo French Ticapampa Silver Mining Co." y en 1967 inició su labor minera de explotación de plata, plomo y zinc y puso en funcionamiento su planta concentradora, a cargo Compañía Minera Alianza S.A. Empresa Nacional. Como consecuencia de la realización de labores mineras y de las actividades de beneficio de minerales, se tiene cuatro canchas de relaves polimetálicos y filtraciones de agua de relavera, las cuales, con el vertimiento de sus drenajes, afectan de manera directa al cuerpo de agua receptor de la cuenca del río Santa. Esto ha ocasionado que se haya convertido en un lugar sin indicio de vida acuática, el consumo de esta agua es nocivo para los seres vivos.

El propósito de la investigación es dar un valor agregado al relave polimetálico, mediante la realización de un tratamiento metalúrgico al relave polimetálico, el cual es un relave producto de operaciones de flotación de sulfuros tales como: esfalerita, galena, pirita, calcopirita.

2.2 Minerales refractarios

Un mineral refractario se define como aquel que no permite recuperaciones de oro superiores al 70-80% por métodos de cianuración convencional aún después de haberse llevado a cabo una fina molienda. Por otro lado, también se puede considerar como refractario un mineral que, aún logrando recuperaciones al 80%, produce relaves de cianuración con leyes tan altas como 3-10 g/t de oro.

- La naturaleza de la refractariedad puede ser muy variada y es consecuencia de diversas causas entre las que pueden citarse las siguientes:
- Encapsulamiento físico: Oclusión o atrapamiento de partículas submicroscópicas de oro en la matriz de sulfuros, lo que impide el contacto entre el cianuro y el oro. Este tipo de encapsulamiento es común en menas portadoras de sulfuros tales como pirita y arsenopirita.
- Consumo excesivo de cianuro: La presencia de sulfuros y compuestos cianicidas afecta el potencial redox de las soluciones y propicia la pasivación del oro durante la cianuración, consumiendo excesivo cianuro y oxígeno.
- Limitación de oxígeno: Ciertos iones entre los que se encuentran el ión ferroso, el ión sulfuro, ión sulfato, etc., tienden a consumir el oxígeno cuando están disueltos, lo que limita la cantidad de este elemento, fundamental para el proceso de cianuración.
- Presencia de materiales carbonáceos en el mineral: Residuos de hidrocarburos pesados, carbón lignítico, carbón grafitico o amorfo, etc., tienen la capacidad de absorber los complejos solubles de oro perjudicando así la recuperación del metal.
- Revestimiento de la superficie de las partículas de oro: Debido a la formación de capas de diversos compuestos, principalmente óxidos de hierro, antimonio o plomo, lo que impide la disolución del metal.

- Asociación del oro y compuestos auríferos con telurio, arsénico o bismuto formando compuestos de difícil disolución.

2.3 Cianuración

La cianuración es el proceso electroquímico de disolución del oro, plata y algunos otros componentes que se pueden encontrar en un mineral aurífero. Para ello se usa una solución alcalina de cianuro, que forma aniones complejos de oro, estables en condiciones acuosas. Este proceso implica una serie de reacciones que ocurren en la superficie del sólido. Por lo que se afirma que el principio básico de la cianuración es un medio donde las soluciones alcalinas débiles tienen una acción directa preferencial sobre el oro y la plata contenidos en el mineral.

III. MÉTODO

3.1 Ensayos

Se realizaron en el laboratorio metalúrgico de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica.

a) Procedimiento:

- Se pesó 100 gramos de muestra de relave.
- Se empleó una malla N° 200.
- Se vertió el relave en la malla.
- Se lavó el relave en la malla.
- Se pesó el relave retenido en la malla.
- Se procedió a hacer los cálculos de eficiencia de malla, según la fórmula:

$$\% \text{ Eficiencia de malla: } \frac{\text{Peso Pasante}}{\text{Peso Inicial}} * 100$$

b) Experimentos de cianuración del residuo sólido minero



Fig.1: Instrumentos de cianuración

Se realizaron cuatro pruebas de cianuración por empozamiento, las cuales se basan en el principio básico de la cianuración estática del relave durante diferentes tiempos de contacto, entre los cuales tenemos: 3 horas, 24 horas, 72 horas y 94 horas. La Figura 1 muestra los instrumentos utilizados en el laboratorio para realizar las pruebas de cianuración estática.

3.2 Prueba de cianuración de 94 horas

Condición de trabajo

Relave	200 gr
Agua	600 ml
Dilución (L/S)	3/1
pH inicial de la muestra del punto 190:	11.5
pH inicial de la muestra del punto 192:	11.5
pH inicial de la muestra del punto 197:	11.5
Cal	4 gr
% Cal (P190):	29.5
% Cal (P192):	12.6
% Cal (P197):	10.8
Cianuro de Sodio	2 gr
% NaCN (P190) =	0.215
% NaCN (P192) =	0.102
% NaCN (P197) =	0.15

CUADRO 1. RESULTADO DE PRUEBAS DE RELAVE CIANURADO DURANTE 94 HORAS

Muestras de Relave	Inicial	Pruebas(94 H)
	Au(ppm)	Au(ppm)
P-190	0.514	0.202
P-192	0.987	0.419
P-197	0.719	0.588

SOLUCIÓN RICA

Muestras de Relave	Inicial	Pruebas(94 H)
	Ag(ppm)	Ag(ppm)
P-190	26.9	26.7
P-192	20.5	14.3
P-197	16.1	12.2

3.3 Pruebas de cianuración de 72 horas

Para la realización de esta prueba, se emplearon las muestras de los 3 puntos de muestreo (190, 192 y 197), en una cantidad de 200 gr., empleando un volumen de agua de 600 ml, un peso de cal de 4 grs. y una cantidad de cianuro de sodio igual a 2

Obtención de metales preciosos a partir de residuos sólidos mineros o relave

gr. De esta manera se obtuvo la mezcla necesaria para poder llevar a cabo la cianuración por empozamiento.

Condición de trabajo

Prueba de cianuración de 94 horas

Relave	200 grs.
Agua	600 ml
Dilución (L/S)	3/1
pH inicial de la muestra del punto 190:	11.5
pH inicial de la muestra del punto 192:	11
pH inicial de la muestra del punto 197:	11.5
Cal	4 gr
% Cal (P190):	13
% Cal (P192):	6
% Cal (P197):	11.5
Cianuro de Sodio	2 gr
% NaCN (P190) =	0.154
% NaCN (P192) =	0.69
% NaCN (P197) =	0.198

CUADRO 2. RESULTADO DE PRUEBAS DE RELAVE CIANURADO DURANTE 72 HORAS

Muestras de Relave	Inicial Au(ppm)	Pruebas (72 H) Au(ppm)
P-190	0.514	0.213
P-192	0.987	0.499
P-197	0.719	0.56

SOLUCIÓN RICA

Muestras de Relave	Inicial	Pruebas (72 H)
	Ag(ppm)	Ag(ppm)
P-190	26.9	26
P-192	20.5	9.4
P-197	16.1	10.3

3.4 Pruebas de cianuración de 24 horas

Para la realización de esta prueba, se emplearon las muestras de relave de los 3 puntos de muestreo (190, 192 y 197), con la finalidad de realizar un curado del relave mediante la formación de pellets. Para ello se empleó una cantidad de 200 gr. de re-

lave y 50 gr. de cemento y la adición de 60 ml. de agua. Una vez mezclados en un balde se procedió a secarlos en la mufla durante 10 minutos, luego se mezcló en una botella de 3 litros para formar la mezcla de cianuración. Esta consistía en un volumen de agua de 600 ml, un peso de cal de 4 gr. y una cantidad de cianuro de sodio igual a 2 gr. Con esta mezcla se pudo llevar a cabo la cianuración por empozamiento.

3.5 Prueba de cianuración de 24 horas

Condición de trabajo

Relave	200 gr
Agua	600 ml
Dilución (L/S)	3/1
pH inicial de la muestra del punto 190:	12
pH inicial de la muestra del punto 192:	12
pH inicial de la muestra del punto 197:	12
Cal	4 gr
% Cal (P190):	14
% Cal (P192):	12
% Cal (P197):	10.4
Cianuro de Sodio	2 gr
% NaCN (P190) =	0.275
% NaCN (P192) =	0.22
% NaCN (P197) =	0.212

CUADRO 3. RESULTADO PRUEBAS DE RELAVE PELLETIZADO CON CEMENTO CIANURADO POR EMPOZAMIENTO DURANTE 24 HORAS

Muestras de Relave	Inicial	Pruebas(24 H)
	Au(ppm)	Au(ppm)
P-190	0.514	25.4
P-192	0.987	12
P-197	0.719	13.4

SOLUCIÓN RICA

Muestras de Relave	Inicial	Pruebas (24 H)
	Ag(ppm)	Ag(ppm)
P-190	26.9	0.151
P-192	20.5	0.452
P-197	16.1	0.508

3.6 Pruebas de cianuración de 3 horas

Para la realización de esta prueba, se emplearon las muestras de relave de los 3 puntos de muestreo (190, 192 y 197), con la finalidad de realizar un curado del relave mediante la formación de pellets, empleándose para ello una cantidad de 200 gr. de relave y 50 grs. de cemento y la adición de 60 ml de agua., una vez mezclados en un balde se procede a secarlos en la mufla durante 10 minutos, luego se mezcla en una botella de 3 litros, para formar la mezcla de cianuración, la cual empleará un volumen de agua de 600 ml, un peso de cal de 4 grs. y una cantidad de cianuro de sodio igual a 2 grs, obteniéndose de esta manera la mezcla necesaria para poderse llevar a cabo la cianuración por empozamiento.

3.7 Prueba de cianuración de 3 horas

Relave	200 gr
Agua	600 ml
Dilución (L/S)	3/1
pH inicial de la muestra del punto 190:	12
pH inicial de la muestra del punto 192:	12
pH inicial de la muestra del punto 197:	11
Cal	4 gr
% Cal (P190):	9.4
% Cal (P192):	15.4
% Cal (P197):	11.4
Cianuro de Sodio	2 gr
% NaCN (P190) =	0.489
%NaCN (P192) =	40.1
% NaCN (P197) =	45

CUADRO 4. RESULTADO DE PRUEBAS DE RELAVE PELLETIZADO CON CEMENTO CIANURADO POR EMPOZAMIENTO DURANTE 3 HORAS

Muestras de Relave	Inicial	Pruebas(3 H)
	Au(ppm)	Au(ppm)
P-190	0.514	19.6
P-192	0.987	10.4
P-197	0.719	10.6

SOLUCIÓN RICA

Prueba N°	Granulometría Relave	Ley de Relave		Recuperación	
		Au (ppm)	Ag (pm)	Au %	Ag %
P-190	-200 47%	19.086	26.737	97.38	99.39
P-192	-200 45%	9.413	20.102	90.51	98.06
P-197	-200 60%	9.881	15.68	93.22	97.39

Fuente: Aporte del autor.

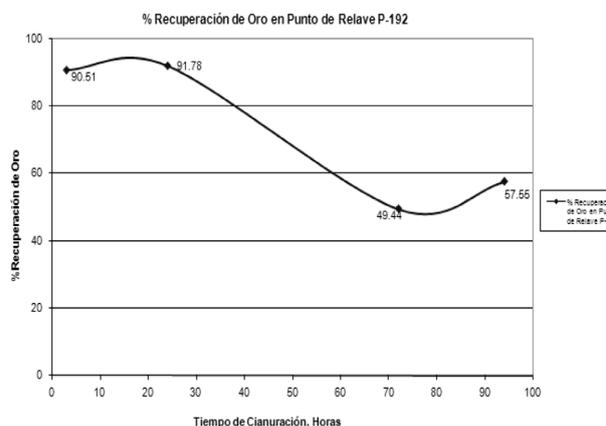
IV. RESULTADOS

El siguiente cuadro muestra los resultados obtenidos de los experimentos realizados.

CUADRO 5: ENSAYOS POR TIEMPO

Muestras de Relave	Inicial	Pruebas (94 H)	Pruebas (72 H)	Pruebas (24 H)	Pruebas (3 H)
	Au(ppm)	Au(ppm)	Au(ppm)	Au(ppm)	Au(ppm)
P-190	0.514	0.202	0.213	25.4	19.6
P-192	0.987	0.419	0.499	12	10.4
P-197	0.719	0.588	0.56	13.4	10.6

CURVAS DE RECUPERACIÓN DE ORO DE RELAVE P-190 CURVAS DE RECUPERACIÓN DE ORO DE RELAVE P-192



- En el caso del relave cianurado de los puntos P-190 y P-192, presentan menores valores de consumo de cianuro de sodio cuando están cianurados durante 72 horas. Sus valores son 0.154% y 0.069%, respectivamente.
- En el caso del relave cianurado de los puntos P-190 y P-192, presentan mayores valores de consumo de cianuro de sodio cuando están cianurados durante 94 horas. Sus valores son 0.215% y 0.102%, respectivamente.
- El relave cianurado del punto P-197 presenta un menor valor del consumo de cianuro de sodio, cuando está cianurado durante 72 horas. Su valor es 0.198%; en cambio, cuando el relave es sometido durante 94 horas, el valor de consumo de cianuro de sodio es igual a 0.15%.
- El relave del punto P-190, presenta mayor consumo de cianuro de sodio, cuando es pelleti-

Obtención de metales preciosos a partir de residuos sólidos mineros o relave

zado y cianurado durante 3 horas. Su valor del consumo de cianuro de sodio es de 0.489%.

- El relave polimetálico del punto P-192 presenta mayor consumo de cianuro de sodio cuando es pelletizado y cianurado durante 3 horas. El valor del consumo de cianuro de sodio es de 0.401%.

Asimismo, el relave polimetálico del punto P-197 presenta mayor consumo de cianuro de sodio cuando es pelletizado y cianurado durante 3 horas. El valor del consumo de cianuro de sodio es de 0.45%.

V. CONCLUSIONES

Se puede deducir que el relave polimetálico (puntos: P-190, P-192, P-197), se caracteriza por presentar menores consumos de cianuro cuando es sometido a mayores tiempos de cianuración (72 y 94 horas).

- Cabe resaltar que la curación (pelletizado con cemento) del relave permite realizar filtraciones de soluciones de cianuración de manera más rápida, puesto que no hay partículas finas que coagulen y dificulten la operación de la filtración.

- Se puede deducir que el relave polimetálico de los puntos P190, P192, P197 es pelletizado y luego sometido a pruebas de cianuración por empozamiento, donde se deduce que se presentan mayores consumos de cianuro, cuando el relave es sometido a menores tiempos de cianuración, como el caso de 3 y 24 horas.
- Se puede deducir, que el relave polimetálico del punto P-190, sometido a pruebas de cianuración por empozamiento durante 3 horas, presenta mayor consumo de cianuro de sodio, éste es de 0.489%.

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Guevara Caiquetán, Alicia (2005), Recuperación de oro a partir de minerales refractarios polisulfurados, 1ra. edición, Quito.
2. Vargas G., Juan (1981). Metalurgia del oro y plata, Ediciones POMARSA, La Paz.
3. Chamberlain, Pholansky (1981). Gold and silver. Leaching, recovery and economics, Hiskey. Editors, AIME Meeting, Co., New Jersey.
5. De la Torre, Edson (2002). Manual de auditoría ambiental para las actividades de beneficio de minerales auríferos, USAID – Corporación OIKOS Editor, Quito.