

**INFLUENCIA DEL CALENTAMIENTO PREVIO DEL MINERAL
SOBRE LA EXTRACCION DE ORO POR CIANURACION**

Sergio MIRANDA, Julián SUAREZ G. de C, Nestor BARRIOS
Escuela de Ingeniería Química
Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

RESUMEN

Se cianuran muestras de mineral de oro de la zona del El Callao, Estado Bolívar, Venezuela, previo calentamiento entre 400 y 1000°C. La composición de una muestra tipo es: Au 8.24 gr/ton, Fe 7.76%, Zn 0.0184%, S 3.23%, SiO₂ 70.3%. Los rangos de variación de los factores estudiados son: concentración de NaCN 0.2 a 1.6 gr/lt, mgr de NaCN por gr mineral 0.6 a 6.0, tamaño de grano -20 a -270 mallas, tiempo de cianuración 0 a 10 hr, tiempo de calentamiento previo hasta 6 hr. El calentamiento previo a la cianuración del mineral a una temperatura cercana a 800°C permite una recuperación de oro del orden del 90% para un tamaño de grano inferior a 60 mallas.

ABSTRACT

Mineral heat treatment effect on gold extraction by cyanidation. Gold mineral samples from El Callao, Estado Bolívar, Venezuela, are heated between 400 and 1000°C previous to cyanidation. The composition of a standard sample is: Au 8.24 gr/ton, Fe 7.76%, Zn 0.0184%, S 3.23%, SiO₂ 70.3%. The range of variation of the factors studied is: NaCN concentration 0.2 to 1.6 gr/lt, mgr of NaCN by gr of mineral 0.6 to 6.0, grain size -20 to -270 mesh, time of cyanidation 0 to 10 hours, heating time prior to cyanidation up to 6 hr. Heating previous cyanidation of the mineral at a temperature near 800°C allows a gold recovery in the order of 90% for a grain size smaller than 60 mesh.

GENERALIDADES

El oro presenta, en su mayor parte, al estado metálico, finamente disperso en rocas y minerales; a veces en yacimientos secundarios mezclado con sílice, arena y otros aluviones; casi siempre está aleado con plata y cobre, en casos mas raros, con metales del grupo del platino <1><2>.

Los yacimientos de oro de la zona de El Callao son del tipo hidrotermal. Estudios mineralógicos muestran que la mayor parte del oro se encuentra asociado a pirita <3><4>. En trabajos anteriores sobre cianuración <5> se encuentra que: para un tamaño de grano de mineral entre -60 y +200 mallas quedan en los residuos de cianuración del orden de \approx gr de oro sin disolverse; paralelamente, en residuos de cianuraciones de antiguas explotaciones se han

determinado concentraciones de oro de hasta 3 gr/ton. Cuando la ley del mineral es inferior a 10 gr/ton de oro, esto representa recuperaciones bajo el 70%.

El porcentaje de recuperación de oro por cianuración aumenta con la disminución del tamaño de grano del mineral, como se ha verificado moliendo hasta a -400 mallas <5>. Debido a la baja eficiencia energética de la molienda no es económico moler hasta un tamaño de grano lo suficientemente fino que permita la total liberación pirita-oro nativo. Una vía alterna a la molienda la constituye la descomposición térmica de la pirita a sulfuro de hierro con liberación de azufre y la consecuente destrucción de la red cristalina con liberación del oro líquido incluido.

PROCEDIMIENTO

Las muestras de mineral de oro de la zona de El Callao, localidad de El Perú, fueron proporcionadas por MINERVEN. Las muestras se muelen a 1/2" y se cuartean para tener fracciones representativas; antes de cada experiencia, una fracción de 1/2" se muele a -60 mallas en un molino de discos y mediante tamizado se hace la separación por tamaño de grano; se toma la fracción granulométrica programada y se la introduce en un horno de mufla, se calienta a una temperatura prefijada durante un tiempo determinado; se saca la muestra del horno y se enfría. Las muestras frías se someten a cianuración con NaCN diluido en medio básico; el reactor es un recipiente de vidrio sometido a agitación vibratoria violenta que asegura una buena aireación de la solución. Terminada la cianuración: se separa por filtración el líquido del residuo sólido; el líquido se lleva a un volumen determinado y el sólido se seca a 100°C.

Para analizar el líquido producto de la cianuración: se toma una parte alícuota, se le agraga HCl concentrado, se calienta para eliminar todo el cianuro residual, se lleva a un volumen dado y en un espectrofotómetro de absorción atómica se lee la absorbancia en las longitudes de onda correspondientes al hierro y cinc, por comparación con la absorbancia de soluciones estandares se determinan las concentraciones de estos elementos. Para analizar el oro, se toma un volumen dado de solución y se extrae con metil isobutil cetona (MIK) en medio fuertemente ácido, se mide la absorbancia del oro en la fase orgánica y por comparación con la absorbancia de estandares preparados en MIK se calcula la concentración.

Para analizar el mineral y los residuos de cianuración: se pesa entre 5 y 20 gr de muestra, de acuerdo al contenido de oro; se le ataca con HCl y con HNO_3 concentrados, se calienta hasta eliminar todos los óxidos de nitrógeno, se filtra y el filtrado se lleva a un determinado volumen; se determina hierro y cinc midiendo la absorbancia; el oro se extrae con MIK y se mide su absorbancia.

Los rangos de variación de los factores físicos químicos son: temperatura de calentamiento previo del mineral 400 a 1000°C; tiempo de calentamiento previo hasta 10 hr; concentración del NaCN 0.2 a 2.0 gr/lt; NaCN por gr de mineral 0.6 a 6.0 mgr; tamaño de grano -20 a -270 mallas ASTM.

Análisis tipo de la muestra global de mineral: Au 8.24 gr/ton, Fe 7.76, Zn 0.0184%, S 3.23%, SiO_2 70.3%.

Estudio microfotográfico: todo el oro observado está asociado a pirita, no se detecta oro nativo asociado a cuarzo. El oro se presenta en formas redondas irregulares, alargadas y llenando grietas en cristales de pirita. El diámetro promedio de los granos de oro no sobrepasa los 0.1 mm, a pesar que en ciertos casos su largo puede llegar a 0.5 mm. Se observan cristales grises de sulfuro de cinc incrustados en la pirita.

Temperatura de calentamiento previo a la cianuración. Fracción -60+100 mallas. La extracción de oro por cianuración disminuye al pasar de 400 a 500°C, después crece hasta 600°C y finalmente vuelve a disminuir entre 800 y 1000°C, se tiene una extracción máxima entre 750 y 600°C, figuras 1 y 2. La solubilización de cinc por cianuración crece de 400 a 700°C y disminuye sobre 900°C, entre 700 y 900°C se mantiene alta, figura 3. La solubilidad del hierro es despreciable en todas las experiencias realizadas en este trabajo.

Tamaño de grano del mineral. Calentamiento previo a 775°C. Entre 20 y 60 mallas se extrae del orden del 77% del oro, bajo 60 mallas se alcanza un 90% de extracción, figura 4. El cinc se comporta de una manera similar, alcanzando una máxima solubilización, cerca del 44%, para un tamaño de grano inferior a 40 mallas, figura 5.

Tiempo de calentamiento previo. Fracción -60+100 mallas. En las muestras sin calentar o calentadas 1 hr se extrae por cianuración del orden del 64% del oro, calentando 2 o más horas se logra una extracción del orden del 90%, figura 6.

Concentración del cianuro. Fracción -60+100 mallas; relación solución a

mineral de 3 es a 1. El oro extraído crece cuando la concentración del NaCN pasa de 0.2 a 0.8 gr/lt, posteriormente se mantiene constante, cercana al 90%, figura 7. El cinc solubilizado aumenta continuamente con la concentración del cianuro, figura 8. El consumo de cianuro es directamente proporcional a la concentración del NaCN, figura 9.

Concentración de cianuro manteniendo constante el cianuro por gramo de mineral. NaCN/gr mineral 2.4 mgr; varía la relación solución a mineral; tiempo y cianuración 6 hr. El oro extraído aumenta con la concentración de cianuro hasta 0.8 gr/lt que corresponde a una relación solución a mineral de 3 es a 1. Después permanece constante, figura 10. El consumo de cianuro para una relación fija de NaCN a mineral es independiente de la concentración de cianuro en la solución, figura 11.

Tiempo de cianuración. Fracción -60+100 mallas; solución/mineral 3/1; 0.8 gr/lt NaCN. La extracción de oro aumenta entre 0 y 6 hr, después permanece constante, cercana al 90%, figura 12. El porcentaje de cinc solubilizado aumenta continuamente con el tiempo de cianuración, figura 13.

DISCUSION

El calentamiento del mineral conduce a la descomposición de la pirita y a la liberación del oro nativo incrustado en sus cristales. La pirita se descompone de acuerdo a: $\text{Fe}_2\text{S} \rightarrow \text{FeS} + \text{S} + 18.5 \text{ Kcal}$; esta reacción se inicia a temperaturas cercanas a los 400°C y es casi total a 700°C <6>. El azufre liberado a temperaturas inferiores a su punto de ebullición, 404°C, permanece junto al sólido recubriendo las partículas del sulfuro y del oro nativo e impidiendo el contacto oro-solución durante la cianuración. A partir de 500°C, la velocidad de descomposición de la pirita aumenta notablemente y también la velocidad de evaporación del azufre liberado, dejando libre las superficies del sulfuro y del oro nativo, se obtiene un sólido poroso que facilita el contacto oro-solución cianurante. Con un calentamiento previo a una temperatura cercana a 800°C se alcanza la máxima extracción de oro por cianuración, a ésta temperatura se debe tener el máximo grado de liberación del oro. A temperaturas mas altas, se debe acentuar la oxidación superficial de los sulfuros por acción del oxígeno del aire <7>, de acuerdo a la reacción:

$2\text{FeS} + 7/2 \text{ O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{SO}_2$; la mezcla FeS-Fe₂O₃ forma eutécticos de bajo punto de fusión que recubren al sulfuro y al oro nativo dificultando el contacto solución cianurante-oro. El cinc se comporta de una manera similar

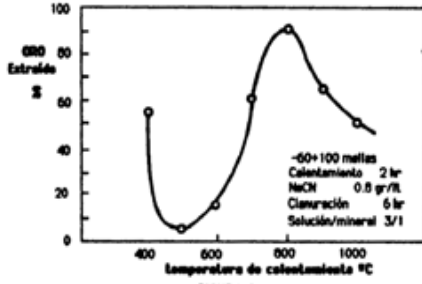


FIGURA 1

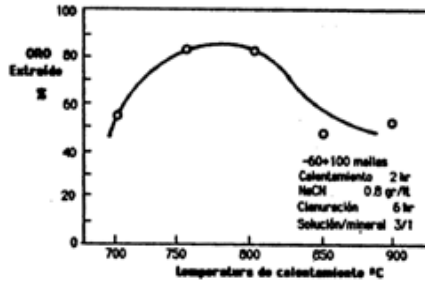


FIGURA 2

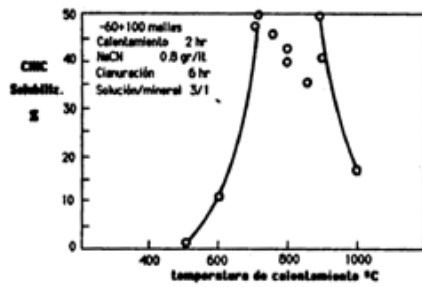


FIGURA 3

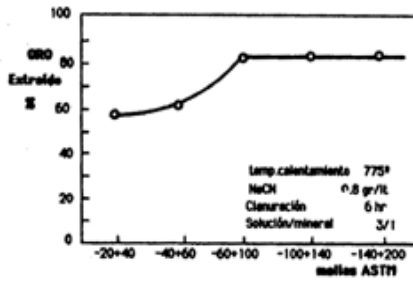


FIGURA 4

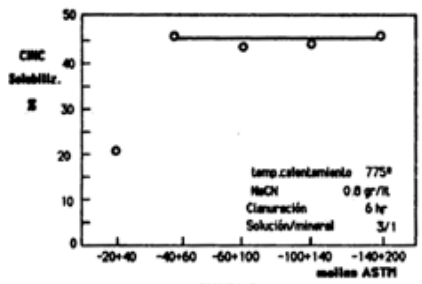


FIGURA 5

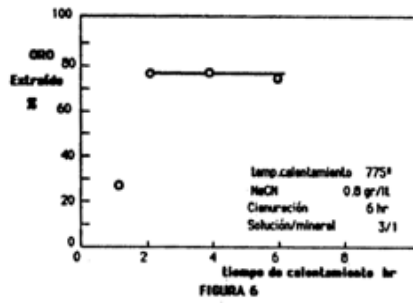


FIGURA 6

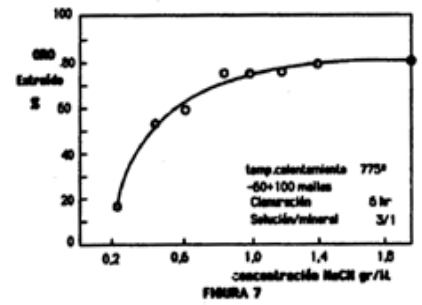


FIGURA 7

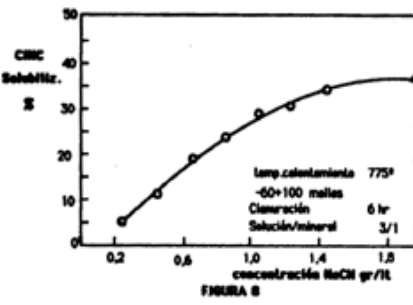


FIGURA 8

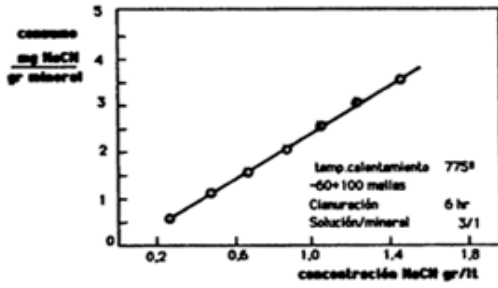


FIGURA 9

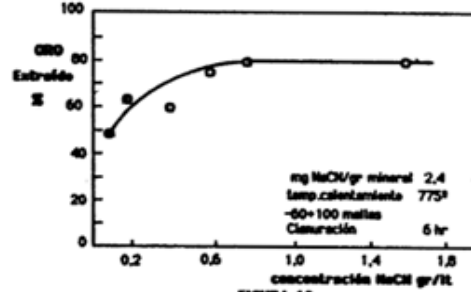


FIGURA 10

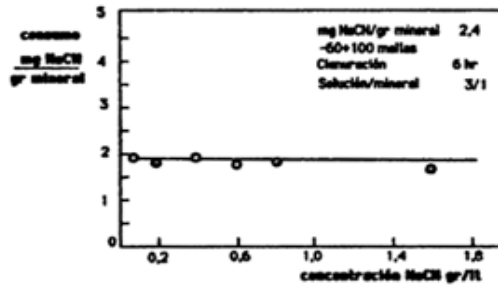


FIGURA 11

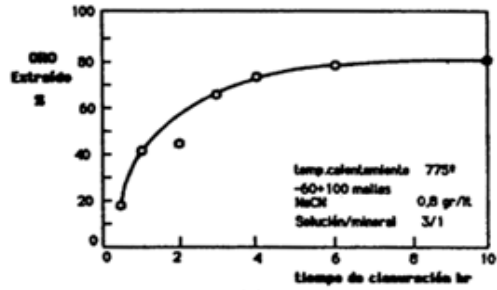


FIGURA 12

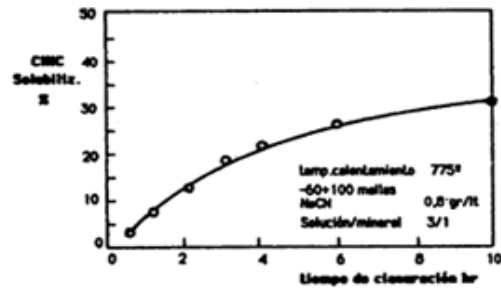


FIGURA 13

al oro cuando el mineral es sometido a calentamiento antes de la cianuración, con un máximo de solubilización entre 700 y 900°C, lo que confirma la asociación pirita-oro-sulfuro de cinc observada al estudiar la mineralogía de las muestras.

La liberación del oro por calentamiento previo a la cianuración depende del tamaño de grano del mineral; cuando se toma una fracción superior a 60 mallas, la extracción de oro disminuye y por lo tanto el grado de liberación, el inerte puede cubrir totalmente parte de los cristales de pirita impidiendo la evolución del azufre durante el calentamiento; este límite de 60 mallas debe ser función del tamaño promedio de los cristales de pirita. Para el cinc, la máxima solubilización se logra para un tamaño de grano de mineral inferior a 40 mallas, este desplazamiento del máximo con respecto al oro debe estar relacionado con el tamaño mayor de los granos de sulfuro de cinc con respecto a los de oro y a una asociación preferencial del sulfuro de cinc con los cristales grandes de pirita, de acuerdo a observaciones hechas al microscopio.

Para una relación solución a mineral de 3 es a 1, el porcentaje de extracción de oro aumenta de 58% a 90% al pasar la concentración de NaCN de 0.22 a 0.80 gr/lt y después se mantiene constante, la concentración 0.80 gr/lt corresponde a 2.4 mgr de NaCN por gramo de mineral. El consumo de cianuro crece linealmente con la concentración, hasta 0.8 gr/lt con un aumento en la extracción de oro y posteriormente sin ningún beneficio para el proceso. Mediante relaciones estequiométricas se determina que para extraer todo el oro presente en el mineral se requiere cerca de 0.004 mgr de NaCN por gramo de mineral; para extraer todo el cinc presente en el mineral se requiere del orden de 0.4 mgr de NaCN por gramo de mineral; el consumo de cianuro en la extracción del oro es despreciable frente al consumo total de cianuro; el consumo de cianuro al solubilizar un 50% del cinc es del orden de 0.2 mgr por gramo de mineral, correspondiente al consumo total de cianuro determinado experimentalmente; se deduce que no se producen otras reacciones secundarias que consuman cantidades significativas de cianuro.

Manteniendo 2.4 gr de NaCN por gramo de mineral y variando la concentración de NaCN por cambio de la relación solución a mineral, se encuentra que la mínima concentración para alcanzar la máxima solubilización de oro, en 6 hr de cianuración, es de 0.8 gr/lt de NaCN; para tiempos mas largos de cianuración debe lograrse la máxima extracción para concentraciones menores de cianuro; aparentemente, la concentración del cianuro influye la

velocidad de solubilización del oro pero no la máxima extracción. El consumo de cianuro para una relación dada de NaCN a mineral no depende la concentración de la solución cianurante. Los 2.4 mgr de NaCN por gramo de mineral determinados en este trabajo corresponden a la mínima cantidad de NaCN para alcanzar el máximo de extracción de oro.

El tiempo de cianuración debe ser el mínimo para alcanzar la máxima extracción de oro, posteriormente, aumenta el consumo de cianuro debido a que continúa la solubilización del cin.

CONCLUSIONES

El calentamiento del mineral destruye la red cristalina de la pirita liberando las partículas de oro nativo y aumentado la extracción de oro durante la cianuración.

El consumo de cianuro aumenta linealmente con la cantidad de cianuro empleada por masa de mineral.

Para una relación de cianuro a masa de mineral fija, el consumo de cianuro por masa de mineral es independiente de la concentración de la solución cianurante.

El consumo de cianuro debido a la solubilización del cinc es preponderante sobre todas las otras reacciones.

Las condiciones óptimas de operación en la cianuración con calentamiento previo del mineral encontradas son:

- Temperatura de calentamiento del mineral	775°C
- Tiempo de calentamiento del mineral	2 hr
- Tamaño de grano del mineral	-60 mallas ASTM
- Concentracin del NaCN	0.8 gr/lt
- Tiempo de cianuración	6 hr
- NaCN/gr mineral	2.4 mgr
- Solución/mineral	3/1

REFERENCIAS

- <1> BRAY J.; Metalurgia Extractiva de los Metales no Ferrosos, Interciencia, Madrid (1968)
- <2> HENLEY K.J.; Gold-ore mineralogy and its relation to metallurgical treatment; Minerals Sci. Engng.Vol.7,Nº4,289-311 (1975)

- <3> MINERVEN; Extracción y procesamiento de mineral aurífero; El Callao, Edo Bolívar; Folleto (1974)
- <4> ALFARO M.; Informe sobre mineralogía del mineral de El Callao; Ministerio de Energía y Minas, Caracas (1979)
- <5> MIRANDA S., SUAREZ J.; Cianuración del mineral de oro de El Callao; Latin Am.J. of.Met.and Materials, Vol.3,Nº2,118-132 (1983)
- <6> SUAREZ J.; Físico Química de los Procesos Hidrometalúrgicos; ULA, Mérida, Venezuela (1982)
- <7> HANSEN K.R.N., LASCHINGER J.E.; The roasting of refractory gold ores and concentrates; Literature survey; National Ins.for Metallurgy; South Africa; Report N° 85 (1967)