



**Ministério da Ciência e Tecnologia**  
**Coordenação de Processos Metalúrgicos e Ambientais**

**CIANURACIÓN POR AGITACIÓN PARA LA DISOLUCIÓN DE ORO  
DE LAS MENAS DE PONCE ENRÍQUEZ  
(PROVINCIA DEL AZUAY - ECUADOR)**

**Luis Gonzaga S. Sobral**  
CETEM

**Juan Guerrero Barreto**  
**Fernando Morante Carballo**  
**Verónica Ramos Cobos**  
**Javier Montalbán Toala**  
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la  
Tierra - Escuela Superior Politécnica del  
Litoral, Guayaquil-Ecuador

**CT2005-126-00 – Comunicação Técnica ao XXI Encontro  
Nacional de Tratamento de Minérios e  
Metalurgia Extrativa, 20-24 de novembro de  
2005, Natal-RN, Vol. 2, p. 109**

**Novembro / 2005**



# XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa

Natal - 20 a 24 de novembro de 2005

## ORGANIZADORES

João Bosco de Araújo Paulo - UFRN  
Raquel Franco de Souza Lima - UFRN  
José Yvan Pereira Leite - CEFET-RN

Volume 2



**UFRN**



# **CIANURACIÓN POR AGITACIÓN PARA LA DISOLUCIÓN DE ORO DE LAS MENAS DE PONCE ENRÍQUEZ (PROVINCIA DEL AZUAY - ECUADOR)**

Fernando Morante Carballo<sup>1</sup>, Luiz Gonzaga Santos Sobral<sup>2</sup>, Juan Guerrero Barreto<sup>1</sup>, Verónica Ramos Cobos<sup>1</sup>, Javier Montalbán Toala<sup>1</sup>.

1- Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra - Escuela Superior Politécnica del Litoral. Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral, Guayaquil-Ecuador

E-mail: [fmorante@espol.edu.ec](mailto:fmorante@espol.edu.ec)

2 – Departamento de Metalurgia Extrativa - Centro de Tecnologia Mineral, Ihla da Cidade Universitária, CEP

21941.590 Rio de Janeiro-RJ

E-mail: [lsobral@cetem.gov.br](mailto:lsobral@cetem.gov.br)

## **RESUMEN**

En este trabajo son presentados los resultados obtenidos en la cianuración por agitación para la disolución de oro de las menas de Ponce Enríquez (Provincia del Azuay - Ecuador) las cuales son muy complicadas tratar debido a la presencia de sulfuros y en mayor proporción los minerales de arsénico, siendo estos considerados como cianidas potenciales que no permiten el contacto pleno de la solución de cianuro con el oro.

En el laboratorio, se realizaron cinco diferentes pruebas de cianuración por agitación, cuatro pruebas en botella y una en el tanque Pachuca. Las tres primeras pruebas (en botella) se las hizo con el control químico de cianuro (0.03 %, 0.05 % y 0.1%) y cal (0.03%), y las dos últimas con el control de cianuro al 0.05%, cal al 0.03% y Nitrato de Amonio al 0.1% .

Se encontró que para las concentraciones de 0.1 y 0.05% de cianuro en solución la recuperación fue del 95 y 86.75% de oro respectivamente.

**PALABRAS CLAVES:** Cianuro, Agitación, Sulfuros, Disolución, Oro.

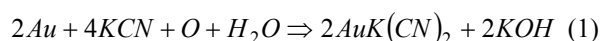
## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo, es determinar en el laboratorio, las condiciones óptimas de concentración de cianuro, cal, y concentraciones de nitrato de amonio para obtener la máxima recuperación de oro en las colas de amalgamación de las menas de Ponce Enríquez en la Provincia del Azuay (ver figura 1), mediante técnicas de cianuración por agitación.



**Figura 1.** Vista panorámica de los trabajos mineros en la menas de Ponce Enríquez-Ecuador

La solubilidad del oro en soluciones de cianuro (Marsden, 1992) fue reconocida en 1783 por Scheele (Suecia) y fue estudiada en los años 1840 y 1850 por ELkington and Bragation (Rusia), Elsner (Alemania), y Faraday (Inglaterra). La disolución de oro en soluciones aireadas de cianuro y la regla del oxígeno en su mecanismo fue investigada por Elsner (1846), y la reacción fue reportada (Shoemaker, 1984) como se muestra continuación:

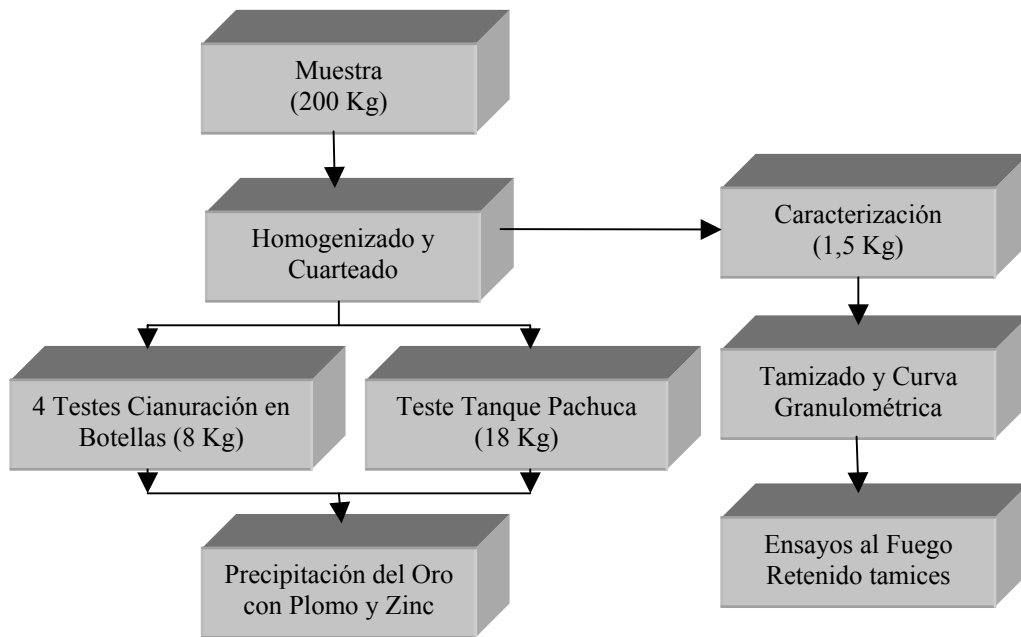


Las tres primeras utilizaciones comerciales del proceso de cianuración (Ciminelli, 2002) ocurrieron en la Mina de Crown, en Nueva Zelanda, en 1889 y en Robinson Deep, en Witwatersrand, África del Sur, en 1890. La primera Unidad industrial en América, La Consolidated Mercur, entro en operación en 1981, en Utah, Estados Unidos (Shoemaker, 1984 y Fleming, 1992). El impacto del nuevo proceso en la producción de Oro quedo demostrado por la elevación de la producción de oro de de una medida de 4,2 t/año en el periodo 1851-1900 para 14,6 t/año en el periodo 1901-1950 (Mullen, 1998).

La agitación puede ser considerada como el método mecánico de mezcla de pulpa con un exceso de aire, en tanques circulares de capacidad suficiente para permitir el equilibrio del oro a disolverse en la solución cianurada. Estos agitadores son de arios tipos de construcción, siendo divididos básicamente de dos tipos principales, es decir aquellos que dependen completamente de elevadores de aire y en segundo lugar, aquellos que dependen de una combinación de aire y agitación mecánica. El primero de ellos es conocido como agitador Brown o Tanque Pachuca, en el cual la altura es por lo menos tres veces el diámetro. Este depende completamente, para su acción de agitación, de una columna de ascensión de aire desde la parte central del fondo del cono. Los agitadores mecánicos insuflan aire a un lado o en el centro del elevador de aire, para elevar y airear la pulpa mientras dependen de un mecanismo de agitación mecánica en el fondo para mantener la pulpa en suspensión.

## 2. METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló en los laboratorios de Mineralurgia, en el área de Minas de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la tierra-ESPOL y para esto se tomo una muestra representativa de las colas de amalgamación de oro de las menas de Ponce Enríquez, provincia del Azuay. El tratamiento de la muestra esta representado en la figura 2.



**Figura 2.** Esquema seguido en la investigación.

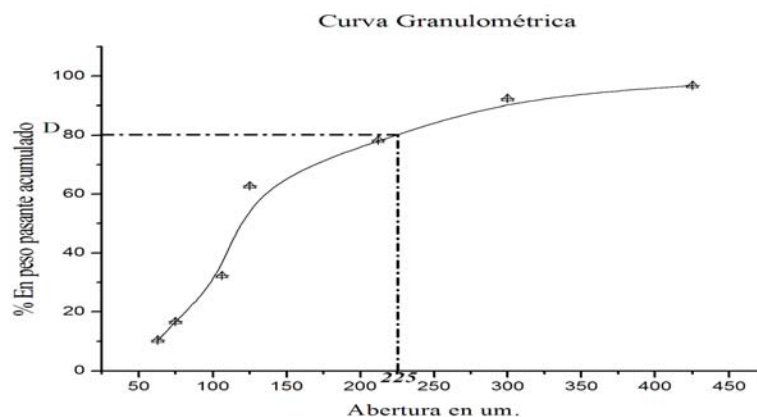
En la Etapa de caracterización se realizó la representación gráfica de cómo el material estaba distribuido, y luego en los ensayos al fuego, para determinar el tenor de oro y plata en los retenidos de los tamices.

En el laboratorio se hicieron cinco diferentes pruebas de cianuración por agitación, cuatro de las pruebas en botellas y una restante en el tanque de agitación Pachuca. Los tres primeros tests (en botella) se los hicieron con el control químico de cianuro y cal; y los dos últimos, el restante de botella, y el del tanque pachuca con el control de cianuro, cal, y nitrato de amonio. Se variaron las concentraciones de cianuro (0,03 - 0,05 - 0,1%) para la determinación de cual es la concentración con la cual se obtiene mayor porcentaje de recuperación de oro. El control se hizo a ciertas horas determinadas durante 32 horas. Terminada la cianuración, se procedió a hacer la recuperación por precipitación con plomo y zinc (método de Chiddey).

Las soluciones Líquidas fueron analizadas por volumetría para determinación del cianuro libre y por absorción atómica para determinación de contenido de oro. En el Teste de Pachuca y en el último en botella, se hicieron curvas de recuperación de oro.

### 3. RESULTADOS

La distribución del tamaño de grano se muestra en la figura 3 y nos dice que el 80 % del material se encuentra bajo los 225  $\mu\text{m}$  de diámetro.

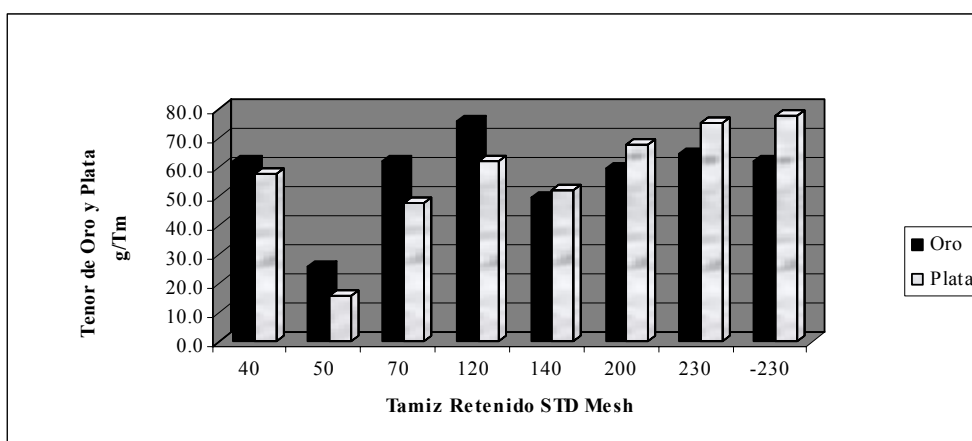


**Figura 3.** Curva granulométrica de la muestra de cola de amalgamación de oro.

En la tabla I se observa que el tenor promedio de oro y plata en los diferentes tamices oscila entre 60 y 65 g/Tm, siendo su máximo en el tamiz 120 M, y su mínimo en el tamiz 50 M, esto nos da una pauta para saber a que granulometría podemos obtener la mayor recuperación del mineral y hacer su liberación.

**Tabla I.** Resultados de ensayos al fuego para el cálculo del tenor de oro y plata en los Tamices.

Tamiz (Mesh)	Muestra (g)	Dore (mg)	Peso Oro (g)	Peso Plata (g)	Tenor Oro (g/Tm)	Tenor Plata (g/Tm)
40	40	4.9	2.5	2.4	62.5	58.0
50	50	2.2	1.3	0.9	26.0	16.0
70	50	5.6	3.1	2.5	62.0	48.0
120	50	7.0	3.8	3.2	76.0	62.0
140	50	5.2	2.5	2.7	50.0	52.0
200	40	5.2	2.4	2.8	60.0	68.0
230	40	5.7	2.6	3.1	65.0	75.5
-230	40	5.7	2.5	3.2	62.5	78.0



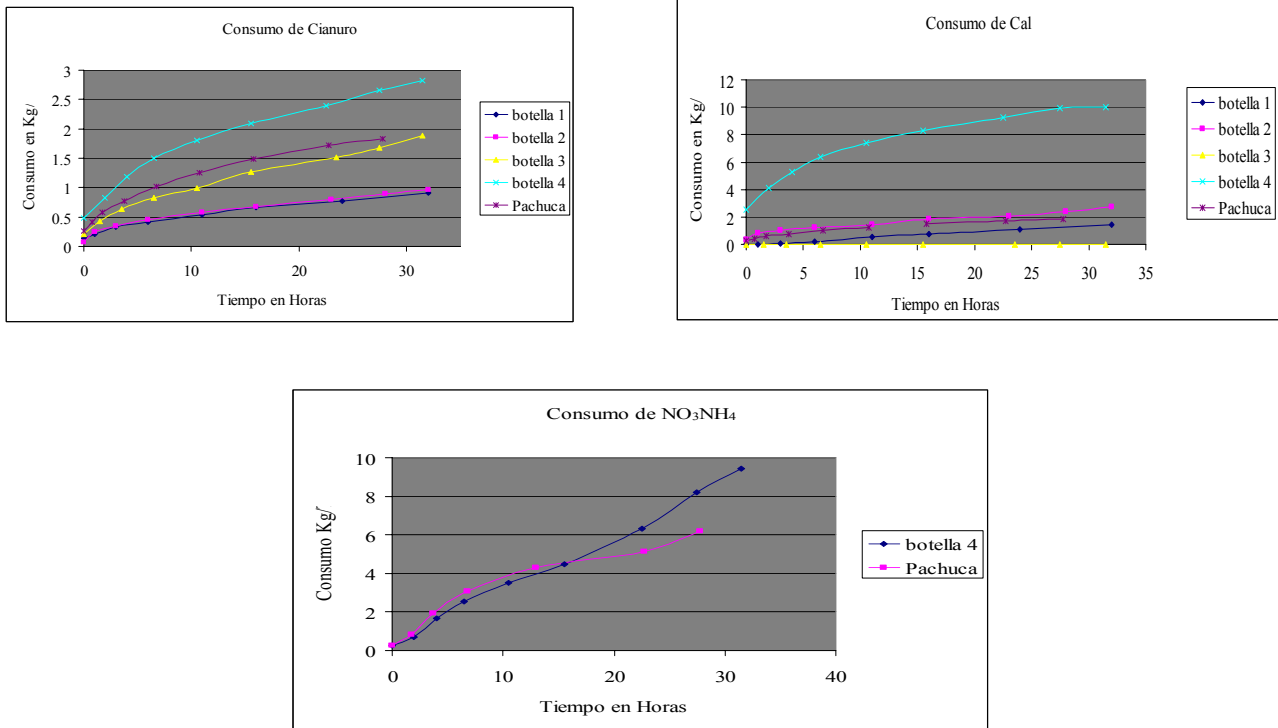
**Figura 4.** Tenores de oro y plata de los diferentes tamices

De acuerdo con la tabla II. vemos que en la cianuración 3 se produce el mayor porcentaje de recuperación de oro (mas del 90%), además hay un porcentaje bajo de recuperación en sus colas, lo que nos indica que estas podrían ser las condiciones optimas de trabajo, esto es concentración de cianuro de mantenerla al 0,1%, cal al 0,03%, por un tiempo de 32 horas y una velocidad de agitación de 56 rpm. Además con estas condiciones de cianuración no hubo necesidad de añadir más cal porque el pH se mantuvo en el rango aceptable.

**Tabla II.** Recuperación de oro y plata de las soluciones y colas

Ensayos	Muestra	Dore (mg)	Tenor Oro (g/Tm)	Tenor Plata (g/Tm)	Oro (%)	Plata (%)
Cola de Molino	50 g	6.3	64	60	100	100
Cola de Cianuro 1	50 g	2.7	16	36	25	60
Cola de Cianuro 2	40 g	3.3	22.5	60	35.2	100
Cola de Cianuro 3	50 g	3	2.65	55.4	4.14	92.3
Solución 1	3 lt	51.6	55.5	21.9	86.7	36.5
Solución 2	3 lt	43.5	44.9	18.4	70	30.7
Solución 3	3 lt	50.4	61.4	14.3	95.9	39.6

En la figura 5 de consumo de reactivos, en las botellas se observa un aumento en el consumo de cianuro en las primeras horas, para después tener una tendencia estable; esta estabilidad se conserva debido al aumento de consumo  $\text{NO}_3\text{NH}_4$ , el cual aumenta en gran cantidad, debido a que en las últimas horas se disuelven los cianicidas. Así también el consumo de cal en las primeras horas es alto debido a que tenemos una mena muy acida.



**Figura 5.** Graficas de consumo de reactivos de NaCN, Cal y  $\text{NO}_3\text{NH}_4$  durante los testes.

En el teste botella 4, se incluyo nitrato de amonio el cual forma complejos con algunos cianicidas como el cobre y algunos sulfuros. Con ésta sustancia se consigue una disminuci3n de consumo de cianuro, pero la concentraci3n que se utilizo en la prueba fue muy alta, de tal forma que se disolvieron impurezas que perjudicaron la perfecta lixiviaci3n de oro, de all3 sus bajos porcentajes de recuperaci3n (ver tabla III.).

**Tabla III.** Recuperaci3n y disoluci3n de oro en el teste botella 4.

Tiempo (H)	Dore (mg)	% de Oro Disuelto	% de Oro Recuperado
0	3.8	12.38	17.5
4	4.8	15.31	21.6
7	4.4	13.74	19.4
11	5.4	16.49	23.3
16	6.4	19.11	26.98

Los valores de recuperaci3n de oro que se ven en la tabla IV. para el tanque pachuca, se debe a que en la prueba de laboratorio se observo un asentamiento de limos; esto no permiti3 una lixiviaci3n completa del material ingresado al tanque pachuca, por tanto para este caso en particular el dise1o de inyecci3n de aire del prototipo del tanque pachuca no fue suficiente para levantar la peso de la muestra.

**Tabla IV.** Recuperación y disolución de oro en el teste pachuca.

<b>Tiempo (H)</b>	<b>Dore (mg)</b>	<b>% de Oro Disuelto</b>	<b>% de Oro Recuperado</b>
2.0	6.1	17.88	23.57
6.5	4.7	10.62	14.17
10.5	8.1	23.13	30.84
15.5	11	31.13	41.51
27.5	14.5	31.56	42.10
31.5	16.7	26.15	34.86

#### **4. CONCLUSIONES**

En este estudio se determino que las condiciones optimas para la disolución de oro de las menas de Ponce Enríquez son: concentración de cianuro de 0,1% y de cal 0.03% por un periodo de 32 horas, para obtener la máxima recuperación de oro. Por otra parte se determino que el tenor promedio de oro y plata en los tamices es de 60 a 65 g/Tm para cuando el mineral que se encuentre comminuido el 80% sea menor a 225 µm.

#### **5. REFERENCIAS**

- Ciminelli, V., Gomes, A. Princípios da Cianetação, Extração de Ouro: Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente. Trindade, R., Barbosa Filho, O. (Editores), CETEM/MCT, Brasil, p. 59-94, 2002.
- Elsner, L. German J. Prac. Chem., 1846.
- Fleming, C. Hidrometallurgy of Precious Metals Recovery. Hydrometallurgy, v.30, n1-3, p. 127-162, 1992.
- Marsden, J., House, I. The Chemistry of Gold Extraction, Ellis Horwood Series in Metals and Associated Materials, England, p. 34, 1992.
- Mullen, T. Short History of Man and Gold, Mining Engineering, Jan., p. 50-56, 1998.
- Shoemaker, R. Gold: Quid Non Mortalia Pectora Cogis, Auri Sacra Fames, in Precious Metals: Mining, Extraction and Processing. Kudryk, V., Corrigan, D., Liang, W. (Editores), SME-AIME, 4-10, 1984.