

Efecto de la moliendabilidad en la cinética de la cianuración de un preconcentrado de Au-Cu

Effect of milling capability in the kinetics of cyanidation for a preconcentrate of Au-Cu

Edwin Barzola E. *, Brindel Barzola C. *, Daniel Lovera D. **, Vladimir Arias A. **

Recibido: 20/08/2011

Aprobado: 29/08/2011

RESUMEN

El preconcentrado de Au-Cu proveniente de un concentrador gravimétrico FALCON fue sometido a diversos procesos de tratamiento, a fin de extraer separadamente el cobre y luego el oro, sin éxito; intentándose, y lográndose recupera el oro a partir de una correlación de la moliendabilidad y la cianuración, recuperándose tenores bastante alentadores mediante la aplicación de modelos de molienda batch propuestas por Magne, Austin y Concha y para la cianuración el Modelo Cinético de Núcleo Recesivo con la siguiente configuración que proponemos: $1 - 2\alpha/3 - (1-\alpha)^{2/3} = 3.30 \cdot 10^{-10} (0.015 + 0.0006T_m) \cdot (T_m)^{5.5124 \cdot t}$

La muestra de concentrado con aproximadamente 10 Oz. de oro por tonelada y 2.50% de cobre, sometido a ensayo de molienda a 96% -200 mallas y lixiviado con 0.4% de cianuro durante 70 horas se obtuvo recuperaciones superiores al 95%, con un consumo promedio de 46 kilos de cianuro por tonelada de mineral.

Palabra clave: molienda de minerales, Cinética de cianuración, recuperación de oro, minerales de Au-Cu

ABSTRACT

The pre-concentrate of Au-Cu from a gravimetric concentrator FALCON was subjected to different treatment processes in order to separately extract the copper and then the gold, without having success; after some attempts, it was achieved to recover the gold from the correlation of the milling capability and cyanidation, recovering very encouraging tenors through the application of models of milling batch proposed by Magne, Austin and Concha, and for the cyanidation, it was applied the Kinetic Nucleus Recessive Model with the following offered configuration: $1 - 2\alpha/3 - (1-\alpha)^{2/3} = 3.30 \cdot 10^{-10} (0.015 + 0.0006TM) \cdot (TM)^{5.5124 \cdot t}$

The concentrate sample with around 10 Oz. of gold per ton and 2.50% of copper, tested in a milling to 96% - 200 nets and leached with 0.4% of cyanide for 70 hours obtained recoveries higher than 95%, with an average consumption of 46 Kg. of cyanide per ton of mineral.

Keywords: milling of minerals, Cyanide Kinetics, Gold recovery, Au-Cu minerals

* Consultores Metalúrgicos. E-mail: barzola_ingenieros@yahoo.es, bbarzolacruz@gmail.com

** Instituto de Investigación IIGEO - UNMSM. E-mail: dloverad@unmsm.edu.pe, arias2020@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

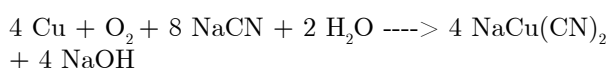
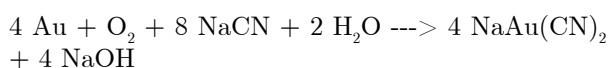
La industria minera aurífera, por el volumen de producción se ubica en el quinto a nivel Internacional y el primero en Latinoamérica, siendo la producción de los últimos años lo siguiente: 170 toneladas en 2007, 184 toneladas en 2009 y 164 toneladas en el 2011. (Fuente: MEM, 2011).

Los tipos de yacimientos que tenemos en el Perú son: Yacimientos de segregación magmática, pórfidos de cobre, cobre-oro, cobre-molibdeno, oro y plata en areniscas-cuarcitas-pizarras, filoneanos epitermales de ag-au, disseminados de oro y plata de baja ley y de alta sulfuración, oro en calizas tipo carlín, oro en intrusivos de composición intermedia, entre otros (Tumialan, 2003).

La extracción del oro siempre está en un ritmo creciente tanto a nivel formal e informal y en ese contexto es importante desarrollar investigaciones conducentes a mejorar la recuperación del oro, optimizando las variables más relevantes, siendo estas: tamaño de partícula, consumo de cianuro de sodio, flujo de oxígeno, temperatura de lixiviación, entre otros (Gupta, 2000), para obtener rentabilidad en la extracción y comercialización del oro, este metal deberá tener un mínimo de impurezas perjudiciales (V. Arias, 1996).

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Los minerales auríferos y cupríferos son cianurables (Manrique, 2005), por medio de las siguientes reacciones químicas (Navarro, 2001):



La cinética de reacción depende de las variables de temperatura, tamaño y forma de la partícula, consumo de cianuro, tiempo, entre otros. Para la presente investigación tomamos como variable significativa el tamaño y forma que están englobados en el tiempo de molienda (T_M). La ecuación cinética está dada por la siguiente configuración:

III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1. Preparación mecánica y caracterización de la muestra

La muestra primaria proporcionada por la Minera Yanacocha fue secada y homogenizada, y posteriormente embolsada en porciones de un kilogramo, quedando para diversos ensayos requeridos como las pruebas de molienda y cianuración de acuerdo al diseño de los ensayos.

3.2. Pruebas de cianuración mediante agitación

Para las pruebas se desarrollaron el siguiente procedimiento:

- En cada caso se pesó la muestra y con ella se calculó el volumen de solución de cianuro de sodio (NaCN) con una concentración de **0.1 % y 0.4 %** y una relación sólido/líquido de 1 a 2.5, obteniéndose una pulpa con el **28% de sólidos**.
- La cianuración se realiza por agitación mecánica en recipientes estacionarios.
- Se realizaron muestreos en los siguientes tiempos: 2, 4, 6, 8, 10, 24, 48 y 72 horas, las que se filtraron y titularon con solución de nitrato de plata (AgNO_3) **concentrado al 0.25N** para determinar el consumo de NaCN .
- Durante las pruebas se trataron de mantener constante la concentración de NaCN al 0.1% y 0.4 % , del mismo modo un rango de **pH alrededor de 10.50**.
- Repitiéndose este procedimiento en cada tiempo.
- La pulpa final (el lixiviado) se filtró, lavándose 3 veces con 1 litro de agua por vez, la torta fue secada, pulverizada, el producto se cuarteo para enviar 300 gramos para determinar el contenido metálico.
- Para determinar los parámetros de la moliendabilidad es necesario realizar pruebas a 5 tiempos: 10, 25, 35, 40 y 45 minutos (Ver Figura N.º 1).

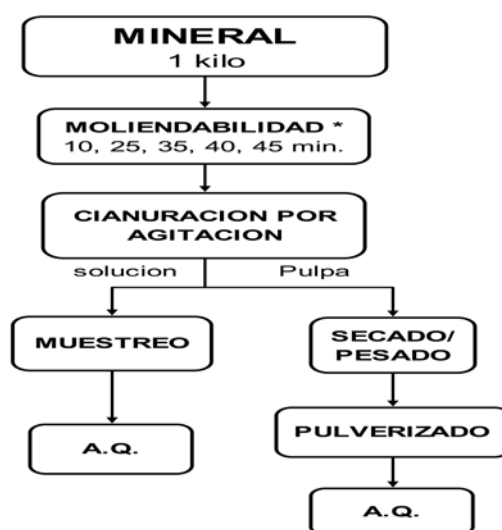
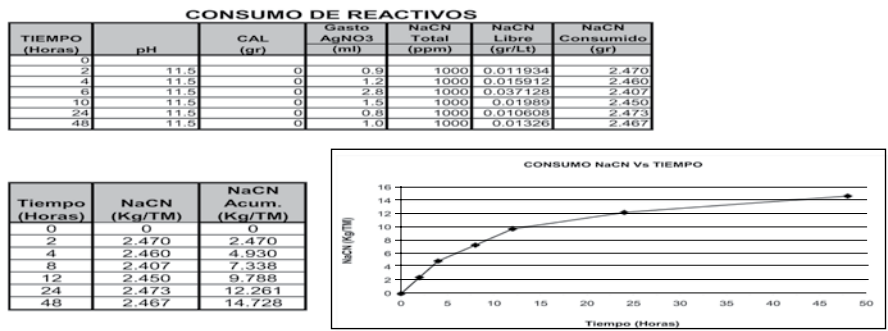
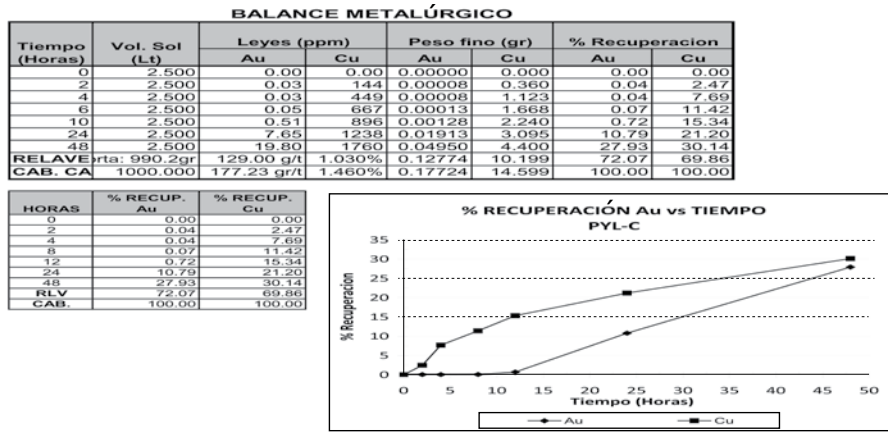


Figura N.º 1. Diagrama de Flujo de las Pruebas Experimentales

Fuente: Informe CIMM – PERÚ - 2011

Mostramos el balance metalúrgico de una de las pruebas desarrolladas para la cianuración combinada de Oro y Cobre (Ver Tabla N.º 1).

Tabla N.º 1. Balance Metalúrgico de las Pruebas de Cianuración del oro y cobre



Fuente: Informe CIMM – PERU - 2011

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

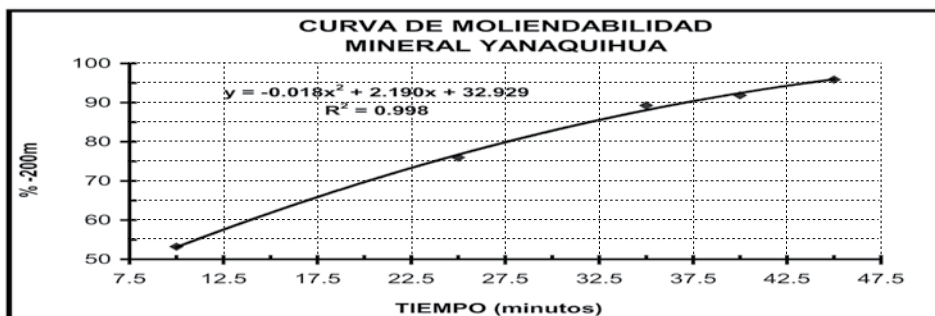
4.1. Distribución de tamaños

Se hicieron Pruebas de Molienda y Tamizaje cuyos resultados podemos apreciar en la Tabla N.º 2

Tabla N.º 2. Resultados de Moliendabilidad de las muestras

CURVA DE MOLIENDABILIDAD Y TIEMPO DE MOLIENDA

Tiempo (min)	Peso (g) +200m	Peso (g) -200m	% Peso -200m
10	466.00	530.10	53.22
25	238.90	756.60	76.00
35	107.00	889.30	89.26
40	81.00	915.80	91.87
45	41.10	954.70	95.87



Para un 80% - 200 mallas , el tiempo de molienda necesario es:

$$\begin{aligned} \% - 200 \text{ m} &= 80.00 \\ t &= 27.88 \text{ min.} \end{aligned}$$

Fuente: Informe CIMM – PERU - 2011

4.2. Ecuación Cinética de Molienda Batch

Se trataron los datos de molienda con la ecuación propuesta por Austin, Concha y Magne para la Cinética de Primer Orden (Ver Figura N.º 2).

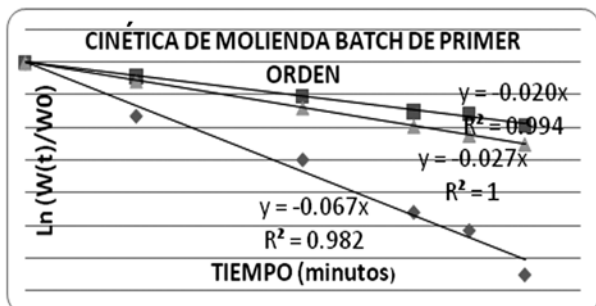


Figura N.º 2. Resultados de la Cinética de Molienda Batch de Primer

4.3. Constante Cinética de Fractura y el Tamaño de Partícula

El tratamiento de la data experimental de molienda nos permite hacer cálculos de la Cinética de Fractura para los distintos Tiempos de Molienda a los cuales se trabajó: 10, 25, 35, 40 y 45 minutos (Ver Figura N.º 3).

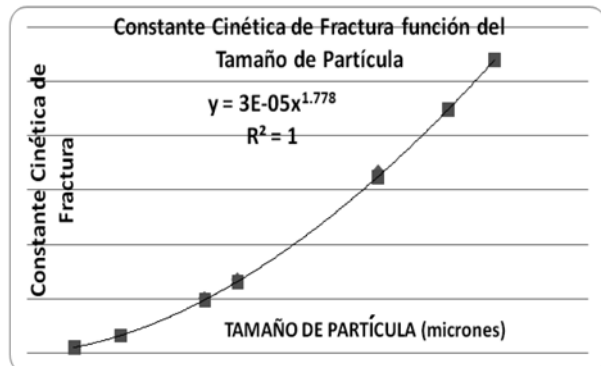


Figura N.º 3. Constantes Cinéticas de Fractura en función del Tamaño de Partícula.

4.4. Efecto de la Moliendabilidad con el Consumo de cianuro

El consumo de cianuro de sodio aumenta con el Tiempo de Molienda lo cual es consistente con las observaciones experimentales (Ver Figura N.º 4).

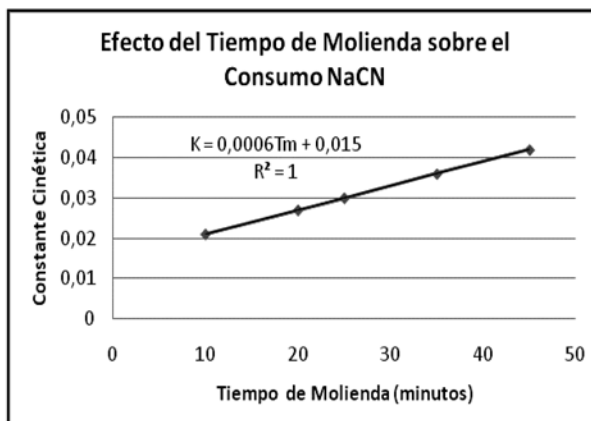


Figura N.º 4. Efecto del Tiempo de Molienda con el Consumo de Cianuro de Sodio

4.5. Efecto de la Moliendabilidad en la Cinética de la Cianuración del cobre

La Cinética de Cianuración del Cobre aumenta con el Tiempo de Molienda de tal forma se incrementa el Consumo de Cianuro de Sodio por la disolución del Cobre también (Ver Figura N.º 5).

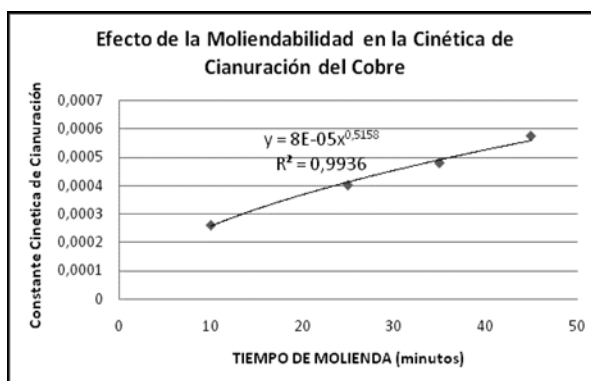


Figura N.º 5. Efecto del Tiempo de Molienda en la Cinética de Cianuración del Cobre.

4.6. Efecto de la Moliendabilidad en la Cinética de Cianuración del oro

La Cinética de Cianuración del Oro aumenta significativamente con el Tiempo de Molienda de tal forma se incrementa el Consumo de Cianuro de Sodio por la disolución del Oro con mayor preferencia (Ver Figura N.º 6).

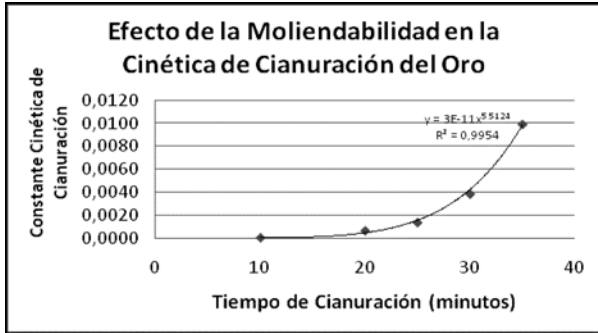


Figura N.º 6. Efecto del Tiempo de Molienda en la Cinética de Cianuración del Oro.

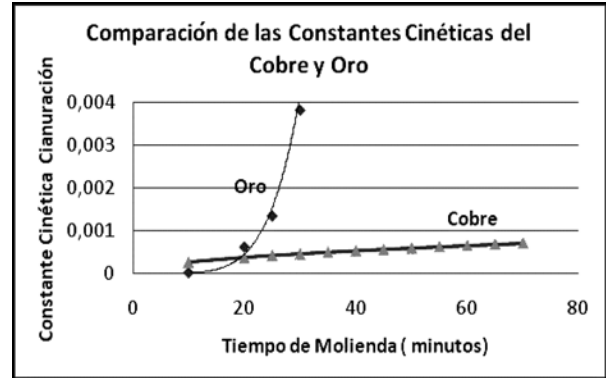


Figura N.º 8. Simulación de la Cinética de la Cianuración del Oro

4.7. Comparación de las Constantes Cinéticas del Oro con el Cobre

La Cinética de Disolución del Oro es mucho mayor que la del Cobre en las muestras cianuradas (Ver Figura N.º 7).

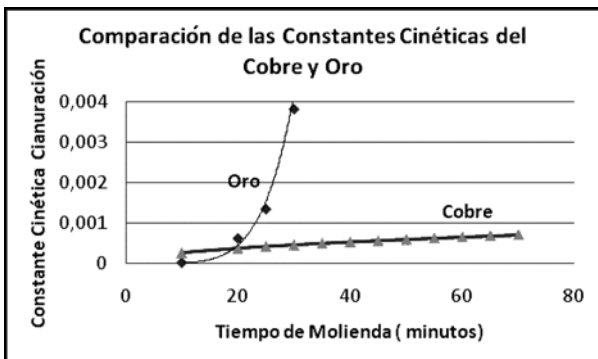


Figura N.º 7. Comparación de las Constantes Cinéticas del Cobre y Oro

4.8. Modelación de la cinética de cianuración del oro

Los efectos de la moliendabilidad en el consumo de cianuro y en la recuperación del oro calculados nos permiten configurar la ecuación cinética de cianuración del oro, como podemos apreciar:

$$K_{Au} = 3 \cdot 10^{-11} (T_M)^{5,5124}$$

$$K_{NaCN} = (0,015 + 0,0006 T_M)$$

$$1 - 2\alpha/3 - (1-\alpha)^{2/3} = 3,30 \cdot 10^{-10} (0,015 + 0,0006 T_M) \cdot (T_M)^{5,5124} \cdot t$$

4.9. Simulación de la Cianuración del oro

Con el Modelo Matemático caracterizado para el Proceso de Cianuración podemos encontrar el patrón de comportamiento de la Cinética de la Recuperación del Oro (Ver Figura N.º 8).

V. CONCLUSIONES

El concentrado gravimétrico sometido a molienda para obtener tamaños de partículas de 96% -200 mallas y lixiviado con 0.4% de cianuro durante 70 horas para obtener una recuperación superior al 95%, con un consumo promedio de 46 kilos de cianuro por tonelada de mineral.

A mayor tiempo de molienda la cinética de la disolución del oro es mejorado ostensiblemente.

La ecuación de la Cinética de la Cianuración elegida nos permite hacer simulaciones para otras condiciones de operación del proceso.

El contenido de cobre en el concentrado primario mantiene resistividad durante los ensayos de lixiviación efectuados.

VI. AGRADECIMIENTOS

Expresar los agradecimientos a los Ingenieros Ing. Luis Morán y del Ing. Antonio Samaniego de la Cía. Minera Yanaquihua por haber proporcionado el mineral de estudio, a CIMM – PERU por el apoyo en la data experimental y a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UNMSM por el soporte de su base de datos y al Instituto de Investigación IIGEO -UNMSM por el apoyo de sus Investigadores.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gupta.C.K, (2000). Hydrometallurgy in Extraction Processes, CRC.
2. CIMM PERU. (2011). Pruebas Metalúrgicas de Lixiviación de un mineral de Au-Cu Pre-Concentrado - Minera Yana Quinua.
3. Estadísticas del Ministerio de Energía y Minas (2011). <http://www.minem.gob.pe/estadisticas-Sector.php?idSector=1&String=&fechaMes=&fechaAño=&idCategoria=10&consultar>

4. J. Manrique (2005). Manejo de Pilas de Lixiviación de Oro en Minera Yanacocha S.R.L, Biblioteca Central - UNMSM, Tesis IME 2 , Lima, 2005
5. V. Arias (1996). Tecnologías de Refinación de Metales Preciosos. Grafica Grezzly. Lima, Perú.
6. Navarro P. (2001). Lixiviación de Oro con Tio-sulfato de Amonio Catalizado con Ion Cúprico desde un Concentrado Polimetálico. Jornadas SAM - CONAMET – AAS 2001
7. Magne L. Molienda de Minerales. <http://es.scribd.com/doc/41762870/Molienda>
8. Concha F, Austin L. (1994). Diseño y Simulación de Circuitos de Molienda y Clasificación. Universidad Técnica Federico Santa María Ediciones
9. Tumialan P. (2003). Compendio de Yacimientos Minerales del Perú, INGEMMET, 619 pp. Lima.