

Factores de concentración gravimétrica centrífuga en la recuperación de oro de un mineral carbonáceo aurífero

Centrifugal gravimetric concentration factors in the recovery of gold from a carbonaceous auriferous mineral

Juan Vega*; **Martin Taboada**

1 Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

*Autor correspondiente: jvega@unitru.edu.pe (J. Vega).

Fecha de recepción: 31 05 2018. Fecha de aceptación: 09 07 2018

RESUMEN

El presente estudio trató sobre la recuperación de oro a partir de un mineral aurífero carbonáceo procedente de la provincia de Pallasca, departamento de Ancash, mediante un concentrador gravimétrico centrífugo. El mineral analizó 7,2 g/t de Au y 0,22% C. Se probó la recuperación de oro con los factores de concentración gravimétrica centrífuga: tamaño de partícula, gravedad centrífuga, presión de agua, porcentaje de sólidos, ratio de concentración y caudal de pulpa. Los resultados obtenidos muestran que el factor de tamaño de partícula y la presión de agua, con los que más influyen en la concentración centrífuga. Se concluye que la mayor recuperación de oro se obtiene con tamaño de partícula 75 μm , comparando los demás factores vs el tamaño de partícula: con gravedad centrífuga 145 G's se obtuvo 66,15%, con presión de agua 13 psi se obtuvo 66,73%, con 15% de sólidos se obtuvo 56,47%, con ratio de concentración 20 se obtuvo 55,17% y con caudal de pulpa 15 l/min se obtuvo 62,13% de recuperación de Au respectivamente.

Palabras clave: mineral; carbonáceo; concentración; gravimetría; centrífuga.

ABSTRACT

The present study dealt with the recovery of gold from a carbonaceous gold ore from the province of Pallas-ca, department of Ancash, by means of a centrifugal gravimetric concentrator. The ore analyzed 7.2 g/t Au and 0.22% C. Gold recovery was tested with centrifugal gravimetric concentration factors: particle size, centrifugal gravity, water pressure, percentage of solids, concentration ratio and pulp flow. The results obtained show that the factor of particle size and water pressure, with which you most influence the centrifugal concentration. It is concluded that the highest recovery of gold is obtained with particle size 75 μm , comparing the other factors vs the particle size: with centrifugal gravity 145 G's was obtained 66.15%, with water pressure 13 psi was obtained 66.73%, with 15% solids, 56.47% was obtained, with a concentration ratio of 20, 55.17% was obtained, and with a pulp flow rate of 15 l/min, 62.13% of Au recovery was obtained, respectively.

Keywords: mineral; carbonaceous; concentration; gravimetry; centrifuge.

INTRODUCCIÓN

En Perú, región la Libertad, existen yacimientos auríferos con presencia de minerales carbonáceos. Los minerales de estos yacimientos son muy difíciles de

tratar por los métodos convencionales de cianuración, debido al efecto prerobbing que se produce, cuando algún constituyente del mineral, tales como: materia carbonosa, sulfuros o silicatos adsorben

oro de la solución cianurada rica durante el proceso (Meissl, 2012). El yacimiento del mineral estudiado se ubica en la Provincia de Pallasca, Departamento de Ancash. El mineral tiene presencia de oro libre y material carbonáceo. En pruebas preliminares por cianuración la recuperación ha sido menor a 10% de oro, otras pruebas realizadas por flotación tampoco han dado resultados satisfactorios, por lo que, estos métodos pueden seguir siendo atractivos solo en la medida en que pueden ser implementados a bajos costos. La opción de calcinar el carbón y luego tratarlo por cianuración, es una alternativa (Tremolada, 2011). La concentración por gravimetría es simple y económica de todos los métodos de procesamiento de minerales, donde las partículas son separadas por su diferencia de densidad. Sin embargo, ante la necesidad de contar con una tecnología que permita la recuperación de partículas cada vez más finas se ha intentado, durante las dos últimas décadas, sustituir las fuerzas gravitacionales (convencionales) por fuerzas centrífugas (Alvarez, 2006; Laplante, 1996). Para recuperar oro que está liberado o presente en partículas de oro de muy alta ley, a las que se hace referencia como oro recuperable por gravedad (GRG), presenta muchas aplicaciones tal es el caso en la mina de Penjom, que sufre de una componente preg robbing por mineral carbonoso. Una combinación de GRG seguido de cianuración intensiva contribuyó a un aumento en la recuperación general de oro cercana al 20% (Laplante, 2005; Lewis, 1999). La Liberación de la partícula valiosa (en micras) mediante chancado y molienda es una variable importante en la concentración de minerales (Bustamante *et al.*, 2008).

En la evaluación de los factores de la concentración centrífuga para el mineral carbonáceo indicado, se usó un concentrador centrífugo que desarrolla hasta 145 gravedades ($G's$).

MATERIAL Y MÉTODOS

Objeto de estudio

El objeto de estudio fue un mineral aurífero carbonáceo procedente de la provincia de Pallasca, departamento de Ancash que presenta, según análisis químico, 7,2 g/t de Au y 0,22% C. El mineral fue tratado mediante un concentrador gravimétrico centrífugo, para experimentar la

recuperación de oro y su relación con el tamaño de partícula, con los factores de concentración gravimétrica centrífuga: porcentaje de sólidos, presión de agua, gravedad centrífuga, ratio de concentración y caudal de pulpa.

Métodos y técnicas

Previo a la concentración gravimétrica centrífuga, se muestreó 2000 kg de mineral carbonáceo aurífero del yacimiento de Chavez León ubicado en Pallasca-Ancash, se secó el mineral a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ en estufa por 12 horas (ASTM D-2216), luego se hizo la preparación mecánica del mineral para la liberación de partícula valiosa (Bustamante *et al.*, 2008), usando chancadora de quijadas de 3 pulgadas x 4 pulgadas y molino de bolas de capacidad 30 kg, seguidamente se tamizó el mineral molido hasta obtener un 80% pasante las mallas N° 50 (300 μm) y N° 200 (75 μm) según NTP 400.012.

Se muestreó el mineral con cuarteador de rifles. La muestra se analizó por el método Fire Assay (ensayo al fuego), para cuantificar la ley de oro en g/t, el contenido de carbono fijo se hizo mediante el método instrumental de combustión seca y la densidad relativa se determinó por el método de la fiola.

Mediante cálculos de balance de masa se determinó el porcentaje de sólidos (Ec. 1) y se corroboró usando la balanza Marcy (Osorio *et al.*, 2015). Preparando pulpas de 15% y 35% de sólidos en peso (Carbajal y Chávez, 2015), en un tanque con agitación mecánica (acondicionador) del cual se agrega al equipo gravimétrico centrífugo.

$$\tau = \frac{100}{100 - x \left(1 - \frac{1}{\delta}\right)} \quad \text{Ec.1}$$

donde:

τ : Densidad pulpa, t/m³, kg/l, g/cm³

δ : Densidad mineral, t/m³, kg/l, g/cm³

x : Porcentaje de sólidos en peso (0→100)

La presión de agua de fluidización en el cono del equipo concentrador centrífugo se midió con el manómetro incorporado en el equipo, en el rango de 0-15 psi. Para la prueba se fijó en 5 y 13 psi. El caudal de pulpa para la capacidad del equipo (con $i150$ fue como máximo 80 l/min, que se midió en la tubería de salida del acondicionador, controlado el volumen mediante una válvula angular en un

Recipiente graduado (balde) y el tiempo mediante un cronómetro. Se fijó la válvula para 15 l/min y 50 l/min. Para la ratio de concentración se obtiene como describen Layza y Zegarra (2016):

$$\text{ratio} = \frac{\text{mineral alimento(kg)}}{\text{concentrado (kg)}} \quad \text{Ec. 2}$$

Se fijó la masa de concentrado en 1 kg y las ratios en 10 y 20.

Las gravedades de concentración gravimétrica centrífuga (G's) se determinan mediante la Ec. 3, desarrollada para los equipos centrífugos, fijándose en 80 G's y 145 G's.

$$G's = \text{Rotor} \varnothing (\text{pulg.}) \times (r.p.m)^2 / 70471 \quad \text{Ec. 3}$$

Las pruebas se realizaron en base al modelo bifactorial, teniendo como base el tamaño de partícula y para los cálculos estadísticos se usó el software Minitab versión 17.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la muestra

En la Tabla 1 se muestra los valores de la composición química en oro y carbono orgánico del mineral, obtenidos mediante ensayo al fuego para oro y plata, y el carbono orgánico mediante análisis instrumental empleando un equipo LECO (Kloster *et al.*, 2016).

Tabla 1. Análisis químico de la muestra

Elemento	Ley	Unidades
Au	7,20	g/t
C	0,22	%

Fuerza de gravedad centrífuga, tamaño de partícula y recuperación de oro

En la Tabla 2 se muestra los valores de recuperación de oro en función de la variación del tamaño de partícula y la fuerza de gravedad centrífuga calculada por la Ec. 4, con valores de 80 G's y 145 G's. Obteniéndose el valor más alto de 66,15% de recuperación de oro, al 75 µm y 145 G's, a menor tamaño de partícula y mayor fuerza de gravedad centrífuga, se obtiene mayor porcentaje de recuperación de oro. Esto debido a que, según la teoría de conminución y la aplicación de la gravedad centrífuga, existe mayor la liberación de partícula (Alvarez, 2006).

Tabla 2. Fuerza de gravedad centrífuga, tamaño de partícula y recuperación de oro

Nº pruebas	Fuerza gravedad centrífuga (G's)	Tamaño de partícula (µm)	Recuperación Au (%)
1	80	300	40,01
2	80	75	53,98
3	145	300	45,12
4	145	75	66,15

Presión de agua, tamaño de partícula y recuperación de oro

En la Tabla 3 se muestra los valores de recuperación de oro en función de la presión de agua y el tamaño de partícula, regulada por manómetro, obteniendo 66,73% de recuperación de oro con presión 13 psi y 75 µm de tamaño de partícula. Por lo tanto, a mayor presión de agua y menor tamaño de partícula se obtiene mayor porcentaje de recuperación de oro, debido al incremento de diferencia de densidad entre el oro y la ganga (Azañero, 2009).

Tabla 3. Presión de agua, tamaño de partícula y recuperación de oro

Nº pruebas	Presión de agua (psi)	Tamaño de partícula (µm)	Recuperación Au (%)
1	5	300	35,44
2	5	75	44,33
3	13	300	48,15
4	13	75	66,73

Porcentaje de sólidos, tamaño de partícula y recuperación de oro

En la Tabla 4 se muestra los valores de recuperación de oro en función del tamaño de partícula y el % de sólidos calculado con la Ec. 1, en 15 y 35 % de sólidos en peso, obteniendo 56,47% de recuperación de oro con 15% de sólidos, y 75 µm de tamaño de partícula. La Figura 3 muestra la tendencia que a menor porcentaje de sólidos y menor tamaño de partícula se obtiene mayor porcentaje de recuperación de oro, debido a la obstrucción que presenta los sólidos en su separación.

Tabla 4. Porcentaje de sólidos con tamaño de partícula y recuperación de oro

Nº pruebas	Porcentaje de sólidos (psi)	Tamaño de partícula (µm)	Recuperación Au (%)
1	15	300	50,25
2	15	75	56,47
3	35	300	41,33
4	35	75	51,75

Porcentaje de sólidos, tamaño de partícula y recuperación de oro

En la Tabla 5, se muestra los valores de recuperación de oro en función del tamaño de partícula y el ratio de concentración calculado con la Ec. 3, en 10 y 20, obteniendo 55,17% de recuperación de oro con ratio 20 y 75 μm de tamaño de partícula. A mayor ratio de concentración y menor tamaño de partícula se obtiene mayor porcentaje de recuperación de oro, debido a la mayor cantidad de masa que pasa por el cono del concentrador centrífugo.

Tabla 5. Ratio de concentración con tamaño de partícula y recuperación de oro

Nº pruebas	Ratio de concen. (Rc)	Tamaño de partícula (μm)	Rec. Au (%)
1	10	300	36,42
2	10	75	43,13
3	20	300	44,15
4	20	75	55,17

En la Tabla 6, se muestra los valores de recuperación de oro en función del tamaño de partícula y el caudal de pulpa, determinado con una válvula de regulación de flujo, obteniendo 62,13% de recuperación de oro con caudal 15 l/min y 75 μm de tamaño de partícula. A menor caudal y menor tamaño de partícula se obtiene mayor porcentaje de recuperación de oro, que se relaciona con el porcentaje de sólidos que a mayor cantidad de masa que pasa por el cono concentrador mayor recuperación de oro.

Tabla 6. Caudal de pulpa con tamaño de partícula y recuperación de oro

Nº pruebas	Caudal de pulpa (l/min)	Tamaño de partícula (μm)	Recuperación Au (%)
1	15	300	57,14
2	15	75	62,13
3	50	300	56,35
4	50	75	61,88

CONCLUSIONES

Según la recuperación de oro obtenida, en todos los factores estudiados el tamaño de partícula se comporta que a menor tamaño se obtiene el mayor porcentaje de recuperación de oro, así mismo con los factores de fuerza de gravedad centrífuga, presión de agua de fluidización y

ratio de concentración son directamente proporcionales con la recuperación de oro, esto es que a mayor valor de cada factor se obtiene mayor recuperación de oro, manteniendo un tamaño de partícula menor a 75 μm . Siendo el tamaño de partícula y la presión de agua donde se obtienen mayores márgenes de recuperación de oro por gravimetría centrífuga.

Por otro lado, los factores de caudal de pulpa y porcentaje de sólidos son inversamente proporcionales a la recuperación de oro, mostrando que a menor caudal de pulpa y menor porcentaje de sólidos en peso, se obtiene la mayor recuperación de oro.

AGRADECIMIENTO

Al laboratorio de procesamiento de minerales del departamento de Ing. Metalúrgica de la Universidad Nacional de Trujillo por brindar sus instalaciones para realizar el trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, A. 2006, Tecnología de la concentración centrífuga. Instituto de investigaciones en Metalurgia y Materiales. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz. 1-8 pp.
- Azañero, A. 2009, Factores que afectan la selección del proceso metalúrgico para beneficiar minerales complejos de oro. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG 12(24): 49-55.
- Bustamante, M.O.; Gaviria, A.C.; Restrepo, O.J. 2008. Concentración de minerales. Universidad Nacional de Colombia. CIMEX. Medellín. 15-16 pp.
- Carbajal, C.; Chávez, A. 2015. Estudio del concentrador gravimétrico helicoidal hecho con fibra de vidrio y sus parámetros de Funcionamiento. Tesis de bachiller, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. Perú. 99-103. pp.
- Kloster, N.; Pérez, M.; Bono, A. 2016. Análisis del carbono total, orgánico e inorgánico en suelos de la región semiárida pampeana Argentina. Ciencia del suelo 34(2): 365-372.
- Laplante, A. 1999. A standardized test to determine Gravity Recoverable Gold. Mc Gill University. Montreal, Canada. 1-3 pp.
- Laplante, A.; Gray, S. 2005. Advances in gravity gold technology. McGill University. Montreal, Canada. 280-283 pp.
- Layza, J.; Zegarra, T. 2016. Influencia del potencial de hidrogeno (pH) y la granulometría sobre el ratio de concentración y el porcentaje de recuperación de oro (Au), plata (Ag) y cobre (Cu) en la flotación de un mineral tipo sulfuro con alto contenido de plata. Tesis de bachiller.

- Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú. 23-31. pp.
- Lewis, G. 1999. Increased recovery from preg-robbing gold ore at Penjom gold mine. In: *Randol Gold and Silver Forum 1999*, Denver. Randol International, Golden, Colorado. 105-108. pp.
- Meissl, R.; Quinzano, V.; García, H.; Barrera, E. 2012. Determinación de preg-robbing en muestras auríferas del noroeste de la provincia de San Juan, Argentina. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* S4: 42-46.
- Osorio, A.; Marín, J.; Restrepo, G. 2015. Comportamiento reológico de pulpas de cuarzo a diferentes concentraciones del sólido. *Información tecnológica* 26(1): 135-142.
- Tremolada, J. 2011, Tratamiento de minerales carbonáceos de oro. *Boletín N° 107 Instituto de Ingenieros de Minas del Perú*. Jueves Minero.