

AMALGAMACIÓN DE CONCENTRADO DE ORO OBTENIDO EN CONCENTRADOR KNELSON

L. Valderrama¹, J. Chamorro¹, D. Olgún², J. Rivera³, J. Oyarce³

(1) Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama, Copiapó, Chile.

(2) Gerencia de Planta Empresa Nacional de Minería

(3) Planta Manuel Antonio Matta, Empresa Nacional de Minería

* e-mail de autor de correspondencia: luis.valderrama@uda.cl

RESUMEN

Se estudia la recuperación de oro en concentrados, obtenidos en el concentrador Knelson, por el proceso de amalgamación, así como las pérdidas de mercurio en los relaves y sus emisiones al medio ambiente. Se utilizó un concentrado obtenido en Planta Manuel Antonio Matta para realizar las pruebas de amalgamación; cuyos resultados muestran que técnica y ambientalmente es posible procesar el concentrado de oro por amalgamación, alcanzando recuperaciones de oro y de mercurio de 95% y de 96%, respectivamente.

Palabras claves: amalgamación, recuperación, oro, mercurio.

ABSTRACT

The recovery of gold in concentrates obtained in the Knelson concentrator, by the amalgamation process is studied and also the losses of mercury in the tailings and emissions to the environment. A gravity concentrate obtained in Manuel Antonio Matta plant was used for the amalgamation tests, where the results show that it is technically and environmentally possible to process the gold concentrate by amalgamation, reaching recoveries of gold and mercury of 95% and 96% respectively.

Key Words: amalgamation, recovery, gold, mercury.

1. INTRODUCCIÓN

La amalgamación es un proceso de concentración basado en la adherencia preferencial del oro por el mercurio, en presencia de agua y aire. Este es aplicado tal como se realizaba hace 3.500 años en Roma, en la extracción de oro.

La amalgamación es un proceso eficiente para la extracción de oro de granulometría superior a 200 mallas (0,074 mm) [1]. El proceso es simple, barato y cuando es usado correctamente las emisiones de mercurio son insignificantes [2]. La mojabilidad preferencial del oro por el mercurio, permite la combinación de los dos metales que conforman un conjunto de compuestos metálicos, denominado amalgama. Las tres amalgamas que se forman con el oro son AuHg, Au₂Hg y Au₃Hg, las que pueden contener entre 60 y 70% de oro.

El mercurio es usado en tubos fluorescentes, fabricación de cloro-soda, contactos eléctricos, amalgama dental, pilas, minería, etc. Chile, país productor de mercurio, no prohíbe su uso en la minería. Dado que es un reactivo barato, pues un kilogramo cuesta casi tres gramos de oro, no existen incentivos tendientes a recuperarlo y a disminuir sus emisiones al medio ambiente [3, 4].

Nuestro país ocupa el décimo cuarto lugar con una producción de 45.137 kilogramos de oro en el año 2011 [5]. Esta producción proviene de las grandes empresas (77,9%), seguida de las medianas empresas (19,8%) y de las pequeñas empresas o artesanales (2,3%) [6]. El precio del oro en el año 2012 fluctuaría entre las cifras récord de US\$ 1.800 y US\$ 2.000 la onza Troy [6,7].

Si el proceso de amalgamación es aplicado a todo el mineral, se generan pérdidas de mercurio en los relaves hasta 70%, siendo la recuperación de oro de 50%. Los relaves de la amalgamación, con un contenido cercano al 70% de oro del mineral, son dejados en la planta donde se flota y recupera alrededor del 90% del oro residual de los relaves [8].

Cuando se amalgaman concentrados obtenidos de procesos gravitacionales en equipos apropiados, se obtienen altas recuperaciones y menores pérdidas de mercurio. En molinos rotatorios se adiciona una parte de mercurio por 70 a 100 partes de concentrados. Después de 40 a 70 minutos de operación la amalgama puede separarse del mineral por lavado con agua. Amalgamaciones con tiempos muy prolongados causan la pérdida de mercurio por la formación de pequeñas gotas de mercurio, que dificultan su recuperación. Por otro lado, el uso de bolas de acero en el molino desintegra al mercurio [9].

Los relaves de la amalgamación contienen altos contenidos de mercurio (100 a 500 ppm) y deben ser almacenados en lugares especiales para evitar la disolución del mercurio metálico [8].

Una vez separada la amalgama del mineral, el exceso de mercurio no combinado con el oro es removido por filtración, a través de la torsión manual de la amalgama en un trozo de paño. Del 70 a 90% del mercurio introducido en el proceso de amalgamación, puede ser reciclado después del filtrado manual [2]. La filtración por centrifugación ha demostrado ser una etapa necesaria porque produce una amalgama que puede contener 80% de oro [9].

La eliminación del mercurio de la amalgama puede ser realizada química o térmicamente. La más utilizada a nivel mundial es la descomposición térmica de las amalgamas. Usando gas para evaporar el mercurio en olla, cucharas, latas, donde se obtiene una esponja de oro. Cuando esto se realiza, el mercurio de la amalgama es evaporado y esparcido en la atmósfera, alcanzando concentraciones en el lugar de 60.000 µg/m³, donde una parte es adsorbido por los pulmones de los trabajadores, lo que les genera enormes problemas de salud [10].

Las retortas usadas en la descomposición térmica de amalgamas, producen una reducción significativa de la emisión de mercurio, pero es poco usada por los mineros artesanales que trabajan el oro. Una retorta está constituida por un compartimiento, donde la amalgama es calentada, y un tubo

condensador que puede ser enfriado por agua o aire. Como casi todas las sales de mercurio son volátiles a temperaturas por sobre 400°C, más del 95% del mercurio de las amalgamas de oro puede ser condensado y reutilizado [11].

Muchos trapicheros no utilizan retortas porque no se dan cuenta de la acción tóxica de los vapores de mercurio, ni están convencidos de los problemas que acarrearán a su salud o al medio ambiente. Ellos argumentan que el proceso de retorta es lento y caro. En una campaña que inició la Empresa Nacional de Minería, ENAMI, para tratar de evitar esta contaminación, entregó retortas sin costos en plantas de trapiches en la Región de Atacama y Coquimbo. [12]

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materiales y reactivos

Un concentrado de oro producido en el concentrador Knelson de planta Manuel Antonio Matta, fue utilizado en los estudios de amalgamación a escala de laboratorio. El mercurio metálico usado fue envasado en agua para evitar pérdida por evaporación. Bolas esféricas de sílice de tamaño nominal de $2,4 \pm 0,1$ mm, (20,3 gramos) fueron utilizadas con el objetivo de limpiar la superficie de las partículas de oro.

Un sistema para recuperar el mercurio del mineral que consistió básicamente de una retorta de 250 gramos de capacidad para

recuperar el mercurio contenido en la amalgama filtrada. Un soplete a gas para calentar la retorta, condensador, frasco colector de mercurio y mangueras para hacer circular el agua en el condensador.

2.2. Metodología

Las pruebas de amalgamación fueron realizadas utilizando un molino de porcelana. Estas se efectúan en un barril de 13,3 cm de diámetro y 18,8 cm de longitud con capacidad de 2,9, siendo la velocidad de rotación del barril de 70 rpm (60% de la velocidad crítica).

Terminada la amalgamación se debe separar la amalgama de la pulpa. El material se descarga en baldes a los cuales se le agrega agua a presión, para que las colas sean evacuadas por rebose y la amalgama y el mercurio residual se depositen en el fondo del recipiente. Este procedimiento requiere de un manejo cuidadoso, lo que implica un tiempo largo en su ejecución para que no se incrementen las pérdidas de amalgama ni las de mercurio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra la alta ley de oro del concentrado, obtenido en planta Manuel Antonio Matta, usando un concentrador Knelson.

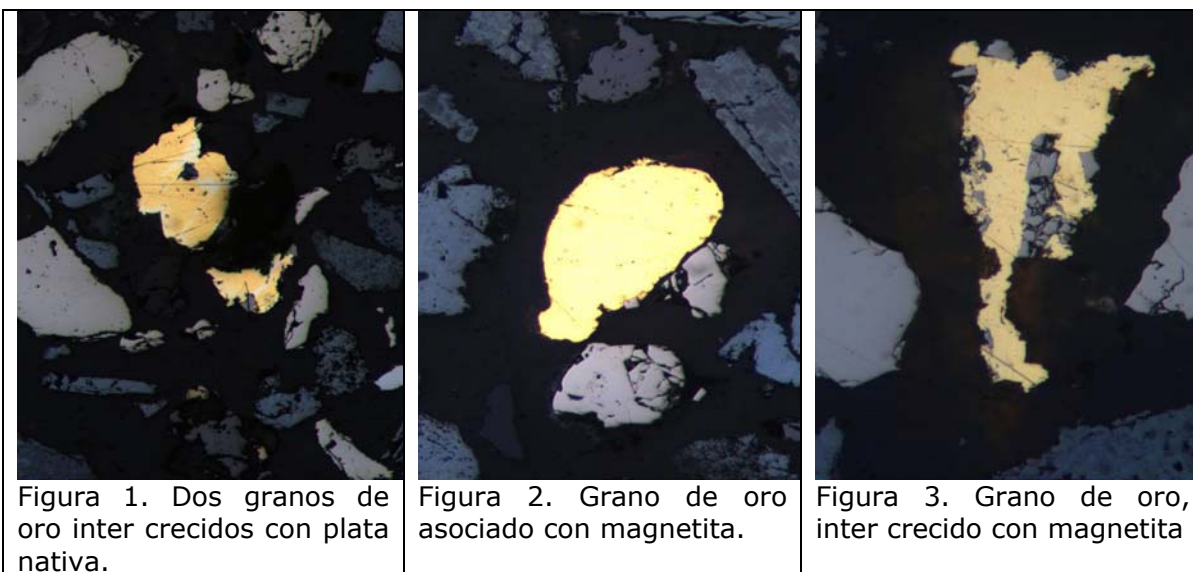
Tabla 1. Análisis químico del concentrado

Elemento	Cu (%)	Fe (%)	Au [gt ⁻¹]	Ag [gt ⁻¹]
Ley	1,91	42,0	9.818,3	295

El peso específico del concentrado, determinado mediante el método del picnómetro, fue de 4,43 kgL⁻¹.

El análisis mineralógico del concentrado de oro indicó que está compuesto por ganga silicatada, limonita, magnetita parcialmente

oxidada a limonita, hematita, pirita, bornita, calcopirita, calcosina, covelina y cobre nativo. El oro se encuentra en la forma de numerosos granos liberados de varias decenas de micrómetros de largo, en parte asociado con plata y con magnetita.



La figura 1 muestra dos granos de oro intercrecidos con plata nativa, cuyos granos tienen forma irregular angulosa de tamaño de 200 x 150 y 100 x 60 μm largo x ancho, donde el oro se encuentra liberado.

La figura 2 muestra un grano de oro asociado con magnetita. El oro presenta una textura homogénea y forma subredondeada con bordes parcialmente corroídos, de un tamaño de 160 x 90 μm largo x ancho, asociado con magnetita.

La figura 3 muestra un grano de oro de textura porosa y bordes irregulares, intercrecido con magnetita, de tamaño 140 x 50 μm , asociado con magnetita.

La distribución de tamaño del concentrado es mostrada en la tabla 2, en la que se indican las diversas fracciones granulométricas obtenidas a diferentes tiempos de molienda.

Tabla 2. Análisis granulométrico a distintos tiempos de molienda.

Malla/tiempo (min)	% Acumulado pasante				
	Sin moler	15'	30'	38'	45'
20	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
40	99,3	99,96	99,99	99,99	99,99
50	96,0	98,1	99,7	99,8	99,8
70	88,5	94,4	98,8	98,9	99,1
100	75,0	86,8	95,9	96,9	97,1
140	51,0	69,8	84,3	88,4	89,3
200	29,9	52,2	67,1	72,0	73,7
-200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

La figura 4 muestra el efecto de la granulometría del concentrado de oro en función de la recuperación de oro y de mercurio. Como se observa en dicha figura, a

medida que el tamaño granulométrico disminuye la recuperación de oro en la amalgamación se incrementa proporcionalmente hasta llegar a un máximo

de 94,9%. La recuperación de mercurio se mantiene constante en todo el intervalo granulométrico, a excepción de la fracción granulométrica 70% bajo la malla 200, que disminuye a 94,8.

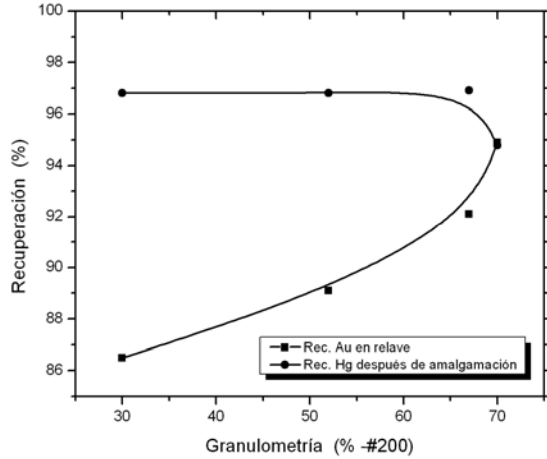


Figura 4. Efecto de la granulometría en función de la recuperación de oro y mercurio.

De esta forma, se concluye que la granulometría óptima para realizar la amalgamación del concentrado obtenido en el concentrador Knelson es de 70 % bajo la malla 200.

La figura 5 presenta el efecto de la velocidad de rotación del molino sobre la recuperación de oro y de mercurio en el proceso de amalgamación. El aumento de la velocidad de rotación del molino produce una disminución tanto en la recuperación de oro como en la de mercurio, alcanzando recuperaciones de 92% y 91,7%, respectivamente, para el valor máximo de velocidad usada en estas pruebas que fue de 86 rpm. Estos valores obtenidos indican que a medida que la velocidad del molino aumenta el mercurio se dispersa en pequeñas gotas, las que no son perdidas en el relave junto con el oro amalgamado.

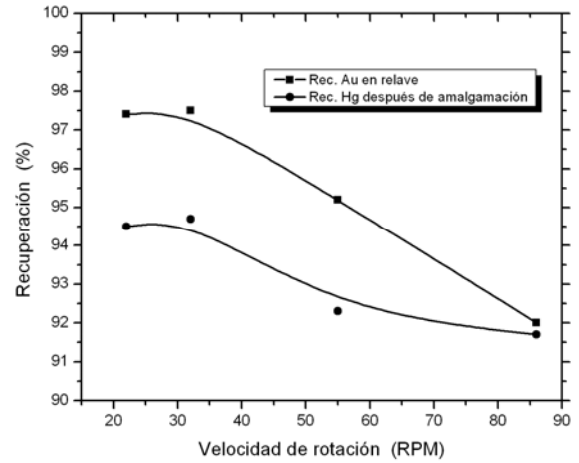


Figura 5. Efecto de la velocidad de rotación del molino en función de la recuperación de y mercurio.

En la figura 6 se muestran el efecto del tiempo de amalgamación en función de la recuperación de oro y de mercurio. Se puede observar que un aumento del tiempo de amalgamación produce un incremento bastante significativo en la recuperación de mercurio y en la recuperación de oro. Para un tiempo de amalgamación de 4 horas se alcanza una máxima recuperación de oro (96,7%), siendo la recuperación de mercurio de 96,2%.

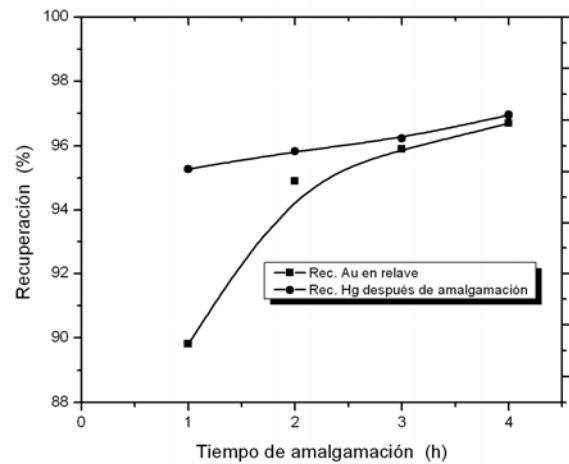


Figura 6. Efecto del tiempo de amalgamación en función de la recuperación de oro y mercurio.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en las pruebas de amalgamación mostraron buenas recuperaciones de oro usando mercurio. La aplicación de dicho proceso intenta minimizar los problemas de contaminación que afectan a la salud de las personas y al medio ambiente. De esta manera, el uso del mercurio en el proceso de amalgamación necesariamente tiene que realizarse en molinos cerrados y el mercurio debe ser removido de la pella por el método de retorta.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Wenqian, W. and Poling, G. W. 1983. Methods for Recovering Fine Placer Gold. CIM - Canadian Inst. Mining and Metallurgy Bulletin, V 76, N. 860, p. 47 – 56.
- [2] Farid, L. H., et al. 1991. Controle de Emissão e Recuperação de Mercúrio do Garimpo. In: Paconé: Un campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo, p. 27-44, M. M. Veiga, F. R. C. Fernandes (eds) CETEM/ENPq, Rio de Janeiro, Brasil.
- [3] Maln, O. 1991. Contaminação Humana e Ambiental de Mercurio dos Garimpos de Ouro do Rio Madeira, Amazonia. Tese de Doutorado de UFRJ, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filhos. Rio de Janeiro, 106p.
- [4] Velasquez, P.C., et al. 2010. Mercury Balance in Amalgamation in Artisanal and Smallscale Gold Mining: Finding Ways to Reduce Environmental Pollution in Portovelo-Zaruma, Ecuador. J. Cleaner Production, 18:3, p.226–232.
- [5] <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/gold/mcs-2012-gold.pdf>
- [6] SERNAGEOMIN. Anuario de la Minería de Chile. 2011.
- [7] <http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/hoy/detalle/index.asp?idnoticia=20120321961096&idcuerpo=1011>.
- [8] Veiga, M.M. 1997. Introducing New Technologies for Abatement of Global Mercury Pollution in Latin America. Ed. Unido/UBC/CETEM, Rio de Janeiro, 94p.
- [9] Meech, J. A., et al. 1998. Reactivity of Mercury from Gold Mining Activities in Darkwater Ecosystems. *Ambio*, v 27, N 2, p. 92-98.
- [10] McDaniels, J., et al. 2010. Appraising the Global Mercury Project: an Adaptive Management Approach to Combating Mercury Pollution in Small-scale Gold Mining. *International Journal of Environment and Pollution*, 41:3-4, p. 242-258.
- [11] Almeida P. F., Veras, R. 1995. Unidade Experimental de Manual de Operação amalgamação e Queima de Mercúrio. Ed. Brasília: UEA&Q, Jan/ 1. 26 p.
- [12] Valderrama, L. 2009. Estudio para optimizar la quema de mercurio en pellas de oro. Informe, ENAMI, 60p.