

RECUPERACIÓN DE ORO LIBRE MEDIANTE SU AGLOMERACIÓN CON UN AGREGADO CARBÓN – ACEITE

Alba Milena Atehortúa E.¹, Ana Cecilia Gaviria C.² y Juan David Perez S.³

*1. Candidata a Ingeniera de Minas y Metalurgia, 2. Ingeniera Química, Ms.C. en Metalurgia Extractiva, 3. Ingeniero de Minas y Metalurgia, Ms. C. en Ingeniería de Minas
Instituto de Minerales – CIMEX, Centro del Carbón
Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín
amatehor@unal.edu.co , acgaviri@unal.edu.co, jdperez@unal.edu.co*

Recibido para evaluación: 01 de Diciembre de 2005 / Aceptación: 13 de Mayo de 2006 / Recibida versión final: 2 de Junio de 2006

RESUMEN

Ante la problemática ambiental generada en los distritos mineros auríferos por el mal uso de reactivos como el mercurio, en la técnica ancestral de amalgamación, el Instituto de Minerales y el Centro del Carbón de la Universidad Nacional Sede Medellín, realizaron un proyecto de investigación con miras a implementar a nivel de laboratorio la técnica desarrollada por House L, Townsend I. y Veal C. J., en 1988, en la cual el mercurio es reemplazado por un agregado de carbón aceite. Dicho proyecto fue auspiciado por la unidad DIME y fue ejecutado en el periodo comprendido entre el año 2004 y 2005. Los diferentes tipos de carbón, así como la calidad del aceite a usar y la granulometría de las partículas de oro libre dentro de la muestra seleccionada como problema, fueron algunas de las variables seleccionadas por el Grupo de Investigación. La secuencia experimental mostró niveles de recuperación de metales preciosos mayores a los alcanzados por la técnica clásica de amalgamación, minimizando así, no solo la problemática ambiental asociada al mal uso del mercurio, sino también a la posibilidad de darle una aplicación a los aceites residuales de los procesos mecánicos, que actualmente generan contaminación en cualquier ciudad o pueblo del departamento. Habiendo alcanzado los objetivos planteados en el proyecto, el Grupo Investigador desea publicar los resultados, con miras a fortalecer la investigación creciente de alternativas no convencionales tendientes a la recuperación de metales preciosos libres.

PALABRAS CLAVES: Amalgamación, Granulometría, Metales Preciosos, Recuperación de Metales , Extracción Granulada.

ABSTRACT

Given the environmental problems, generated in the auriferous mining districts by the wrong use of reagents like mercury, using the ancestral technique of amalgamation the Instituto de Minerales and the Centro del Carbón of the Universidad Nacional Sede Medellín made a research project, implementing at a laboratory level, the technique developed by House L, Townsend I. and Veal C. J., in 1988, in which mercury is replaced by a coal oil aggregate. This project was supported by the unit DIME and was performed between the years 2004 and 2005. Different types from coals, oils and free gold particles of different size distribution, within the sample problem, were some of the variables selected by the research group. The experimental sequence showed recovery levels of precious metals higher than the levels reached by the classic technique of amalgamation minimising, not only the environmental problems associated to the wrong use of mercury, but also is a possibility of application for residual oils of mechanical processes, that at the moment generate contamination in any city or town of the department of Antioquia. Having reached the objectives planed in the project, the research group wishes to publish the results, looking forward to contribute to the increasing research of none conventional alternatives for the recovery of free precious metals.

KEY WORDS: Amalgamation, Granulometry, Aggregate Extraction, , Precious Metals, Metals Recovery.

1. ARGUMENTOS TEÓRICOS

El proceso de recuperación de oro aprovecha el comportamiento hidrofóbico de las partículas de oro que les permite que se adhieran a los aglomerados de aceite-carbón. En este proceso los aglomerados son recirculados hasta alcanzar determinada carga de oro, momento en el cual, son separados de la pulpa y calcinados. Las cenizas obtenidas son sometidas a fundición para así conseguir el botón de oro metálico, la Figura 1 representa el proceso básico de la formación de aglomerados.

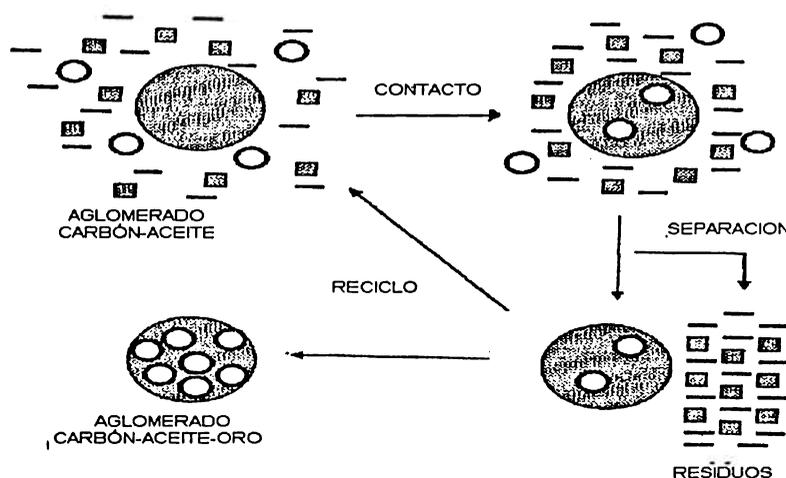


Figura 1. Proceso básico de la formación de aglomerados

Han sido probados diferentes materiales hidrofóbicos para originar aglomerados a escala de laboratorio, tales como grafito sintético, carbón, aceite diesel, queroseno y aceites vegetales de soya y maíz. El carbón fue el que presentó los mejores resultados, los cuales fueron comparados con los alcanzados en la amalgamación, reportándose recuperaciones cercanas al 90%, de lo obtenido por amalgamación, Lins F., Marciano A. y Costa L.S.N (1994).

Otros investigadores, confirman que la recuperación de oro se incrementa ante la disminución de la relación aceite-carbón, el aumento de la relación mineral-aglomerados y la disminución del tamaño de las partículas de carbón y de los aglomerados, Tran T. y otros, (1998).

Entre las ventajas del proceso CGA ante los procesos de recuperación tradicionales como la cianuración y amalgamación, se tienen:

- La recuperación es alta e independiente del rango de tamaños de las partículas de oro, el cual pueden estar entre mayores de 300 micrones y menores de 5 micrones.
- Menor tiempo de residencia.
- Menor consumo de reactivos.
- En minerales donde el oro está libre, la cinética de recuperación es constante con el tiempo debido a que no se tiene limitaciones en cuanto a la carga de los aglomerados.
- Impacto ambiental inferior con respecto a la contaminación del cianuro o el mercurio.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Buscando establecer una secuencia experimental adecuada, se desarrollaron las siguientes actividades.

- Caracterización mineralógica.
- Pruebas hidrometalúrgicas de amalgamación.
- Pruebas de generación de pellets o aglomerados de carbón aceite
- Pruebas hidrometalúrgicas de recuperación de oro mediante el contacto pellets – pulpa mineral

2.1. Caracterización Mineralógica

En la identificación de cada uno de los actores del proyecto, se realizaron pruebas de caracterización a la muestra mineral, a las muestras de carbón y al aceite, los resultados y evaluaciones se presentan a continuación:

2.1.1. Características del Mineral

El mineral objeto de la investigación provenía del Sur del departamento de Bolívar, y para caracterizarlo, se le practicaron los siguientes análisis:

- Distribución Granulométrica: con el fin de adecuar el mineral para la amalgamación, se sometió a pruebas de trituración y molienda para generar un material, cuyo d_{80} se ubicó en las cercanías de la malla 35 Tyler.
- Análisis Químicos Elementales: La determinación de los componentes químicos de la muestra se efectuó en el laboratorio de análisis químico del I.M. CIMEX de la Facultad de Minas, empleando Normas ISO - NTC, bajo las técnicas de espectrofotometría de Absorción Atómica y Complexometría.

Para la determinación de los contenidos de oro y plata, se empleó la técnica de Ensaye al Fuego – No Convencional, por la presencia de oro libre en la muestra, evitando así el denominado efecto “pepita”. Los resultados de estos análisis se presentan en la Tabla 1. Los resultados de Ensayes al Fuego, practicados a las diferentes fracciones del mineral, reportaron la distribución de oro descrita en la Tabla 2.; además, cada una de las fracciones fue analizada al microscopio, encontrándose que el nivel de oro libre es evidente y por tanto, es posible visualizar la recuperación de oro mediante la técnica tradicional de amalgamación. La liberación de las partículas de oro se presenta con mayor intensidad en el material inferior a $106 \mu\text{m}$ (inferior a la malla 150 Tyler).

Tabla 1. Análisis químico elemental de la muestra

Fe	Cu	Pb	Zn	As	Insolubles	Au	Ag
(%)						(gpt)	
40.04	1.04	33.35	1.93	4.28	11.22	75.5	77.2

Tabla 2. Distribución porcentual de peso y metales preciosos

Malla Tyler (#)	Peso Retenido (%)	Oro Retenido (%)	Plata Retenida (%)
+35	14.64	8.52	3.14
-35+65	27.09	18.98	22.96
-65+150	17.52	20.94	16.87
-150	40.76	51.56	57.03

2.1.2. Características de las Muestras de Carbón

- Carbón proveniente de Titiribí: Los análisis a esta muestra se realizaron en el Centro del Carbón de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional. La caracterización incluyó análisis próximo, elemental y petrográfico. Este carbón es un producto no-lavado proveniente de mantos cuyo poder calorífico varía entre 10,000 BTU/lb hasta 12,000 BTU/lb. El contenido de ceniza está alrededor de 7.4% en peso. El contenido de materia volátil del carbón está alrededor de un 15%, al tiempo que el azufre total es menor de 0.81%. El carbón fue separado por rangos de tamaños, desde 1 pulgada hasta carbón pasante la malla 48 Tyler, para obtener mejores resultados en las pruebas de aglomeración.
- Carbón activado de origen orgánico: Al proveedor de la muestra se le solicitó información relativa a: área específica por rango de tamaño, área específica del macroporo, volumen de poro total, densidad aparente, granulometría, coeficiente de uniformidad y % de cenizas.

2.1.3. Características de la muestra de aceite

Según la literatura, los aceites vegetales refinados tienen menor poder aglomerante que los aceites vegetales crudos debido a que los refinados pierden los ácidos grasos libres durante la refinación y son éstos los que confieren las características al aceite. Una propiedad a tener en cuenta de los ácidos grasos es la viscosidad que depende de los largo de la cadena de átomos de carbono de la molécula. La investigación realizada para COLCIENCIAS por el Grupo de la U.I.S. por, Pedraza y Colaboradores, (2002), reporta que los mejores aceites aglomerantes son el ácido graso de soya, el aceite crudo de soya y el aceite Diesel-Kerosén; es decir, el aceite quemado sobrante del proceso de combustión de los vehículos. Teniendo en cuenta la facilidad de consecución del aceite quemado y su bajo costo se decidió desarrollar la secuencia experimental con éste tipo de aceite. Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Crudos de la Facultad de Minas y los parámetros determinados fueron densidad y viscosidad.

2.2. Pruebas Hidrometalúrgicas de Amalgamación

Con el ánimo de presentar resultados comparativamente a la base de una técnica reconocida, se efectuó la amalgamación de las partículas de oro libre, aunque se deja claridad de que esta técnica históricamente, ha causado severos daños ambientales a los recursos suelo, aire e hídrico en los distritos mineros donde se aplica. Las condiciones de operación fueron:

- Granulometría del mineral: Se realizaron pruebas empleando mineral de los rangos de tamaño -35+65, -65+150 y -150, mallas Tyler.
- Tiempo de amalgamación: Una hora y media.
- pH: Se determina el pH natural a cada muestra y se lleva por medio del uso de soda cáustica (NaOH) a un pH de trabajo entre 10.5 y 11.
- Dilución de la pulpa: 1:1 (L:S), teniendo en cuenta la capacidad de los equipos del laboratorio, se procesaron muestras de 500g de mineral.
- Mercurio empleado del 5-7% en peso, calculado sobre la base del sólido seco.

Los resultados alcanzados se presentan de forma resumida en la Tabla 3.

Tabla 3. Recuperación de oro y plata por amalgamación

Malla Tyler (#)	Recuperación	
	Au (%)	Ag (%)
-35 + 65	45.05	5.80
- 65 + 150	52.57	3.34
- 150	52.51	5.09
MEZCLA	51.11	6.52

2.3. Pruebas Hidrometalúrgicas de Aglomeración

Las pruebas para generar los pellets o aglomerados, fueron realizadas empleando la alternativa de agitación en reactor y de sacudida mecánica, empleando el Ro-tap del I.M. CIMEX. Los parámetros empleados en cada prueba se describen a continuación:

- Pellets generados por sacudida mecánica: se emplearon muestras entre 25 a 50 g de carbón con granulometrías: pasante malla 8 y retenido en la malla 20, pasante malla 20 y retenido en la malla 48 y pasante malla 48; el contenido de aceite se varió de 3 a 20 g, la cantidad de agua adicionada se varió desde 4 ml hasta 25 ml y los tiempos de contacto oscilaron entre 5 a 15 minutos. En total se realizaron 10 pruebas preliminares de las cuales se obtuvo información suficiente para determinar que estos pellets no tenían las características adecuadas para la ejecución del proceso CGA.
- Pellets generados por agitación mecánica: Para la formación de los aglomerados se realizó una mezcla del carbón con el agua y el aceite mediante agitación en recipientes de plástico, se manejaron varias revoluciones y se controló a su vez el tiempo de residencia en cada prueba. Esta misma secuencia fue utilizada para diferentes rangos de carbón con el fin de obtener la mayor resistencia en los aglomerados.

De los resultados alcanzados en las pruebas anteriores y del control sobre los principales parámetros puede establecerse como conclusión, relativa a la granulometría del carbón, que la más apta para la formación de pellets con la debida resistencia y consistencia esperada, es la malla más fina, pasante malla 48.

2.4. Pruebas Finales – Recuperación de Oro con Pellets Carbón Aceite

Se realizaron pruebas preliminares para conocer la respuesta natural del material ante el contacto con los aglomerados, sin ayuda de ningún tipo de acondicionador. Al terminar las pruebas se separan los aglomerados cargados de Au de las colas o mineral agotado mediante tamizaje y flotación natural. Estos aglomerados fueron secados durante media hora en una estufa, para luego ser quemados durante 8 horas en una mufla a una temperatura aproximada a 900°C. Las cenizas resultantes se fundieron para determinar el contenido de oro. Los niveles de recuperación de oro logrados fueron de 36%, en la separación por flotación, lo cual concuerda con la literatura MOSES, (2000), donde se reporta que la flotación tiene un 10% más de recuperación que el método de separación por tamizaje.

Para conocer la influencia de los acondicionadores en la recuperación del oro, se trabajaron dos tipos de Xantatos conocidos en el comercio como KAX 350 y KAX 343; los resultados alcanzados con las muestras de carbón no activado en estas pruebas, permitieron alcanzar recuperaciones entre el 50 al 60% del oro total. Sin embargo, los niveles de recuperación de oro en las muestras de carbón activado fue mucho menor, mostrando un efecto negativo debido a la presencia de los Xantatos.

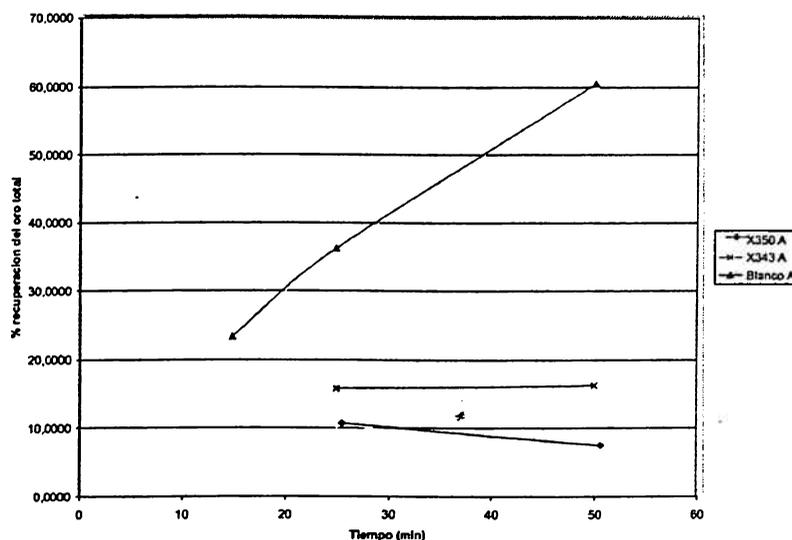


Figura 2. Recuperación de oro, con y sin presencia de Xantatos

3. CONCLUSIONES

Analizando los resultados reportados por las pruebas, realizadas a nivel de laboratorio, en cuanto a la efectividad en la recuperación de oro libre, de granulometría fina, se presentan las siguientes conclusiones:

- La recuperación de oro libre por el sistema de amalgamación empleando mercurio, logra niveles equivalentes al 50% del oro total, con concentraciones de Hg del 5%, en un tiempo de operación de 1.5 horas.
- Los aglomerados carbón aceite, más resistentes y de mejor estructura son conseguidos mediante agitación en medio acuoso, utilizando carbón activado fino y una velocidad de agitación de 600 rpm.
- Durante la aglomeración, las partículas más finas se asocian a los poros pequeños formados por la adhesión de partículas gruesas; es decir, que a menor tamaño de partícula del carbón, los aglomerados serán más resistentes.
- El proceso de adherencia del oro a los aglomerados de carbón no activado/aceite, se mejora perceptiblemente con la presencia de colectores químicos. En tanto que la adhesión del oro en aglomerados de carbón activado/aceite, se ve afectada negativamente por la adición de colectores.
- El carbón activado es el de mejor respuesta con recuperaciones del 61 % del oro total, equivalente al 122% con respecto al proceso de amalgamación.

4. BIBLIOGRAFIA

- Calves, J.P.S., Kim, M.J., Wong, P.M.L. y Tran, T., 1998. Use of Coal-Oil Agglomerates for Particulate Gold Recovery. *Minerals Engineering*. Vol. 11, No. 9. pp 803-812.
- Domic Mihovilovic, E., 2001. Hidrometalurgia: fundamentos, procesos y aplicaciones. Consejo Minero de Chile, 947 P.
- Gilbert G.A., 1986. Refractory Gold, Consulting Metallurgist. Johannesburg. General Union mining Corporation Ltd.
- Grupo de Investigaciones en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente, 2002. Algunas alternativas de solución a la problemática ambiental del mercurio en la minería del oro. Universidad Industrial de Santander, 165 P.
- Marciano, A., Costa, L.S.N., y Linns, F.F., 1994. Utilization of Coal-Oil-Agglomerates to Recover Gold Particles. *Minerals Engineering*, Vol. 7. No. 11, pp 1401-1409.
- Mejia, J. C., 2004. Evaluación del método de lixiviación en canchas y diseño de banco de pruebas. Universidad Nacional de Colombia, 76 P.
- Moses, L.B. y Petersen, F.W., 2000. Flotation as a separation technique in the coal gold agglomeration process. *Minerals Engineering*. Vol. 13. No. 3, pp 255-264.
- Pelhlke, R.D., 1975. Unit Processes of Extractive Metallurgy. American Elsevier Pub.
- Wu, X.Q, Gochin, R.J, Monhemius, A.J, 2004. The adhesion of gold to oil-carbon agglomerates. *Minerals Engineering*, Vol 17, pp 33-38.