

ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE ADSORCIÓN DE ORO Y PLATA A ESCALA AMPLIADA EN MENAS CUARZOSAS CON EMPLEO DE LA TECNOLOGÍA DE CARBÓN EN PULPA.

STUDY THE ADSORPTION KINETICS OF GOLD AND SILVER ON ENLARGED SCALE OF ORE QUARTZ-CONTAINING WITH EMPLOYMENT OF THE TECHNOLOGY OF CARBON - IN PULP.

Marcela Figueredo Frías ⁽¹⁾, Fátima Bugallo Davis ⁽¹⁾, Emilio Montejó Serrano ⁽¹⁾, José Castellanos Suárez ⁽¹⁾, Martha Velázquez Garrido ⁽¹⁾, Eliecer Hidalgo Liriano ⁽¹⁾, Alberto Rodríguez ⁽¹⁾, Azor Martínez ⁽¹⁾, Zayli Pérez ⁽¹⁾.

En este trabajo se presenta el estudio de la cinética de adsorción de oro y plata a escala ampliada, de un mineral cuarzoso de alta ley, con empleo de la tecnología de carbón en pulpa (CIP). Para las pruebas de adsorción se empleó un sistema de adsorción en pachucas, donde se consideraron 5 etapas, la concentración de carbón por etapa fue de 20 g/L en las tres primeras y 30 g/L para las dos últimas etapas, el flujo de pulpa lixiviada alimentado al sistema fue 1 L/min y se transfería cada 6 horas 250 g de carbón. El método empleado para la determinación del contenido de oro y plata en el mineral de alimentación y las colas fue fusión –copelación, la concentración de metales (Au y Ag) e impurezas en las soluciones se determinaron por técnicas de análisis químico elemental como (ICP) Espectroscopia de Masa de Plasma Acoplada Inductivamente y absorción atómica. Los resultados obtenidos demostraron la compatibilidad de las menas con el proceso de CIP, alcanzándose una alta **eficiencia de adsorción de 99,2%** y una ley de oro en carbón de 4,37 kg/t, el tiempo de adsorción total fue 8,3 horas.

Palabras clave: Carbón en pulpa, adsorción de oro, carbón activado.

In this work we study the adsorption kinetics of gold and silver on an enlarged scale, of a quartz high grade ore, use of technology with carbon-in-pulp (CIP) is presented. Adsorption tests for an adsorption system in pachucas, which considered five stages, the concentration of coal per stage was 20 g/L in the first three and 30 g/L for the last two stages, the flow was used leached pulp fed to the system was 1 L/min and transferred every 6 hours 250 g of charcoal. The method used for the determination of gold and silver in the ore feed and tails was fusion-fire assay, the concentration of metals (Au and Ag) and impurities in the solutions were determined by techniques of elemental chemical analysis as (ICP) mass spectroscopy and inductively coupled plasma atomic absorption. The results showed the compatibility of the ores with CIP process, reaching high adsorption efficiency 99.2% and gold grade coal of 4.37 kg/t, the total adsorption time was 8.3 hours.

Keywords: Carbon in pulp, gold adsorption, activated coal.

Recibido: 14 de abril del 2014

Aprobado en su forma original: 19 de mayo del 2015

(1) Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), Varona 12028 Km1^{1/2} Boyeros, La Habana, Cuba, CP-10800 Correo electrónico: marcela@cipimm.minem.cu

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de minerales de oro y plata por cianuración se ha incrementado significativamente en los últimos años con la implementación del proceso de carbón en pulpa (CIP). Dependiendo del tipo de mineral se selecciona el método de cianuración más idóneo, comúnmente minerales con contenidos económicos de oro, donde el oro se encuentra libre y accesible a la penetración de las soluciones cianuradas, con bajos contenidos de cianidas y minerales arcillosos con dificultades para la sedimentación, se recomienda la aplicación de la cianuración por agitación.

El proceso de adsorción de oro con carbón en pulpa (CIP) que fuera desarrollado en Sudáfrica en la década del 70, es considerado el avance tecnológico más significativo de los últimos tiempos en cuanto a métodos aplicados a la recuperación de oro [Afenya, 1991; Hausen y Bucknam, 1985]. En este proceso se usa el carbón activado para adsorber el oro directamente de la pulpa cianurada, a medida que se va disolviendo o pasando a solución. La pulpa se agita en tanques de gran tamaño y fluye en forma continua desde el principio al último de la serie, mientras que el carbón lo hace en la dirección opuesta (a contra-corriente), en forma discontinua y mediante la utilización de transportación con aire.

El oro en solución es adsorbido por el carbón [Rees y Van Deventer, 2001], resultando finalmente la pulpa totalmente lixiviada, y la solución prácticamente con trazas de oro. En este caso no es necesaria la separación líquido-sólido, y filtrado de la pulpa como en los procesos convencionales de decantación a contra corriente. Por último el carbón cargado es eluido, mediante el tratamiento con una solución cianurada y fuertemente alcalina a temperatura moderada, y luego el oro es recuperado de la elusión por electrólisis [Pizarro y Antonio, 1981]; [Davidson y Schoeman, 1991].

El CA, cuando se contacta con una solución que contiene iones metálicos cianurados, adsorbe estos iones hasta alcanzar un cierto equilibrio entre la concentración de la especie adsorbida en el carbón y la que permanece en solución. Así se pueden obtener las "isotermas", las cuales son válidas para una temperatura fija. Sin embargo, en este modelo de representación del fenómeno de adsorción deben tenerse presentes algunas limitaciones. Por ejemplo, el verdadero equilibrio es muy difícil de alcanzar, ya que el proceso de adsorción depende de muchos factores físicos y químicos, que afectan tanto la cinética como el equilibrio que se alcanza en un momento dado [Domic M.;2001].

Así, la velocidad inicial de adsorción del aurocianuro, $[Au(CN)_2^-]$, es muy rápida, dado que se están aprovechando los sitios libres accesibles en los macroporos (diámetro entre 500 y 20000 Å^0), y posiblemente en los mesoporos (diámetro entre 100 y 500 Å^0). Bajo estas condiciones, la velocidad de adsorción está controlada por el transporte de masa del aurocianuro hacia los sitios activos del CA, es decir, por la hidrodinámica del reactor que se utiliza para establecer el contacto [Fleming.C.A y Nicol.M.J; 1998]. Es práctico considerar el proceso de la reacción de adsorción del aurocianuro como comprendiendo dos regímenes termodinámicos secuenciales: el del seudoequilibrio de la adsorción en los macro y mesoporos y, luego, el verdadero equilibrio.

Durante la operación en planta, se establecen los parámetros de adsorción del oro en el carbón, dentro del rango del equilibrio de los macro y mesoporos. Todo esto se debe, no sólo a la rapidez de carga y facilidad de respuesta a la eficiencia de mezclado en los reactores, sino también a la rapidez de la elución y a la extensión que se puede alcanzar en esta última. Así, la mayor parte de las plantas prefieren operar predominantemente en este rango de pseudo-equilibrio, usando tiempos de contacto promedio, de alrededor de 24 horas.

En este trabajo se presenta el estudio de la cinética de adsorción de oro y plata a escala ampliada, de un mineral cuarzoso de alta ley, con empleo de la tecnología de carbón en pulpa (CIP). Para las pruebas de adsorción se empleó un sistema adsorción en pachuca, donde se consideraron 5 etapas, la concentración de carbón por etapa fue de 20

La muestra tecnológica ensayada se recibió en la planta piloto con una granulometría -25 mm y se trituró bajo 6 mm en un sistema que consistió en una zaranda de un paño (6 mm) en circuito cerrado con un molino de martillo.

En resumen se prepararon para la prueba en planta piloto:

- Muestra tecnológica molida bajo 6 mm con un peso total estimado entre 5.2 – 5.4 t de peso.

➤ Caracterización Química.

Los resultados de la caracterización química de las muestras aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de la caracterización química de las muestras a emplear en las pruebas en planta piloto.

| Muestra | Contenido (%) | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------|----------|--------|--------|---------|---------|-----------------|------------------|----------------|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------|
| | Au (g/t) | Ag (g/t) | Cu | Zn | Sb | As | Fe _T | SiO ₂ | S _T | Al ₂ O ₃ | Na ₂ O | K ₂ O | Humedad (%) |
| Muestra Tecnológica | 5.36 | < 5.0 | 0.0031 | 0.0089 | <0.0002 | <0.0002 | 2.88 | 64.05 | 0.02 | 12.56 | 3.08 | 3.88 | 1.80 |
| Mena de Alta Ley | 15.60 | < 5.0 | 0.0080 | 0.0130 | <0.0004 | <0.0004 | 1.70 | 71.50 | 0.02 | | | | 0.86 |

➤ Caracterización Granulométrica.

En la Tabla 2 se reportan los resultados del análisis granulométrico realizado a la muestra

g/L en las tres primeras y 30 g/L para las dos últimas etapas, el flujo de pulpa lixiviada alimentado al sistema fue 1 L/min y se transfería cada 6 horas 250 g de carbón.

MATERIALES Y MÉTODOS

- Mena de Alta Ley molida bajo 6 mm con un peso total estimado entre 2.2 – 2.4 t de peso, para la carga inicial del inventario de carbones activados.
- 4 muestras (en sacos) de la muestra tecnológica para planta piloto equivalentes a los 6 Big Bag, molida bajo 6 mm con un peso total estimado cada muestra entre 40.0 – 45.0 Kg de peso para la caracterización química, granulométrica y mineralógica, así como un testigo para pruebas de ajuste en caso necesario.

tecnológica preparada bajo 6 mm en las instalaciones del CIMO.

Tabla 2. Análisis granulométrico de la muestra tecnológica empleada en las pruebas en planta piloto.

| FRACCION GRANULOMETRIA (mm) | % PESO | % PESO ACUMULADO |
|-----------------------------|---------------|------------------|
| + 6 | 2,75 | 2,75 |
| - 6,0 + 5,0 | 13,85 | 16,60 |
| - 5,0 + 4,0 | 11,05 | 27,65 |
| - 4,0 + 2,0 | 25,44 | 53,09 |
| -2,0 + 1,0 | 18,09 | 71,19 |
| - 1,0 + 0,5 | 10,79 | 81,98 |
| - 0,5 + 0,25 | 7,09 | 89,07 |
| - 0,25 + 0,1 | 1,87 | 90,93 |
| - 0,1 + 0,075 | 2,33 | 93,26 |
| - 0,075 | 6,74 | 100,00 |
| TOTAL | 100,00 | |

➤ Caracterización Mineralógica.

La caracterización mineralógica de la muestra tecnológica estudiada en las pruebas a escala de planta piloto, se realizó con las fracciones más finas (0,074mm) y la muestra cabeza (-1mm), por el método de polvos de Difracción de Rayos-X. Las fases identificadas como minerales mayoritarios fueron el cuarzo, plagioclasa (albita) y feldspatos potásicos tipo ortoclasa + adularia, como minerales minoritarios se identificaron aquellos con

características arcillosas como la clorita, hidrómica, sericita, illita-montmorillonita, material amorfo, piroxeno y en muy baja cuantía la calcita y los óxidos de Fe.

Para la determinación cuantitativa de las fases fue necesario determinar la composición química elemental de cada fracción estudiada en la muestra tecnológica, el cual se muestra a continuación.

Tabla 3. Composición química elemental de las fracciones estudiadas en la muestra tecnológica.

| Análisis Químico | Na ₂ O | K ₂ O | CaO | MgO | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ |
|---|-------------------|------------------|------|------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|
| Muestra Tecnológica (cabeza) | 2.13 | 3.16 | 1.76 | 1.24 | 4.13 | 11.68 | 73.50 |
| Muestra Tecnológica (fracción fina - 0,074mm) | 1.69 | 3.14 | 2.58 | 1.33 | - | 14.08 | 63.35 |

A continuación se muestran los difractogramas (Figura 1) obtenidos como resultado del estudio realizado.

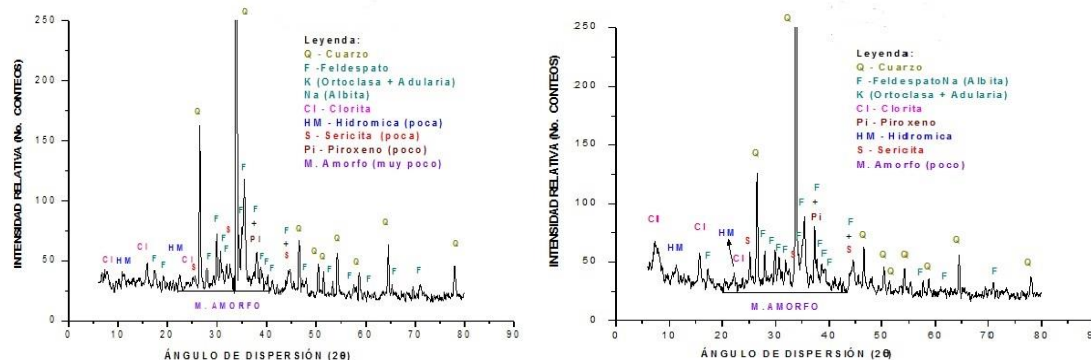


Figura 1. Difractograma de la muestra de cabeza y la fracción fina (-0,074mm).

El cuarzo es el mineral mayoritario presentándose en cristales y en agregados granulares, los silicatos como el feldespato (adularia – ortoclasa), los piroxenos y la clorita (Imagen 1). En las fracciones estudiadas no se identificaron granos de oro dispersos, por lo cual fue necesario aplicar técnicas de

concentración vía gravimétrica (KNelson) que nos permitieran observar los granos de oro libre en una muestra molida bajo -1mm. El concentrado beneficiado, se colocó bajo la lupa binocular, observándose los granos de oro libre (ver imagen 2), cuyo tamaño osciló entre 150 – 50 μm y menor ver (imagen 3).

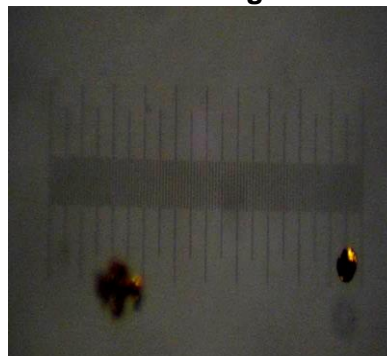
Imagen 1



Imagen 2



Imagen 3



➤ **Análisis de los Resultados de la Caracterización.**

Los resultados de la caracterización química de la muestra tecnológica reportó un contenido de oro de 5,36 g/t y de plata < 5,0 g/t. La presencia de elementos tales como Cu, Fe, Zn y As se encuentra en contenidos muy bajos, lo cual es muy favorable al proceso de cianuración.

El análisis granulométrico realizado a la muestra tecnológica a emplear en las

pruebas en planta piloto, se correspondió con el comportamiento observado durante su preparación, pues prácticamente no se generó finos (6,74% en la fracción 0,074mm), pese a que el equipo de molienda empleado (molino de martillos) una de sus características principales es producir grandes cantidades de finos. Esto hace que en la muestra triturada bajo 6 mm, predominen las fracciones más gruesas del intervalo.

➤ **Caracterización del carbón activado empleado en las pruebas.**

El carbón empleado para las pruebas fue un carbón activado denominado PJCA, el cual fue enviado por la firma SNF, para realizar las pruebas en planta piloto. Previo a su empleo en las pruebas el carbón activado, fue acondicionado con vista a redondear las aristas (puntas y cuñas filudas) las cuales son fácilmente desgastadas bajo las condiciones de proceso. Similarmente, partículas planas y partículas deterioradas (cuarteadas o fracturadas) son susceptibles a la degradación rápida en sistemas de adsorción, resultando en pérdidas de carbón fino y cualquier contenido de oro. La operación de redondeo del carbón fue realizada agitando por una hora con agua,

luego se tamizaba por tamiz de 0,5 mm y se pusieron a arear.

El carbón PJCA enviado por la firma SNF, es del tipo granular de cascarón de coco, fue caracterizado por análisis inmediato (cenizas, materia volátil, carbono fijo y contenido de humedad); también se determinó el pH, peso volumétrico, índice iodo y la distribución del tamaño de partículas. Todas las determinaciones se realizaron de acuerdo con las normas europeas CEFIC. A continuación se muestran los resultados de la caracterización.

| Materia Volátil % | Cenizas % | Carbono Fijo % | Índice de Iodo mg/g | Peso Volumétrico g/cm ³ | Humedad % | pH |
|-------------------|-----------|----------------|---------------------|------------------------------------|-----------|-----|
| 7,73 | 1,91 | 90,36 | 1335,29 | 0,69 | 2,1 | 9,2 |

Distribución de tamaño de partículas del carbón granular PJCA.

| Fracción | Peso (g) | Peso (%) |
|--------------|--------------|--------------|
| +3 mm | 0 | 00,00 |
| -3 +2 mm | 278,7 | 69,55 |
| -2 +1 mm | 122,0 | 30,45 |
| -1mm | 0 | 00,00 |
| Total | 400,7 | 100,0 |

Los métodos físico-químicos empleados para la caracterización de la muestra estudiada (Tabla 4) y los ensayos metalúrgicos fueron los siguientes:

Tabla 4. Métodos físico-químicos empleados para la caracterización de la muestra estudiada.

| Parámetros | Método | Lugar de realización |
|--|---|----------------------|
| pH | Potenciométrico con electrodo combinado | In situ |
| Cianuro de sodio y cianuro libre | Método Volumétrico, Standard Methods, 4500-CN –D, 1995. | Laboratorio |
| Au y Ag | Docimasia | Laboratorio |
| Metales en (Au, Ag, Fe, Cu, Zn, Pb, As, Sb, Ca, Mg y Al) | ICP y AA | Laboratorio |
| S _T y SiO ₂ | Gravimétrico | Laboratorio |

El contenido de oro y plata en el mineral de alimentación y las colas se obtuvo aplicando el método por fusión - copelación. La concentración de metales e impurezas en las soluciones de lixiviación se determinaron por absorción atómica. Los difractogramas se

➤ **Estrategia para la ejecución de los trabajos en planta.**

La prueba en planta piloto se realizó en tres Fases:

- **Fase I:** Corrida con la mena de alta ley, con el objetivo de cargar con oro el inventario de carbones que se emplearan en las distintas pachucas de la sección de adsorción.
- **Fase II:** Corrida para la estabilización del sistema, para lo cual se empleó la pulpa agotada de la última etapa de adsorción mezclada con pulpa lixiviada del mineral de alta ley, obteniendo una pulpa cuya concentración de oro en la fase líquida estuviera en el orden de (4,2-4,5 mg/L) que se corresponde con la concentración obtenida al lixiviar la muestra tecnológica.
- **Fase III:** Corrida con la muestra tecnológica preparada que constituirá en sí la prueba a escala ampliada.

El flujo tecnológico empleado consistió fundamentalmente en la reducción de tamaño para liberar lo más posible al oro contenido en los minerales hasta alcanzar una granulometría (-6mm), para luego pasar a un proceso de cianuración directa seguido de un proceso de adsorción del oro disuelto en Carbón Activado, a través del proceso "Carbón en pulpa" (CIP).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 5 se muestra el diseño del sistema de Carbón en Pulpa (CIP) con la Carga de los

realizaron por el método de polvo y se registraron en un equipo Philips PW – 1710, de acuerdo a la variante de medición punto a punto; paso angular de 0,050 y tiempo de medición en cada posición de 3 segundos.

Los estudios de adsorción de oro y plata se realizaron en pachucas dispuestas de forma que descargan por gravedad de una a otra y están compuestas por lo siguiente:

- Sistema de inyección de aire procedente del compresor con sus válvulas de regulación, con el objetivo de mantener en suspensión y agitación la pulpa y el Carbón Activado (C.A.).
- Un airlift (elevador de pulpa mediante aire comprimido) para el trasiego de la pulpa con el C.A. hacia la cesta de recolección del mismo, para su separación, debido a la diferencia granulométrica entre las partículas de mineral y el C.A.
- Cesta recolectora con un tamiz de corte de 0.6 mm, que garantiza la separación entre la pulpa y el C.A. con unas dimensiones de aprox. 12 x 25 cm.
- Malla de 0.6 mm en la descarga de cada pachuca, para evitar el paso del C.A. de una a otra.
- Sistema de descarga de cada pachuca, para realizar el vaciado de la misma y poder recuperar todo el C.A. en los momentos de limpieza o inventario de los carbones.

carbones a obtener en cada etapa, las cantidades de carbón a emplear en cada etapa de adsorción, la cantidad de oro que se debe adsorber

Tabla 5. Parámetros de diseño del sistema de adsorción con carbón en pulpa (CIP).

| Parámetro | Unidades | Etapas de adsorción | | | | | | | | | | TOTAL | |
|-------------------------|----------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | máx. | mín |
| | | máx. | mín | máx. | mín | máx. | mín | máx. | mín | máx. | mín | | |
| Carga del CA | Kg/t | 4.0 | 3.5 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | | |
| Conc. de CA en pulpa | g/L | 20 | | 20 | | 20 | | 30 | | 30 | | | |
| Cantidad de carbón, | g | 2000 | | 2000 | | 2000 | | 3000 | | 3000 | | 12000 | |
| Cantidad de oro cargado | g | 8.00 | 7.00 | 5.00 | 4.00 | 3.00 | 2.00 | 3.00 | 1.50 | 0.00 | 0.00 | 19.00 | 14.50 |

Para esto se prepararon dos templas (01T y 02T) de mineral de alta ley las cuales se molieron y lixiviaron en las condiciones siguientes:

- ✓ Molienda: Grado de molienda deseado 90%-0,074mm; 60% de sólidos en el molino y cal a dosificar 2,5 kg/t.

- ✓ Lixiviación: Concentración de NaCN 1g/L, 42% de sólidos, tiempo de lixiviación 12 horas y se operó en batch.

- ✓ Adsorción: se operó en continuo con un flujo de pulpa lixiviada de 1L/mint.

Los resultados alcanzados en la lixiviación se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Indicadores fundamentales de la Sección de Molienda – Lixiviación. Fase I. Mena de Alta Ley (Templas 01T y 02T).

| TEMPLA | Ley de oro mineral (g/t) | % Sólido Pulpa | Ley de Au en cola (g/t) | Grado de molienda (% - 200 mallas) | Recuperación (%) | OTROS INDICADORES | | | |
|--------|--------------------------|----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------|---------------------------|------|--------------------------|------------------|
| | | | | | | Índices de Consumo (Kg/t) | | | % S en el molino |
| | | | | | | Cal | NaCN | Agua (m ³ /t) | |
| 01T | 16,66 | 43,7 | 1,17 | 85,24 | 92,98 | 2,0 | 1,4 | 1,3 | 56,8 |
| 02T | 15,77 | 40,0 | 0,93 | 90,30 | 94,13 | 1,7 | 1,7 | 1,5 | 67,0 |

En la Tabla 7 se muestra la carga de oro en los carbones que conformaron el inventario inicial en las pachucas.

Tabla 7. Resultados de la carga de oro en los C.A. del inventario al concluir la Fase I

| PACHUCA | PESO (KG) | CARGA DEL C.A. POR AQ (Kg/t) | CARGA CALCULADA POR LICORES (Kg/t) | CARGA DE Au ESTIMADA PARA EL DISEÑO CIP(Kg/t) |
|---------|-----------|------------------------------|------------------------------------|---|
| 1 | 2,000 | 3,65 | 3,67 | 4,0-3,5 |
| 2 | 1,784 | 1,77 | 2,46 | 2,5-2,0 |
| 3 | 1,767 | 1,21 | 1,37 | 1,5-1,0 |
| 4 | 3,000 | 0,05 | 0,53 | 1,0-0,5 |

Los resultados muestran que el proceso de adsorción de oro para obtener el inventario de carbones fue satisfactorio, lográndose alcanzar las cargas estimadas de acuerdo al diseño inicial del proceso de carbón en pulpa (CIP).

Durante el trabajo en la **Fase II**, se realizaron 11 extracciones de carbón **cargado con oro (movimiento del carbón 250 g cada 6 horas)**. En la Tabla 8 aparecen los resultados de los carbones extraídos

Tabla 8. Resultados de la caracterización química de los carbones extraídos en la Fase II.

| Carbón extraído | Tiempo desde comienzo Fase II (h) | Perfil de Ley de Au en CA (Kg/t) | | | | |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Etapa 1 | Etapa 2 | Etapa 3 | Etapa 4 | Etapa 5 |
| 1 | 6 | 3,42 | 1,75 | 1,14 | 0,52 | 0,06 |
| 2 | 12 | 4,22 | 1,80 | 0,95 | 0,37 | 0,05 |
| 3 | 18 | 3,84 | 1,44 | 0,94 | 0,35 | 0,01 |
| 4 | 24 | 4,93 | 2,44 | 1,22 | 0,47 | 0,06 |
| 5 | 30 | 5,30 | 2,50 | 1,05 | 0,51 | 0,09 |
| 6 | 36 | 5,02 | 2,23 | 0,93 | 0,51 | 0,11 |
| 7 | 42 | 5,03 | 2,08 | 0,92 | 0,41 | 0,06 |
| 8 | 48 | 4,69 | 2,00 | 1,05 | 0,42 | 0,08 |
| 9 | 54 | 4,76 | 2,17 | 0,78 | 0,30 | 0,04 |
| 10 | 60 | 4,72 | 1,85 | 0,71 | 0,26 | 0,06 |
| 11 | 66 | 4,59 | 1,52 | 0,63 | 0,27 | 0,09 |
| Promedio | | 4,59 | 2,05 | 0,94 | 0,40 | 0,06 |

Los resultados de la lixiviación aparecen en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de la Molienda Lixiviación de la Templa 03T.

| TEMPLA | Ley de oro mineral (g/t) | % Sólido Pulpa | Ley de Au en cola (g/t) | Grado de molienda (% - 200 mallas) | Recuperación* (%) | OTROS INDICADORES | | | |
|--------|--------------------------|----------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------|--------------------|------|---------------------|------------------|
| | | | | | | Índices de Consumo | | | % S en el molino |
| | | | | | | (Kg/t) | | (m ³ /t) | |
| | | | | | | Cal | NaCN | Agua | |
| 03T | 6,56 | 45,7 | 0,75 | 83,90 | 88,53 | 2,1 | 1,5 | 1,4 | 57,9 |

Como se puede observar se alcanza sin problemas el objetivo principal de esta **Fase II**, que consistía en estabilizar la sección de adsorción de oro con Carbón en Pulpa (CIP), lo cual se pudo comprobar ya que se alcanzó un equilibrio práctico, logrando mantener con facilidad la ley de Au en carbón.

En la lixiviación de la mena la recuperación de oro fue de 88,53 %, lo cual se debió

fundamentalmente al menor grado de molienda alcanzado (83,9 % bajo malla 200), el resto de los indicadores se comportaron similares. Como se observa en la tabla 8, la ley de Au en los carbones tiende a estabilizarse a partir de las 48 horas, donde los CA prácticamente mantienen constante su carga, como se muestra en la Figura 2.

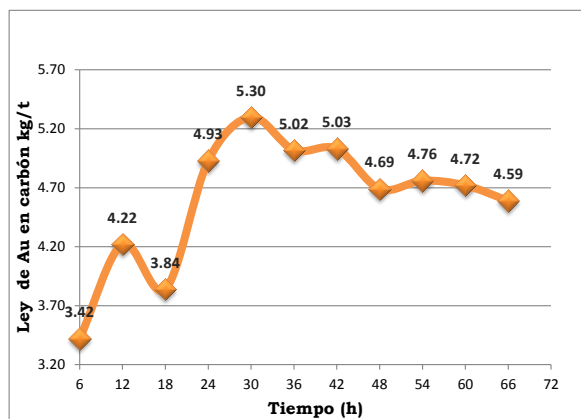


Figura 2. Comportamiento de la ley de Au en carbón durante la Fase II de estabilización del proceso de adsorción con carbón en pulpa.

Después de alimentada la templa 03T de muestra tecnológica se dio por concluida la **Fase II** y se comenzó la **Fase III** con la determinación del inventario de los CA

cargados de cada Pachuca, necesario para los balances de la Fase III. A continuación se muestra el balance metalúrgico de oro al concluir la **Fase II** de estabilización del sistema:

| BALANCE DE ORO FASE DE ESTABILIZACIÓN | |
|--|---------|
| INVENTARIO INICIAL(Fase de Carga de los Carbones) | 12,75 g |
| INVENTARIO FINAL (Fase Estabilización) | 13,65 g |
| Diferencia | 0,91 g |
| Oro Adsorbido en CA cargado extraído durante la Fase de Estabilización | 12,63 g |
| Oro Neto adsorbido en CA Fase Estabilización | 13,54 g |
| Oro alimentado al sistema | 13,65 g |
| Eficiencia de adsorción (%) | 99,2 % |
| Oro en cola | 1,79 g |
| Oro soluble | 0,12 g |
| Eficiencia metalúrgica global | 87,64% |

La eficiencia metalúrgica global de la **Fase II** fue de 87,64%, lo cual se debió a la baja eficiencia obtenida en lixiviación, producto del bajo grado de molienda alcanzado (83,9%-0,074mm) limitando la máxima liberación del metal precioso.

Durante la Fase III se procesaron 3,9 t de mineral de la mena y se trabajaron de forma continua un total de 27,9 horas en la molienda-

clasificación y 116 horas de trabajo continuo en la sección de adsorción. La planta trabajo de forma estable, sin interrupciones operativas importantes en la sección de molienda y en la sección de adsorción.

Se ejecutó la molienda y lixiviación de 5 Big bag de Mineral de muestra tecnológica de aprox. 900 Kg de peso cada uno. Las Templas 04T, 05T, 06T, 07T se lixiviaron a una

concentración de 1,0 g/L de cianuro de sodio en el licor, mientras que la Templa 08T se lixivio a una concentración de 0,5 g/L.

Los resultados de estas pruebas aparecen en la Tabla 10

Tabla 10. Balance metalúrgico en la sección de lixiviación en la Fase III.

| TEMPLA | Ley de oro mineral cabeza directa (g/t) | Conc. de NaCN (g/L) | % Sólido Pulpa | Ley de Au en cola (g/t) | Grado de molienda (% - 200 mallas) | Recuperación cabeza directa (%) | OTROS INDICADORES | | | |
|-----------------|---|---------------------|----------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------|--------------------------|------------------|
| | | | | | | | Índices de Consumo (Kg/t) | | | % S en el molino |
| | | | | | | | Cal | NaCN | Agua (m ³ /t) | |
| 04T | 6,16 | 1,0 | 42,3 | 0,61 | 86,46 | 90,12 | 1,9 | 1,5 | 1,4 | 62,0 |
| 05T | 5,09 | 1,0 | 42,2 | 0,54 | 86,40 | 89,36 | 2,3 | 1,6 | 1,3 | 61,3 |
| 06T | 5,16 | 1,0 | 42,3 | 0,47 | 89,52 | 90,84 | 3,9 | 1,8 | 1,3 | 61,7 |
| 07T | 5,42 | 1,0 | 41,4 | 0,44 | 90,38 | 91,88 | 2,9 | 1,6 | 1,2 | 62,8 |
| 08T | 4,97 | 0,5 | 42,4 | 0,39 | 88,90 | 92,15 | 2,3 | 0,7 | 1,2 | 62,5 |
| Promedio | 5,36 | | 42,1 | | | | | | | 62,1 |

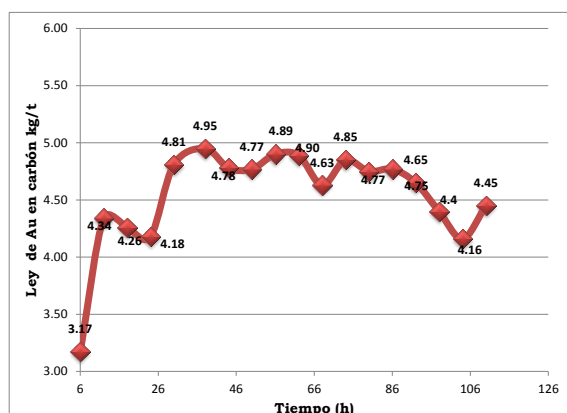


Figura 3. Comportamiento de la ley de Au en carbón durante la Fase III.

Como se observa en la Figura 3, durante las 116 horas de operación de la Fase III, la ley de Au en carbón mostró una tendencia a mantenerse casi constante con un rango de fluctuación entre (4,5 -5,0 kg/t). Los resultados alcanzados demuestran la compatibilidad de las menas con el proceso de adsorción de oro con carbón en pulpa.

CONCLUSIONES

1. Las menas respondieron satisfactoriamente a la tecnología de Lixiviación – Adsorción de oro con carbón en pulpa (CIP), demostrándose la

compatibilidad de las menas con el proceso.

2. La modelación dinámica en continuo a contracorriente de adsorción de oro con carbón en pulpa reportó los siguientes resultados: Au adsorbido en carbón de 19,34 g, el número de etapas requeridas para el proceso de adsorción fue de 5 etapas para un tiempo total de 8,3 horas.

3. La eficiencia de adsorción fue de **99,21 %** para un contenido promedio de oro en CA cargado de **4,37 Kg/t**.

BIBLIOGRAFÍA

- Afenya, P. 1991. Treatment of Carbonaceous Refractory Gold Ores. *Mineral Engineering* 4 (7-11), 1043-1055.
- Davidson, R. y N. Schoeman. 1991. The Management of Carbon in a high tonnage CIP Operation, *Journal of the African Institute of Mining and Metallurgy* 91(6), 195-208.
- Domic M.Esteban, 2001. *Hidrometalurgia, Fundamentos, procesos y aplicaciones.*
- Fleming.C.A y Nicol.M.J. 1984. The Absorption of Gold Cyanide Onto Activated Carbon. III. Factors Influencing the Rate of Loading and the Equilibrium Capacity", pág. 85-93, *J.S.Afr.Instn. Min.Metall.*, vol. 84, No. 4, April.
- Hausen, D y C. Bucknam. 1985. Study of Preg Robbing in the Cyanidation of Carbonaceous Gold Ores from Carlin, Nevada". *International Conference of Applied Mineralogy (ICAM) 84. Proceedings TMS-AIME*, 833-857, New York.
- Pizarro, R. y F. Antonio. 1981. The Carbon in Pulp Plant of the Masbate Gold Operations Philippines" in *Gold and Silver, Leaching, Recovery and Economics AIME*, pp 65-75 ed. Schlitt. W.; Larsom, W. and Hiskey.
- Rees K. y J. Van Deventer. 2001. Gold process modelling. I. Batch modelling of the processes of leaching, preg-robbing and adsorption onto activated carbon. *Mineral Engineering* 14 (7), 753-773.