CETEM
Centro de Tecnologia Mineral

ALFA

"TRATAMIENTO POR CIANURACIÓN DE COLAS DE AMALGAMACIÓN DE MINERALES OXIDADOS CONTENIENDO ORO Y MERCURIO DE LA REGIÓN DE PARACATU, MINAS GERAIS"

BECARIO:
Ing. Jaime Chirinos Cuentas

ORIENTADORES:
Luis Gonzaga Santos Sobral, Ph. D.
Juan Guerrero Barreto, Engo. De Minas
Ary Caldas, M.Sc

Arequipa - Septiembre del 2007

RESUMEN

- El presente trabajo fue realizado con una cola, producto de un proceso de amalgamación de un mineral oxidado de oro de la región de Paracatú en Minas Gerais.
- Los objetivos generales fueron recuperar el metal precioso oro, debido al valor agregado que este presenta actualmente en el mercado y la reducción del contenido de Mercurio en la cola hasta obtener valores por debajo del nivel máximo permitido por la legislación brasilera, según el CETESB (Relatorio de establecimiento de valores orientadores para suelos y aguas subterráneas do estado de Sao Paulo) dicho valor máximo permisible (alerta) para mercurio es de 0,5 mg/kg.

- Se hicieron ensayos diagnósticos de cianuración para determinar la recuperación de oro y mercurio de la muestra original, variando la concentración de Cianuro de Sodio, el Tiempo de Retención, manteniendo un pH entre 10 a 10,5 y porcentaje de sólidos del 25%. En una siguiente etapa se realizaron nuevos ensayos de cianuración bajo los mismos parámetros, previo tratamiento de lixiviación ácida, para eliminar algunos elementos cianicidas presentes en dicha cola como el caso del Fe_2O_3. También se hicieron pruebas de cianuración con el concentrado obtenido por tratamiento de gravimetría y flotación.
- Se obtuvieron recuperaciones de oro y mercurio en el orden del 92% y 71% respectivamente, produciendo un residuo sólido con contenidos de mercurio dentro de los límites permitidos por la legislación brasilera.

INTRODUCCIÓN

- Dentro de los métodos de concentración de oro para partículas de granulometría mayor a 200 mesh (> 0.074 mm) la amalgamación es ampliamente utilizada por el minero artesanal. Este método se basa en la producción de una amalgama oro-mercurio, que luego es quemada y por diferencia de punto de ebullición es separado el oro del mercurio,

  volatilizando este último.

- El descarte de los residuos sólidos (colas de amalgamación) en la industria minera para extracción de oro utilizando como medio concentrador el mercurio produce un alto impacto en la naturaleza pues este se transmite en el ambiente en la forma de gas, sólido y en el peor de los casos formando especies solubles que son encaminados a las vertientes de los ríos, una vez en el ambiente, el mercurio metálico se puede oxidar y acomplejar con ácidos humicos de los suelos. Así , la situación más favorable para la movilización del mercurio es cuando el se deposita en lugares aireados y ricos en materia orgánica.

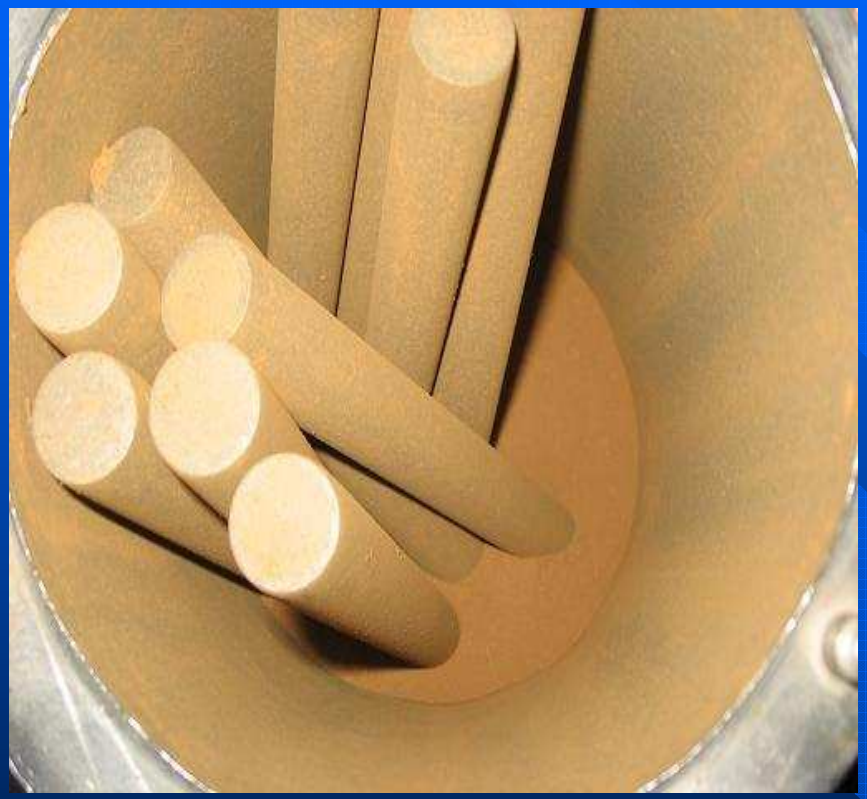
- Este residuo sólido puede ser tratado por cianuración para diluir y concentrar especies de oro y mercurio que luego por procesos posteriores llegar a obtener a estos elementos en su forma metálica y para el caso del mercurio este sea reutilizado en el proceso de amalgamación.
- En el caso específico de la lixiviación de oro, el cianuro es el reactivo mas ampliamente utilizado debido a su relativo bajo costo y a su gran eficiencia en la disolución del metal. La reacción primaria concierne a la disolución de oro en soluciones acuosas, las cuales requieren de un acomplejante y un oxidante. El oxidante más común usado en la lixiviación con cianuro es el oxígeno aplicado en forma de aire siguiendo la siguiente ecuación

$$2Au + 4KCN + O + H_2O \Rightarrow 2AuK(CN)_2 + 2KOH$$

- El presente trabajo fue realizado con una cola, producto de un proceso de amalgamación de un mineral oxidado de oro de la región de Paracatú en Minas Gerais. Esta cola de amalgamación fue caracterizada en el CETEM y en resumen esta presenta la siguiente composición: Au: 1,28; g/t Hg: 1,72 g/t; SiO_2: 39,3%; TiO_2: 0,95%; Al_2O_3: 13,59%; Fe_2O_3: 31,54%; MgO: 0,4%; CaO: 0,11%; K_2O: 2,34% y P_2O_5: 0,4%.
- Los objetivos generales fueron recuperar el metal precioso oro, debido al valor agregado que este presenta actualmente en el mercado y la reducción del contenido de Mercurio en la cola hasta obtener valores por debajo del nivel máximo permitido por la legislación brasilera, según el CETESB (Informe de establecimiento de valores orientadores para suelos y aguas subterráneas del estado de Sao Paulo) dicho valor máximo permisible (alerta) para mercurio es de 0,5 mg/kg.

METODOLOGÍA

- Se nos proporcionó una muestra primaria de colas de amalgamación por el Departamento de Tratamiento de Minérios (DTM)-CETEM. De esta muestra primera fueron separadas y entregadas para los respectivos ensayos de lixiviación dos muestras representativas, una de 6 kilos de cola de amalgamación y otra de 1 kilo de concentrado de las colas de amalgamación.
- El concentrado fué obtenido por tratamiento gravimetrico y de flotación.
- Las dos muestras fueron conminuidas 100% pasante de malla 150 (105 um) en un molino de barras con motor Morse Cadet Jumor de ¼ de HP, 115 VAC y con velocidad regulable entre 0 – 100 RPM, durante 30 minutos. Las muestras fueron homogenizadas y cuarteadas hasta obtener 10 sub-muestras representativas de 250g de las colas de amalgamación y 4 sub-muestras representativas de 200g de concentrado de las colas de amalgamación. Parte de la masa fué utilizada para determinar valores de oro y mercurio y el restante sé guardo como archivo.



- Las muestras LA1 y LA2 fueron lixiviadas en presencia de ácido sulfúrico (2M), con un porcentaje de sólidos del 25%, durante dos horas, en un reactor Pyrex de un litro con agitación mecánica constante. En estos ensayos se mantuvo el pH en dos, factor preponderante para la formación de sales solubles de hierro. Una vez terminado el ensayo, la pulpa fue filtrada a vacío, para separar el sólido del líquido. El residuo sólido fue lavado inmediatamente con abundante agua para neutralizar el ataque ácido. Para el ensayo LA1 se adicionó con una solución 2M de ácido sulfúrico hasta completar el volumen, mientras que, para el ensayo LA2 se adicionó ácido sulfúrico 2M hasta alcanzar un valor de pH menor a 2. Se tomaron muestras del residuo sólido de la lixivia para análisis de oro (Ensayos al Fuego), mercurio (Digestión ácida y espectrometría de adsorción atómica–AAS) y identificación de nuevas especies minerales (Difracción de Rayos X– DRX). Del residuo liquido fué separada una alícuota de 100 ml para ser analizada en la Coordinación de Análisis Mineral (COAM).

- La metodología y los cálculos para los ensayos de cianuración, fueron seguidos con base al manual de instrucción de uso para estudios de cianuración del CETEM. Las alícuotas de la lixivia, antes de ser enviadas para análisis fueron tratadas para eliminación de contenido de cianuro siguiendo lo descrito por Caldas. Los ensayos de cianuración fueron efectuados en los laboratorios de la Coordinación Procesos Minero Ambientales (CPMA). Básicamente se utilizó un reactor Kettler-Pirex de un litro, un agitador mecánico modelo Nova Etica y un medidor de pH digital modelo PM600 con electrodo de referencia de Ag/ClAg. (Ver figura 1).

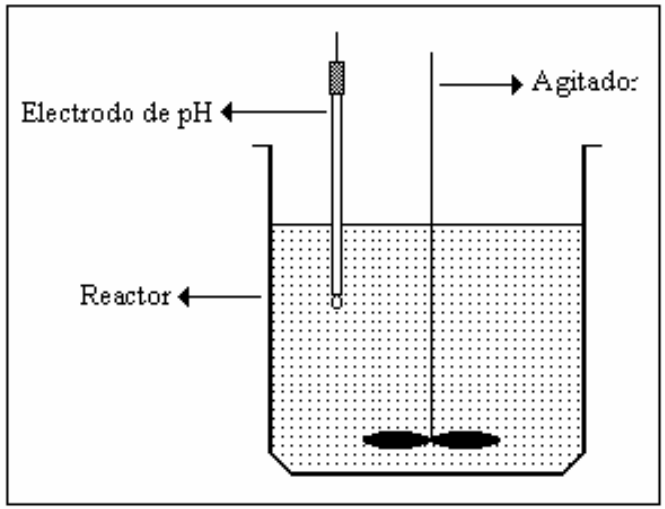
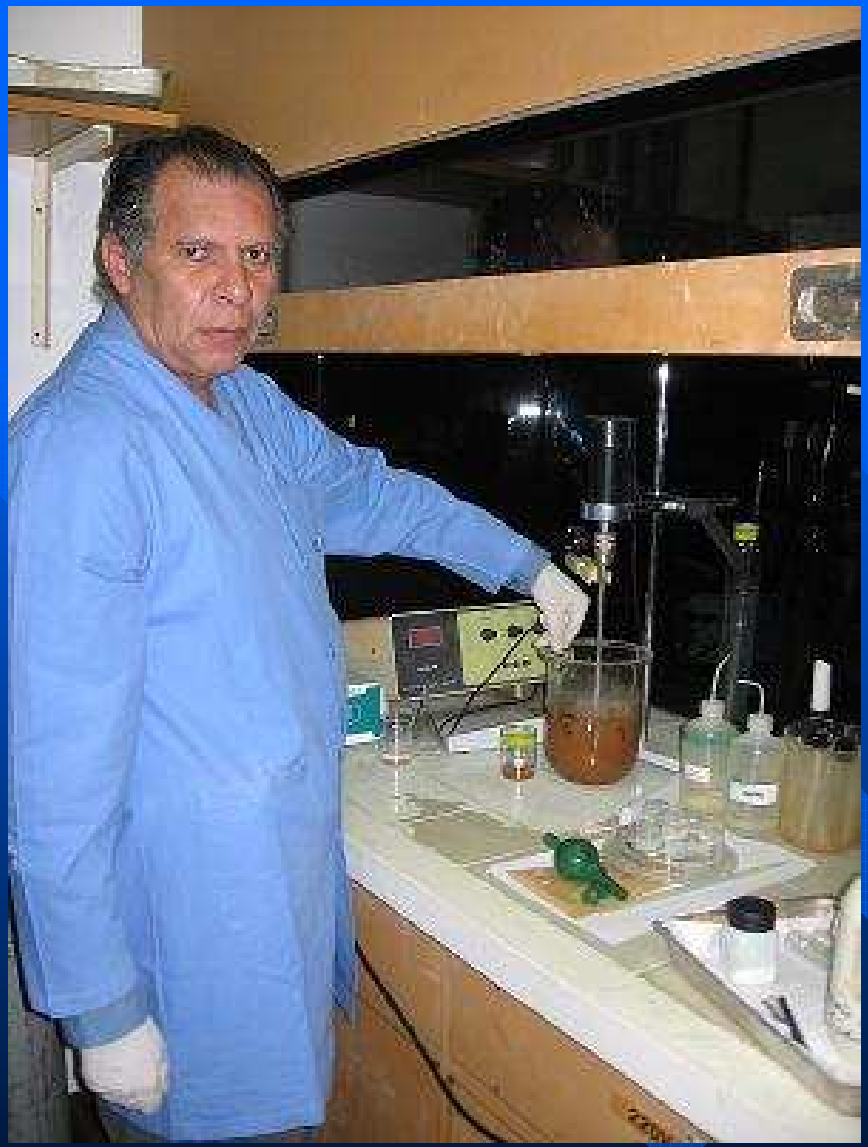


Figura 1. Representación grafica del sistema reaccional.



- Los ensayos de cianuración para la muestra de colas de amalgamación fueron realizados siguiendo las condiciones mostradas en la tabla I.

Tabla I.- Condiciones experimentales para los ensayos de cianuración de la muestra de Cola de Amalgamación

Código	Pre-Trat (Lix. ácida)	NaCN (g/L)	pH	% de Sólidos	Tiempo de Residencia (h)
1	No	2,5	10,5	25	30
2	No	1,5	10,5	25	24
LA1	Si	2,5	10,5	25	24
LA2	Si	1,5	10,5	25	24

- Para el concentrado de colas de amalgamación se efectuaron dos ensayos, C1 y C2, variando solo la concentración de Cianuro de Sodio. Las condiciones para la cianuración se muestran en la tabla II.

Tabla II.- Condiciones experimentales para los ensayos de cianuración de la muestra de Concentrado de la Cola de Amalgamación

Código	Pre-Trat (Lix. ácida)	NaCN (g/L)	pH	% de Sólidos	Tiempo de Residencia (h)
C1	No	2,5	10,5	25	30
C2	No	1,5	10,5	25	24

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y COMENTARIOS

Recuperación de Oro y Mercurio

- En la figura 2 se observa que la mejor recuperación de Oro se obtuvo en el ensayo 1, con una concentración de Cianuro de Sodio de 2,5 g/L, mientras que, para el caso del Mercurio, según la figura 3, solamente en el ensayo 1 se alcanza los niveles permitidos para descarte de residuos sólidos, que según el CETESB (Informe de establecimiento de valores orientadores para suelos y aguas subterráneas del Estado de Sao Paulo) el valor máximo permisible (alerta) para Mercurio es de 0,5mg/kg.

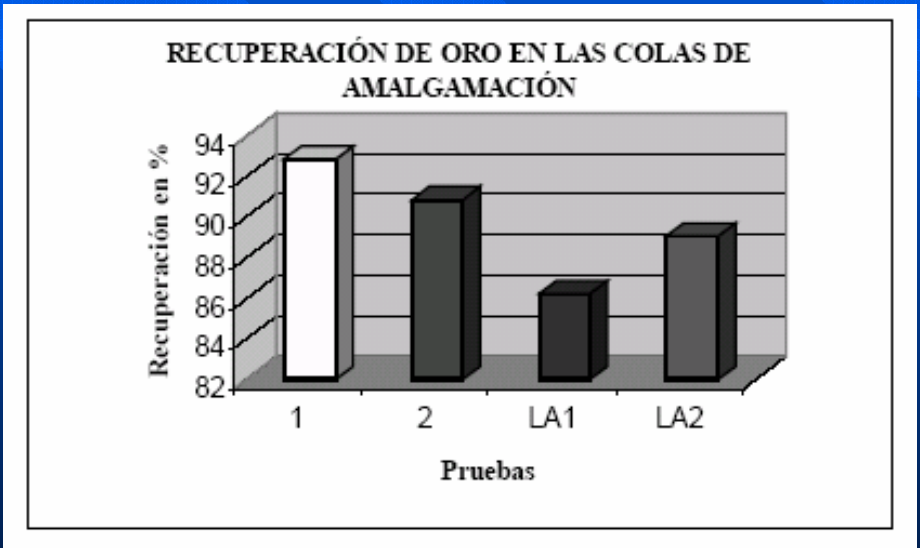


Figura 2. Recuperación de Oro de las colas de amalgamación de las pruebas 1 (2,5 g/L de NaCN), 2 (1,5 g/L de NaCN), LA1 (2,5 g/L de NaCN con lixiviación ácida), LA2 (1,5 g/L de NaCN con lixiviación ácida)

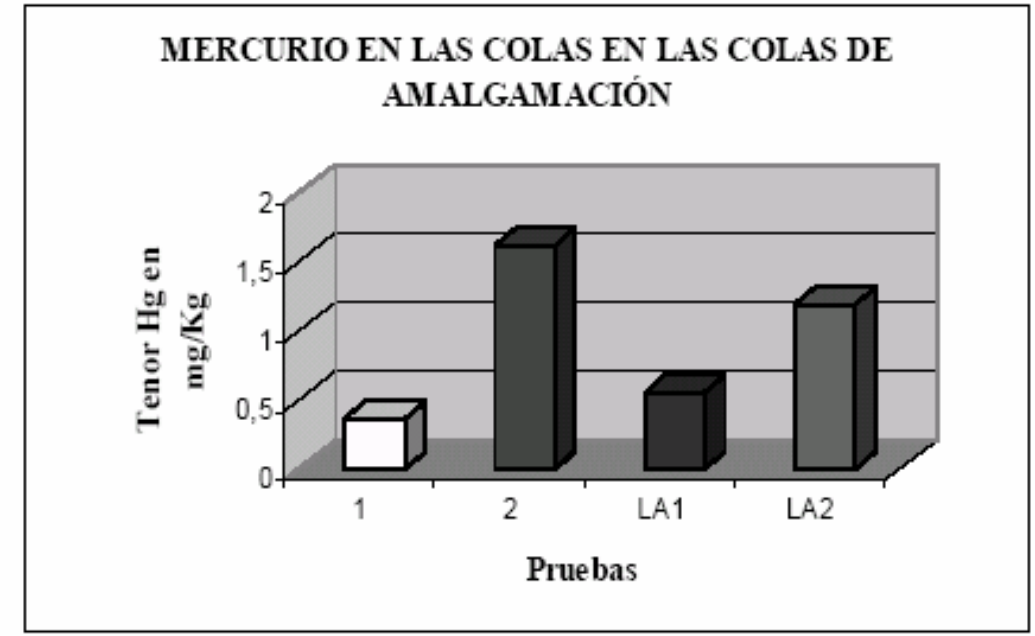


Figura 3.- Recuperación de Mercurio de las colas de amalgamación de las pruebas 1 (2,5 g/L de NaCN), 2 (1,5 g/L de NaCN), LA1 (2,5 g/L de NaCN con lixiviación ácida), LA2 (1,5 g/L de NaCN con lixiviación ácida).

- Según los resultados obtenidos en las pruebas C1 y C2 y mostrados en la figura 4, La recuperación de Oro aumenta del 95,36%, cuando se lixivia con una concentración de 1,5g/L de NaCN, al 96,52%, cuando se lixivia a una concentración de 2,5g/L de cianuro. Para el caso del valor de Mercurio en el residuo sólido del concentrado de las colas de amalgamación existe una mayor recuperación para la prueba C1 sobre la prueba C2 (ver figura 5), probablemente esto ocurrió debido a que las pruebas fueron efectuadas de corrido, y durante la noche hubo un aumento en el nivel de pH, hasta alcanzar valores por encima de 11. Los valores de Mercurio obtenidos en el sólido luego de la cianuración muestran que no se llego a alcanzar los valores permitidos para descarte de sólidos por la legislación brasileña para la muestra de concentrado de las colas de amalgamación.

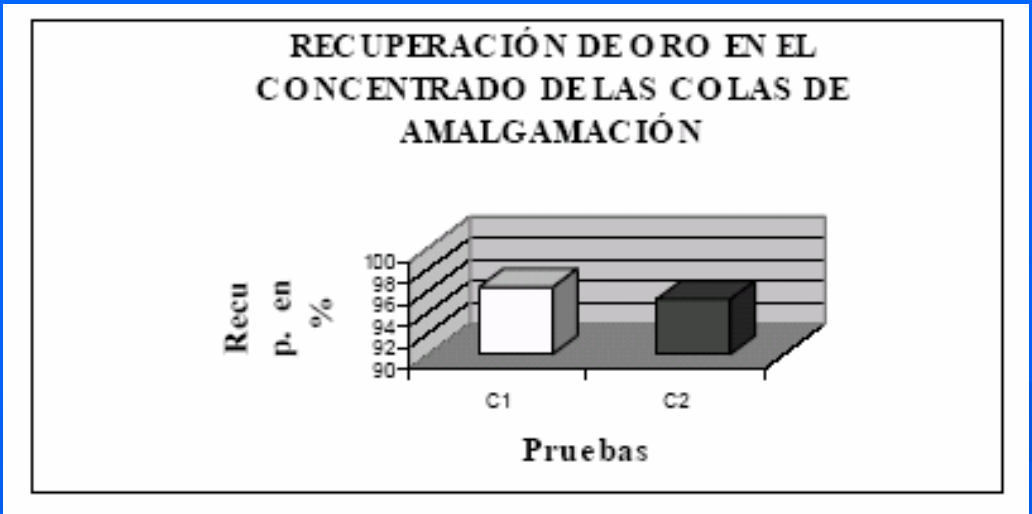


Figura 4. Recuperación de Oro del concentrado de las colas de amalgamación de las pruebas C1 (2,5 g/L de NaCN), C2 (1,5 g/L de NaCN).

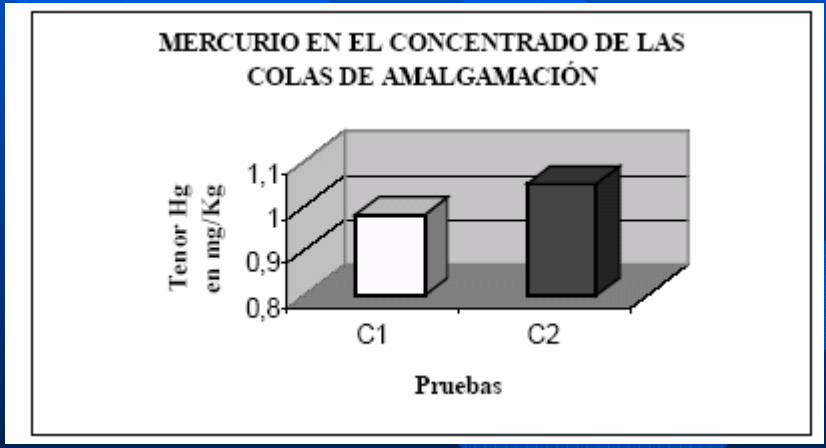


Figura 5. Recuperación de Mercurio del concentrado de las colas de amalgamación de las pruebas C1 (2,5 g/L de NaCN), C2 (1,5 g/L de NaCN).

Consumo de Cianuro de Sodio y Cal

- Haciendo una comparación de las curvas de consumo de NaCN en las colas de amalgamación (figura 6), se aprecia que, hubo un mayor consumo de este reactivo para el ensayo 1. También se observa que para los ensayos donde la muestra sufrió un pre-tratamiento (LA1 y LA2), el consumo de Cianuro disminuye a 7,5kg/t, es decir, los ensayos de lixiviación ácida cumplieron el objetivo de disminuir el consumo de Cianuro de Sodio en la lixivia. Además el consumo de Cianuro de Sodio disminuyó en un 52%, trabajando con una concentración de 1,5g/l. Como era de esperarse, el consumo de cal en las pruebas LA1 y LA2 para las pruebas de cianuración fue elevado. La diferencia en el consumo de CaO entre las pruebas LA1 y LA2 se basa en la concentración de ácido sulfúrico utilizado en el pre-tratamiento (lixiviación ácida).

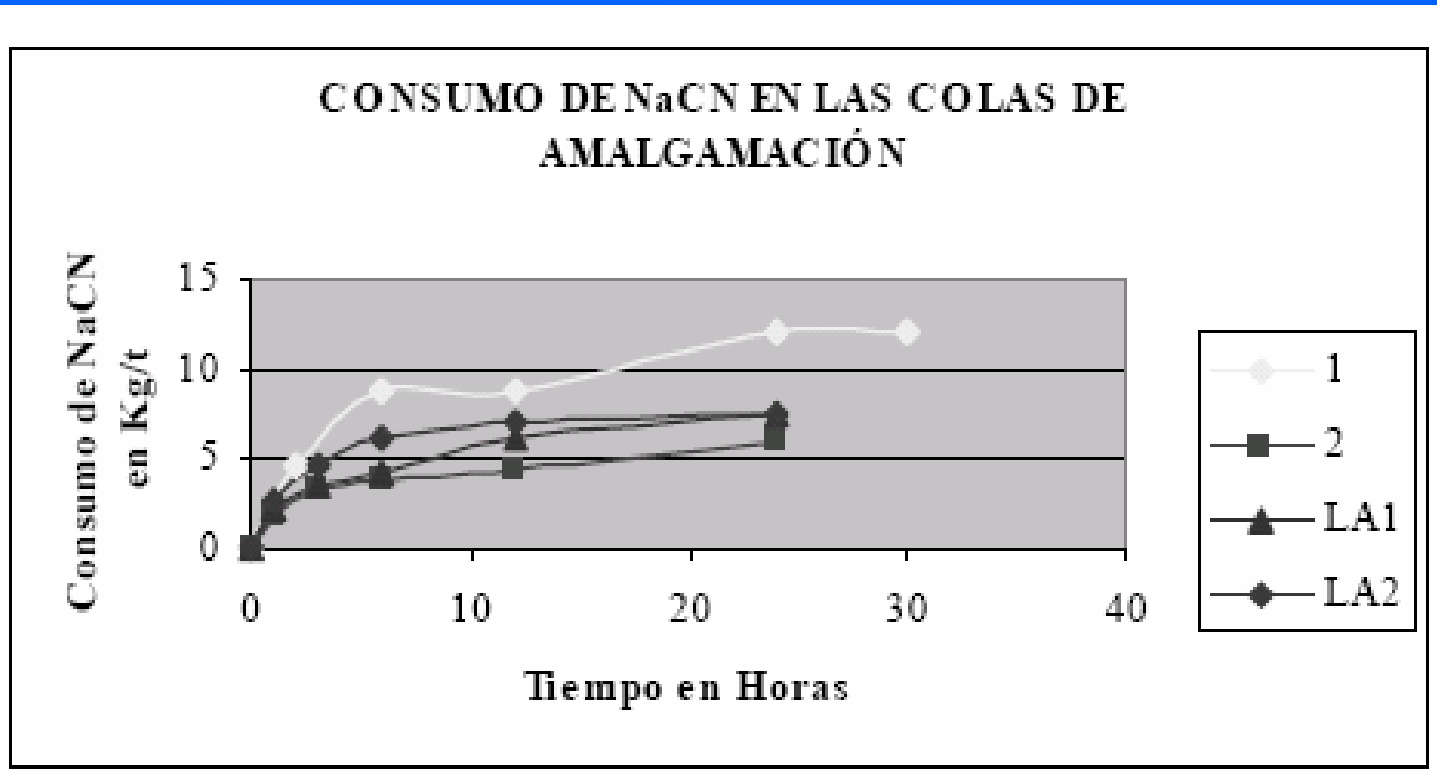


Figura 6. Consumo de NaCN de las colas de amalgamación de las pruebas 1 (2,5 g/L de NaCN), 2 (1,5 g/L de NaCN), LA1 (2,5 g/L de NaCN con lixiviación ácida), LA2 (1,5 g/L de NaCN con lixiviación ácida).

- Por otra parte, observando las curvas de las pruebas C1 y C2 (ver figura 7), el consumo de Cianuro de Sodio disminuyó en un 72,73%, trabajando con una concentración de 1,5g/l. (de 14,3kg/t a 3,9kg/t). De la figura 19 también se puede resaltar que el consumo de Cianuro de Sodio en la prueba C1 se incrementa drásticamente a partir de la 7 hora, talvez esta concentración de cianuro de sodio promueve la disolución de minerales de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio aumentando el consumo de Cianuro. Esto se lo podrá demostrar con la ejecución de nuevas pruebas, determinando en estas la concentración de sales de hierro y aluminio disueltas en las lixivias. Ya el consumo de cal para ambas pruebas fue similar (2,183kg/t trabajando con 2,5g/L de NaCN y 2,049kg/t trabajando con 1,5g/L de NaCN).

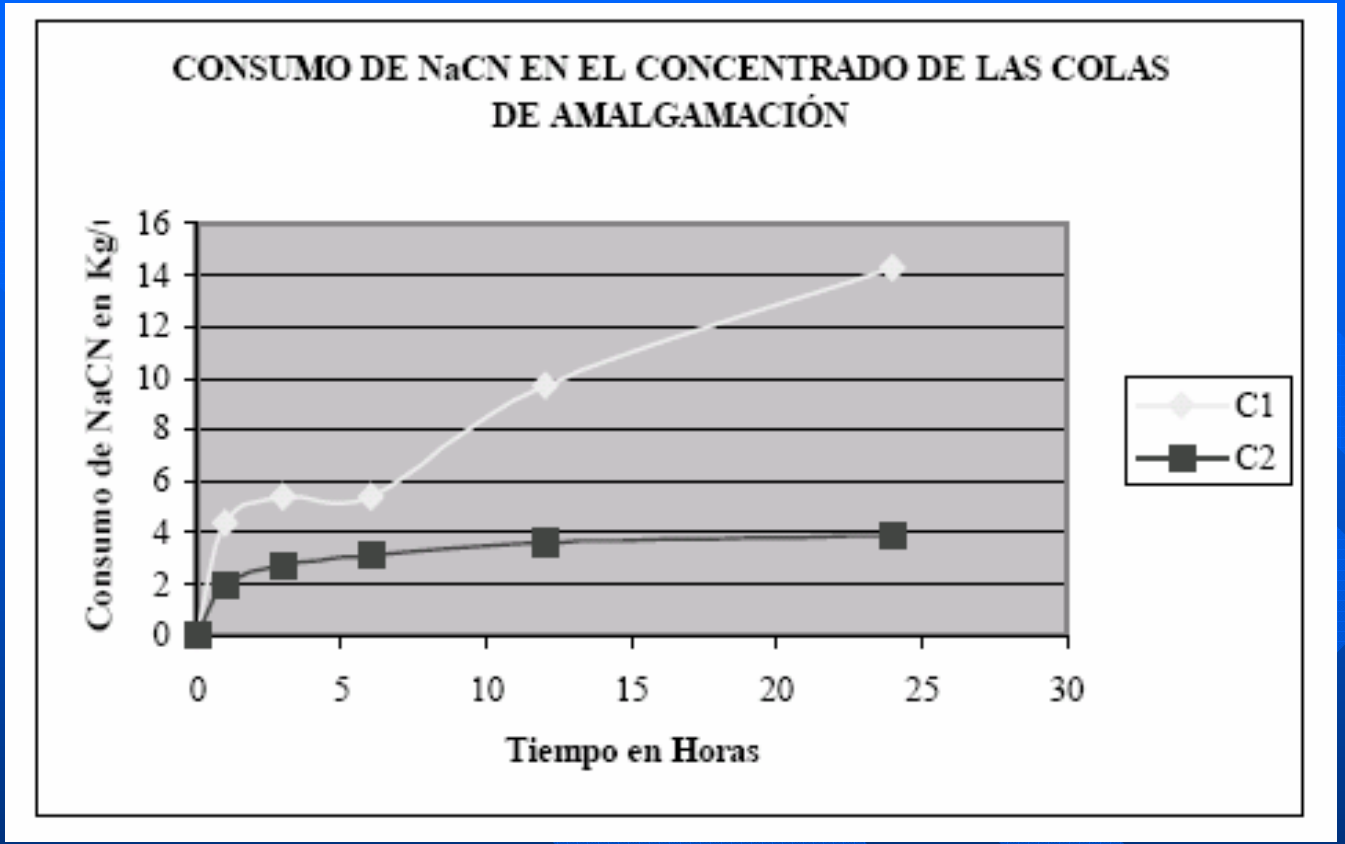


Figura 7. Consumo de NaCN en el concentrado de las colas de amalgamación de las pruebas C1 (2,5 g/L de NaCN), C2 (1,5 g/L de NaCN).

Cinética de la Disolución de Oro y Mercurio

- De la figura 8, se puede estimar como un óptimo tiempo de residencia de la pulpa en la lixivia, para la disolución de oro, de 8 horas. A partir de allí, la curva de disolución de Oro para todas las muestras se mantiene constante, hasta llegar a un punto en que la concentración de Oro en solución comienza a caer. La cinética de disolución de Oro fue mucho más rápida trabajando con una concentración de 1,5g/L, lográndose concentraciones similares a las 24 horas de lixiviación. La recuperación de Oro disminuye hasta los 90,87% trabajando con 1,5g/L de cianuro. La disolución de Oro para las muestras que sufrieron pre-tratamiento (pruebas LA1 y LA2) fueron menores a las que se cianuro directamente (pruebas 1 y 2), esto se debe al menor valor de oro de las muestras sólidas después del la lixiviación ácida, se creé que las perdidas de oro ocurrieron en el proceso de pre-tratamiento

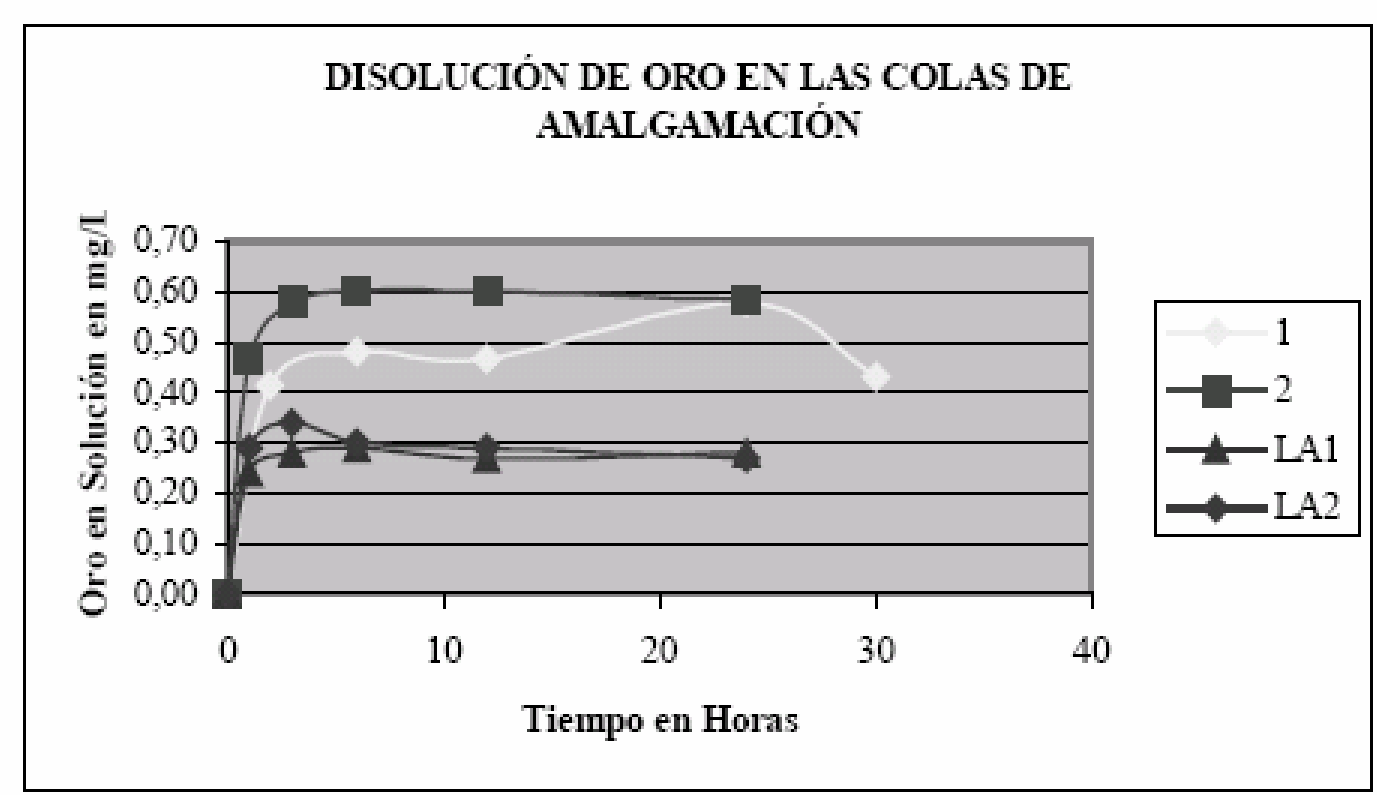


Figura 8. Efecto de la concentración de Cianuro de Sodio y pre-tatamiento en la Cinética de la Disolución de Oro en las colas de amalgamación de las pruebas 1 (2,5 g/L de NaCN), 2 (1,5 g/L de NaCN), LA1 (2,5 g/L de NaCN con lixiviación ácida), LA2 (1,5 g/L de NaCN con lixiviación ácida).

- Observando la figura 9, para la prueba 2, la disolución de mercurio fué menor y cae después de las primeras seis horas, trabajando con una concentración de 1,5g/l, es decir, no se está removiendo mercurio de la cola de amalgamación.
- Probablemente la concentración de cal existente en esta prueba elevó el pH por encima de lo esperado, impidiendo así que se acompleje el Mercurio con el Cianuro debido a que valores de pH por encima de 10 favorece a la formación de Hidróxido de Mercurio, especie insoluble que precipita este metal

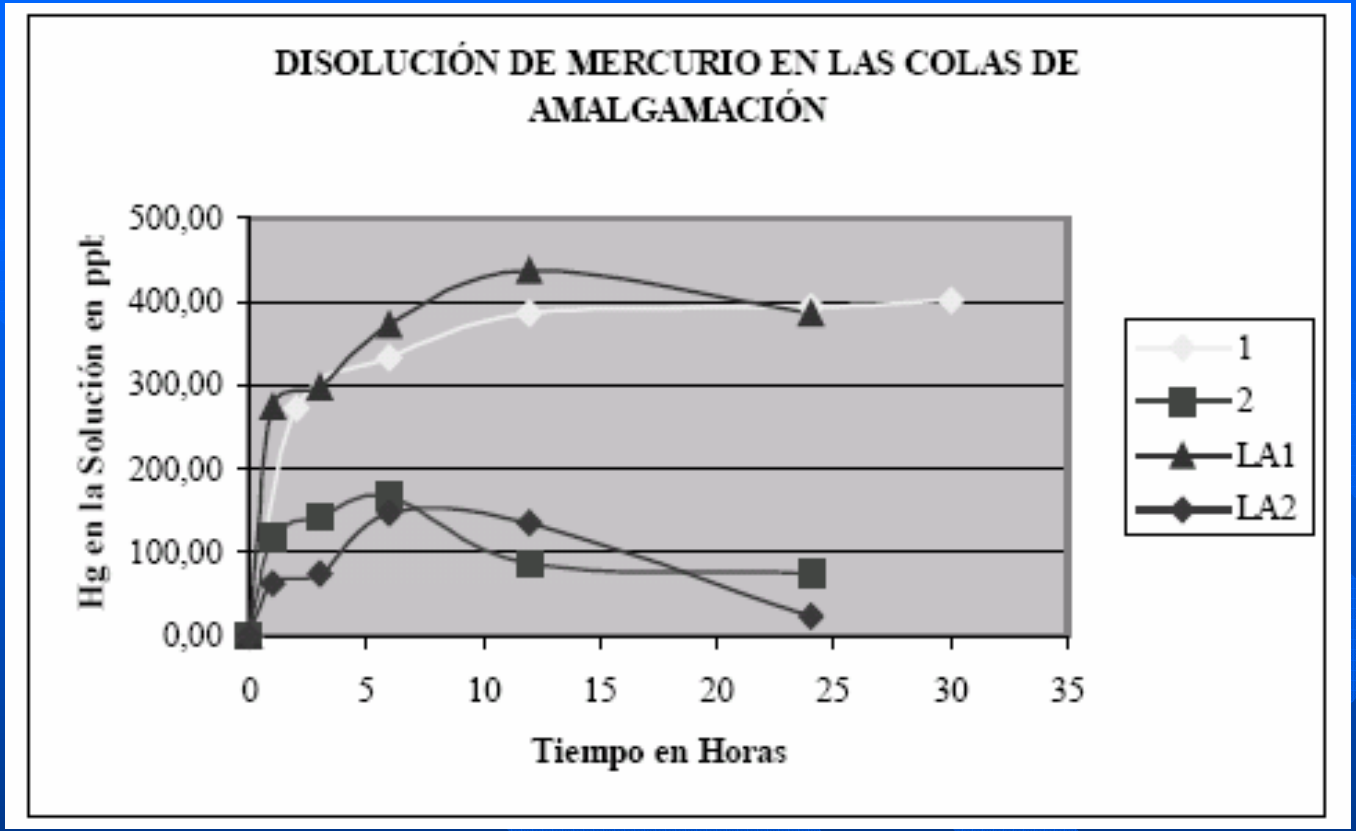


Figura 9. Efecto de la concentración de Cianuro y pre-tratamiento en la Cinética de la Disolución de Mercurio en las colas de amalgamación de las pruebas 1 (2,5 g/L de NaCN), 2 (1,5 g/L de NaCN), LA1 (2,5 g/L de NaCN con lixiviación ácida), LA2 (1,5 g/L de NaCN con lixiviación ácida).

- La figura 10 muestra como influye la concentración de Cianuro de Sodio en la Cinética de la Disolución de Oro. Según la grafica, para una mayor concentración de Cianuro de Sodio se produce un incremento en la Disolución de Oro. Cabe mencionar que a partir de la doceava hora ambas curvas comienzan a caer, es decir, comienza haber un detrimento en la concentración de oro en la solución.

- La figura 11 muestra que existe una mayor disolución de Mercurio con el aumento de la concentración de Cianuro de Sodio. Esta disolución de Mercurio no presento los valores esperados, prácticamente la disolución de este metal fue poca. Teniendo en consideración además, que a partir de la quinta hora la concentración de Mercurio comienza a caer hasta prácticamente llegar a valores inferiores de 50ppb al final de las pruebas.

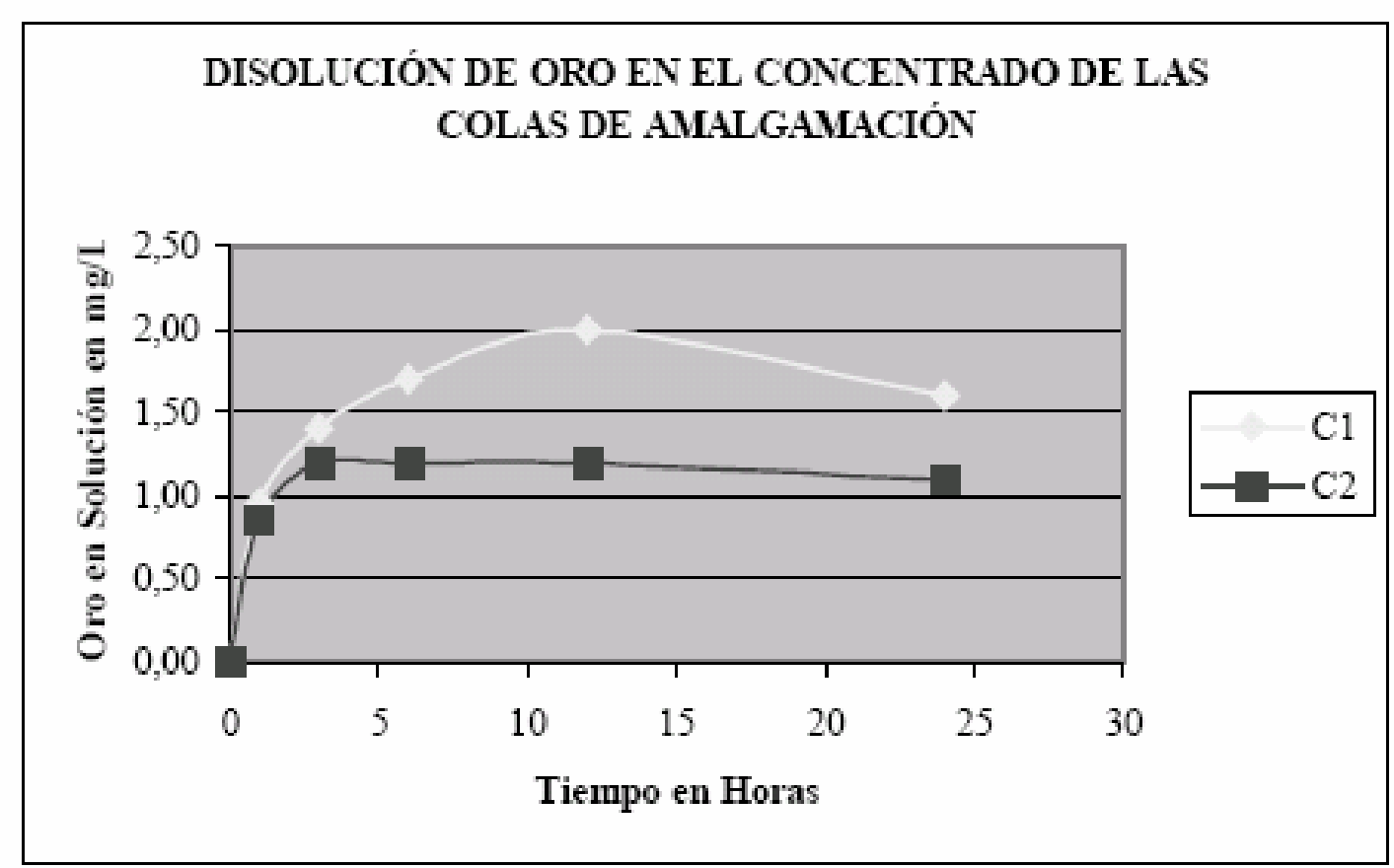


Figura 10. Efecto de la concentración de Cianuro de Sodio en la Cinética de la Disolución de Oro en el concentrado de las colas de amalgamación de las pruebas C1 (2,5 g/L de NaCN), C2 (1,5 g/L de NaCN).

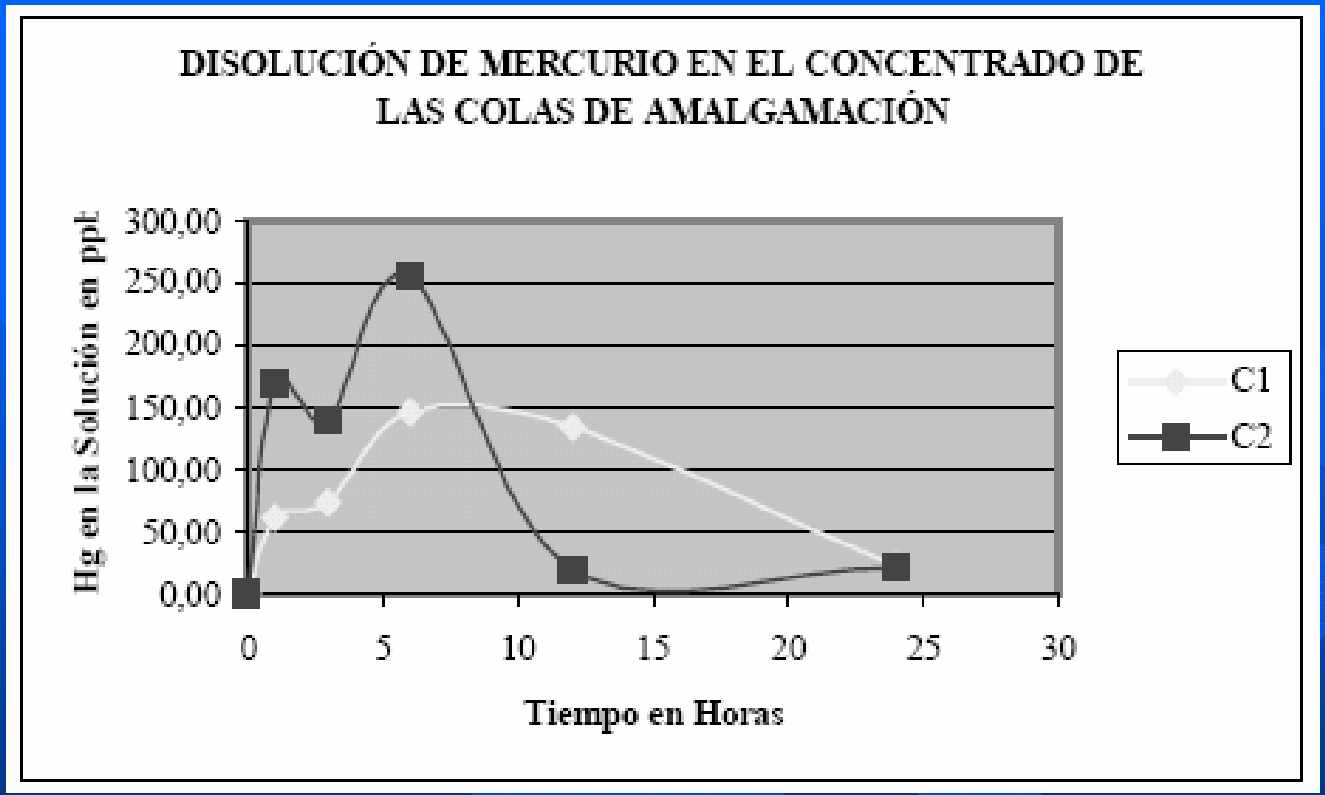


Figura 11. Efecto de la concentración de Cianuro de Sodio en la Cinética de Disolución de Mercurio en el concentrado de las colas de amalgamación de las pruebas C1 (2,5 g/L de NaCN), C2 (1,5 g/L de NaCN).

CONCLUSIONES

- De acuerdo a los valores mostrados en este artículo, el tratamiento del mineral oxidado de oro de la región de Paracatú, para extraer el Oro y recuperar el Mercurio de las **Colas de Amalgamación** por Cianuración es favorable técnicamente, debido a que se obtuvo una recuperación de 92,9% con una cianuración a una concentración de 2,5g/L de NaCN y niveles de mercurio en los residuos sólidos (0,38mg/kg) por debajo de lo máximo permitido por la legislación brasilera.

MOITO OBRIGADO

MUCHAS GRACIAS