

CÓMO MEJORAR LA EXTRACCIÓN DE ORO EN LIXIVIACIÓN EN MONTÓN

Angel Azañero Ortiz*, Pablo Nuñez Jara*,
Victor Vega Guillén *, Manuel Caballero Ríos *, José Vidarte Merizalde*

RESUMEN:

En algunos casos es fácil extraer el oro presente en un mineral, por métodos convencionales de cianuración en montón, sin embargo en otros, los resultados son muy pobres y puede tener su origen en intercrecimientos mineralógicos en tamaños atómicos o sub-atómicos, presencia de elementos cianicidas y contenidos de materiales finos; nuestra investigación está orientada a encontrar alternativas de metales preciosos, causando severas pérdidas de oro en los relaves. el trabajo consiste en demostrar en qué circunstancias se debe aglomerar el mineral para solucionar el problema de solución cuando un mineral aurífero presenta interesante contenido de materiales finos y arcillosos porque al humedecerse forman masas compactas y no permite que el cianuro usado como solvente, llegue a tener contacto con los percolaciones pobres de soluciones lixiviantes, característica de un buen aglomerante, máquinas usadas para aglomerar minerales, determinar el aglomerante más apropiado económica y técnicamente, los diferentes efectos que se obtienen cuando se estudian variables tales como: consumo de reactivos, % de humedad, tiempo de curado, adición de cianuro en la etapa de aglomeración etc. El costo por aglomerar fluctúa alrededor del 10% del costo total de operación que se compensa ampliamente al incrementar la recuperación de metales preciosos.

Palabras Claves: Hidrometalurgia, aglomeración de minerales.

ABSTRACT:

In some cases it is easy to extract the present gold in a mineral, through conventional methods of cyanidation in heap, however in other cases, the results are very poor and may have their origin in mineralogy inter-increments in atomic or subatomic sizes, presence of cyanicides elements and contents of fine materials; our research is oriented to find alternatives of solution when a auriferous mineral presents an interesting content of clayey or finely materials because when they get wet they form compact mass that do not allow that the cyanide used as a solvent to get in contact with the precious metals, causing several loses of gold in the tails. The work consists in showing in what circumstances the mineral must be agglomerated to solve the problem of poor percolation of leaching solutions, characteristic of a good agglomerate, machines used to agglomerate minerals, determine the most appropriate agglomerate economically and technically, the different effects that are obtained when studying variables such as: reactive consumption, % of humidity, time of curing, cyanide addition in the agglomeration stage etc. The cost to agglomerate fluctuates round the 10% of the total cost of operation that is hugely compensated when increasing the recovery of precious metals.

Key words: Hydrometallurgy, agglomeration of minerals

INTRODUCCIÓN

El método de cianuración en montón ha probado ser la técnica más económica para recuperar metales preciosos.

Sin embargo algunos minerales pueden presentar serios inconvenientes durante el tratamiento o beneficio metalúrgico, los cuales pueden ser:

1- Poco o nula permeabilidad del pad o pila debido a la presencia de abundante material fino menor a 20 mallas (-850) bajo la forma de arcillas, limonitas, etc.

2- Presencia de elementos o compuestos cianicidas: As, Sb, Hg, CuO, carbón, telurios, aguas ácidas, etc. originando fuertes consumos de cianuro y cal.

3- Intercrecimientos Mineralógicos de oro y plata en tamaños atómicos o sub-atómicos, no permitiendo exponer las partículas valiosas a la solución lixivante.

Las razones anteriormente expuestas repercuten en recuperaciones pobres de metales preciosos, por lo que es necesario investigar para cada mineral el método de beneficio y las condiciones más adecuadas.

Los puntos N° 2 y 3, requiere especial atención, algunos lo denominan "minerales refractarios" que son aquellos minerales que no responden al método de cianuración directa, El punto 1 será tratado en esta investigación.

ANTECEDENTES

El método de lixiviación en montón, consiste en formar un pad con el mineral a beneficiar generalmente en rangos de tamaños de menos 2" a 1/4" lo que permite ahorrar costos por molienda fina que a veces representa un 50 - 70% del costo total en operaciones de cianuración por agitación.

A través del pad se hace pasar una solución alcalina de cianuro al 0.05 - 0.20% en peso, disolviendo el oro y/o plata que acompaña al mineral, esto generalmente se logra entre 10 a 50 días y permite beneficiar minerales marginales o relaves antiguos, cuya ley en algunos casos solo llega a 1 gramo de oro recuperable por tonelada, el costo de beneficio para algunos minerales que no requieren tratamiento alguno (sin chancado) es de 1.80 US\$ tonelada corta según Norman Hadley and Howard Tabachnick del Bureau of Mines U.S.A.

Si tendríamos un mineral con la ley arriba mencionada el valor económico del mineral será 9.50 US\$/tonelada corta (300 US\$/onza) y si el mineral no requiere preparación previa, entonces por diferencia vemos que al lixiviar este mineral deja utilidad y el proyecto es factible de realizar, sobre todo en gran escala.

Pero no todos los minerales son fáciles y económicos tratarlos por las razones explicadas anteriormente, entonces los costos de tratamiento se elevan y para operaciones de lixiviación en pila los costos estimados por lo especialistas en estos casos fluctúa entre 6 y 14 US\$ TMSM dependiendo de la preparación que se tenga que realizar previo a la

cianuración. Por ejemplo los minerales con fuerte presencia de materiales finos y arcillosos requieren de aglomeración.

PRESENCIA DE FINOS

Para lixiviar un mineral en montón la característica fundamental es que los minerales tienen que permitir que las soluciones lixiviantes puedan difundirse y llegar a todas las partículas y poder disolver el oro, diseminado en el mineral.

En algunos minerales la presencia de abundante contenido de finos menor a 20 mallas(-850 u) forma masas compactas y origina segregación de partículas durante la formación del pad o amontonamiento del mineral.

La figura N°2 nos muestra éste fenómeno en este caso es perjudicial porque no deja que las soluciones de cianuro lleguen en forma uniforme a toda la cama causando pérdidas en los relaves, estas partículas finas se forman durante las operaciones de chancado o por oxidación y degradación natural de los minerales; cuando esto sucede lo más aconsejable es aglomerar el mineral, previa a la cianuración en montón

El motivo de este trabajo será estudiar los métodos de aglomeración, variables, costos, equipos usados y los minerales a los que se debe aplicar esta tecnología.

AGLOMERACIÓN DE MINERALES AURIFEROS

La aglomeración se realiza mezclando el mineral con cantidades adecuadas de agua y algún aglomerante por un determinado período de tiempo formando silicatos alcalinos hidratados fuertes de tal manera que las partículas menores se junten a las más grandes, como resultado tenemos sólidos aglomerados llamados "pellets verdes" que son bastante porosos y a la vez adheridos fuertemente. La figura N°3 nos da un concepto más claro de aglomeración.

La aglomeración se realiza principalmente por:

- 1- Uniones líquidas entre partículas que aparecen por fenómenos de mojabilidad o tensión superficial.
- 2- Agentes enlazantes de alta viscosidad que al solidificarse cristalizan.
- 3- Uniones sólidas que establecen puentes entre partículas, como por ejemplo: cristalización de sales, adhesión, crecimiento, fusión y cristalización del ligante.
- 4- Fuerzas del tipo Vander Walls.
- 5- Fuerzas electrostáticas.
- 6- Fuerzas coulumbicas.
- 7- Fuerzas de atracción magnética.

Todo aglomerante debe reunir las siguientes

Características:

- a) Sirve como medio de adherencia entre partículas.
- b) No contaminante, no debe interferir ni reaccionar cuando se realice el proceso de tratamiento metalúrgico.
- c) Granulometría fina, para ocupar los volúmenes vacíos entre partículas.
- d) Debe ser económico, abundante y estar al alcance del consumidor.

Los aglomerantes que se pueden usar en minería son: cal, cemento tipo II, mas comúnmente utilizado en la industria de la construcción, magnesia, dolomita calcinada, cloruro de calcio, floculantes, estos últimos muy usados para aumentar la velocidad de sedimentación de partículas en concentrados minerales.

El cloruro de calcio y la dolomita han demostrado no ser buenos aglomerantes, la magnesia, es un aceptable aglomerante sobre todo para minerales con bajo contenido de finos y las propiedades aglomerantes disminuyen con el tamaño del aglomerado y el tiempo.

Los mejores aglomerantes son el cemento portland y la cal, no permitiendo la emigración de partículas finas con la solución lixiviante siendo el cemento el aglomerante que mejores resultados ha dado, formando aglomerados estables y fuertes que resisten las más severas condiciones de lixiviación en montón y en el tiempo.

La cal es un buen aglomerante aunque con propiedades menores que el cemento se prefiere este último por el mayor costo de cal, resistencia y aglomerados más débiles.

Los equipos más usados para aglomerar son:

1. Aglomerador de faja.-

Las partículas de mineral viajan a través de la faja formando aglomerados, se recomienda su uso para minerales con bajo contenido de finos. La faja produce menor grado de aglomeración con respecto a otros.

2. Aglomerador de disco.-

Se trata de un disco rotatorio inclinado respecto a la horizontal, el agua se alimenta a través de rociadores para obtener el tamaño de pellets requerido, para ello se puede hacer uso de una serie de variables de operación como son:

Velocidad de rotación, ángulo de inclinación del disco, altura del borde periférico del disco y el diámetro que determina la capacidad.

$C = cte D^{2.58}$

C = capacidad

D = diámetro

3. Aglomerador de tambor.-

Son cilindros rotatorios con relación a 3.5 con un inclinación de 6° que giran al 30% de su velocidad crítica; Generalmente $1/3$ de su longitud es usada para mezclar el mineral con el aglomerante, el resto del cilindro se añade agua en spray para efectuar la aglomeración.

El tiempo de retención del mineral en la máquina se puede determinar:

$T = 1.77 \frac{L}{D N}$, donde:

SDN

T = minutos, L = pies, D = pies, N = RPM

S = inclinación pulgada/pie, L = largo y

A = ángulo de reposo del mineral

VARIABLES DEL PROCESO

Las variables que afectan el proceso de aglomeración son:

- a) Cantidad de aglomerante por TC/ mineral.
- b) % humedad.
- c) Tiempo curado

AVANCES EN PROCESOS DE AGLOMERACIÓN

Actualmente se ha realizado investigaciones con cal y cemento como aglomerante, siendo el cemento el que mejores, duros y estables aglomerados produce, de las investigaciones realizadas al respecto podemos apreciar en la Fig. N°4 como varía el rate de percolación o flujo de solución a través del pad con y sin aglomerante para un mineral chancado a $-3/8$ con 12% de humedad y 24 horas de curado.

Así el mineral sin aglomerante alcanza un flujo de 0.12 galones/hora x ft² y se mantiene constante durante todo el tiempo que dura la lixiviación; el mismo mineral al recibir el proceso de aglomeración con 8 a 12 lb de cemento por tonelada de mineral el flujo alcanza un máximo valor de 600 gal/hora x ft², mejorando notablemente el rate de percolación.

En la Fig. N°5 vemos como varia el rate de percolación en función del contenido de humedad con que se realiza el curado, un excelente rate se obtiene con 12% de humedad, pero humedades que varían entre 8 y 16% producen aceptables velocidades de flujo.

El efecto del rate de percolación en función del tiempo de curado lo muestra la figura N° 6 estos datos nos indican que con 8 horas de curado se obtiene un óptimo rate de percolación, lográndose este mismo efecto en 24 horas cuando se aglomeró con cal.

Los resultados investigados demuestran efectivamente que al aglomerar el mineral el rate de percolación se incrementa de 0.1 (sin tratamiento) hasta 610 gal/hora x ft² lo que significa una mejora de 6,100 veces más que las partículas de oro estarán expuestas a la solución lixivante al lixiviar en montón a -3/8 de tamaño de partícula, obteniendo 70% de extracción del oro, se reportan los mismos resultados al cianurar por agitación.

A continuación se muestra en detalle los resultados obtenidos, diagramas, gráficos, etc.

TABLA N°1

Condiciones óptimas de pre-tratamiento	
Cemento tipo II lb/TM mineral	10
Humedad : %	12
Tiempo curado : horas	8
Rate de percolación: gal/hr x ft ²	
Sin pre-tratamiento	0.10
Con pre-tratamiento	610
Extracción % Oro	70

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE CIANURO DURANTE EL CURADO

De los resultados mostrados en la tabla N° 2 deducimos que al agregar cianuro en soluciones concentradas durante el curado, disminuye el tiempo de lixiviación de 26 a 5 días así como también baja el consumo de cianuro, demostrando definitivamente las bondades de aglomerar o mejor, aglomerar con cemento y cianuro simultáneamente algunos minerales.

EFFECTO DEL RATE DE PERCOLACIÓN Y EL TIEMPO DE LIXIVIACIÓN

Para esto se ha evaluado diferentes flujos:

Bajo, moderado y rápido: 0.9, 5.7 y 13.9 gal /hr x ft² respectivamente.

Velocidad de Flujo gal /hr x ft ²	Periodo de lixiviación (horas)	Recuperación % Au
Bajo: 0.9	125	66.6
Moderado:5.7	95	83.9
Rápido: 13.9	18	90.0

La Fig. N° 7 muestra la recuperación acumulada vs. El tiempo de lixiviación a diferentes rates de percolación, en ella podemos apreciar que con un flujo rápido se logra buena recuperación, por ejemplo en 6 hrs. se recupera el 76.0%, la misma recuperación se puede obtener para los otros flujos si extrapolamos las curvas respectivas, esto es en 365 y 1,000 horas para un flujo moderado y lento respectivamente.

En la Fig. N° 8 se puede apreciar como varia la concentración de oro en función del tiempo para diferentes rates de percolación, para flujo rápido la concentración de oro es baja, explicable debido al mayor volumen de solución usada, sin embargo los valores metálicos de estas soluciones se puede recuperar fácilmente por diferentes métodos de igual manera las soluciones obtenidas a otros rates.

RESULTADOS

Todo lo estudiado anteriormente y sacando las condiciones óptimas de tratamiento metalúrgico se procedió a investigar el método a una muestra de mineral de una mina de nuestro País con pobres propiedades de percolación.

MINERALOGÍA

La muestra en un examen organoléptico y puesta al microscopio binocular presentaba las siguientes características: fuerte contenido de finos principalmente arcillas, limonitas y otros óxidos de fierro en matriz de cuarzo y calcosilicatos, escasos sulfuros principalmente pirita. El oro visible es muy poco, principalmente debe encontrarse absorbido en las limonitas y otros componentes de la muestra.

PRUEBAS EXPERIMENTALES

Por la característica mineralógica de la muestra los métodos de recuperación del oro podrían ser flotación, cianuración o combinación de ambas, en éste último caso los costos de tratamiento se elevarían demasiado y la flotación reporta recuperaciones solo

alrededor del 50%, por lo que se decidió estudiar al mineral aplicando primero cianuración por agitación si los resultados fueran buenos se continuaría aplicando lixiviación en montón sin y con aglomeración previa. Efectivamente las condiciones de trabajo y los resultados obtenidos son descritos a continuación:

	Mineral sin aglomerante	Mineral aglomerado	
		cemento y agua	cemento, agua y cianuro
Cab. calc. OZ/TC	0.49	0.10	0.10
Au	0.47	0.30	0.40
Ag			
Cemento portland 1b/Ton. Mineral	0	10	10
Cianuro lb/ton soluc.	2 0	2 12	8.6 12
Humedad % peso	0.10	610	600
Rate percolación	26	9	5

CIANURACIÓN POR AGITACIÓN

a) Condiciones de trabajo.

Mineral: 250 gramos.

Granulometría: 100% - 65 mallas - 212 micrones.

Dilución: 3/1.

Fuerza de cianuro: 0.10%

PH: 11.0.

Tiempo: 24 horas.

Equipo: Agitador de rodillos

b) Consumo de reactivos: Kg/TMSM

Cal: 3.3

NaCN: 2.4

c) Resultados

Producto	Volumen o Peso	Leyes: Mg/lit Au	Recuperacion % Au
Solución rica	700 c.c.	1.84	75
solución de lavado	450 c.c.	0.38	10
Residuo de cianuración	250 Gr.	0.03	15
Cab. calc	250 Gr.	0.20	100

d) Observaciones

Al ver los resultados obtenidos podemos concluir que en 24 horas de tratamiento se ha logrado extraer el 85% del oro total.

LIXIVIACIÓN EN MONTÓN SIN AGLOMERACIÓN

Condiciones de trabajo

Condiciones de trabajo

Mineral: 10 Kg.

Granulometría: 100% - 3/8f.

Tiempo: 20 días.

Agua: 4.5 litros.

Cianuro: 0.10 %.

PH: 11.0.

Rate de percolación: 0.40 galones/hr x ft²

LIXIVIACIÓN EN MONTÓN CON AGLOMERACIÓN

Las condiciones de trabajo fueron los mismos del test N°2, solo se agregó cianuro y cemento luego se dio un tiempo de curado, variando el flujo de lixiviante y el tiempo de cianuración. La extracción del oro se determinó al analizar la solución rica en los días indicados.

Aglomerante: 5 Kg/TMSM (cemento).

Curado: 8 horas.

Tiempo de lixiviación: 5 días.

Rate de percolación: 4.8 gal/hr x ft².

Equipo y diagrama de flujo: Fig. N°9.

Rate de percolación: 0.40 galones/hr x ft²

Tabla 5.

Resumen de resultados de lixiviación en montón.

condiciones/tiempo de Lixiviación	Extracción % Au		Reactivos KG/TMN	
	5 dias	20 dias	cianuro	cemento
Sin aglomeración				
Con aglomeración				

DISCUSIÓN

- Cada mineral tiene sus propias características mineralógicas por lo que se recomienda investigar el comportamiento metalúrgico en cada caso específico.
- Para minerales que no presentan contenidos importantes de finos, la lixiviación en montón se puede realizar sin aglomeración previa.
- El tiempo de curado se inicia al mezclar el mineral con el aglomerante hasta que empieza la lixiviación.
- Los costos por aglomeración fluctúan alrededor del 10% del costo total del proceso.
- Existen varios aglomerantes mencionados en este trabajo, actualmente la cal y el cemento han demostrado buenas cualidades aglomerantes por lo que se

recomienda probar ambas, la elección dependerá mucho de los resultados metalúrgicos obtenidos, costos y transporte del aglomerante al lugar de consumo.

- De todos los aglomerantes mencionados los que mejores resultados metalúrgicos han reportado son el cemento Portland II y la cal, en éste orden incrementando la recuperación de oro y disminuyendo el consumo de cianuro.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro agradecimiento al Consejo Superior de Investigaciones, al Señor Decano de la Facultad de Geología, Minas y Metalurgia, al Director y Coordinador de la E.A.P. de Ingeniería Metalúrgica y a todos los miembros que colaboraron en el desarrollo del Proyecto de Investigación N° 5160104.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Anderson T.N.; Parr J.C., Stone L.C. y Metcalf.
"GOLD AND SILVER ASSAY METHODS IN THE MINING AND METALLURGY".
2. Azañero Ortiz, Angel.
«RECUPERACION DE ORO Y PLATA DE SUS MINERALES POR HEAP LEACHING» Instituto de Investigaciones Minero Metalúrgicas Universidad Nacional Mayor de San Marcos Investigación N°4160103-1994.
3. Azañero Ortiz, Angel.
«INVESTIGACION METALURGICA MINA OTOCA» Banco Minero del Perú Laboratorio Central del Callao Informes Técnicos - 1986 – 1987.
4. Bhappu Rosham.
«QUIMICA Y ASPECTOS PRACTICOS ECONOMICOS DE LA RECUPERACION DE MINERALES DE ORO Y PLATA» Conferencia U.N.I. – 1984.
5. Heinen H.J., Mc Clelland G.E. y Lindstron R.E.
"ENHANCIN PERCOLATION RATES IN HEAP LEACHING OF GOLD SILVER ORES" Bureau of Mines Report 8388 U.S.A.
6. Heinen H.J.; Peterson D.G. y Lindstrong.
"PROCESSING GOLD ORES USING HEAP LEACH - CARBON ADSORTION METHODS" Bureau of Mines Report 8770 U.S.A.
7. Mc.Lelland and Hill S.D
"HEAP LEACHING GOLD SILVER ORES WITH POOR PERCOLATION CHARACTERITICS" Bureau Of Mines Report 89520 Reno Nevada U.S.A.
- 8 Schlitt W.J. Larson,Hinsey.
"GOLD AND SILVER LEACHING RECOVERY AND ECONOMICS PROCEDING"
110 TH _ AIME MEETING - 1981 Chicago Illinois - U.S.A .

Imágenes

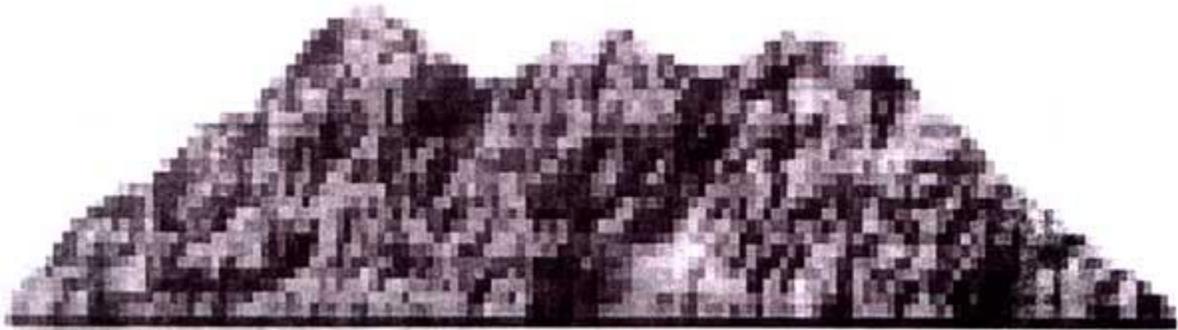


Fig N°1. Segregación de partículas del mineral en monton

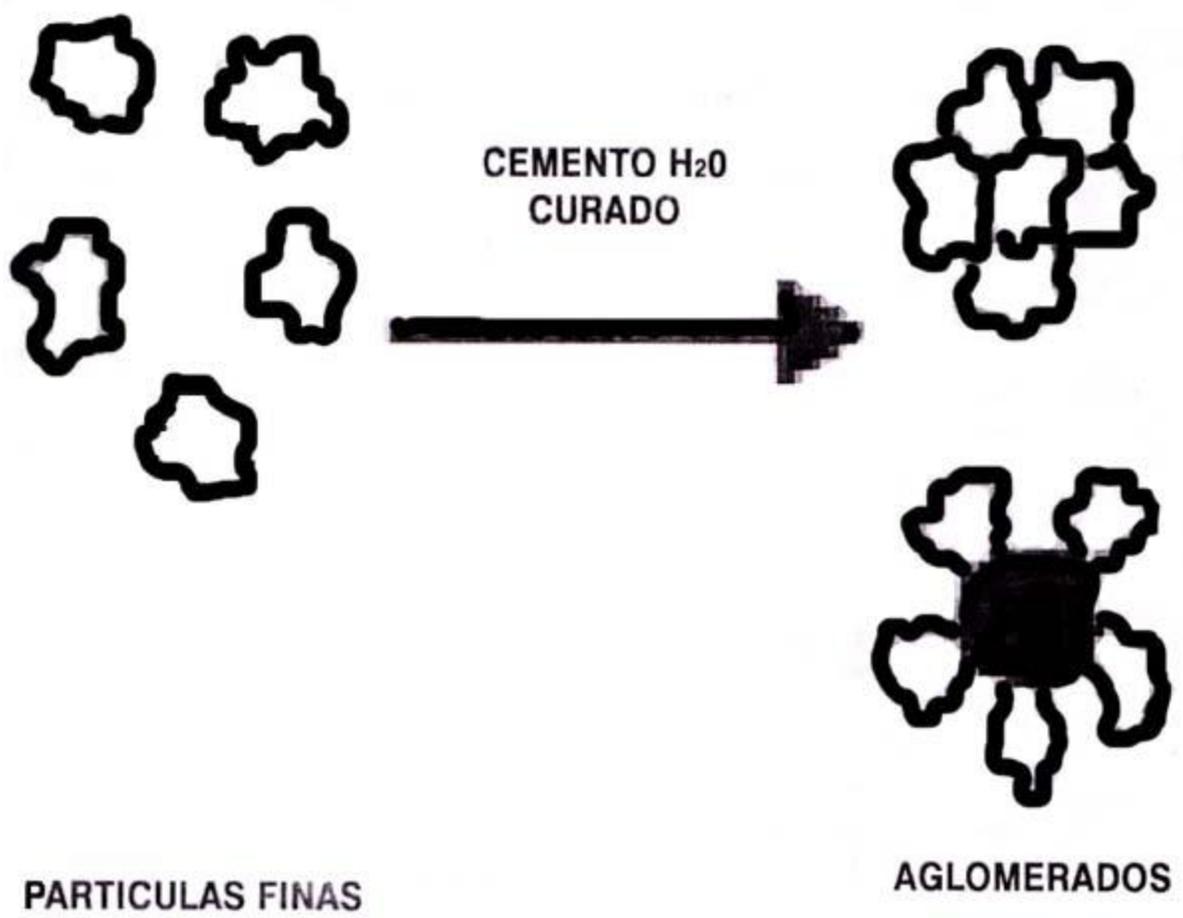


Fig. N°3 Concepto de aglomeración

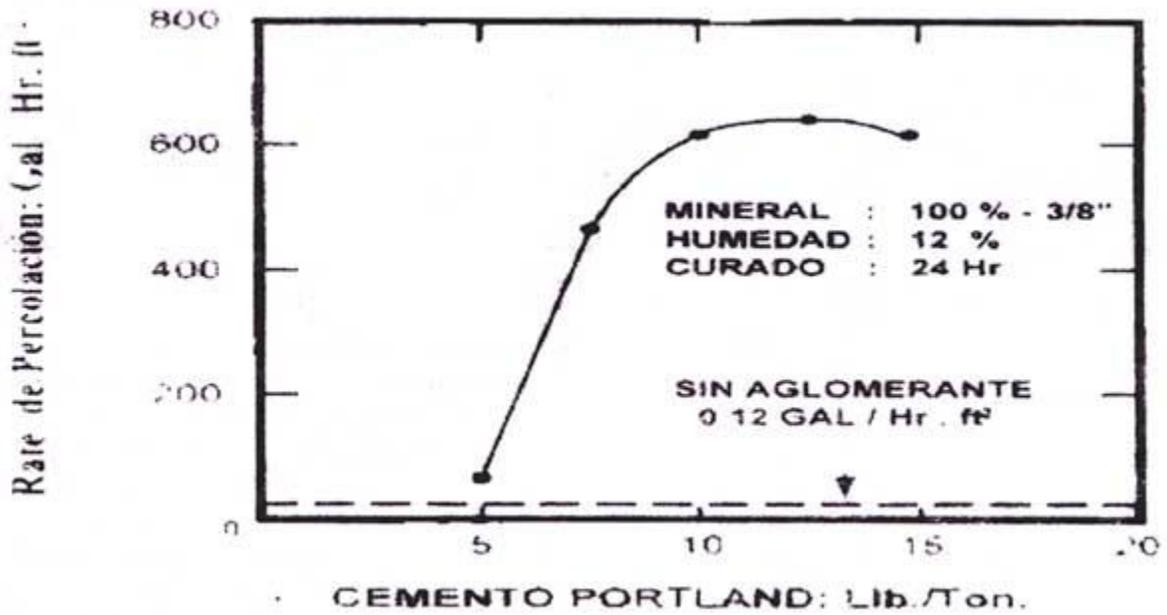


Fig. N° 4. Efecto de adición del aglomerante sobre el flujo o rate de percolación en columna.

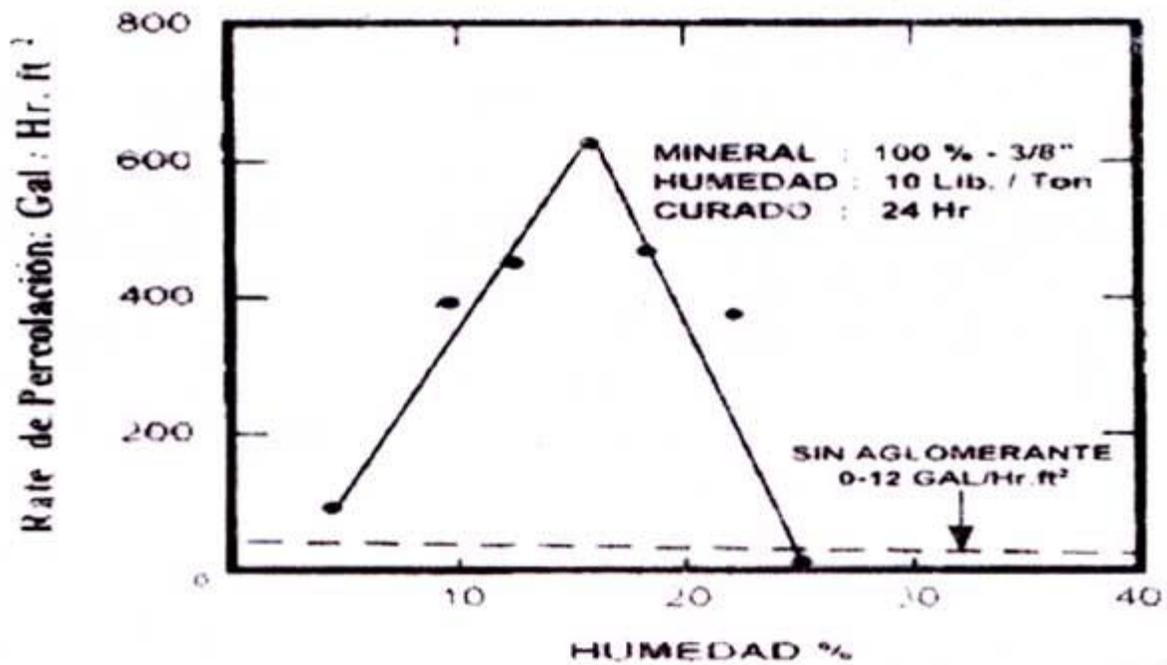


Fig. N° 5. Efecto de contenido de humedad sobre el rate de percolación.

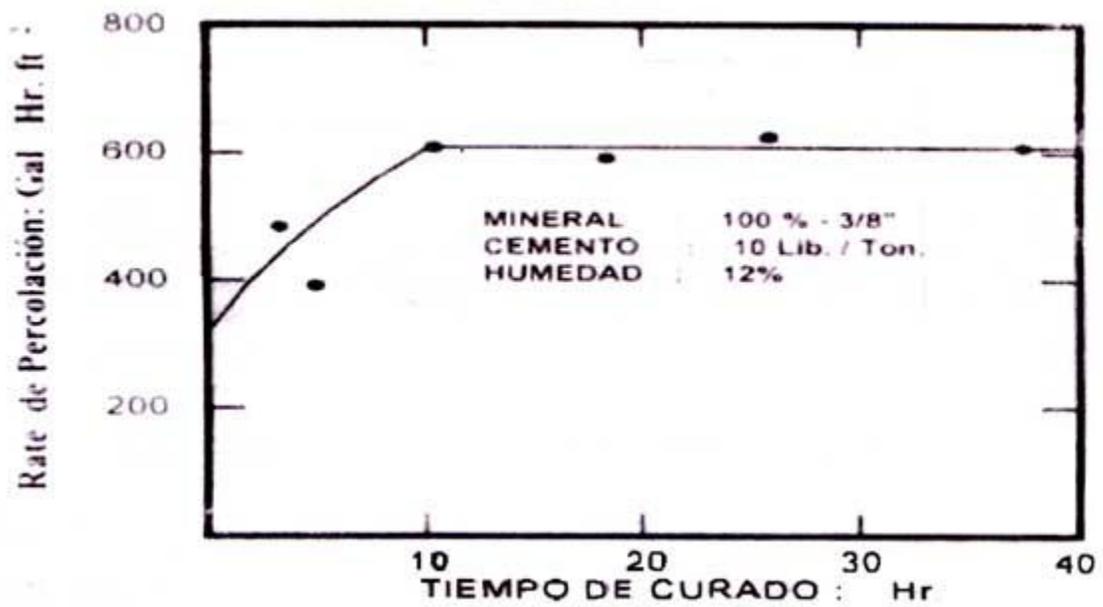


Fig. N° 6. Efecto del tiempo de curado sobre la velocidad de flujo de la solución a través de la columna.



Fig. N° 7. Recuperación de oro vs. Tiempo de lixiviación a diferentes velocidad de flujo

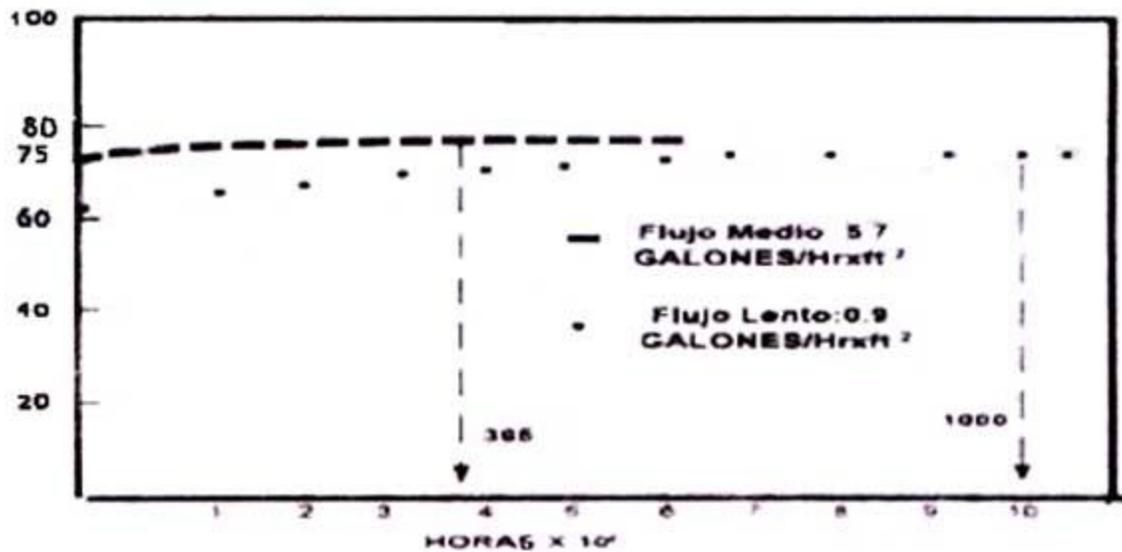


Fig. N° 7A. Recuperación del Au vs. Tiempo de lixiviación a diferentes velocidades de flujo

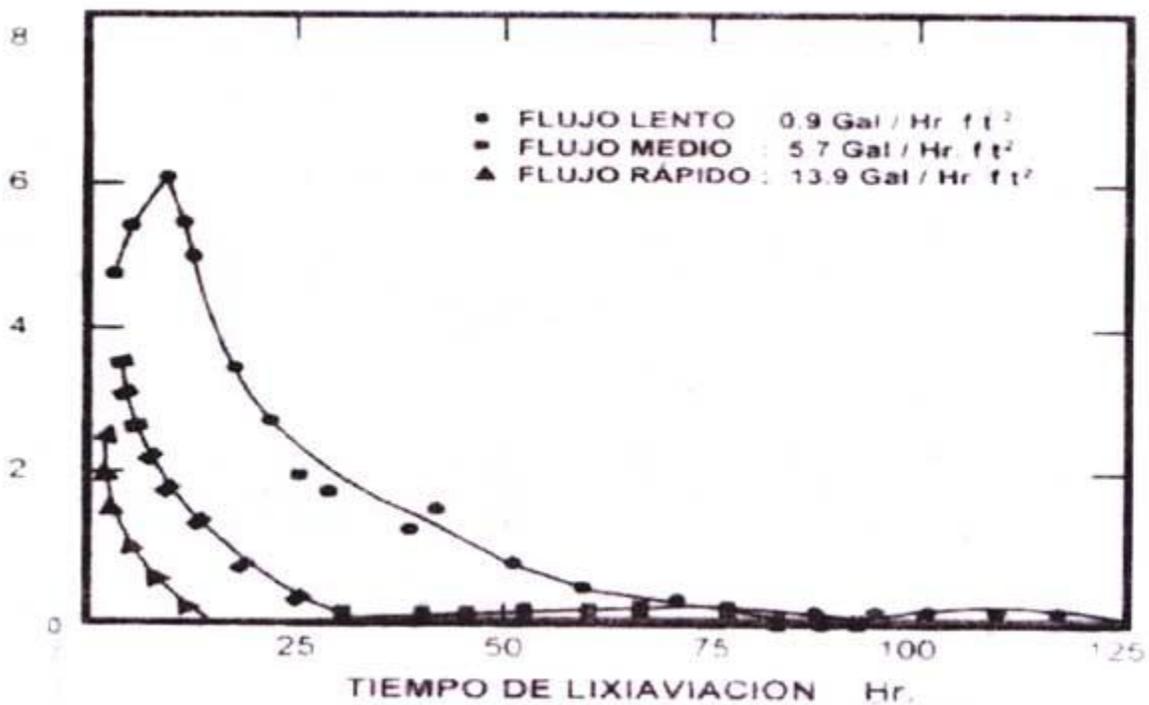


Fig. N° 8. Efecto del rate de percolación sobre la concentración de oro en soluciones ricas con el tiempo de lixiviación

