

RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA DE MINERALES POR HEAP LEACHING

Ing. Ángel Azañero Ortíz*

RESUMEN

La lixiviación en montón es un proceso muy económico para tratar metalúrgicamente minerales con baja ley en metales preciosos, este método de tratamiento recibe un fuerte impulso a mediados de la década del 70 del siglo anterior, cuando el oro alcanza cotizaciones de hasta 600 US\$/onza el año 1980; se implementa el rehuso del carbón activado y se beneficia minerales con fuerte contenido de finos mediante aglomeración.

Palabras claves: Lixiviación en montón.

ABSTRACT

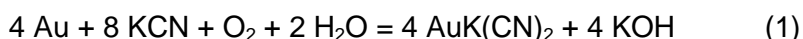
Heap leaching is a very economic process to metallurgically treat minerals that have a low grade of precious metals.

This method of treatment receives a strong impulse in the middle 70's of the last century; when gold reached the cost of up to \$ 600/oz on 1980, the reusing of activated charcoal is implemented and minerals with a strong content of fines through agglomerating are benefited.

Key words: Heap Leaching.

I. INTRODUCCIÓN

El principio básico de la cianuración es aquella en que las soluciones alcalinas débiles tienen una acción directa disolvente preferencial sobre el oro y la plata contenidos en el mineral. La reacción enunciada por Elsher en su Journal Prakchen (1946), es la siguiente:



La química involucrada en la disolución de oro y plata en el proceso de cianuración en pilas es la misma aplicada en los procesos de cianuración por agitación.

El oxígeno, esencial para la disolución del oro y plata, es introducido en la solución de cianuro mediante la inyección directa de aire al tanque solución de cabeza, por irrigación en forma de lluvia y por bombeo de la solución recirculante.

La velocidad de disolución de los metales preciosos en soluciones de cianuro depende del área superficial del metal en contacto con la fase líquida, lo que hace que el proceso de disolución sea un proceso heterogéneo; la velocidad de disolución depende también de la velocidad de agitación lo que indica que el proceso sufre la presión de un fenómeno físico.

Otros factores que influyen en la velocidad de disolución son las siguientes:

a) Tamaño de la partícula.- Cuando se presenta oro grueso libre en la mena, la práctica generalizada es recuperarlo por medio de trampas antes de la cianuración ya que las partículas gruesas podrían no disolverse en el tiempo que dura el proceso.

Bajo condiciones consideradas ideales con respecto a la aereación y agitación, Barsky encontró que la velocidad mínima de disolución de oro es 3.25 mg/cm²/hora.

b) Oxígeno.- Es un elemento indispensable en la disolución del oro y plata (aereación de la pulpa); siendo el aire atmosférico la fuente de oxígeno utilizado en el proceso de cianuración.

c) Concentración de la solución de cianuro.- La solubilidad del oro en una solución de CN aumenta al pasar de las soluciones diluidas a las concentradas. La solubilidad es muy baja con menos de 0.005% NaCN, crece rápidamente cuando contiene 0.01% NaCN y después lentamente, llegando al máximo cuando contiene 0.25% NaCN. La proporción más eficaz es de 0.05 a 0.07% NaCN. La concentración usual de CN para el tratamiento de menas de oro es de 0.05% NaCN y para menas de plata de 0.3% para concentrados de oro-plata, la fuerza de NaCN está entre 0.3 - 0.7%. El NaCN es el más usado en el proceso de cianuración, aunque también se emplea el KCN.

d) Temperatura.- La velocidad de disolución de los metales en una solución de NaCN aumenta con el incremento de la temperatura, hasta 85°C arriba de esta temperatura; las pérdidas por descomposición del cianuro es un serio problema.

e) Alcalinidad protectora.- Las funciones del hidróxido de calcio en la cianuración son las siguientes:

- Evitar pérdidas de cianuro por hidrólisis.
- Prevenir pérdidas de cianuro por acción del CO₂ del aire.
- Neutralizar los componentes ácidos.
- Facilitar el asentamiento de las partículas finas de modo que pueda separarse la solución rica clara de la mena cianurada.

f) Porcentaje de finos.- Este aspecto es muy importante, porque, cuando el % de finos es alto, mayor al 20% del total (< -10 mallas, 1.7 mm) las partículas tienden a aglutinarse en consecuencia no dejan pasar las soluciones de cianuro por lo que estos minerales requieren otro tratamiento posiblemente curado con cal, cemento o ambos para lograr aglomerarlos y facilitar la percolación.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La lixiviación en pila es una lixiviación por percolación de mineral acopiado sobre una superficie impermeable, preparada para coleccionar las soluciones; a escala industrial contempla el tratamiento de 1000, 10 000 hasta 50 000 ton/día o más de mineral. La adopción de la técnica está condicionada a las características del mineral, habiéndose determinado en forma práctica y a escala piloto las características favorables, por sus menores costos de capital y de operación, es también atractiva para el desarrollo de

depósitos pequeños. Su gran flexibilidad operativa le permite abarcar tratamientos cortos (semanas) con mineral chancado o bastante prolongados (meses hasta años) con mineral grueso, al tamaño producido en la mina.

En líneas generales, el mineral fracturado o chancado es colocado sobre un piso impermeable formando una pila de una altura determinada, sobre la que se esparce solución diluida de cianuro de sodio que percola a través del lecho disolviendo los metales preciosos finamente diseminados.

La solución de lixiviación, enriquecida en oro y plata se colecta sobre el piso permeable que, dispuesto en forma ligeramente inclinada, la hace fluir hacia un pozo de almacenamiento. Desde este pozo, la solución es alimentada a una serie de estanques de clarificación, filtración, precipitación, etc. retornando el efluente estéril a la pila de mineral:

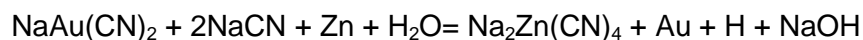
a) Trituración: Dependiendo del tamaño al cual sea adecuado triturar puede existir chancado en 1, 2 ó 3 etapas. En este tipo de lixiviación son comunes los chancados sólo hasta la etapa secundaria.

b) Cianuración: Consta de un tanque de cabeza de una capacidad instalada a una altura sobre la pila. La solución lixivante fluye por gravedad hacia el Pad. La solución pregnant es recepcionada mediante un canal de concreto que al igual que al piso de las pilas tiene una pendiente de 1.5% pasando luego a los filtros mediante una tubería plástica.

La solución después de habersele eliminado los finos y el oxígeno pasa un tanque de agitación herméticamente cerrado en donde se le adiciona zinc en polvo y acetato de plomo.

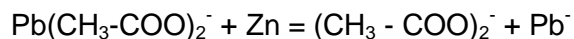
C) Precipitación:

- El principio de la precipitación de metales preciosos contenidos en soluciones de CN empleando polvo de zinc, está basado en el hecho de que el oro y la plata son electronegativos respecto al zinc, ocurriendo un reemplazo electroquímico del oro y la plata por el zinc, seguido por el desplazamiento del hidrógeno del agua por el sodio según la siguiente reacción:



En la práctica, ocurre un exceso en el consumo de Zn por encima de la demanda teórica debido a que tanto el CN con el alcali libre en la solución tienden a atacar al Zn disolviéndolo.

Las reacciones son más eficientes con la adición de acetato de plomo:



PRECIPITACIÓN EN CARBÓN ACTIVADO

Se realiza generalmente cuando el mineral contiene muy poca proporción de Ag, es decir cuando el mineral está constituido principalmente por oro como metal precioso.

DESORCIÓN DEL ORO DEL CARBÓN ACTIVADO

En este caso generalmente el carbón cargado con oro es sometido al proceso de desorción en volúmenes alcalinos alcohólicos, el oro pasa a solución, formando un electrolito rico en oro el cual pasa a electrodeposición en cátodos de lana de acero que es fundido previo lavado ácido para recuperar el oro.

En la Fig. N° 1 tenemos un Flow Sheet, completo de un proceso de Heap Leaching.

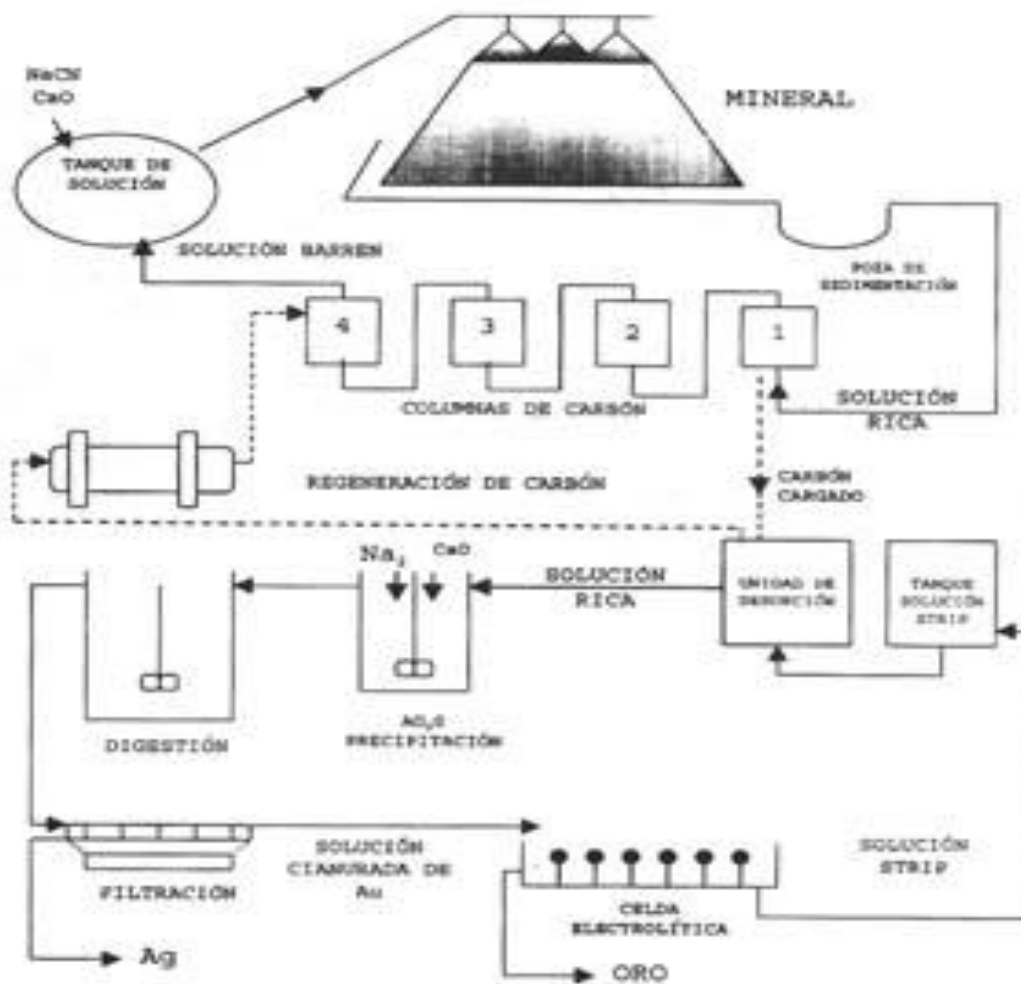


Fig. 1. Diagrama de Flujo de Lixiviación en Montón.

Fig. 1 Diagrama de Flujo de Lixiviación en Montón

ASPECTOS BÁSICOS PARA DISEÑAR UNA PLANTA DE LIXIVIACIÓN EN MONTÓN

El proceso de lixiviación en pilas o heap leaching es un tipo de lixiviación por aspersión o goteo usada desde hace muchos años en la metalurgia del cobre del tipo oxidado.

En el Perú existe una serie de pequeños yacimientos auríferos de baja ley que pueden ser susceptibles de utilizar esta técnica con bastante éxito.

Las principales ventajas de este proceso se deben a que requiere de una inversión moderada, unido a costos de operación relativamente bajos frente a cianuración por agitación.

MINERAL

El mineral debe ser chancado al 100% de cualquiera de las mallas siguientes:

100 % - 1"

100 % - 3/4"

100 % - 1/2"

100 % - 3/8"

Los tres primeros tamaños se logran con trituración secundaria, mientras que la última sólo se obtiene con chancado terciario.

Las pruebas de laboratorio revelan la cantidad necesaria de cal que debe adicionarse al mineral para neutralizar la acción de los ácidos, siendo habitualmente dosificado en seco durante el chancado.

Algunos minerales con contenido excesivo de arcillas son difíciles de tratar debido a los problemas de porosidad y permeabilidad del lecho. En tales casos se puede aplicar una aglomeración con cal y cemento formando aglomerados que mejoran notablemente la percolación de la solución lixivante con 5 kg de cal o cemento por TM de mineral y 8 a 10% de humedad se puede conseguir muy buenos resultados.

CONSTRUCCIÓN DE LA PILA

Constituye la parte fundamental del proceso y sobre el cual debe darse la mayor atención, siendo los factores principales:

TIPO DE PISO

1. Piso de arcilla compactada debe ser impermeable y durable para lo cual se protege con una capa de arena o grava para prevenir la destrucción del piso durante la operación de carguío del mineral o en la descarga mediante buldozer o cargador frontal. El piso tiene una leve pendiente aproximadamente, 1.5 % para permitir el escurrido de la solución,

alrededor de éste se deja una berma de recolección cuya profundidad no sobrepasa los 30 cm.

2. Piso de asfalto.- Con las mismas exigencias que el anterior, su implementación depende del costo y duración, el espesor de la capa dependerá de la altura del mineral.

3. Piso de plástico.- Una vez compactada el área elegida se coloca tiras de plástico de un espesor mínimo de 0.8 mm las que sueldan en el terreno, esta fibra de polietileno <Hypalon >debe protegerse con una capa de arena.

4. Piso de hormigón.- Al igual que los anteriores necesitan una buena base compactada dependiendo de la altura del mineral y del tipo de hormigón su espesor no debe ser mayor a 10 cm.

MÉTODO DE CARGUÍO

El método más conveniente y barato es usar una correa transportadora tipo Stacker para distribuir adecuadamente el mineral, la forma de la pila es un tronco de pirámide, se debe evitar la segregación de partículas. También puede ser depositado sobre el piso con camión, volquete o cargador frontal, en este caso el mineral permanece más o menos homogéneo.

Una interesante técnica descrita por Chamberlin consiste en depositar el mineral por capas, según el ángulo natural de reposo, siendo vaciado en el borde inferior de la pila con el objeto de hacerlo rodar en cascada por la pendiente hasta una altura de 4 ó 5 m el mineral puede ser colocado con un cargador pero para alturas superiores se hace necesario el tránsito de vehículos sobre la pila. En tal caso a fin de disminuir la compactación del lecho, el mineral primero es cargado en un lugar especial y luego empujado hasta el borde con un nivelador equipado con orugas de mayor superficie de apoyo.

ALTURA DE PILA

Es también un factor importante la altura de la pila, ella depende de la permeabilidad del lecho del contenido de oxígeno requerido y de la concentración de solución lixiviante, normalmente la altura de la pila varía de 5 a 15 metros.

APLICACIÓN Y RECIRCULACIÓN DE LAS SOLUCIONES

La solución lixiviante se puede esparcir sobre la pila mediante goteo o rocío con tuberías plásticas perforadas, por aspersion con cargadores en casos especiales de baja velocidad de percolación.

El flujo de alimentación varía dentro de un rango muy amplio entre 0.1 a 1.0 l/m²/min (0.001 a 0.01 gpm/ft²).

La recirculación de las soluciones se puede hacer directamente con bomba al sistema de distribución de la solución pero para mayor flexibilidad en la operación es conveniente bombear a un tanque elevado, ubicado a una altura que permita lograr una presión de trabajo de 20 ó 60 PSI en rociadores.

En relación a las tuberías deben evitarse las cañerías de fierro galvanizado y lo más recomendable es usar cañerías plásticas de polietileno.

REACTIVOS A USAR

CIANURO.- El solvente más comúnmente utilizado es el cianuro de sodio.

El cianuro se prepara con agua no ácida a un pH neutro cuya concentración es 10% en peso.

La concentración mínima en la solución lixivante está entre 0.05 - 0.10 % de NaCN como máximo.

CAL.- La cal se agrega directamente con el mineral en el chancado, la función es mantener una alcalinidad de 10 a 11, su consumo variará de acuerdo a cada mineral y está entre 0.5 a 5 kg/TM.

La ley como CaO libre debe estar entre 60 y 70% para evitar transporte de carga inútil

ZINC.- El polvo de zinc se agrega en una proporción que varía de 0.6 a 1.5 partes por parte de oro y plata, para obtener estos consumos debe utilizarse un zinc de la más alta calidad

CARBÓN ACTIVADO.- Es utilizado para precipitar oro y plata de las soluciones ricas, se recomienda generalmente cuando el mineral tiene solo o mayores proporciones de oro con respecto a la plata, el carbón usado en estos casos está entre mallas -6+16, -8 +18 y -10 +20, a veces acompañado de una precipitación opcional de plata con Na₂S cuando la relación plata/oro en la solución es muy alta. Los carbones mas usados son la corteza de coco debido a su dureza y mayor poder adsorbente.

Las propiedades adsorbentes del carbón son muy conocidas desde el siglo pasado, pero no se usó a falta de una técnica para desorber el oro y la plata del carbón, el cual se calcinaba y fundía, perdiéndose todo el carbón, recién se puede usar el carbón con los avances que hizo Zadra por los años 1950 y ahora se usa ampliamente en nuestro medio.

La cantidad de oro y plata que puede cargar los carbones está en función de la concentración de metales preciosos en la solución rica 1.5 mg pl de oro difícilmente llegaría a 6 kg de oro/TM carbón, un carguío de 12 kg de metales preciosos por TM de carbón se considera un valor aceptable en la industria.

COLUMNAS DE CARBÓN.- Se usa 4 ó 5 columnas de carbón.

La primera columna se contacta con la solución y es retirada periódicamente del circuito una vez que el carbón se ha cargado, colocándose posteriormente en el último lugar con carbón fresco, mientras los restantes avanzan un lugar en la serie.

La alimentación puede efectuarse en sentido descendente, haciendo percolar la solución a través de un lecho fijo de carbón o ascendente pasando la solución a una velocidad apropiada para mantener las partículas en lecho fluidizado.

La adsorción en lecho fijo requiere una menor cantidad de carbón pero está limitada a operar sólo con soluciones clarificadas y a un flujo específico de no más de 2 litros/minuto por decímetro cuadrado de sección. El lecho fluidizado puede funcionar con soluciones turbias con flujos que pueden llegar a 10 lt/min/dm².

FILTRADO DE LA SOLUCIÓN RICA

El objeto de la filtración es lograr una solución rica cristalina con un contenido de sólidos en suspensión menor a 2 ppm.

De todos estos filtros el de más bajo costo es el filtro de arena. Así su lecho de 0.20 m de espesor requiere 0.25 m² de área de filtro por m³ solución rica.

La concentración de la solución rica varía de 0.5 a 15 gr de Au/m³ de solución. La concentración que se puede alcanzar en la solución define los requerimientos de agua. Agregando agua al sistema para saturar el lecho (0.05 a 0.08 m³/ton) el agua de lavado y las pérdidas por evaporación, el consumo de agua no sobrepasaría 1.5 m³/ton, en este caso no consideramos la posible recirculación de solución estéril proveniente de la precipitación.

Dependiendo de la altura de la pila hay una demora de 3 a 5 días antes que aparezca la solución rica en la base.

PRECIPITACIÓN

El sistema a usar corresponde al ideado por Crowe y comercializado por Merrill Co de San Francisco con el nombre "Proceso de Precipitación Merrill-Crowe". Estas unidades se venden completas y existen varios de estos equipos en nuestro país.

Este equipo entrega dos productos un precipitado con contenidos de oro y plata e impurezas como Zn, Pb, Hg, y Cu y una solución estéril que se recicla al proceso.

PRECIPITADO

El precipitado producido se lleva a fundición con fundentes adecuados que guardan relación con la ley de oro y plata contenida.

Una vez fundido el precipitado si contiene oro y plata más otras impurezas recibirá el nombre de metal doré.

RESULTADOS DE LIXIVIACIÓN EN MONTÓN

No todos los minerales de oro y plata son aptos para un tratamiento por cianuración. Además de la ausencia o presencia de cantidades limitadas de agentes cianicidas (sulfuros parcialmente oxidados de As, Sb, Zn, Fe y Cu que consumen cianuro), material carbonaceo o pizarroso que adsorbe los metales preciosos puestos en solución y sustancias orgánicas que quitan oxígeno de las soluciones, elemento vital para que ocurra la reacción, el oro y la plata deben estar en tamaños finos para una rápida disolución.

En cianuración en pila la roca huésped debe ser además porosa y permeable a la solución, a veces requiere aglomeración.

Aún cuando un examen mineralógico pudiera indicar que un determinado mineral oro-plata es adecuado para ser cianurado en pila es necesario estudiar su comportamiento metalúrgico a través de un programa de pruebas de Laboratorio y Piloto.

Inicialmente se llevan a efecto pruebas de cianuración en botella con el objeto de determinar el grado de extracción y consumo de reactivos (NaCN y CaO), si los metales preciosos son lixiviables a un tamaño de chancado y con consumo económico de reactivos se prosigue con prueba de percolación en columnas con el mineral chancado a varias granulometrías hasta -3/8 el 100%, pudiendo usarse un sistema simultáneo de adsorción con carbón activado.

En algunos casos es necesario hacer pruebas piloto. Estas pruebas se realizan a diversos tamaños de pila, partiendo de una pocas toneladas, Potter recomienda 500 TM como mínimo de lo contrario el área incluida será excesiva con la horizontal falseando el ingreso de oxígeno al lecho del mineral.

Presentamos a continuación una prueba de investigación de lixiviación por agitación y en pila, que representa las mejores condiciones de trabajo y resultados obtenidos para este mineral.

PRUEBA DE LIXIVIACIÓN EN PILA

PESO	15 KG
MALLA	100%-1/2"
LEY	0.49 OZ/TC

Muestra completamente oxidada con abundante contenido de finos en forma de Limonitas.

CONDICIONES DE TRABAJO

Ph	10.5
Tiempo	20 días
Cianuro	0.10%
Rate	2.1 gal/lib/ft ²

- Control y reajuste de concentración de reactivos cada 12 h.

CONSUMO DE REACTIVOS

Cal	3.0 kg/TMS
NaCN	2.1 kg/TMS

Nota.- El mineral fue aglomerado con el 50% del consumo de reactivos determinado por agitación, al 10% de humedad durante 24 horas.

Resultados			
PRODUCTO	VOLUMEN O PESO	LEY Au	RECUPERACIÓN% Au
Sol. rica	10.6 litros	18.1 mg/l	73.97
Sol. de lavado	12.3 litros	3.4 mg/l	16.12
Residuo cian	15.0 kg	0.05 oz/TC	9.91
Cab. Calc	15.0 kg	0.50 oz/TC	100.00

DISCUSIÓN

La lixiviación en pila es una operación simple que no requiere molienda fina del mineral, menores consumos energéticos y agua, tiene ventajas económicas con respecto a métodos de agitación, por este motivo es posible procesar minerales marginales.

Los costos de instalación fluctúan entre 20 y 30% de los de una planta por agitación decantación Merrill-Crowe y los costos de operación entre 30 y 65%, esto frente a lixiviación —adsorción en carbón activado— electro obtención.

Los costos reales son bajos sin embargo para operaciones que va de 600 a 6000 TC/día su costo varía de \$ 1.70 a 5.32 US\$ por tonelada procesada en plantas operando en el estado de Nevada.

En una planta en Nuevo México para una producción de 34 000 TC, el costo total incluyendo labores mineras y chancado a -1/4" fue de 10.41 US \$/TC. En Carlin Gold Mining Co. el costo para 9000 TC mensuales es de \$ 2.54/TC.

El U.S. Bureau Of Mines, recopilando información (NORMAN HADLEY AND HOWARD TA-BACHNICK "MINERAL DRESSING NOTES AMERICAN CYNAMID CO." N° 23 CHEMISTRY OF CYANIDATION, DICIEMBRE 1968 estimó el costo para mineral no chancado en pilas de 500 000 TC y recuperar los valores con carbón activado en 1.80 US \$/TC. La estimación abarcó: construcción del piso asfaltado, carguio del mineral, lixiviación adsorción, desorción y regeneración del carbón por un valor bastante superior que es de alrededor US\$ 6.00/TC para una operación de 30 000 TC, donde el mineral es

previamente chancado y aglomerado con cal o cemento. En estos dos casos no están incluidos los costos de labores mineras.

Kappes estimó en \$ 200 000 la inversión necesaria para iniciar una operación de 180 TPD en pilas de 9000 Ton con mineral sin chancar y sin considerar labores mineras.

DESCRIPCIÓN	COSTO (US\$/TM)
Transporte (carga y descarga)	1.20
Trituración 2 etapas	0.80
Aglomeración	0.65
Lixiviación y adsorción	3.25
Desorción-regeneración electro-obtención	0.35
Análisis químico	0.30
Otros	0.45
Total (por TM de mineral)	7.0
Los costos de operación son muy sensibles al consumo de cianuro	

Las operaciones comunes en pequeña minería es 100 T PD, en base a lo cual se presenta una estimación de costos. La operación supone chancado del mineral a 1/2", aglomeración con cemento y lixiviación durante 20 días, carga y descarga de la pila, 5 kg de cemento y 1 kg. de NaCN por TM.

CONCLUSIONES

- La extracción en 30 - 60 días puede llegar a 60 - 80% del oro total, lográndose extraer el 50% en la segunda semana de tratamiento.
- El consumo de agua es pequeño fluctúa alrededor de 1.5 M3/tonelada.
- El consumo de energía está centrado fundamentalmente en el chancado que está en función de la granulometría requerida.
- La cinética de disolución por cianuro tiene el siguiente orden: mercurio, oro, cobre, plata, etc.
- La cinética de adsorción de iones metálicos sobre carbón activado tiene el siguiente orden: mercurio, oro, plata.
- El método permite diseñar plantas portátiles las cuales pueden ser trasladadas a otros lugares, cuando se trata de pequeñas minas.
- El método encuentra su aplicación para explotar numerosos recursos mineros donde la inversión es un factor determinante y los recursos económicos son escasos; lixiviando los minerales con metales preciosos es factible tener liquidez inmediata.
- El método de lixiviación en pila, adsorción en carbón activado desorción y electro obtención es más apropiado para minerales que sólo tienen oro o mayor proporción de oro respecto a plata.
- Cuando los minerales tienen mayor contenido de plata y poco oro se recomienda precipitar la Ag con Na₂S enseguida adsorber el oro con carbón o precipitar ambos

elementos con polvo de zinc con el equipo de Merrill-crowe, obteniendo en este último caso un precipitado rico en oro y plata.

– Los costos de operación de Heap Leaching fluctúan entre 2 y 10 US\$/TMS y se pueden beneficiar minerales hasta con un gramo de oro por tonelada de mineral.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al Consejo Superior de Investigaciones de la UNMSM y a todos los que de una forma u otra colaboraron con el desarrollo del Proyecto de Investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Adamson, R. J. The chemistry of the extraction of gold from. Its ores, Ch. In gold metallurgy in South Africa. Cape and Transvaal printers Ltd. Cap. two, south Africa, 1972.
2. Azañero Ortiz, Ángel. Informe técnico 951, LMC Banco Minero del Perú, 1987.
3. BHAPPU R. B. and Lewis F. M. Gold extraction from low grade ores. Economics evaluation of processes mining congress journal, january, 1975.
4. Bureau of mines, processing gold ores using heap leach-carbon adsorption, 1978.
5. Chamberlin P. D. Heap leaching and pilot testing of gold and silver ores mining congress journal, april 1981.
6. E. H. Hamilton. Manual of cyanadation, Cap. IX y X, 1920.
7. H. J. Heinen G. E. Mc Lelland and R. E. Linds-tron enhancing percolation rate in leaching of gold - silver ores. Bureau Mines, Report 8388, 1975.
8. Marsden, John and Ian House. The chemistry of gold extraction. First published by, Ellis Horwod limited. Printed in Great Britain by Harnolls Bodmin C. Cap. 6, pp. 290-292,1993.
9. Merello P. Richard. "Cianuración en pila de minerales de oro y plata, una nueva herramienta para la pequeña minería". En: Revista Minerales, Vol. N° 38, p.164.
10. Quiston F. W. and R. S. Shade maker gold and silver cyanadation plant practice, Vol. 1 y Vol. 2.

