



LIXIVIACIÓN EN PILAS

INTRODUCCIÓN

La lixiviación en pilas se aplica a minerales de baja ley. Consiste básicamente en las siguientes etapas:

- Trituración del mineral a una cierta granulometría (generalmente mayor a 1/2").
- Aglomeración y curado del mineral triturado.
- Armado de la pila (impermeabilización del suelo, tendido de cañerías, apilado, etc.).
- Regado con solución lixivante y recolección de soluciones.
- Monitoreo de soluciones (control de pH, concentración de reactivos, concentración de metales, flujos volumétricos, etc.).
- Seguimiento de la pila (estabilidad, permeabilidad, escurrimiento, etc)
- Abandono de la pila.

La aglomeración y curado (maduración) se realiza con el objetivo de mejorar las cualidades físicas del lecho poroso.

La aglomeración de partículas finas y gruesas con la adición de agua y agentes aglomerantes (cal y/o cemento) es una operación de gran importancia en la lixiviación en pilas, pues, como pretratamiento tiene los siguientes objetivos: uniformar el tamaño de partículas, ligando los finos a los gruesos, evitando el comportamiento indeseable de un amplio rango de distribución de tamaños; homogenizar la porosidad de un lecho de partículas e incrementarla; optimizar la permeabilidad de un lecho y la consiguiente operación de lixiviación mediante la aglomeración; y facilitar el tratamiento por lixiviación, con los propósitos de disminuir los costos de inversión y operación del proceso extractivo.

Existen diferentes formas y equipos para efectuar la aglomeración. La manera más difundida de aglomerar es empleando un tambor rotatorio con una inclinación adecuada en el sentido del flujo de sólidos. El mineral se carga en forma continua por la parte posterior del tambor.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Los principales elementos de una pila de lixiviación se muestran en la Figura N°1. La construcción de una pila comprende principalmente:

- Preparación de la base de la pila: Se destaca la base impermeable que incluye el sistema de colección de soluciones (a veces se colocan cañerías para inyección de aire).
- Apilado.
- Instalación del sistema de riego.

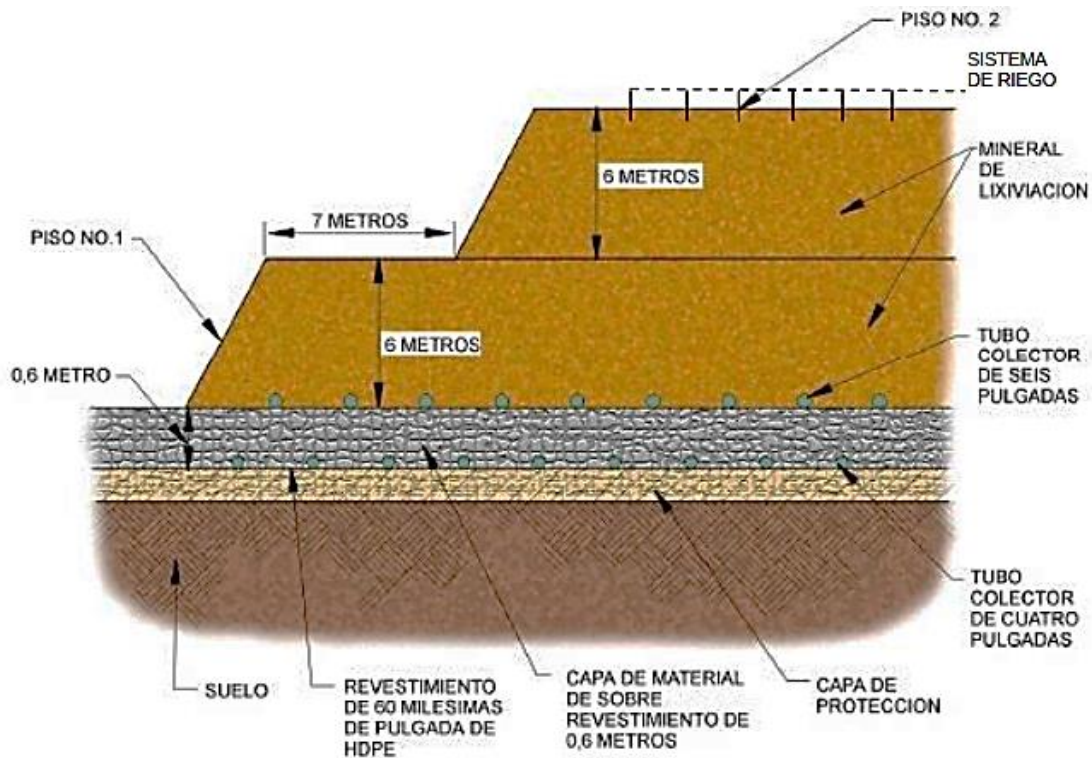


Figura N°1. Principales elementos de una pila.

VARIABLES

1. Granulometría

Se necesita que el lecho de partículas que conforman la pila sea permeable para asegurar una buena percolación y una dispersión uniforme de la solución lixiviante sobre las partículas. Si el lecho no es lo suficientemente permeable, sectores internos quedarán secos, la pila podría inundarse, la solución crearía zanjas o un desmoronamiento del talud de la pila.

Factores que permiten buena permeabilidad del lecho de mineral:

- Las partículas son de tamaño suficientemente grande.
- No hay acumulación de partículas finas.
- El tamaño de las partículas es homogéneo en la pila.
- No hay compactación de la pila por maquinaria pesada.



Los minerales tienen que permitir que las soluciones lixiviantes puedan difundirse y llegar a todas las partículas para poder disolver el oro diseminado en el mineral.

En la lixiviación de algunos minerales la presencia abundante de partículas finas menores a 20 mallas ($-850 \mu\text{m}$) forma masas compactas y origina segregación de partículas durante la formación de la pila. Éste fenómeno es perjudicial, porque no deja que las soluciones de cianuro lleguen en forma uniforme a todas las partículas. Para controlar este problema se recomienda aglomerar, generalmente cuando la fracción de partículas finas $-#200$ aumenta a valores mayores a 5- 7%.

Cuando la solución lixiviante no percola de manera uniforme a través de la pila (a causa de la acción impermeabilizante de los finos o de partículas arcillosas), se acumula solución en algunos puntos de la superficie de la pila, contribuyendo a la formación de canales, pozas y charcos que impiden a la solución actuar de manera homogénea a través del lecho, obteniendo como resultado una pila complicada de operar a tasas normales de lixiviación, afectando el tiempo en recuperar el oro. Eventualmente también puede afectar la extracción global de la pila debido a que sectores impermeabilizados no tendrían contacto con la solución lixiviante.

Generalmente la granulometría empleada en la lixiviación en pila de minerales auríferos está entre $\frac{1}{2}$ " y 2" (pasante 100%).

2. Altura de la Pila

Mientras más altura posea la pila de lixiviación, más material se podrá cargar en una menor área; esto sugiere aumentar la altura de las pilas si el espacio para apilamiento es el limitante en una operación. Al aumentar la altura de la pila, el trayecto vertical que debe recorrer la solución lixiviante hasta la base es mayor.

Al aumentar la altura de la pila, disminuye la aireación de las partes bajas del lecho, perjudicando de esta forma la concentración de oxígeno disponible para las reacciones de cianuración. La aireación y la seguridad del talud son factores que limitan la altura de las pilas. Cuando se trata de pilas formadas con aglomerados, un aumento de la altura de la pila puede provocar la compactación del lecho en las partes inferiores por la excesiva presión que deben soportar. Esto supondría una disminución en la permeabilidad de la pila. El arrastre de finos desde la parte superior supone una acumulación de partículas finas proporcional a la cantidad de material apilado. Valores de altura de pilas entre 5 y 15 m son usuales en estos procesos.



3. Razón de Lixiviación

La razón de lixiviación es un indicador que permite medir el volumen de solución lixivante que riega una cantidad determinada de toneladas de material. Normalmente se expresa en metros cúbicos por toneladas de mineral lixiviado, Razón de lixiviación (R. L.): m^3/t . Otros definen una razón equivalente que es el peso de mineral/peso de solución y se expresa en t/t .

A valores más grandes de R. L. mayor será la extracción, debido a que más solución lixivante entra en contacto con el mineral. Es decir, a mayor R.L. mayor es la extracción, igualmente se ve afectado el consumo de reactivo debido a que más del 99% del mineral es ganga y ésta siempre reacciona con el NaCN. Hacia el final del ciclo de lixiviación, la curva de extracción vs R. L. permanece casi horizontal, es decir, la ganancia entre el Au en solución que entra y sale del sistema es marginal. Valores razón de lixiviación entre 1,2 y 4,2 m^3/t son comunes en estos procesos.

4. Tasa de Riego

La tasa de riego es el caudal que riega una cierta área de superficie de pila durante un período de tiempo determinado. Esta influye directamente en la cinética de lixiviación. Al incrementar la tasa de riego aumenta la velocidad de disolución del oro, debido al mayor ingreso de solución en un determinado tiempo y con ello más iones de cianuro entrarán en contacto con el oro. En la operación se debe encontrar el equilibrio entre una alta tasa de riego y una buena operación sin producir inundaciones en la superficie de la pila.

Se cuantifica en litros por hora por metro cuadrado. Las tasas de riego en procesos de lixiviación en pila de oro están entre 10 y 15 l/hxm^2 .

5. Concentración de Cianuro y Oxígeno en Solución Lixivante

Por lo general cuanto mayor es la concentración de cianuro en la solución lixivante mayor es la extracción de oro (y plata) para un tiempo dado de lixiviación. Sin embargo, debe señalarse que también son mayores los consumos de NaCN expresados en (kg/t) kg de NaCN por t de mineral. Por lo tanto debe emplearse una concentración de cianuro tal que asegure una adecuada extracción del oro (y la plata) y un aceptable consumo de NaCN. Valores concentración de cianuro de sodio entre 200 y 1000 mg/l (ppm) y de consumos de NaCN entre 150 y 800 g/t son comunes en estos procesos.



El uso del oxígeno es indispensable para la disolución del oro, bajo condiciones normales de cianuración. Debe tenerse en cuenta que la solubilidad del oxígeno en soluciones acuosas depende de la temperatura y de la altura sobre el nivel del mar. Esta solubilidad disminuye con el aumento de la temperatura y de la altura sobre el nivel del mar.

Generalmente la concentración del oxígeno disuelto en la solución lixiviante de la pila es suficiente para el proceso (por ej. 5,5 mg/l). Esta concentración puede aumentarse empleándose agentes oxidantes como el peróxido de hidrógeno.

6. Otros

-pH

El uso de la cal en solución para mantener un pH de 10,5 a 11 (alcalinidad protectora) cumple las funciones de:

- Evitar pérdidas de cianuro por hidrólisis por formación del gas cianhídrico (HCN), para pH menores de 10. Esto se puede apreciar en la Figura N°2.
- Neutraliza los componentes ácidos resultantes de la descomposición de los diferentes minerales de la mina en la solución de cianuro.
- Neutraliza los componentes ácidos tales como sales ferrosas, férricas y el sulfato de magnesio contenidos en el agua antes de adicionar al circuito de cianuración.
- Facilita el asentamiento de las partículas finas de modo que pueda separarse la solución rica clara de la mena cianurada.

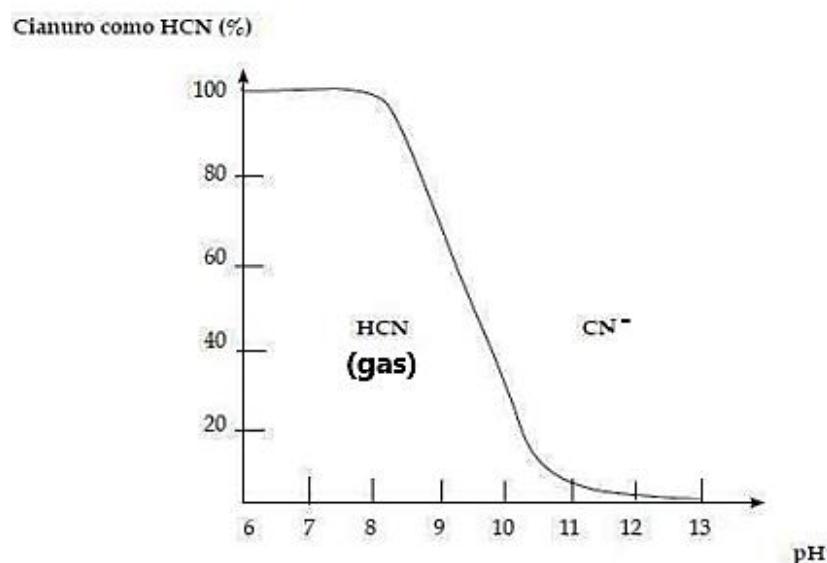


Figura N°2 Fracción de ácido cianhídrico vs. pH.



Se puede emplear cal viva o cal apagada (hidróxido de calcio).

El consumo de cal depende de la mineralogía del yacimiento. Los valores usuales pueden variar entre 0,5 y 5 kg de cal viva por tonelada de mineral (0,5-5 kg/t). La cal se agrega en la aglomeración y si no hay aglomeración, con el mineral triturado al construir la pila. También se adiciona con la solución cianurada al regar la pila.

-Temperatura

El suministro de calor a la solución de cianuro en contacto con oro metálico, produce fenómenos opuestos que afectan la velocidad de disolución. El incremento de la temperatura aumenta la actividad de la solución favoreciendo la velocidad de lixiviación del oro; pero al mismo tiempo disminuye la solubilidad del oxígeno, influyendo negativamente en la velocidad de lixiviación.

En la práctica el uso de soluciones calientes para la extracción del oro, resulta desventajosa por el elevado costo, por lo que usualmente, se lixivia a temperatura ambiente.

-Tiempo de Lixiviación

El tiempo de lixiviación es variable pero para procesos de lixiviación en pila están entre 30 y 90 días.

-Presencia de Minerales Cianicidas

Estos minerales reaccionan con el cianuro produciendo un consumo de este reactivo mayor que el requerido por la estequiometría de la reacción de disolución de oro y plata. Los principales minerales cianicidas son algunos los sulfuros y minerales metálicos que contienen metales que forman con el cianuro complejos estables (de Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} y Zn^{2+}) consumiéndolo y de esta manera retardan la cianuración de los metales nobles

SISTEMA DE RIEGO

El riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua/solución a un lecho de lixiviación con el objeto de producir la máxima recuperación de la especie de valor (oro y plata).

El sistema de riego debe:

- Satisfacer las necesidades de riego en la condición de máxima demanda.



- Estar construido con materiales resistentes a los agentes químicos, al desgaste por el uso y las condiciones de operación, y a las condiciones climáticas de trabajo.
- Poseer un sistema de control que asegure un funcionamiento continuo, de acuerdo a los estándares establecidos, y además, entregando la máxima flexibilidad a la operación.
- Cumplir con las normas estipuladas para los sistemas hidráulicos (pérdidas de carga, medidas de protección en instalaciones, etc.).
- Optimizarse en función de su costo/beneficio.

Los sistemas de riego pueden ser por:

- **Goteo**

- **Aspersión**

Sistema de Riego por Goteo

Se llama así a los sistemas que aplican solución con caudales bajos (<16 l/h) por puntos individuales de emisión. En ellos se produce la disipación de una gran cantidad de energía por la que el líquido sale gota a gota.



Las características principales del emisor, que debe reunir las siguientes características:

- Caudal uniforme y constante.
- Poco sensible a las variaciones de presión y a las obturaciones.
- Elevada uniformidad de fabricación.
- Resistente a la agresividad química y ambiental.
- Bajo costo.
- Estabilidad de la relación caudal- presión a lo largo del tiempo.
- Poca sensibilidad a los cambios de temperatura.
- Reducida pérdida de carga en el sistema de conexión.

El riego por goteo es recomendable cuando:

- La disponibilidad del líquido es escasa.
- No existe riesgo de precipitación de sales presentes en la solución.
- Existe régimen de viento fuerte y permanente.
- Las condiciones de temperatura son extremas (pueden funcionar enterrados).



Sistema de Riego por Aspersión

Puede decirse que se trata de un sistema en el que la superficie de la pila recibe la solución en forma de lluvia.

Básicamente un sistema de riego por aspersión consta de:

- Grupo de bombeo.
- Tuberías de transporte.
- Tuberías de distribución.
- Aspersores.
- Elementos auxiliares.

Prácticamente todos los terrenos pueden ser regados por aspersión, es especialmente recomendable en:

- Suelos de textura gruesa (arenosos).
- Cuando la disponibilidad del recurso hídrico no es limitante.
- Cuando se tienen aguas muy duras y hay peligro de incrustaciones.
- Requieren una buena oxigenación de la solución



VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RIEGO POR ASPERSIÓN

Comparativamente contra el riego por goteo; presenta las siguientes ventajas:

- Mayor simplicidad de instalación.
- Mayor versatilidad para el riego.
- Menor mantención (soluciones sucias).

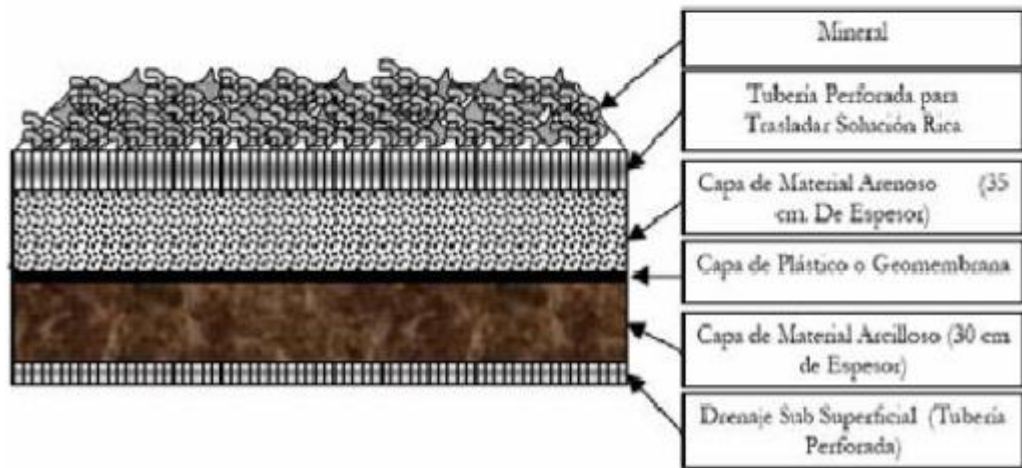
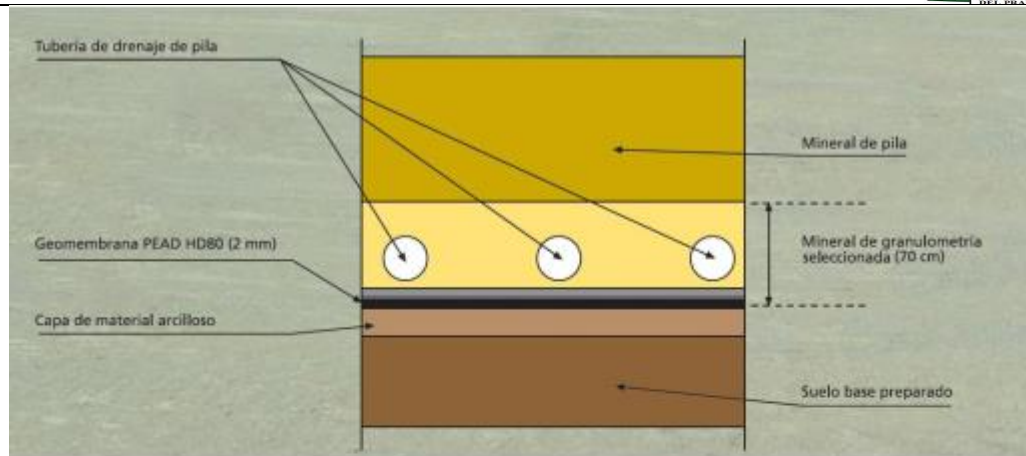
Desventajas del riego por aspersión:

- Menor precisión en la entrega de la solución, por consiguiente mayor gasto de ésta.
- Mayor presión de trabajo que acarrea mayor riesgo de daño y más necesidad de energía por m³ de solución gastada.
- Registra mayor pérdida por evaporación.

ANEXO

Algunas Imágenes del Proceso









COLOCACION DEL MATERIAL DE SOBRE-REVESTIMIENTO



APILADO DEL MINERAL



DISTRIBUCIÓN DE LA SOLUCIÓN



PILETA DE SOLUCIONES



Bibliografía

APUNTE DE HIDROMETALURGIA DE LA UNSJ – ING. MEISL ROBERTO