

# ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE UN SISTEMA DE LIXIVIACION EN PILAS

**ELEMENTOS PRACTICOS QUE  
DEBEN CONSIDERARSE PARA  
EL EXITO DE UNA FAENA**

*Por:*

*Carlos N. Avendaño Varas,  
Ademir Ramírez González  
TAM LTDA.*

*En la mayoría de los artículos relativos a la lixiviación en pilas, se presenta con gran detalle los aspectos metalúrgicos y operativos generales o particulares, según el alcance de cada trabajo.*

*Sin embargo, es preciso reconocer que los aspectos constructivos presentan un alto grado de importancia dado que definen los detalles*

*de implementación de las instalaciones en las cuales se lleva a cabo.*

*Este trabajo pretende ser una contribución en este sentido.*

**ASPECTOS PREVIOS A LA  
DECISION DE ADOPTAR LA  
LIXIVIACION EN PILAS**

Aun cuando la lixiviación en pilas es una tecnología que presenta



características muy positivas para la recuperación de especies solubles, nunca debe olvidarse que hay otras técnicas alternativas que no deben pasarse por alto. Tomar "a priori" una decisión en favor de la lixiviación en pila puede constituir un error de grandes proporciones. Prácticamente lo único que podría afirmarse con certeza es que ella aventaja a la lixiviación en percoladores, por razones de menor inversión en instalaciones y equipo de manejo de materiales.

La decisión en favor de lixiviación en pilas sólo puede adoptarse luego de un análisis basado en el comportamiento metalúrgico de la mena, determinado exhaustivamente en pruebas de laboratorio, que deberá clarificar el proceso metalúrgico completo necesario para obtener el máximo de recuperación y determinar cuáles son los costos asociados a las diversas etapas.

En este trabajo sólo resaltaremos la importancia de evaluar, por ejemplo:

– Relación: Grado de Chancado

vs. recuperación, cinética y percolabilidad.

– Relación: Consumo de Reactivo vs. recuperación y concentración de soluciones.

– Influencia y condiciones de Curado y Aglomerado sobre cinética y recuperación.

– Evaluación de:

- Curvas de la cinética de recuperación.

- Concentración de la especie en las soluciones obtenidas.

- Influencia de la altura de la pila.

- Posibilidad de ajuste de las concentraciones de la especie recuperada con el proceso de recuperación final.

- Influencia de la recirculación a la pila de soluciones tratadas en la planta de recuperación.

- pH de operación.

- Control de impurezas y manejo de los descartes y ripios.

Todo lo cual proporcionará inapreciable información para la toma de decisiones y diseño.

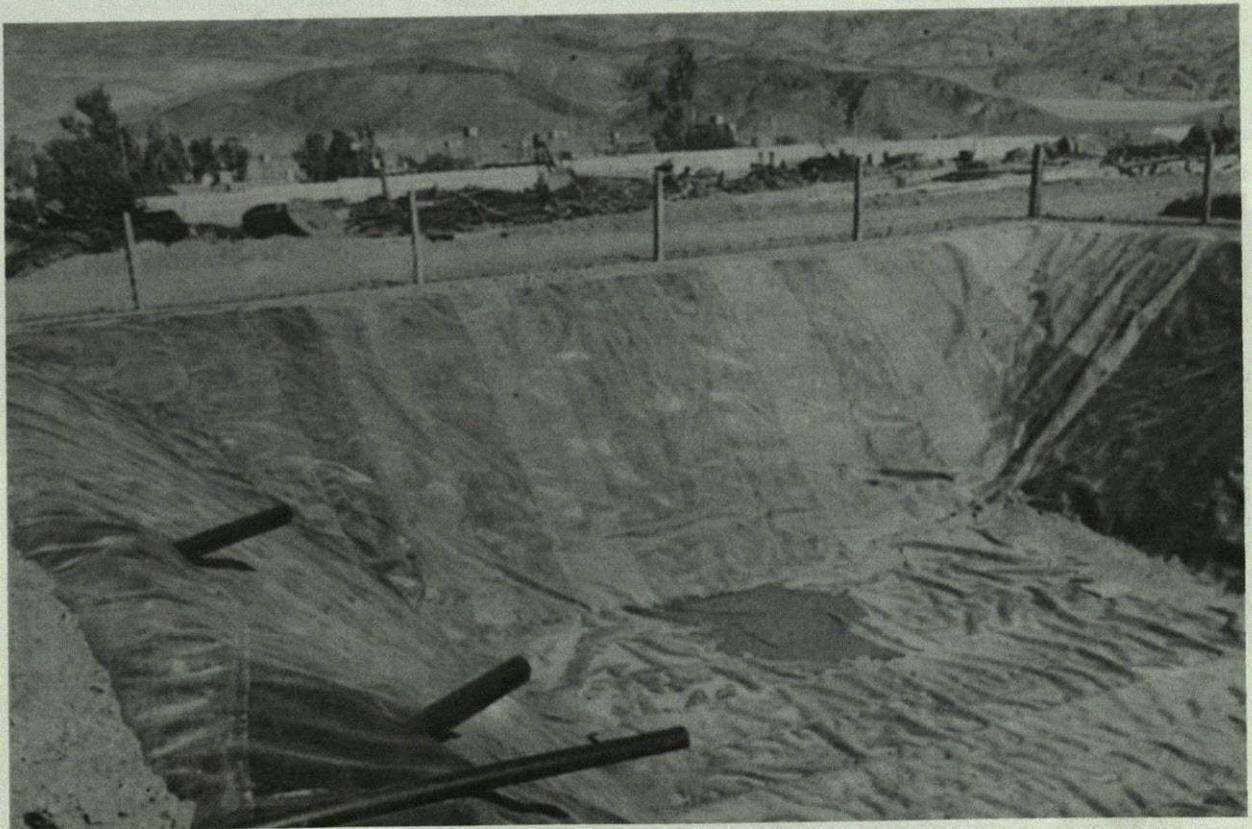
## TIPO DE PILA

Una primera clasificación define dos tipos básicos de sistemas de lixiviación.

**Pila Permanente (Piso Desechable):** En la cual la mena es depositada en una pila desde la cual no se retirará el ripio una vez completada la lixiviación.

**Pila Renovable (Piso Reutilizable):** En la cual se retira el ripio al final de la lixiviación para reemplazarlo por mena fresca.

La decisión acerca del tipo a emplear en un caso particular tiene un fundamento económico y está basada en el comportamiento metalúrgico del material y en los costos de su manipulación. En el cuadro se presentan los aspectos comparativos de ambos casos.



## CUADRO COMPARATIVO

	Permanente	Renovable
Campo de Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minerales de muy baja ley.</li> <li>- Minerales de baja recuperación.</li> <li>- Lenta cinética de lixiviación.</li> <li>- Lixiviación secundaria de rípios.</li> <li>- Amplio espacio disponible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minerales de baja ley.</li> <li>- Minerales de alta recuperación.</li> <li>- Rápida cinética de lixiviación.</li> <li>- Lixiviación primaria.</li> </ul>
Características generales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pilas altas para lograr una alta densidad de carga de material/m<sup>2</sup> de pila. Generalmente 5 m o más.</li> <li>- Resistencia Mecánica de la ganga.</li> <li>- Alta y baja granulometría.</li> <li>- Comúnmente diseñadas para cargas sucesivas de mineral en capas.</li> <li>- La altura queda limitada por las necesidades de oxígeno en el interior de la pila.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pilas relativamente bajas para permitir una rápida carga y descarga de material. Generalmente 2 m.</li> <li>- Baja granulometría.</li> <li>- La altura se define por el sistema de carga y por la concentración de las soluciones finales.</li> </ul>

Como criterio general de decisión debe considerarse que el valor de la especie recuperada debe financiar las inversiones en:

- Preparación de terrenos	: 2 - 4	US\$ / m <sup>2</sup>
- Impermeabilización de pisos	: 7 - 10	US\$ / m <sup>2</sup>
- Sistema de riego	: 2 - 3	US\$ / m <sup>2</sup>
- Total Piso	: 11 - 17	US\$ / m <sup>2</sup>
- Manejo de Rípios	: 1 - 2	US\$ / Ton

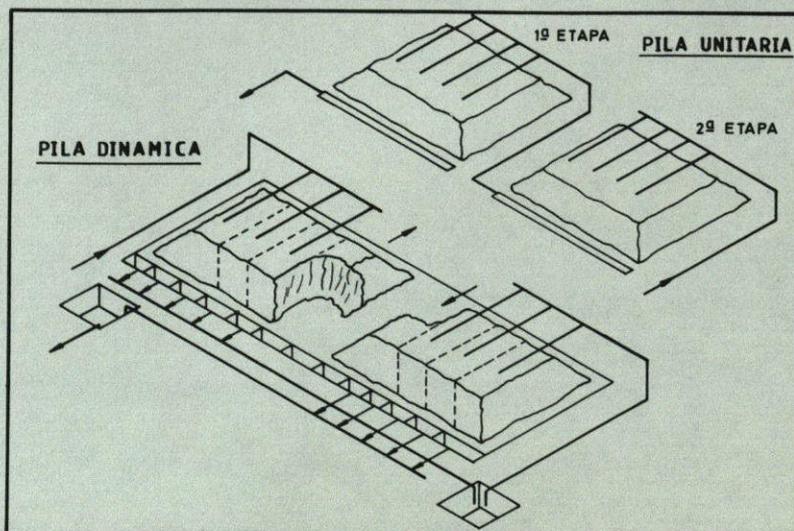
## CONFIGURACION DE LA PILA

Las pilas renovables o permanentes pueden adoptar la configuración de:

**Pilas Unitarias:** Todo el material depositado pasa simultáneamente por las diversas etapas del ciclo de tratamiento.

**Pila Dinámica:** En una misma pila coexisten materiales que están en diversas etapas del ciclo de tratamiento.

Una representación esquemática de ambas situaciones se muestra en la figura siguiente:



## Comparación entre los dos tipos de pilas:

## Unitaria

- Carga de una vez de la totalidad de la pila y la descarga de una vez al término del ciclo de tratamiento.
- Ventajosa para plantas de baja capacidad.
- Operación más simple y flexible.

## Dinámica

- En cada período, que puede ser diario o múltiplos de la alimentación diaria, descarga un módulo y carga otro módulo, los cuales además se adosan directamente a los respectivos sectores de la pila, con la condición que no haya contacto entre la mena fresca y el ripio agotado. De esta forma, la pila queda formada por "Subpilas" internas.
- Menor inversión unitaria por mejor aprovechamiento del piso impermeable.
- Ciclos de operación muy regulares y selectivos.
- Concentraciones muy estables y regulables en las soluciones de proceso.
- Menor capital de trabajo.

## DIMENSIONAMIENTO DE LA PILA

El dimensionamiento de la pila es claramente una función de la capacidad de tratamiento, vale decir de las toneladas a tratar.

Deben considerarse como factores de importancia:

- Peso específico aparente de la mena, bajo las condiciones de carga a la pila.

- Altura de la pila, determinada en laboratorio y de acuerdo con los equipos disponibles para su carga y descarga.

- Angulo de reposo del material, bajo las condiciones de carga a la pila.

Un sencillo ejemplo muestra la secuencia de cálculo para una pila unitaria:

## Pila de base cuadrada:

## Datos:

Toneladas a tratar en pila: 600 Ton.  
 Peso específico aparente: 1,5 Ton/m<sup>3</sup>  
 Altura de la pila = H: 2,2 m  
 Angulo de reposo =  $\alpha$  42°

Realizando los ajustes correspondientes, se puede asignar el dimensionamiento correspondiente a la forma y tamaño disponible de acuerdo con la topografía del terreno.

Para el dimensionamiento de una

pila dinámica se sigue el mismo procedimiento básico con las siguientes consideraciones adicionales.

1) El volumen de mineral se calcula en base a la capacidad de tratamiento periódico, multiplicado por la duración del ciclo, en períodos, más dos períodos. Por ejemplo: si se trata 100 TPD con un ciclo de 20 días, se considera un volumen correspondiente a 22 días, es decir, 2200 Ton en 4a pila. La causa de ello radica en la necesidad de disponer de espacio para descargar y cargar simultáneamente material sin que exista posibilidad de mezcla entre mena fresca y ripio agotado.

11) El dimensionamiento debe permitir la existencia de un coronamiento al cargar la 1ª pila como condición necesaria para lograr un riesgo eficiente.

111) El área de influencia de los regadores debe coincidir con el tamaño del coronamiento de la franja por lixiviar para evitar interferencia con el personal y equipo que realiza la carga y descarga.

1111) El ancho de la franja lixiviable (sector) debe ser un múltiplo de la trocha del equipo de carga/descarga de material.

## Cálculos:

- Volumen a tratar:  $600 \text{ (Ton)} / 1,5 \text{ Ton/m}^3 = 400 \text{ (m}^3\text{)}$ .

- Dado que:  $V = \frac{H}{3} (A \times B + axb + \sqrt{A \times B \times a \times b})$

- y que:  $A - a = B - b = \frac{2H}{\text{tg}\alpha}$

- Como  $A = B$  y  $a = b$  por ser la pila cuadrada

- La ecuación queda:

$$V = \frac{H}{3} (A^2 + a^2 + \sqrt{A^2 \times a^2})$$

- Reemplazando y resolviendo:

$$V = \frac{H}{3} (A^2 - \frac{6AH}{\text{tg}\alpha} + \frac{4H^2}{\text{tg}^2\alpha}) = 400 = \frac{2,2}{3} (A^2 - \frac{6 \times 2,2}{\text{tg} 42^\circ} A + \frac{4 \times 2,2^2}{\text{tg}^2 42^\circ})$$

- La que se resuelve para  $A = 16 \text{ (m)}$

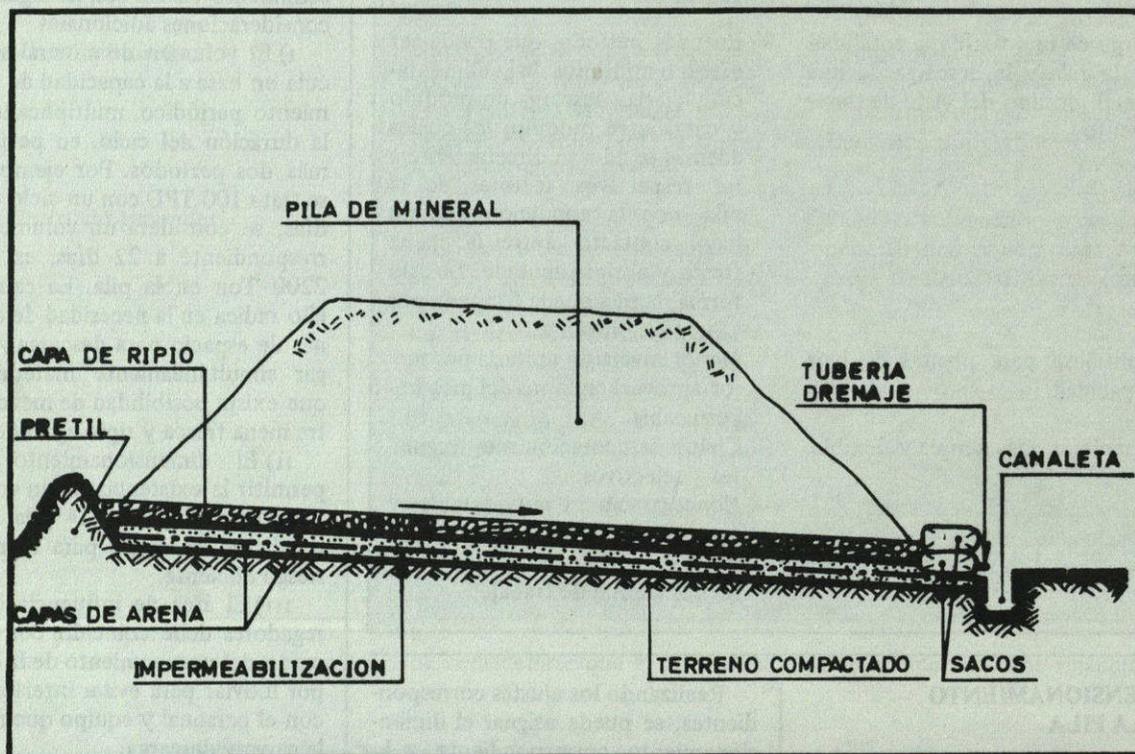
- Coronamiento:  $a = 16 - \frac{2 \times 2,2}{\text{tg} 42^\circ} = 11,1 \text{ mt.}$

- Superficie en la base =  $A^2 = 16^2 = 256 \text{ m}^2$

- Area media de riego =  $(\frac{A+a}{2})^2 = (\frac{16+11,1}{2})^2 = 184 \text{ m}^2$

## ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE LA PILA

En la figura se presenta un corte transversal de una pila:



Descripción de los componentes de una pila y de sus propiedades:

### A. Substrato.

Corresponde, en general, a un terreno con pendiente del orden de 3 a 4% en una dirección, hacia la canaleta.

Su grado de compactación corresponde a un índice Proctor Modificado de 92 a 95%.

Estar libre de piedras angulosas angulosas como sea posible.

### B. Finos de Protección.

Capas de áridos finos (arena, rellenos, etc.) totalmente exentos de elementos perforantes dado que se debe acomodar suavemente la capa impermeable y defender la de la agresión mecánica que pueda provenir desde cualquiera de sus caras. Sus espesores típicos varían de 10 a 20 cms por encima y por debajo de la capa impermeable.

### C. Base Impermeable.

Generalmente consiste en un material plástico inerte a la acción de

los agentes químicos que mojarán su superficie. Su resistencia mecánica es suficiente para resistir los esfuerzos a que será sometida, tracción y torque en carga-descarga y compresión por la depositación de mineral; sus propiedades físicas y químicas le permiten resistir las condiciones ambientales de temperatura y radiación solar existente.

### D. Tuberías de Drenaje.

Tuberías corrugadas y perforadas, colocadas espaciadas longitudinalmente, destinadas a permitir una rápida evacuación de la solución una vez que ésta alcanza el fondo de la pila. Cumple el doble propósito de evitar la inundación de la pila (y las consecuentes capas freáticas) y permite la inoculación de aire por las zonas inferiores.

Su espaciamiento se calcula asumiendo que la tubería es una canaleta que a la salida de la pila está llena hasta  $2/3$  de su diámetro con el líquido recogido en su área de influencia; en todo caso, no se reco-

mienda espaciamientos mayores de 2 metros.

### E. Ripio de Protección.

Constituye la última base de protección del revestimiento. Básicamente es una capa de unos 20 cms de material de apariencia diferente de la mena que marca el límite inferior en la descarga del ripio y que, además, reparte las presiones sobre la tubería de drenaje. Si presenta buenas propiedades de escurrimiento puede llegar a sustituir las tuberías de drenaje, aunque con peligro de embancamiento en el largo plazo y sin el beneficio de aireación inferior. Su granulometría debe ser entre  $100\% - 3''$  y  $100\% + 1.1/2''$ .

### F. Mena.

Capa de material a lixiviar depositado en forma razonablemente suave, es deseable por medios que no produzcan un efecto de compactación ni disgregación mecánica, hasta alcanzar la altura determinada.

**G. Sacos de Relleno.**

Colocados al borde de la pila y antes de la canaleta. Proporcionan una barrera de contención de los finos arrastrados por la solución y un lugar para el paso del personal sin peligro de daños a la base impermeable. Su disposición tipo ladrillo debe permitir la salida de la tubería de drenaje, se instalan sobre la carpeta plástica y alcanzan a una altura tal que sirven de contención a todas las capas de áridos protectores bajo el mineral.

**H. Canaleta de Recolección.**

Lugar de recuperación de las soluciones; está integrada al revestimiento impermeable. En el caso de las pilas unitarias es común para toda la pila y presenta una pendiente del orden de 0,5 a 1% hacia el punto de recolección. En las pilas dinámicas está nivelada, sectorizada y con salidas para cada sector. En ambos casos están conectadas a es-

tanques desarenadores para eliminar sólidos en suspensión.

**I. Anclajes.**

Sectores de fijación de la base impermeable al terreno.

Una recomendación muy importante consiste en realizar pruebas de arreglos de pila, con diversos tipos y espesores de revestimiento y capas de protección, bajo las condiciones de operación antes de proceder a la construcción de la pila.

También debe dejarse un espacio libre entre el pie del mineral y comienzo del anclaje, por si existiesen escurrimientos de solución por los taludes laterales y posterior, rematando la instalación con pequeños promontorios en los anclajes. Este espacio libre debiera tener entre 0,3 y 0,5 metros.

**SISTEMA DE RIEGO**

El sistema de riego debe mojar la

pila en función de la cantidad determinada de litros/hora x metro cuadrado que se ha definido previamente en laboratorio de acuerdo a la capacidad de drenaje del material, teniendo como consideración secundaria la concentración de las soluciones a obtener.

Sus condiciones básicas son:

– Permitir un riego tan uniforme como sea posible.

– Un tamaño de gota incapaz de provocar la presencia de finos; por ejemplo, desaglomerando el material.

– Un tipo y tamaño de gota que no sea afectado por las condiciones ambientales; esto es arrastre por viento o pérdidas por evaporación.

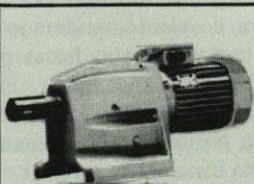
– Estar construido con materiales resistentes a los agentes químicos y condiciones de operación.

Se requiere, por lo tanto:

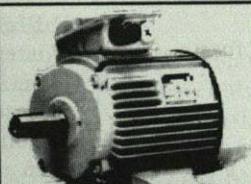
– Diseñar las tuberías matrices de fombra que estabilicen la presión

# Motores, Grupos Electrógenos

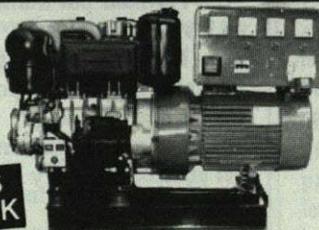
Primeros en ventas, calidad y servicio  
El más completo stock



Motorreductores  
Motovariadores



Motores Electricos



Grupos Generadores Diesel y Gasolina

OFERTAS  
EN STOCK

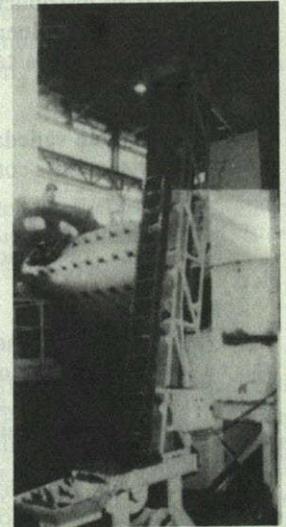
# LUREYE

CONFIABILIDAD  
ABSOLUTA

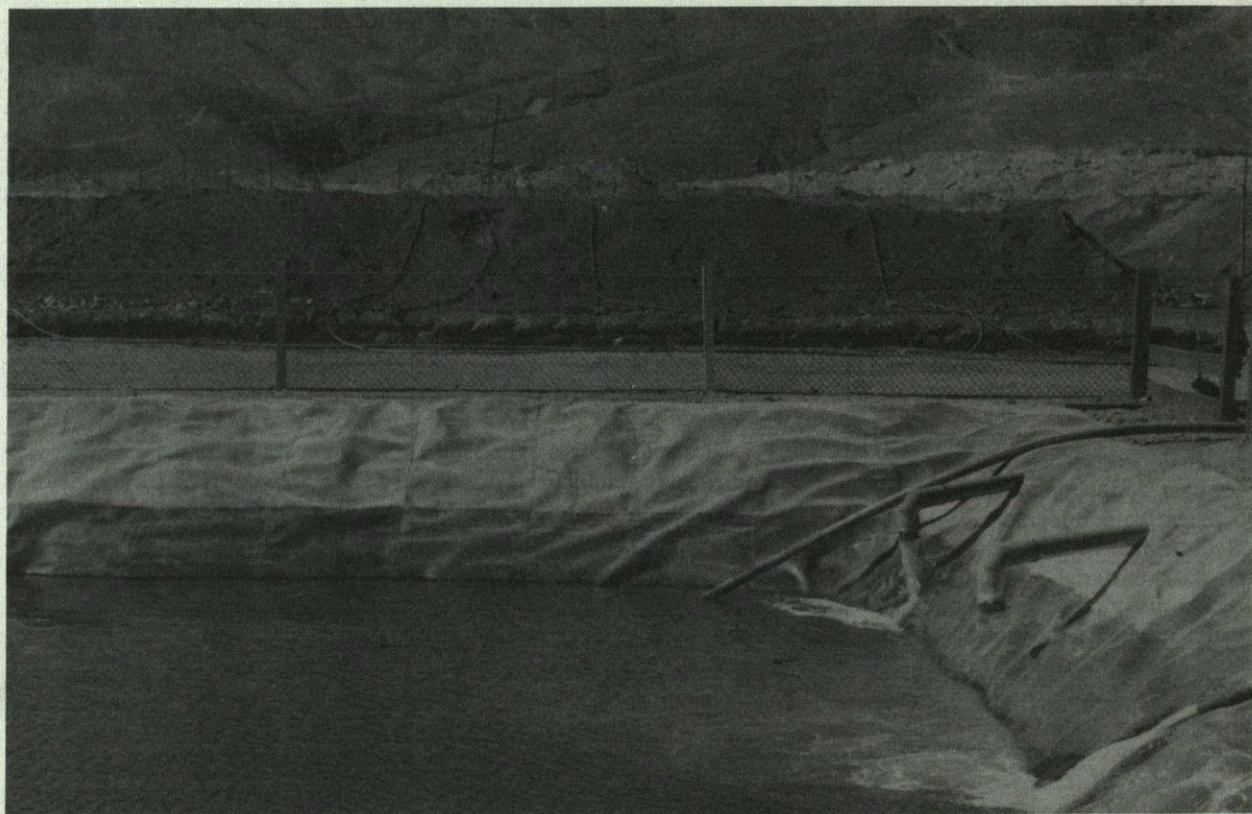
AV. VIC. MACKENNA 1503. F. 5561729-5566772-5565671

# Minermat LTDA

- Equipos de precipitación por Zinc Merrill-Crowe de 12 a 300 TPD de soluciones y otros implementos de Refinación para ORO y PLATA.
- Cañerías, Fittings y Bombas para manejo de soluciones en PE de alta densidad. Flota completa de Máquinas de Termofusión rangos 3/4" a 32" Dia.
- Carpetas y estanques para Cianuración y Lixiviación en Pilas y sus implementos de rociado.
- Transportadores (Elevadores) de Alta Pendiente para Minerales y otros materiales (hasta 85°).
- FABRICACION DE EQUIPOS ESPECIALES PARA BENEFICIO DE MINERALES.
- INGENIERIA DE PROCESOS Y CONSTRUCCION COMPLETA DE PLANTAS PARA ORO, PLATA, Y COBRE.



Américo Vespucio 1020 - Pudahuel.  
Casilla 77 - Correo 29 - Providencia.  
Fono: 719021-(4 líneas). Telex 440476 MINER CZ.  
MINERMAT INC. Tucson Arizona (Subsidiaria)



de la línea, por ejemplo, aumentando su diámetro o conformando anillos de presión constante.

– Seleccionar cuidadosamente los dispositivos de riego de acuerdo con los criterios ya señalados.

– Calcular su distribución conciliando su área de influencia y su capacidad de flujo con la tasa de riego deseada.

Existe una gran variedad de dispositivos de riego, tales como:

- Goteros.
- Aspersores.
- Mangueras quirúrgicas (Wigglers).
- Boquillas.

Cuyas características se encuentran en los catálogos de los proveedores correspondientes. Los dos últimos también pueden considerarse como aspersores.

Como criterios generales de elección se puede optar por los siguientes:

#### Riego por Goteo

- a) Si el agua es escasa.
- b) Si el pH de trabajo no permite precipitación de las durezas del agua.
- c) Peligro de congelamiento en la alta cordillera.
- d) Régimen de viento fuerte y permanente.

#### Riego por Aspersión

- a) Recurso agua no es limitante.
- b) Aguas muy duras y peligro de precipitación de carbonatos.
- c) Condiciones climáticas favorables (temperatura mínima 0°C).
- d) Régimen de viento moderado o intermitente a ciertas horas del día.
- e) Necesidad de oxígeno en la solución, sin posibilidad de agregarlo en alguna instalación anterior.

#### ESTANQUES DE PROCESO

En un sistema de lixiviación en pilas se encuentran normalmente los siguientes estanques para almacenamiento de líquidos:

##### 1. Estanques Auxiliares

###### 1.1. Estanque de Agua Industrial.

Necesario, en caso de no disponer de una alimentación regular, para mantener una reserva de agua:

- Pérdidas por evaporación y arrastres.

– Pérdidas por humedad residual en los rípios agotados.

– Necesidades de proceso, por ejemplo: curado, aglomeración y purgas de solución.

Su dimensionamiento depende del abastecimiento y la demanda.

###### 1.2. Estanque Desarenador.

Recibe solución desde la canalita de recolección de la solución de la pila y alimenta, por rebase, a los estanques de proceso decantando los sólidos suspendidos.

Se dimensionan en función del

tiempo de retención necesario para obtener una buena decantación.

### 1.3. Estanque de Emergencia.

Para almacenar soluciones en emergencia de operación.

## 2. Estanques de Proceso

### 2.1. Estanque(s) de Solución Rica o Fuerte.

Corresponde al estanque receptor de solución de alta concentración desde la pila previo a su envío a la planta de tratamiento.

### 2.2. Estanque(s) de Solución Intermedia.

Recibe(n) las soluciones desde las pilas que están en sus etapas de agotamiento o lavado para enviarlos a las pilas frescas que entregan solución rica. Su número depende de las etapas en contracorriente del proceso de lixiviación.

### 2.3. Estanque de Solución Agotada o Refino.

Recoge las soluciones tratadas desde la planta de procesamiento previo a su retorno a la pila para recuperarse en la especie a lixiviar.

Los criterios de dimensionamiento de estos estanques son:

1) Deben poder recibir la solución correspondiente a la diferencia entre la humedad de escurrimiento bajo riesgo y la humedad retenida por el ripio (determinado previamente en laboratorio).

11) Deben recoger las aguas adicionales provenientes de lluvias, nevadas u otras.

111) Deben mantener un nivel mínimo compatible con el sistema de bombeo.

1111) Puede dotárseles de capacidad adicional para alimentar la planta de tratamiento durante pe-

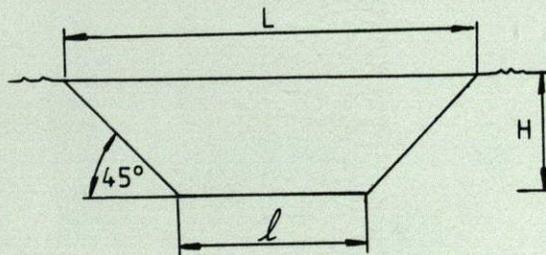
ríodos de detención del sistema de riego.

Es conveniente dejar líneas de interconexión entre los estanques para dotar al sistema de flexibilidad operacional para atender emergencias e imprevistos.

Usualmente se emplean estanques del tipo tronco piramidal invertido, directamente excavados en

el terreno y revestidos con un material impermeable, generalmente del mismo tipo del empleado en la base de la pila.

Para optimizar el uso de revestimiento en este tipo de estanques por un volumen determinado, con paredes inclinadas en 45° y bases cuadradas, se puede recurrir a las siguientes expresiones:



$$L = 0,840 (V / 0,083)^{1/3}$$

$$l = 0,454 (V / 0,083)^{1/3}$$

$$H = 0,193 (V / 0,083)^{1/3}$$

$$\text{Superficie Revestimiento} = (V / 0,083)^{2/3} + \text{Superficie para bordes y Anclajes Superiores.}$$

## SISTEMAS DE FLUJO

El sistema de bombeo, conducción y control de flujos de un sistema de lixiviación en pilas queda determinado básicamente por:

1. Las necesidades de riego; esto es superficie a regar y cantidad (tasa) de riego.

2. Operaciones y manipulaciones de las soluciones.

3. Controles de operación.

Su cálculo y diseño sigue las etapas normales para cualquier sistema hidráulico y sólo cabe resaltar las precauciones necesarias para la selección de los tipos y materiales de bombas, cañerías, válvulas y fittings de entre los varios disponibles en el mercado, la conveniencia de dotar al sistema de un máximo de flexibilidad y adoptar medios de protección suficientes para garantizar la

duración de los materiales empleados frente a las condiciones de operación, ambientales y de uso.

Existen fundamentalmente dos tipos:

a) Bombeo directo desde estanque de proceso a manifold del sistema de riego.

b) Alimentación gravitacional por medio de un estanque de carga, que recibe bombeo intermitente desde los estanques de proceso.

La elección de uno de estos tipos dependerá de las características de cada caso en especial.