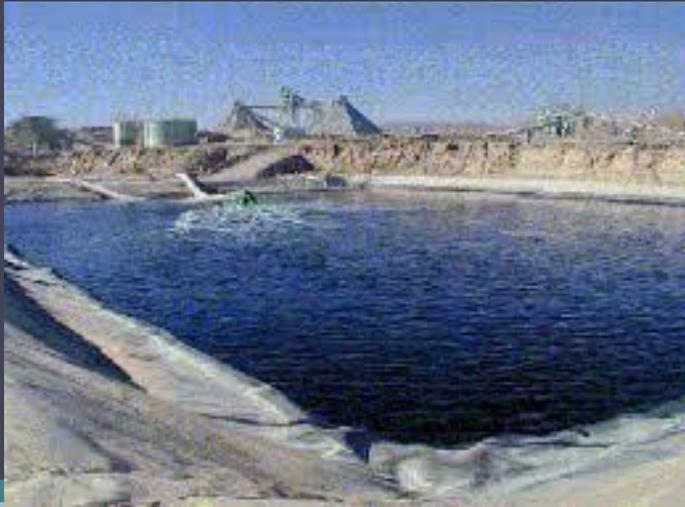


HIDROMETALURGIA



CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDROMETALURGIA

- La hidrometalurgia es la rama de la metalurgia que cubre la extracción de metales empleando soluciones líquidas, acuosas y orgánicas.
- Se basa en la concentración de soluciones lixiviantes que reaccionan con los metales presentes en el mineral y las convierten en iones que podrían ser reversibles y poseer diferentes características físicas y químicas, las soluciones procedentes de las operaciones de lixiviación toman el nombre de PLS que luego ingresa a la etapa siguiente.



PRINCIPALES PROCESOS DE LA HIDROMETALURGIA

PREPARACIÓN MECÁNICA DE LOS MINERALES

- Consiste en la trituración, clasificación y transporte de minerales procesados.



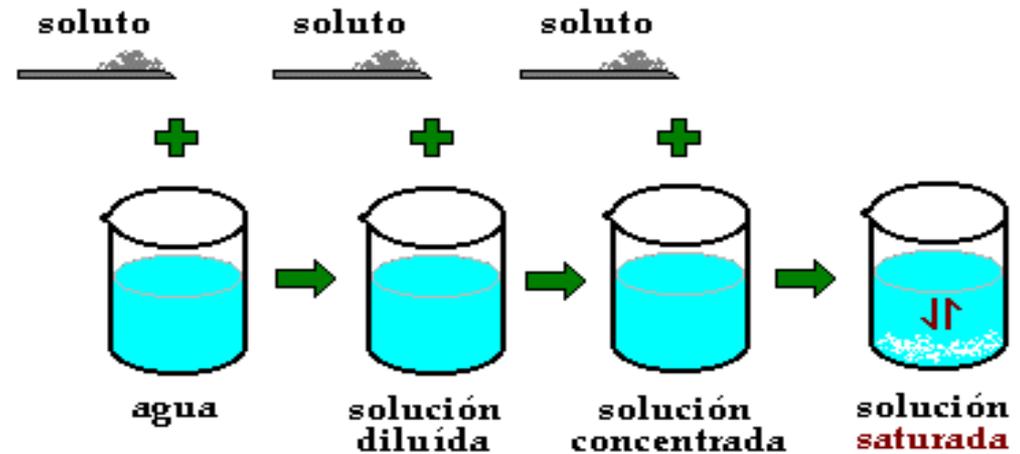
AGLOMERACIÓN

- Es un proceso preliminar que consiste en humectar el mineral y formar glomeros en base a las propiedades físicas y químicas del mineral, durante esta operación se inicia las reacciones químicas de ataque del solvente sobre el soluto, esta acción toma el nombre vulgar de curado.



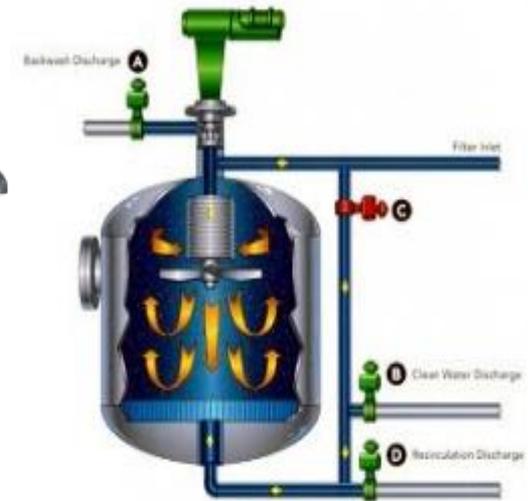
DISOLUCIÓN

- Implica el paso del estado sólido al estado líquido, los metales presentes se disuelven formando iones metálicos. En esta etapa del proceso se dan las reacciones químicas donde intervienen los coeficientes estequiométricos, reactantes, productos, importancia de la energía libre estándar de las reacciones, potenciales químicos, interpretación de los diagramas Eh – pH del agua y metales disueltos, tener idea del equilibrio termodinámico de especies en solución acuosa, interpretar los límites de estabilidad del agua .



PURIFICACIÓN

Consiste en la separación y/o eliminación de algunos elementos contaminantes denominados impurezas existentes en la solución PLS, se conocen varias tecnologías como extracción por solventes, precipitación, intercambio iónico empleando resinas y extractantes orgánicos.



RECUPERACIÓN

- El concepto de recuperación implica la obtención de especies y/o elementos de valor desde las soluciones de PLS, ejemplo la metalurgia del cobre, oro, plata, zinc, uranio, níquel, cobalto, aluminio, potasio, magnesio, boro, molibdeno y otros metales de interés.



FACTORES DE LA LIXIVIACIÓN

TAMAÑO DE LA PARTÍCULA

- La granulometría del mineral es fundamental, en función de esta característica la solubilidad puede ser rápida y/o retardada, a tamaños menores el tiempo de contacto entre el mineral y el solvente es rápida y se incrementa la solubilidad del soluto, aumentando la cinética de lixiviación en condiciones normales.



$$R_T = F_{80}/P_{80}$$

De donde: $F_{80} = R_T \cdot P_{80}$

Reemplazando (2.15) en (2.13):

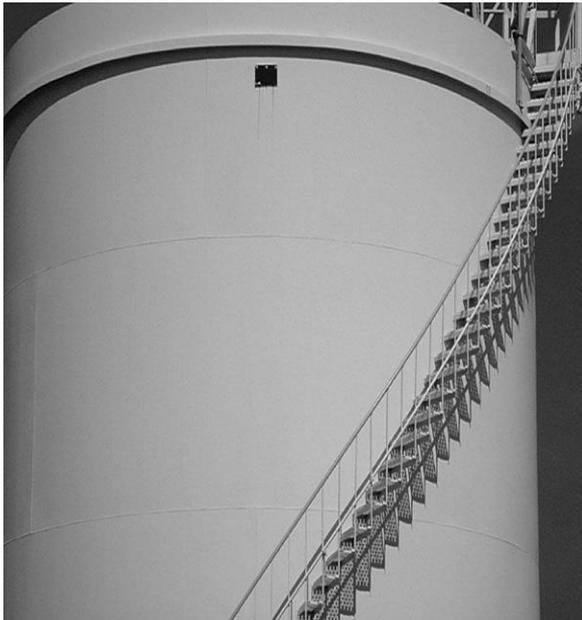
$$\begin{aligned} W &= W_I \cdot \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{R_T \cdot P_{80}}} \right) = \\ &= \frac{10W_I}{\sqrt{P_{80}}} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{R_T}} \right) = \\ &= W_I \cdot \sqrt{\frac{100}{P_{80}}} \cdot \left(\frac{\sqrt{R_T}-1}{\sqrt{R_T}} \right) \end{aligned}$$

O sea:

$$W = W_I \sqrt{\frac{100}{P_{80}}} \cdot \left(\frac{\sqrt{R_T}-1}{\sqrt{R_T}} \right)$$

CONCENTRACIÓN DEL DISOLVENTE Y/O LIXIVIANTES

- El aumento de concentración del lixivante incide en la extracción, pero disuelve elementos químicos no favorables a la oxidación de metales como cobre, oro, plata, aluminio y otros.



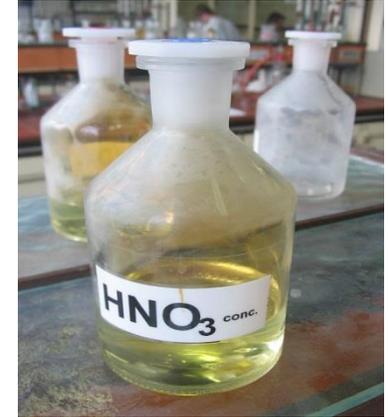
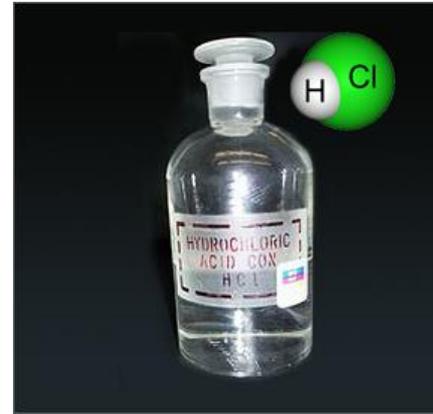
TIEMPO DE CONTACTO Y TEMPERATURA

- El tiempo de contacto depende de los factores anteriores, un incremento de la temperatura incide en el aumento de la velocidad de extracción.



AGENTES LIXIVIANTES

ÁCIDOS.- Puede ser ácido sulfúrico, clorhídrico, nítrico, de caro, fosfórico y otros.



BASES.- Puede ser Hidróxido de amonio, hidróxido de sodio y thiourea.



AGENTES COMPLEJANTES.-

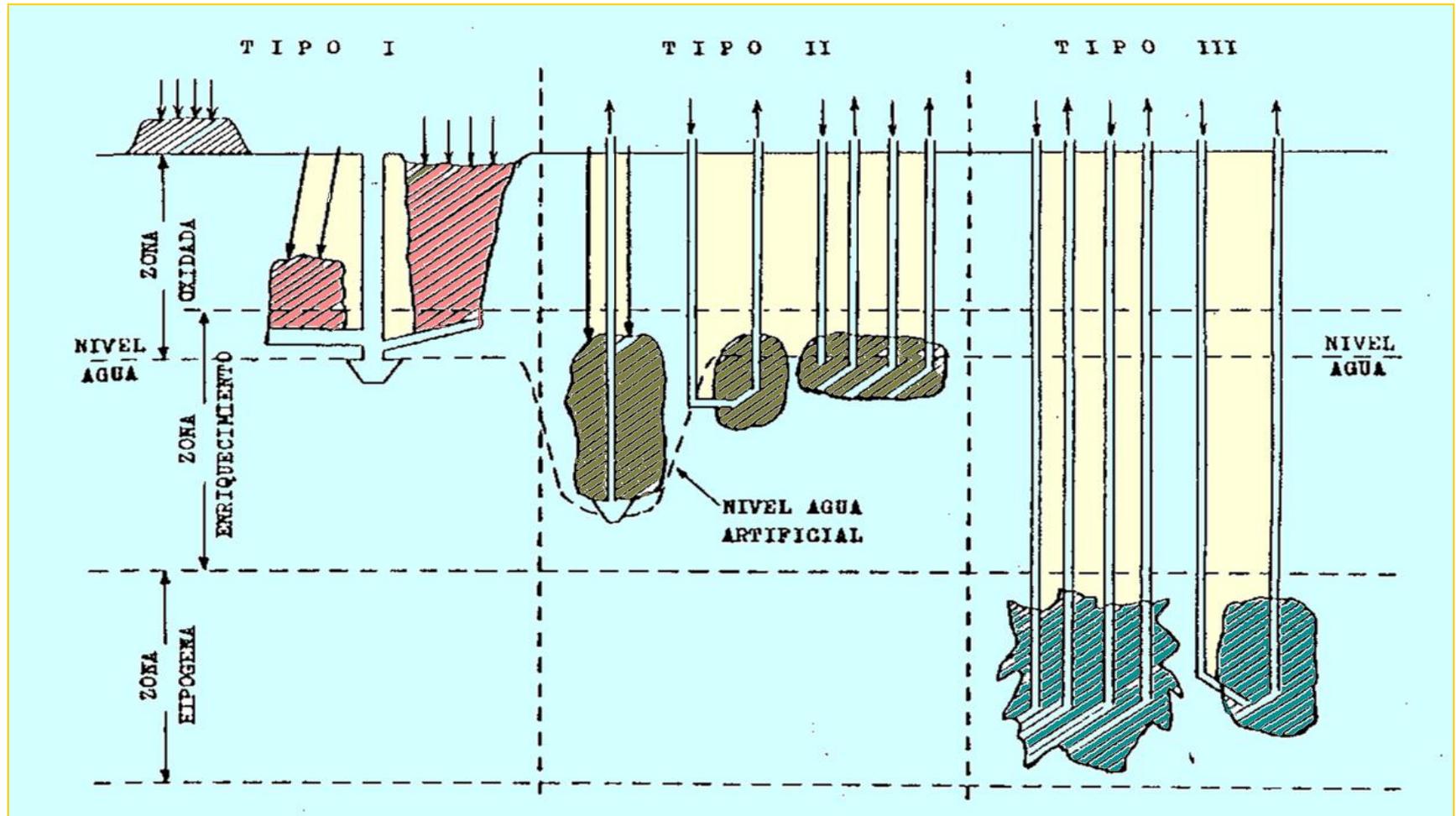
Amoníaco, sales de amonio, cianuro, sandios, carbonatos y otros.



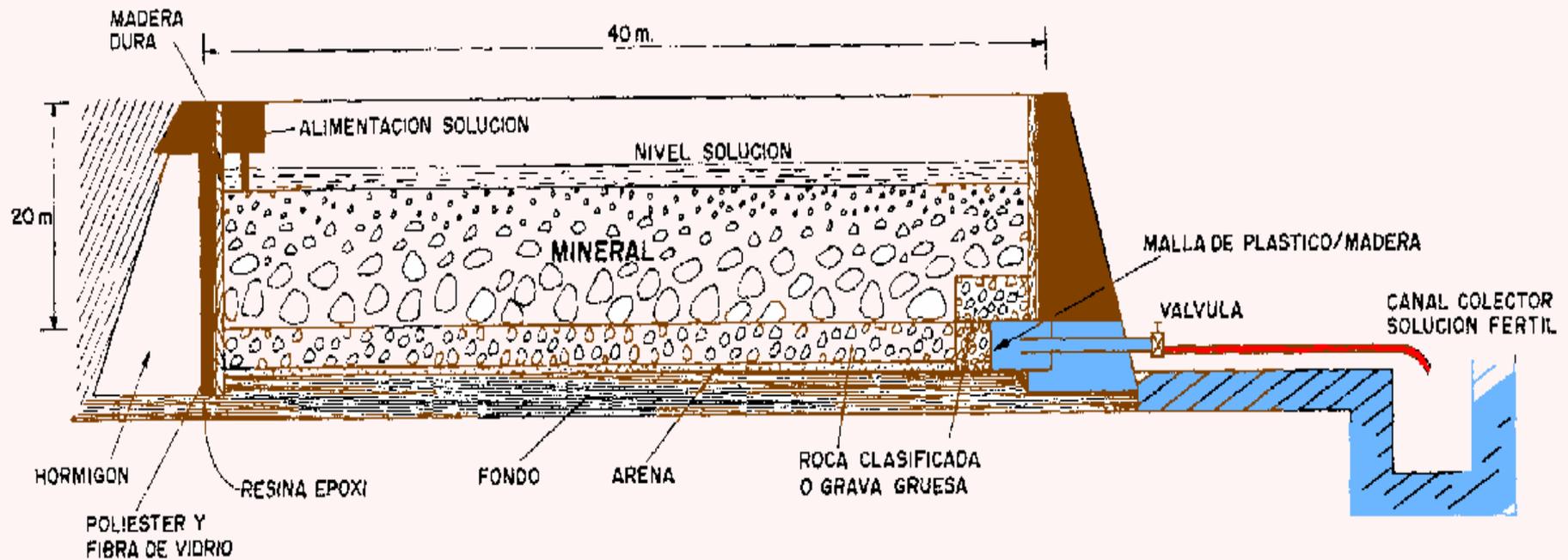
MÉTODOS MAS CARACTERÍSTICOS DE LA LIXIVIACIÓN

LIXIVIACIÓN DE LECHOS FIJOS

- Lixiviación in-situ.



Lixiviación en bateas bat leaching



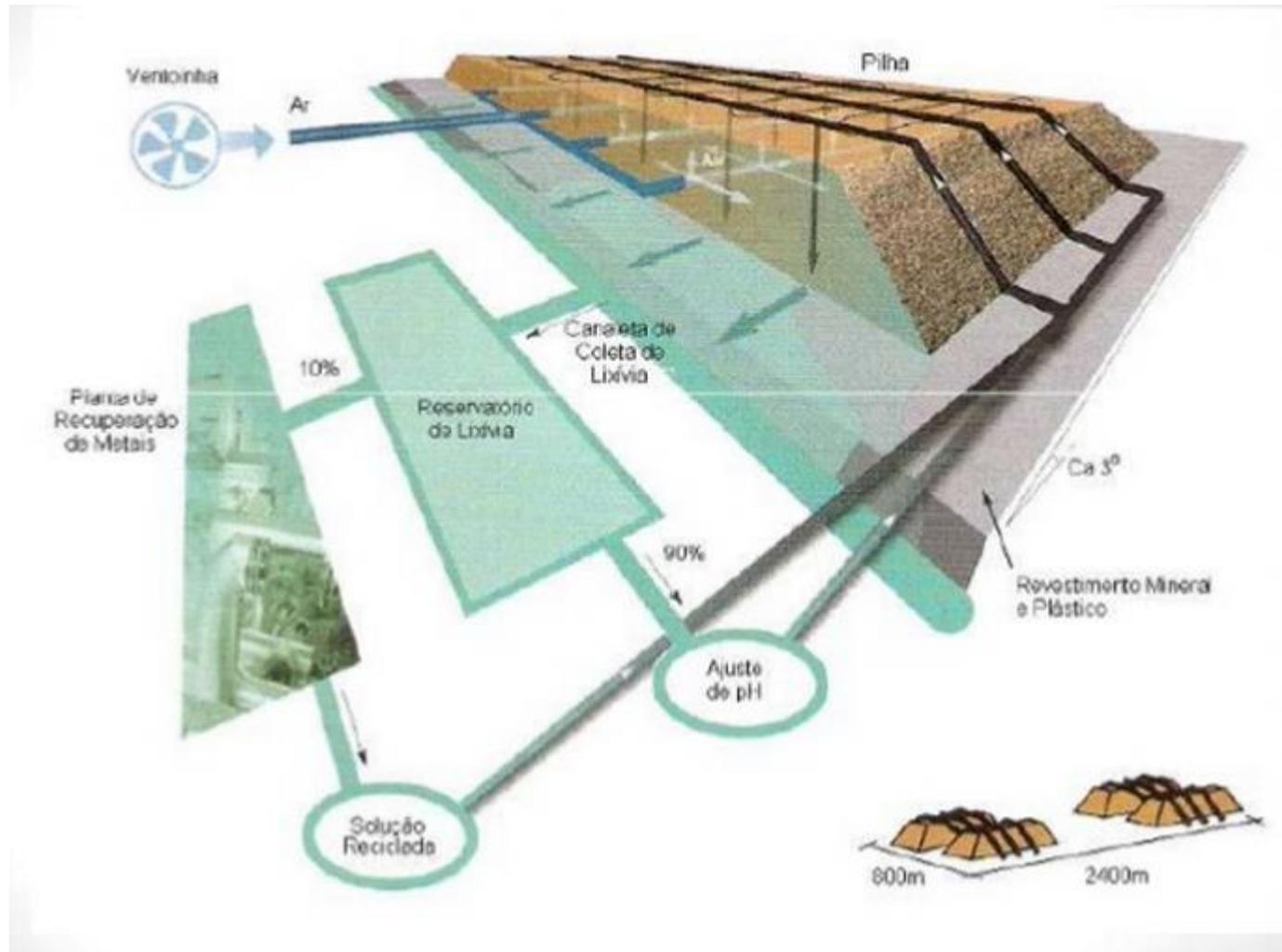
Lixiviación en botaderos



Lixiviación en pilas heap leaching



Lixiviação bacteriana



LIXIVIACIÓN DE PULPAS

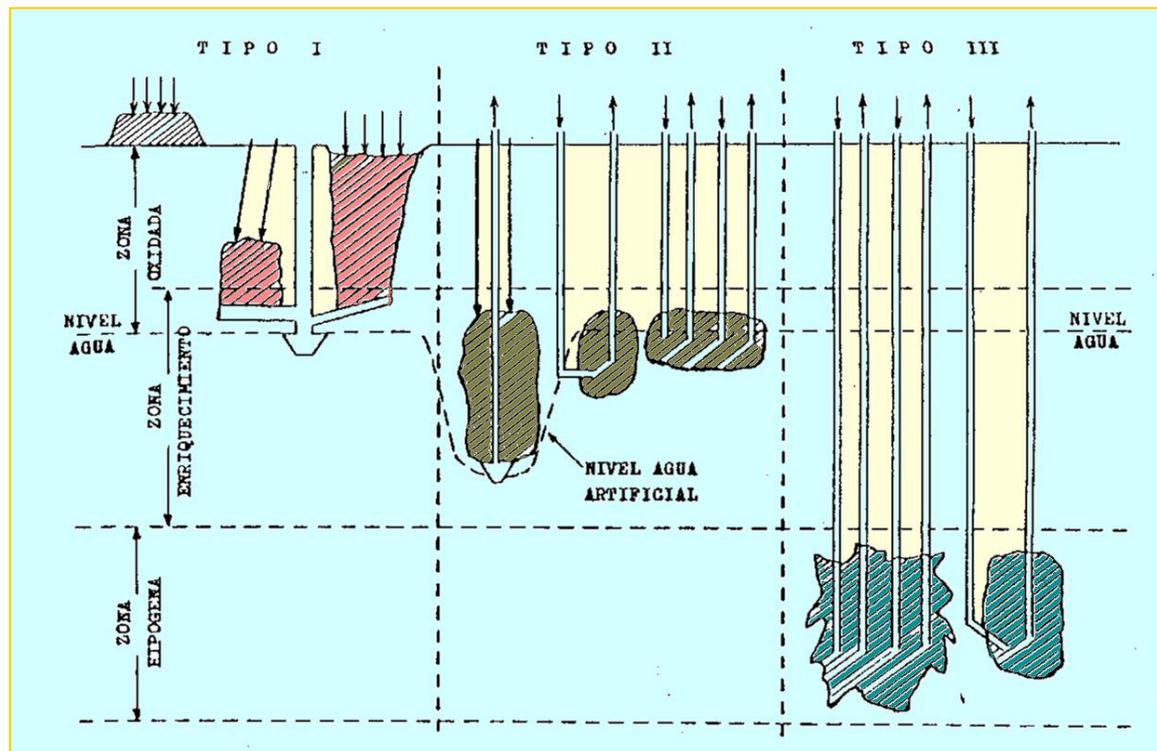
- Lixiviación en tanque agitado proceso CIP
- Lixiviación en tanque agitado proceso CIL
- Lixiviación en contracorriente y decantación proceso DCC counter-current decantation y Merrill Crowe y cementación con zinc.
- Lixiviación a presión en autoclaves



CONCEPTOS DE MÉTODOS DE LIXIVIACIÓN

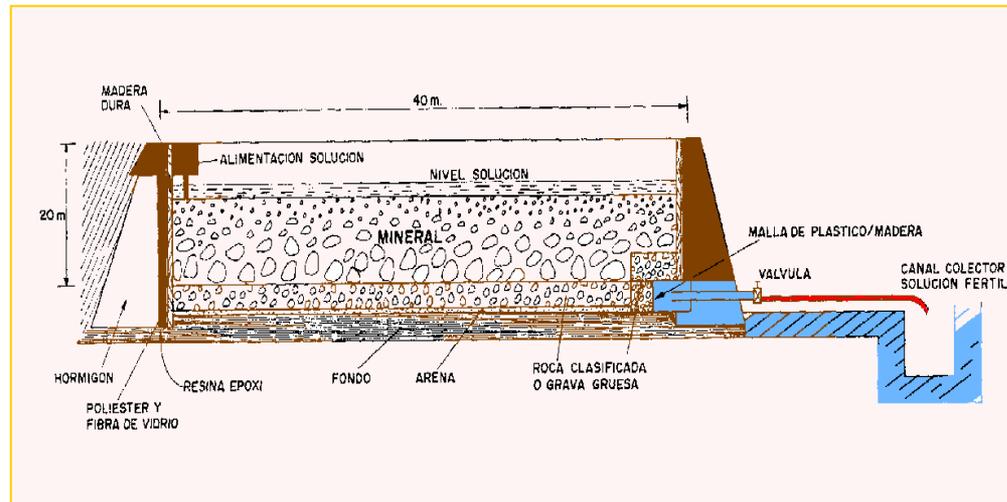
LIXIVIACIÓN IN-SITU

- Aplicación de soluciones sobre el mineral que está ubicado en el yacimiento, sin someterlo a labores de extracción minera.
- Debido a sus bajos costos de inversión es una tecnología muy factible para la recuperación de metales de muy baja ley, denominados marginales, no explotables económicamente por procesos tradicionales.



LIXIVIACIÓN EN BATEAS BAT LEACHING POR PERCOLACIÓN

- Consiste en lixiviar un lecho de mineral previamente preparada especialmente aglomerado, curado y reposado con una solución acuosa que percole e inunde el bat. Este proceso se aplica para lixiviar minerales de alta ley en un tiempo de 3 hasta 15 días dependiendo de la granulometría y concentración del solvente, este método lo aplican los mineros a pequeña escala.



LIXIVIACIÓN EN BOTADEROS – DUMP LEACHING

- Consiste en lixiviar, desmontes de mineral desbrozado de minas a tajo abierto, que aún contienen leyes marginales menores a 0.4 % de cobre, generalmente este mineral grueso run of mine generalmente son depositados sobre terrenos poco permeables y las soluciones percolan a través del lecho por gravedad. Generalmente son de grandes dimensiones y volúmenes que requiere poca inversión y las recuperaciones pueden ser de 50 – 60 % de cobre.



ALGUNOS PROBLEMAS DE ESTE TIPO DE LIXIVIACIÓN

- Bajo rendimiento pero de bajo costo
- Gran tamaño de algunas rocas
- Baja penetración de aire al interior del botadero
- Problemas de compactación de la superficie por empleo de maquinaria pesada
- Baja permeabilidad del lecho y formación de precipitados y sulfatos
- Excesiva canalización de la solución por la heterogeneidad de tamaños del material
- Ambientalmente no recomendable por posibles infiltraciones de soluciones de PLS.

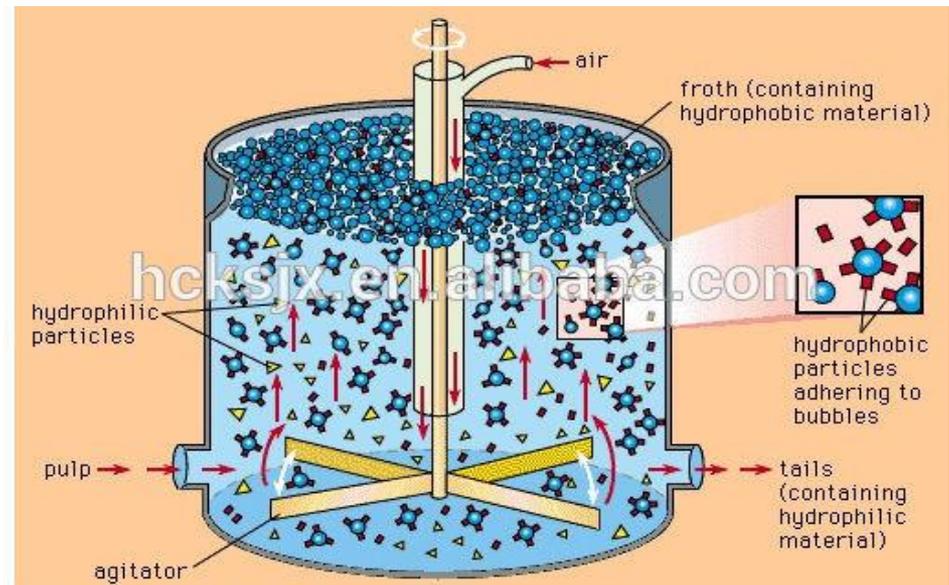
LIXIVIACIÓN EN PILAS HEAP LEACHING

- El proceso se inicia desde la perforación, voladura, trituración, clasificación, aglomeración y curado y conseguir una granulometría controlada que permita un buen coeficiente de permeabilidad.
- Se coloca el mineral preparado en montones de sección trapezoidal y altura calculada, armado de líneas de riego con solución lixivante.
- Se denomina cancha de lixiviación a la superficie de apoyo de la pila donde se coloca la impermeabilización con geomembrana, hay pilas estáticas permanentes y pilas dinámicas.
- Las soluciones ricas RS o PLS – pregnant leach solution que generalmente es impura que debe ingresar a otro proceso para su purificación. Los PLS contienen 2 – 4 gr/litro de cobre, 1 – 2 gr/litro de ácido, las impurezas 5% de Fe, SiO₂, Al₂O₃, coloides, sólidos en suspensión y otros.

LIXIVIACIÓN EN TANQUE AGITADO

Este proceso se aplica para lixiviar minerales de alta ley, para minerales que generan alto contenido de finos en la etapa de conminución, es preferible que a este proceso ingresen minerales molidos con alta liberación para que tengan una alta velocidad de contacto y humectación

Los agitadores mecánicos son simplemente impulsores en el interior del tanque, que permite el movimiento de la pulpa con inyección de aire.



VENTAJAS COMPARATIVAS CON OTROS MÉTODOS

- Alta extracción del metal a recuperar
- Tiempos cortos de procesamiento en horas
- Proceso continuo y automatizado
- Se adapta para tratar minerales alterados o generadoras de finos

DESVENTAJAS

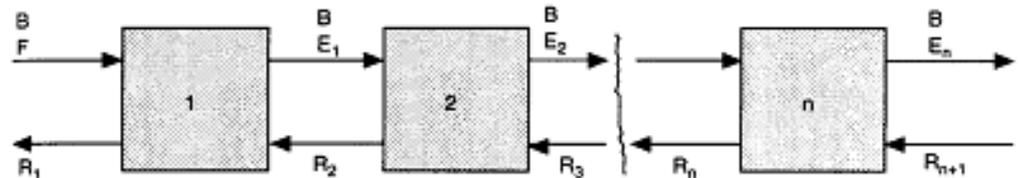
- Mayor costo de inversión y operación
- Se requiere una etapa de molienda y clasificación, separación sólido – líquido
- Espesamiento y filtrado
- Este proceso se aplica en la mediana y minería a pequeña escala generalmente para el oro.

VARIABLES DEL PROCESO

- Granulometría
- Tiempo de lixiviación
- Mineralogía del mineral
- Temperatura ambiente
- % de sólidos definido , % de sólidos 1/1 +2 igual 33 % de sólidos.
- Velocidad de agitación
- Tipo de turbina

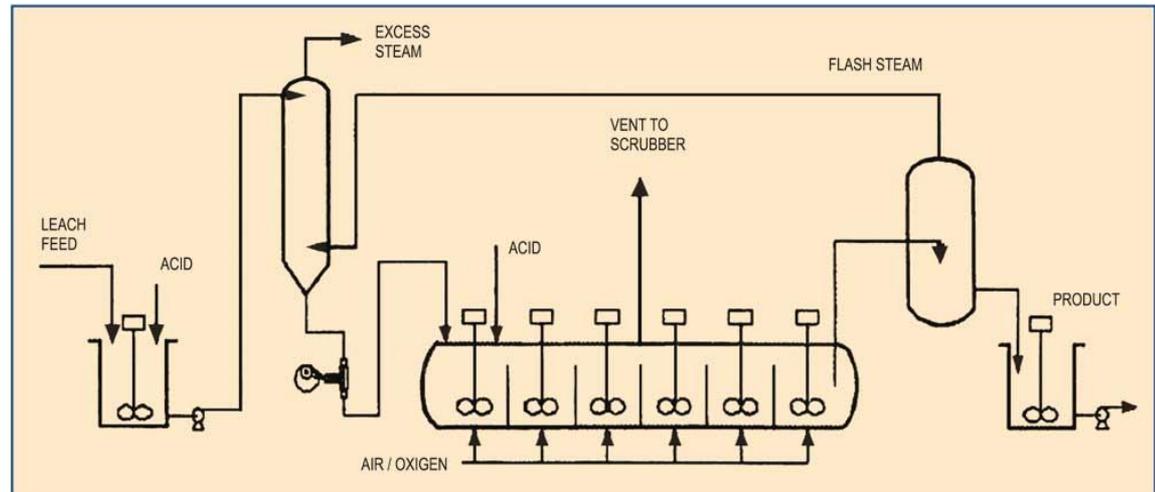
LIXIVIACIÓN EN CONTRACORRIENTE CON DECANTACIÓN DCC.

Los lodos de lixiviación procedentes del espesado donde se separa líquido-sólido, siempre contienen soluciones ricas en oro y/o cobre, que hay que recuperar, en consecuencia se aplica el proceso DCC, para la recuperación de valores, empleando una batería de espesadores donde en contracorriente se va recuperando los iones de los metales disueltos, la solución avanza de atrás hacia adelante y la pulpa avanza de adelante hacia atrás.



LIXIVIACIÓN EN AUTOCLAVE

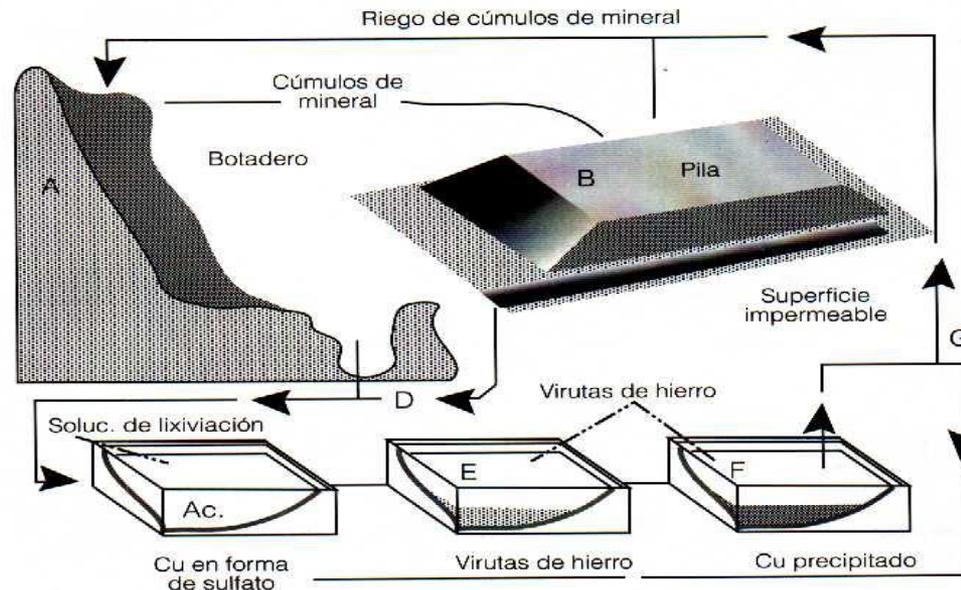
Este proceso se aplica para minerales refractarios, previa preparación mecánica de minerales hasta una granulometría próxima a 200 mallas, los equipos denominados autoclaves son reactores diseñados para trabajar a altas presiones con vapor de agua y pulpas aciduladas, los autoclaves tienen varios compartimientos, cada uno provisto de sistemas de agitación, la pulpa se inyecta a presión junto con vapor de agua para proporcionar calor al sistema, hasta que las reacciones exotérmicas generen la suficiente energía de lixiviación de sulfuros especialmente las piritas auríferas y sulfuros primarios. La presencia del oxígeno es vital en el proceso.



LIXIVIACIÓN BACTERIANA.

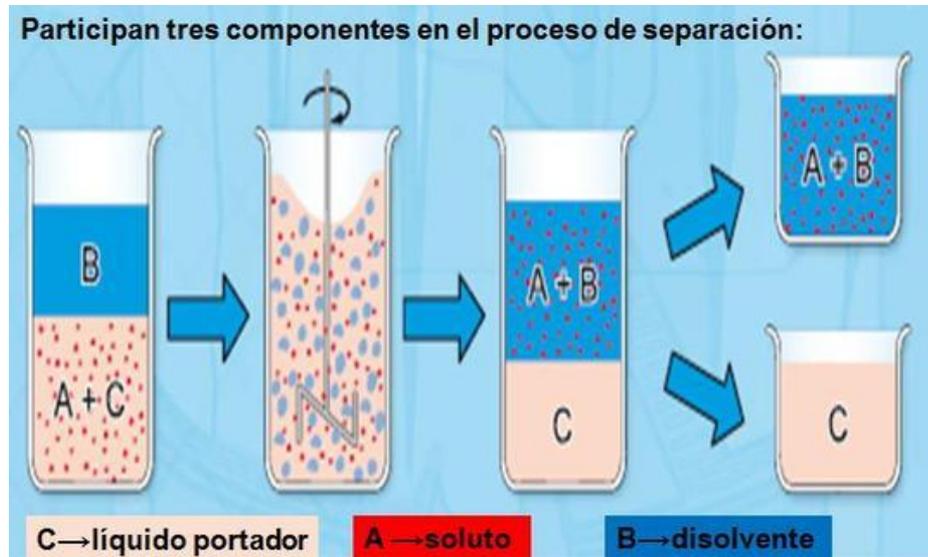
Este proceso se aplica a todo tipo de minerales sulfurados tanto de cobre, zinc, oro, plata, uranio, níquel, cobalto y otros elementos químicos metálicos. Para piritas auríferas se aplica el sistema BIOX y para sulfuros de cobre se aplica el sistema BacTech y BioCop, ambos procesos se lleva a cabo en bio-reactores mecánicos que trabajan a temperatura ambiente con nutrientes adecuados, con condiciones de operación controlada, en Cerro Verde se aplica la lixiviación ácido-ferrico-bacterial.

La Lixiviación Bacteriana



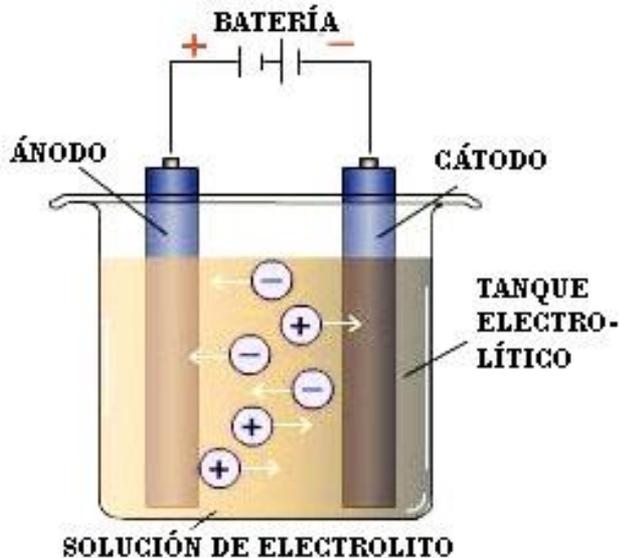
EXTRACCIÓN POR SOLVENTES

- El PLS procedente de la lixiviación es conducida a la etapa de extracción por solventes por medio de tuberías hasta la planta de SX donde existen equipos denominados mixise, decantadores, filtros y tanques con orgánico.
- La solución acuosa con cobre disuelto con algunas impurezas ingresa al circuito de extracción donde hay dos etapas una de extracción y la otra de re-extracción, en ambos circuitos el orgánico trabaja con extractantes del cobre, en esta etapa se logra la purificación y concentración.



ELECTRODEPOSICIÓN

La solución acuosa con alto contenido de cobre y purificada, ingresa a las celdas de electrodeposición, en donde el cobre se deposita sobre los catodos de cobre, dando como resultado cobre de alta ley LME grado A de 99.9994 % Cu.



CONCLUSIÓN

EXTRACCIÓN POR SOLVENTES

