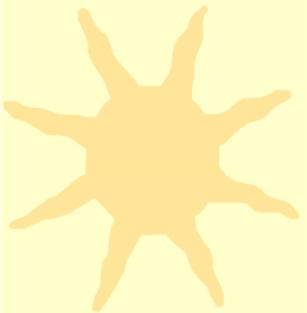




Diseño de un proceso de lixiviación

Considera 5 factores

- 1.- Elección del agente lixivante (solvente)
- 2.- Tipo de proceso químico a usar
- 3.- Tipo de operación física a emplear
- 4.- Elección del equipo de lixiviación industrial
- 5.- Recuperación del metal disuelto



1. Elección del agente lixiviante

- Depende de la estructura química del material
- En metalurgia, normalmente son soluciones acuosas.

Parámetros a considerar:

- a) Solubilidad del metal en él
- b) Selectividad hacia metal de interés, $f(\text{pH})$ (baja en general)
- c) Propiedades Físicas
 - . Tensión superficial: a $\langle \gamma \rangle$ humectación sólida
 - .. Viscosidad : a $\langle \mu \rangle$ eficiencia
 - ... Bajo P.Eb ($^{\circ}\text{C}$) si se recupera por destilación
- d) Estabilidad Térmica : evita pérdidas por degradación.
- e) Peligrosidad: toxicidad, inflamabilidad, no explosivo.
- f) Costo: recicladas son mejores, por costo y riesgos ambientales.



Diseño de un proceso de lixiviación

Considera 5 factores

- 1.- Elección del agente lixivante (solvente)
- 2.- Tipo de proceso químico a usar
- 3.- Tipo de operación físico a emplear
- 4.- Elección del equipo de lixiviación industrial
- 5.- Recuperación del metal disuelto



2. Tipo de Proceso Químico a usar

La lixiviación metalúrgica se puede efectuar tanto en medio oxidante, neutro o reductor, como ácido o básico.

a) Lixiviación con agua: Fundamentalmente las operaciones de la minería No Metálica (salitre, litio, yodo), caliches solubles

Cloruros, sulfatos, nitratos de metales alcalinos

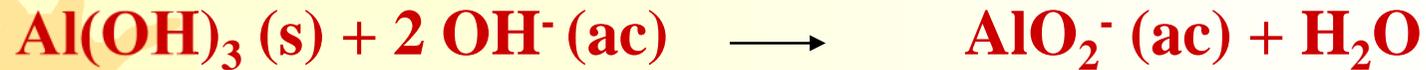
b) Lixiviación Acida: H_2SO_4 , HCl , HNO_3 , en diferentes concentraciones y/o temperatura. También se incluye procesos con tiourea (oro) y Fe(III) .





c) Lixiviación Alcalina: con NH_4OH , NaOH , NaCN , Na_2S

Ejemplo: Proceso Bayer, digestión de bauxita con soda a 200 °C



d) Lixiviación por Complejación: Ocurre un aumento de la solubilidad del metal por formación de complejos con ligante apropiado.

Ejemplo: Disolución de CuO con soluciones amoniacales.



El medio alcalino evita la disolución de cierta ganga soluble en medio ácido, lo que es una ventaja.



e) Lixiviación Oxidante

Cuando se lixivian ciertos sulfuros, mediante acción del ion férrico o con ácido nítrico.

Lixiviación de sulfuros de cobre



calcosina



covelina

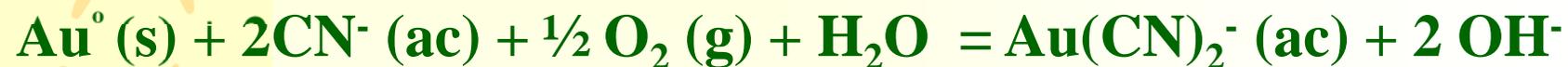
Lixiviación de molibdenita: MoS₂ , [Mo(IV)]





f) Lixiviación Oxidante-Complejante

Ejemplo 1: la lixiviación de oro y plata mediante oxidación del metal por el aire y formación del complejo cianurado estable.



Ejemplo 2: Lixiviación de sulfuros de níquel en medio amoniacal





Otros tipos de Lixiviación de Tipo Químico:

g) Lixiviación neutra, con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, con Cl_2 (g).

h) Lixiviación por electro-oxidación

i) Lixiviación Bacteriana:

¿es lixiviación química catalizada por bacterias?

¿Es bacteriana (biolixiviación) combinada con Fe^{3+} ?

Muchos procesos de lixiviación son de naturaleza electroquímica



Diseño de un proceso de lixiviación

Considera 5 factores

- 1.- Elección del agente lixivante (solvente)
- 2.- Tipo de proceso químico a usar
- 3.- Tipo de operación físico a emplear
- 4.- Elección del equipo de lixiviación industrial
- 5.- Recuperación del metal disuelto



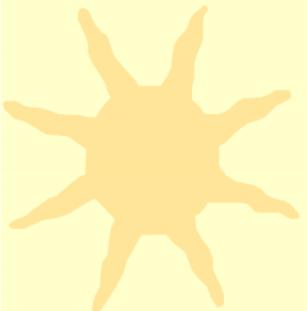
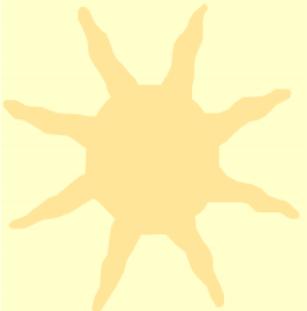
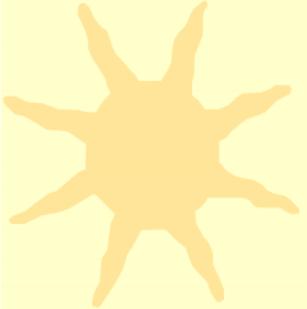
3) *Tipo de Operación Física a emplear*

- Dependen del tipo de reacción y las características del mineral

Velocidad total

Vel. Difusión del lixivante

Vel. Reacción Química





a) Lixiviación in situ:

Extracción de los metales desde el mineral, solubilizándolos en una solución que se hace pasar sobre el mineral permeable

(fracturado) a presión. Posee pozos recuperación de afluentes.

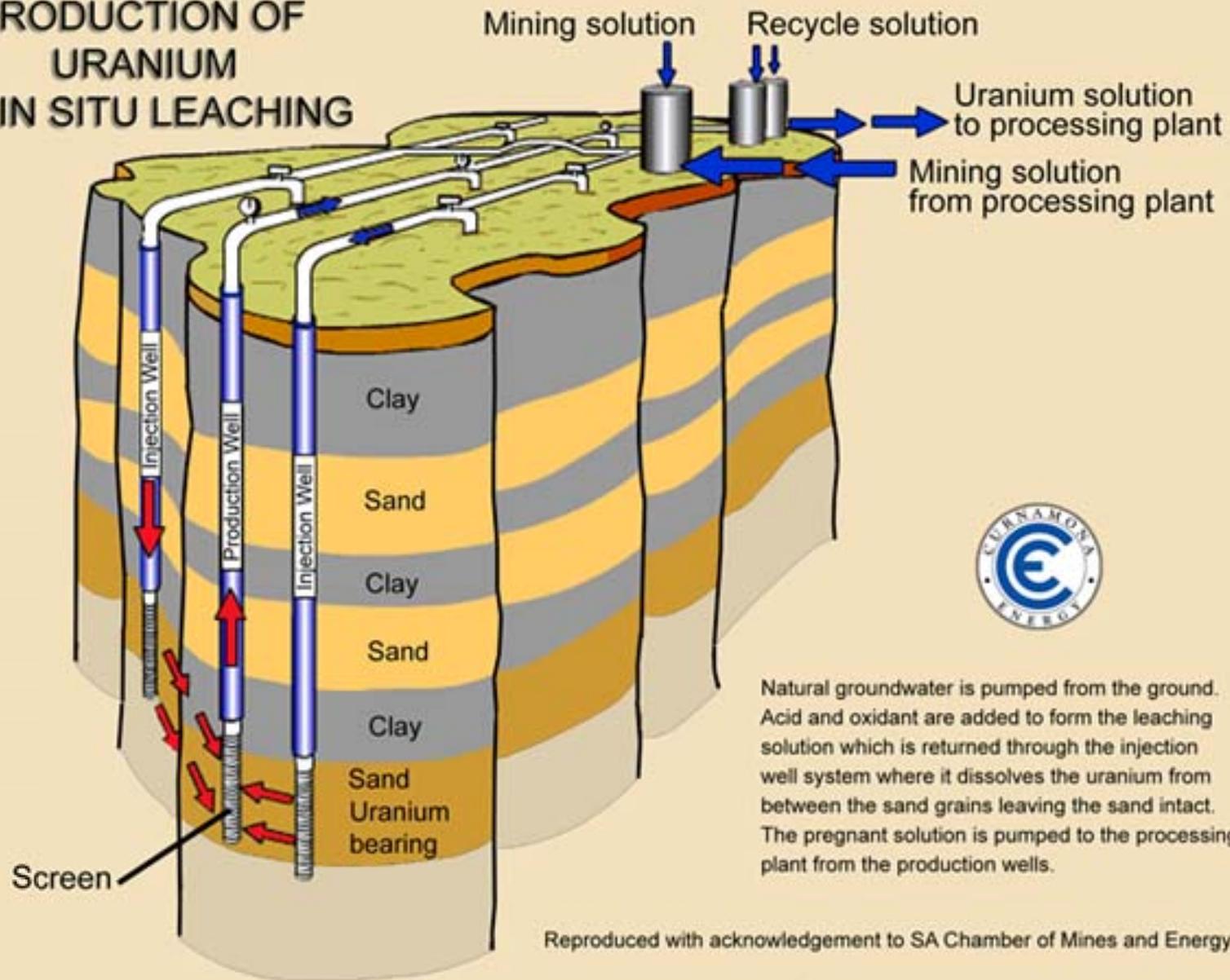
Ej: minerales de Cu y U se lixivian “in situ” haciendo circular “agua de la mina” acidificada.

Ej. Cráter del volcán, Minera El Teniente (Agua lluvia, nieve derretida)

b) Lixiviación en el lugar : (“in place leaching”)

Al lixiviar el material existente en galerías, cavidades, bloques hundidos, etc. En minas en faena o antiguas, circulando el lixivante por la parte superior y colectando el “lixiviado” en pozos apropiados.

PRODUCTION OF URANIUM BY IN SITU LEACHING



Natural groundwater is pumped from the ground. Acid and oxidant are added to form the leaching solution which is returned through the injection well system where it dissolves the uranium from between the sand grains leaving the sand intact. The pregnant solution is pumped to the processing plant from the production wells.

Reproduced with acknowledgement to SA Chamber of Mines and Energy



c) Lixiviación en Botaderos: (“Dump leaching”)

Frecuentemente en faenas a “rajo abierto” (Chuquicamata), las sobre-cargas de estériles, ripios, escorias o relaves, se disponen en “botaderos” (amontonados), los cuales son lixiviados posteriormente.

Eficiencia no es muy alta, requiere menor preparación del terreno, siendo crítica la recuperación del espacio.



Botadero



Botadero



d) Lixiviación en pilas: (“Heap leaching”)

Se programa el acopio de mineral para ser lixiviado. Se dispone en Pilas Rectangulares, en cuyo fondo existe una carpeta impermeable, lixiviando al agregar el solvente por la parte superior, rociando todo el mineral.



Granulometría: 1/2" a 4"

Al agotarse se descarga la carpeta y se vuelve a poner mineral fresco

Se suele combinar con lixiviación bacteriana

(Proyecto "Ripios" Mina Chuquicamata)

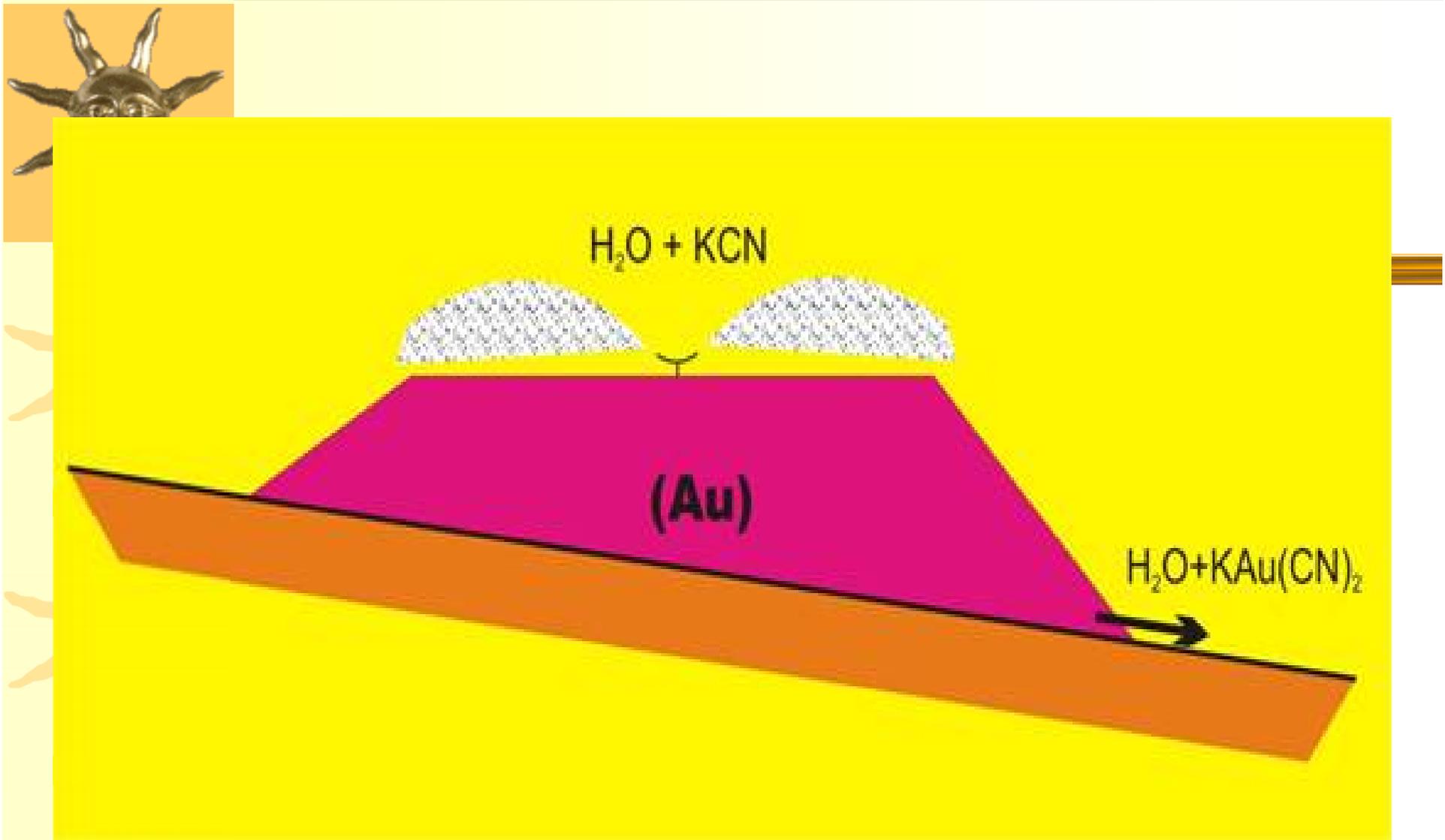
-Cu/H₂SO₄

-Au, Ag/CN (Planta Chevrón Andacollo)

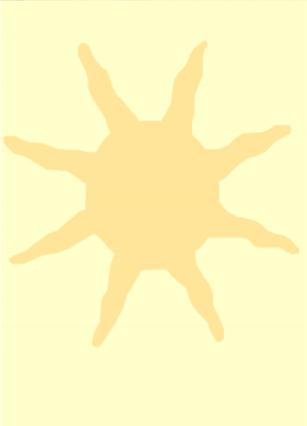
Existen

Pilas Temporales (3 – 4 años)

Pilas Permanentes : "Botadero"



Pila de Lixiviación de Oro





e) Lixiviación por Percolación

Se dispone material en estanques o bateas, con el fondo perforado, agregando el lixivante por arriba de la camada de partículas. Proceso lento (varios días).

Ej. Faena en salitreras, recuperación de sales de K, Li, Na, etc.
Limitado a mediana minería.

Tamaño partícula ideal: $1/4$ “

f) Lixiviación por Agitación Mecánica

material muy fino es lixiviado mediante agitadores mecánicos o agitación con aire (O_2 necesario).

Proceso va desde minutos \longrightarrow horas.

Eficiencia: Velocidad de Agitación, M sólido/ M. líquido, Tipo de Agitación, etc

La agitación mecánica aumenta la cinética del proceso.

Tamaño de partícula ideal $< 1/8$ ”



g) Lixiviación a Presión

Procesos a elevadas temperaturas (90-250°C) se suelen realizar en autoclaves a presión.

A > P > Solubilidad del mineral (ej. Bauxita)

a > P > T° > Velocidad de disolución

- A veces requiere agente gaseoso: O₂, NH₃

Procesos cortos: 1 o 2 horas



h) Lixiviación Bacteriana:

Existen bacterias que viven naturalmente en los minerales de cobre, transformando $S = \longrightarrow SO_4^{2-}$

Acción directa en presencia de agua y oxígeno

Acción indirecta: generan H_2SO_4 (lixiviante)

y oxidan $FeSO_4$ a $Fe_2(SO_4)_3$ (lixiviante)

- a veces se superpone con lixiviación química

Ej., *Thiobacillus Ferrooxidans*: pH = 2 – 3 (2g/L H_2SO_4)

30 – 35°C y presencia O_2



Lixiviación en pilas ↔ Lixiviación Bacteriana

Apropiada para minerales de baja ley, relaves, rípios, etc, aunque el proceso es lentísimo (10-30 días/ ciclo)

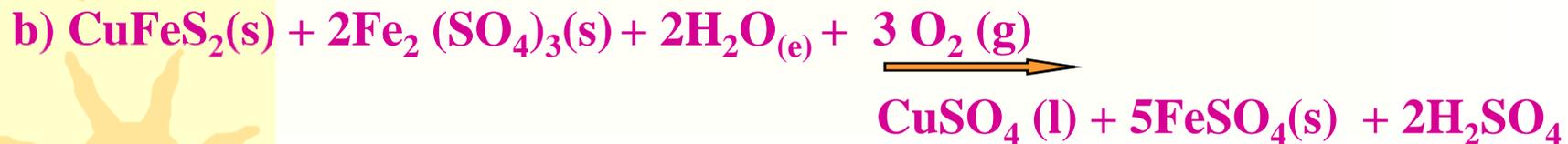
Bacterias cumplirían la función de transportar electrones



Mec. Directo: Calcopirita $\text{CuFeS}_2(\text{s})$



Mec. Indirecto:



Lixiviación química catalizada por bacterias ???

