



PROCESOS HIDROMETALÚRGICOS

Metalurgia Extractiva:

Pirometalurgia

Electrometalurgia

Hidrometalurgia

Hidrometalurgia:

Lixiviación de Minerales

Extracción por Solventes
(convencional, membranas líquidas)

Flotación de Minerales



Fuentes Naturales de los Metales

1) Metal Primario

- en depósitos naturales en la corteza terrestre, ya sea como Metales, Óxidos metálicos, como Sulfuros, carbonatos, debido a procesos de concentración geológica
- en aguas de mar (Mg)
- en salares (alcalinos)

2) Metal Secundario

En fuentes de reciclaje, básicamente “chatarras” (scrap) de diferentes metales

Valor Metálico Ganga (sin valor económico)



Contenido Metálico en Rocas, Minerales y Concentrados

(valores promedios en % p/p)

Metal	Mineral	Concentrado	Roca
Cu	0,5-5	30	0,01
Mo	0,6-1,8	50	0,0002
Fe	30-50	55	5,0
Au	0,001	2-4	1.10^{-7}
Ni	1,5-3	10	0,02
Al	27-29	-	8,2

1 % = 10.000 ppm (mg/kg) o (g/ton)



Exploración

Minería

Residuo

Residuo

óxidos

sulfuros

Lixiviación

Pre-concentración

Concentración

**Tratamiento
de Soluciones**

Lixiviación

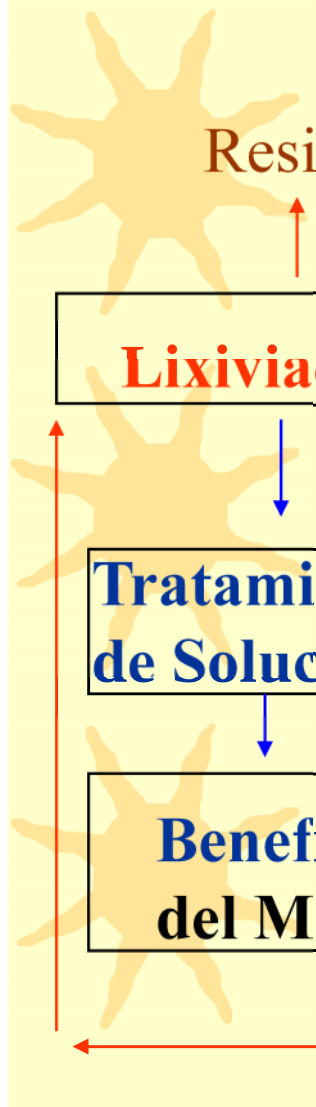
Fundición

**Beneficio
del Metal**

Refinación

Uso

Chatarra





La Hidrometalurgia posee grandes ventajas respecto a otros procesos

1. *Mínimos problemas de contaminación ambiental*
2. *Aplicable a menas pobres*
3. *Permite separaciones difíciles (Cu/Fe, Hf/Zr, Co/Ni,)*
4. *Bajo costo de operación*
5. *Menor costo de inversión*
6. *No exige transporte complicado de mineral*
7. *Fácil control de procesos*



HIDROMETALURGIA

1887: Proceso Cianuración Minerales de Oro

1887: Proceso Bayer: $\text{AlO}_2^- \longrightarrow \text{Al(OH)}_3$ ↓

1912: Lixiviación . Electrolisis de Cu en Chile

1940_s: Tecnología del Uranio (Na_2CO_3)

1950_s: Lixiviación a Presión de NiS $\xrightarrow{\text{H}_2}$ Ni⁰

1960_s: Lixiviación Bacteriana

1970_s: Uso de Extracción por Solventes

1980_s: Hidrometalurgia del Oro

(SX, C activado)



Se puede aplicar a cualquier mineral soluble en algún agente lixiviable.

Hidrometalurgia

Procesos en base a reacciones químicas, en soluciones acuosas, para la extracción de metales a partir de sus minerales y concentrados.

Secuencia H.M.

Lixiviación

(disolución)

Purificación y
Concentración

Decantación

Filtración

IX

SX

Recuperación final
del metal o su compuesto

E.W.

Cristalización

Cementación

PPX



I) LIXIVIACION DE MINERALES (leaching)

Es un proceso unitario, extracción sólido-líquido

- en otras áreas se denomina “Percolación”
- proceso de “transferencia de masa” (**Difusión**)

“Es la extracción de un constituyente soluble de un sólido mediante un solvente”

ej.: - producción de café soluble

- extracción lignina de la celulosa con NaOH

- disolución de especies oxidadas de Cu/H₂SO₄

- extracción aceite de semilla, pepas de uva, etc.



Difusión

Proceso tr. masa definido como el entremezclado espontáneo de partículas que forman una solución

$$\frac{dm}{d\theta} = K \cdot A \cdot \Delta C$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
cte. área conc.
difusión de
 transf.



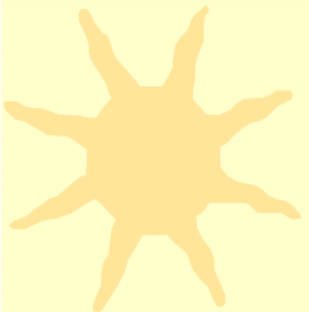
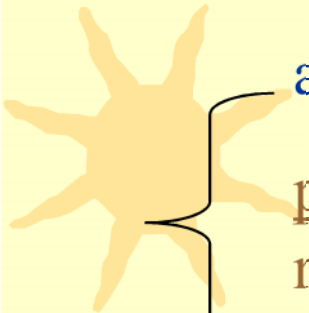
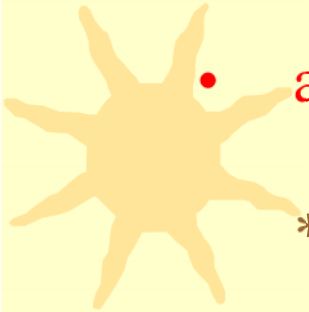
Factores fundamentales que afectan la lixiviación:

- a) Máxima superficie de contacto posible entre las fases sólidas y líquidas

* Tamaño partículas de sólido es importante en la velocidad

$a > \text{tamaño} < \text{área} < V$ transferencias solubles

pero: **Tamaño muy fino** se impide la circulación y el rendimiento baja





b) Viscosidad del solvente (líquido)

- debe ser baja $\longrightarrow$ gran difusión $\longrightarrow$ probabilidad reacción
- debe ser puro al inicio :

Vel. lixiviación decrece en f (tiempo)

pues {
- decrece ∇C (tiende a saturarse)
- solución se hace más viscosa



c) Temperatura

$A > T^{\circ} > \text{solubilidad} > V_{\text{tr. masa}}$

$a > T^{\circ} > K_{\text{difusión}} > dm/d\theta$

¡cuidado! $\longrightarrow$ Podría aumentar solubilidad del componente no deseado

Ej: Cu con H_2SO_4 , el aumento de T° puede provocar una mayor disolución de Fe(III), Ca(II), etc

d) Agitación del solvente

- aumenta la difusión turbulenta $\longrightarrow >$ tr.masa

Homogeniza

(se consideran a.b.c.d en diseño de equipos)

Se lixivia no sólo **minerales**, sino también relaves, ripios y escoria y concentrados.

Relaves: partículas de mineral arrastradas por el agua durante el lavado del mismo, recuperables separándolas del lodo **gangoso** mediante un nuevo lavado. **Asociado a “flotación de minerales”**



Ganga: Material “inútil” que acompaña a los minerales o los rodea en su yacimiento:

SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3

Concentrado: sólido resultante de la flotación, corresponde a mineral mucho más concentrado.

Escoria:

Substancia vitrificada que sobrenada en los metales fundidos

Escorias de altos hornos (convertidores, reverberos) son silíceas ($\text{MO} + \text{H}_2\text{SiO}_3$) y no silíceas (sin H_2SiO_3).

Ripio:

Nombre que se da a los sólidos residuales y empobrecidos de la lixiviación.



Procesos de Lixiviación

(aspectos)

Equilibrio:

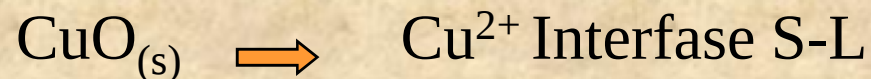
grado saturación (P,T, tipo soluto, solvente)

Velocidad: cinética

conc. Solute,
solvente, T,P,
grado de agitación,
catalizador,
superficie sólido, etc.

Mecanismo

1) Cambio fase del soluto

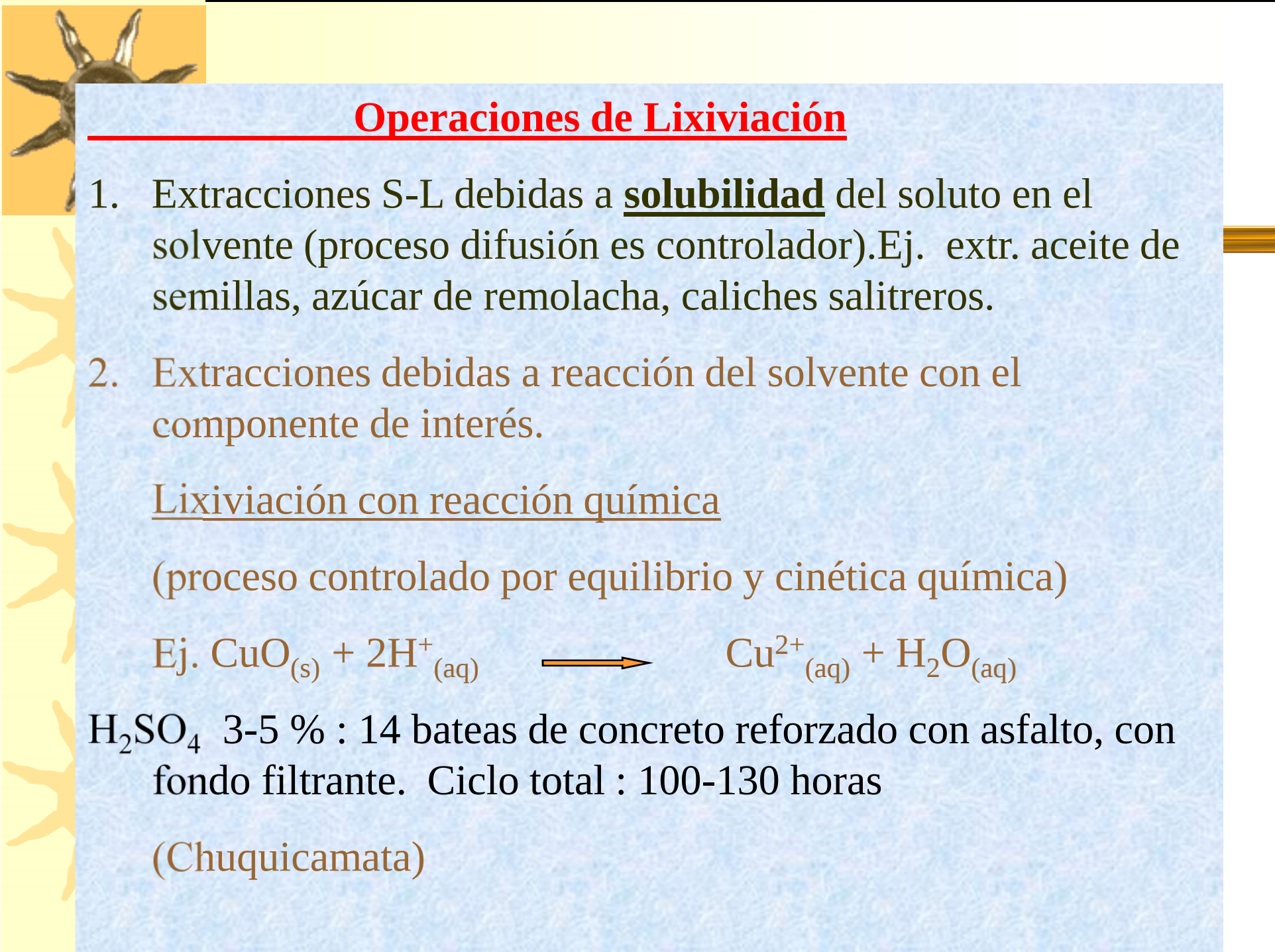


2) Difusión desde superficie sólido hacia la solución (etapa determinante)



**Diseño equipos se debe considerar la corrosividad,
la volatilidad e inflamabilidad del agente lixiviante**

Ej.: HNO_3 $\Rightarrow$ NO, NO_2 , tóxicos
H_2SO_4 $\Rightarrow$ $\text{SO}_2 \Rightarrow$, contaminante
orgánicos $\Rightarrow$ inflamables, volátiles



Operaciones de Lixiviación

1. Extracciones S-L debidas a **solubilidad** del soluto en el solvente (proceso difusión es controlador). Ej. extr. aceite de semillas, azúcar de remolacha, caliches salitreros.
2. Extracciones debidas a reacción del solvente con el componente de interés.

Lixiviación con reacción química

(proceso controlado por equilibrio y cinética química)

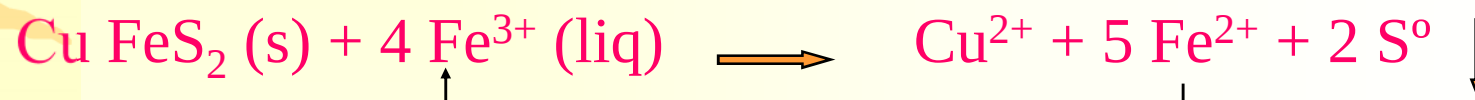


H_2SO_4 3-5 % : 14 bateas de concreto reforzado con asfalto, con fondo filtrante. Ciclo total : 100-130 horas

(Chuquicamata)



..) Calcopirita: CuFeS_2 con FeCl_3



regeneración (O_2 , Cl_2 , etc)



Etapas prácticas propias de una lixiviación

1. Disolución de los solubles

(lixiviación propiamente tal)

2. Separación de la solución formada del residuo sólido insoluble (Ripio de lixiviación)

(filtración y/o decantación)

3. Lavado del residuo sólido (ripio)

↘ (relave)

(lixiviación secundaria)



Lixiviación Química o Lixiviación Metalúrgica

“Disolución selectiva de metales solubles mediante un solvente líquido para separarlo de las impurezas del mineral”.

- Equilibrio termodinámico
- Cinética de la reacción química

La velocidad de reacción puede cambiar de acuerdo al grado de avance de la lixiviación.

- Se lixivia cuando el metal a extraer es más reactivo con el solvente que las impurezas a remover (selectividad)
- La reacción debe ser (además de selectiva), rápida, con solvente barato o fácilmente regenerado.



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

