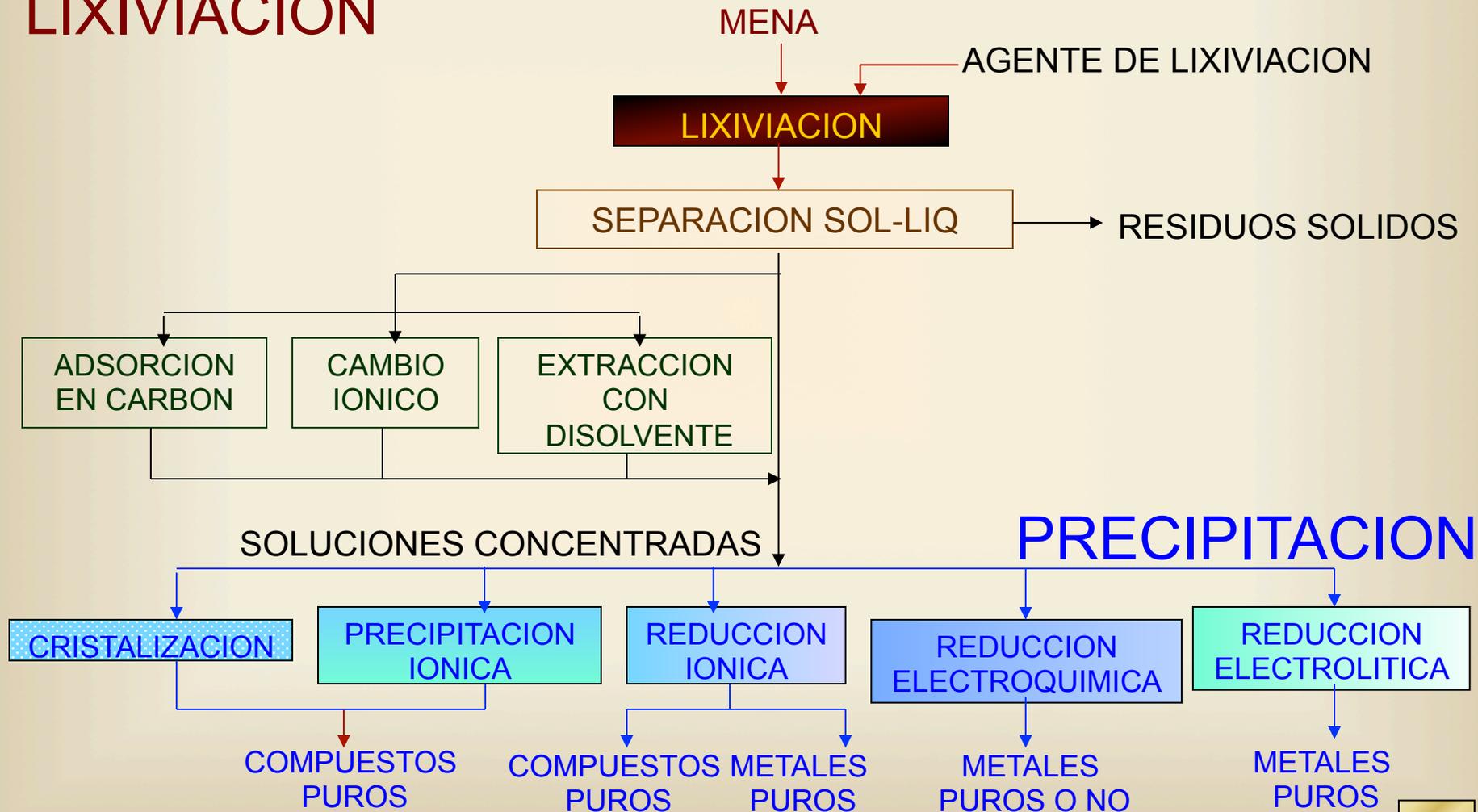


# DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESO PIROMETALURGICO



# DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESO HIDROMETALURGICO

## LIXIVIACION



## COMPARACION FACTORES ENTRE HIDRO- Y PIROMETALURGIA

<u>Factor de comparación</u>	<u>Pirometalurgia</u>	<u>Hidrometalurgia</u>
Consumo energía	<ul style="list-style-type: none"><li>-Tª elevada</li><li>-Alta capacidad producción</li><li>-Recuperación calor</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Tª moderada o baja</li><li>-Consumo pequeño</li><li>-Baja capacidad producción</li></ul>
Emisión de polvos	<ul style="list-style-type: none"><li>-Grandes emisiones</li><li>-Recuperación polvos</li><li>-Equipo caro y complejo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Opera en húmedo</li></ul>
Gases tóxicos	<ul style="list-style-type: none"><li>-Elevados caudales de gases</li><li>-Reactores herméticos</li><li>-Eliminación gases tóxicos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-En general, sin gases tóxicos</li></ul>
Residuos sólidos	<ul style="list-style-type: none"><li>-Escorias gruesas y no tóxicas</li><li>-Residuos finos y tóxicos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Residuos finos en húmedo.</li><li>-Aporte metales disueltos</li><li>-En seco, polvos</li></ul>



## COMPARACION FACTORES ENTRE HIDRO- Y PIROMETALURGIA

<u>Factor de comparación</u>	<u>Pirometalurgia</u>	<u>Hidrometalurgia</u>
Tratamiento sulfuros	-Generan SO <sub>2</sub> -Problemática	-No generan SO <sub>2</sub> -Obtención S <sup>0</sup>
Tratamiento de menas complejas	-Desaconsejable por dificultades de separación	-Muy aconsejable
Tratamiento de menas de baja ley	-Desaconsejable por pérdidas de energía para fundir la ganga	-Muy aconsejable
Economía	-Más aconsejable para operaciones a gran escala -Grandes immobilizados	-Aconsejable operaciones a pequeña escala -Bajo I. Bajos costes.



## CONSUMO ENERGETICO EN LA PRODUCCION DE METALES

<b>Metal</b>	<b>Energía (GJ/t metal)</b>			<b>Ahorro (%)</b>
	<b>Primaria</b>	<b>Secundaria</b>	<b>Ahorro</b>	
<b>Magnesio</b>	<b>372</b>	<b>10</b>	<b>362</b>	<b>97.3</b>
<b>Aluminio</b>	<b>253</b>	<b>13</b>	<b>240</b>	<b>94.9</b>
<b>Níquel</b>	<b>150</b>	<b>16</b>	<b>134</b>	<b>89.3</b>
<b>Cobre</b>	<b>116</b>	<b>19</b>	<b>97</b>	<b>83.6</b>
<b>Zinc</b>	<b>68</b>	<b>19</b>	<b>49</b>	<b>72.1</b>
<b>Acero</b>	<b>33</b>	<b>14</b>	<b>19</b>	<b>57.6</b>
<b>Plomo</b>	<b>28</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>64.3</b>



## METODOS DE LIXIVIACION

<b>Método</b>	<b>Term. inglesa</b>	<b>Presión</b>	<b>T<sup>a</sup></b>	<b>Agitación</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Tiempo</b>
<b>In situ</b>	Solution mining	Atm.	Amb. (?)	No	?	Años
<b>Escombreras</b>	Dump Leaching	Atm.	Amb. (?)	No	AMG	Años
<b>Pilas</b>	Heap Leaching	Atm.	Amb.	No	< 1 cm	6-24 meses
<b>Inundación</b>	Vat Leaching	Atm.	Amb.	No	< 1 cm	Días
<b>Pulpa</b>	Pulp Leaching	Atm.	< 100 °C	Sí	Finos	Horas
<b>Presión</b>	Pressure Leaching	5-50 bar	110-200°C	Sí	Finos	Horas



# AGENTES LIXIVIANTE

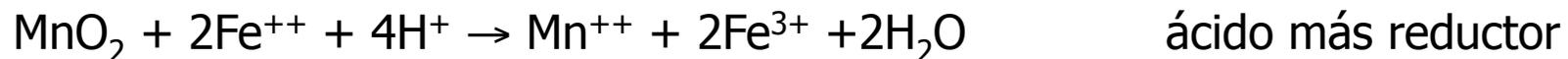
## Criterios de selección:

Precio y disponibilidad  
Posibilidad de regeneración  
Selectividad  
Efectos corrosivos  
Efectos contaminantes de sus vertidos

## Agentes ácidos:

### Sobre óxidos:

Se emplea directamente sobre óxidos en los que el catión es soluble al pH del ácido(p.e. CuO; ZnO)



### Sobre sulfuros:

El ataque ácido simple solo sirve para aquellos sulfuros con un producto de solubilidad no muy bajo, como SFe ; SZn ; SNi ; Sco.

En general, son necesarias concentraciones de ácido muy elevadas.

## **Agentes alcalinos:**

Su utilización se basa en el carácter anfótero de muchos óxidos metálicos. Ejemplo típico, el proceso Bayer:



## **Agentes oxidantes:**

Oxígeno, cloro, cloruro férrico, dióxido de manganeso, persulfatos, peróxido de hidrógeno, etc.

Empleo de la lixiviación con oxígeno a presión. Productos de reacción en función del pH. Formación de azufre elemental. Oxidación en medio acuoso:



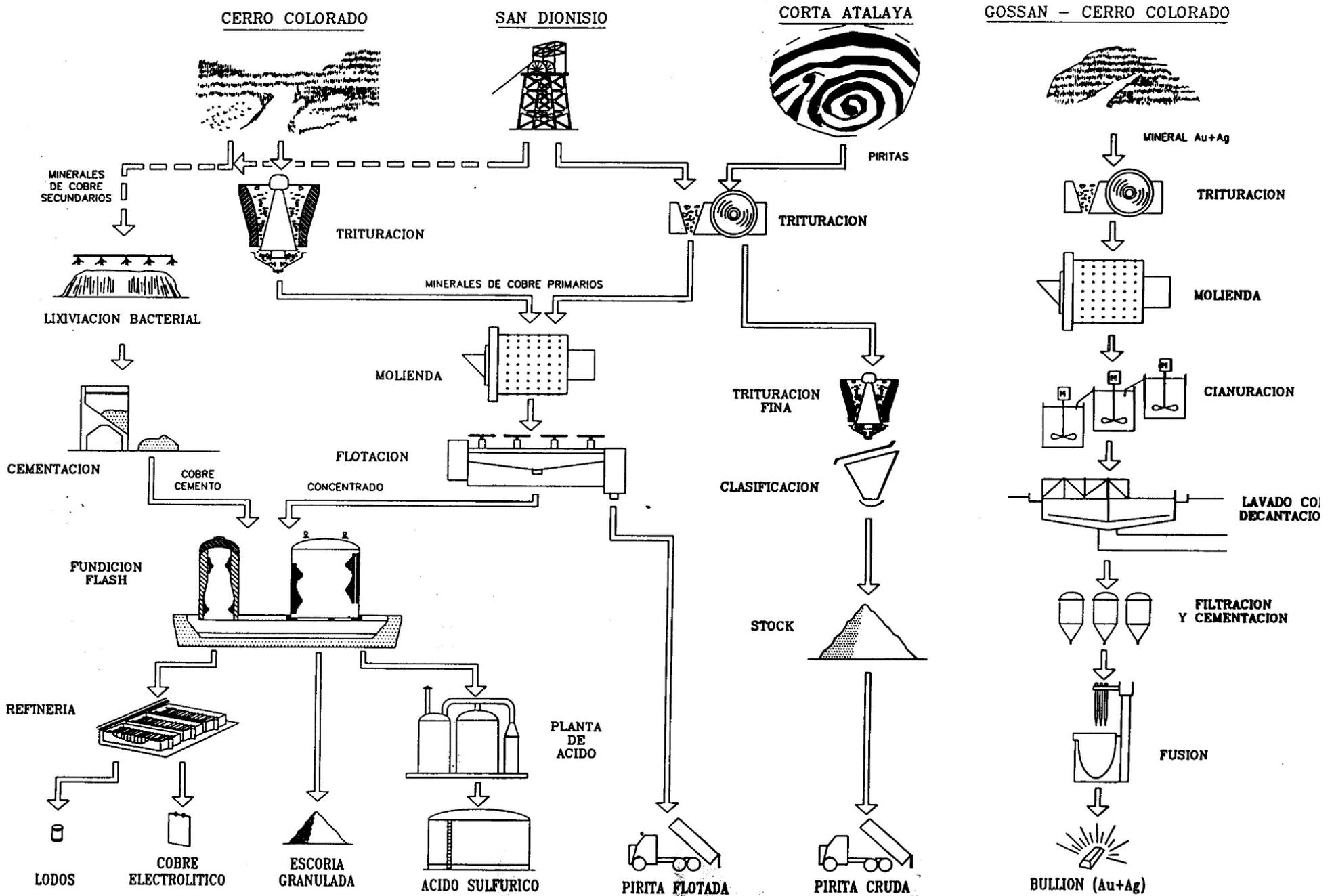
## **Agentes reductores:**

Poco frecuente. Cuando surge la necesidad, se suele recurrir a tratamiento de reducción pirometalúrgica. Ejemplo: lixiviación ácido-reductora de minerales de manganeso

## **Agentes complejantes:**

Gran interés en hidrometalurgia: posibilitan reacciones de lixiviación e introducen una marcada selectividad: Cianuros, cloruros, amoníaco, etc.

# ESQUEMA DE PRODUCCION DE RIO TINTO MINERA, S.A.



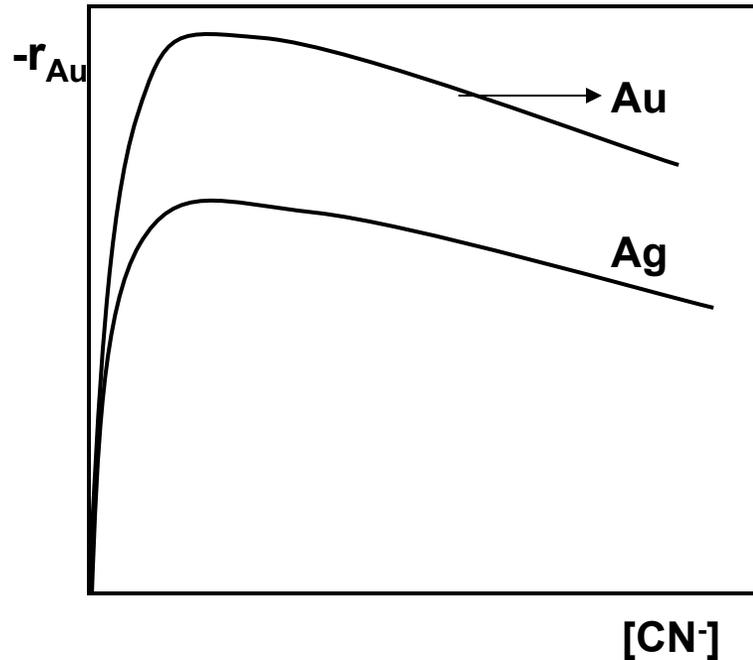
# CIANURACION DEL ORO METALICO

Reacción principal:



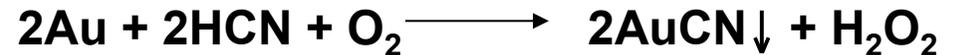
VARIABLES DEL PROCESO:

-Efecto de la concentración de cianuro:



El aumento en la concentración de cianuro conduce a la formación de cianhídrico

El agua saturada con HCN (gas) y  $\text{O}_2$  ataca al oro con formación de  $\text{AuCN}$ , insoluble.



# CIANURACION DEL ORO METALICO

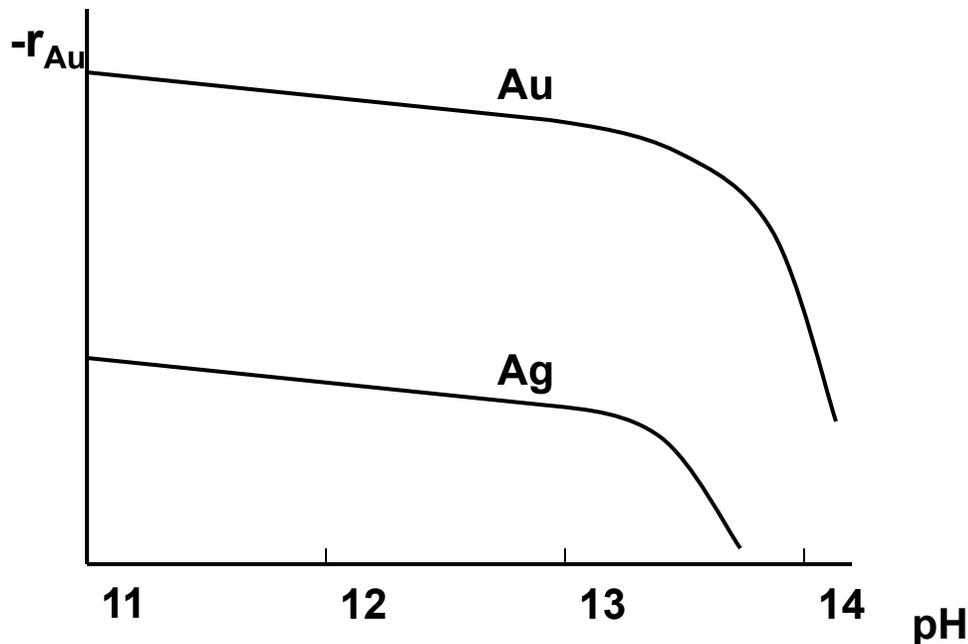
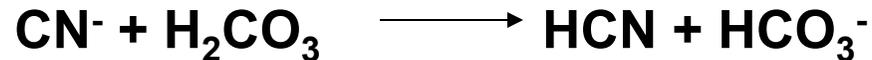
## Efecto del pH:

Es esencial que la disolución de ataque sea alcalina para:

1.- Prevenir la hidrólisis del cianuro, de acuerdo con:



2.- Prevenir la descomposición del  $\text{CN}^-$  por el  $\text{CO}_2$  atmosférico:



## Efecto de la Temperatura

Aumenta velocidad de reacción.  
Disminuye solubilidad del  $\text{O}_2$   
Óptima a  $85^\circ \text{C}$ .

## Efecto de la concentración de $\text{O}_2$

Aumenta con ella

# MENAS METALICAS EN FORMA DE OXIDOS

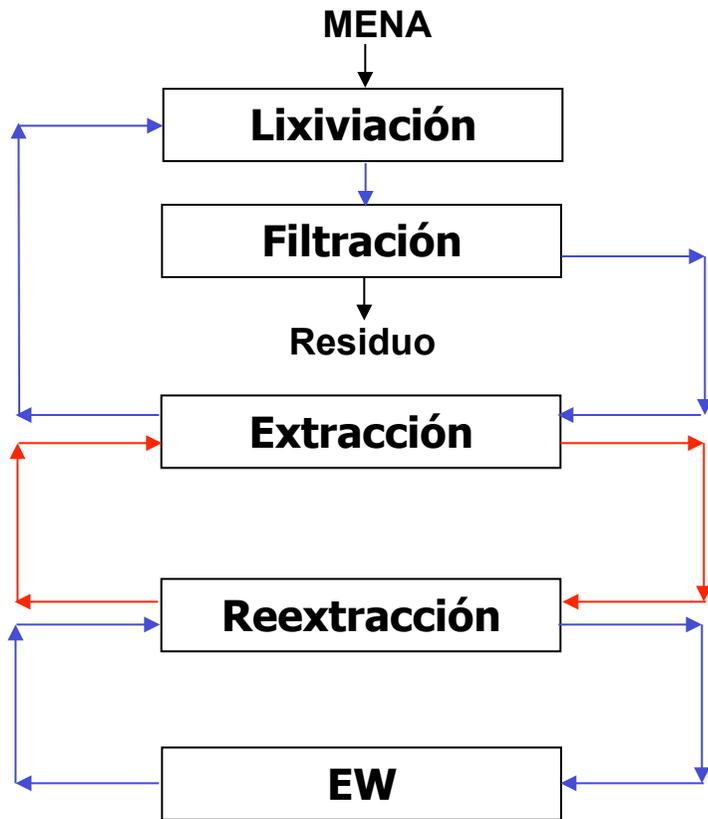
## OXIDOS SIMPLES

<u>Metal</u>	<u>Nombre</u>	<u>Fórmula</u>
Al	Gibbsita	$\text{Al}(\text{OH})_3$
	Bohemita	$\text{AlOOH}$
	Diásporo	$\text{AlOOH}$
Cu	Cuprita	$\text{Cu}_2\text{O}$
	Tenorita	$\text{CuO}$
	Malaquita	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
	Azurita	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
	Brocantita	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$
Fe	Magnetita	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
	Hematites	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
	Limonita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
	Goethita	$\text{FeOOH}$
	Siderita	$\text{FeCO}_3$
Mn	Pirolusita	$\text{MnO}_2$
	Manganita	$\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
	Hausmantita	$\text{Mn}_3\text{O}_4$
Sn	Casiterita	$\text{SnO}_2$
U	Uraninita	$\text{UO}_2$
	Pechblenda	$\text{U}_3\text{O}_8$
Zn	Zincita	$\text{ZnO}$
	Hidrozinca	$\text{ZnCO}_3 \cdot 2\text{Zn}(\text{OH})_2$
	Smithsonita	$\text{ZnCO}_3$

## OXIDOS COMPLEJOS

<u>Metal</u>	<u>Nombre</u>	<u>Fórmula</u>
Cr	Cromita	$\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$
Nb	Columbita	$\text{Nb}_2\text{O}_5 \cdot (\text{Fe}, \text{Mn})\text{O}$
	Pirocloro	$\text{Nb}_2\text{O}_5 \cdot \text{CaO}$
Ta	Tantalita	$\text{Ta}_2\text{O}_5 \cdot (\text{Fe}, \text{Mn})\text{O}$
Ti	Ilmenita	$\text{TiO}_2 \cdot \text{FeO}$
W	Scheelita	$\text{WO}_3 \cdot \text{CaO}$
	Wolframita	$\text{WO}_3 \cdot \text{FeO}$

# LIXIVIACIÓN SULFÚRICA DE ÓXIDOS DE COBRE



## REACCIONES

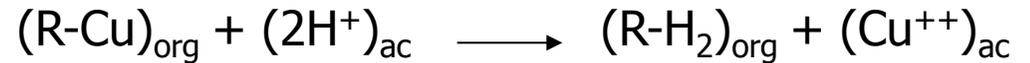
### Lixiviación



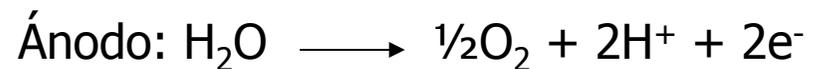
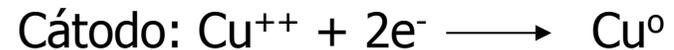
### Extracción



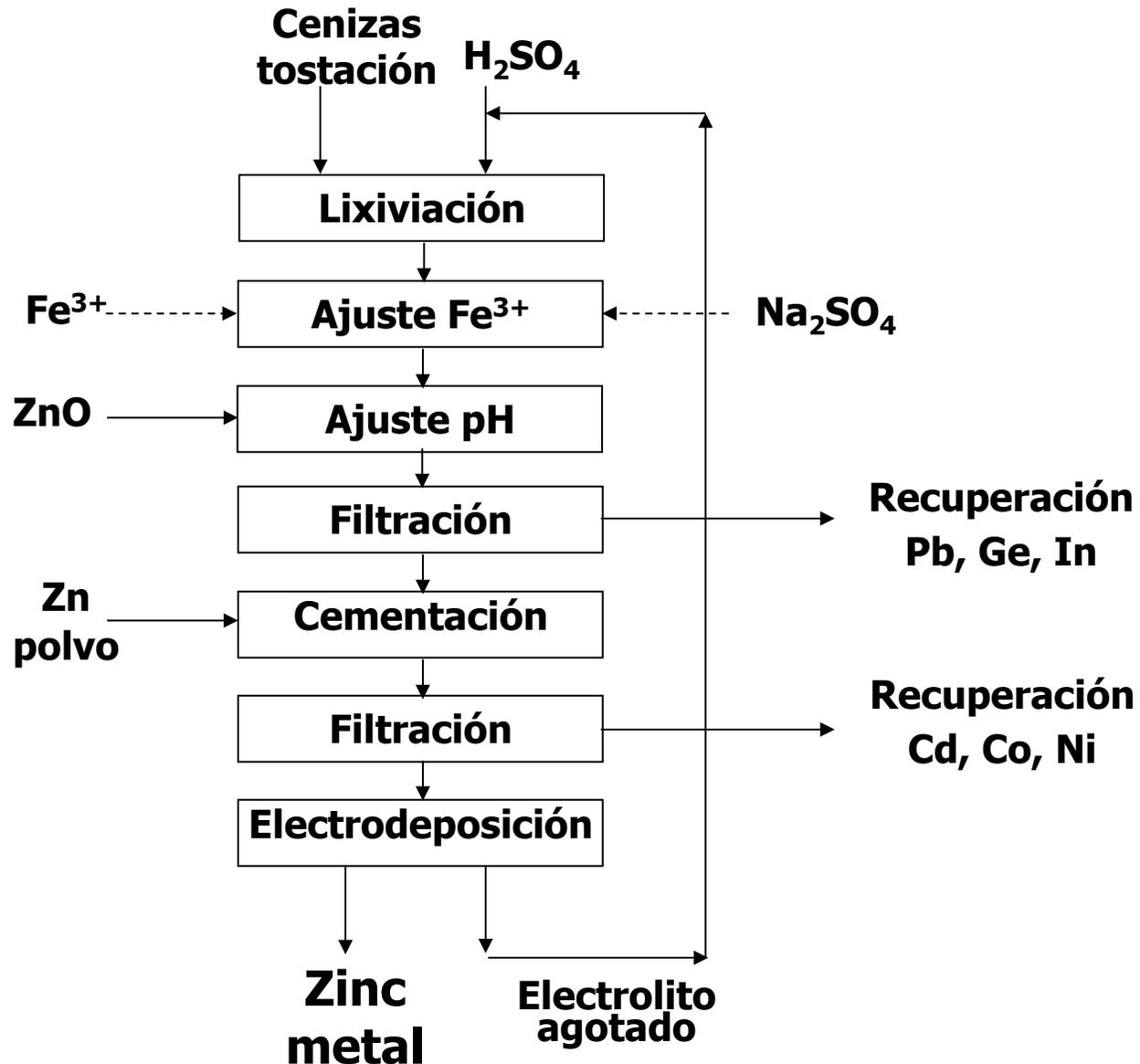
### Reextracción



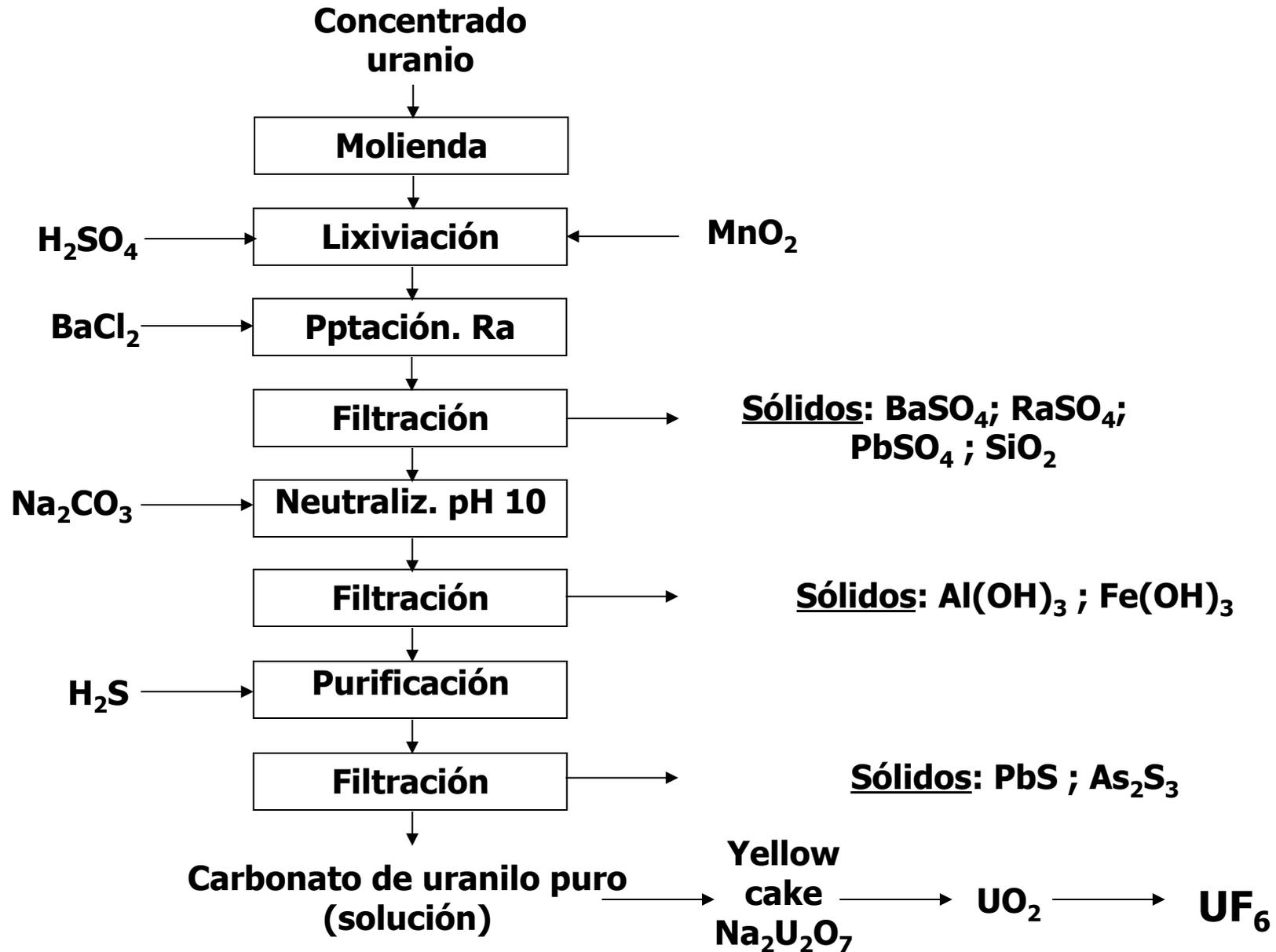
### Electrodeposición



# LIXIVIACIÓN SULFÚRICA DE ÓXIDOS DE ZINC



# LIXIVIACIÓN SULFÚRICA DE ÓXIDOS DE URANIO



# LIXIVIACION DE SULFUROS CON OXIGENO A PRESION

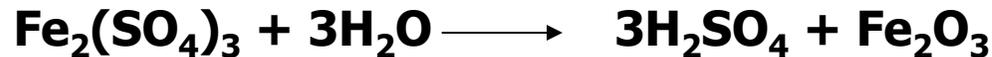
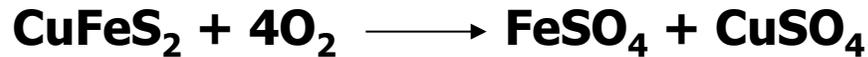
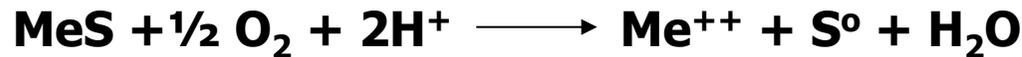
Aplicación a concentrados semiglobales.

Datos de operación: Dp:6-12% ; T<sup>a</sup>: 200-230°C ; P: 30 bar ; t<sub>R</sub> : 1-2 h

Composición típica:

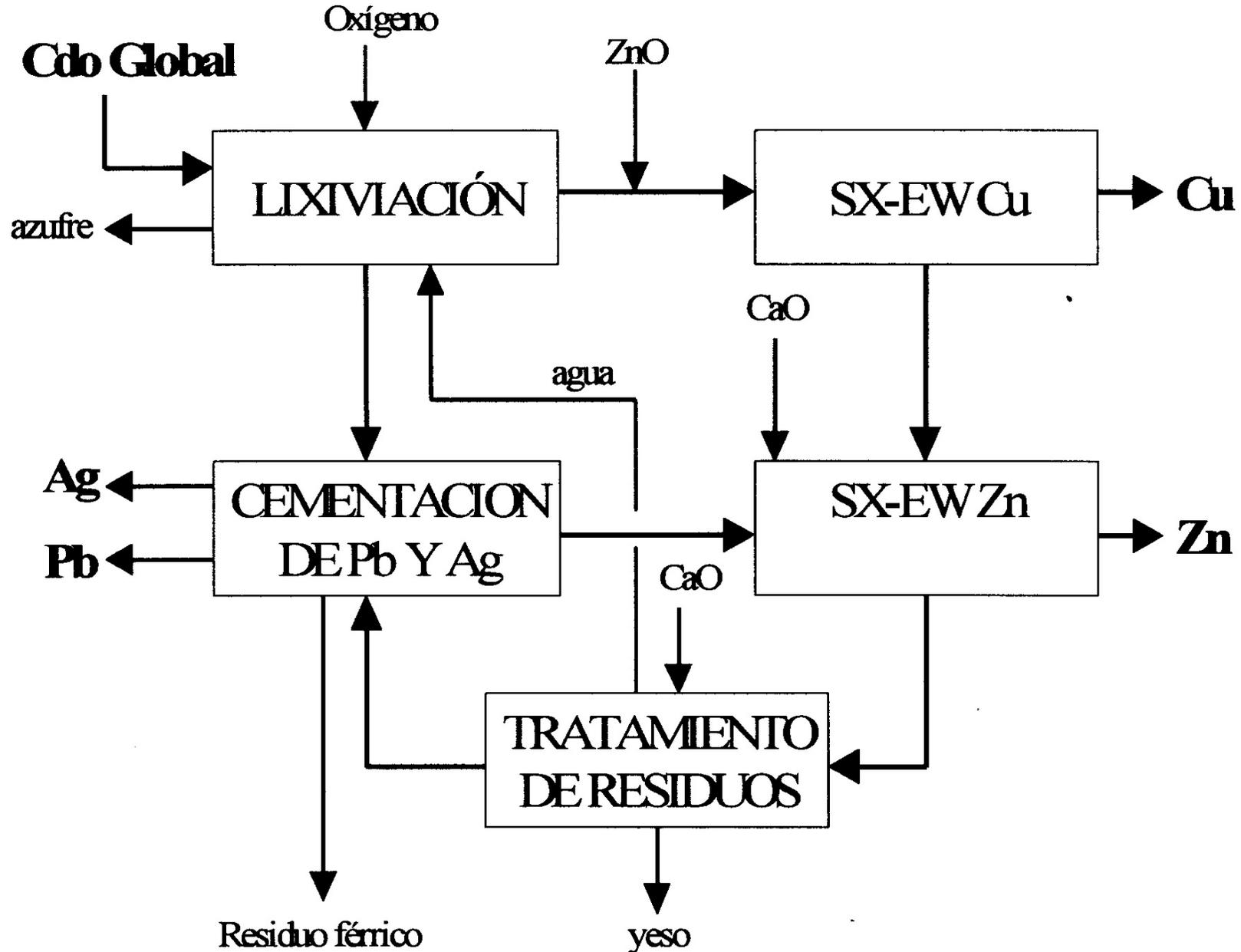
Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	S <sub>2</sub> CuFe (%)	SZn (%)	SPb (%)	S <sub>2</sub> Fe (%)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (kg/t)*	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (kg/t) <sup>m</sup>
7.3	30.9	9.5	21.08	45.57	10.97	22.38	1095	730

## REACCIONES IMPLICADAS



- Precipita todo el Fe. Cu y Zn van en disolución; Pb y Ag van en el residuo sólido.
- Las condiciones para máxima extracción de Cu y Zn, producen mucho ácido.
- Las condiciones suaves generan S<sup>0</sup> (problemas técnicos para el continuo).

# LIXIVIACION DE SULFUROS CON OXIGENO A PRESION



# *ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS*

**GRAM-NEGATIVA**

**QUIMIOLITOTROFA  
OBLIGADA**

**FORMA BACILAR  
(1 x 0.5  $\mu\text{m}$ )**

**MOVIL POR  
FLAGELO POLAR**

**MESOFILA**

Temperatura optima  
de crecimiento: 31°C

**ACIDOFILA**

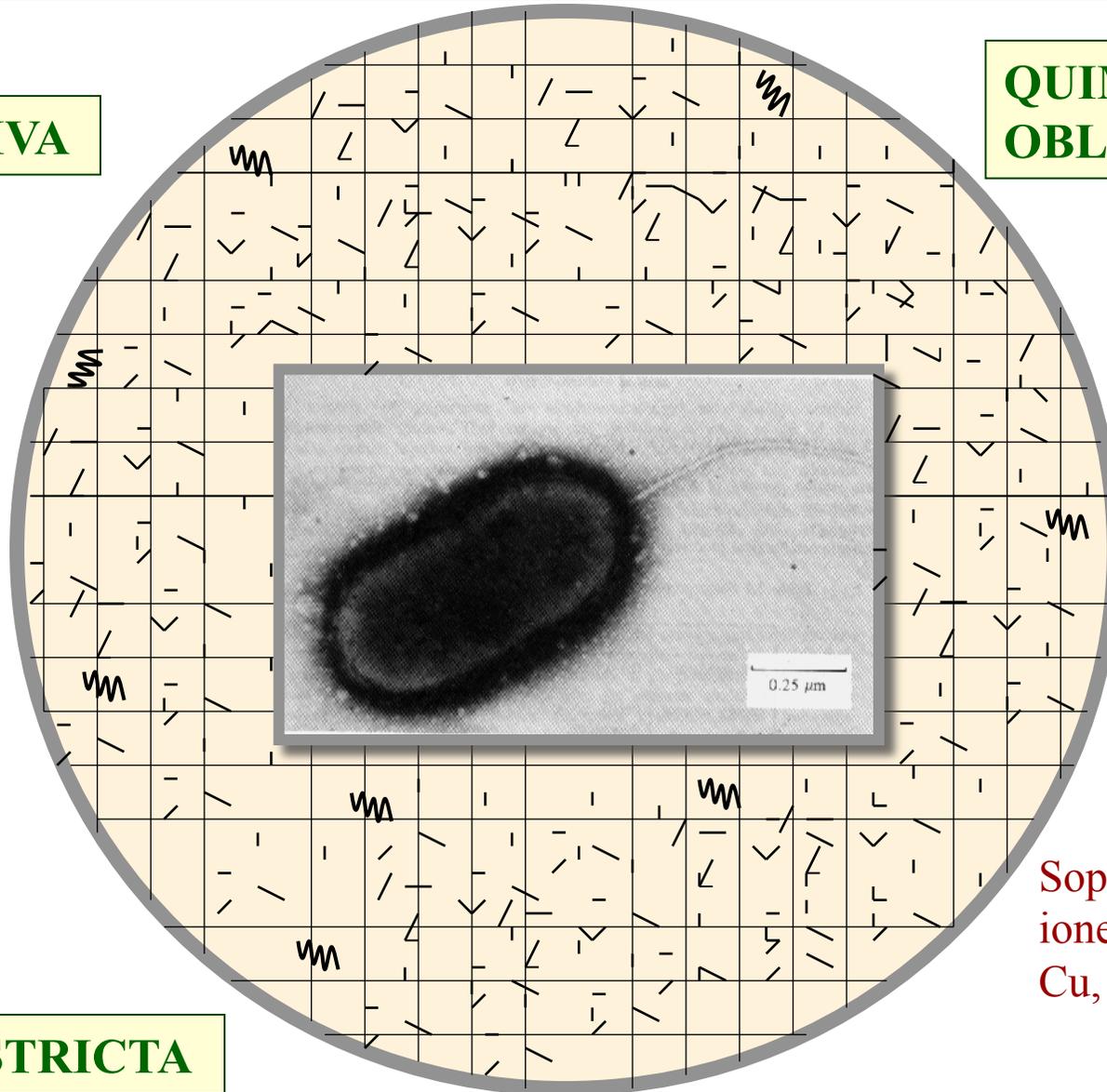
Crece en un rango  
de pH entre 1 y 5

Se encuentra aislada  
o en parejas

Soporta la presencia de  
iones metálicos de Zn, Ni,  
Cu, Al, Co, Mn, etc...

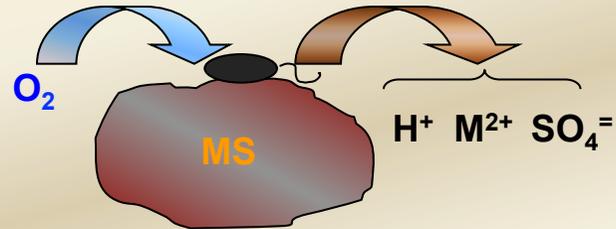
**AUTOTROFA ESTRICTA**

**ESTRICTAMENTE AEROBIA**

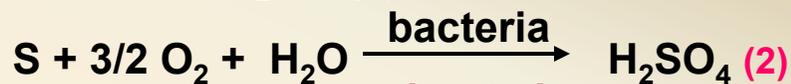
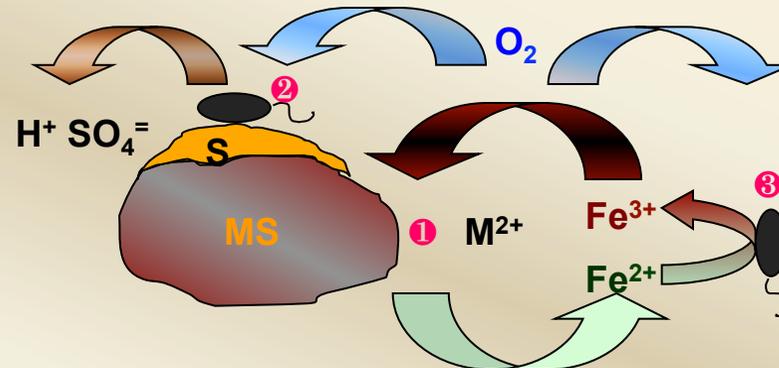


# MECANISMOS DE BIOLIXIVIACION

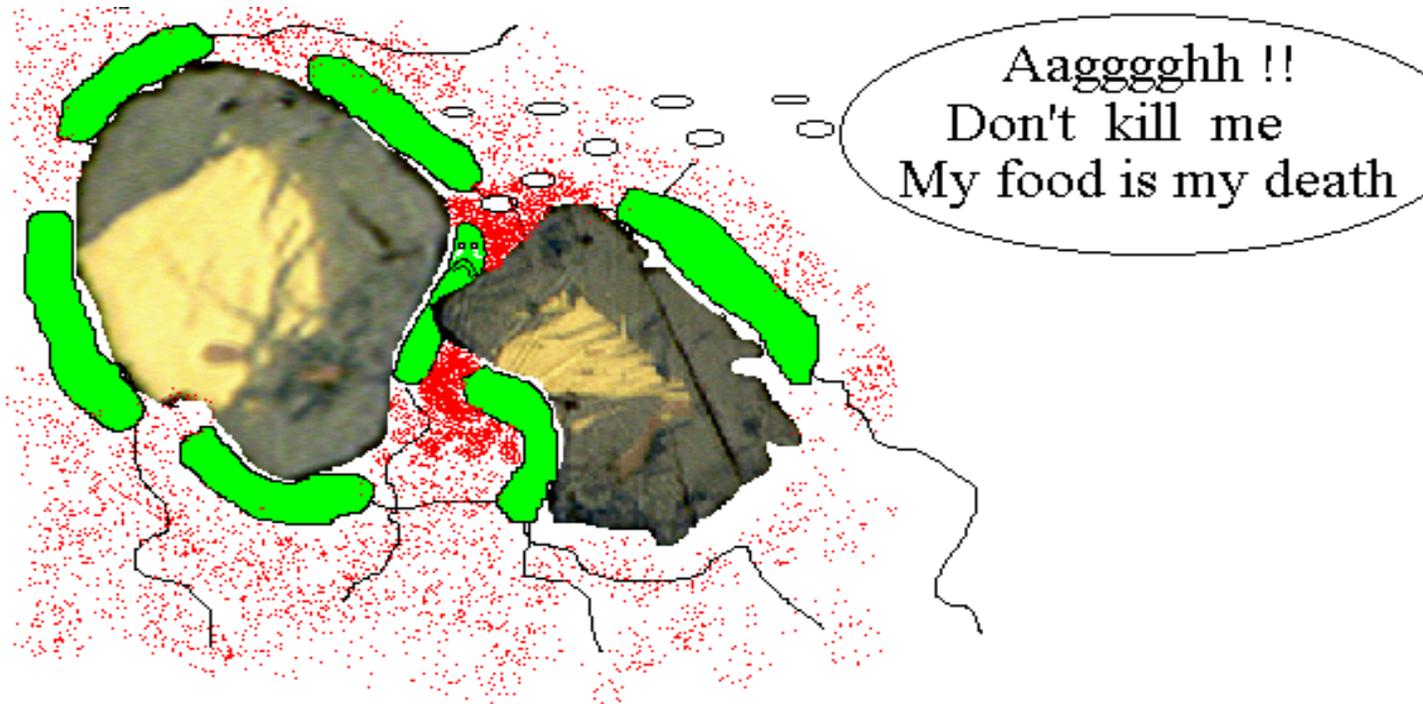
## MECANISMO DE CONTACTO DIRECTO



## MECANISMO DE CONTACTO INDIRECTO

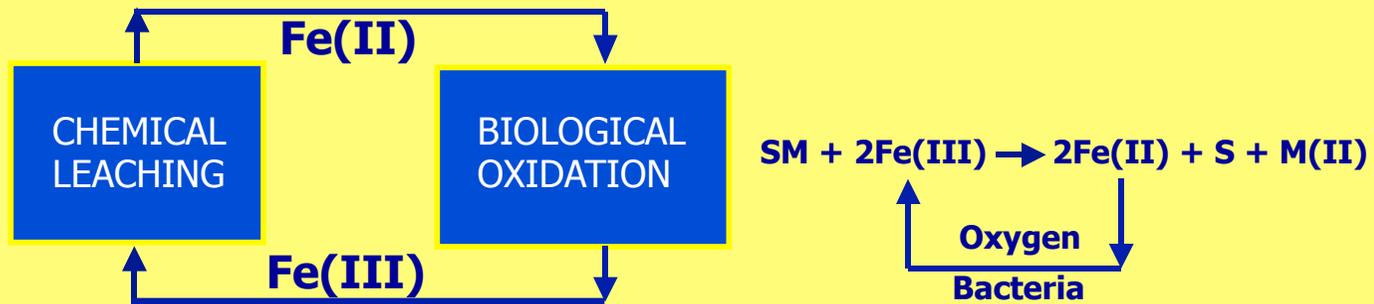


# ABRASION EFFECT OF AGITATION



# BRISA PROCESS ADVANTAGES

## CHEMICAL AND BIOLOGICAL EFFECTS SEPARATION



### ADVANTAGES

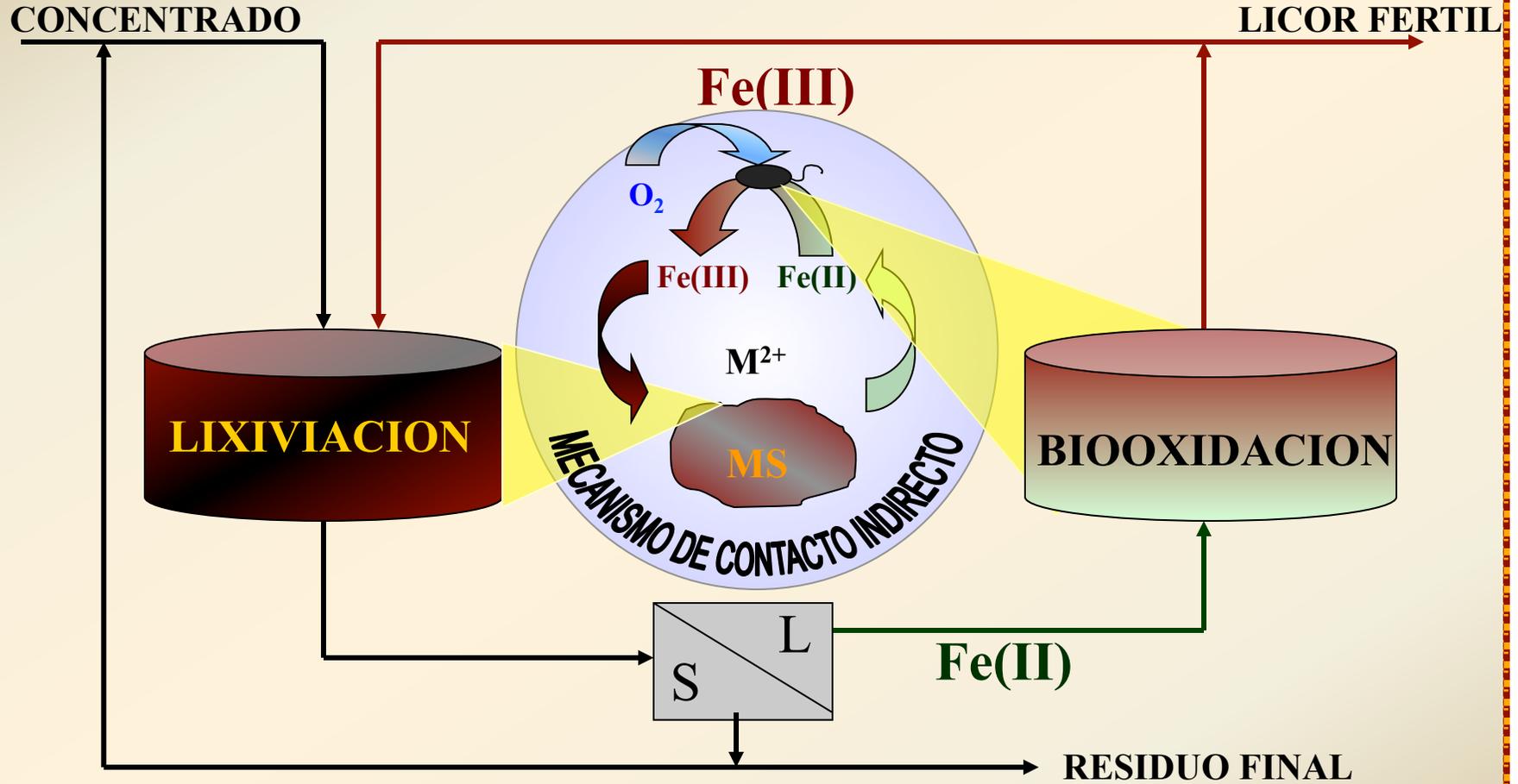
#### CHEMICAL LEACHING

- Thermal activation
- Use of catalysts

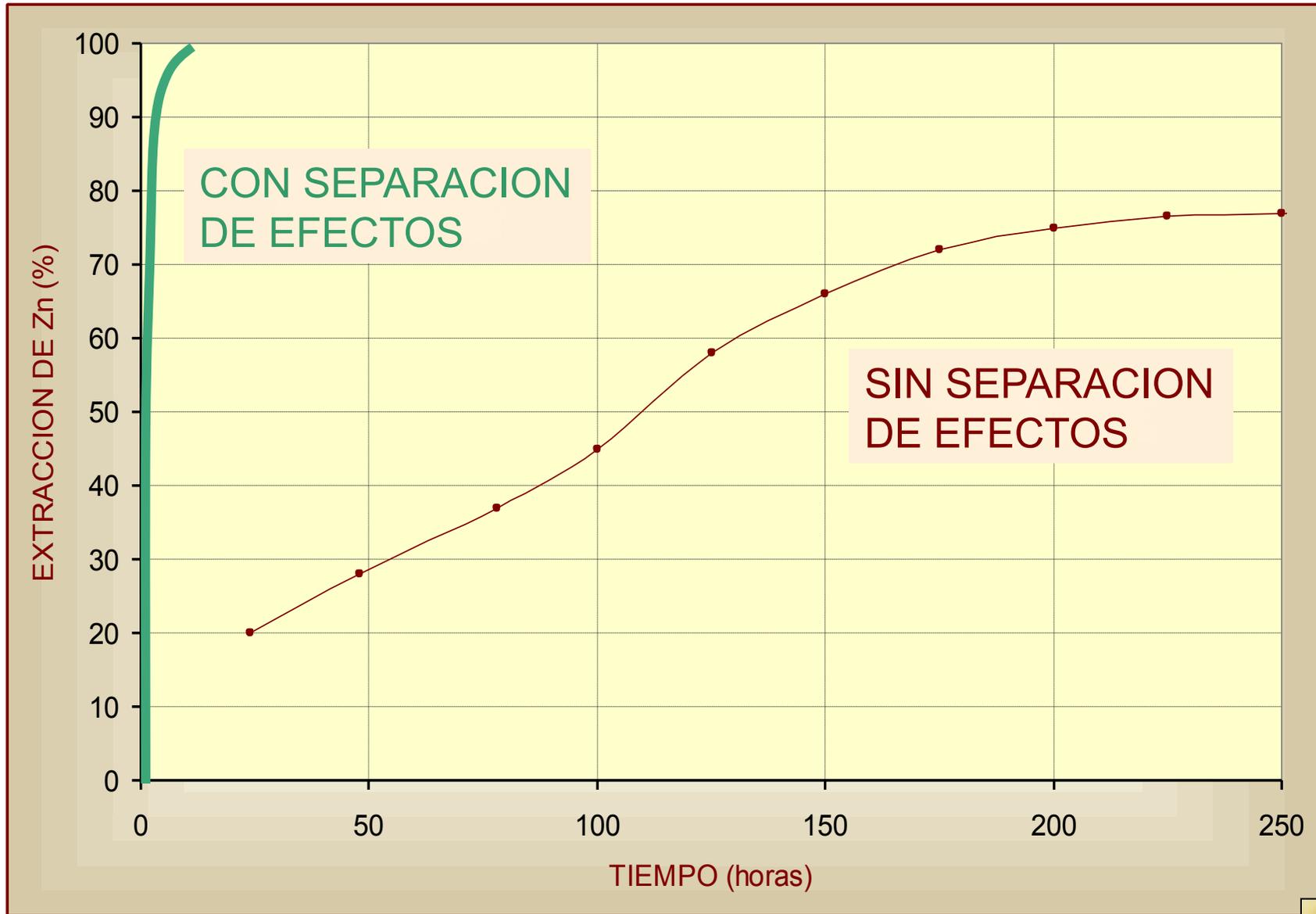
#### BIOLOGICAL OXIDATION

- Use of biofilm reactors
- Large surface for attachment
- More effective supply of  $O_2$  and  $CO_2$
- No attrition problem

# SEPARACION DE EFECTOS

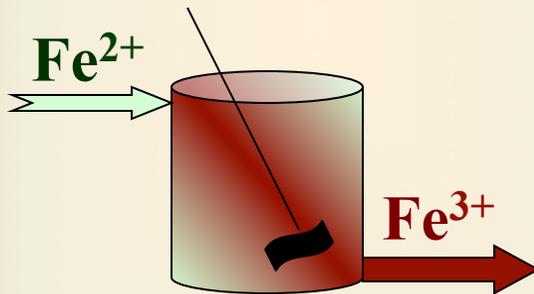


# SEPARACION DE EFECTOS

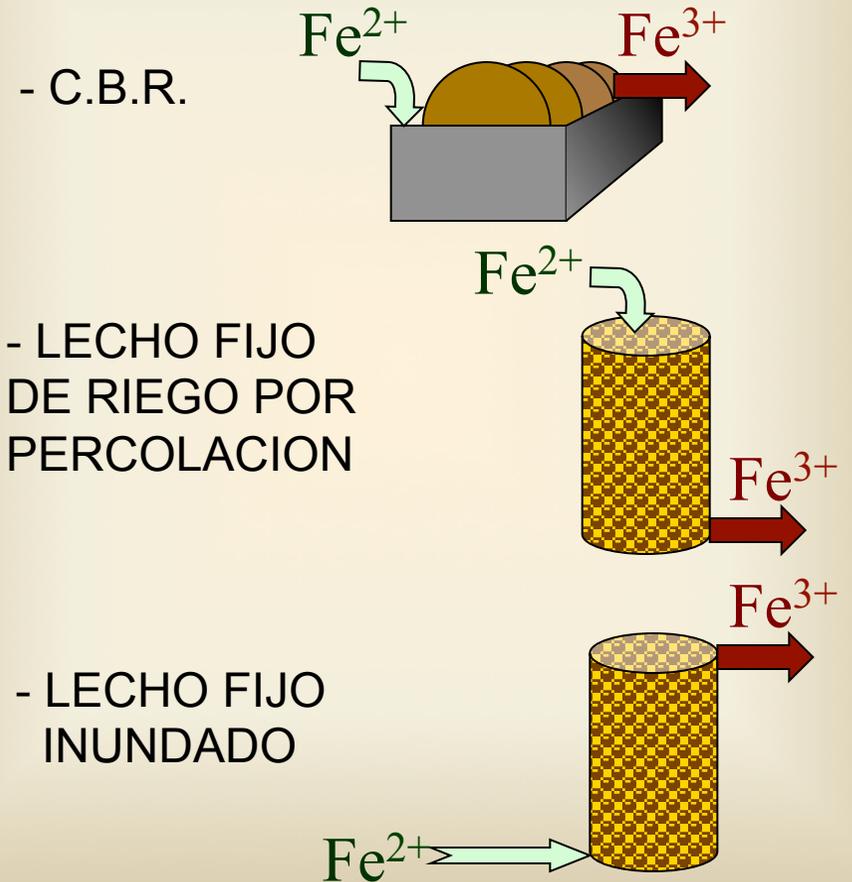


# BIOOXIDACION EN CONTINUO

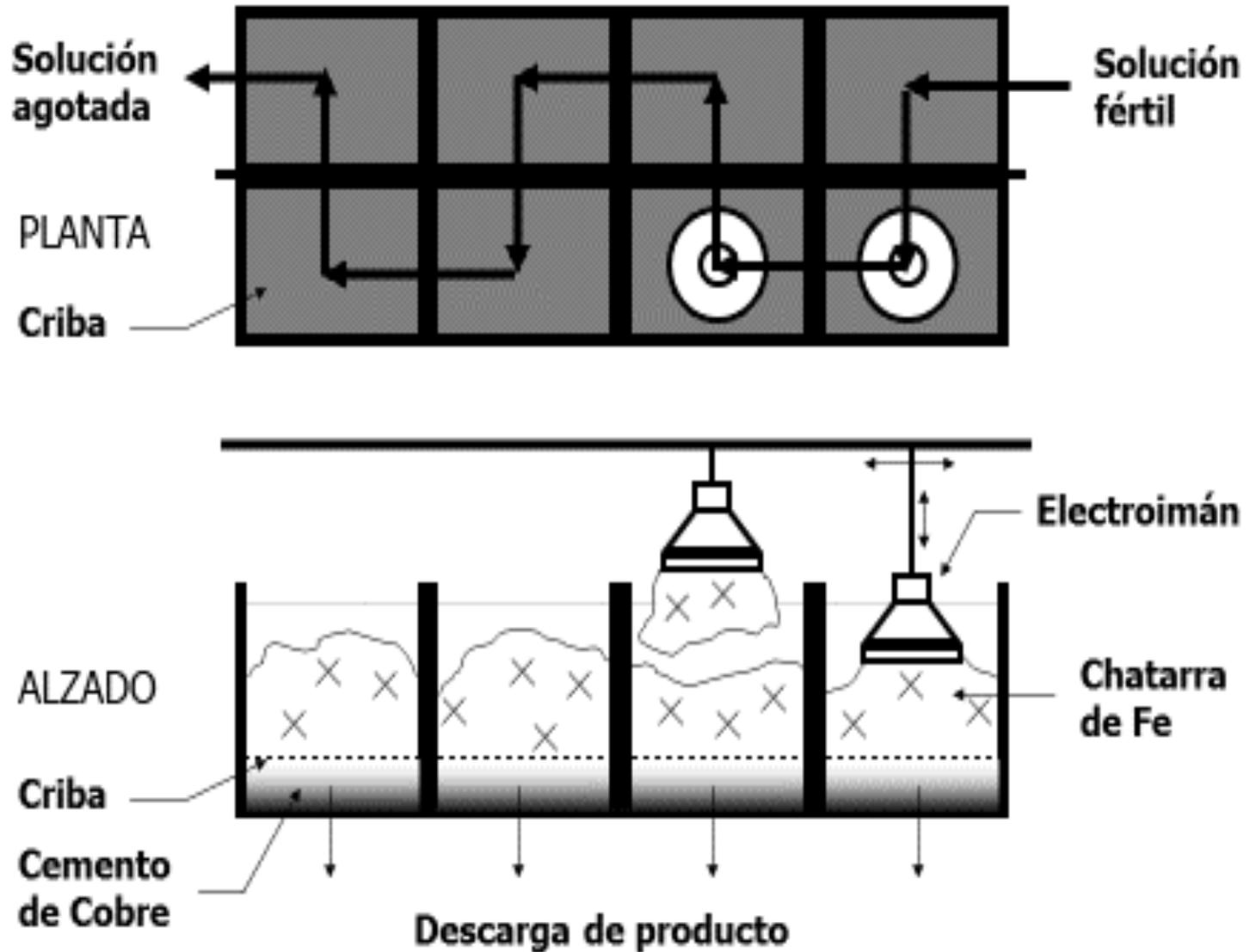
## MODELO DE SUSPENSION BACTERIANA



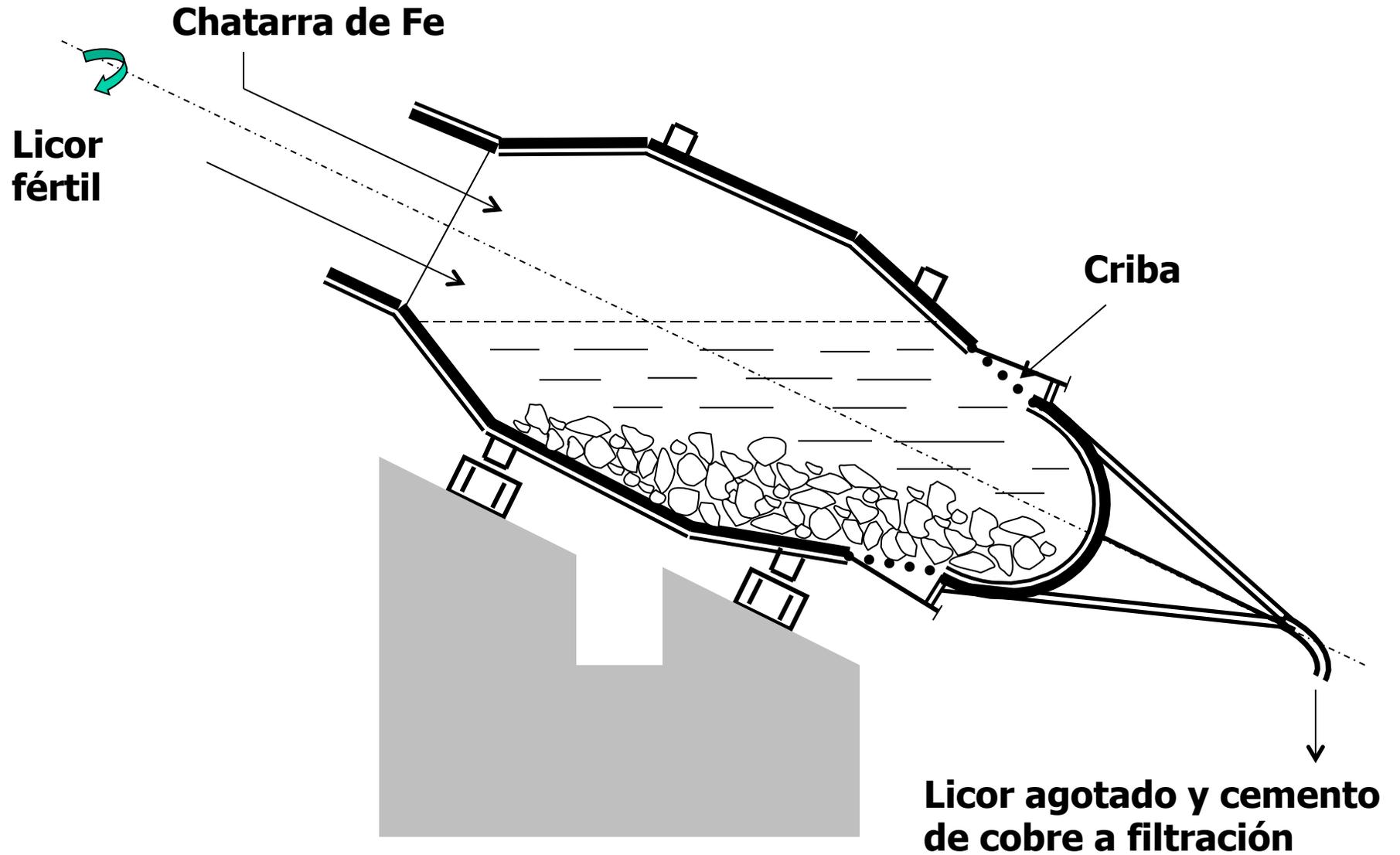
## MODELO DE PELICULA BACTERIANA SOPORTADA



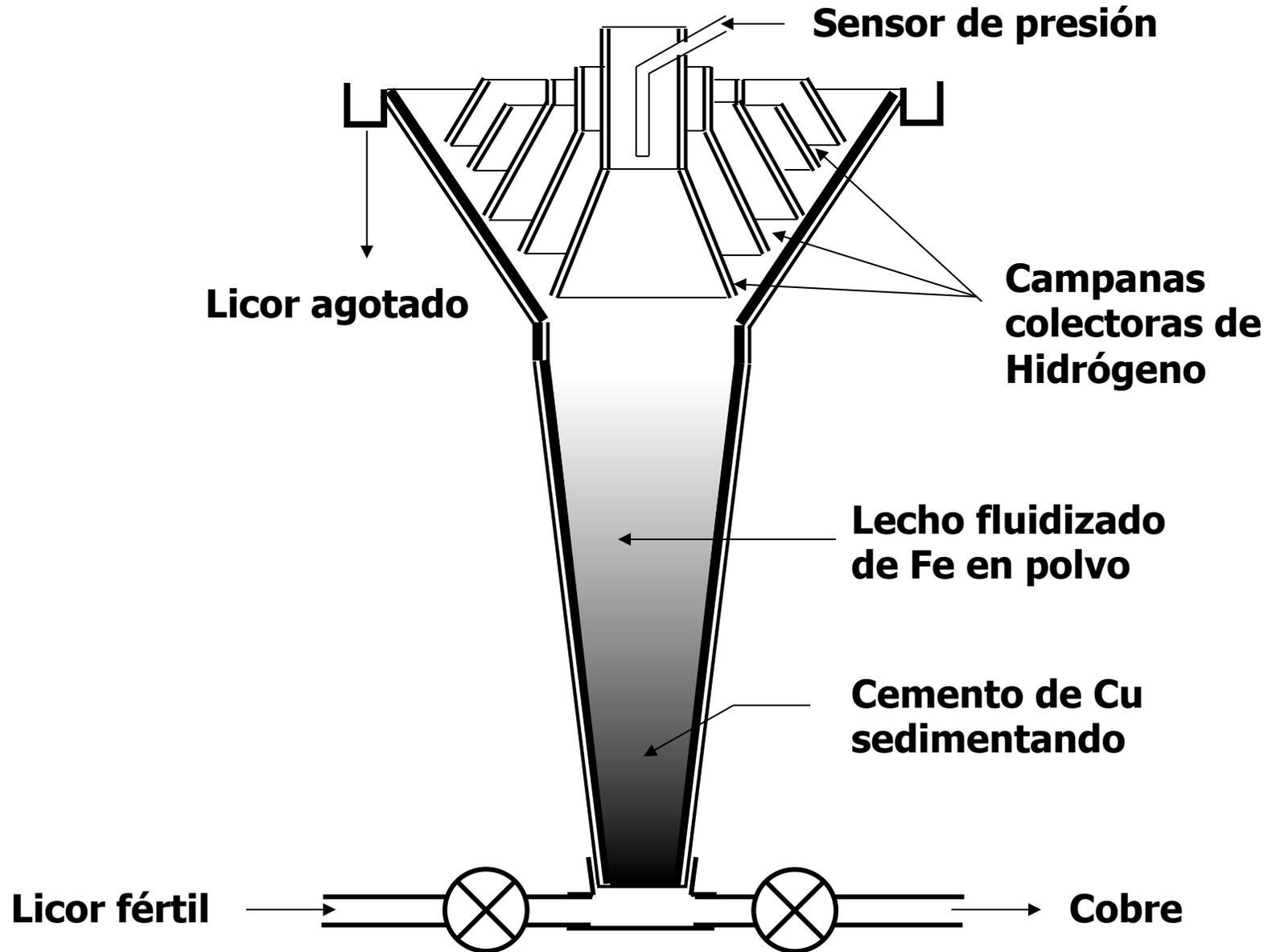
# CEMENTACIÓN: PRECIPITADOR DE CANALEO



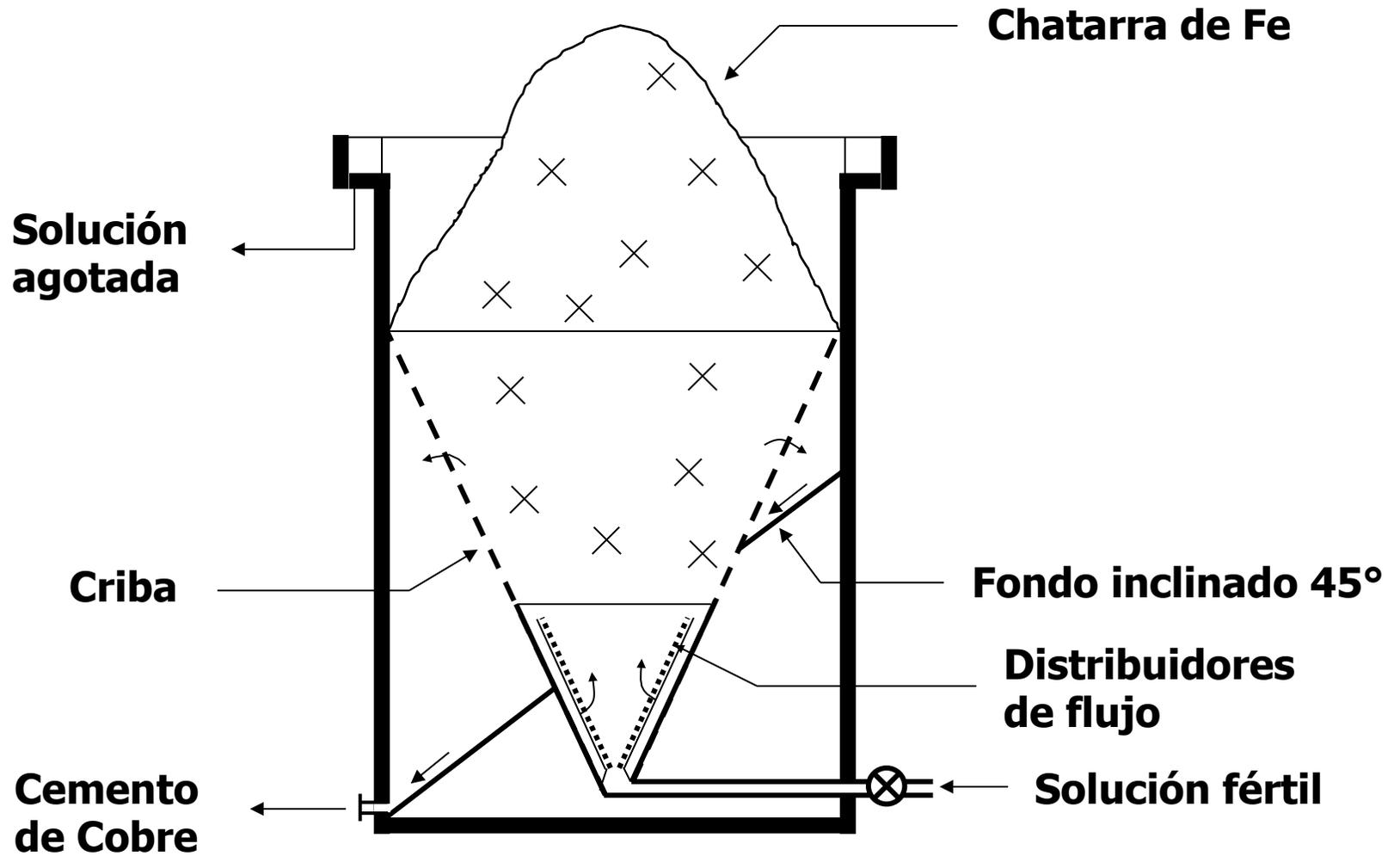
# CEMENTACIÓN: TAMBOR ROTATORIO



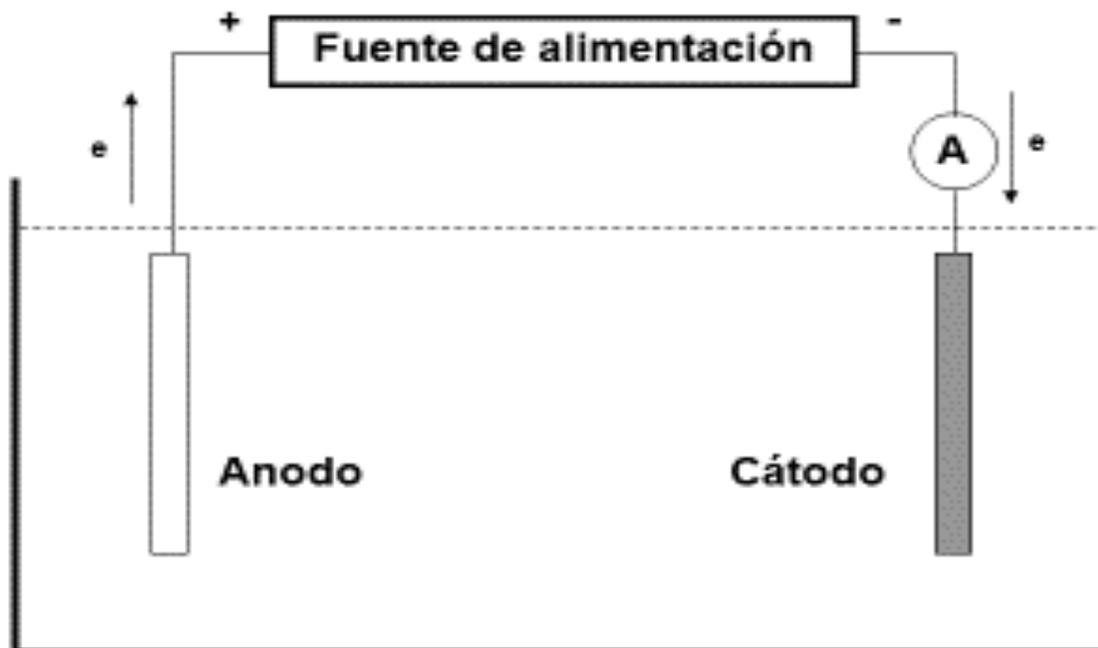
# CEMENTACIÓN: PRECIPITADOR DE CONO (Fe polvo)



# CEMENTACIÓN: PRECIPITADOR DE CONO (Fe chatarra)



# PRECIPITACIÓN ELECTROLÍTICA



## EJEMPLOS

Zn m OH<sup>-</sup>

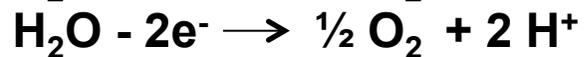
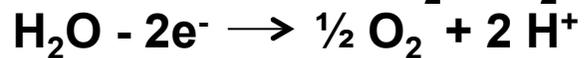
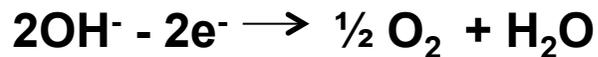
Zn m H<sup>+</sup>

Cu m H<sup>+</sup>

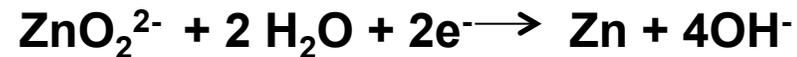
Electrorrefino

Cu m H<sup>+</sup>

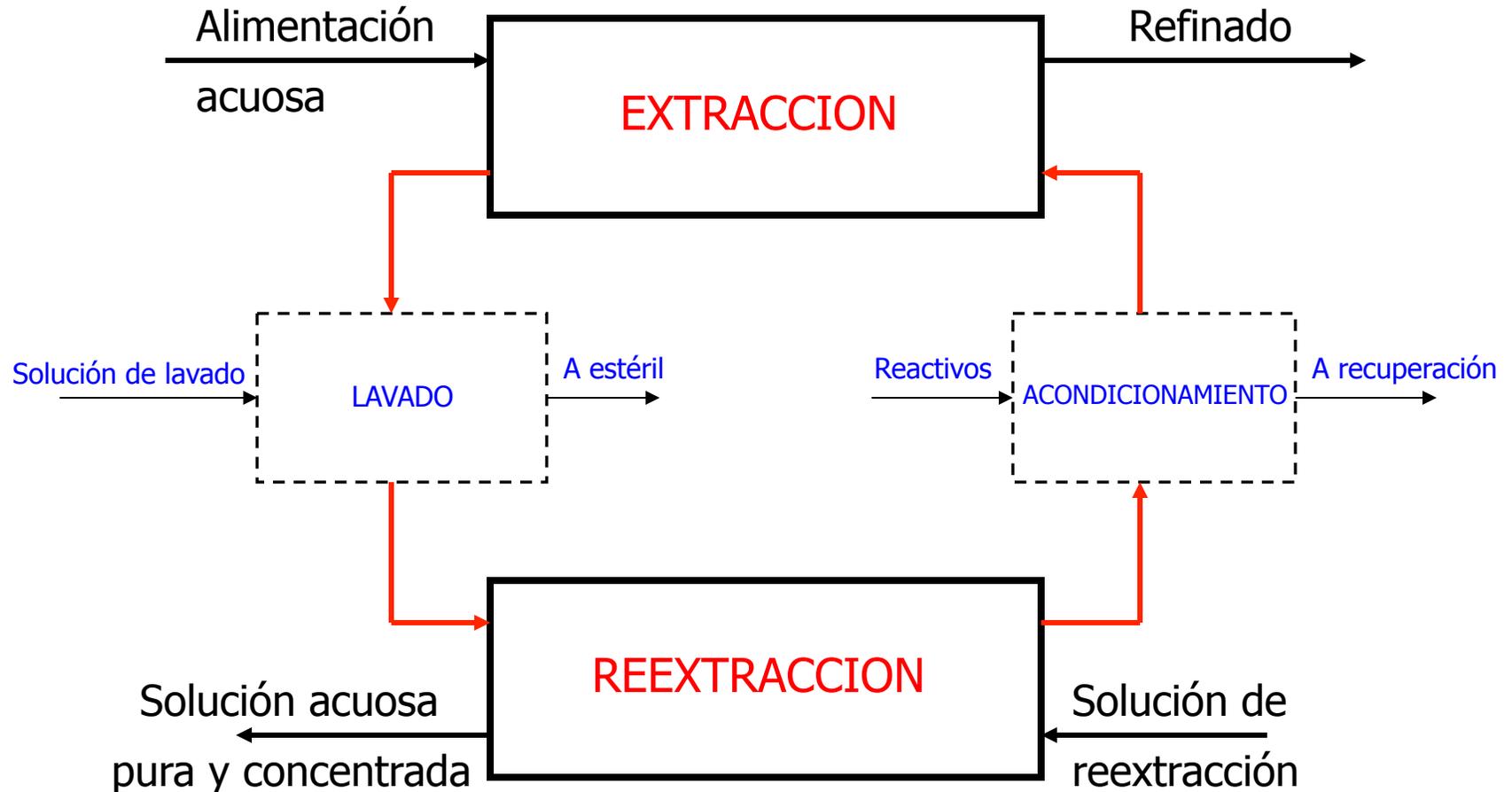
## R. ANÓDICA



## R. CATÓDICA



# ESQUEMA GENERAL EN SX



— Fases acuosas

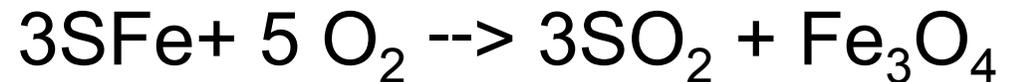
— Fase orgánica

# TOSTACIÓN DE PIRITAS

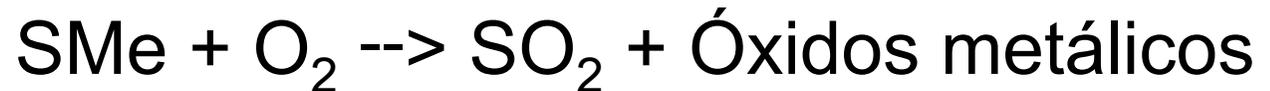
Destilación azufre lábil:  $S_2Fe + \text{Calor} \rightarrow S + SFe$

Combustión del azufre:  $S + O_2 \rightarrow SO_2$

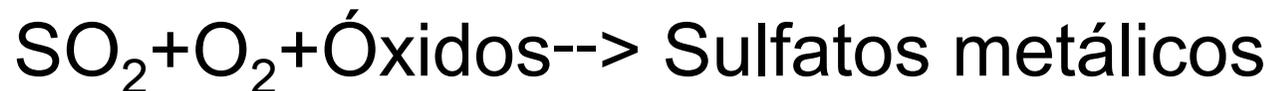
Oxidación de la pirrotita y magnetita que resultan:



Oxidación de otros sulfuros metálicos:



Procesos de sulfatación:



Formación de ferritos metálicos:



Formación de arseniatos:



# TOSTACIÓN DE PIRITAS

Transformar todo el hierro en óxido férrico exento de arsénico y plomo, con granulometría adecuada para siderurgia.

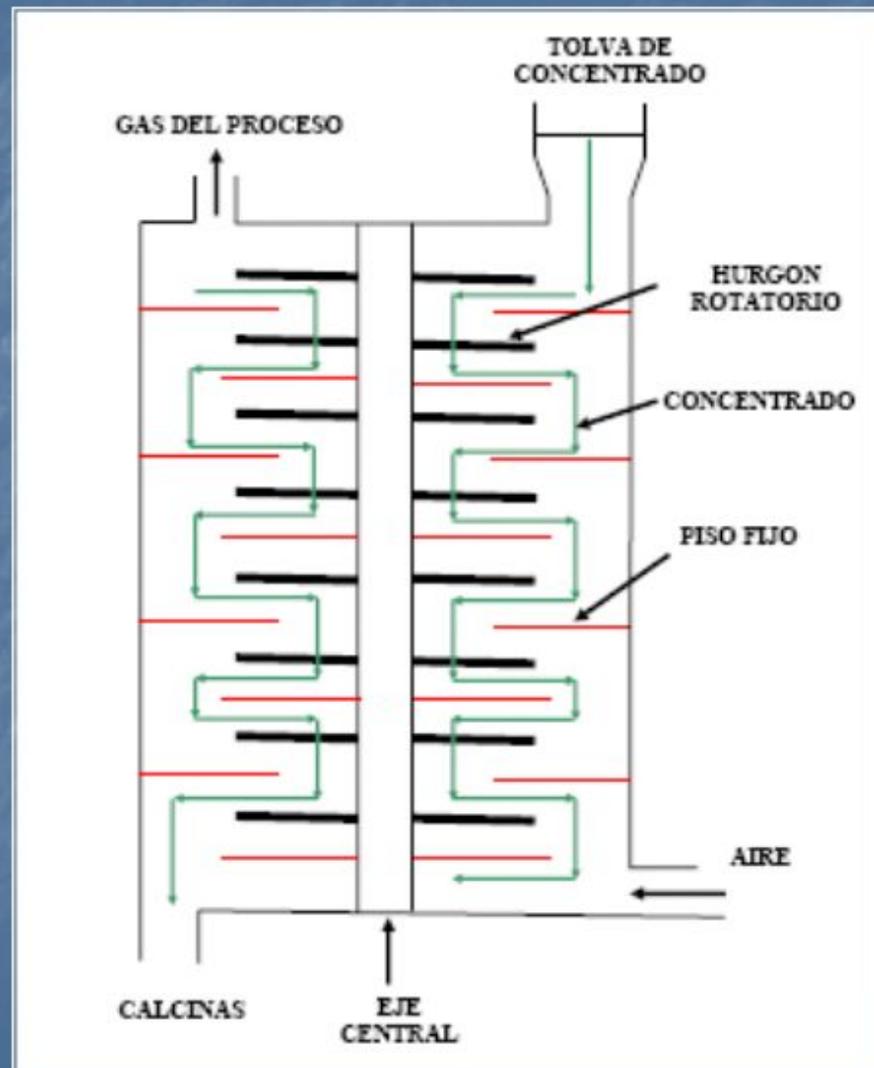
Transformar los metales no férreos que impurifican habitualmente al mineral en sales solubles.

Obtener gases de tostación con la máxima concentración de anhídrido sulfuroso, exento de  $\text{SO}_3$ .

Aprovechar al máximo el calor de reacción.

Realizar la tostación con la máxima economía de inmovilizado y costes operativos.

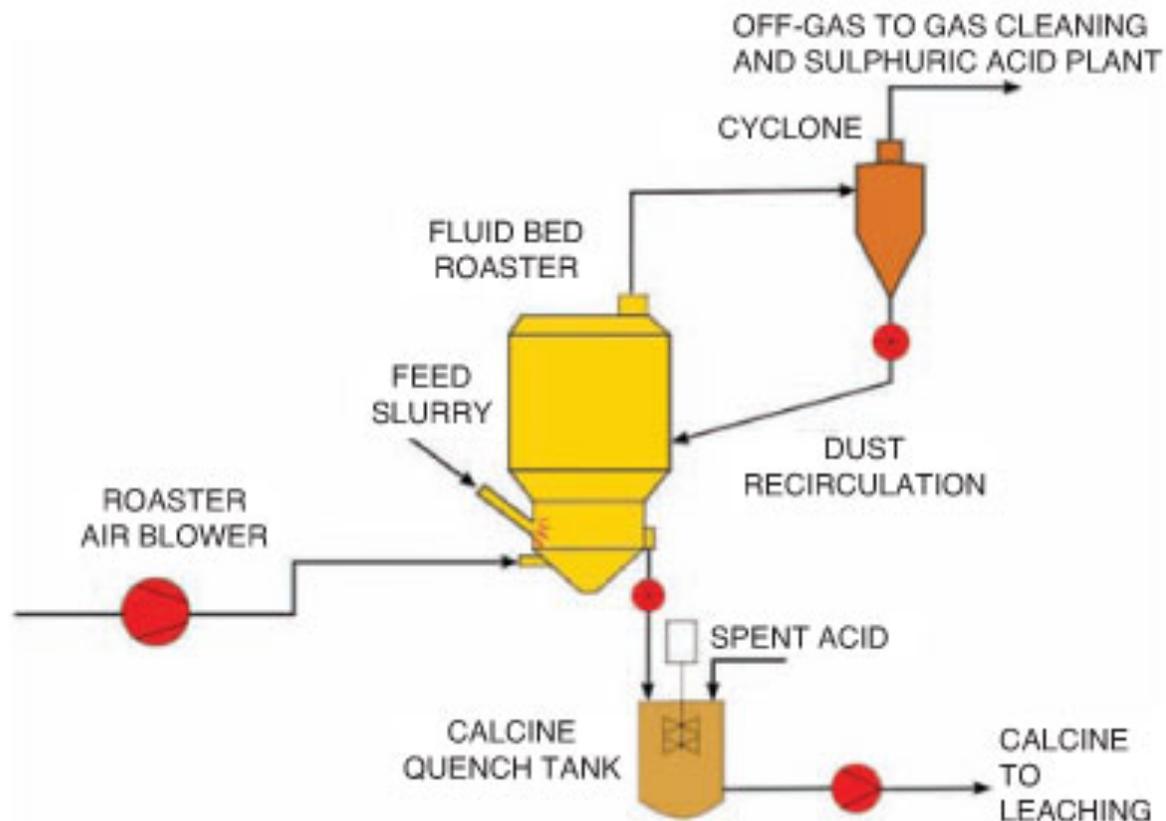
# Horno de solera multiple



# HORNO ROTATORIO



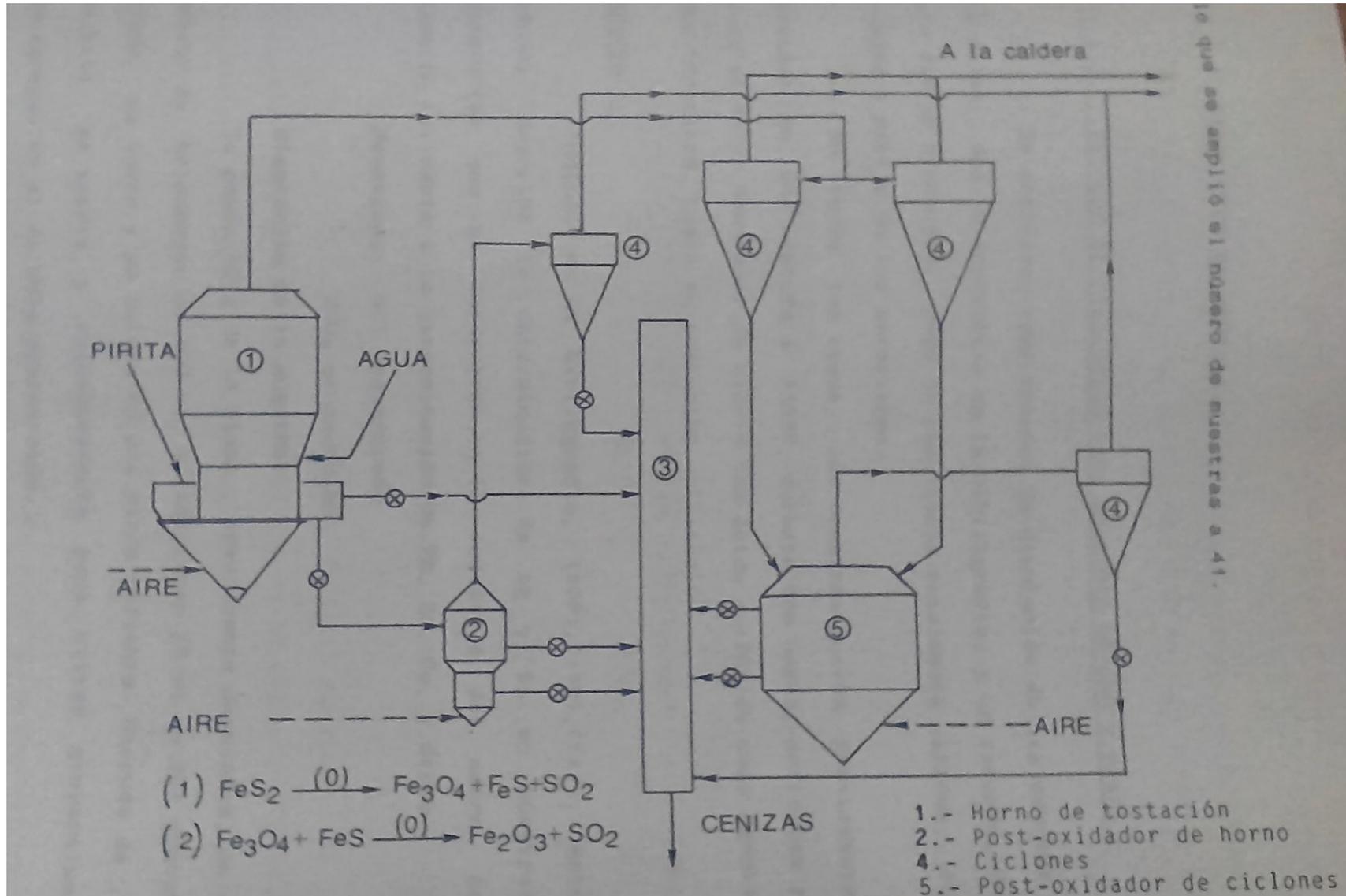
# HORNO DE LECHO FLUIDIZADO: UNA ETAPA



# HORNO DE LECHO FLUIDIZADO: UNA ETAPA



# HORNO DE LECHO FLUIDIZADO: DOBLE ETAPA



# CENIZAS DE PIRITAS

Complejidad de las piritas de procedencia

Diversidad de compuestos producidos en la tostación

Diversidad en las técnicas de tostación y en la separación de las cenizas de los gases de combustión

- De piritas normales, complejas, o flotadas.
- Gruesas de hornos de pisos u otros, finas de calderas, ciclones, electrofiltros. etc.
- Diversos contenidos en S, As, Pb, Sulfatos, Óxidos, impurezas, etc.

# CENIZAS DE PIRITAS

- De piritas complejas tostadas en hornos de pisos:  
Gruesas: del horno.  
Finas: de ciclones y electrofiltros.
- De piritas complejas tostadas en hornos fluidizados:  
Finas: una etapa, “a muerte”  
Finas: fracción útil para siderurgia, doble etapa  
Muy finas: fracción inútil, doble etapa, ciclones
- De piritas flotadas: hornos fluidizados, una etapa

# CENIZAS DE PIRITAS

TABLA XXXV. - CARACTERISTICAS DE CENIZAS DE PIRITAS

MUESTRA N°23

EMPRESA: FERTIBERIA S.A.

PLANTA: H.Q.1

PIRITA DE PARTIDA: 100% RIOTINTO

TIPO DE TOSTACION: HORNO DE PISOS

FRACCION: 1110030

PERIODO TOMA DE MUESTRA: 1-2-85/28-2-85

PRODUCCION(T/a): 80.000

COMPOSICION

<u>ELEMENTO</u>	<u>RIQUEZA(%)</u>	<u>PRODUC.(T/a)</u>	<u>ELEMENTO</u>	<u>RIQUEZA(g/T)</u>	<u>PRODUC.(kg/a)</u>
HIERRO	43,2	34.560	PLATA	16,0	1.280
COBRE	0,99	792	ORO	0,88	70
CINC	1,28	1.024	ANTIMONIO	39	3.120
PLOMO	0,16	128	BISMUTO	8	640
AZUFRE T.	3,79	3.029	COBALTO	286	22.880
SULFATO S.	0,60	480	NIQUEL	34	2.720
ARSENICO	0,031	24,8	MANGANESO	915	73.200
INSOLUBLE	30,4	24.320	CADMIO	21	1.680

# CENIZAS DE PIRITAS

TABLA XXXVI. - CARACTERISTICAS DE CENIZAS DE PIRITAS

MUESTRA N°24

EMPRESA: FERTIBERIA S.A.

PLANTA: H.Q. 1

PIRITA DE PARTIDA: 100% RIOTINTO

TIPO DE TOSTACION: HORNO DE PISOS

FRACCION: 1180040

PERIODO TOMA DE MUESTRA: 1-2-85/28-2-85

PRODUCCION(T/a): 10.000

COMPOSICION

<u>ELEMENTO</u>	<u>RIQUEZA(%)</u>	<u>PRODUC.(T/a)</u>	<u>ELEMENTO</u>	<u>RIQUEZA(g/T)</u>	<u>PRODUC.(kg/a)</u>
HIERRO	50,2	5.020	PLATA	40,0	400
COBRE	1,37	137	ORO	1,06	10,6
CINC	1,06	106	ANTIMONIO	464	4.640
PLOMO	1,24	124	BISMUTO	130	1.300
AZUFRE T.	2,78	278	COBALTO	234	2.340
SULFATO S.	0,82	82	NIQUEL	43	430
ARSENICO	1,68	168	MANGANESO	533	5.330
INSOLUBLE	13,1	1.310	CADMIO	35	350

# CENIZAS DE PIRITAS

TABLA XL. - CARACTERISTICAS DE CENIZAS DE PIRITAS

MUESTRA N°28      EMPRESA: FOSFORICO ESPAÑOL S.A.      PLANTA: AS-1  
 PIRITA DE PARTIDA: 44% RIOTINTO, 45% THARSIS, 11% RT. FLOTADA  
 TIPO DE TOSTACION: DOBLE ETAPA      FRACCION: 2113010  
 PERIODO TOMA DE MUESTRA: 1-2-85/20-2-85      PRODUCCION(T/a): 44.000

COMPOSICION

<u>ELEMENTO</u>	<u>RIQUEZA(%)</u>	<u>PRODUC.(T/a)</u>	<u>ELEMENTO</u>	<u>RIQUEZA(g/T)</u>	<u>PRODUC.(kg/a)</u>
HIERRO	55,7	24.530	PLATA	30,0	1.320
COBRE	0,73	321	ORO	0,90	40
CINC	2,37	1.043	ANTIMONIO	186	8.180
PLOMO	0,89	392	BISMUTO	63	2.770
AZUFRE T.	2,76	1.212	COBALTO	263	11.570
SULFATO S.	0,62	273	NIQUEL	35	1.540
ARSENICO	0,125	55	MANGANESO	770	33.880
INSOLUBLE	22,6	9.944	CADMIO	59	2.600

# CENIZAS DE PIRITAS

## TABLA XLVIII.- CARACTERISTICAS DE CENIZAS DE PIRITAS

NUESTRA N°36

EMPRESA: FOSFORICO ESPAÑOL S.A.

PLANTA: AS-1

PIRITA DE PARTIDA: 43% RIOTINTO, 37% THARSIS, 20% RT. FLOTADA

TIPO DE TOSTACION: DOBLE ETAPA

FRACCION: 2113010

PERIODO TOMA DE MUESTRA: 16-3-85/21-3-85

PRODUCCION(T/a): 44.000

### COMPOSICION

<u>ELEMENTO</u>	<u>RIQUEZA(%)</u>	<u>PRODUC.(T/a)</u>	<u>ELEMENTO</u>	<u>RIQUEZA(g/T)</u>	<u>PRODUC.(kg/a)</u>
HIERRO	40,0	17.600	PLATA	39,0	1.720
COBRE	0,82	360,8	ORO	1,26	60
CINC	3,21	1.412,4	ANTIMONIO	186	8.180
PLOMO	1,36	598,4	BISMUTO	70	3.080
AZUFRE T.	1,90	836,5	COBALTO	262	11.530
SULFATO S.	0,28	123,2	NIQUEL	34	1.500
ARSENICO	0,115	50,6	MANGANESO	793	34.890
INSOLUBLE	30,9	13.596	CADMIO	53	2.330

# CENIZAS DE PIRITAS

## TABLA LXIX. = CARACTERISTICAS DE CENIZAS DE PIRITAS

NUESTRA N°57

EMPRESA: FORET S.A.

PLANTA: P-1

PIRITA DE PARTIDA: 100% AZNALCOLLAR

TIPO DE TOSTACION: " A MUERTE "

FRACCION: 4105000

PERIODO TOMA DE MUESTRA: 16-3-85/30-3-85 PRODUCCION(T/a): 176.000

### COMPOSICION

<u>ELEMENTO</u>	<u>RIQUEZA(%)</u>	<u>PRODUC.(T/a)</u>	<u>ELEMENTO</u>	<u>RIQUEZA(g/T)</u>	<u>PRODUC.(kg/a)</u>
HIERRO	67,7	119.240	PLATA	46,0	8.100
COBRE	0,29	510,4	ORO	1,0	180
CINC	1,5	2.657,6	ANTIMONIO	511	89.940
PLOMO	0,87	1.531,2	BISMUTO	55	9.680
AZUFRE T.	1,96	3.442,6	COBALTO	98	17.250
SULFATO S.	0,71	1.249,6	NIQUEL	30	5.280
ARSENICO	0,65	1.144	MANGANESO	397	69.870
INSOLUBLE	5,5	9.680	CADMIO	80	14.080

# CIANURACIÓN DE CENIZAS DE PIRITAS

