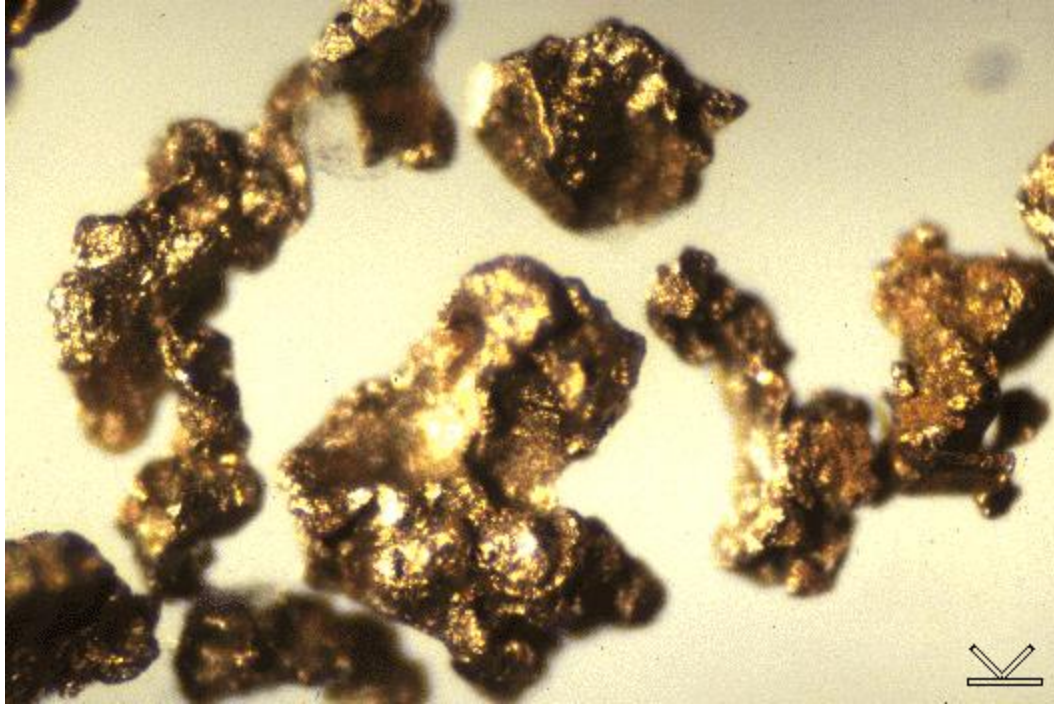


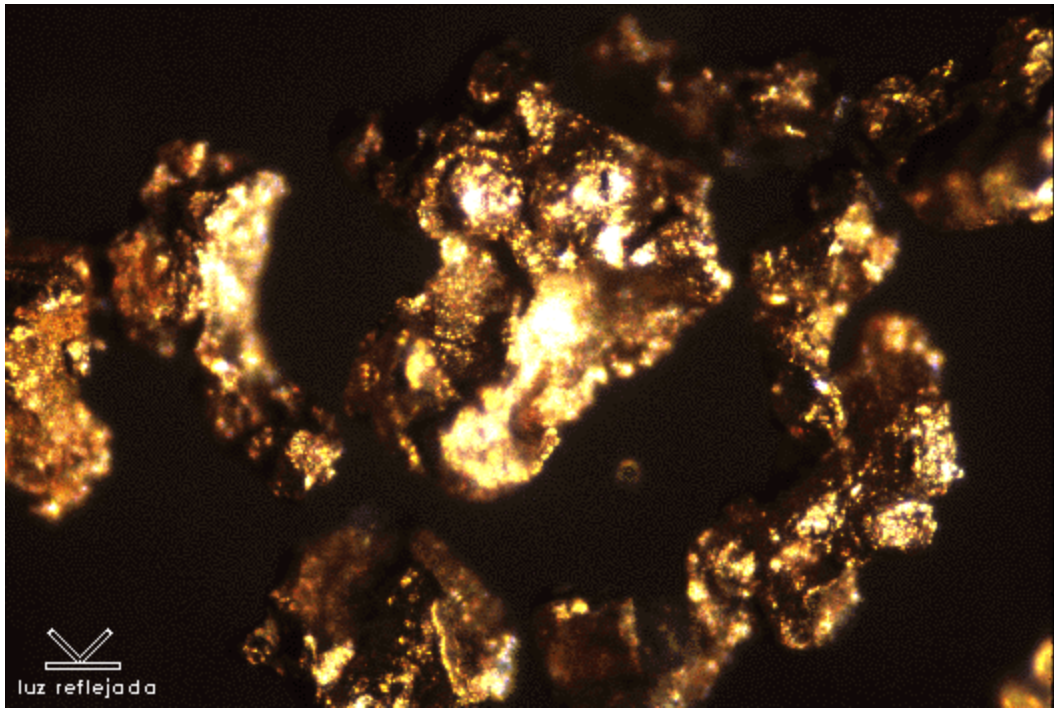
# **METALÚRGIA EXTRACTIVA DEL COBRE**

**(pirometalúrgia e hidrometalúrgia)**

**Julio Alberto Aguilar Schafer**



**PEPITAS  
NATUALES  
DE COBRE  
PURO**



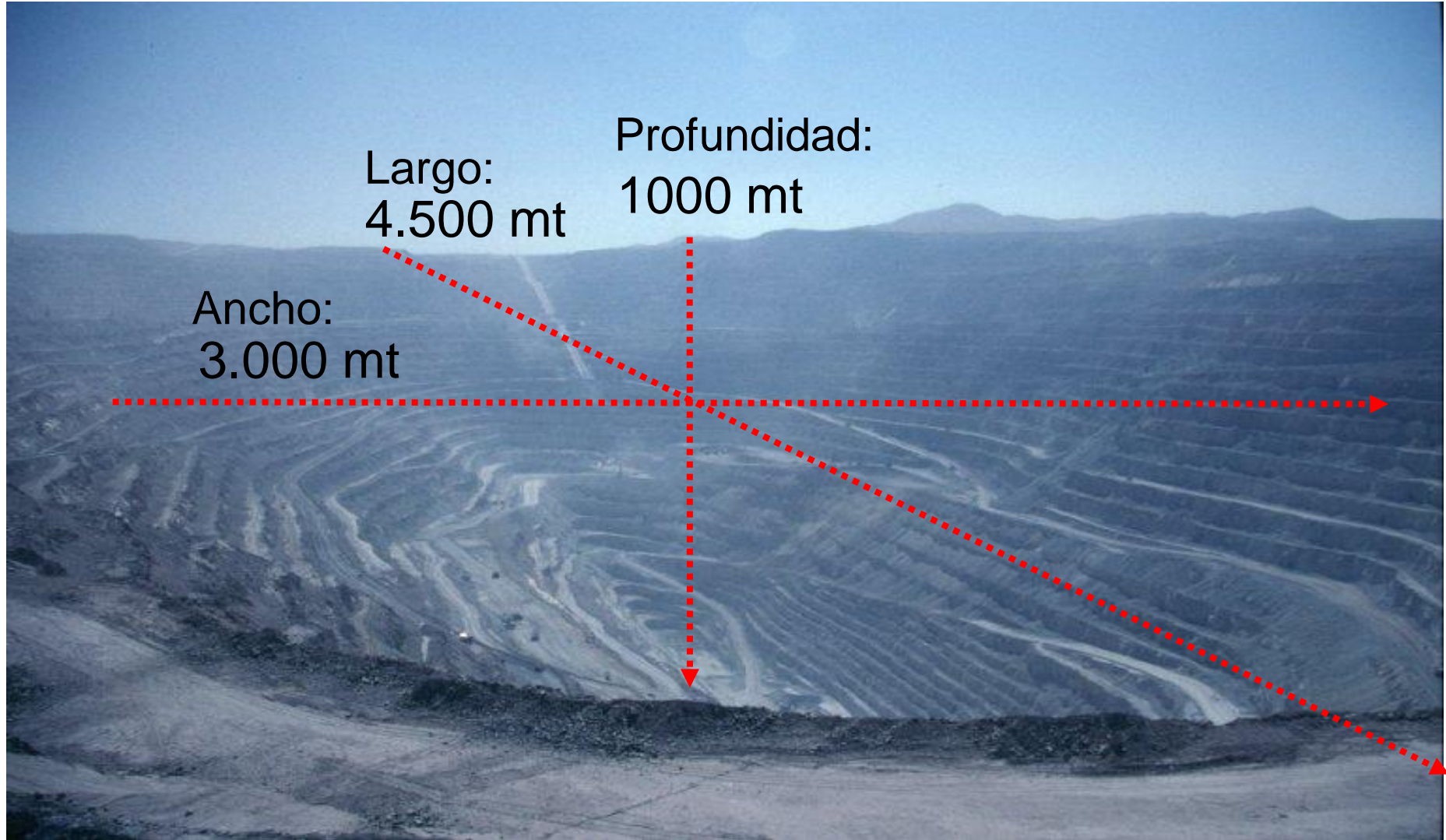


# Chuquicamata en Viña del Mar (Chile)



# Chuquicamata

---



# Minerales de cobre

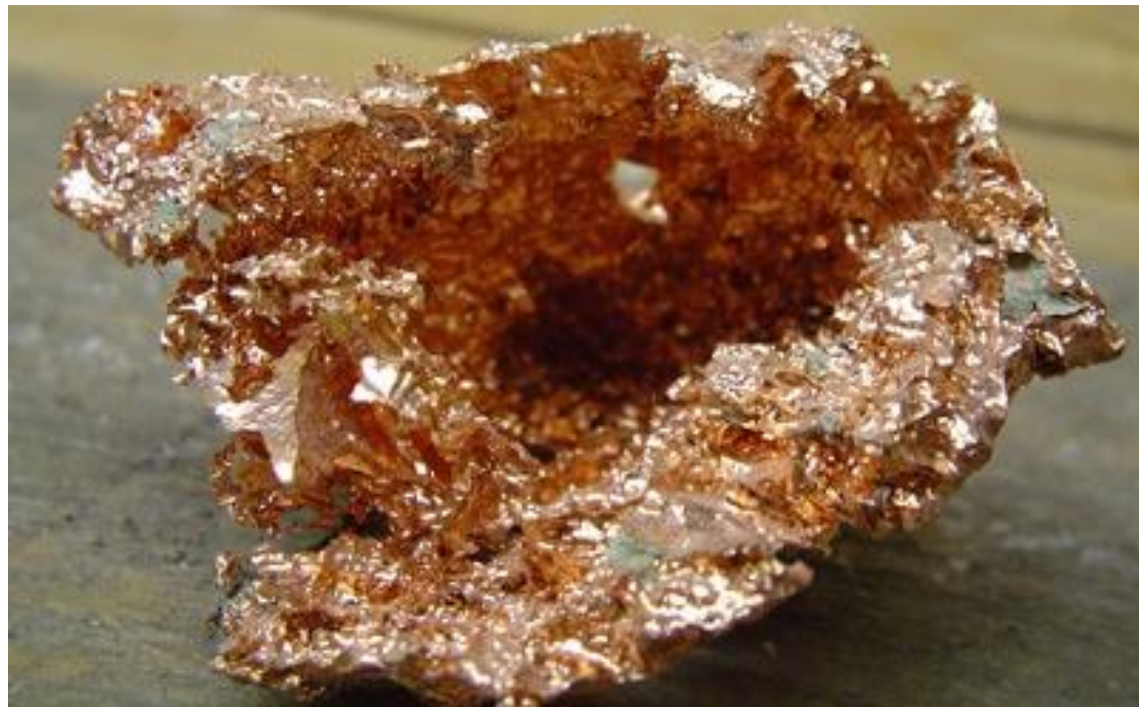
<b>Nombre</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Porcentaje de cobre</b>
<b>Calcopirita</b>	<b>CuFeS<sub>2</sub></b>	<b>34.5</b>
<b>Calcosina</b>	<b>Cu<sub>2</sub>S</b>	<b>79.8</b>
<b>Bornita</b>	<b>Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub></b>	<b>55.5</b>
<b>Tetrahedrita</b>	<b>Cu<sub>3</sub>SbS<sub>3</sub>+x(Fe,Zn)<sub>6</sub>Sb<sub>2</sub>S<sub>9</sub></b>	<b>32 a 45</b>
<b>Malaquita</b>	<b>CuCO<sub>3</sub>.Cu(OH)<sub>2</sub></b>	<b>57.3</b>
<b>Azurita</b>	<b>2CuCO<sub>3</sub>.Cu(OH)<sub>2</sub></b>	<b>55.1</b>
<b>Cuprita</b>	<b>Cu<sub>2</sub>O</b>	<b>88.8</b>
<b>Crisocola</b>	<b>CuSiO<sub>3</sub>.2H<sub>2</sub>O</b>	<b>37.9</b>

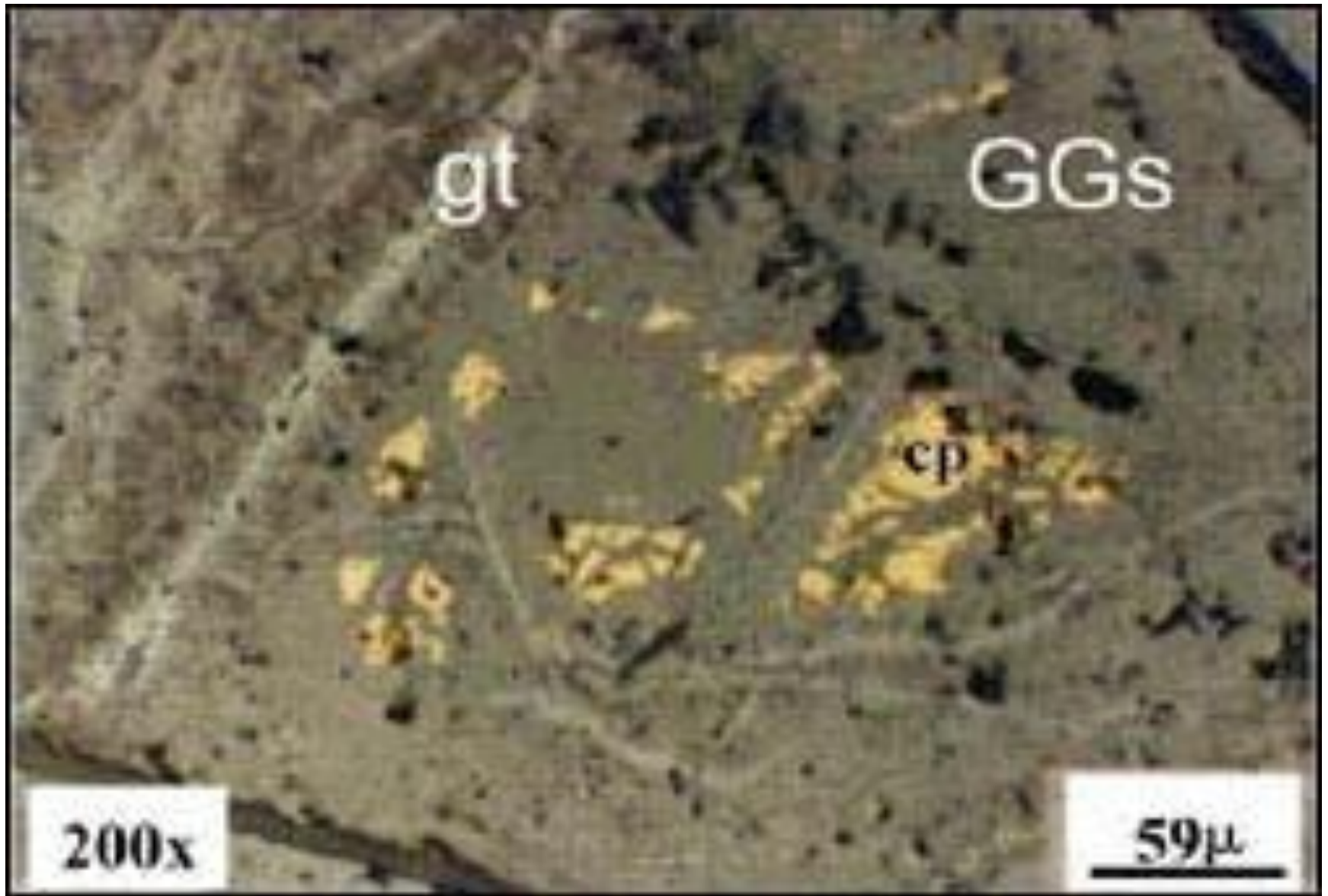




**fragmento de calcopirita**

**cobre nativo**





**Calcopirita dentro de las gangas.  
Hasta la izquierda venilla de goethita**



# Tipos de Sulfuros de Cobre:



Calcopirita



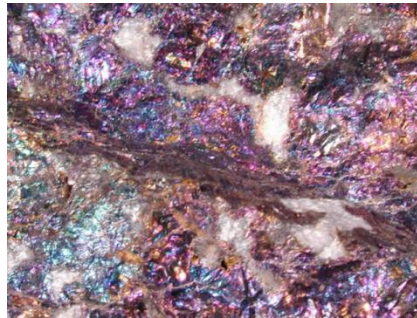
Covelina



Digenita



Calcosina



Bornita

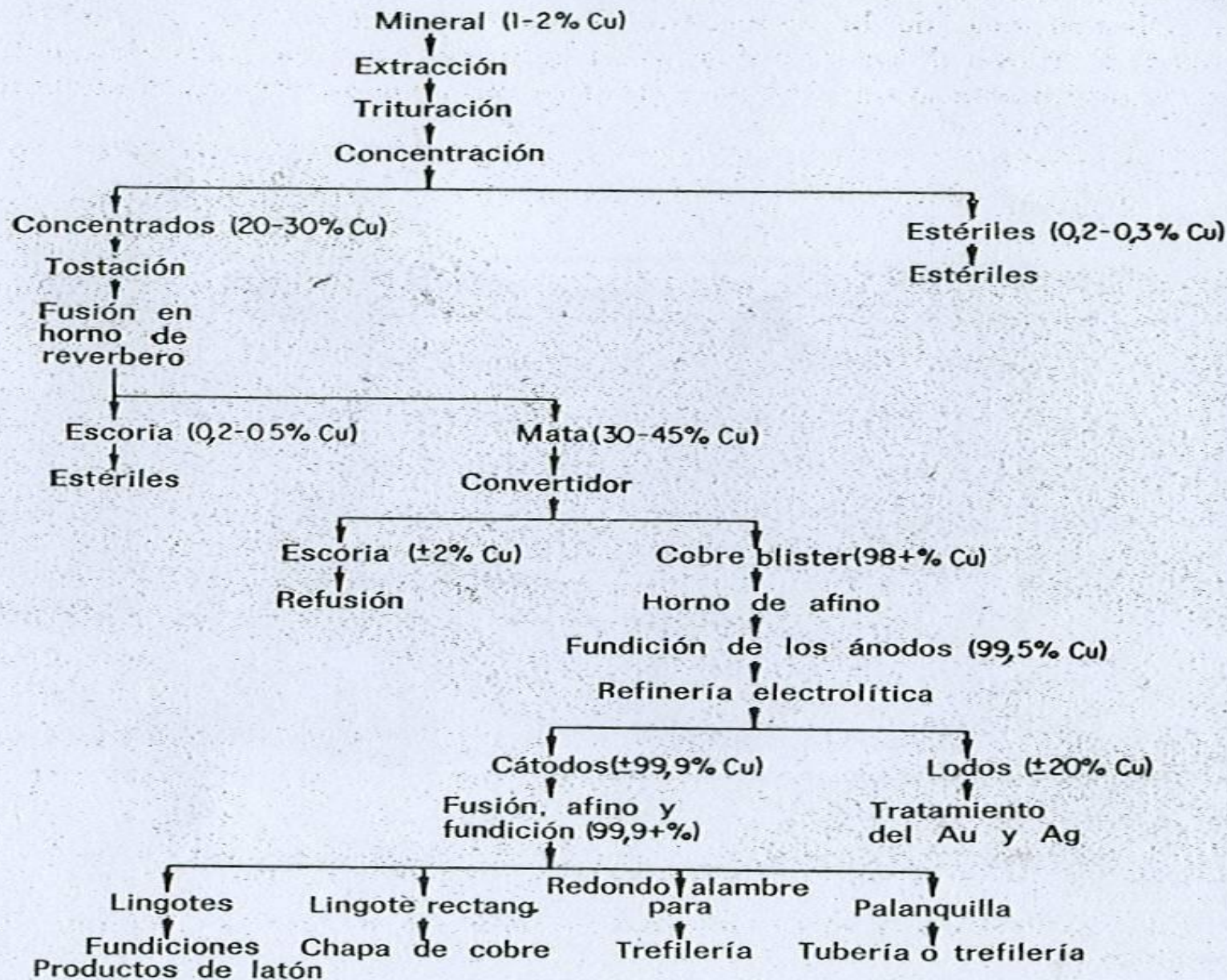


Enargita



# Proceso de Concentración: de la roca al mineral de cobre





**Fig. 17.2** Esquema del proceso de obtención del cobre a partir de minerales de ley baja.

## 18.5 Metalurgia extractiva

Metalurgia  $\longrightarrow$  Estudio general de los metales

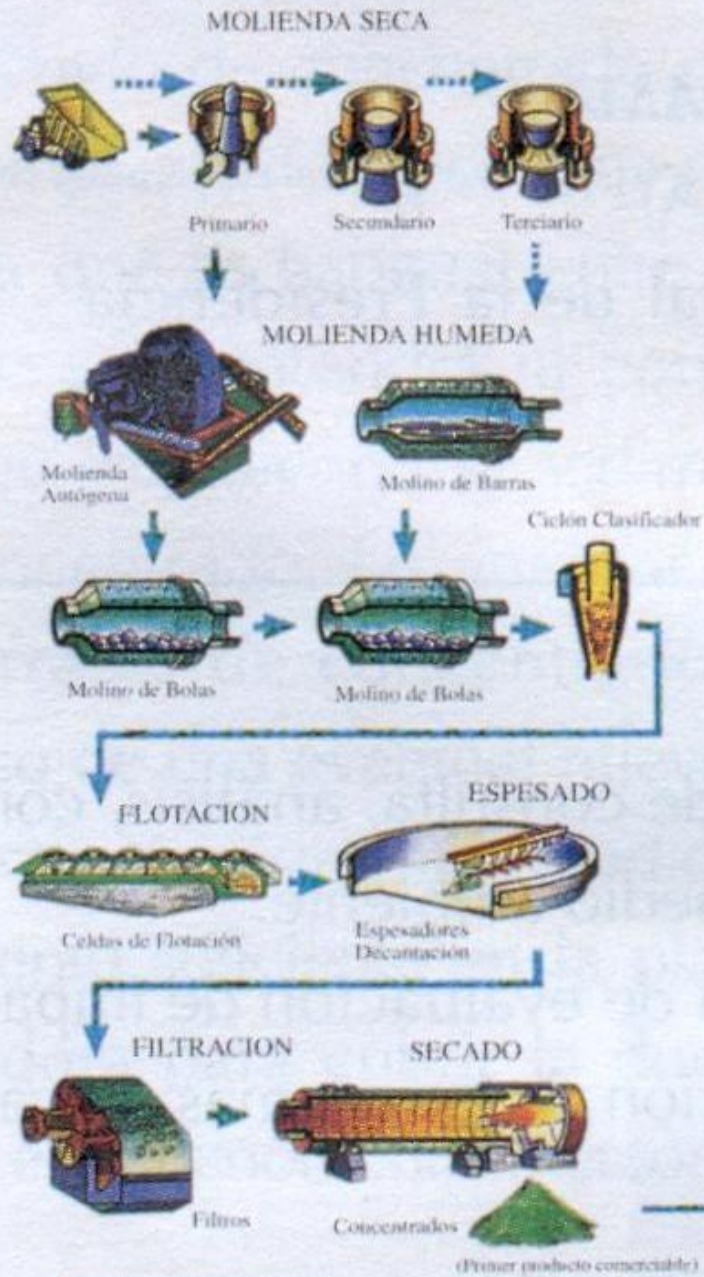
Metalurgia extractiva  $\longrightarrow$  Obtención de los metales a partir de sus menas

### 18.5.1 Operaciones básicas en metalurgia extractiva

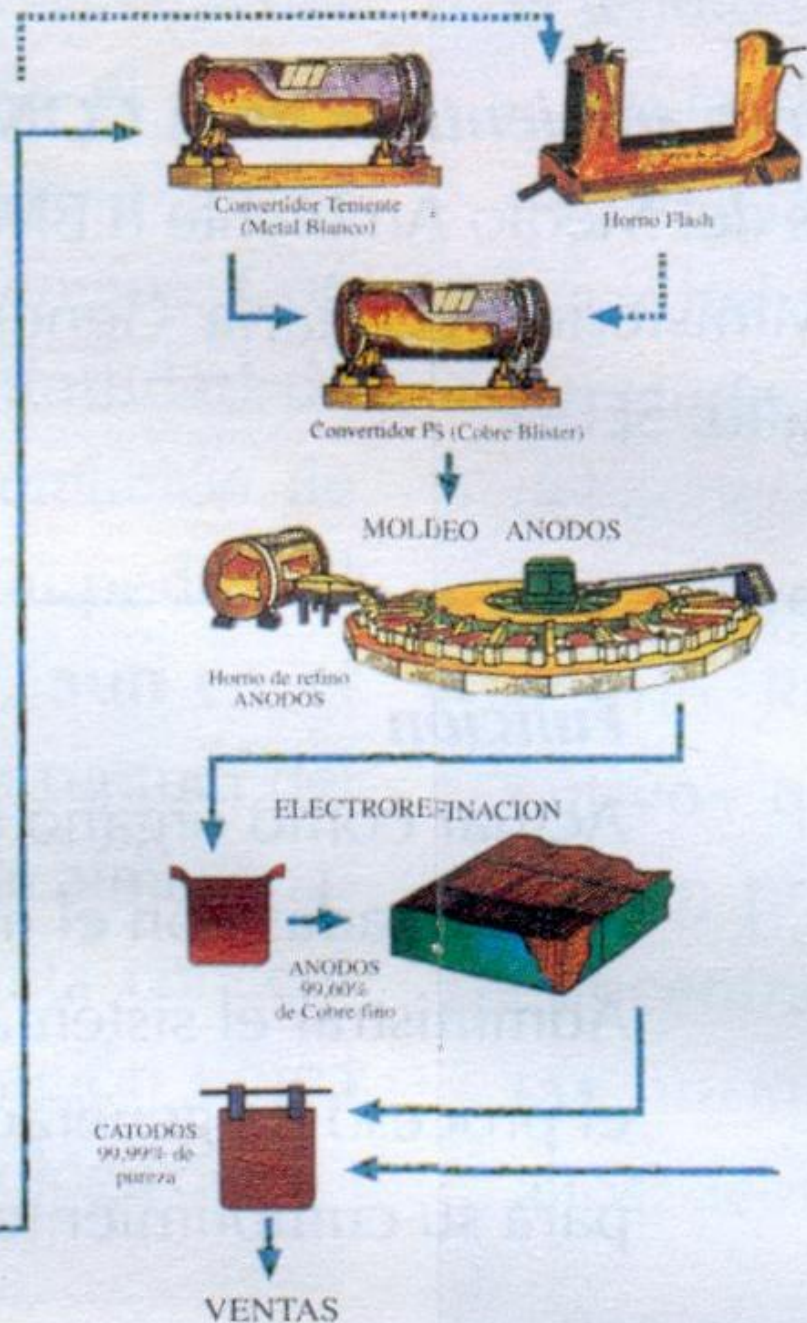
- Concentración
  - Separación de la mena del resto del mineral
- Tostación
  - La mena se calienta a altas temperaturas para transformar un compuesto metálico en un óxido
- Reducción
  - El óxido se reduce. Generalmente se utiliza carbono como agente reductor por su bajo coste y su fácil manejo.
- Afino o Purificación
  - Eliminación de impurezas



# MINERALES SULFURADOS

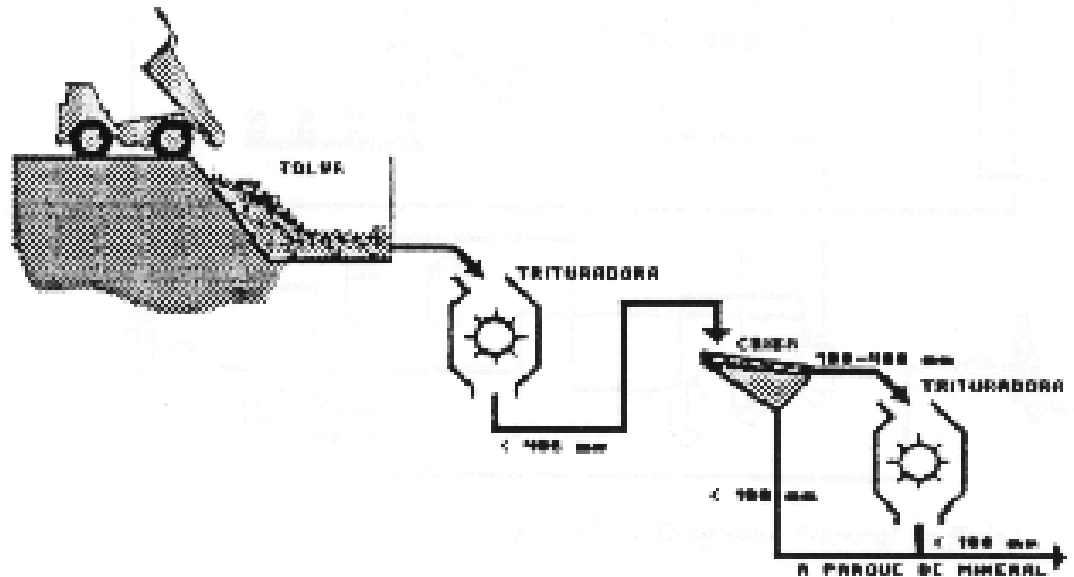


# FUNDICION



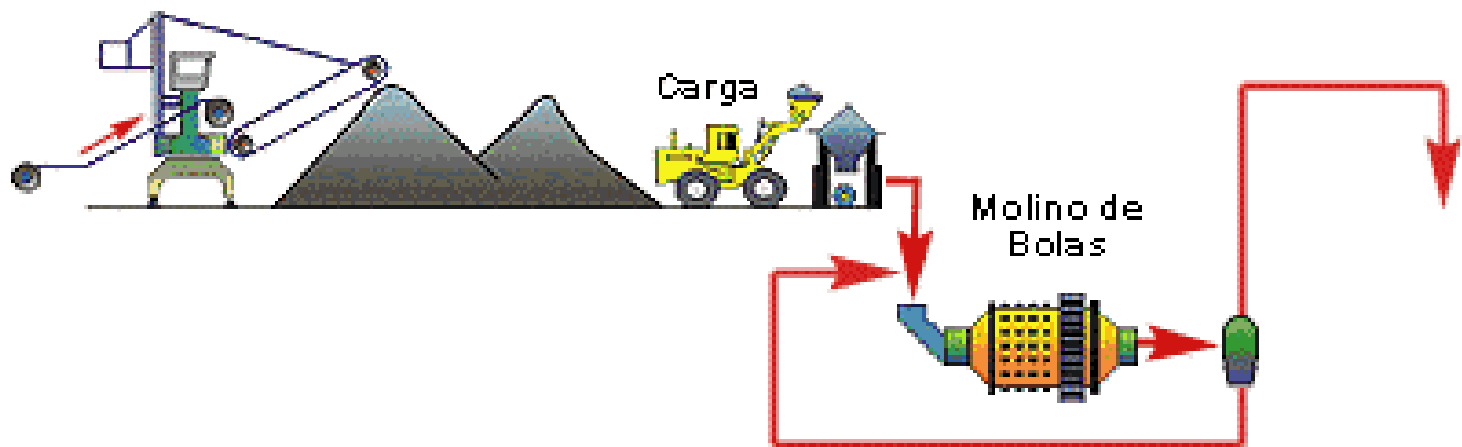
# Proceso de obtención de concentrado de cobre a partir de la mena.

1) Trituración: El fin de la trituración es reducir considerablemente el tamaño de las rocas extraídas de las minas, previo a la molienda. Los pasos o cantidad de trituradoras utilizadas dependen del tamaño de las rocas. Al finalizar el proceso de trituración las rocas son inspeccionadas y las que no cumplan con el tamaño deseado son reintroducidas al proceso y las que si pasan al proceso de molienda.



# Proceso de molienda de menas de Cobre.

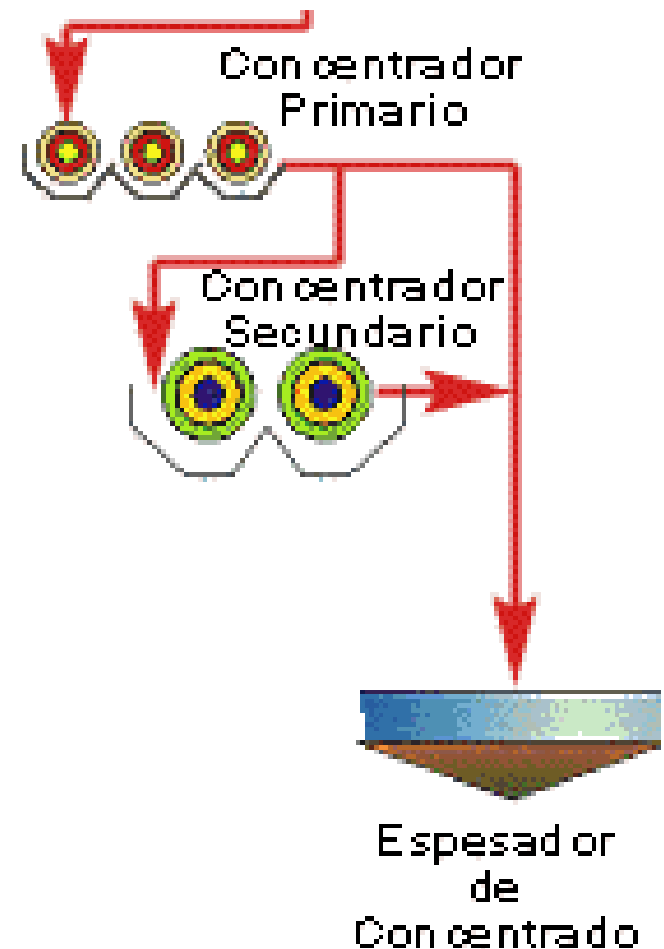
- 2) Molienda: El objetivo principal de la molienda es el de reducir el tamaño del mineral a un tamaño de 10% a 60%, aproximadamente 200 mallas, con esto se asegura una liberación de los elementos de valor económico en la MENA. Los tipos de molinos pueden variar, pero comúnmente se utilizan los molinos de bolas o barras. Con esto se logra un material en óptimas condiciones para que se lleve a cabo el proceso de concentración o flotación.



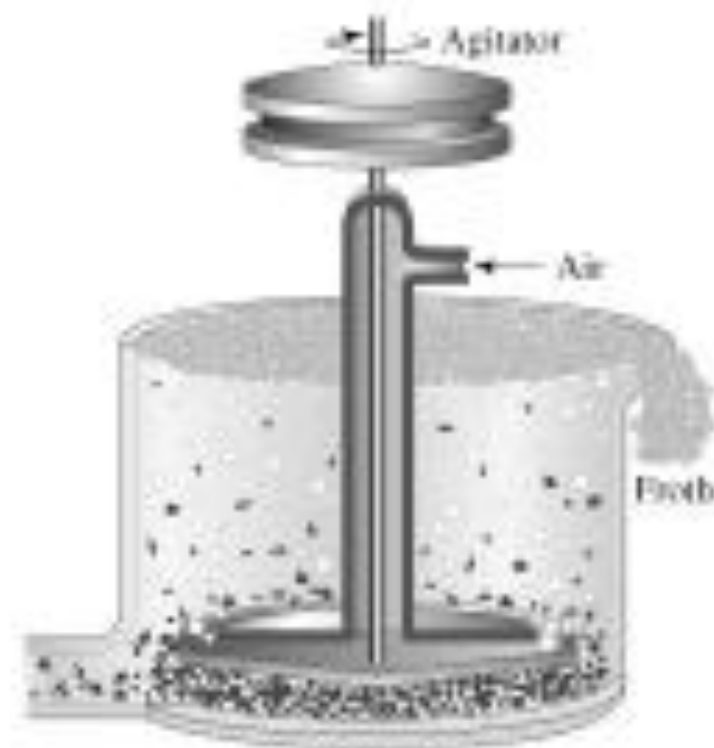


# Proceso de flotación para la obtención de concentrados a partir de minerales de Cobre

3) Concentración o flotación: Aquí se separa la ganga del mineral, es importante mencionar que el mineral de cobre y la ganga son parte de la MENA, por lo tanto es una cola de la MENA. El número de tanques de acondicionamiento para la concentración puede variar. En el proceso se utilizan depresores, activantes y espumantes. Los depresores son reactivos químicos iónicos que recubren las partículas y las llevan al fondo del tanque. Los espumantes son un tipo de jabón que forma espuma. Los activantes cubren solo al mineral que se quiere separar e impide que este se moje, por lo que flota hasta la espuma en la parte superior del tanque. Esta espuma es sacada del tanque, para luego ser filtrada.



## Concentración de mena por flotación



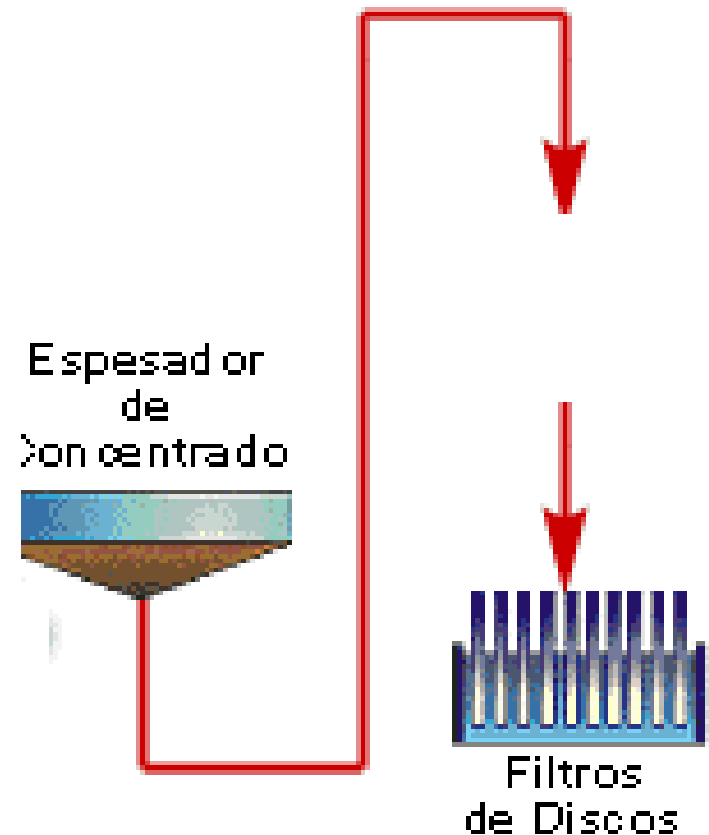
(a)



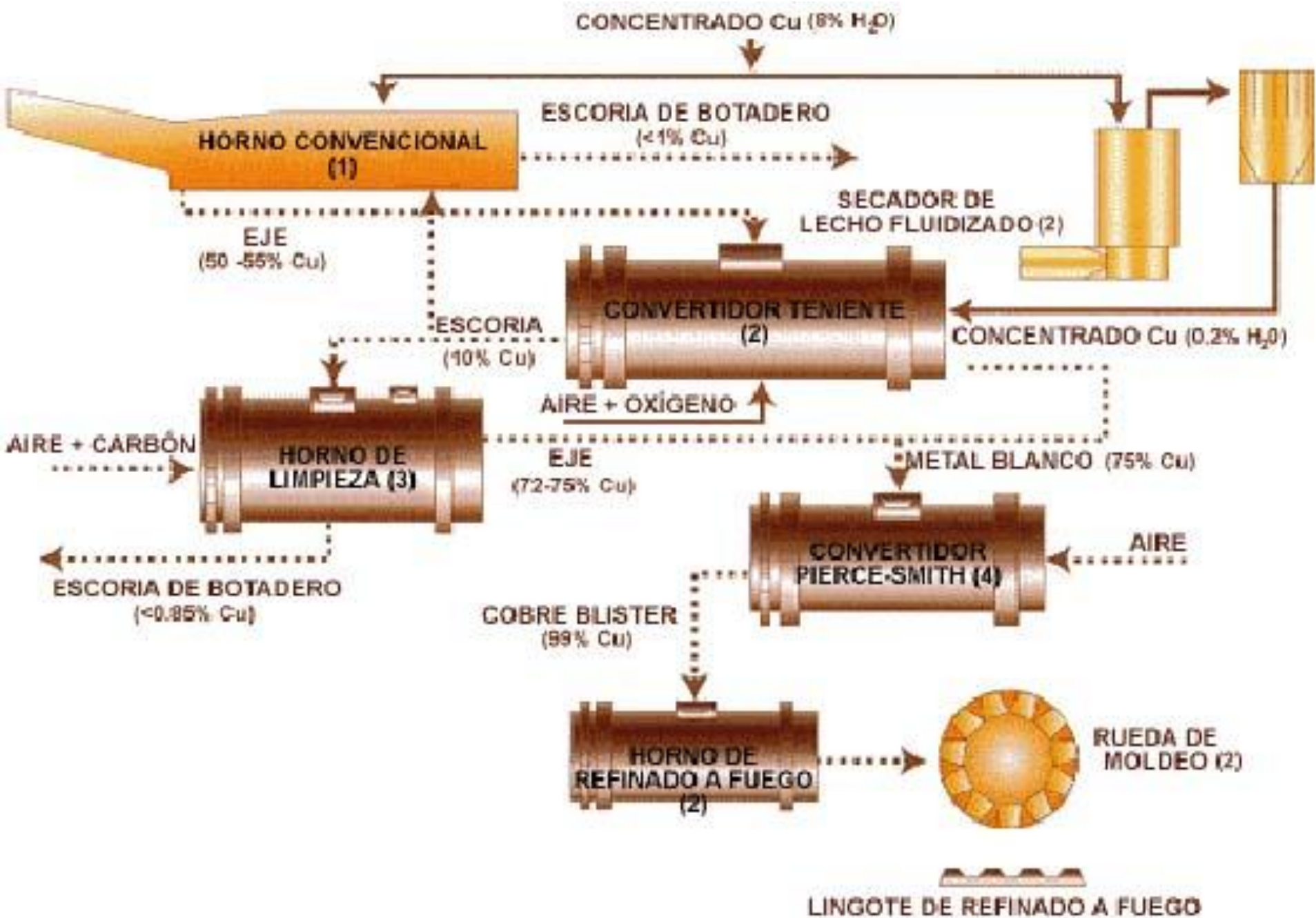
(b)

# Proceso de obtención de concentrado de mineral de Cobre.

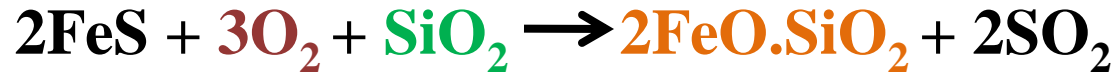
- 4) **Filtrado:** En este proceso el mineral extraído de la espuma en el proceso de concentración es separado de la misma. Existen varios tipos de filtros, de disco, de Dor Oliver, etc.



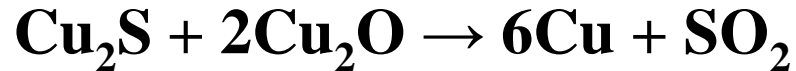
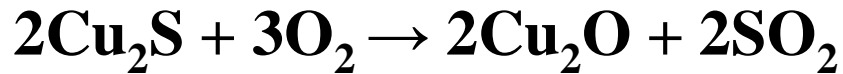




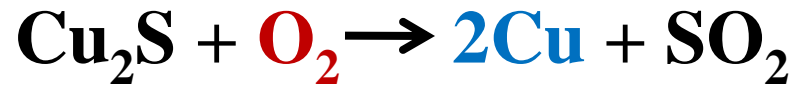
## REACCIONES QUIMICAS DE REDUCCION DEL MINERAL DE COBRE



**Aire Fundente**



**Escoria**



**Aire**

**Cobre Blister**

# Pirometalúrgia

**CONCENTRADO**  
**Cu<sub>2</sub>S**

**Horno de tostación**  
**de hogares múltiples**

**Producto de la tostación**



- |                             |                                    |                                   |
|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| a Coraza del horno          | h Conducto de alimentación de aire | m Escape de gases                 |
| b Revestimiento refractario | i Conducto de descarga de aire     | n Soporte del brazo               |
| c Brazo del rable           | j Motor                            | o Descarga del producto calcinado |
| d Paletas de rable          | k Engranajes                       | p Agujero de acceso               |
| e Cuba central              | l Solera de secado                 | q Puerta de inspección (goznes)   |
| f Salida de aire            |                                    | r Soporte principal               |
| g Entrada de aire           |                                    |                                   |

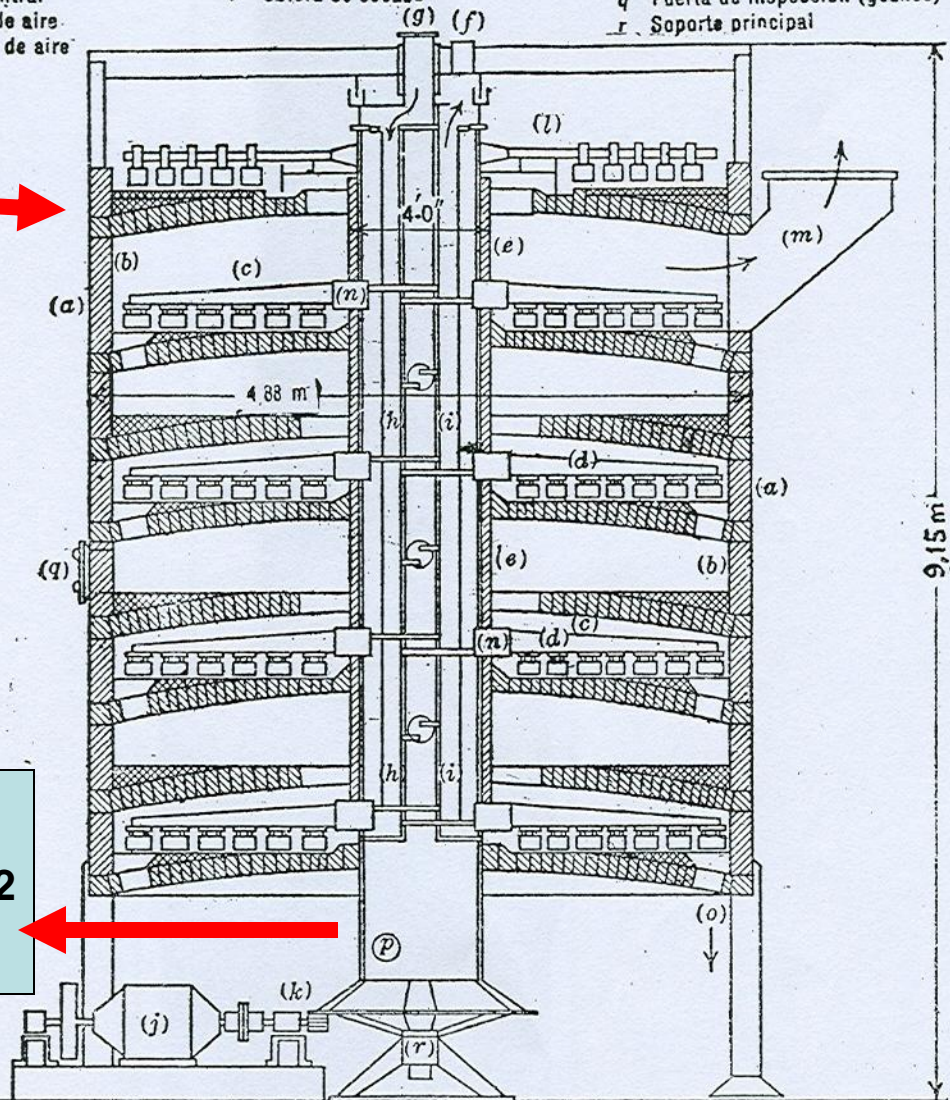
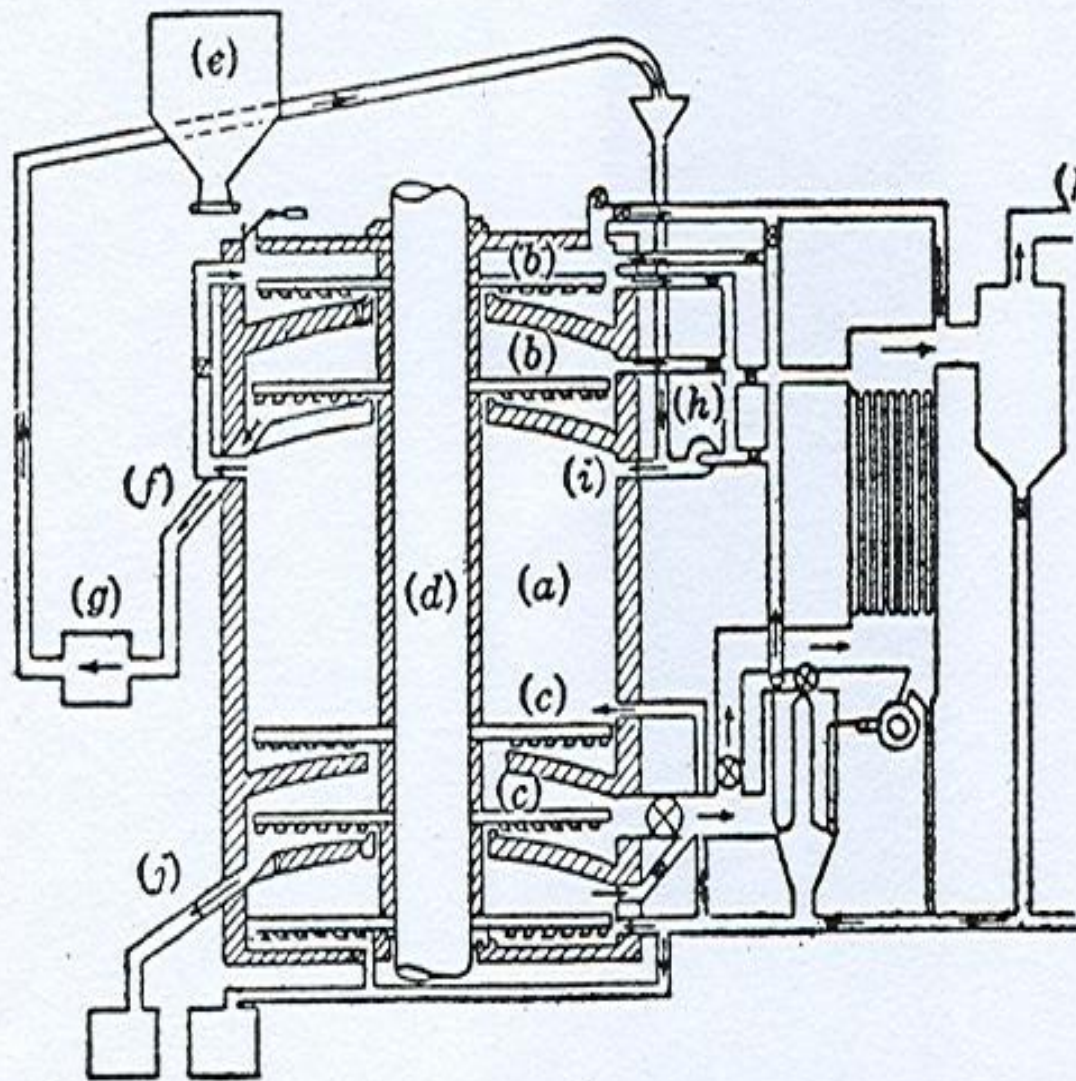


Fig. 28.—Horno de tostación Wedge. (Por cortesía de la «Bethlehem Foundry Co.».)



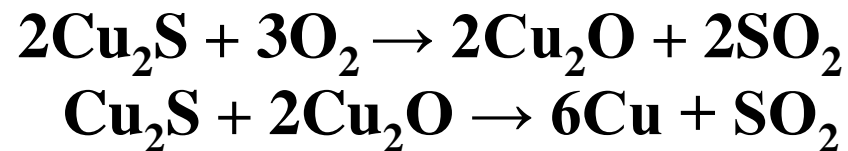
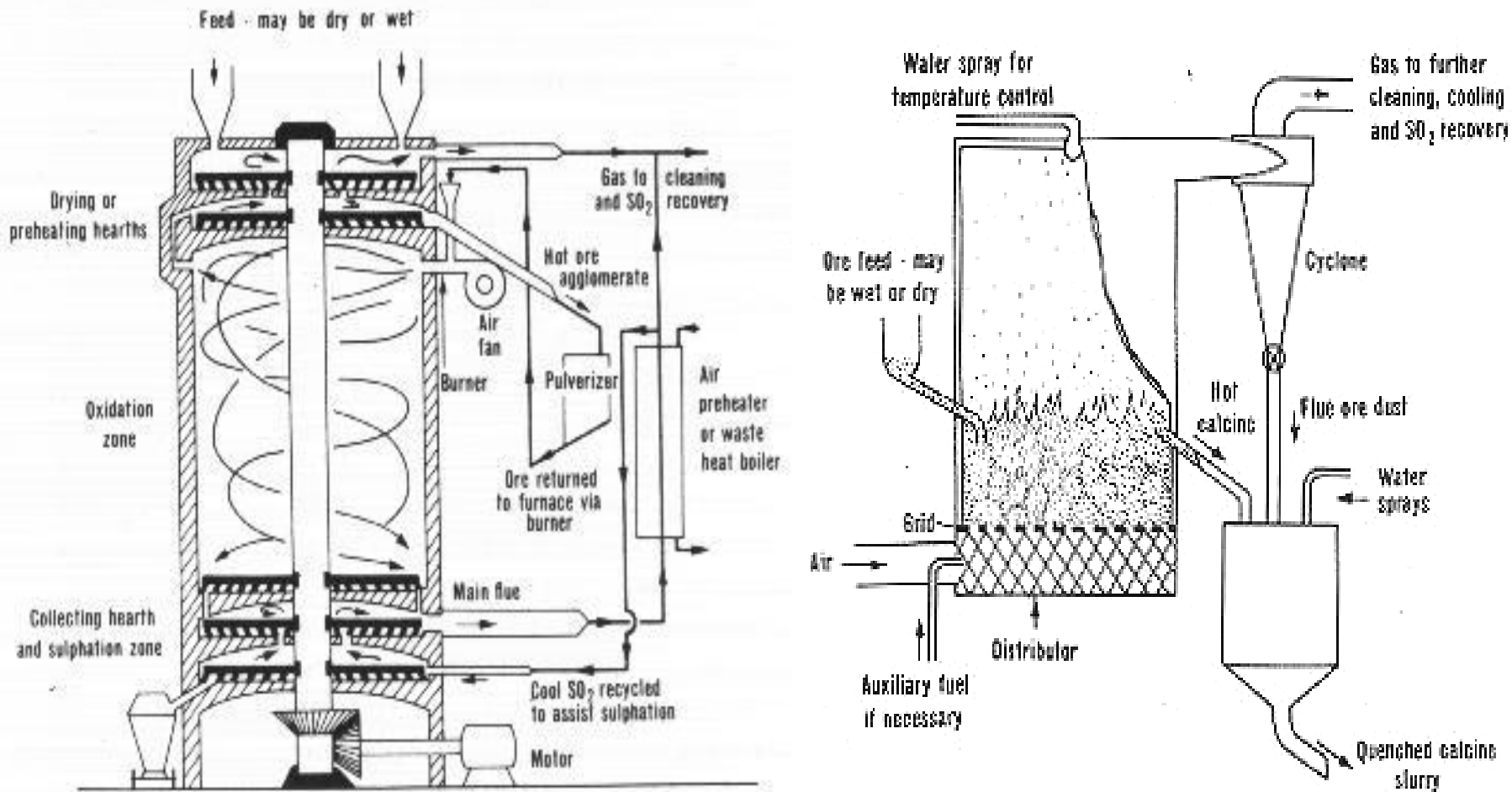


- a Cámara de combustión
- b Crisol de secado
- c Crisol de recogida
- d Chimenea de rotación enfriada con aire
- e Tolva y alimentador del concentrado húmedo
- f Vaciado del concentrado seco
- g Molino de bolas
- h Ventilador de aire de combustión
- i Quemador
- j Descarga del producto calcinado
- k Salida de gas hacia la instalación de ácidos

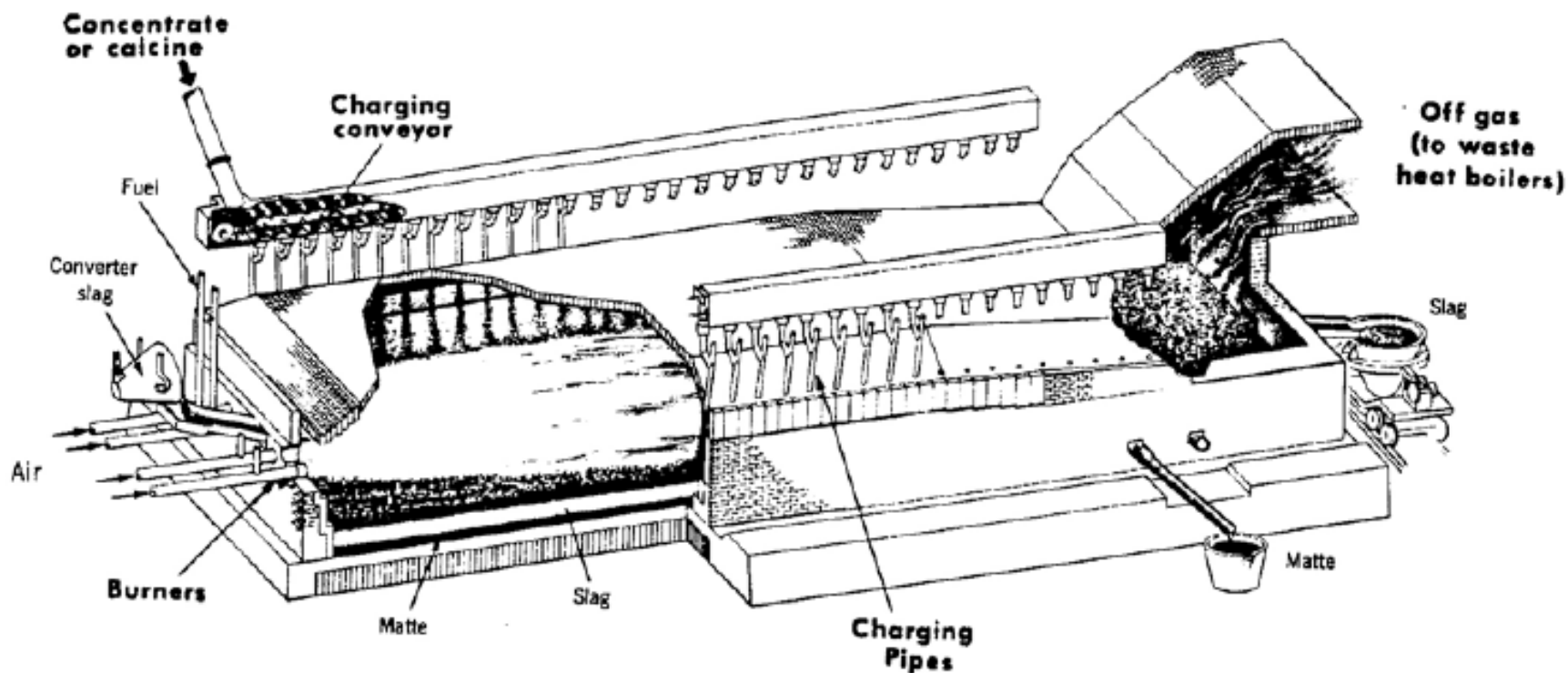
Fig. 34.—Tostador «relámpago» Flash.



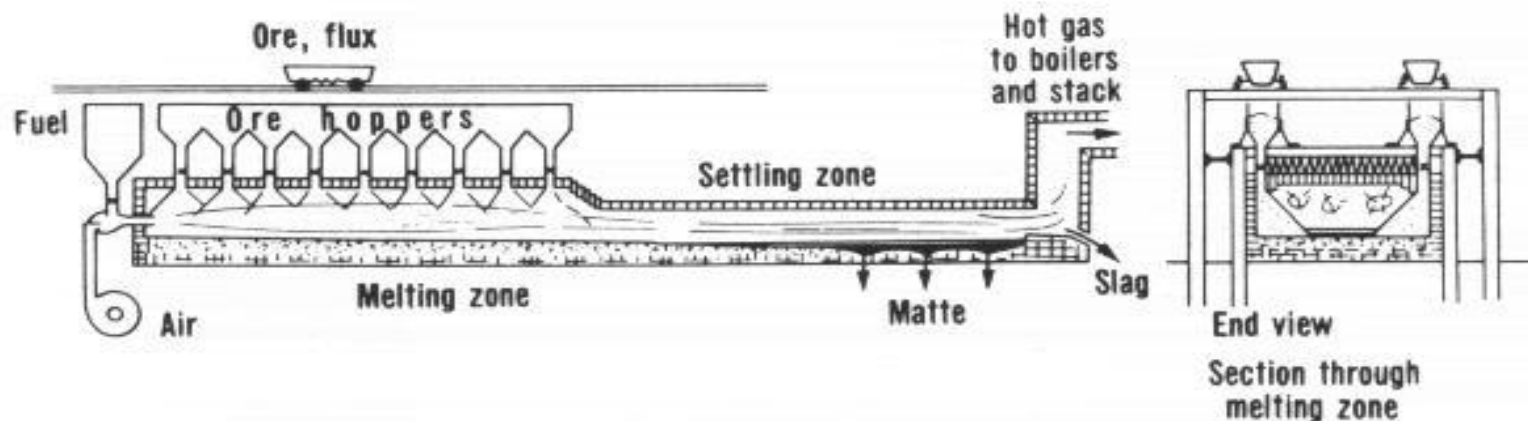
# Horno flash para la tostación de concentrados de cobre



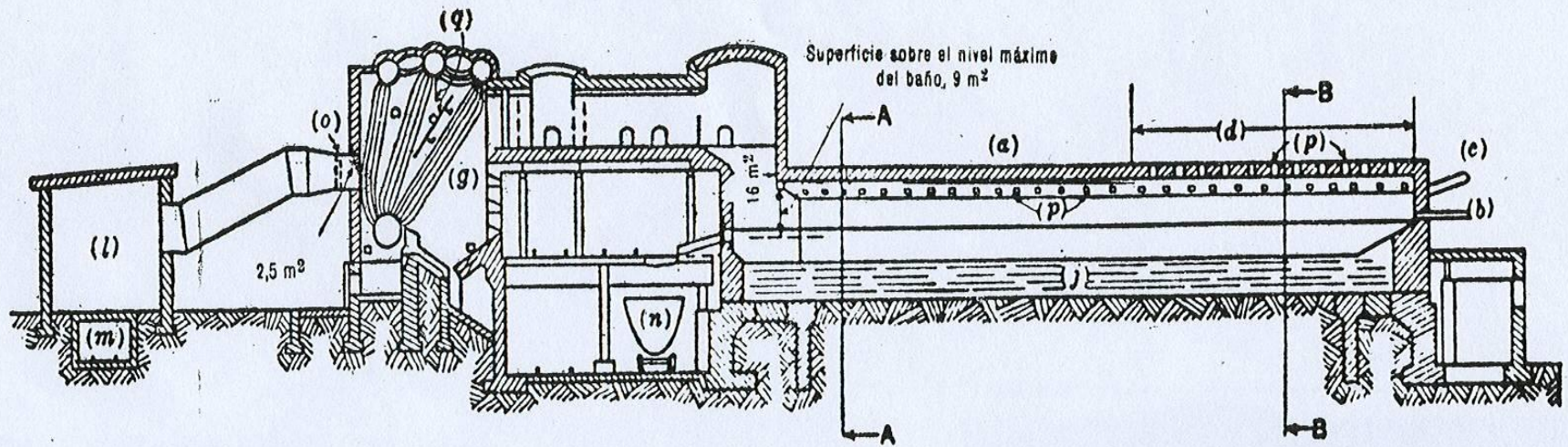
# Técnicas de Metalurgia Extractiva



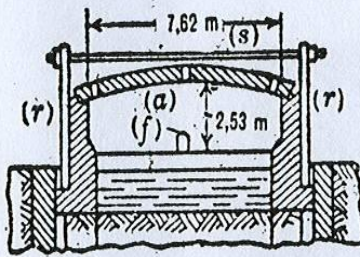
**Horno de reverbero para la producción de mata de cobre**



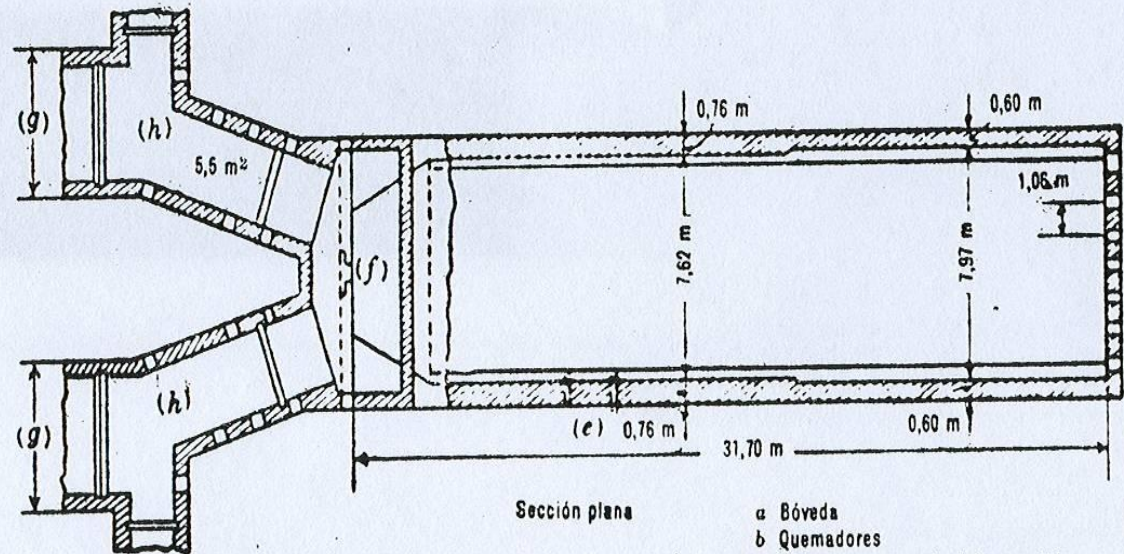




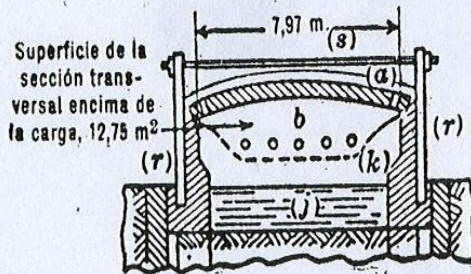
Sección de corte del horno, de la caldera y de los tubos de eliminación



Sección A-A



Sección B-B



Sección plana

- a Bóveda
- b Quemadores
- c Salida de la escoria del convertidor
- d Zona de carga
- e Agujero de colada de la mata
- f Agujero de colada de la escoria
- g Calderas
- h Conductos de evacuación de gases
- j Hearth
- k Solera
- l Chimenea principal
- m Túnel
- n Vagoneta de escorias
- o Amortiguador
- p Orificio de carga
- q Deflectores
- r Tirantes
- s Barro de sujeción

**Horno de reverbero de obtención de mata a partir de menas de cobre**



- a Solera
- b Piso de alimentación
- c Tolvas de producto calcinado
- d Tuberías de alimentación por gravedad
- e Tuberías de alimentación por tornillo sin fin

- f Alimentador de tornillo sin fin
- g Bóveda
- h Tirante
- i Motor de aire
- j Columna
- k Carga
- l Mata

- m Escoria
- n Tuberías de aire

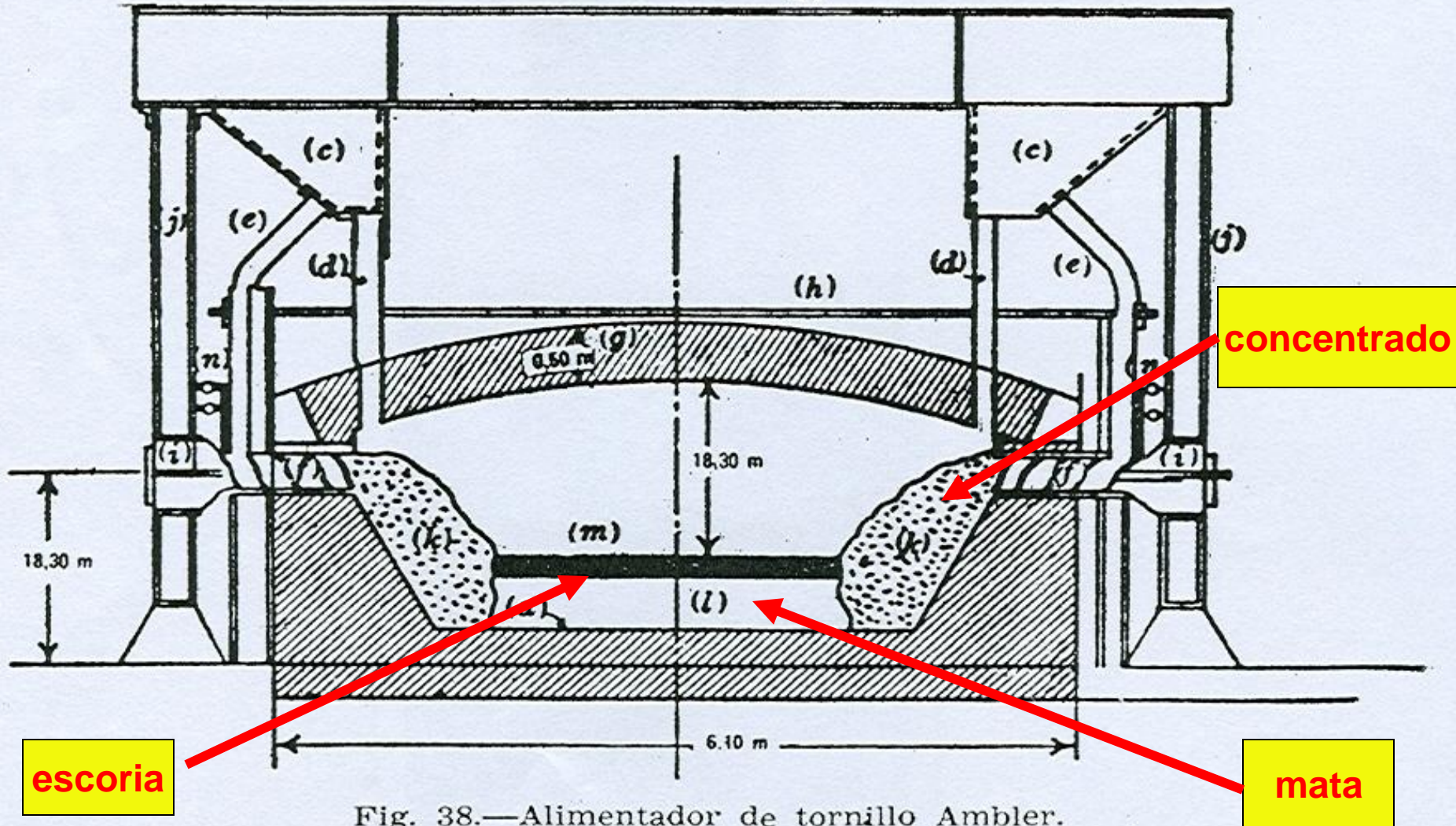
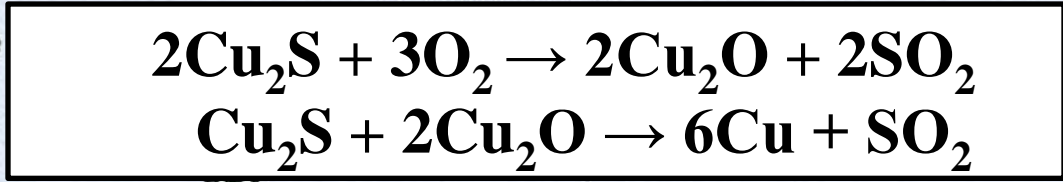
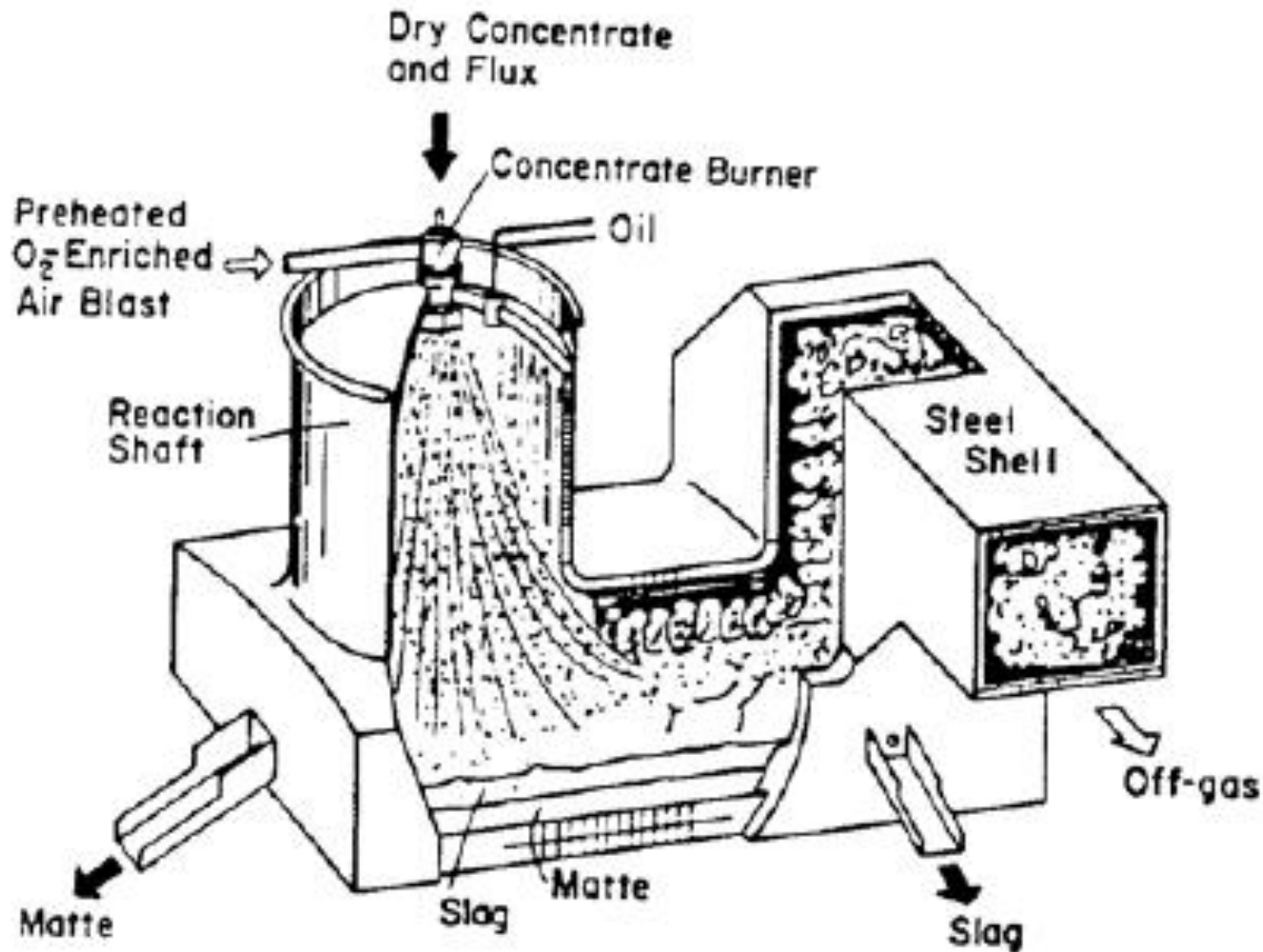


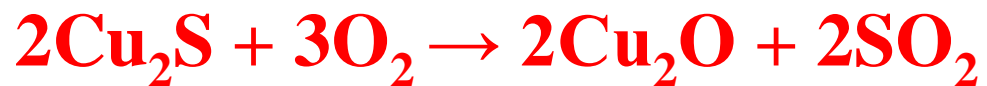
Fig. 38.—Alimentador de tornillo Ambler.







## Horno de fusión *flash* Outokumpu

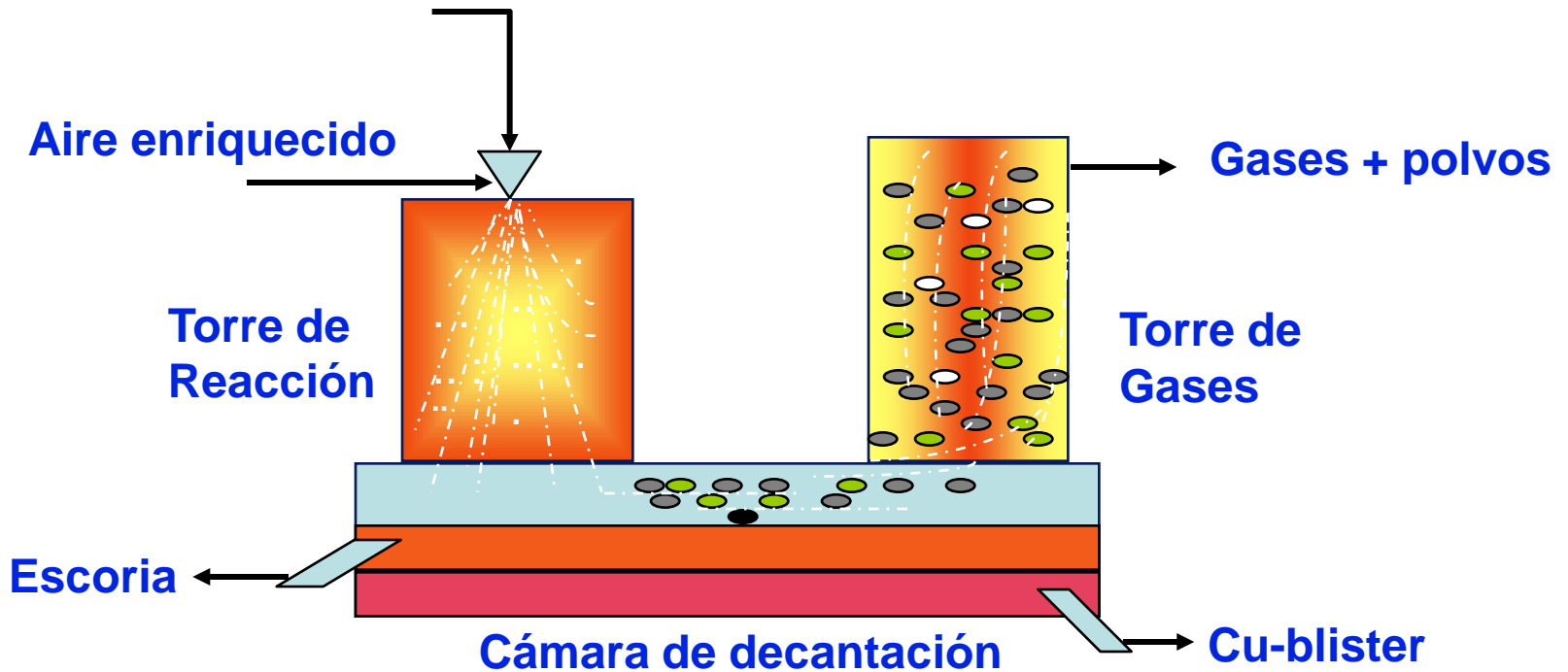
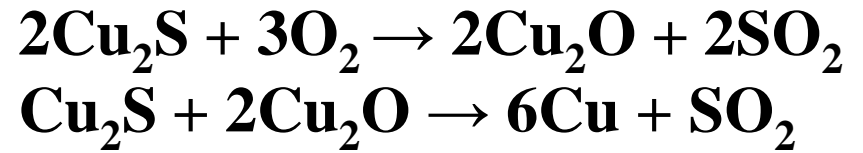


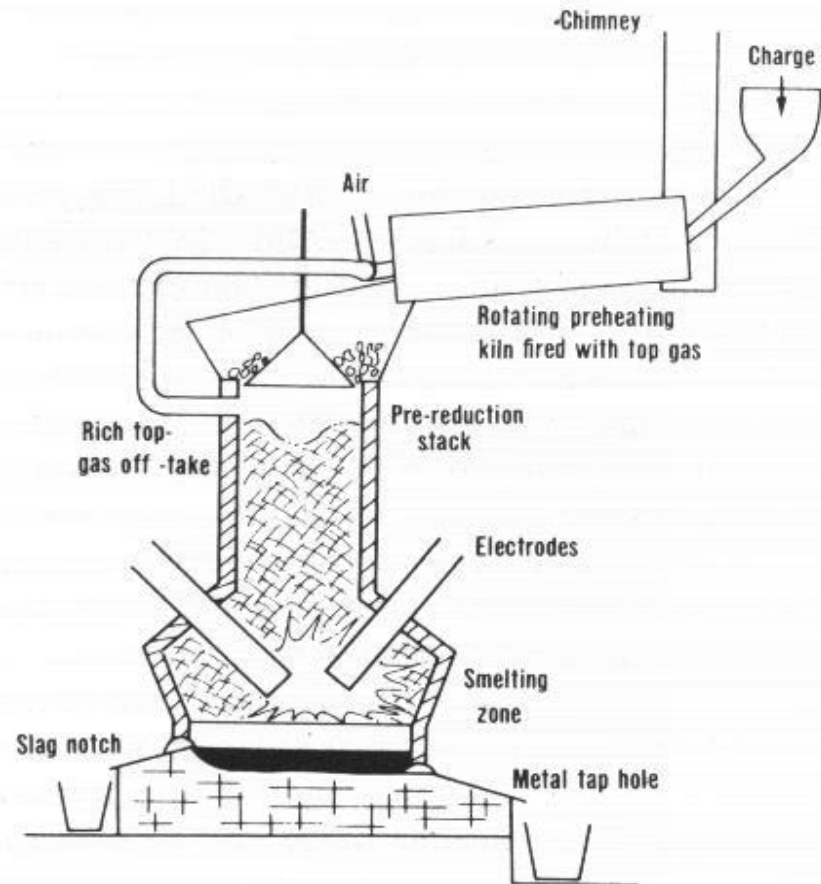
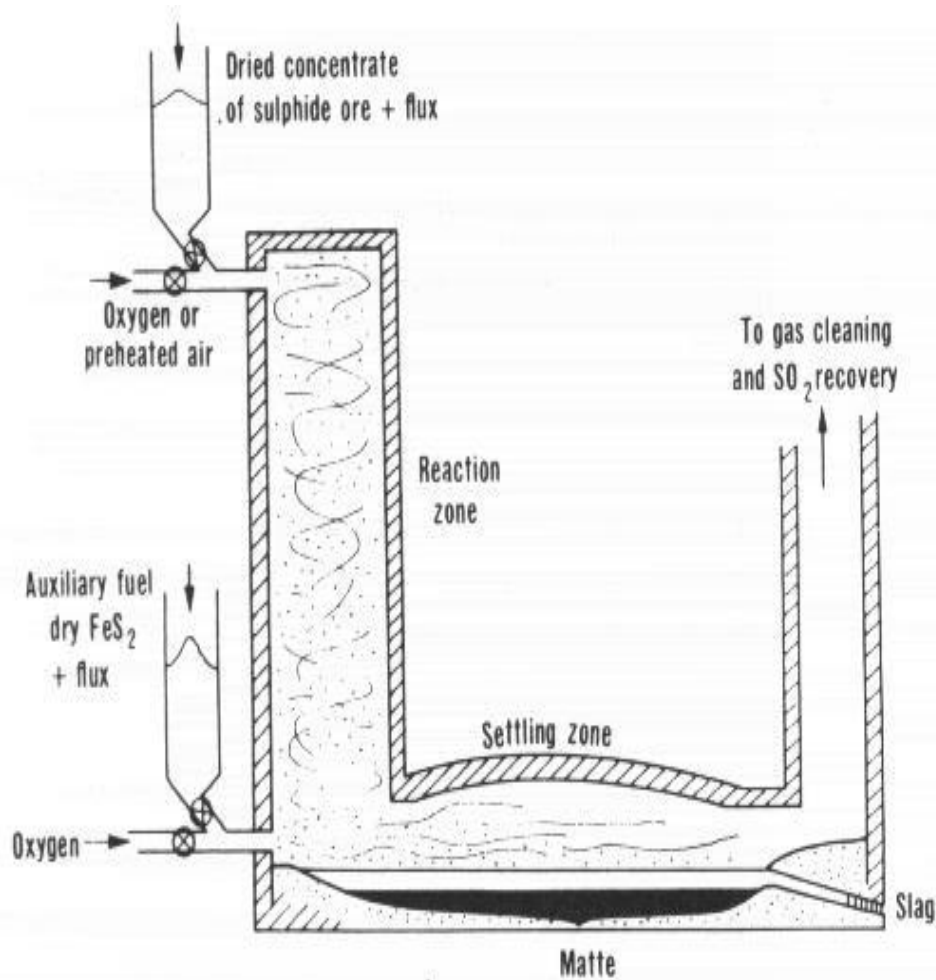
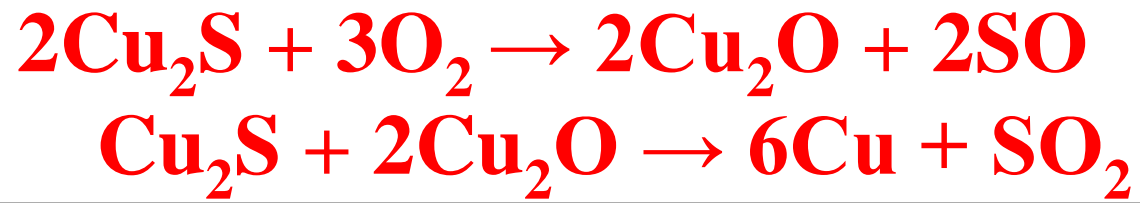


# DESCRIPCION DE PROCESOS

## Convertidor Flash Outokumpu

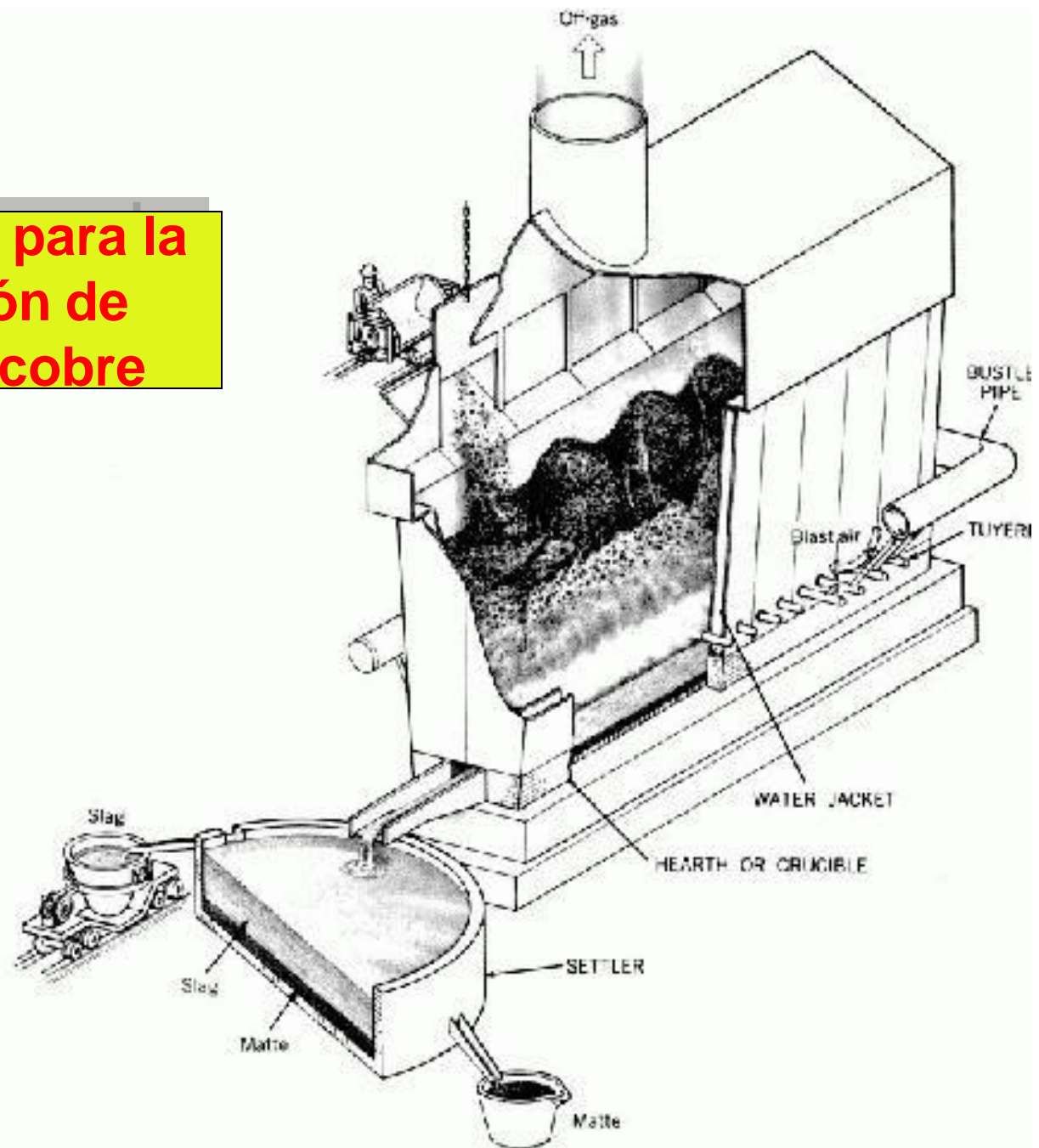
Eje sólido, fino y seco  
fundente

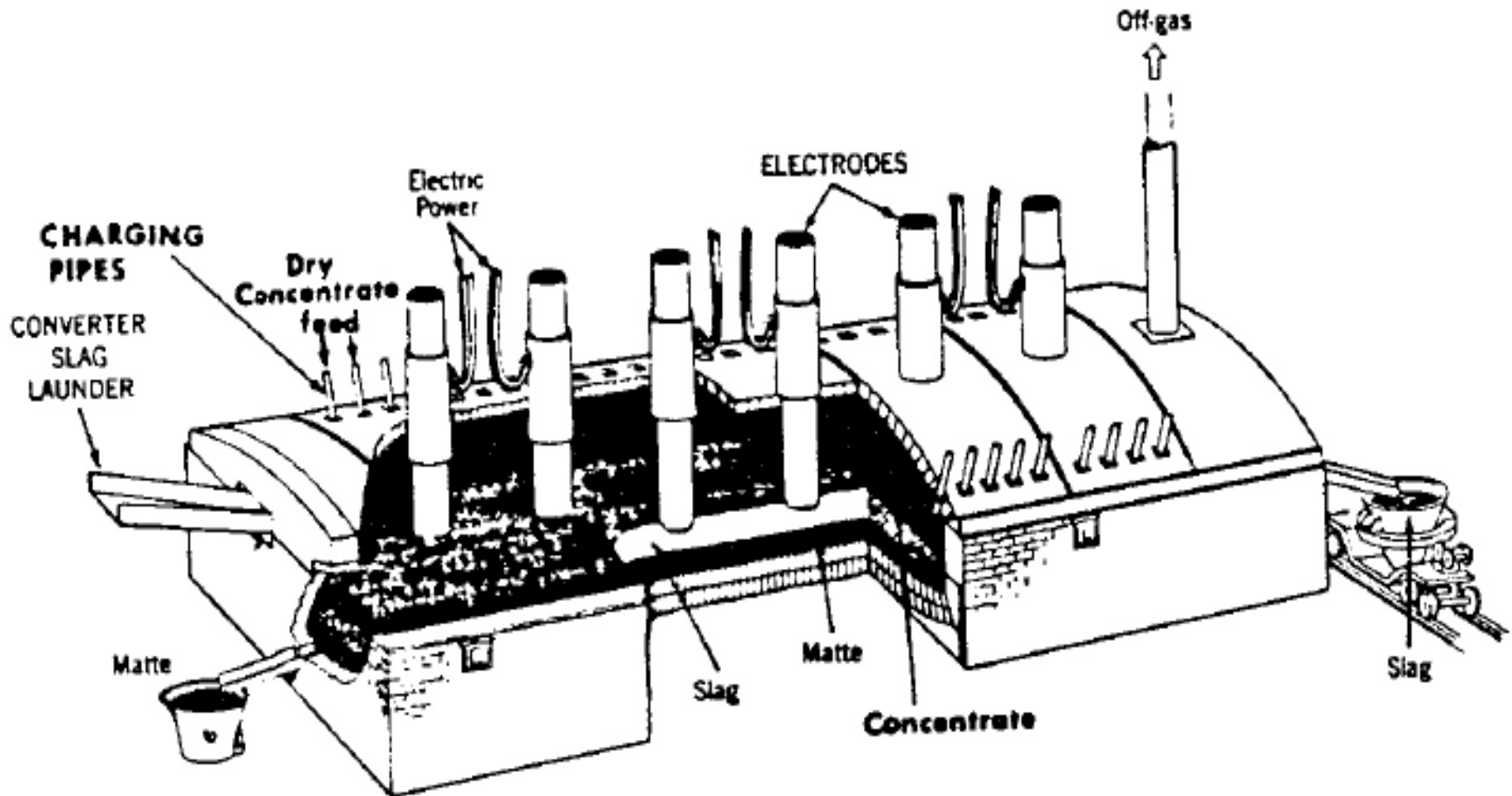
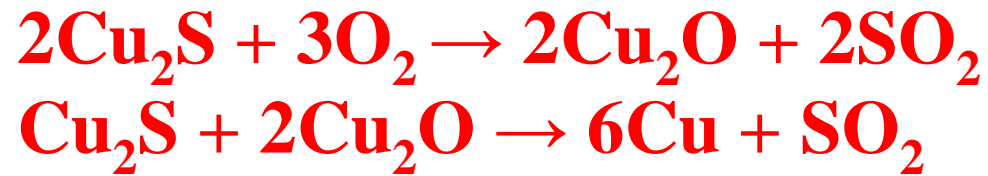




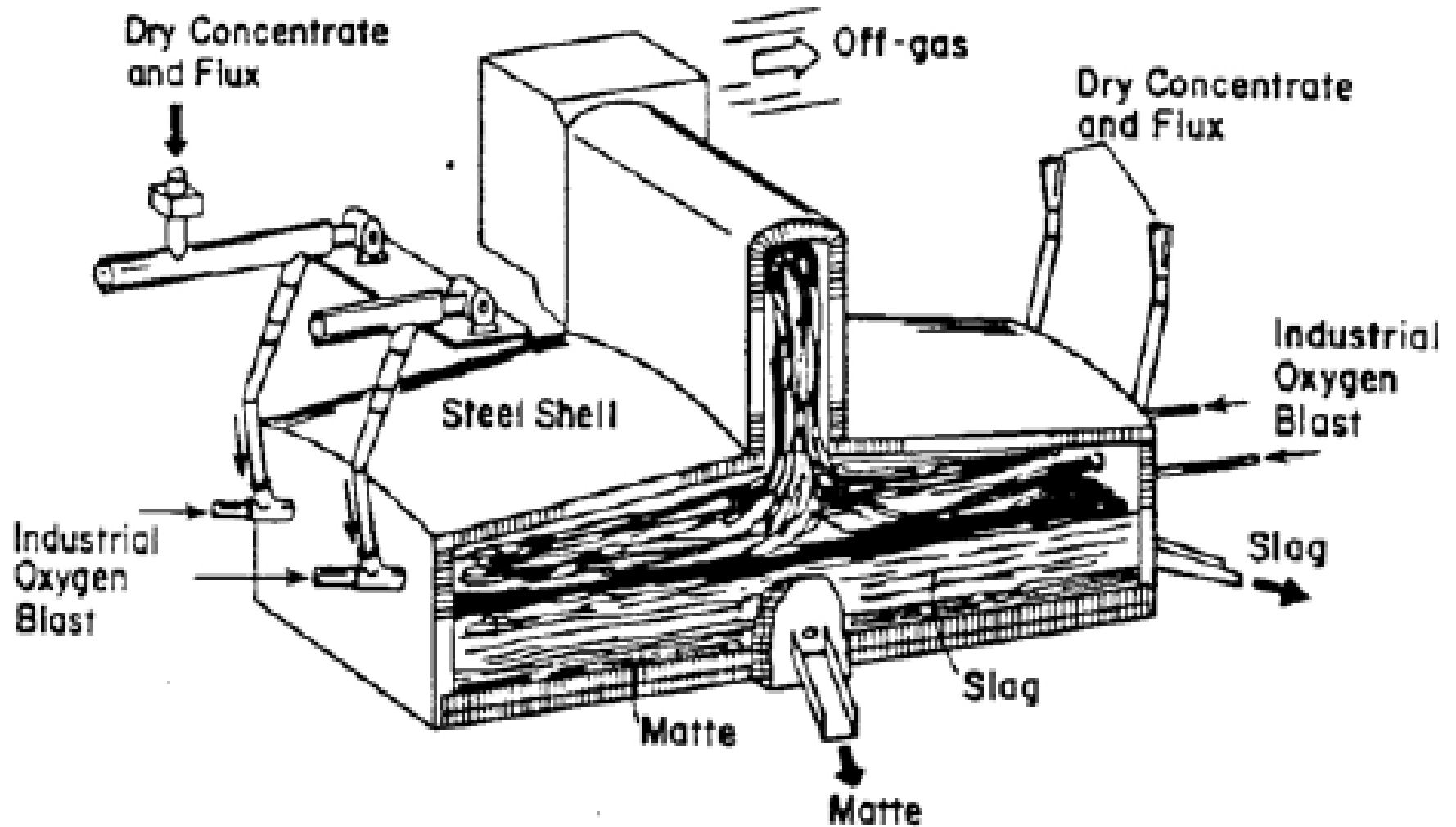


# Alto horno para la Obtención de Mata de cobre





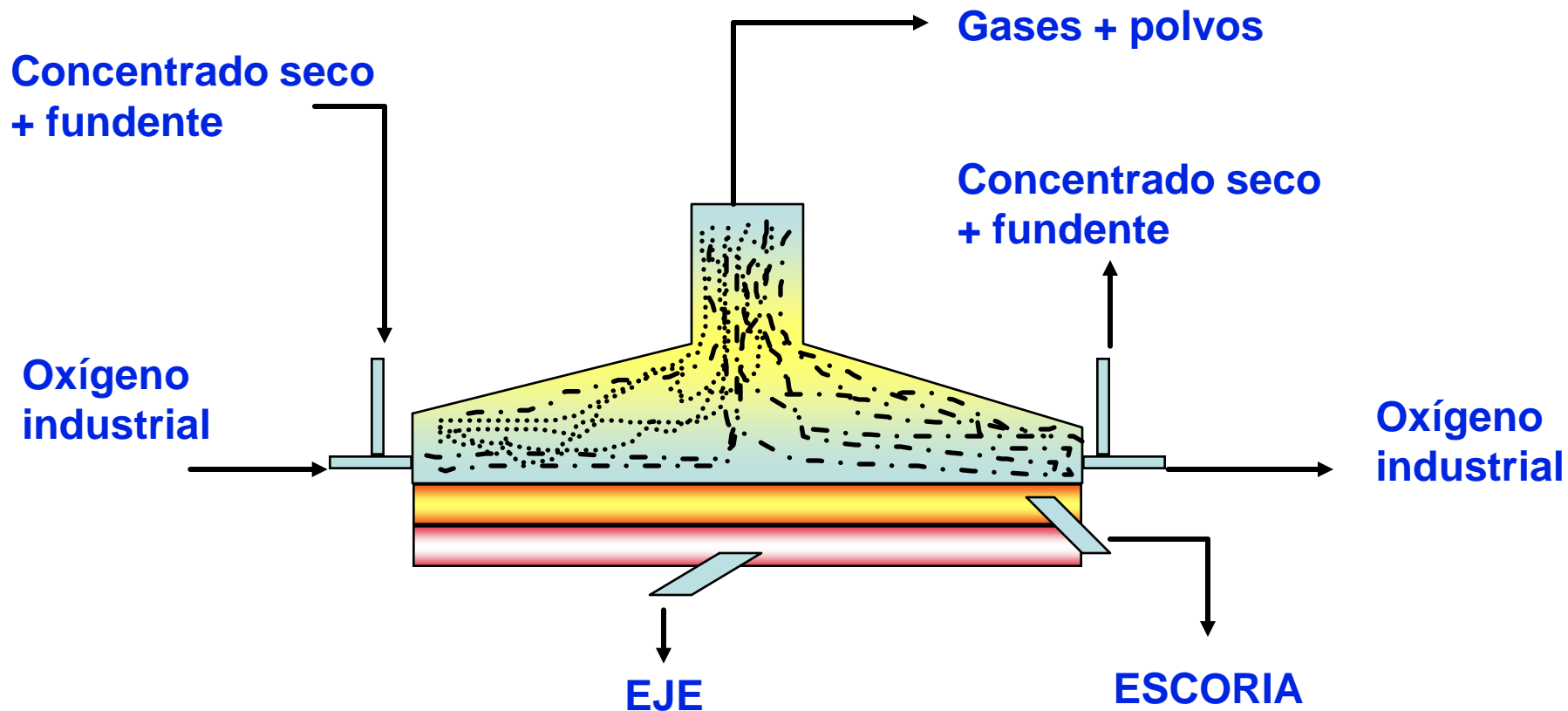
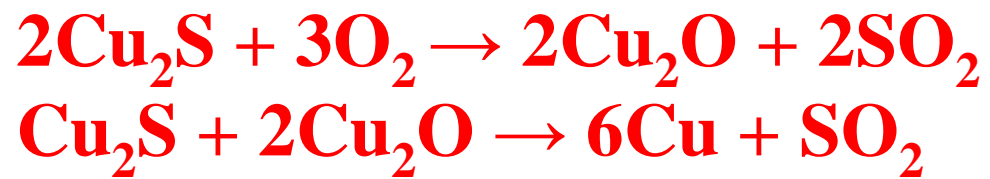
Horno eléctrico cerrado de arco



**Horno de fusión *flash* INCO**

# DESCRIPCION DE PROCESOS

## HORNO FLASH INCO





# Convertidor de mata de cobre

- a Coraza
- b Cubierta
- c Depósito de sílice
- d Engranaje de basculamiento
- e Motor y reductor de la velocidad
- f Rodillos
- g Conducto de aire

- h Junta
- i Tobera
- j Caja de viento
- k Tubos colectores
- l Revestimiento de magnesita

MATA DE COBRE

COBRE BLISTER

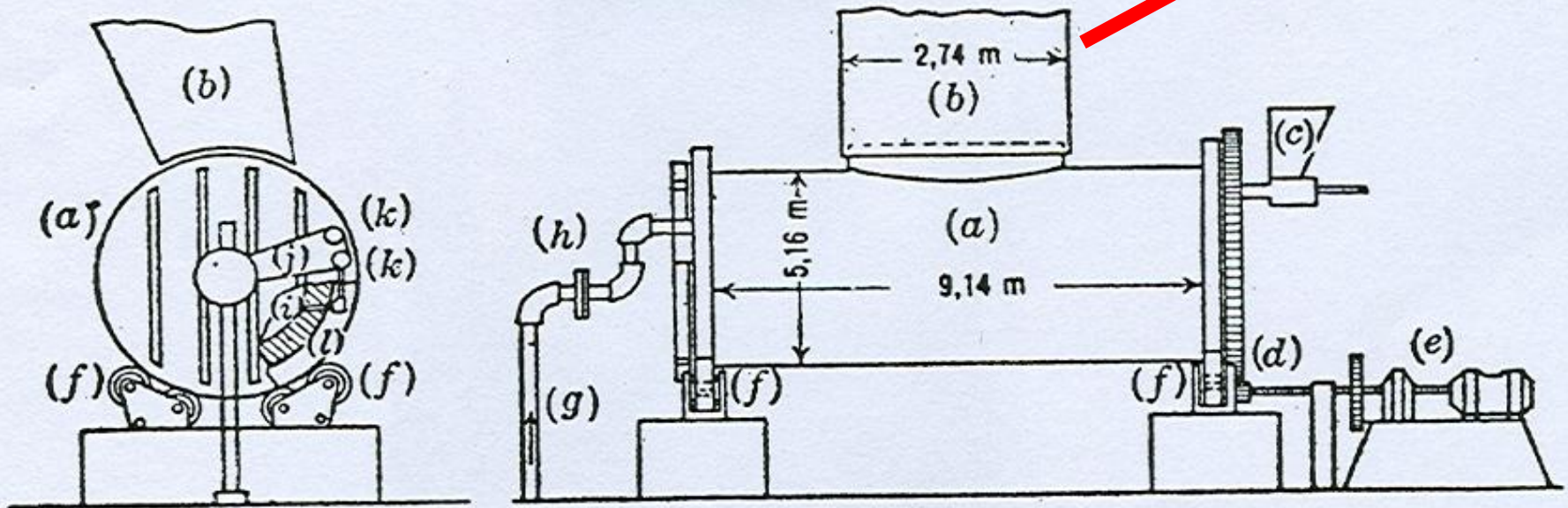
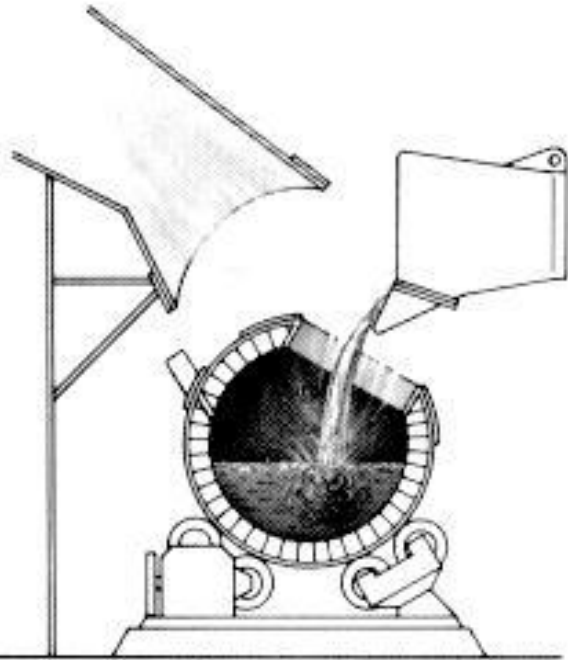
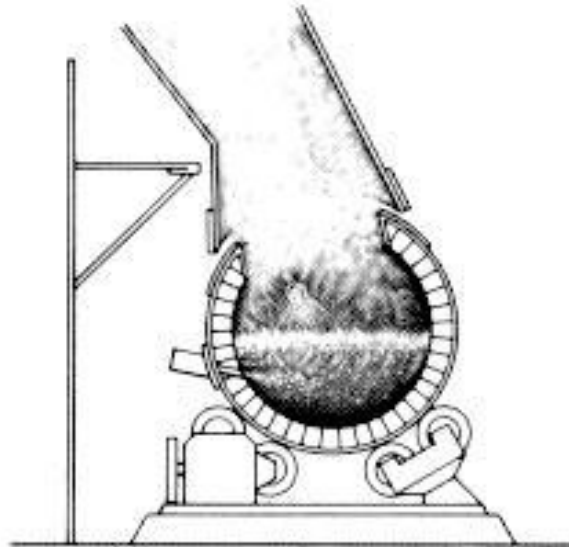


Fig. 40.—Convertidor de cobre horizontal. (Por cortesía de la «Allis-Chalmers Manufacturing Co.».)

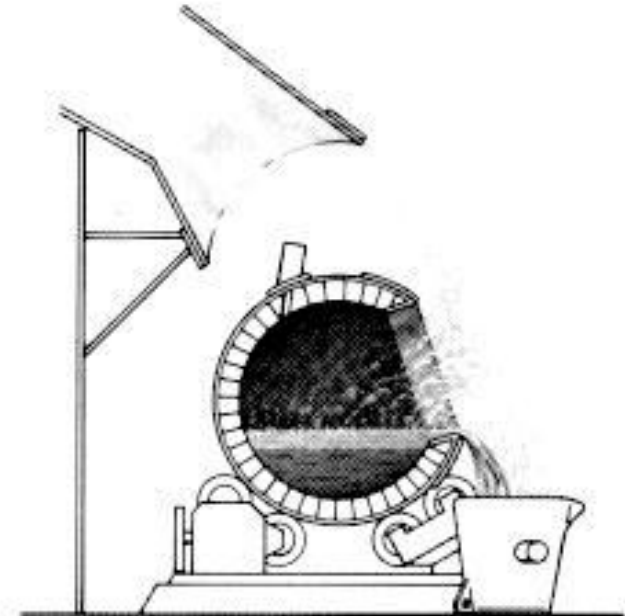
# Técnicas de Metalurgia Extractiva



Charging



Blowing



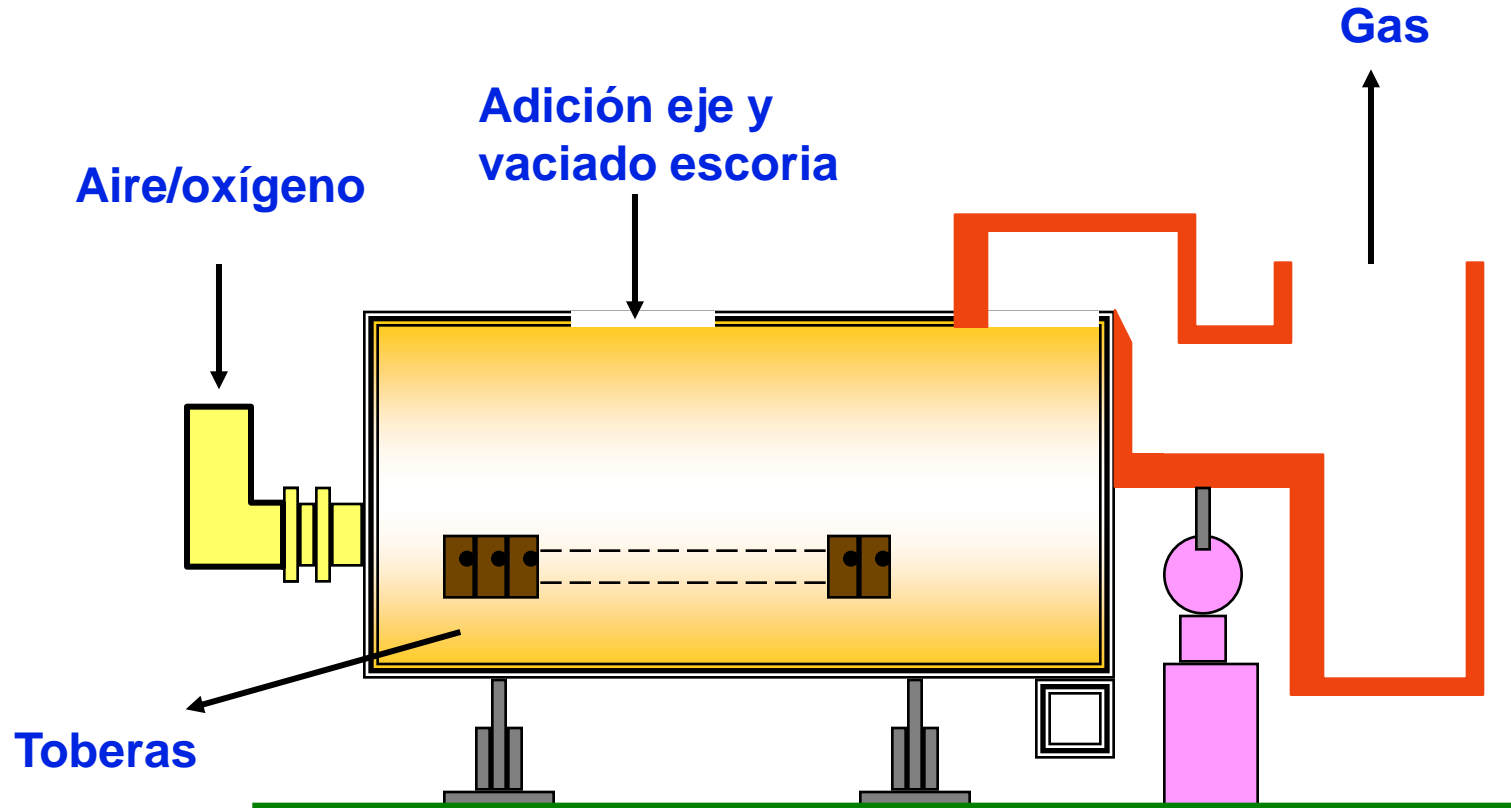
Skimming

## Convertidor



# DESCRIPCION DE PROCESOS

## Convertidor Hoboken





# Esquema de un Horno CMT

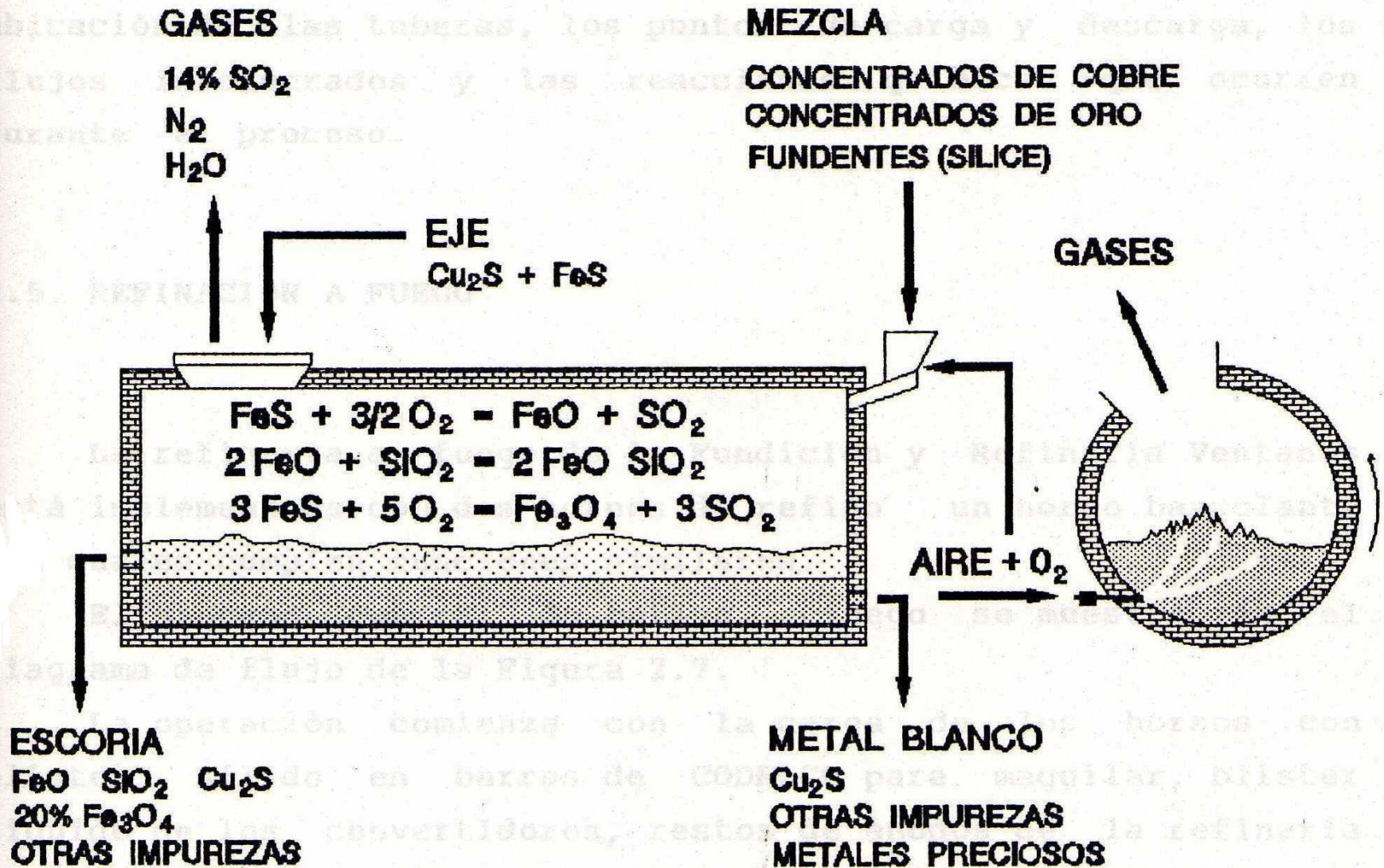


Figura 2.5 PROCESOS EN CONVERTIDOR MODIFICADO

# Extracción

- **Mata**
  - 70% de cobre principalmente como sulfuro de cobre y sulfuro de hierro
  - Altas temperaturas
    - $\text{CuS}_{(l)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{Cu}_{(l)} + \text{SO}_{2(g)}$
  - Escoria
    - $2\text{FeS}_{(l)} + 3\text{O}_2 + 2\text{SiO}_{2(l)} \rightarrow 2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_{2(l)} + 2\text{SO}_{2(g)}$
- **Producto final: 98% de pureza**



# Procesos en Convertidor Tradicional

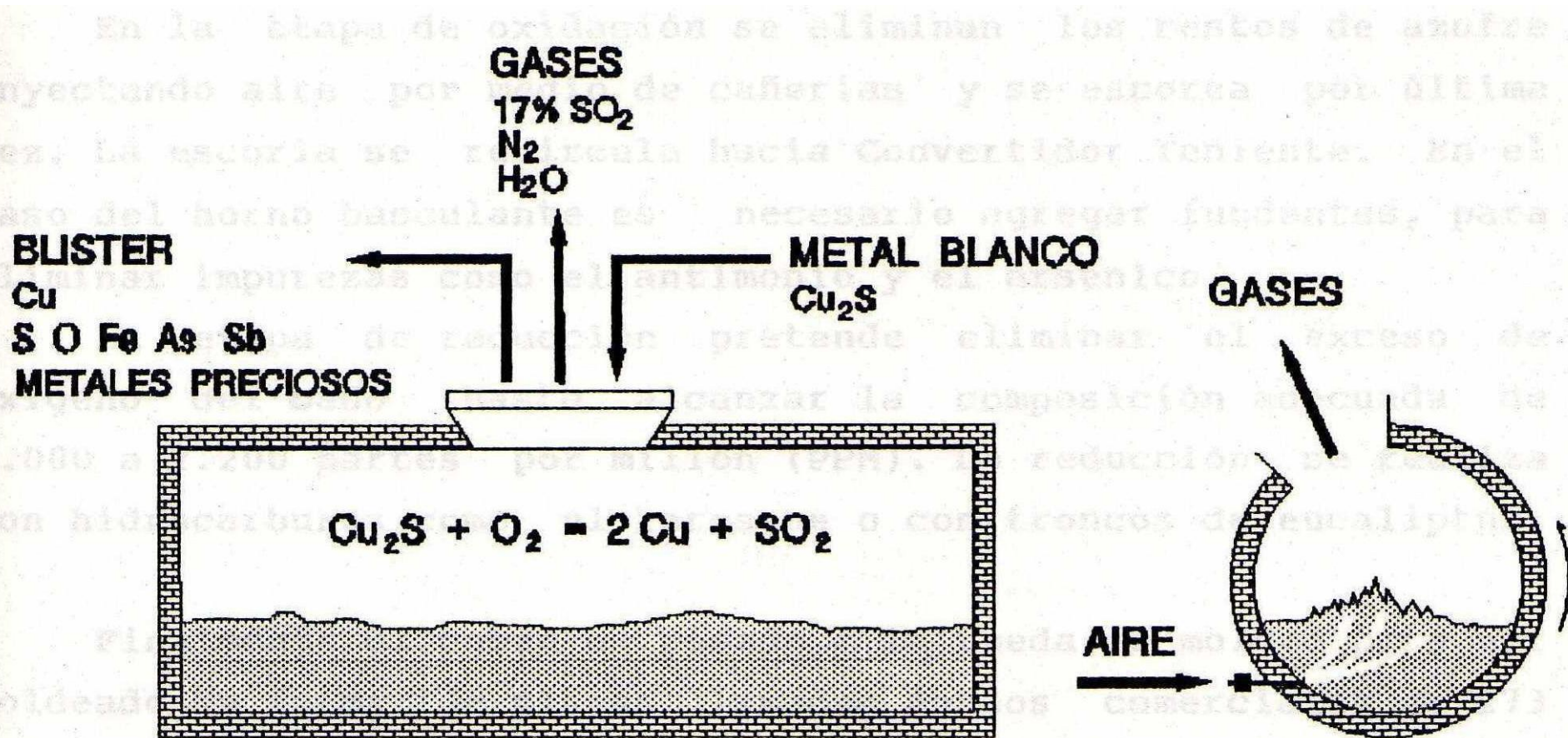
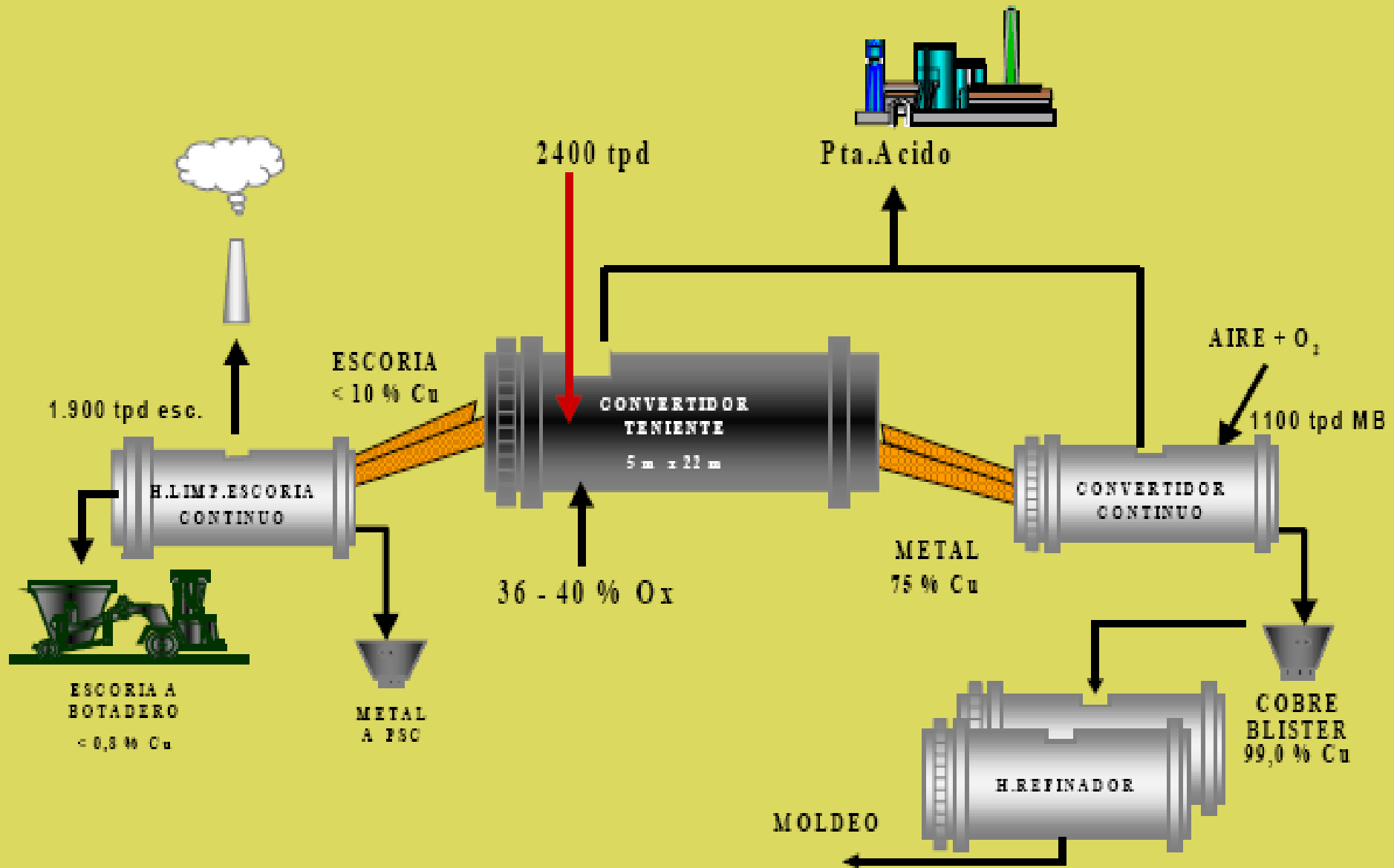


Figura 2.6 PROCESOS EN CONVERTIDOR TRADICIONAL

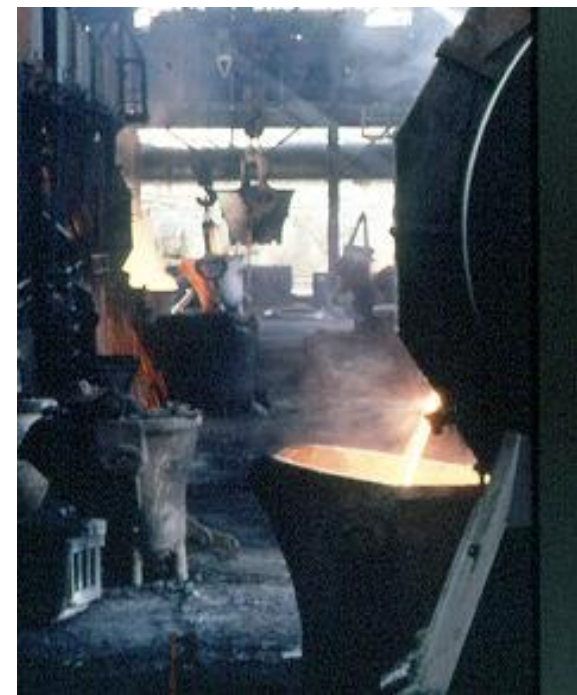


# Tecnología Teniente Continua





**El concentrado sufre un proceso de fusión. Se separa el eje de la escoria.**



**En el proceso de fusión conversión se separa la escoria del metal blanco, la fase más pesada y que contiene 70 a 75 % de cobre.**



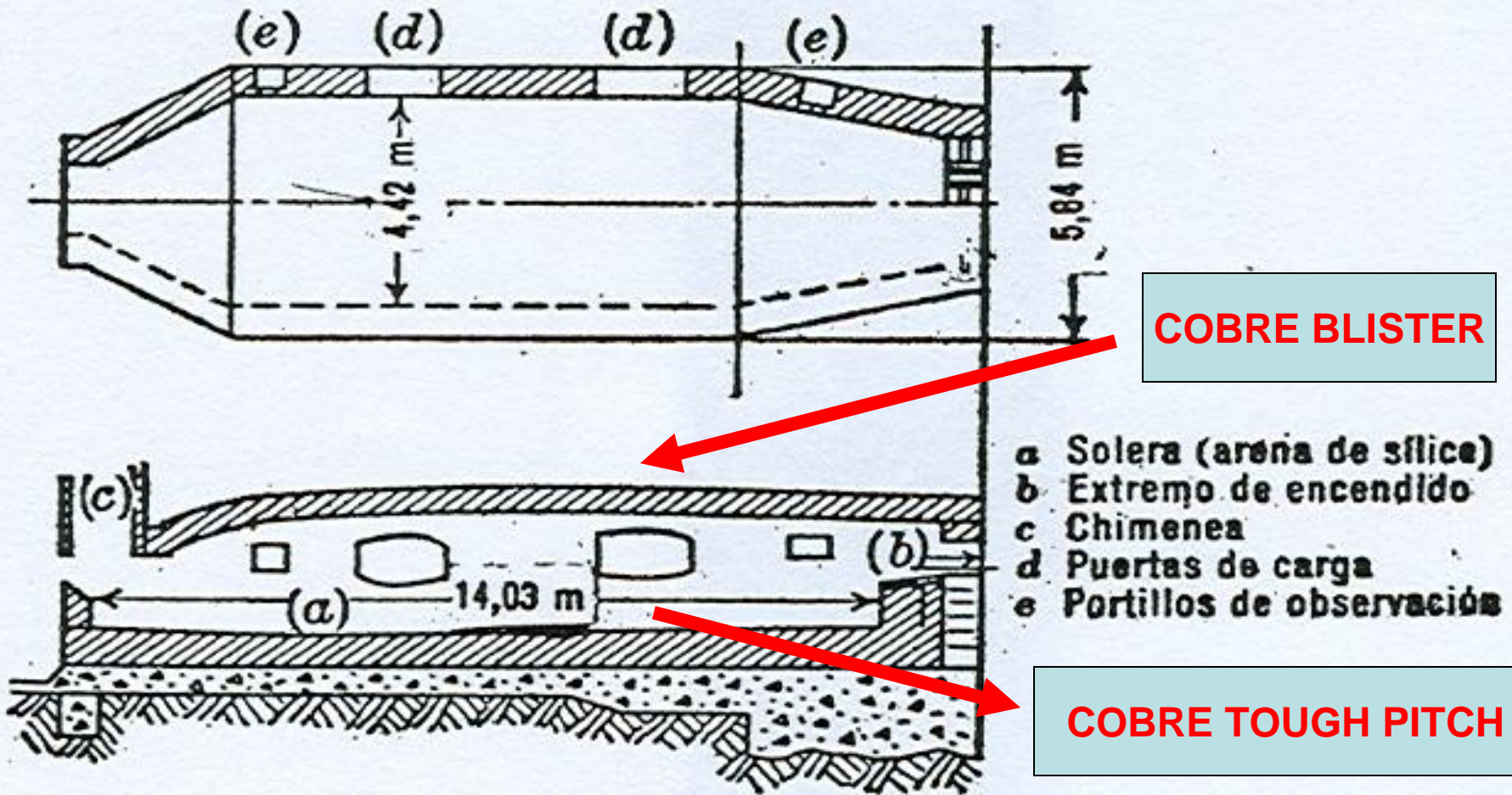
**El cobre anódico obtenido en la pirorrefinación es moldeado en ánodos**

# DESCRIPCION DE PROCESOS

## Rueda de Moldeo







**COBRE BLISTER**

**COBRE TOUGH PITCH**

**HORNO DE REMEO**

# Ánodos de cobre



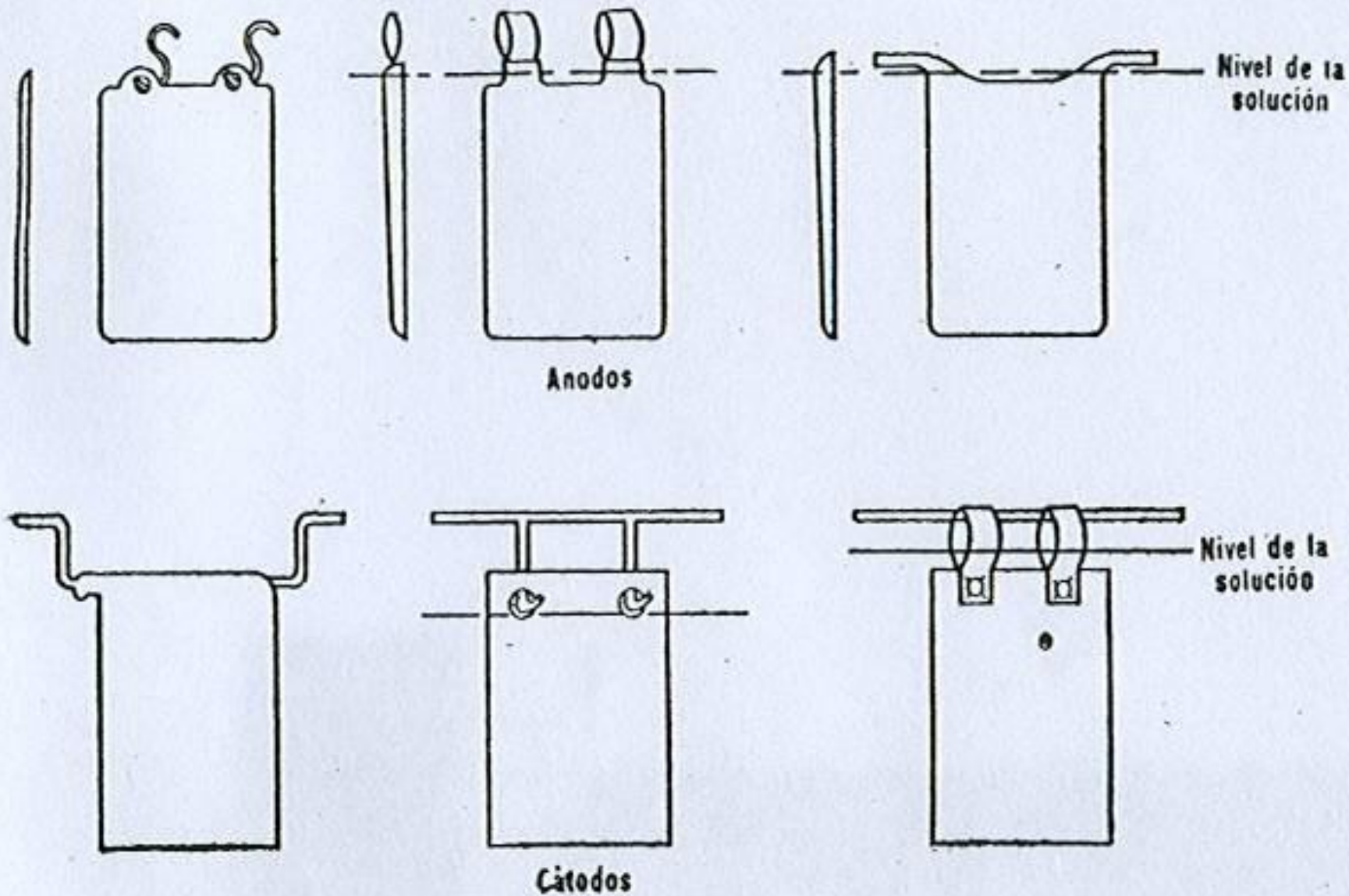


Fig. 47.—Formas de electrodos.

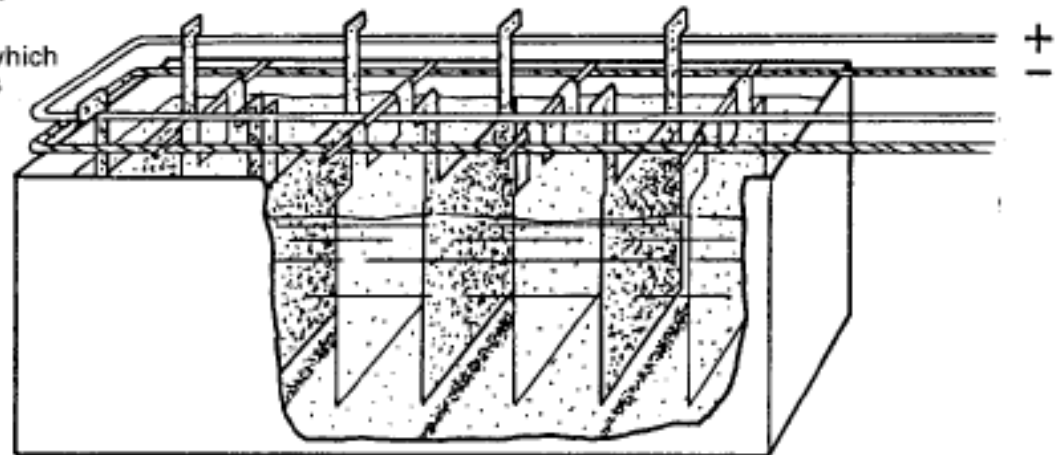
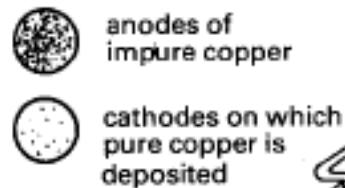


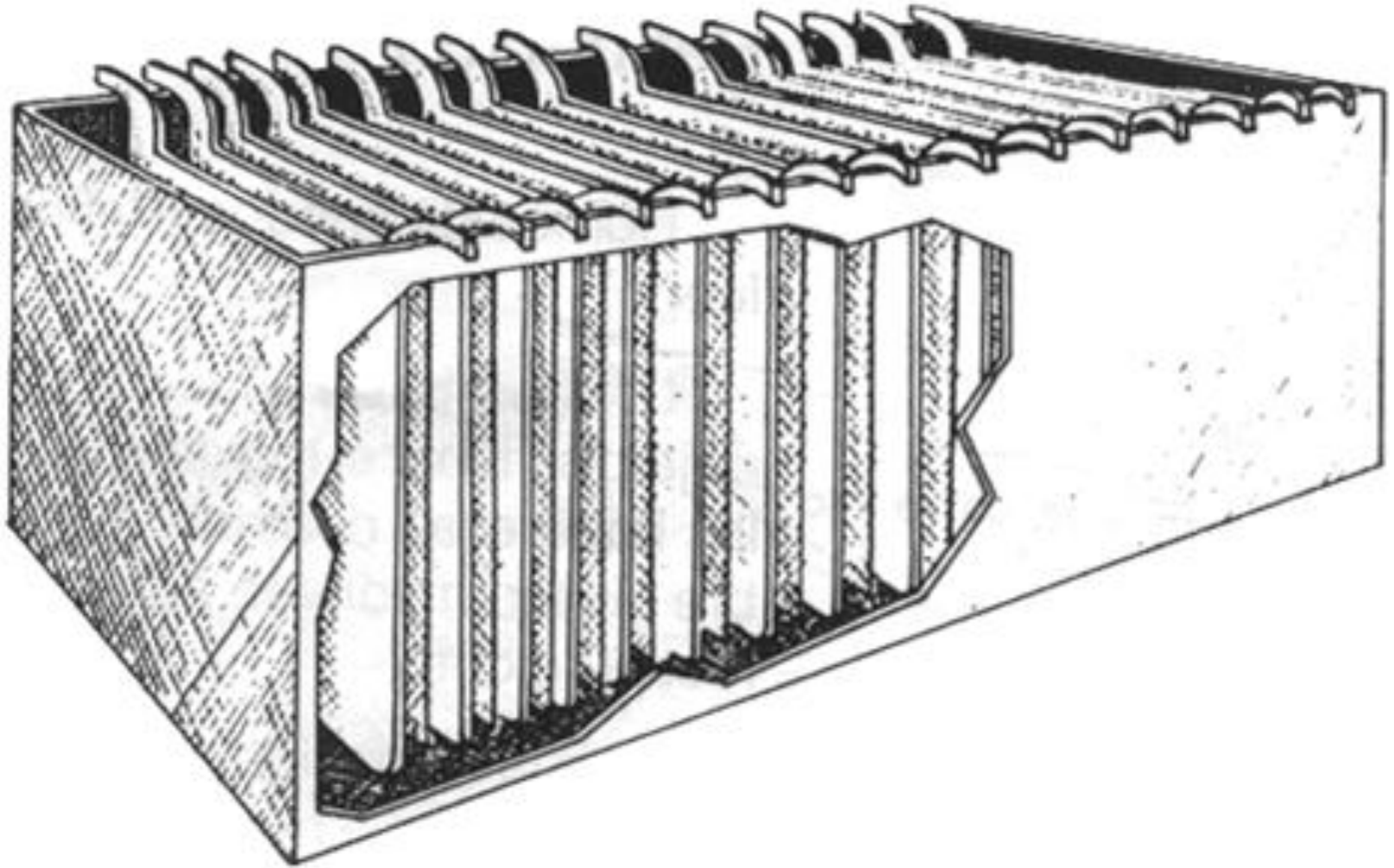
# Electrorefinación de Cu

## ÁNODO Cu(impuro)

- **Ag, Au, Pt** precipitan (barro anódico)
- **Sn, Sb, Bi** se oxidan y forman óxidos o hidróxidos
- **Pb** se oxida y forma  $\text{PbSO}_4$  (insol)
- **Fe, Ni, Co, Zn** se oxidan y quedan en solución

## CÁTODO



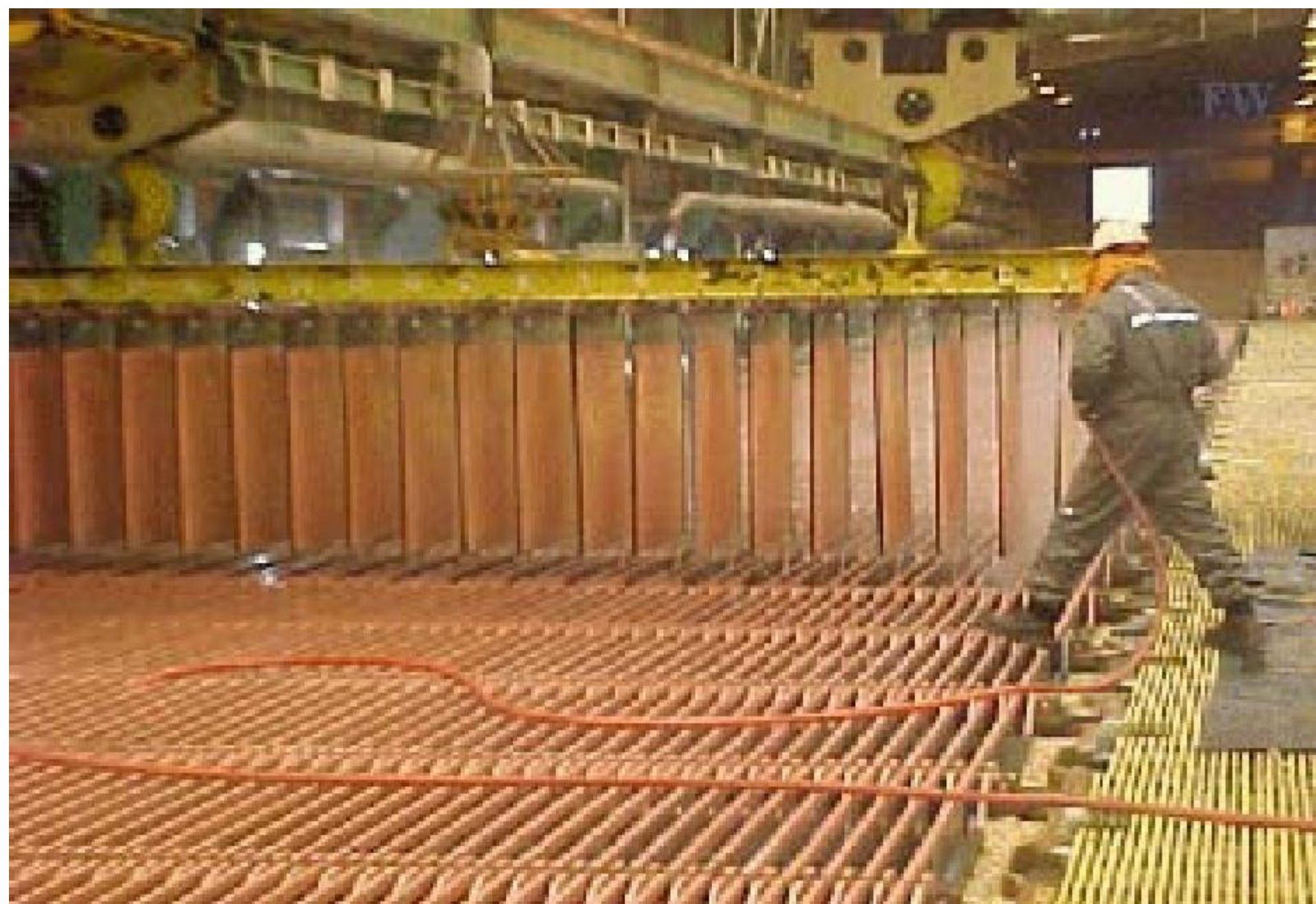


**El proceso de electrorrefinación dura 20 días y en este plazo se realizan dos cosechas de cátodos.**

# Electro-Refinación

















# **Hidrometalúrgia de minerales de cobre**

# Extracción

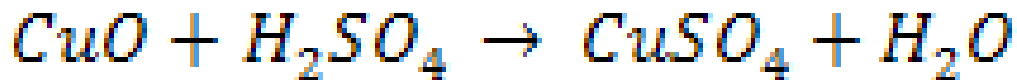
- Hidrometalúrgica

- Óxidos de cobre ➤ Lixiviación

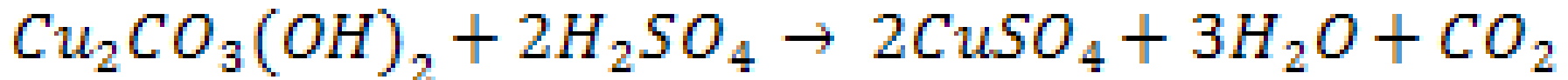
- Líquido se esparce sobre la mena
- Disuelve la mena, creando soluciones que llevan cobre

- Reacciones

- Óxidos



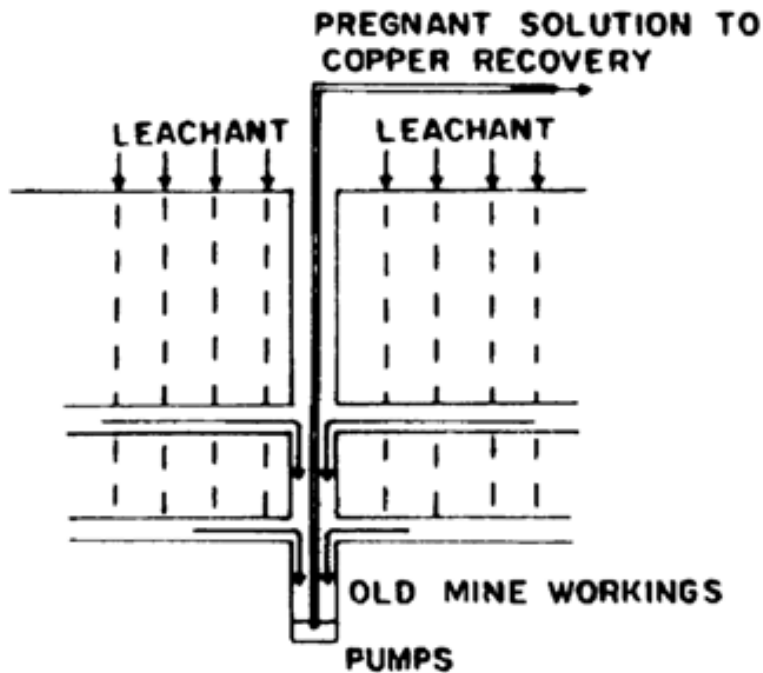
- Malaquita



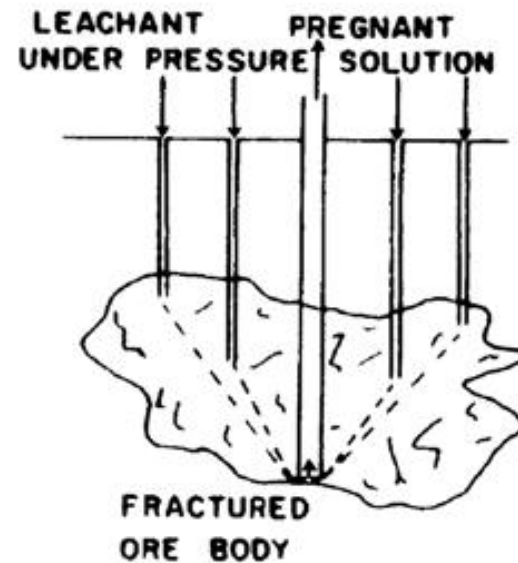
- Crisocola



# Operación de filtrado in situ



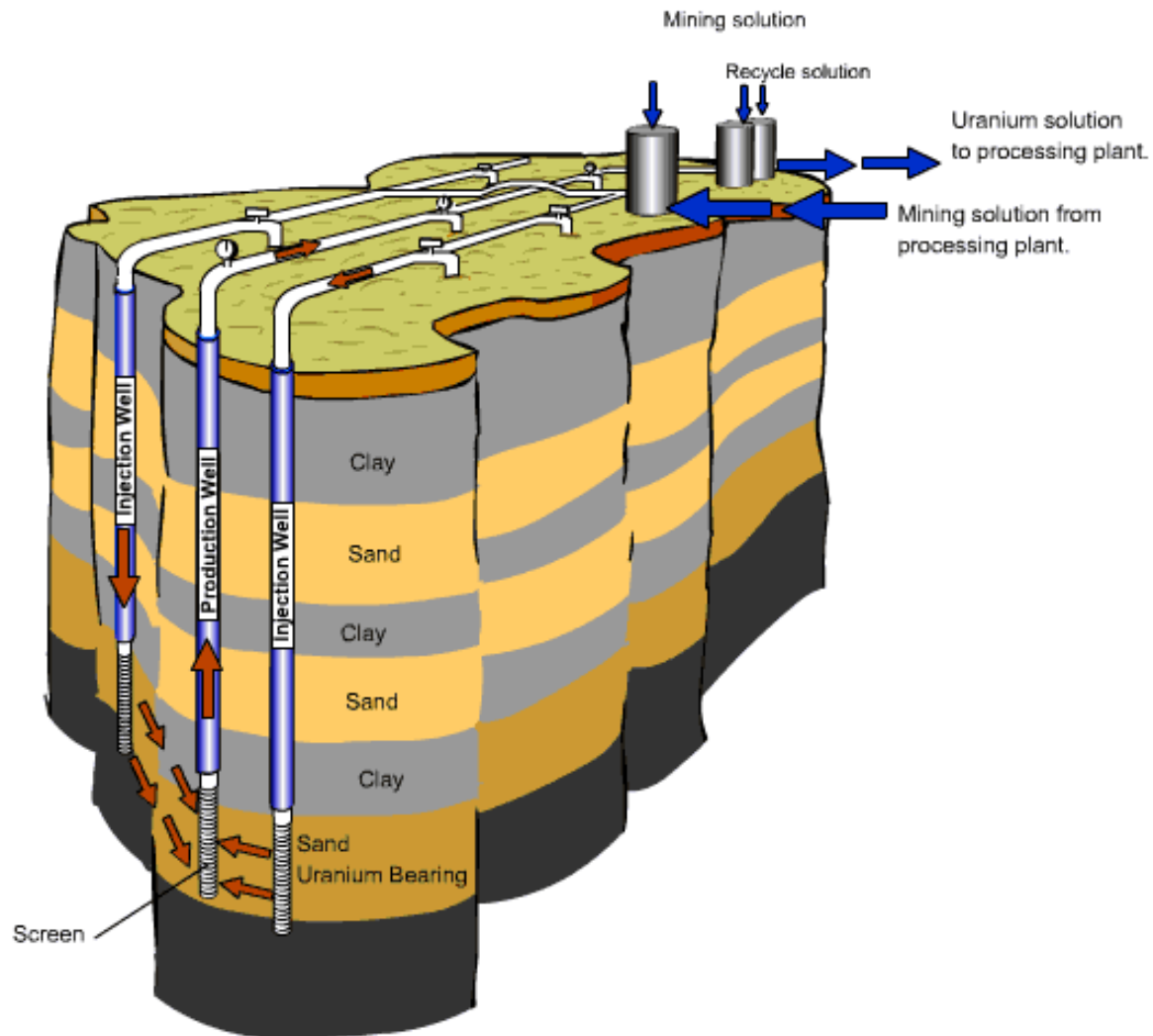
a. *In Situ* Leaching of Old Mine Workings



b. *In Situ* Leaching of Fractured Underground Deposit



# Operación de filtrado in situ

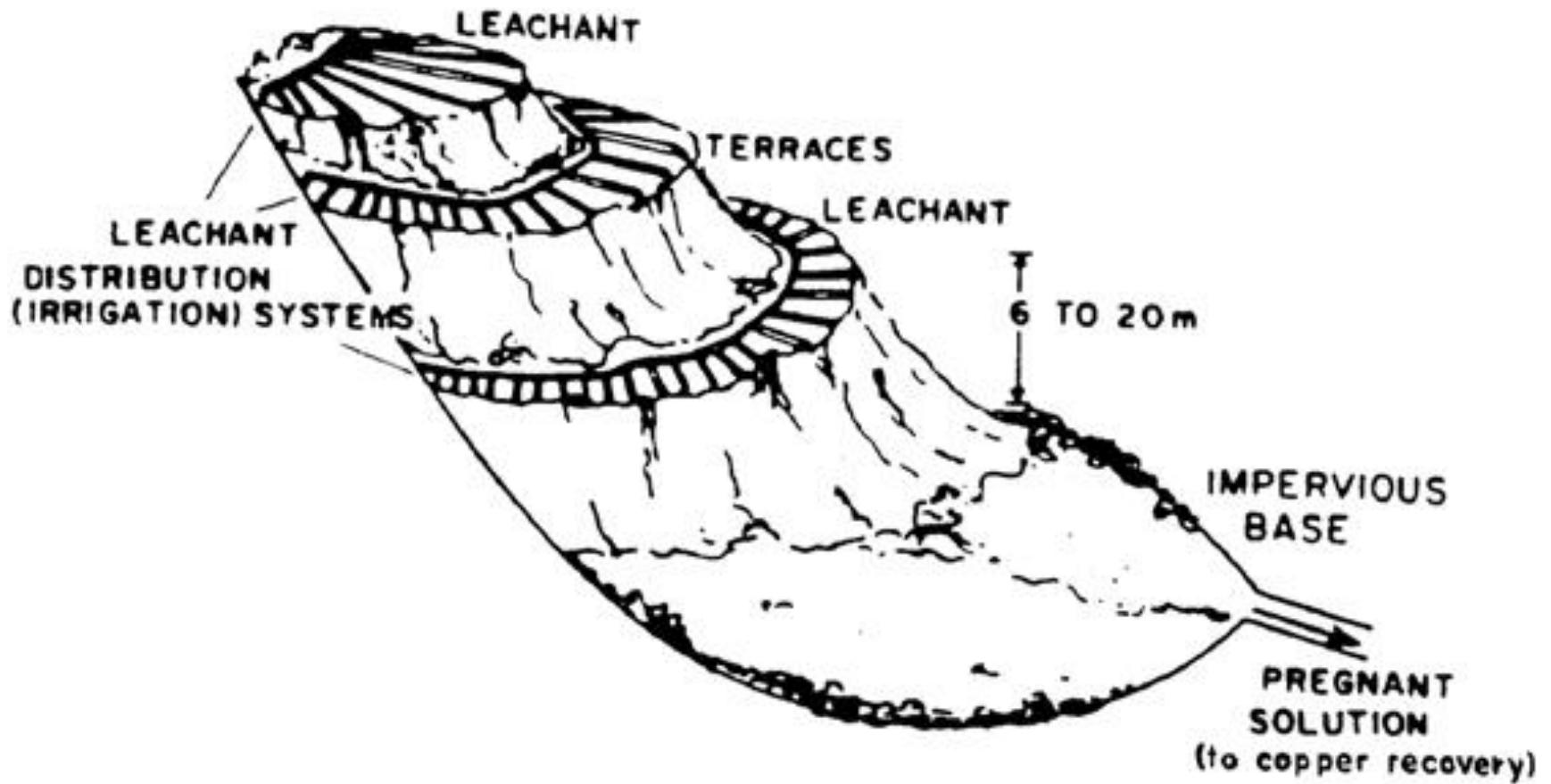


# Operación de filtrado de vertedero

- Es importante distribuir la solución filtrante sobre el vertedero de la manera mas homogénea posible:
  - Diques.
  - Rociadores.
  - Goteadoras.
  - Perforaciones.

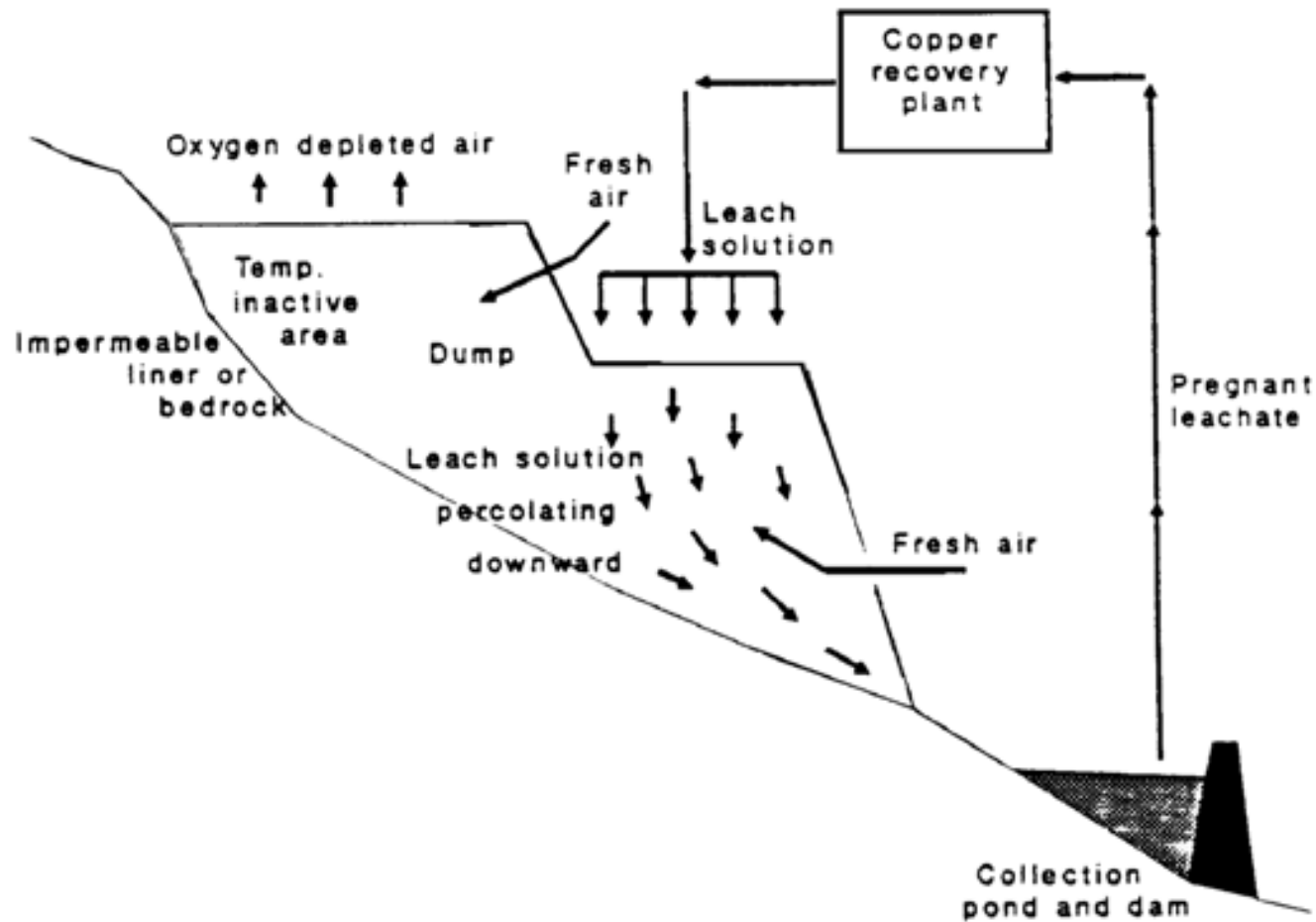


# Operación de filtrado de vertedero





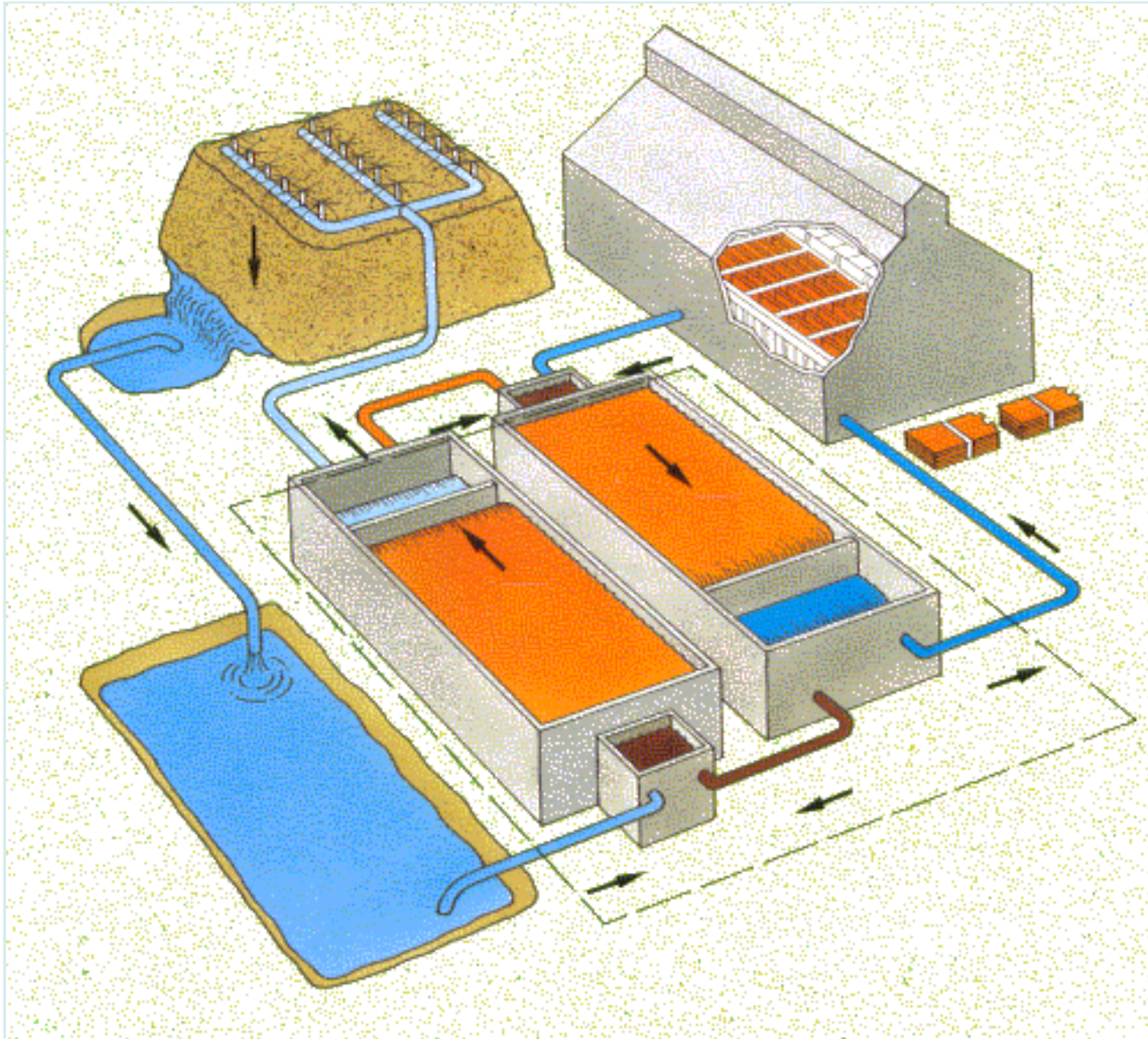
# Operación de filtrado de vertedero



# Operación de filtrado de vertedero



# Planta extracción por solventes en una operación de lixiviación de cobre.





# Hidrometalúrgia

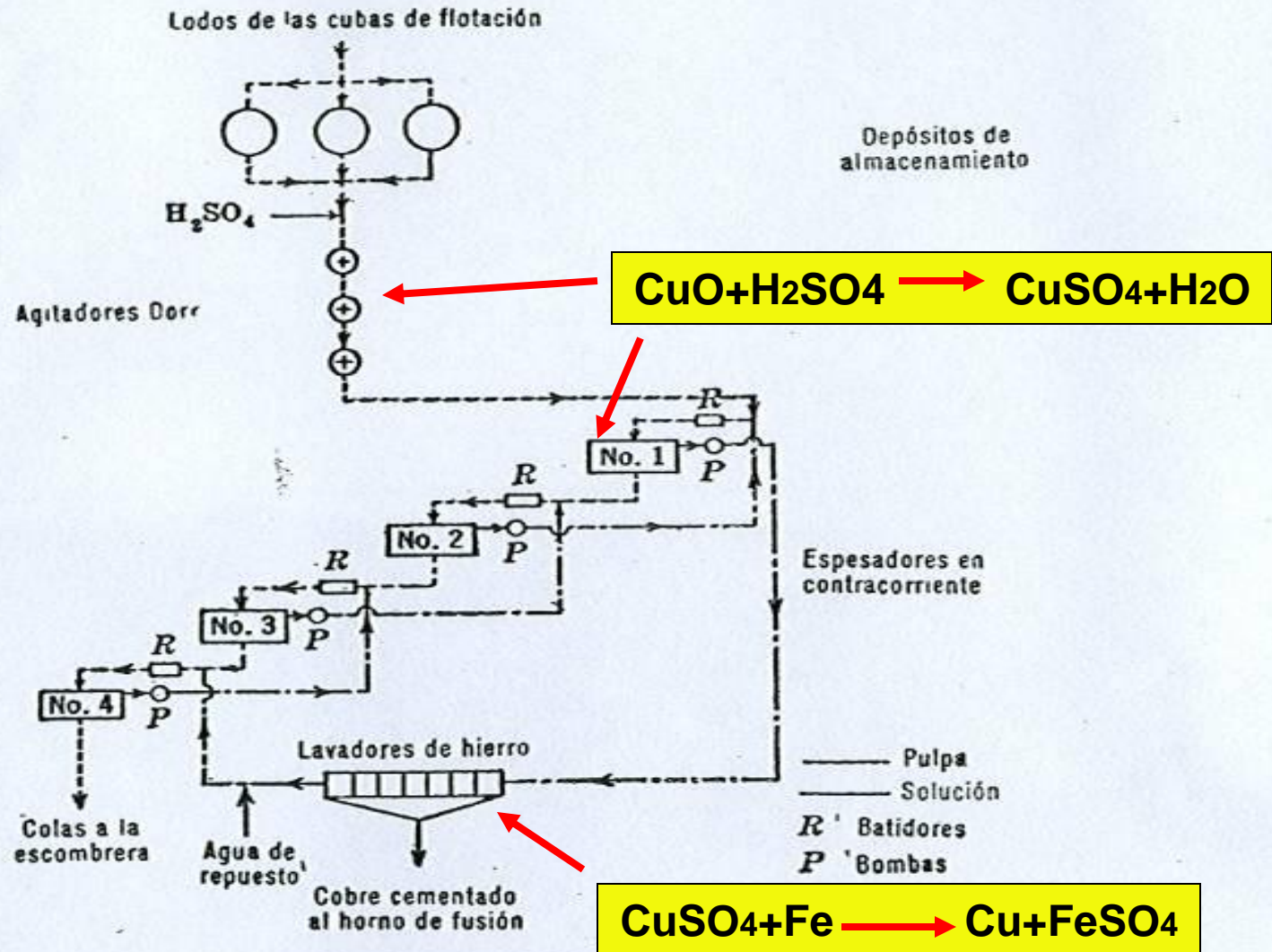
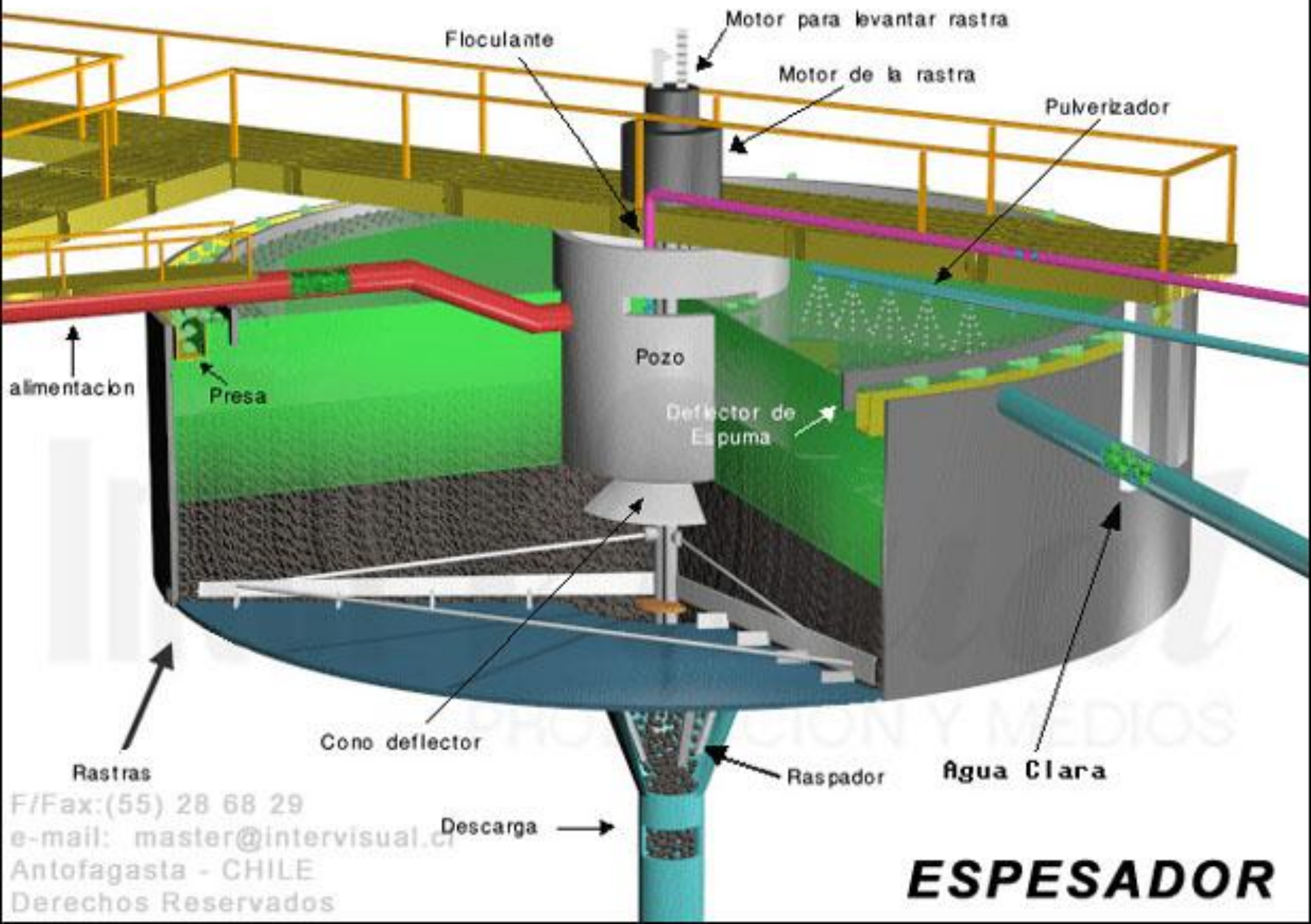


Fig. 55.—Planta de lodos de Inspiration. (Por cortesía de la «Inspiration Copper Co.».)

PSI Particle Size Instruments    Courier® On-stream Analyzers    Procon® Automation Solutions



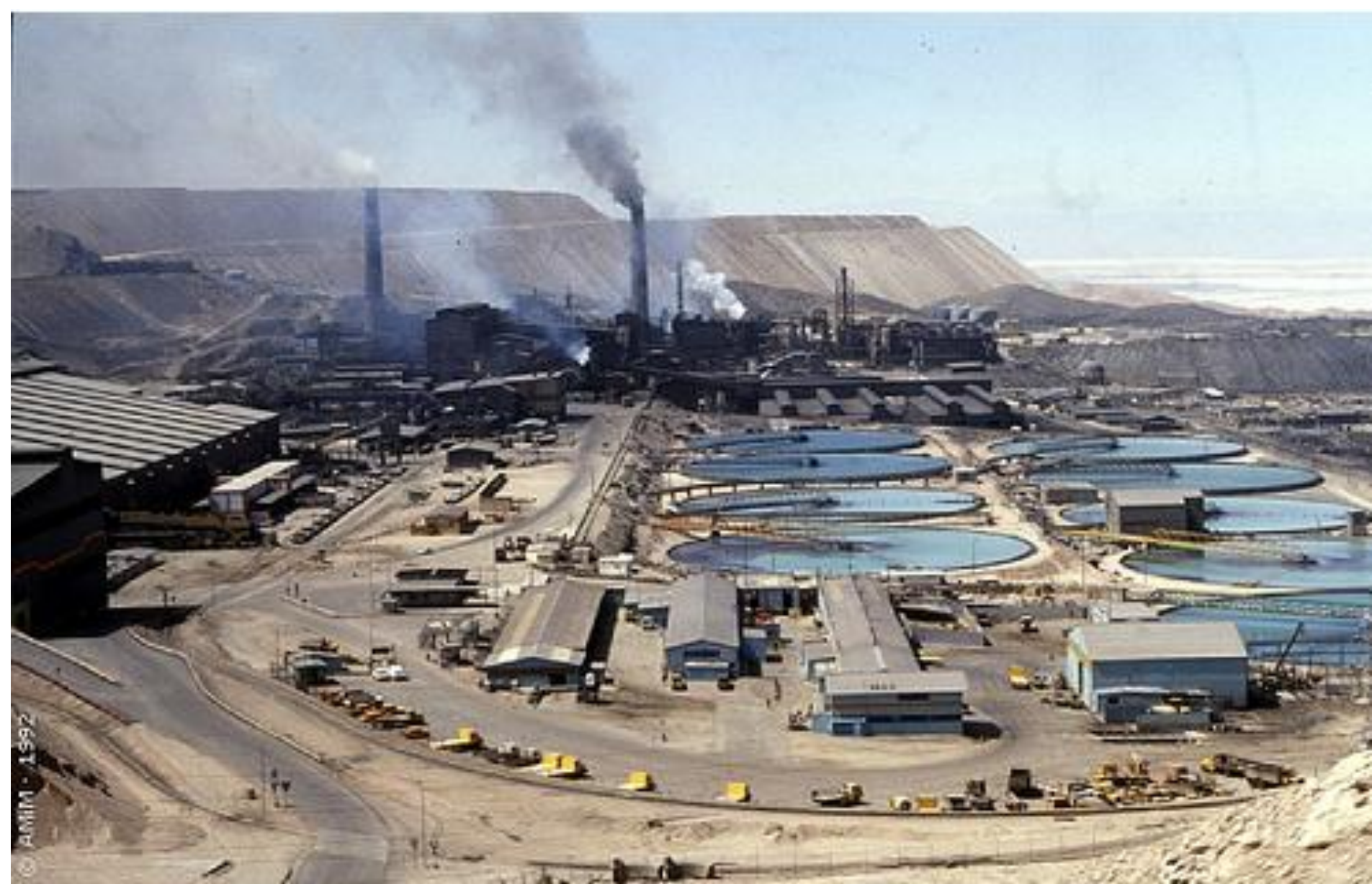


# ESPEADOR

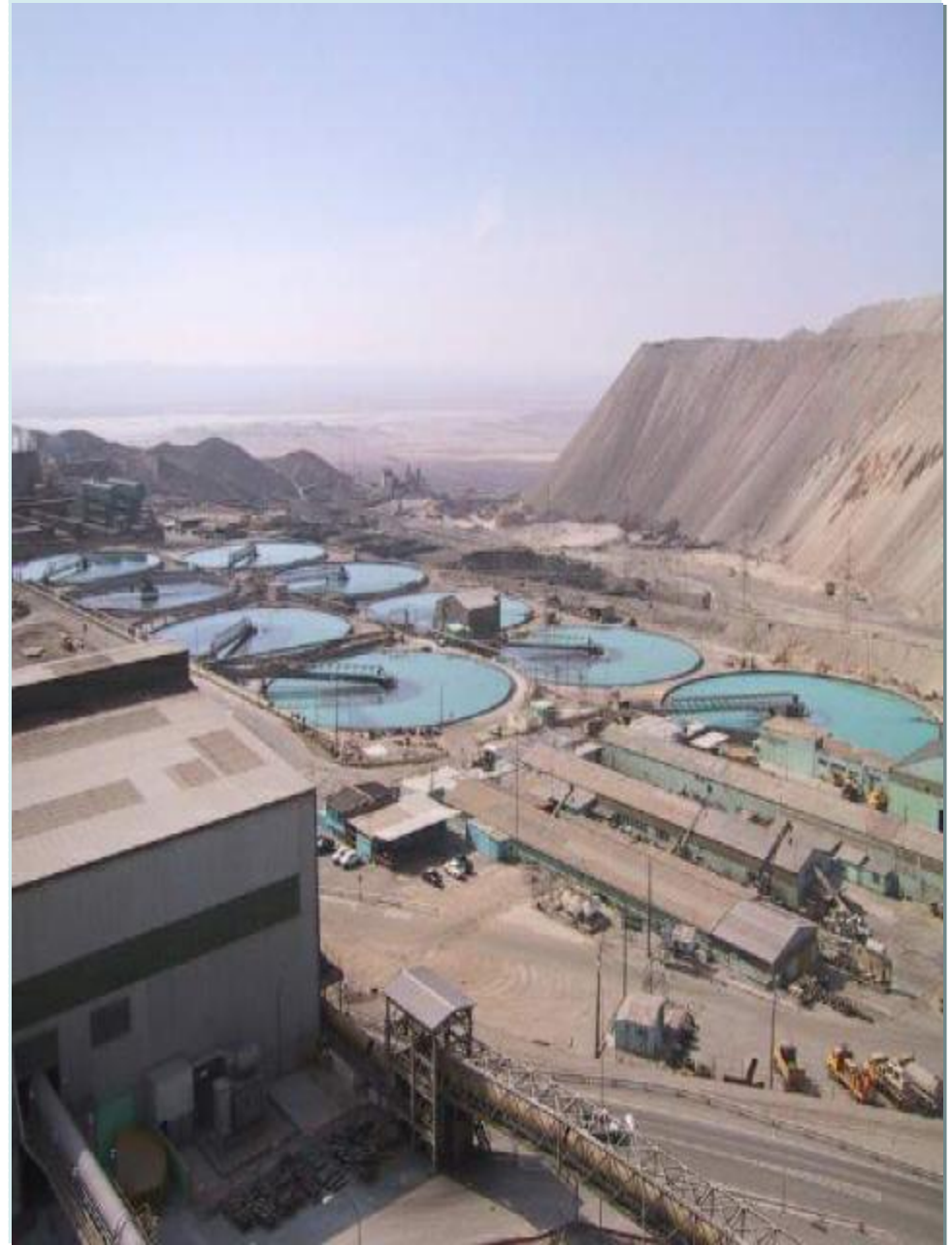
F/Fax: (55) 28 68 29  
e-mail: master@intervisual.cl  
Antofagasta - CHILE  
Derechos Reservados



# Mina de cobre “Chuquicamata”, Atacama, Chile.



**Análisis  
mineralógico  
en línea en pulpa  
de cobre**



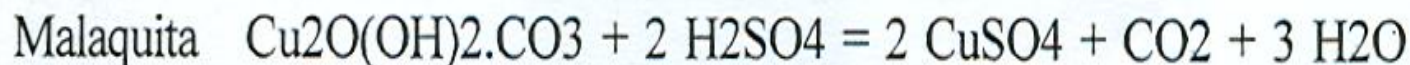
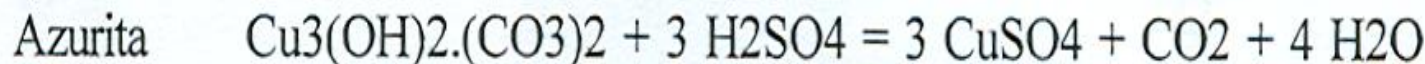
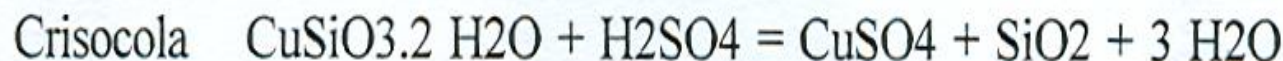
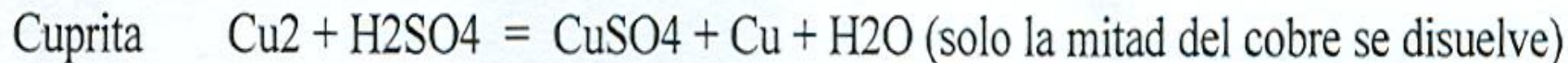
# REACCIONES QUÍMICAS GENERALES

- $\text{Cu}_2\text{S} + 1/2 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{CuSO}_4 + \text{CuS} + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{CuS} + 2 \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CuSO}_4$
- $2 \text{Cu}_5\text{FeS}_4 + 37/2 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 10 \text{CuSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 5 \text{H}_2\text{O}$
- $2 \text{CuFeS}_2 + 17/2 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2 \text{CuSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{FeS}_2 + 7/2 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$

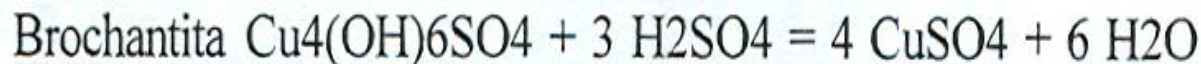


## Hidrometalurgia <sup>31</sup>

Por tener poca incidencia en la producción de cobre por este procedimiento y casi nulo valor en el Perú, haremos un resumen de la disolución de las especies de cobre en soluciones en ácido sulfúrico extensibles a todos los métodos que se han mencionado, exceptuando los 3, 5, 6, y 7:



Chalcantita soluble en agua



Desde el punto de vista industrial las anteriores son las especies minerales de cobre que se disuelven en soluciones de 25 a 75 grs/lit de ácido sulfúrico.

**Dendritas de cobre  
creciendo en al cátodo.**









# PRODUCCIÓN MUNDIAL DE COBRE REFINADO

Expresado en millones de Tm de cobre

	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2005 (E)</b>
<b>2010 (E)</b>			
<b>Pirometalúrgica</b> <b>17,0</b>	<b>10,2</b>	<b>12,5</b>	<b>14,5</b>
<b>Hidrometalúrgica</b> <b>3,7</b>	<b>0,6</b>	<b>2,3</b>	<b>3,0</b>
<b>Producción Total</b> <b>20,7</b>	<b>10,8</b>	<b>14,8</b>	<b>17,5</b>