



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Ingeniería de Minas



Fundamentos de Metalurgia Extractiva Auxiliar 3 y 4 – Pirometalurgia

Introducción

Etapas y Equipos en Pirometalurgia

Auxiliar: Diego Mesa Peña

Profesor: Gabriel Riveros Urzúa

Primavera 2011

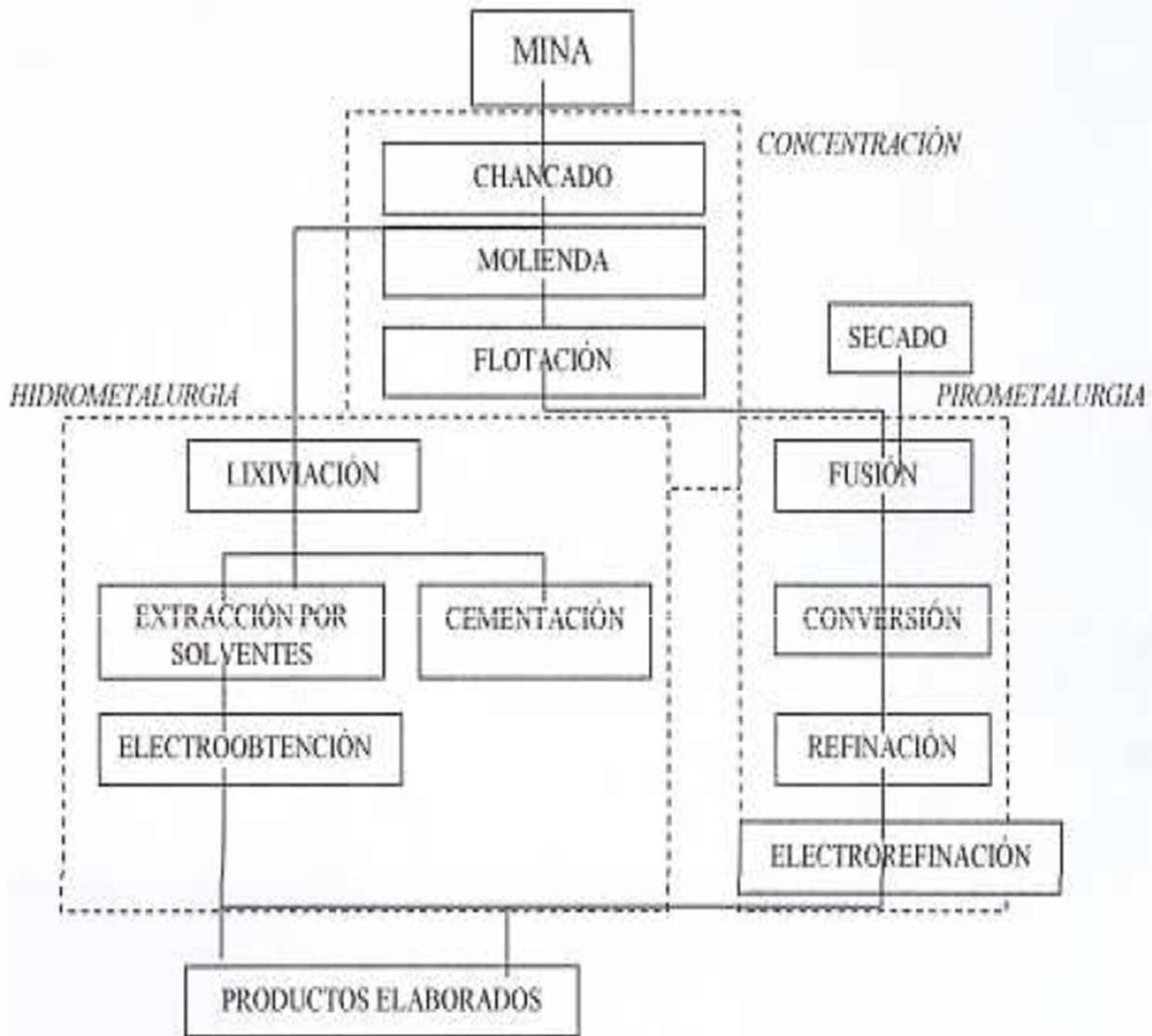
Metalurgia

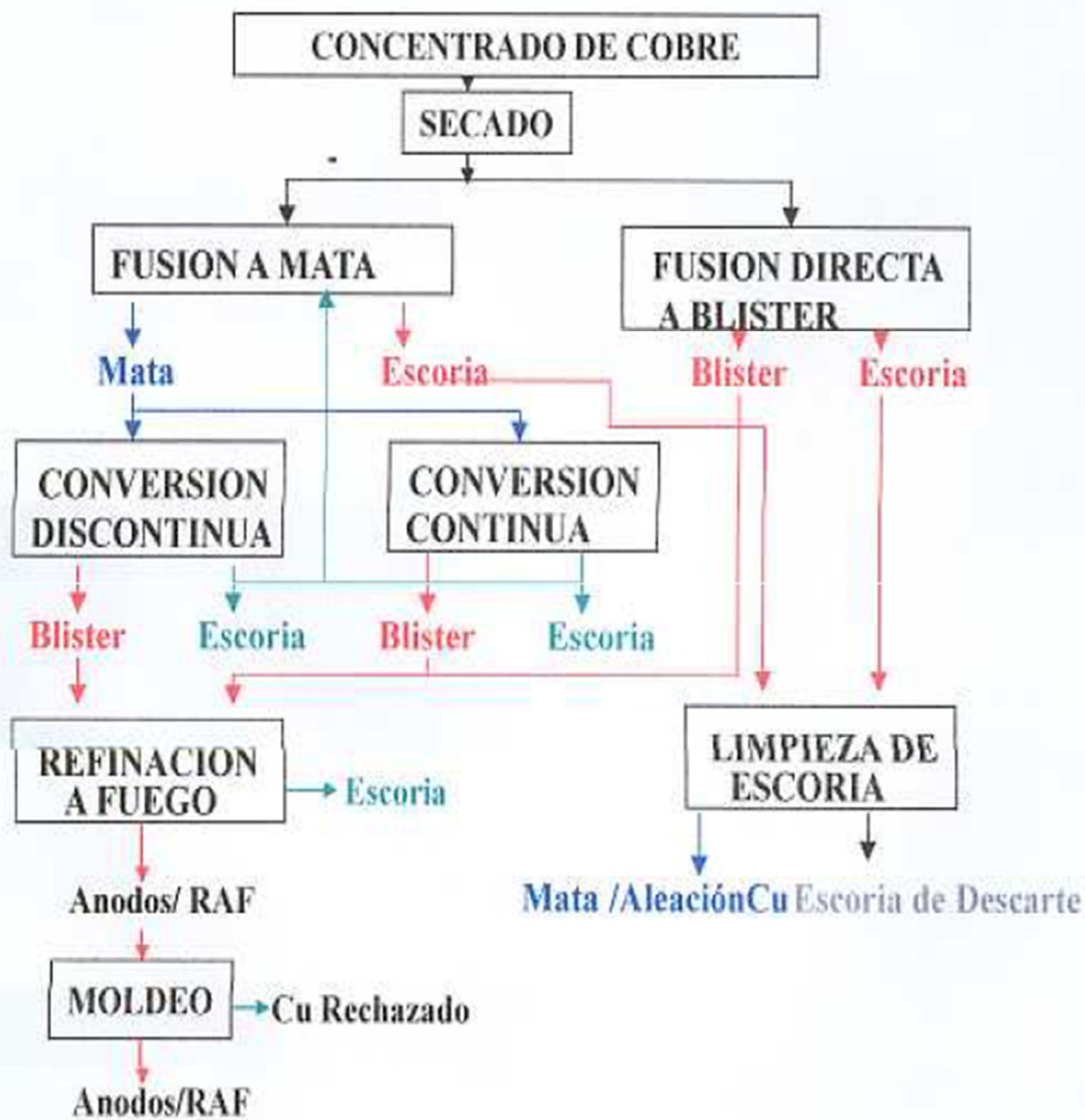
Hidrometalurgia

- T° ambiente
- Óxidos y Sulfuros secundarios
- Etapa limitante: Reacción
- Menor eficiencia energética
- Menos Contaminante

Pirometalurgia

- T° > 600°C
- Óxidos Primarios
- Etapa limitante: Difusión y Convección
- Mayor eficiencia energética
- Más Contaminante



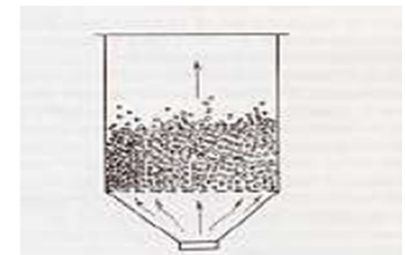


Etapas y Sub-Etapas a Revisar

- Secado
- Tostación
- Fusión
- Conversión
- Refinación a Fuego
- Moldeo
- Limpieza de Escorias
- Tratamiento de Gases

Secado

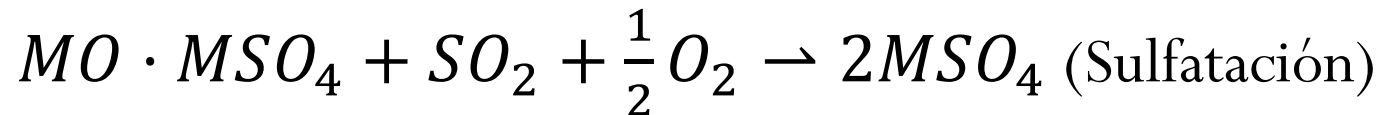
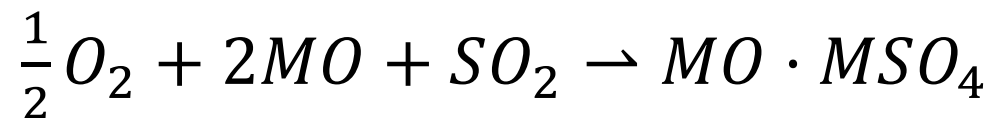
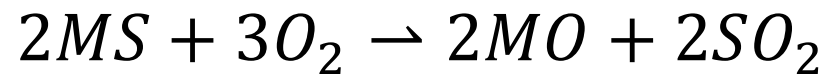
- No hay transformación química
- **Objetivo:**
 - Reducir Costos Transporte
 - Mejorar operación de Hornos
 - No calentar agua en Hornos (reducir costos de E°)
- Entrada: Concentrado con 14 - 18% de H₂O
- Salida:
 - Secado Parcial: 8 - 10%
 - Secado a Muerte: 0,1 – 0,3%
- T° Operación: 220°C
- **Tecnología:**
 - Secador de Bandeja
 - Secador Rotatorio
 - Secador de Lecho Fluidizado



Tostación

- **Objetivo:**

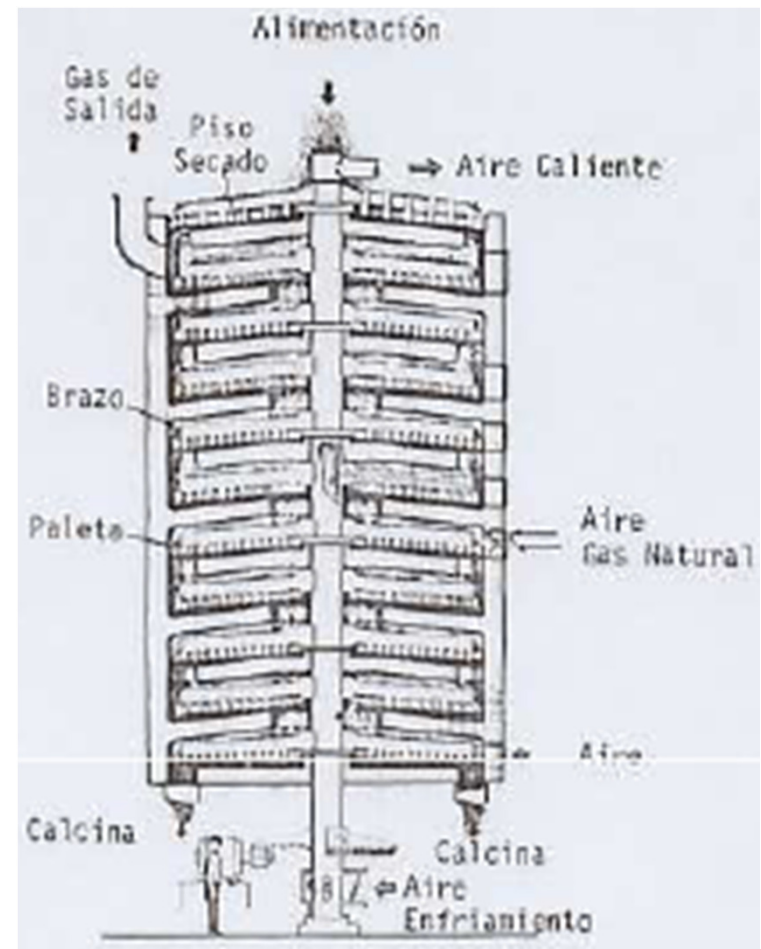
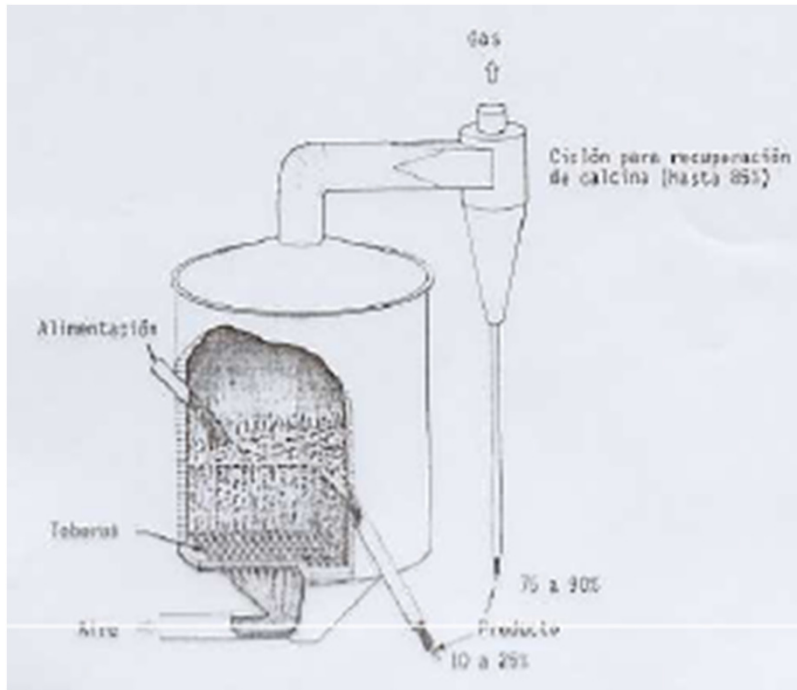
- Oxidación parcial de los sulfuros → liberación de SO_2
- T° Operación: 500 – 800°C
- Reacciones de Tostación:



- Variables: T, pO_2 , pSO_2

Tostación

- **Tecnología:**
 - Tostador de Pisos (Nichols – Herreshoff)
 - Tostador de lecho fluidizado



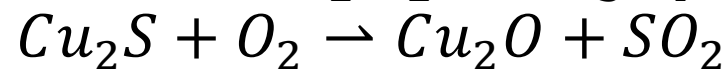
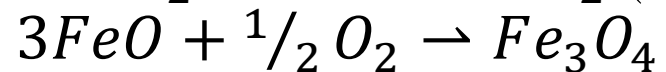
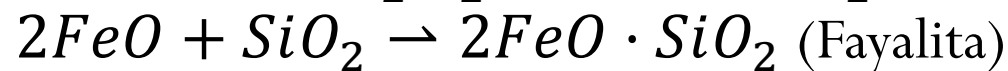
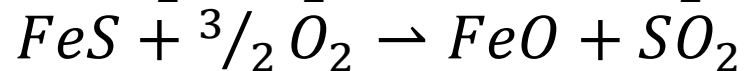
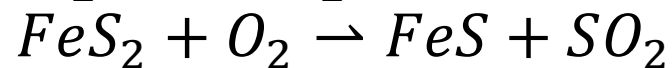
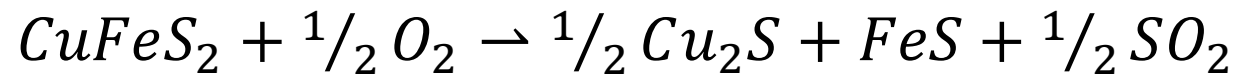
Fusión

- **Objetivo:**

- Concentrar el Cu, formando una fase de sulfuros líquidos (Mata), inmisible a otra fase líquida oxidada (Escoria).

- T° Operación: 1200 °C

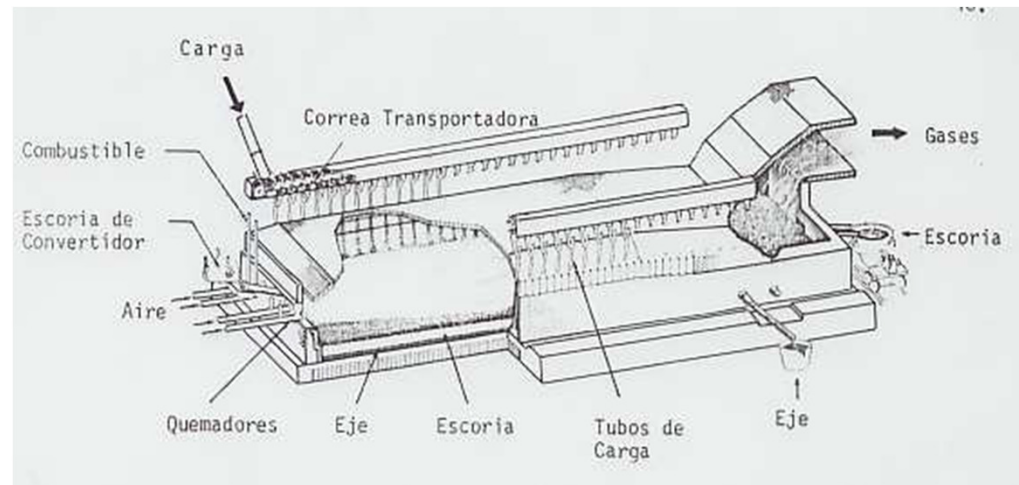
- Reacciones de Fusión:



} Sobre Oxidación
(Horno Flash)

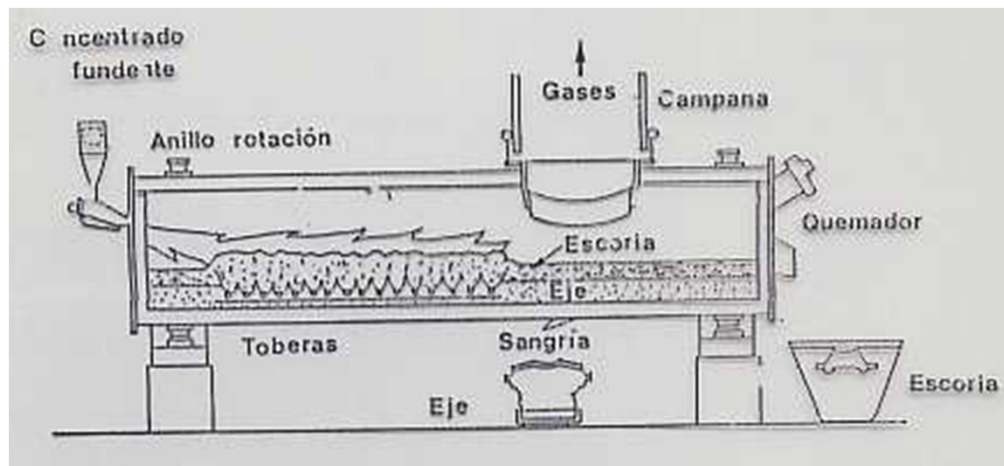
Tecnología de Fusión

- Horno Reverbero: (Batch)
 - Fusión por calentamiento directo
 - Muy usado entre 1900 – 1970
 - Recupera Cu de escorias de conversión
 - Puede usar aire y aire enriquecido (lo que aumenta tpd)
 - Contamina mucho y es poco eficiente
 - Usa Combustibles (No Autógeno)



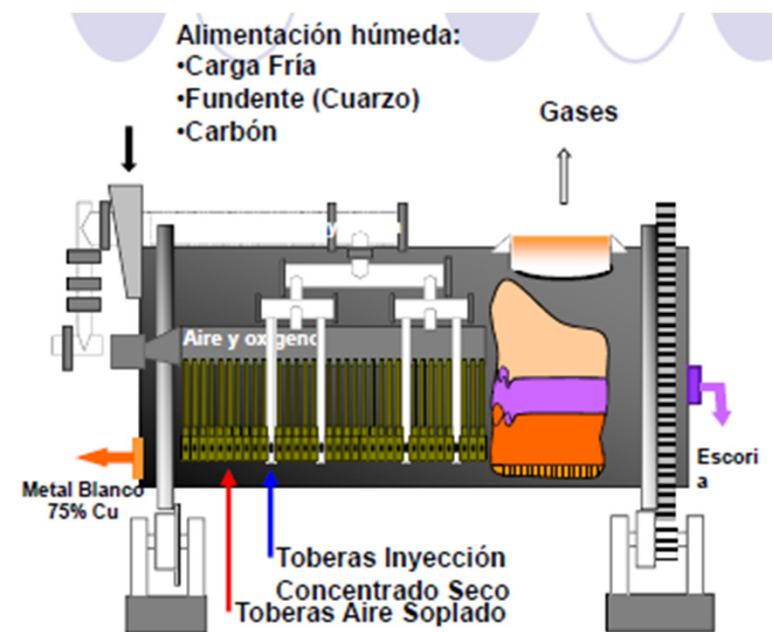
Tecnología de Fusión

- Horno Noranda: (Baño – Batch)
 - 60's por Noranda Inc., Canadá
 - Cilindro Basculante
 - Humedad de entrada: 6 – 8%
 - Produce Mata de Alta Ley: 70 – 75% de Cu
 - Tiene quemadores (concebido No Autógeno) → 1% de Carbón
 - Inyección de Aire o Aire Enriquecido (35 – 40% de O₂)



Tecnología de Fusión

- **Convertidor Teniente:**
(Baño – Batch)
 - 70's en Caletones (CODELCO)
 - Cilindro Basculante (Muy similar a Noranda)
 - Produce Metal Blanco: 72 – 75% de Cu
 - Se usa aire o aire enriquecido (35% de O₂)
 - Alimentación: Carga Fría y fundente
 - Se ingresa concentrado SECO por toberas (0,2% H₂O)
 - Semi-Autógeno (sin quemadores, pero puede usar Carbón)



Convertidor Teniente



Tecnología de Fusión

- Fusión Flash: Continuo
 - Combina Tostación, Fusión y parte de Conversión en 1 reactor
 - Autógeno
 - No limpia Escorias

Outokumpu

- 50's en Finlandia
- Tiene quemadores
- Mata: 55 – 75% de Cu
- Escoria se trata en HE
- Humedad conc.: 0,1 – 0,3%
- Usa aire o aire enriquecido 90%
- Chagres y Chuquicamata

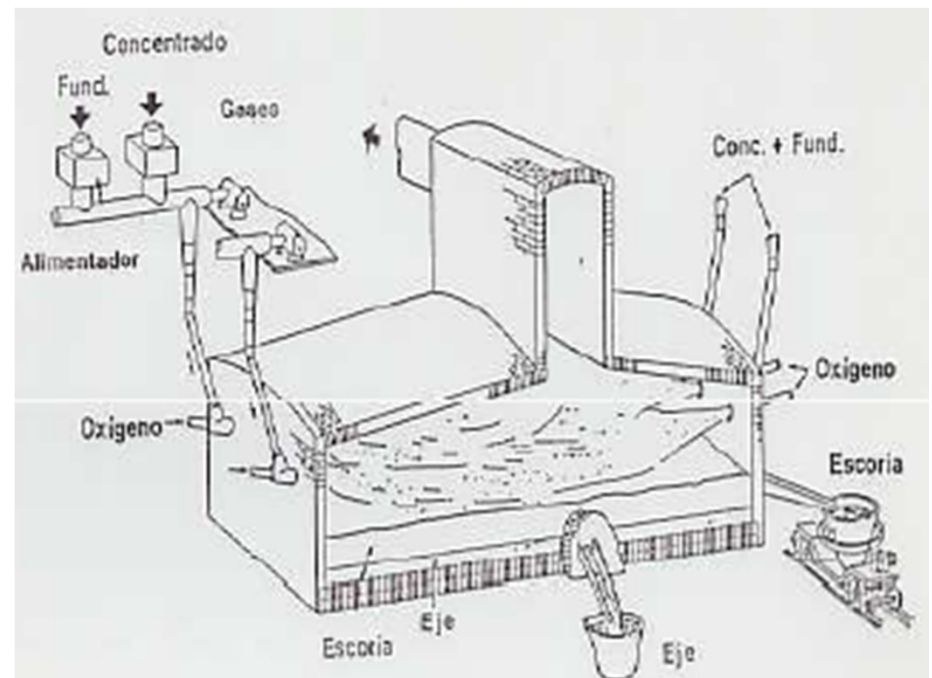
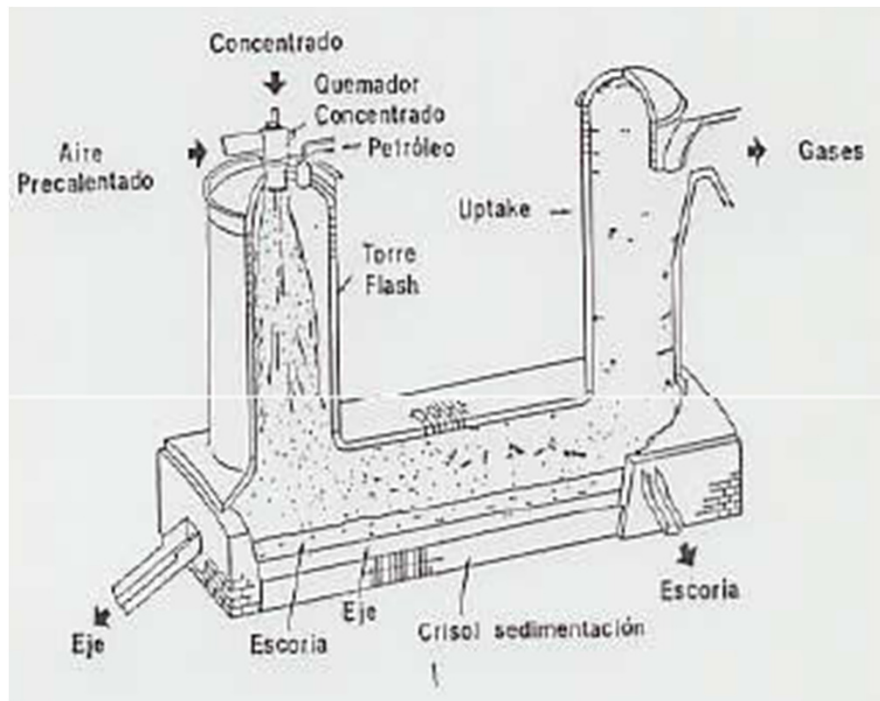
Inco

- 50's (International Nickel Company)
- Produce mucho SO_2
- Usa O_2 puro
- Escoria muy limpia (0,6% de Cu)

Hornos Flash

Outokumpu

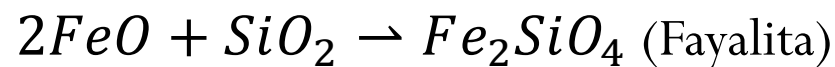
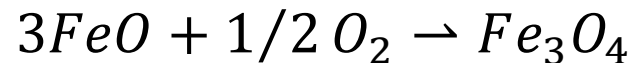
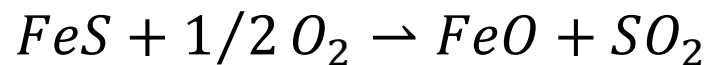
Inco



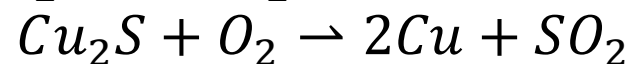
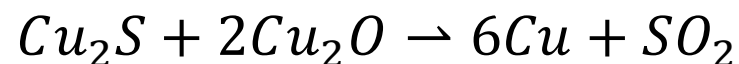
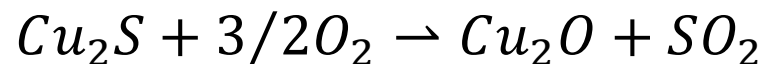
Conversión

- **Objetivo:** Eliminar Fe, S y otros. Producir Cobre Blíster (98,5 - 99,5% Cu).
- T° Op: 1200°C
- Consta de 2 Etapas:

- **Soplado de Escoria:** Reducir FeS al 1%



- **Soplado a Cobre:** Obtención de Cu con 1% de S.



Tecnología de Conversión

- **Discontinua** (Batch):

- Pierce-Smith (Teniente)
- Hoboken
- Noranda

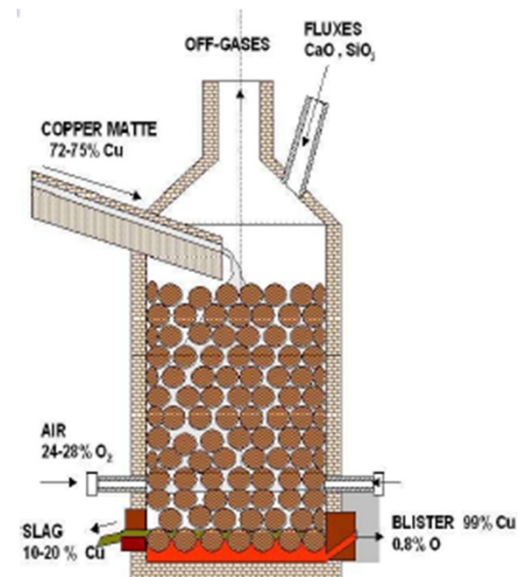
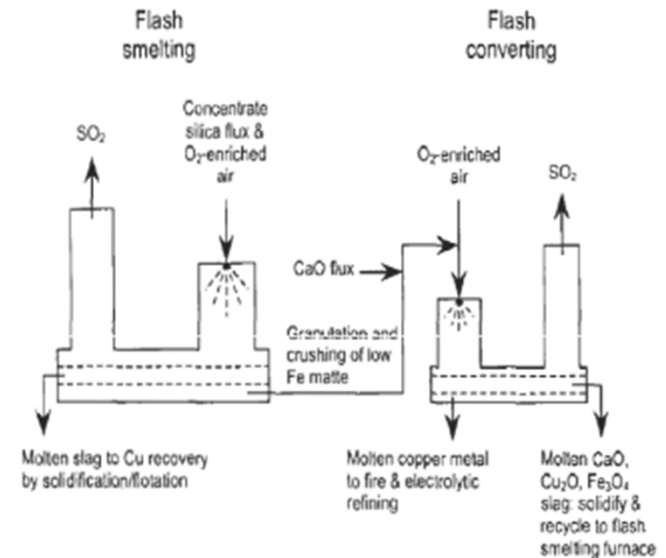
- **Continua** (Flash):

- Kenneth – Outokumpu
- Inco

- **Conversión en Lecho:**

- ENAMI – Universidad de Chile

Fund. Metalurgia Extractiva - Auxiliar: Diego Mesa Peña



Tecnología de Conversión Batch

Convertidor Pierce-Smith

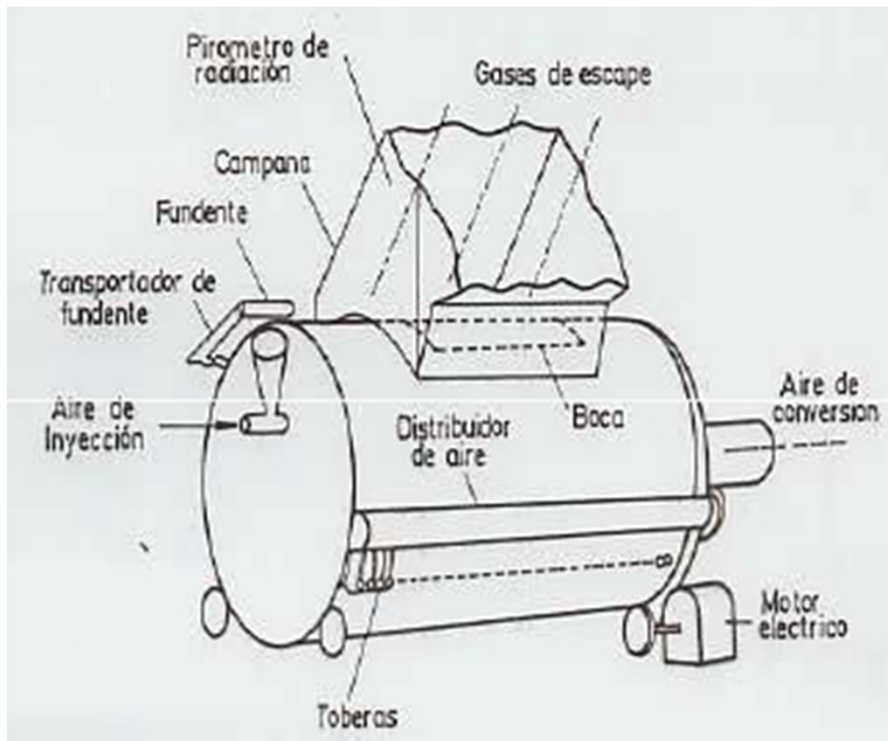
- Procesa 300-500 tpd mata
- Obtiene 100-200 tpd Blíster
- Autógeno
- Escorias con alto contenido de Cu (atrapado física y químicamente)
- Discontinuo (Batch)
- Contaminante

Convertidor Hoboken

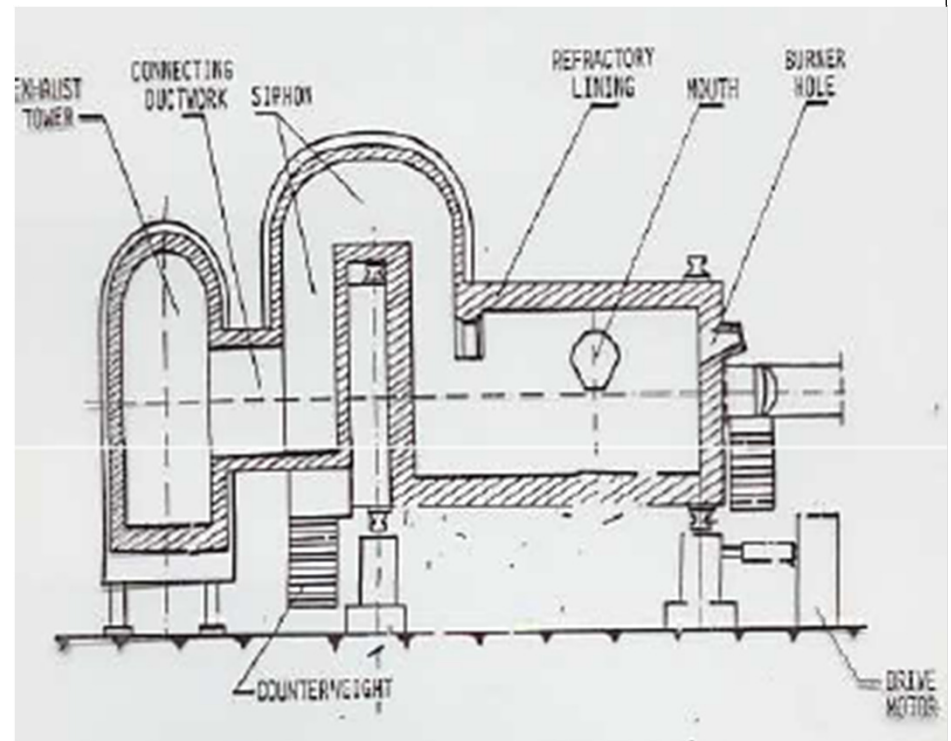
- Creado en Bélgica
- Difiere del P-S en sistema de carguío y evacuación de gases.
- Producto: Blíster de 99%
- Menor capacidad que P-S
- Batch

Convertidores Batch

Pierce - Smith



Hoboken



Refinación a Fuego

- **Objetivo:**

- Generar Producto de calidad Física y Química (RAF → sólo Caletones).
- Generar Ánodos lisos (sin Blíster) para luego ir a ER (más usado).

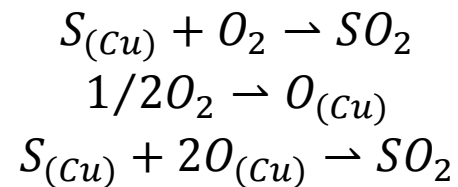
- **Etapas:**

- Carguío
- Escoriado
- Oxidación
- Reducción

- Es un proceso discontinuo en Hornos Basculantes tipo Reverbero

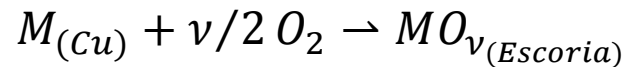
Reacciones de Refinación a Fuego

- 1.- Remoción de Azufre: (Aire)



Elimino S con aire en forma de SO_2

- 2.a.- Remoción de Impurezas por Oxidación: (Fundente)



$$K = \frac{\gamma_{MO_v} * x_{MO_v}^{\frac{v}{2}}}{\gamma_M^0 * x_M * p_{O_2}^{\frac{v}{2}}}$$

$$D_M = \frac{(\%M)_{Escoria}}{(\%M)_{Metal}} = K * \frac{\gamma_M^0}{\gamma_{MO_v}} * \frac{PM_{Cu}}{PM_{Escoria}} * p_{O_2}^{\frac{v}{2}}$$

M de K bajo (Metal precioso):
NO se oxida

M de K medio (Bi, As, etc.)

Se debe Inducir

M de K alto (Fe, Na, Ca)

Se Oxida

Refinación a Fuego

- Inducción Impurezas:
 - Cuando el K es medio, se debe inducir. La única variable es γ_{MO_v} , valor que varía con el **Fundente**.
- Fundentes Básicos (Soda, Caliza) \longrightarrow Inducen impurezas ácidas (P_2O_5, As_2O_5, Sb_2O_5)
- Fundentes Ácidos (SiO_2 , fosfatos) \longrightarrow Inducen impurezas básicas (Pb, Mg)
- El Bi_2O_3 es neutro \longrightarrow No se puede inducir

Refinación a Fuego

- 2.b.- Remoción de Impurezas por Oxidación y Escorificación:
 - Escorias Ácidas remueven Pb
 - Escorias Básicas remueven As, Sb, Sn
 - El Ni sólo se extrae con Fe_2O_3 .
- 3.- Desoxidación del Cobre (Reducción)
 - Se agregan reductores (Carbón, Madera, CO)
 - Las reacciones llevan a la formación de CO, el que reduce al Cu
- Una vez finalizado el proceso se obtiene Cu Anódico, listo para el Moldeo

Moldeo

- **Objetivo:**

- Se busca calidad física y química para venta de Ánodos o para llevar a ER.
- El calor cedido por el ánodo es recibido por el molde (también de Cobre)



Limpieza de Escorias

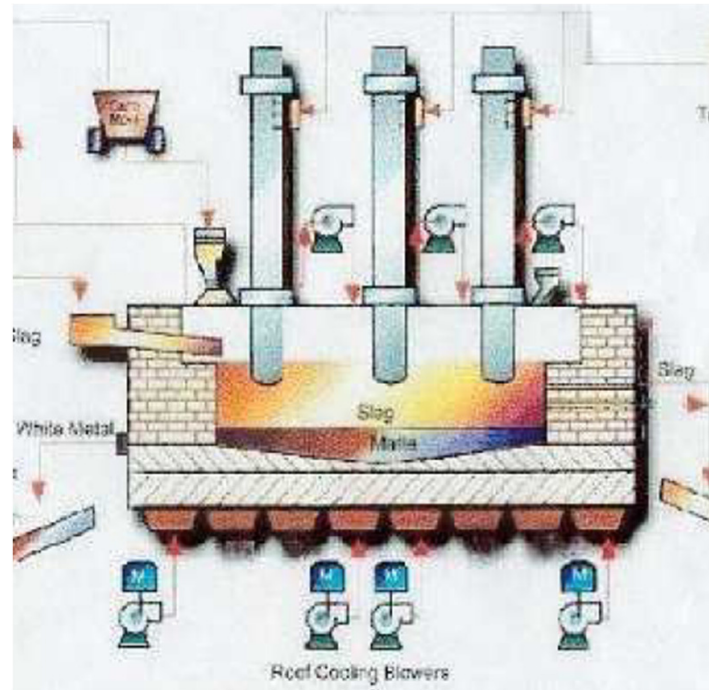
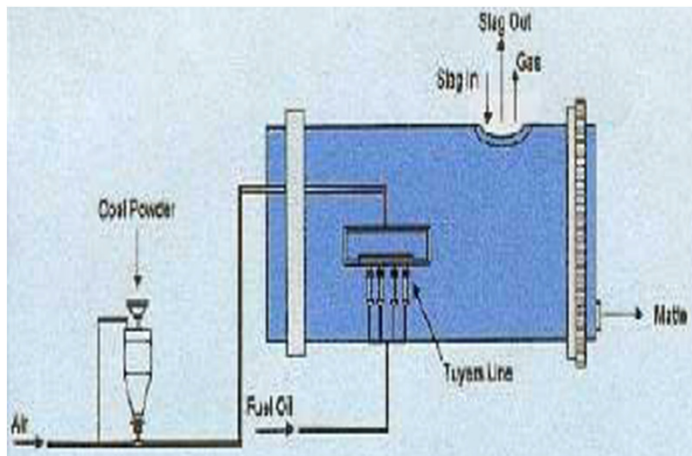
- **Objetivo:**
 - Recuperar Cu de Escorias
 - Dejar escorias con 0,5 – 0,7% de Cu
- Es un proceso aparte para las Escorias de Fusión, pues las de Conversión vuelven a Fusión.
- El Cu se va a las escorias por:
 - Atrapamiento mecánico (agitación, atrapado por magnetita)
 - Disuelto en escoria (Cu_2O)
- 3 Métodos de limpieza:
 - Mineralúrgico: Enfrío/ Chanco/ Muelo/ Floto
 - Hidrometalúrgico: Enfrío/ Chanco/ Muelo/ Lixivio/ SX
 - **Pirometalúrgico:** Reducción/ Sedimentación

Tecnología Limpieza de Escorias

- HLE Teniente
- Horno Eléctrico (HE)
- Horno Magneto Hidro Dinámico (MHD) – Prof. G. Riveros

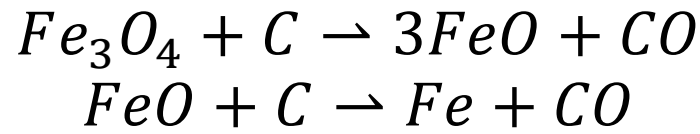


Ambos usan Carbón (reductor)
Ambos Batch

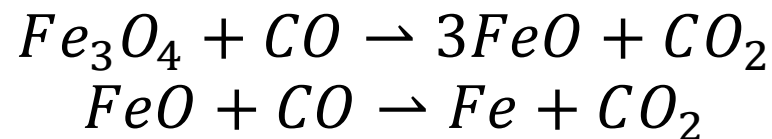


Reacciones de Limpieza de Escoria

- Reducción Directa:



- Reducción Indirecta (principal):



- Vía Hierro:

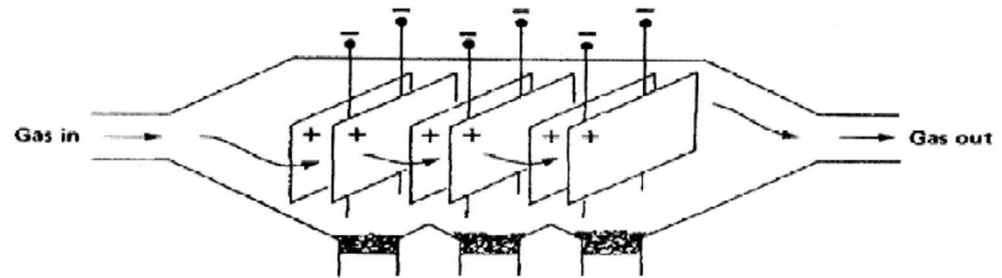


- El CO necesario se obtiene de la reacción del CO_2 con el C (Rx de Boudouard)
- Una vez reducido todo el Fe_3O_4 , se comienza a reducir el Cu_2O

Tratamiento de Gases

- **Objetivo:**
 - Disminuir concentración de SO_2 emitido
 - Usarlo en la planta de H_2SO_4 , útil en hidrometalurgia
- Se juntan los gases de salida de fusión, conversión y refinación.
- Se enfrían con serpentines y con lluvia de agua.
- Se envían a la planta de tratamiento.

- Luego es necesario remover las partículas sólidas del flujo: **Separador Electrostático.**



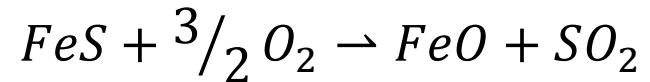
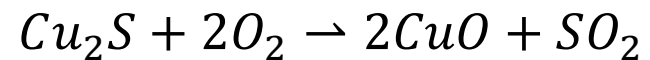
- Las partículas son atraídas a las placa, mientras que el gas simplemente se ioniza.

Tratamiento de Gases

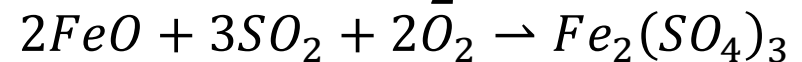
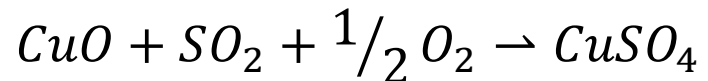
- En el transporte del SO_2 se desea evitar la formación de SO_3 (forma H_2SO_4 en los ductos, lo que genera corrosión)
- Cómo evitar SO_3 en ductos:
 - $T^\circ \text{ Op} < 371^\circ\text{C}$
 - Sulfatar Polvos (catalizan formación SO_3)
 - Evitar presencia de O_2 en ductos
 - Bajo tiempo de residencia

- Sulfatación de Polvos:

- Oxidación:



- Sulfatación:



Tratamiento de Gases

- Una vez que el SO_2 llega a la planta:
 - Purificación:
 - Remoción de Polvo
 - Enfriamiento y limpieza húmeda
 - Producción de gas limpio y seco
 - Conversión:
 - Catalizador: V_2O_5
 - $T^\circ \text{ op: } 625^\circ\text{C}$
 - $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$
 - Absorción:
 - SO_3 absorbido en H_2SO_4
 - $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$
 - $T^\circ \sim 260\text{-}300^\circ\text{C}$

FIN

Auxiliar: Diego Mesa Peña
Primavera 2011