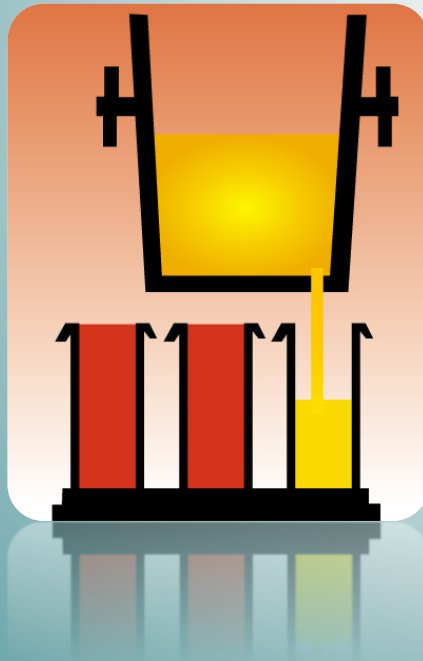


Metalurgia y Siderurgia

Bloque 3. Metalurgia de los metales no férreos

3.3 Metalurgia del Cobre



María Luisa Payno Herrera

Jesús Setién Marquínez

DPTO. DE CIENCIA E INGENIERÍA DEL
TERRENO Y DE LOS MATERIALES

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

PROPIEDADES

- El cobre puro es un metal relativamente blando, se presta fácilmente al tratamiento mecánico y al laminado, es dúctil y maleable lo que le permite por estirado un finísimo alambre y por laminado chapas finas.
- Sus propiedades han hecho de él un material pionero e insustituible en el transporte de la energía, la electrónica, la fabricación de bienes de equipo y maquinaria industrial, la industria del transporte y del automóvil. Es 100% reciclable

APLICACIONES

La gran importancia del cobre hay que atribuirle a sus principales propiedades a las que se subordinaran sus aplicaciones industriales.

- La mejor conductividad eléctrica entre los metales industriales, igual al 95% de la plata, el metal más conductor, según eso se utiliza en la industria eléctrica para cables e hilos conductores, aparatos eléctricos (motores, interruptores, contadores, etc.)
- Excelente conductividad térmica, se emplea en calderas, alambiques, enseres de cocina, intercambiadores, etc.
- Buena resistencia a la corrosión atmosférica utilizándose en la construcción, transporte, canalizaciones, techumbres, etc.

- Gran facilidad para formar con el zinc una aleación de fácil mecanizado que posee resistencia y elasticidad y es resistente a la corrosión y que se designa con el nombre de **latón**.
- Formación con el estaño de una aleación muy útil, el **bronce**.
- Buenas características de metal de chatarra.

Debido a todas estas propiedades el cobre es uno de los metales no férricos más importante y se emplea prácticamente en todas las industrias.

MENAS DE COBRE

- Las menas de cobre son de tres tipos: nativas, oxidadas, sulfuradas.
- Menas nativas.
Apenas hay, aparecen en forma de pepitas y aunque su contenido en metal es muy bajo (menos del 1 %) son fáciles de concentrar.
- Menas oxidadas
Son características de yacimientos que se encuentran cerca de la superficie.
- Su metalurgia es sencilla ya que se reducen fácilmente por carbón y por el óxido de carbono, pero abundan poco.

METALURGIA EXTRACTIVA DEL COBRE

Tiene dos vías:

- 1.- Vía seca o pirometalurgia.
- 2.- Vía húmeda o hidrometalurgia.

PIROMETALURGIA

El procedimiento por vía seca concentra a la mayor parte del cobre y metales preciosos en un concentrado llamado mata.

Los procesos pirometalúrgicos son:

- **Concentración.**
- **Tostación.**
- **Fusión.**
- **Oxidación de la mata o conversión.**
- **Afino.**

TOSTACIÓN DEL COBRE

- Podemos definirla como el calentamiento de un metal o compuesto metálico, en contacto con oxígeno, hasta alcanzar una temperatura elevada, pero sin llegar a la fusión, con objeto de llevar a cabo un cambio químico por el cual se elimine algún componente por volatilización. En nuestro caso el objetivo es regular o controlar la cantidad de azufre.
- Se tuesta el concentrado de sulfuro de cobre con el oxígeno del aire, se elimina parte del azufre por volatilización.

Tostación para pirometalurgia

- En pirometalurgia se efectúa una **tostación parcial** que reduce el % de azufre hasta un contenido determinado, lo que hacemos después es una **fusión para mata** obteniendo una mayor concentración de cobre.

En la tostación parcial es necesario aportar calor:

- Las temperaturas de encendido son:
 - para la calcosina (Cu_2S) 450°C
 - para CuS , FeS , y la piritita (FeS_2) 400°C.
 - para la calcopirita Cu Fe S_2 300°C.
- En general para contenidos de azufre menores del 24 % es necesario aportar calor y para mayores del 24 % es una tostación autógena

Tostación para hidrometalurgia

- En hidrometalurgia se hace una **tostación a muerte** que pretende eliminar todo el azufre transformando el sulfuro (que es insoluble en ácidos) en sulfato y óxido que se disuelven en una disolución acuosa ácida.
- Las reacciones de tostación para hidrometalurgia son:
 - (Calcopirita) $\text{Cu Fe S}_2 + 4 \text{O}_2 \longrightarrow \text{Cu SO}_4 + \text{Fe SO}_4$
 - (Covelina) $2 \text{CuS} + 7/2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{Cu O} + \text{Cu SO}_4 + \text{SO}_2$
 - $2 \text{Cu Fe S}_2 + 13/2 \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{Cu O} + \text{Fe}_2 \text{O}_3 + 4 \text{SO}_2$
- Las reacciones son exotérmicas y en la tostación a muerte son suficientes para mantener la temperatura de reacción.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TOSTACIÓN

- La reacción de tostación es una reacción heterogénea entre un sólido que es la mena y un gas que es el oxígeno del aire, por lo tanto los factores que influirán sobre la velocidad de tostación (cinética de la tostación) serán los que favorezcan el contacto entre el sólido y el gas.
 - 1.-Tamaño de los granos del sólido.
 - 2.-Cantidad de aire (caudal).
 - 3.-Profundidad del lecho de mena.
 - 4.-Agitación de la mena.
 - 5.-Temperatura.
 - 6.-Número de hogares y número y sección de los agujeros de la colada.
- Los distintos sistemas de tostación se diseñan para favorecer estos factores

Hornos de tostación empleados

- Son de tres tipos:
 - Tostadores de hogares múltiples o Wedge
 - Tostadores relámpago o Flash.
 - Tostadores de lecho fluidizado.

TOSTACIÓN POR FLUIDIFICACIÓN

- Este proceso se basa en que a través de un lecho inmóvil de concentrados se inyecta de abajo hacia arriba aire comprimido que pasa a través de gran cantidad de toberas, dispuestas en la solera de la cámara de tostación.
- Cuando la velocidad del gas es pequeña el lecho de concentrados es inmóvil, sin embargo, alcanzada la velocidad crítica, los granos de concentrados comienzan a separarse unos de otros, pareciendo estar en ebullición. Tal lecho recibe el nombre de lecho fluidizado

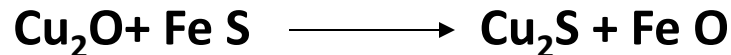
TOSTACIÓN POR FLUIDIFICACIÓN

VENTAJAS

- rendimiento mayor
- estructura del horno sencilla
- los gastos de explotación no son grandes
- se somete bien a la automatización se puede controla bien
- velocidad del suministro de aire
- altura de lecho fluidizado
- temperatura en varias capas

FUSIÓN DEL COBRE

- La fusión es un proceso de concentración, en el que una parte de las impurezas de la carga se reúnen formando un producto ligero llamado **escoria** el cual puede separarse por gravedad de la porción más pesada que contiene prácticamente todos los componentes metálicos , que es la **mata**.
- Calentando por encima de los 1.100°C el producto obtenido por tostación parcial funde.
- El hierro que es más oxidable que el cobre se oxida a óxido ferroso y como el cobre tiene mayor afinidad por el azufre que el hierro, el poco óxido de cobre formado pasa a sulfuro cuproso según la siguiente reacción:



- El óxido de hierro así formado o el resultante de la tostación parcial se une a la sílice y a la cal (ganga o adicción) y se elimina con la escoria en forma de un silicato complejo.

Características de la mata

- Sobre la forma química en que se encuentran estos compuestos en la mata se puede decir:
 - que en todas las matas se encuentra un compuesto de sulfuros cuproso-ferroso que es **$\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS}$**
 - dependiendo de la velocidad de enfriamiento puede haber Cu metálico precipitado.
 - las matas pueden tener hasta un 10% de Magnetita.
 - puede haber otros metales como son Zn, Ni, Co, y Pb en forma de sulfuros.
 - en las matas se disuelven prácticamente todos los metales preciosos.
 - puede haber otras impurezas que causen problemas en el proceso de afino (As, Sb, Bi).

LA ESCORIA

- En ellas tenemos los óxidos de Fe.
- Una composición puede ser:
 - 30-40% de Fe O , $\text{Fe}_2 \text{O}_3$
 - 30-40% de Si O_2
 - 10 % de $\text{Al}_2 \text{O}_3$
 - 10% de $\text{Ca O} + \text{Mg O} + \text{Pb O}$
- Se utiliza como escorificante sílice Si O_2
- Las escorias deben de ser:
 - inmiscibles con la mata
 - y suficientemente fluidas para que no quede cobre atrapado dentro de ellas.
- Para disminuir el punto de fusión y hacerlas mas fluidas se añade óxido de calcio como fundente si es necesario.

HORNOS EMPLEADOS EN LA FUSIÓN

- La fusión para mata de Cu se puede hacer en los siguientes hornos:
 - horno de Cuba.
 - horno de Reverbero
 - horno Eléctrico
 - hornos de Fusión Relámpago FLASH (**Outokumpo, Inco**)
- El horno de cuba se usa con preferencia para fabricar el “Cu negro” que se obtiene a partir de la chatarra.
- El horno de reverbero se emplea comúnmente para fundir mata pero tiene el inconveniente, que consume mucho combustible por lo que se están introduciendo los de fusión relámpago (flash smelting) que emplean las reacciones de tostación como fuentes de calor para fundir.

PRODUCTOS DE FUSIÓN EN UN HORNO DE CUBA

- Son:
 - MATA
 - ESCORIA
 - SPEISS
 - POLVOS VOLADORES

- Con la excepción de la escoria todos los demás productos son intermedios y deben someterse a otros procesos para obtener Cu, metales preciosos y diversos subproductos.

HORNO DE REVERBERO

- Es el más utilizado porque era el único que permitía la fusión de minerales pulverulentos, cada vez mas frecuentes, debido a la generalización de la concentración por flotación.
- Funciones del horno de reverbero
 - Fundir la nena y el fundente lo más rápido posible, con una mínima pérdida de calor.
 - Permitir formación de mata y escoria
 - Mantener la temperatura lo suficientemente elevada para que la escoria y la mata sean perfectamente fluidas y pueda procederse fácilmente a su separación.
- Dimensiones
- Las dimensiones medias de un horno de reverbero son:
 - longitud 25-35 metros
 - anchura 6-8 metros
 - Altura de bóveda 2 metros

PRODUCTOS HORNO REVERBERO

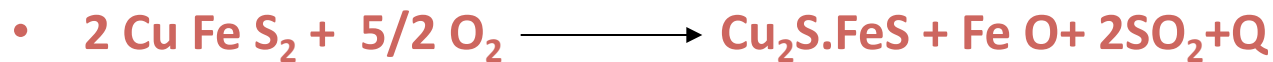
- La mata es más rica que la del horno de Cuba
- Las escorias, como consecuencia de que las temperaturas son más bajas suelen tener más contenido en cobre, las condiciones ideales exige una escoria que contenga:
 - Si O_2 entre el 37 - 38 %
 - Fe 0 “ 39 - 40 %
 - Ca 0 “ 4 - 6 %
 - $Al_2 O_3$ 4 - 6 %
 - y de cobre siempre menor de 0,55 %.
- Cada escoria es un problema aparte.
- La relación de escoria - mata es de 1,8: 1 como término medio, el conjunto de escorias de un horno de reverbero son más ácidas y por tanto más baratas que en el horno de Cuba.
- Las escorias básicas, se venden para agricultura (corrigen la acidez de los terrenos),
- Las escorias ácidas no tienen venta, solo se usan para rellenos.

- **Características Horno Eléctrico:**

- Los hornos eléctricos son herméticos ya que de lo contrario entraría aire y a la alta temperatura que alcanzan los electrodos, estos se quemarían muy rápidamente.
- Por ser herméticos no pueden utilizar carga húmeda, ya que al evaporarse el agua no se podría eliminar el vapor con facilidad pudiendo reaccionar con los electrodos y producir explosiones, salvo esto, puede tratarse cualquier material, incluso escorias con alto contenido en cobre. Son pues muy versátiles.
- No hay llama y por lo tanto hay menos gases. Se controla mejor el SO_2
- Se usan seis electrodos de 2 a 2,5 metros. Son de altura variable y permite calentar mas la mata o escoria, son de grafito o aglomerados con carbón muy puro.

HORNOS DE FUSIÓN INSTANTÁNEA. HORNOS FLASH

- Los hornos de fusión instantánea son uno de los desarrollos más recientes (después de la 2ª guerra mundial) para fusión de mata, son del tipo autógeno, es decir, **aprovecha la oxidación de los sulfuros que contiene la carga para aportar el calor necesario para fundir la carga y alcanzar las temperaturas de reacción.**
- En estos procesos se inyectan hacia la cámara de reacción los concentrados finos, secos y sin tostar, junto con el fundente para que haga contacto con el oxígeno o aire precalentado, que también se inyecta a presión.
- Una parte del sulfuro de hierro que hay en la carga reacciona inmediatamente y se oxida a FeO y SO₂ en una reacción fuertemente exotérmica.



Conc. fino, seco y
sin tostar

mata

CONVERSIÓN

- La conversión es una operación de concentración y nuestro objetivo es pasar la mata a cobre blister.
- En la operación anterior de fusión habíamos separado la mayor parte de la ganga y una parte del contenido de hierro en forma de escoria, quedándonos la mata como una solución compleja pero homogénea de cobre, hierro, níquel, cobalto y azufre y otros metales básicos como As, Sb, Pb, Zn, Cd, etc.
- Esta mata tenemos que tratarla para separar la mayor parte de los elementos presentes que son indeseables, principalmente el Fe y el S.
- Este proceso se llama **CONVERSIÓN**.

Impurezas en el convertidor

La mata contiene muchos metales como:

As, Sb, Ni, Sn, Fe, S, Bi, Co, Cd, Au, Ag, Pb, Zn, etc.

- El As, Bi, Cd, S, Pb y Sn se eliminan al ser arrastrados por los gases en forma de vapores (óxidos).
- Los polvos de conversión deben ser retratados para recuperar los elementos interesantes como el Bi.
- El Zn queda en la escoria
- El Ni, el Co y los metales preciosos Au y Ag se quedan el Cu y se separan después en el afino electrolítico.

Desarrollos recientes

- Para mejorar el funcionamiento de los convertidores se han desarrollado varios métodos :
 - Control por ordenador
 - mejora en el control de los gases (Convertidores Hoboken).
 - recuperación escorias por flotación.
 - enriquecimiento de oxígeno

- El ordenador controla el aire de soplado, lo ideal es que la mata pase continuamente y el convertidor vaya trabajando, para ello, se dosifica el aire y los fundentes.

- Primero se calcula la velocidad de producción y después la de soplado.

• Velocidad de soplado =
$$\frac{\text{Volumen aire / t de mata} \times \text{n}^{\circ} \text{ de t. de mata}}{\text{Tiempo de soplado}}$$

Es un importante parámetro de marcha.

- Según vaya evolucionando el proceso se va recalculando esta velocidad

$$\text{Velocidad recalculada} = \frac{\text{aire necesario- aire soplado}}{\text{aire que queda por soplar}}$$
- El automatismo nunca llega hasta el final sino hasta 10 minutos antes, ya que se prefiere llegar por defecto, al ser costoso alcanzar el punto final exacto
- Normalmente es el operario el que señala el final del proceso observando la coloración de los humos
- La programación permite ahorro y uso óptimo de las instalaciones combustibles y mano de obra.

COMPARACIÓN ENTRE REVESTIMIENTOS ÁCIDOS Y BÁSICOS

Ventajas del revestimiento básico son:

- Menor coste por unidad de cobre producido (1-5Kg. magnesita/t Cu blister)
- El empleo de recipientes mayores, con el consiguiente ahorro de mano de obra y energía
- capacidad de convertir matas pobres sin un consumo excesivo de revestimiento
- manipulación menos frecuente de las carcasas

Inconvenientes

- punzonado excesivo de las toberas, debido a la formación de magnetitas en torno a las bocas
- mayor tiempo invertido en las operaciones de revestimiento
- soplado excesivo de la mata (para evitar la formación de magnetita)

AFINO DEL COBRE BLISTER

El cobre se afina recurriendo a:

- Procedimientos térmicos → afino al fuego
- Electrolisis → afino electrolítico
- El afino electrolítico se emplea en aquellos casos en que la cantidad de metales preciosos o el carácter de las impurezas justifican el empleo de este método más caro.

- En realidad se suele hacer es:
 - 1º) un afinado al fuego para producir ánodos más puros y homogéneos
 - 2º) el afinado electrolítico para recuperar metales preciosos y separar las impurezas
 - 3º) un segundo afinado al fuego para ajustar las propiedades físicas del cobre electrolítico.

Impurezas del cobre blister

- Las impurezas contenidas en el cobre blister, pueden clasificarse en tres grupos:
 - 1.- Impurezas que se eliminan bien y por completo en el afino al fuego
Zn, Fe, O, S
 - 2.- Impurezas que no se eliminan (Au y Ag)
 - 3.- Impurezas que se eliminan parcialmente (As, Sb, Ni y Bi).

Los efectos de las impurezas sobre las propiedades mecánicas del Cu son:

- El oxígeno, se encuentra en forma de Cu_2O y puede haber hasta 6%, en el afino se reduce hasta 0.15%. **Hace frágil al Cu.**
- El azufre está en forma de sulfuro de Cu (Cu_2S)
 - hasta un 0,25 % de S el Cu **es maleable**
 - con 0,5 % S, **el Cu es frágil**
 - cantidades superiores a 0,5 % ya **dificulta el laminado y la flexión**. La presencia de Al y Mn reduce la acción perjudicial del azufre.
- El Bismuto es una impureza muy nociva, con más de 0.005 % **no se puede trefilar.**

- El Hierro hace al Cu **frágil y duro**.
- El Niquel forma con el Cu **soluciones sólidas que aumentan mucho la dureza del cobre**
 - **impidiendo el trefilado**
 - **disminuye conductividad del cobre.**
- El Arsénico, **reduce mucho la conductividad eléctrica del Cu**
 - con 0.03 % la reduce **un 9,1 %**
 - con 0.2 % la reduce **un 38,6 %**.
- El Antimonio, un 0,1 % se forma un **Cu micáceo** que se **agrieta** y **escama** en **la superficie**

OPERACIONES EN EL AFINO AL FUEGO DEL CU BLISTER

- El afino del Cu blister comprende las siguientes operaciones:
 - 1) Carga y fusión de la mezcla
 - 2) Soplado oxidante del Cu para eliminar las impurezas y sangrar la escoria.
 - 3) Reducción del óxido cuproso y de los otros óxidos que hay disueltos en el Cu.
 - 4) Vaciado del Cu ya afinado.

HORNOS EMPLEADOS EN EL AFINO AL FUEGO DEL CU BLISTER

- El afino del Cu blister se realiza en dos tipos de hornos:
 - fijos muy similares a los de reverbero
 - basculantes similares a los convertidores.

AFINO ELECTROLÍTICO DEL COBRE

- **Objetivo**
 - Eliminar impurezas del cobre que no han podido ser eliminadas por el afino al fuego.
 - Recuperar metales preciosos.
- Las impurezas que eliminamos en este proceso son: Au, Ag, Se, Te, Pb, Ni, Fe, Sb.

Electrólisis del sulfato de cobre

- **Fundamento**

La electrólisis puede definirse como un proceso en el que se produce una reacción química en la superficie de dos electrodos en contacto con un líquido que llamamos electrolito, por medio de una corriente externa o fuerza electromotriz

- Los electrodos pueden ser inertes o reactivos según que reaccionen o no con el electrolito

Electrólisis del sulfato de cobre

La electrolisis de una disolución de sulfato de cobre se puede efectuar de dos formas:

- a)
 - con un cátodo de cobre
 - un ánodo insoluble

que es como se hace para precipitar el cobre obtenido en hidrometalurgia

- b)
 - con un cátodo de cobre
 - un ánodo de cobre,

que es soluble en la disolución que también contiene $\text{SO}_4 \text{H}_2$ (afino electrolítico del cobre obtenido por pirometalurgia)

- **Parámetros de la electrolisis**

- Densidad de corriente: 220 A/m²
- Temperatura del baño: 40-60° C

- **SISTEMAS EMPLEADOS**

- en paralelo
- en serie

Cátodos

Consta de:

- barra catódica, que lleva dos orejas para su suspensión (a la cuba electrolítica).
- hoja catódica que tiene la superficie lisa, va sumergida en el baño, llevando en sus bordes longitudinales bandas aislantes o se pintan con objeto de que no exista deposición en estos puntos y pueda ser extraído más fácilmente el depósito catódico.
- contacto de Cu, en uno solo de sus extremos, el que se apoya en la barra de corriente y que es por donde se establece el circuito eléctrico, en el otro extremo se apoya en una pieza aislante sobre los bordes de la cuba

El cátodo es una placa delgada de Cu muy puro de 1,5 mm. de espesor y pesa unos 3Kg.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONSUMO DE ENERGÍA Y EN EL RENDIMIENTO DE BAÑOS

- La tensión que se ha de aplicar a un baño es:

$$V = I (R_1 + R_2)$$

Siendo R_1 = resistencia del baño

R_2 = resistencia de contactos, barras, electrodos, etc.

- La resistencia de la solución R_1 depende de :
 - distancia entre electrodos (ánodo y cátodo)

A menor distancia, menor resistencia. Pero al disminuir la distancia aumenta la probabilidad de cortocircuitos

 - composición de la disolución
- Cuanto mayor sea la acidez (pH mas bajo), menor será la resistencia
- A mayor temperatura, menor resistencia
- Al aumentar la concentración de $\text{SO}_4 \text{H}_2$, disminuye R_1 , pero hay que limitarla porque si no disminuye la solubilidad del $\text{SO}_4 \text{Cu}$.
- Si la solubilidad del $\text{SO}_4 \text{Cu}$ disminuye y es pequeña la concentración de cobre en las proximidades de los electrodos pueden depositarse otras impurezas
- La temperatura no se aumenta por encima de 60°C ya que aunque disminuye mucho la resistencia aumenta la evaporación de la disolución y la contaminación y corrosión de la nave

TRATAMIENTO DE LOS LODOS ANÓDICOS

- Los lodos anódicos se retiran por sifonado, se tamizan para separar las partículas de Cu, se lavan y se secan en un filtro-presa
- Hay tres procesos de tratamiento para recuperar los metales preciosos:
 - FUSIÓN DIRECTA
 - IMPREGNACIÓN CON Pb
 - TOSTACIÓN SEGUIDA DE LIXIVIACIÓN

HIDROMETALURGIA DE COBRE

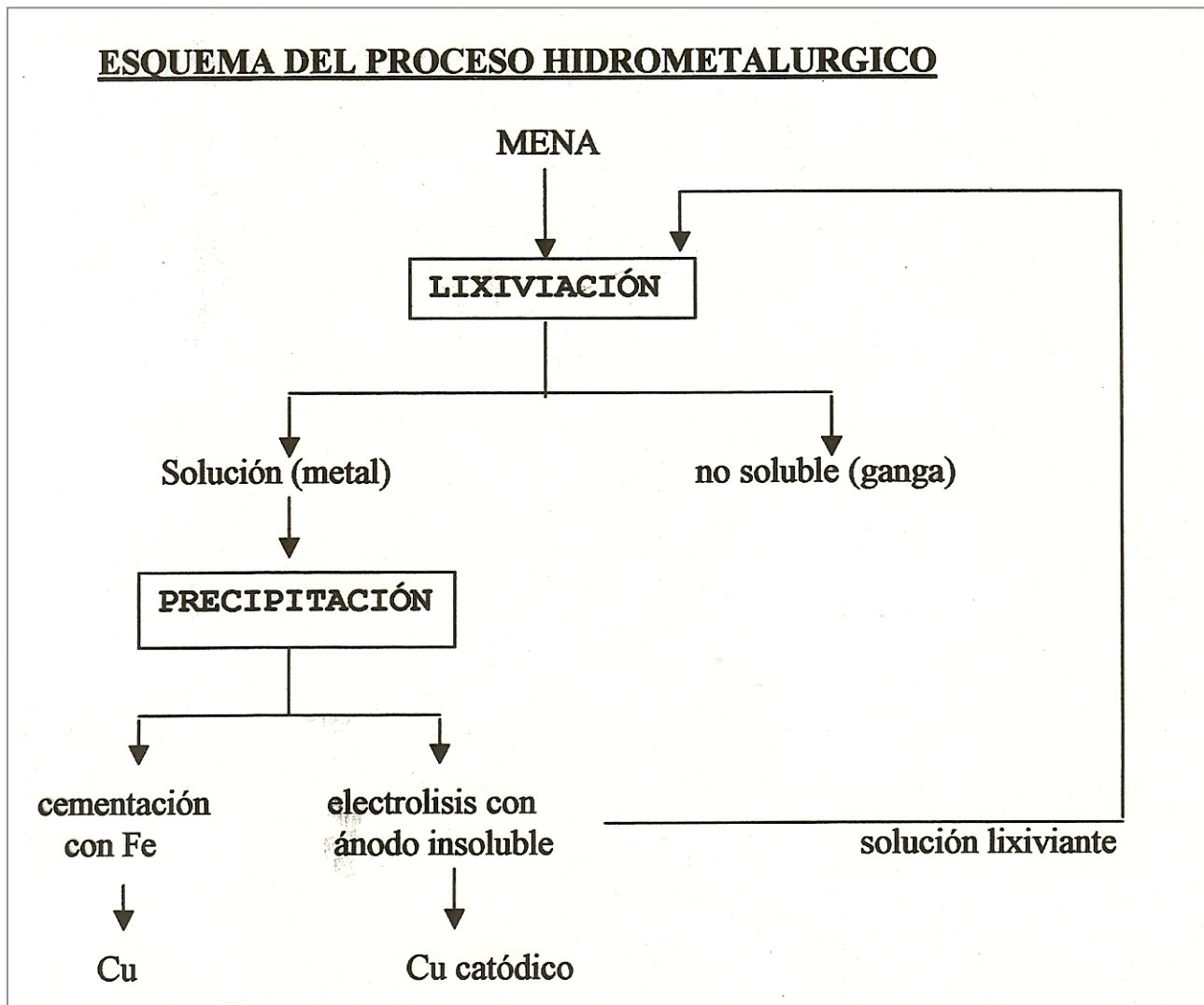
- LIXIVIACIÓN
 - esquema general del proceso
 - análisis hidrometalurgia y pirometalurgia
 - disolventes
 - lixiviación bacteriana
- PRECIPITACIÓN
 - electro deposición
 - cementación
- ÚLTIMOS DESARROLLOS EN LA HIDROMETALURGIA DEL Cu
 - lixiviación
 - aglomeración
 - extracción con disolventes orgánicos
 - electrolisis

HIDROMETALURGIA DE COBRE

- También llamada lixiviación, consiste en la separación del metal o metales beneficiables con un disolvente selectivo que no ataque a la ganga o material residual y disuelve el metal.
- A continuación el metal puede precipitarse de la disolución en una forma relativamente pura.
- Frecuentemente estos procesos se conocen con el nombre de procesos “húmedos”, para distinguirlos de los procesos “secos” o de fusión.

- Los procesos hidrometalúrgicos se emplean en el caso del Cu:
 - en las menas en que predominan minerales oxidados de Cu o mixtos (oxidado y sulfurados) puesto que el coste de obtención del Cu a partir de tales menas aplicando otros métodos es alto, o la extracción del Cu baja.
 - también es frecuente la utilización de hidrometalurgia en la recuperación de Cu en antiguas escombreras
 - de menas muy pobres (menos del 1% de Cu).

ESQUEMA DEL PROCESO HIDROMETALURGICO



ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE HIDRO Y PIROMETALURGIA

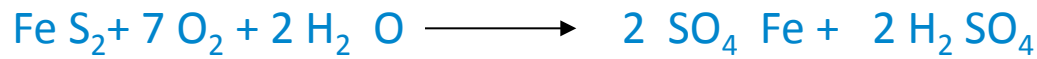
- La lixiviación tiene como principales ventajas:
 - obtención de un Cu muy puro por electrolisis
 - no se disuelve la ganga siliciosa, mientras que en los procesos de fusión debe de escorificarse con fundentes
 - se efectúa a temperatura ambiente o relativamente baja sin necesidad de combustible
 - no se generan gases contaminantes
 - la manipulación de los productos (con tuberías, bombas y transportadores) es mucho más barata y sencilla que la maquinaria pesada de los hornos
 - permite aprovechar de forma económica menas muy pobres

- Como inconvenientes tiene:
 - no hay disolventes baratos para las menas sulfuradas
 - los productos utilizados son muy corrosivos y requiere materiales caros
 - costo elevado de la corriente eléctrica
 - el efecto perjudicial de incluso cantidades muy pequeñas de impurezas en la electrolisis
 - dificultad para encontrar electrodos adecuados
 - en el proceso de lixiviación, el Au, Ag no pasan a la disolución, puesto que son insolubles en ácido sulfúrico, no pudiendo recuperarse

LIXIVIACIÓN BACTERIANA

- La lixiviación viene acelerada por la presencia de unas bacterias denominadas **THIOBACILUS FERROXIDANS** que oxidan el azufre a ácido sulfúrico y los **FERROBACILUS** que forman el sulfato férrico y es el que disuelve a los compuestos sulfurados de cobre.
- Estas bacterias están difundidas ampliamente en la naturaleza, son seres microscópicos y su unidad de medida es el micrón que equivale a 10^{-3} mm
- La mayoría de estas bacterias miden de 0,5 - 2 micrones, obtienen su energía de crecimiento utilizando solo sustancias minerales (al oxidarse el sulfato ferroso).
- Las investigaciones han demostrado que bajo la acción de estas bacterias la formación de sulfato férrico es más de 120 veces mayor que en las pruebas de control realizadas sin las bacterias.

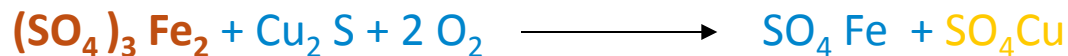
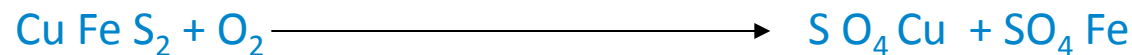
- La actividad de las bacterias se asegura cuando:
 - el pH es menor de 4,5 es decir en soluciones ácidas
 - temperaturas próximas a los 35°C
 - y en presencia de oxígeno
- Bajo la acción de las bacterias la pirita en presencia de oxígeno y agua se oxida convirtiéndose en sulfato ferroso.



- Y este sulfato ferroso en presencia de ácido sulfúrico y de bacterias se transforma en sulfato férrico que es el que reacciona con la pirita y los sulfuros disolviéndolos.



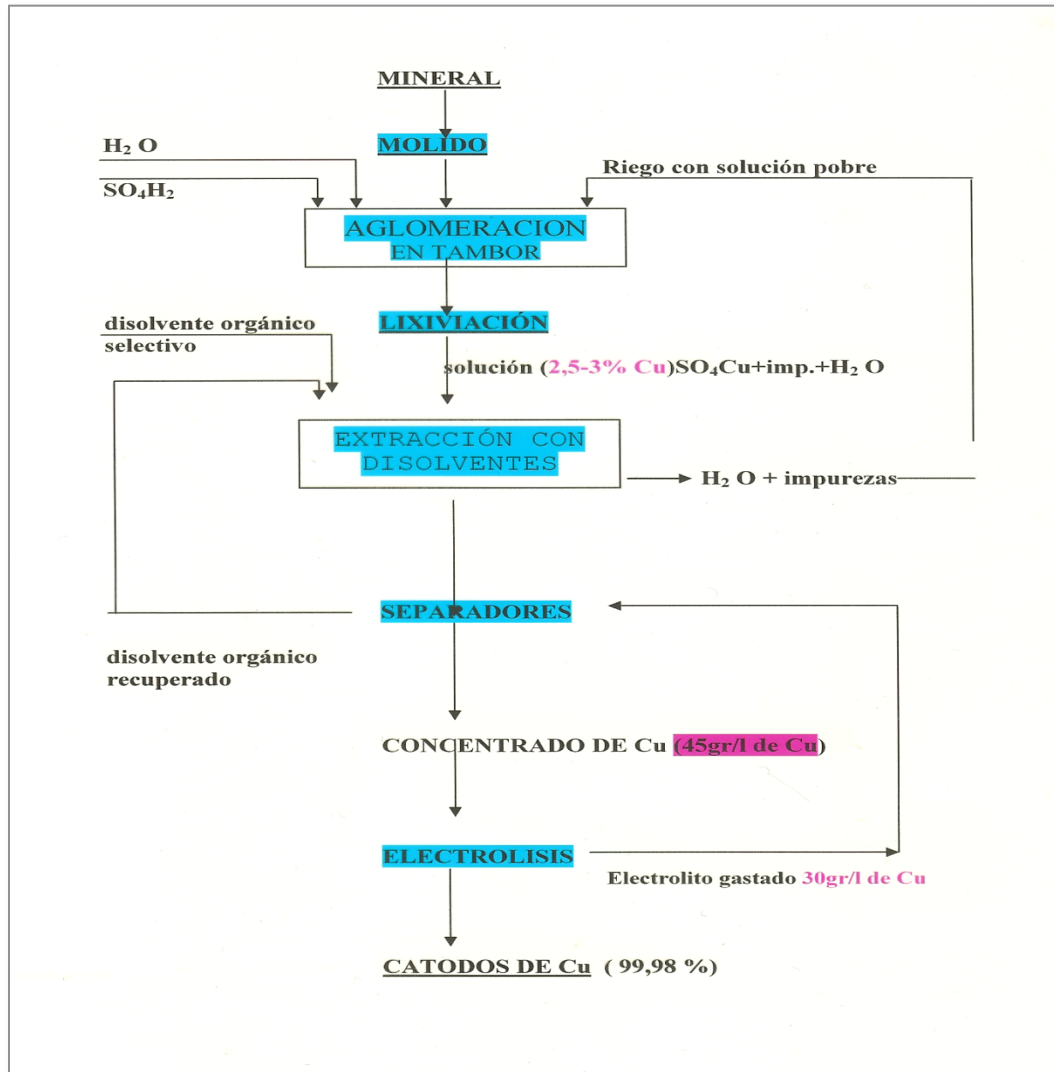
Para la calcopirita



EXTRACCIÓN CON DISOLVENTES

- Es un nuevo método que sustituye a la cementación utilizado para soluciones con bajo contenido en Cu y se basa en el proceso de intercambios de iones
- se pone en contacto en un mezclador a contracorriente un disolvente orgánico selectivo (que no es miscible con el agua) con la solución de lixiviación del Cu, entonces pasa el Cu de la solución acuosa de lixiviación al disolvente orgánico
- la inmiscibilidad del disolvente orgánico en el agua ocasiona la separación en las dos fases en las unidades separadoras y los valores de Cu concentran en un volumen mucho menor de solución orgánica
- ésta solución orgánica se envía al circuito de separación, para separar el disolvente orgánico por un lado y por otro aumentar la concentración de Cu hasta un grado adecuado para el proceso electrolítico

PROCESO "LO AGUIRRE"

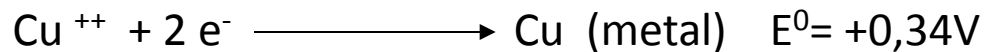


ELECTRÓLISIS

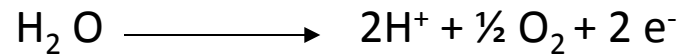
La electrólisis o deposición electrolítica del Cu a partir de las disoluciones de lixiviación ricas consiste:

-la reducción del Cu sobre hojas catódicas de inicio y con ánodos inertes

- Reacción catódica (la misma que en el afino electrolítico)



- Reacción anódica.- Es la descomposición del agua con producción de O₂



- **ÁNODOS:** lamina de Pb con un 10% de Sb. Insolubles y no se forman lodos anódicos
- **CÁTODOS:** Cu puro (0,9 x 1,20)
- Rendimiento de corriente: 93%