

# PROCESOS DE FABRICACION DE METALES NO FERROSOS

## GUIA DE ESTUDIO DE LA UNIDAD I

### EXTRACCIÓN DE METALES A PARTIR DE MINERALES.

**Competencia específica a desarrollar:** Analizar los principios teórico- prácticos que rigen la obtención de metales no ferrosos a partir de sulfuros, óxidos y haluros.

#### Introducción

En la antigüedad los procesos metalúrgicos se fueron desarrollando por técnicas de ensayo y error, ya que las innovaciones en los procesos muchas veces eran el resultado de accidentes o a veces de una imaginación ingeniosa, por ejemplo, alrededor de 4000 a.c. el hombre aprendió a producir cobre y bronce mediante la fusión de menas de cobre y estaño utilizando como combustible el carbón; hoy en día los procesos utilizados para obtener los distintos metales se han desarrollado enormemente en cuanto a la tecnología que se emplea en ellos.

El cobre, el oro y el hierro fueron empleados en épocas prehistóricas para la confección de armas, herramientas y adornos. La plata, el plomo, el mercurio, el antimonio y luego el estaño eran ya conocidos 5000 años antes de la era cristiana por los caldeos, los asirios y los egipcios. En la antigüedad griega y romana, el bronce y luego el latón se usaban con mucha frecuencia. Cabe recordar a los galos, célebres por sus trabajos de oro, y a los germanos, hábiles en la confección de armas de hierro y acero.

En la edad media los procedimientos metalúrgicos evolucionaron muy poco. Durante el siglo XIII aparecieron los primeros altos hornos y la fundición. Durante los siglos XVI y XVII y parte del XVIII, se hizo célebre la primera industria siderúrgica española, con las famosas fargues ( forjas ) catalanas, situadas en los Pirineos y las herrerías vascas. Fueron centros metalúrgicos de fama mundial. Actualmente todo esto ha evolucionado mucho, y ahora se hace de una manera más rápida y más eficaz. Aún y así, este sector está en plena decadencia ya que estos metales se están sustituyendo por otros como el plástico.

Aunque algunos metales como el oro, la plata, el platino y el cobre, se encuentran en estado nativo, la inmensa mayoría se encuentran en la naturaleza combinados formando compuestos, tales como óxidos, sulfuros, carbonatos, silicatos, cloruros, etc. Con frecuencia estos compuestos son verdaderas mezclas como el sulfuro doble de cobre y de hierro. En estos minerales el producto metálico está mezclado con productos estériles, que forman la ganga, y es preciso hacer una separación. Antes de todo tratamiento metalúrgico, el mineral, una vez extraído de la mina, se somete a las operaciones de lavado, aislamiento y concentración, mediante trituración, quebrantamiento, tría magnética, separación por lavado y ventilación o flotación en líquidos apropiados.

Metálico 	1.- Talco 	6.- Ortosa 	Azufre 	Magnetita 	Escamosa 	Blanco 	Negro 	Naranja 
Vítreo 	2.- Yeso 	7.- Cuarzo 	Aragonito 	Galena 	Concoidea 	Gris 	Amarillo 	Transparente 
Graso 	3.- Calcita 	8.- Topacio 	Rejalgar 	Cinabrio 	Lisa Yeso Espeular 	Marrón 	Granate 	Rojo 
Adamantino 	4.- Fluorita 	9.- Corindón 	Azurita 	Mercurio 	Fibrosa 	Dorado 	Verde (opaco) 	Verde (trasp.) 
Anacarado 	5.- Apatito 	10.- Diamante 	Malaquita 	Oro 	Rosetas 	Morado 	Azul 	Combinado 

<i>Grupo mineral</i>	<i>Minerales (nombre)</i>	<i>Composición química</i>	<i>Uso</i>
<b>Elementos nativos</b>	Oro Cobre Diamante Grafito Plata Platino	Au Cu C C Ag Pt	Joyería Conductor eléctrico Gema, abrasivo Industria química Joyería, fotografía Catalizador
<b>Haluros</b>	Halita Fluorita	NaCl CaF <sub>2</sub>	Sal común Fundente
<b>Sulfuros</b>	Galena Esfalerita Calcopirita Cinabrio	PbS ZnS CuFeS <sub>2</sub> HgS	Mena de Plomo Mena de Zinc Mena de Cobre Mena de Mercurio
<b>Oxidos e Hidróxidos</b>	Hematites Magnetita Corindón Goethita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> FeO(OH)	Mena de Hierro Mena de Hierro Gema, abrasivo Mena de Hierro
<b>Carbonatos</b>	Calcita Dolomita (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CaMg	CO <sub>3</sub> Ca (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CaMg	Cemento, áridos Cemento, áridos
<b>Sulfatos</b>	Yeso	SO <sub>4</sub> Ca·2H <sub>2</sub> O	Escayolas



Mina

Cominución

Flotacion

Fusion/Conversion

Refinacion

Electrorefinacion

Lixiviacion

Extraccion por Solventes

Electroobtencion

Cátodo

*Tratamiento para minerales Sulfurados*

*Tratamiento para minerales Oxidados*

## 1.1. Obtención de metales a partir de minerales sulfurados.

En química, un sulfuro es la combinación del azufre (número de oxidación -2) con un elemento químico o con un radical. Hay unos pocos compuestos covalentes del azufre, como el disulfuro de carbono (CS<sub>2</sub>) y el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) que son también considerados como sulfuros. Este compuesto es un gas con olor a huevos podridos y es altamente tóxico. Pertenece, también a la categoría de los ácidos por lo que, en disolución acuosa, se le denomina ácido sulfhídrico.

En la naturaleza, se forma en las zonas pantanosas y en el tratamiento de lodos de aguas residuales, mediante transformaciones anaeróbicas del azufre contenido en las proteínas o bien por reducción bacteriana de sulfatos. Se desprende también en las emisiones gaseosas de algunos volcanes y es asimismo un subproducto de algunos procesos industriales.

En geología hay que destacar la gran importancia económica que tiene la minería de extracción de minerales de sulfuro, pues los sulfuros naturales son las menas minerales más empleadas en la metalurgia, para la obtención de hierro, plomo, estaño o manganeso, entre otros muchos metales. Entre estos minerales están:

1. Argentita: Ag<sub>2</sub>S (sinónimo: Argirita)
2. Arsenopirita: FeAsS (sinónimo: Mispiquel)
3. Bismutina: Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub>
4. Blenda: ZnS (sinónimo: Esfalerita)
5. Bornita: Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub> (sinónimo= Erubescita)
6. Bowieíta: (Rh,Ir,Pt)<sub>2</sub>S<sub>3</sub> (sinónimo= sulrodita)
7. Calcopirita: CuFeS<sub>2</sub>
8. Calcosina: Cu<sub>2</sub>S (sinónimo= Calcocita)
9. Cinabrio: HgS
10. Enargita: Cu<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub>
11. Estibina: Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> (sinónimo= Antimonita)
12. Galena: PbS
13. Glaucodor: (Co,Fe)AsS
14. Molibdenita: MoS<sub>2</sub>
15. Oropimente: As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>
16. Pirita: FeS<sub>2</sub>
17. Pirrotina: Fe<sub>11</sub>S<sub>12</sub>
18. Rejalgar: AsS
19. Tetraedrita: Cu<sub>3</sub>SbS<sub>3</sub>
20. Troilita: FeS
21. Wurtzita: ZnS

La mayoría de los minerales metálicos importantes pertenece a este grupo. Los sulfuros suelen ser blandos, poseen un brillo metálico y densidad alta. Constituyen uno de los grupos minerales más extensos con unas 300 especies minerales. En general, son buenos conductores del calor y de la electricidad. Muchos sulfuros y sulfosales tienen interés económico por tratarse de menas metálicas, como calcopirita (Cu), esfalerita (Zn), galena (Pb), etc.

Ninguno de los muchos minerales existentes en este grupo es esencial en petrografía, aunque es muy normal que constituyan menas de los metales correspondientes. Vamos a prestar atención, solamente, a aquellos que, por ser más abundantes pueden aparecer como accidentales: Galena, Cinabrio, Blenda y Pirita.

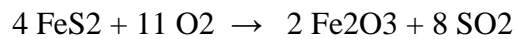
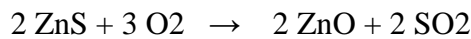
Muchos sulfuros son significativamente tóxicos por inhalación o ingestión, especialmente si el ion metálico es tóxico. Por otro lado muchos sulfuros, cuando se exponen a la acción de un ácido mineral fuerte, liberan sulfuro de hidrógeno.

En la última etapa de los procesos metalúrgicos se clasifican los procesos en:

- Pirometalúrgicos: tales como, el secado y la calcinación, además de la tostación de menas de sulfuros, la aglomeración y sinterización de menas de óxidos y sulfuros, el tratamiento de los gases de tostación, la reducción de los óxidos metálicos y la refinación del metal obtenido.
- Hidrometalúrgicos, tales como, lixiviación, intercambio iónico y extracción por disolventes.
- Electrometalúrgicos, tales como, electrobeneficio y electrorefinación.

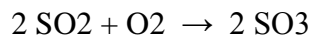
## TOSTACIÓN DE SULFUROS

La tostación es la oxidación de sulfuros metálicos para producir óxidos metálicos y dióxido de azufre, ejemplos típicos son:

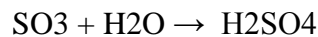


Las menas de cobre, zinc y plomo típicamente se tuestan con el principal propósito de convertir a estas menas en óxidos para su posterior tratamiento de reducción. El dióxido de azufre, por lo tanto, es un subproducto del proceso de tostación.

La mayor parte del ácido sulfúrico se obtiene por un proceso en el cual el dióxido de azufre proveniente de la tostación de sulfuros reacciona con más oxígeno, utilizando óxido de vanadio como catalizador, para formar trióxido de azufre mediante la reacción:



El trióxido de azufre es un gas que se combina con el agua para obtener ácido sulfúrico líquido mediante la siguiente reacción:



En muchos países industrializados se producen millones de toneladas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  cada año. Éste ácido se utiliza en la manufactura de fertilizantes, papel, detergentes, tintes, plásticos, pinturas y en la industria del hierro, del acero y la del petróleo.

Otro tipo de tostación es la tostación clorurante la cual se describe a continuación. El propósito de la tostación clorurante es convertir las menas no ferrosas en compuestos de dos tipos:

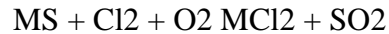
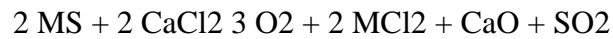
a) Compuestos solubles en agua, utilizando  $\text{NaCl}$  y oxígeno a temperaturas entre 500 y 600 C mediante la siguiente reacción:



El producto tostado se lixivia subsecuentemente en un ácido para recuperar los metales no ferrosos.



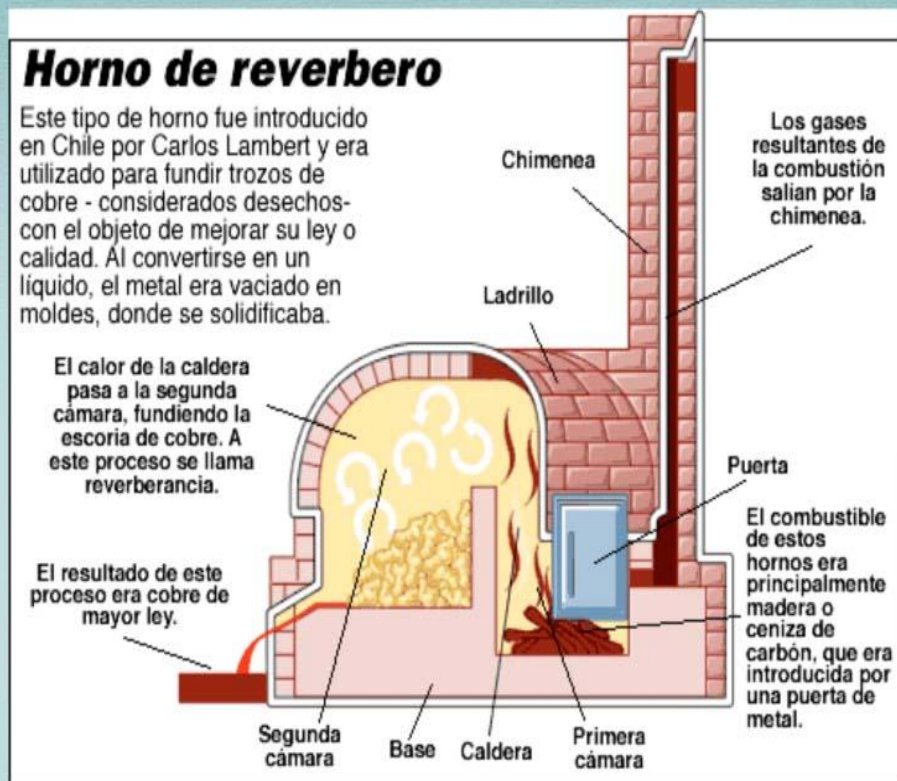
b) Compuestos volátiles, éste proceso debe realizarse a una temperatura relativamente elevada y puede efectuarse ya sea con cloruro de calcio o con cloro, mediante las reacciones:



Donde M es un metal no ferroso normalmente Zn o Cu.

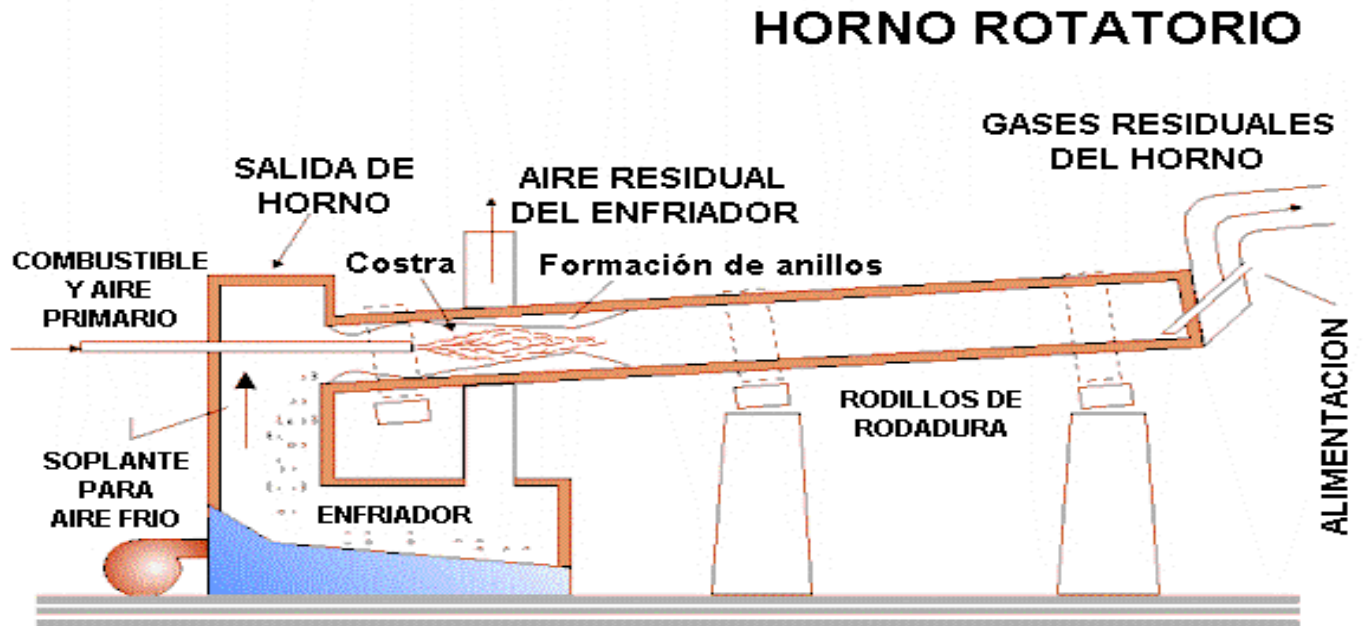
En general la tostación es un proceso fuertemente exotérmico y se realiza de varias formas, entre ellas:

- Por combustión de un montón o pila de mena.
- En horno de reverbero de solera plana, rastrillando la mena a mano o mecánicamente.

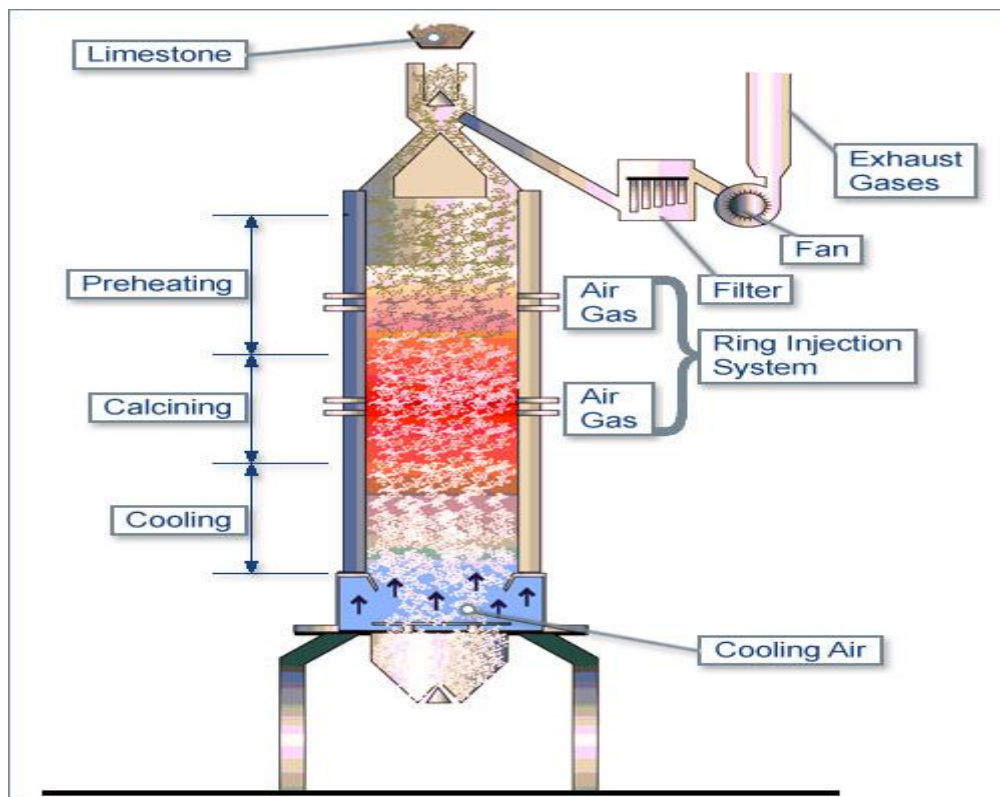


# Cobre: Horno de Reverbero

- c) En horno cilíndrico o rotatorio ligeramente inclinado, de modo de que la carga entra por un extremo, avanza lentamente a través del horno y sale por el otro extremo.

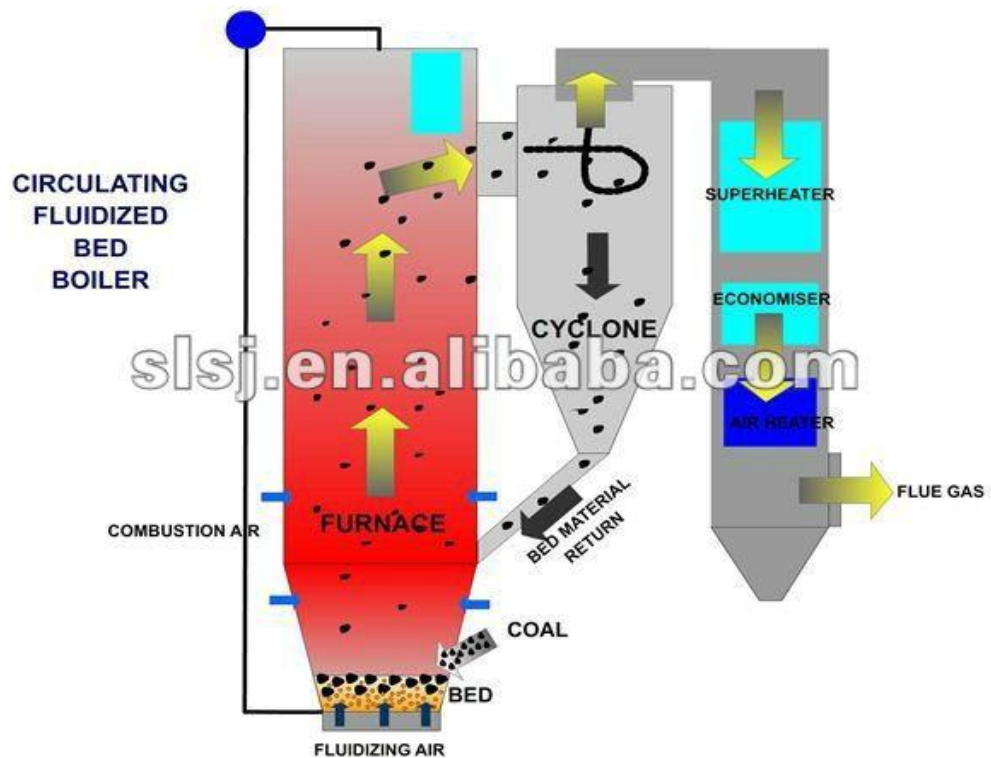


- d) En horno vertical con estantes o pisos múltiples, donde la mena entra por el estante de arriba, gradualmente se eleva la temperatura a medida que descende aquélla, y pasa a través de cada uno de los pisos sucesivos.



**HORNO VERTICAL CON ESTANTES O PISOS MÚLTIPLES**

- e) En horno de cama o lecho fluidizado, impulsando aire a través de una delgada capa de mena sobre un enrejado en movimiento.



## HORNO DE CAMA O LECHO FLUIDIZADO

### Metales provenientes de minerales sulfurados

#### ➤ LA PLATA

La plata es un elemento químico de carácter metálico, fórmula Ag, número atómico 47 y masa atómica 107.88. Su densidad es de 10.5. Funde a 960° C y hierve a 1950° C. Cuando funde en contacto con el aire absorbe hasta 22 veces su volumen de oxígeno, que al enfriar vuelve a desprender, levantándose en su superficie pequeños cráteres y proyectando partículas de metal líquido, en un proceso que recibe el nombre de “galleo de plata”.

Es un elemento nativo por lo que se encuentra en la naturaleza a temperatura ambiente. Tiene formas de crecimiento dendríticas y plumosas; también compactas, en láminas y filiforme. Cuando aparece en forma nativa, lo hace en masas que han llegado a pesar centenares de kilos, esparcidas en terreno rocoso, con pequeñas incrustaciones de otros metales nobles. Lo normal es que aparezca junto con grandes filones de galena, blenda y pirita. Cerca de la superficie, la plata suele aparecer nativa o en forma de haluro. En las profundidades aparece formando sulfuros. Pero este tipo de filones está muy agotado, y actualmente la mayor parte de la plata que aparece en el mercado procede del tratamiento de filones de blenda, galena y pirita.



Los métodos para la obtención de la plata son, el de amalgamación y el de cianuración, o como subproducto de otras metalurgias, en especial la del plomo.

- La amalgamación es un método español, consiste en triturar la mena, que debe ser plata nativa o cloruro, se agita con agua y mercurio para obtener cloruro mercurioso, entonces la plata se amalgama con el mercurio en exceso. La amalgama se separa del mineral agotado y se destila en retortas de hierro, el mercurio volátil se usa otra vez, y la plata queda en la retorta. Este método casi no se utiliza en la actualidad.
- La cianuración se usa normalmente para menas ricas, consiste en triturar el mineral, y si contiene sulfuro de plata se tuesta con cloruro sódico, para conseguir cloruro de plata, este se disuelve en cianuro sódico formándose cianuro complejo de plata y sodio  $\text{Ag}(\text{CN})_2\text{Na}$ . El metal se precipita de esta disolución por el cinc metálico.

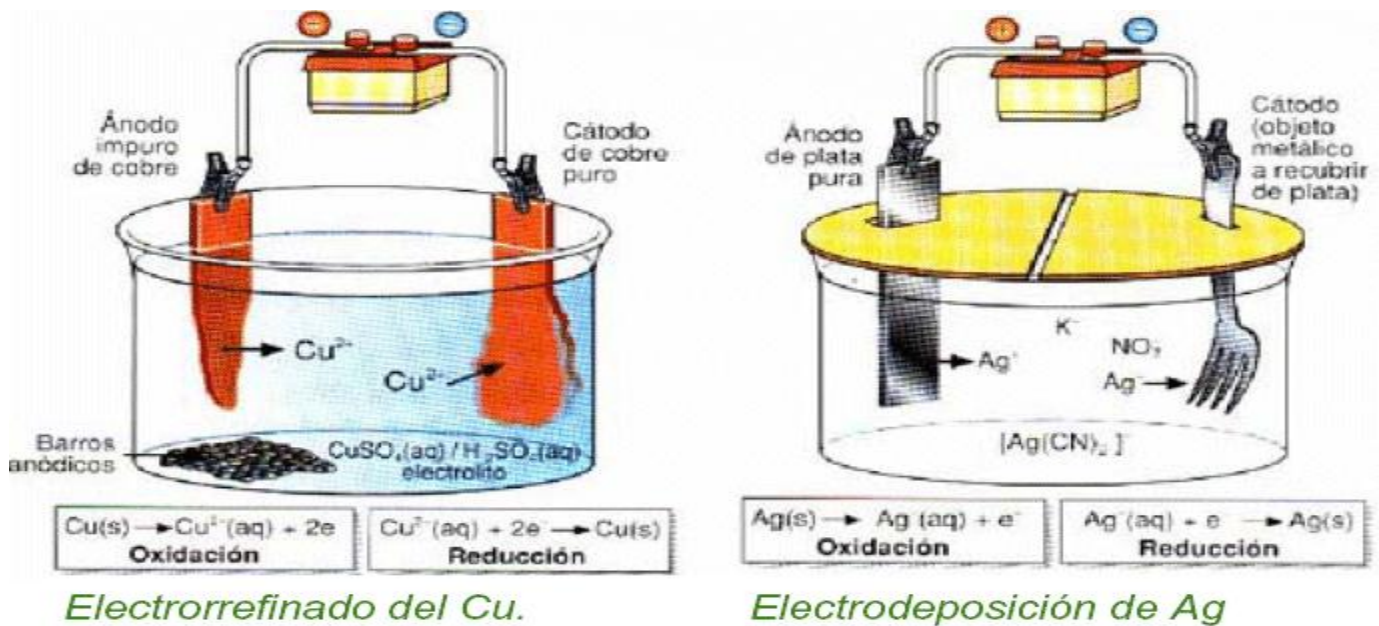
Obtención de la plata como subproducto.

Este método es el más utilizado, consigue el 80% de la plata obtenida en el mundo. En la producción de los metales que la acompañan, la plata queda mezclada con ellos, y se separa con una técnica diferente en cada caso. Si aparece mezclada con oro se extrae mediante electrólisis en una solución de nitrato de plata.

El caso más frecuente es que acompañe al plomo, del que se separa por el método Parkes: después de eliminar las impurezas, el metal fundido se mezcla con un 2 % de cinc, inmiscible con el plomo, pero no con la plata, a la que arrastra en su flotación y solidificación cuando el plomo está todavía fundido. Se extrae la aleación cinc-plata y se calienta en retortas de arcilla, para separar el cinc por destilación.

El residuo de las retortas se somete al proceso de copelación, para oxidar y fundir los posibles restos de plomo. Si la plata aparece mezclada con cobre, se procede por galvanización y copelación, o bien por refinado electrolítico. Para obtener plata químicamente pura, se precipita de sus soluciones nítricas en estado de cloruro, que se reduce por calentamiento en presencia de yeso y carbón.

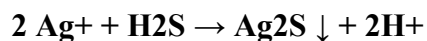
La plata pura es un metal muy blando, por lo que se emplea poco. La industria química la utiliza en cápsulas y como revestimiento protector, chapeado o electrolítico, debido a su buena resistencia frente a muchos reactivos, así como en superficies termoaislantes y como catalizador en diversos procesos.



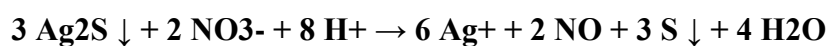
## DIAGRAMA DE FLUJO



El sulfuro de plata es un sólido negro, altamente insoluble en agua, cuya fórmula molecular correspondiente es  $\text{Ag}_2\text{S}$ . Se produce al reaccionar nitrato de plata con ácido sulfhídrico.



Se disuelve en ácido nítrico diluido y caliente.



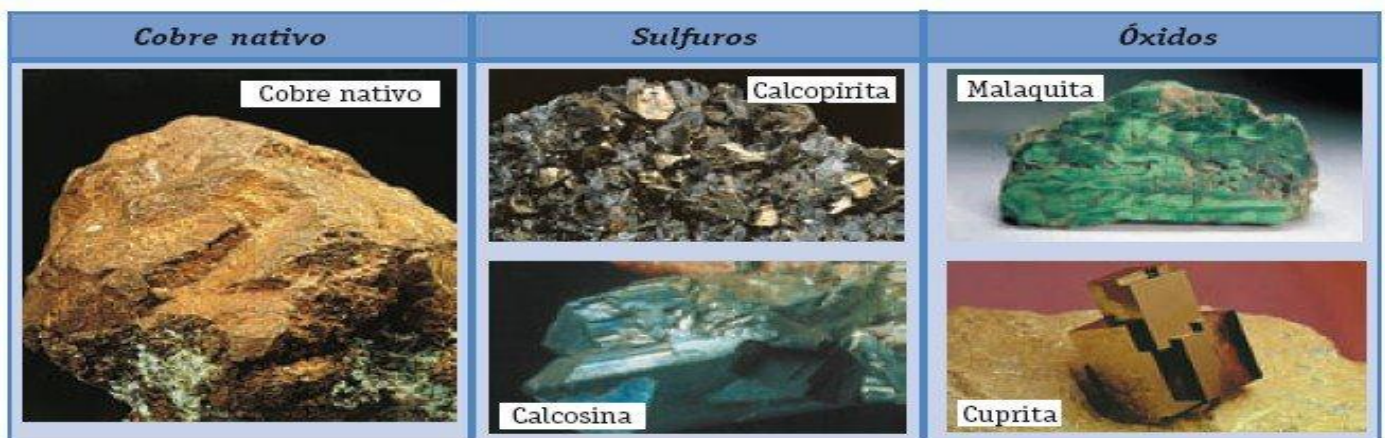
## ➤ EL COBRE

El cobre es el elemento químico de número atómico 29 y de masa atómica  $\text{Cu} = 63.54$ . es un metal de color rojo que cristaliza en el sistema cúbico. Tiene por densidad 8.9 y funde a  $1084^\circ \text{C}$ . Entre los metales industriales, es el mejor conductor del calor y de la electricidad. Es de dureza media, muy maleable y dúctil. Se puede oxidar si está en un ambiente frío, o con ácidos.



Los minerales de cobre explotados para la obtención de metal se clasifican en tres categorías:

- **Minerales de cobre nativo:** Sus principales yacimientos actualmente explotados se encuentran en E.U.A., cerca del lago Superior, y contienen aproximadamente un 1% de cobre puro. En Bolivia también hay yacimientos de cobre nativo, rico en cobre puro.
- **Minerales oxidados:** Este tipo de mineral se utiliza muy poco. Los principales minerales son : cuprita ( óxido rojo ), mela-conita ( óxido negro ), malaquita ( carbonato verde hidratado ), azurita ( carbonato azul hidratado ), crisocola ( silicato hidra-tado ), y atacamita ( oxiclورو hidratado ) y se encuentran en E.U.A., Chile, Rhodesia y Extremo oriente.
- **Minerales sulfurados:** Estos son los más utilizados. El principal es la calcopirita o pirita cuprosa, cuyo contenido de cobre llega por lo general al 4%. Los demás minerales sulfurados explotados son la calcosina, la tetraedrita, la bornita y la energita. Estos minerales se explotan en E.U.A., Japón, Rusia y, a escala más limitada, en Alemania y España.





El uso más antiguo del cobre se remonta al imperio egipcio del 5000 al 4500 A.C., su uso fue en principio ornamental, posteriormente se fabricaron con él pequeños objetos( agujas, tijeras, anillos etc.). Alrededor del 4000 3500 A.C. apareció el cobre forjado y moldeado, pero no se extendió a Mesopotamia del Norte, hasta el 3000 A.C., donde el cobre fundido empezó a sustituir al cobre forjado. Durante el tercer milenio A.C., el uso de este metal se extendió a las regiones del Mediterráneo oriental y a la desembocadura del Danubio.

Entre 2500 y 2000 apareció en Europa Central y Occidental, y fue llevado a Italia y España por navegantes, y a Bohemia y Baviera por los pueblos de las estepas. Posteriormente, se empleo, principalmente, bajo la forma de aleaciones, para confeccionar armas, herramientas, joyas, adornos, objetos domésticos, estatuas, etc.

El cobre se encuentra después en el bronce antiguo. Durante la edad media, los centros principales de extracción de cobre fueron las minas alemanas de Rammelsber y Mansfeld ; sin embargo, su producción fue sobrepasada por las minas de Cornualles y, a principios del siglo XIX, por las minas españolas de Riotinto. A partir de la segunda mitad del siglo XIX, el intenso desarrollo de las minas de Chile, Canadá, y mas tarde E.U.A. y el Congo eclipsó las explotaciones europeas.

Actualmente la mayor producción mundial de minerales de cobre, corresponde a E.U.A., gracias a las minas de Arizona, Utah, Nuevo México y Montana cuyas reservas son considerables. Les siguen inmediatamente Rusia cuya producción aumenta de un modo regular, así como Chile, Canadá , Zambia y Zaire. Los mayores productores de este mineral, son igualmente los primeros suministradores de fundición, puesto que la transformación de mineral, se realiza en el mismo lugar de su extracción.

Objetos de cobre  
y aleaciones de cobre  
usados en la  
**Edad Media**  
500 – 1500





## Metalurgia del cobre

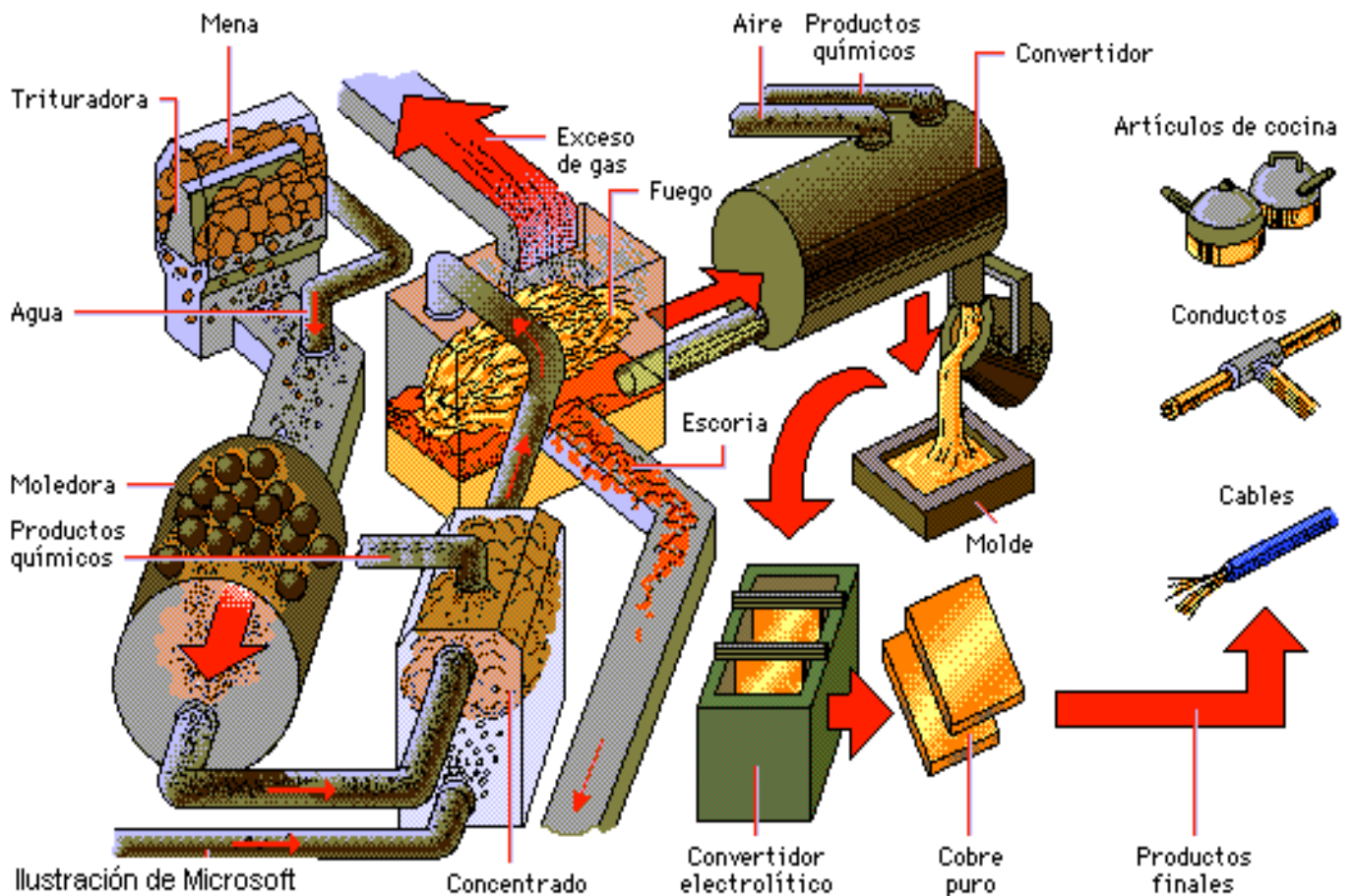
Según su naturaleza y la riqueza de los minerales, el cobre es tratado de una manera diferente.

### ❖ Tratamiento de los minerales sulfurados:

El método consiste en separar el hierro del cobre por vía seca, utilizando por una parte la gran afinidad del cobre para el azufre y, por otra, la del hierro para el oxígeno.

El mineral enriquecido por flotación, sufre sucesivamente:

- a) Una tostación oxidante parcial, que transforma en óxido parte del sulfuro de hierro.
- b) Una fusión escorificante en horno de reverbero en contacto con sílice, que permite eliminar hierro en forma de escoria silícea. Queda una mata ( capa separada por diferencia de densidad ) enriquecida en un 40 % de cobre aproximadamente.
- c) Una conversión permite separar totalmente el sulfuro del hierro de la mata para obtener el cobre bruto. Esta última operación se efectúa en dos fases:
  - Primeramente la corriente de aire oxida el hierro remanente, que se escorifica en contacto con la sílice y es separado de la mata que tiene una riqueza de un 80% de cobre.
  - En la segunda fase la oxidación de la mata se prosigue con formación de óxido y de sulfuro de cobre. En este momento ambos productos reaccionan mutuamente con desprendimiento de anhídrido sulfuroso y formación de cobre bruto.



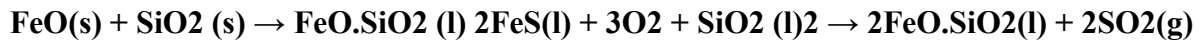
El mineral de sulfuro es la principal fuente de cobre primario. Después de la extracción en las minas, los minerales son aplastados y se muele para obtener una granulometría adecuada a las etapas siguientes, en las que separan los agregados a partir de fracciones ricas en cobre.

Por flotación los polvos emulsionados con líquidos tensoactivos se colocan en tanques de gran tamaño desde la que se eliminó la superficie de la espuma es rica en alambique de cobre unido al azufre. Se obtienen a continuación, de los lodos, los cuales se secó y se concentró en los pasos posteriores: en un primer momento mecánicamente (concentración) y, a continuación térmicamente (torrefacción).

En el horno, a través de soplado de aire u oxígeno, se obtiene la formación de SO<sub>2</sub> gaseosa que se separa del metal líquido.



Al mismo tiempo la adición de silicio permite para la eliminación de hierro presente: la escoria, compuesto de silicatos, flotadores y se quita.



La refinación térmica continúa en horno de Pierce-Smith a través de más de soplado de oxígeno o aire, ya que en parte se oxida el cuarto de baño, se procede a la pinaggio, que consiste en insertar un tronco de pino verde, quemando, rompiendo con la reducción de gases y vapores.



El El sulfuro de hierro viene resumida:



#### Refinación electrolítica

Para la máxima pureza del cobre, es necesario llevar a cabo una refinación electrolítica. Una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y CuSO<sub>4</sub> son dos lugares Electroodos: el cátodo de cobre puro y el ánodo de cobre para purificar. El cobre se deposita en cátodo, las impurezas que consisten de los metales básicos (incluyendo arsénico, bismuto y níquel) permanecen en solución, aquellos que consta de más metales nobles (incluyendo Oro, plata y platino precipitado en el ánodo, formando el llamado "lodo ánodo".

Todo ánodo:  $\text{Cu}(\text{s}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$  para cátodo:  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$

Los cátodos son de cobre obtenido con una pureza superior al 99,99%, por lo general en hojas de papel de 96 × 95 × 1 cm, desde el peso de cerca de 100 kg. El cobre electrolítico obtenido de esta manera aún no está listo para ser procesado directamente, se debe readaptar a hacer Billet, placas o barras, que se obtienen para el trabajo plástico de varios semi-acabado (como cables, tubos, barras, tiras u hojas).

Otra técnica es la hidrometalurgia, que, sin embargo, es poco utilizado. Se utiliza principalmente para la extracción de cobre a partir de aguas de mina. El cobre debe estar en la forma de óxido, si es en forma de sulfuro es necesario hacer antes de un asado en el aire.

El método consiste en disolver en ácido sulfúrico o sulfato férrico el óxido de cobre. Mientras que este último es el hierro soluble y ganga no lo son. Se recupera la electrodeposición de metales o la lluvia.

## Producción por bacterias

Hay que añadir que el porcentaje cada vez más grande de cobre extraído de las minas de las hazañas biotecnología. El mineral se rompe y se colocan en tanques en los que el agua se bombea enriquecido bacterias., como la *Thiobacillus ferrooxidans* y la *Thiobacillus thiooxidans*. Estos microorganismos oxidan el sulfuro de cobre (insoluble en agua) transformándolo en sulfato (soluble), la obtención de energía para sus funciones vitales. Este sistema permite un ahorro considerable de energía en comparación con la extracción tradicional (hasta 30%) y no libre en la atmósfera gases nocivos.

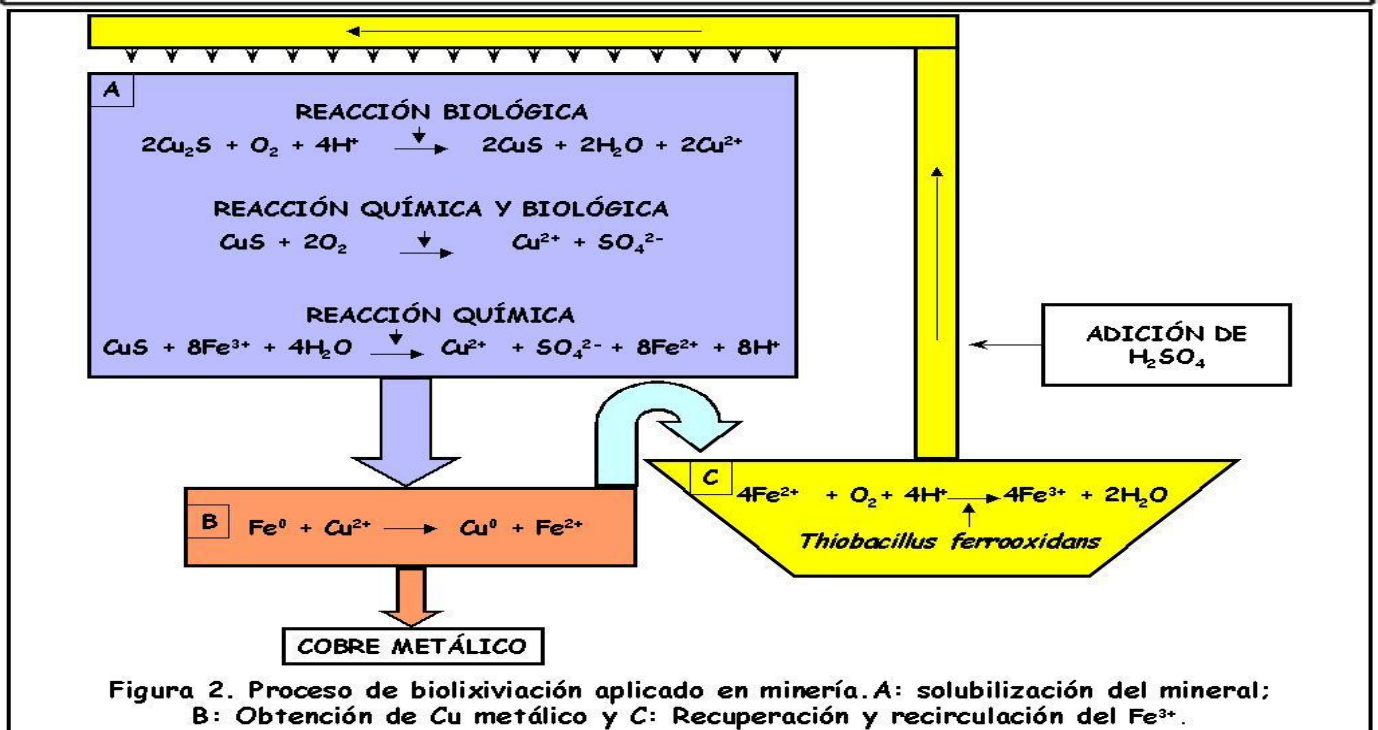
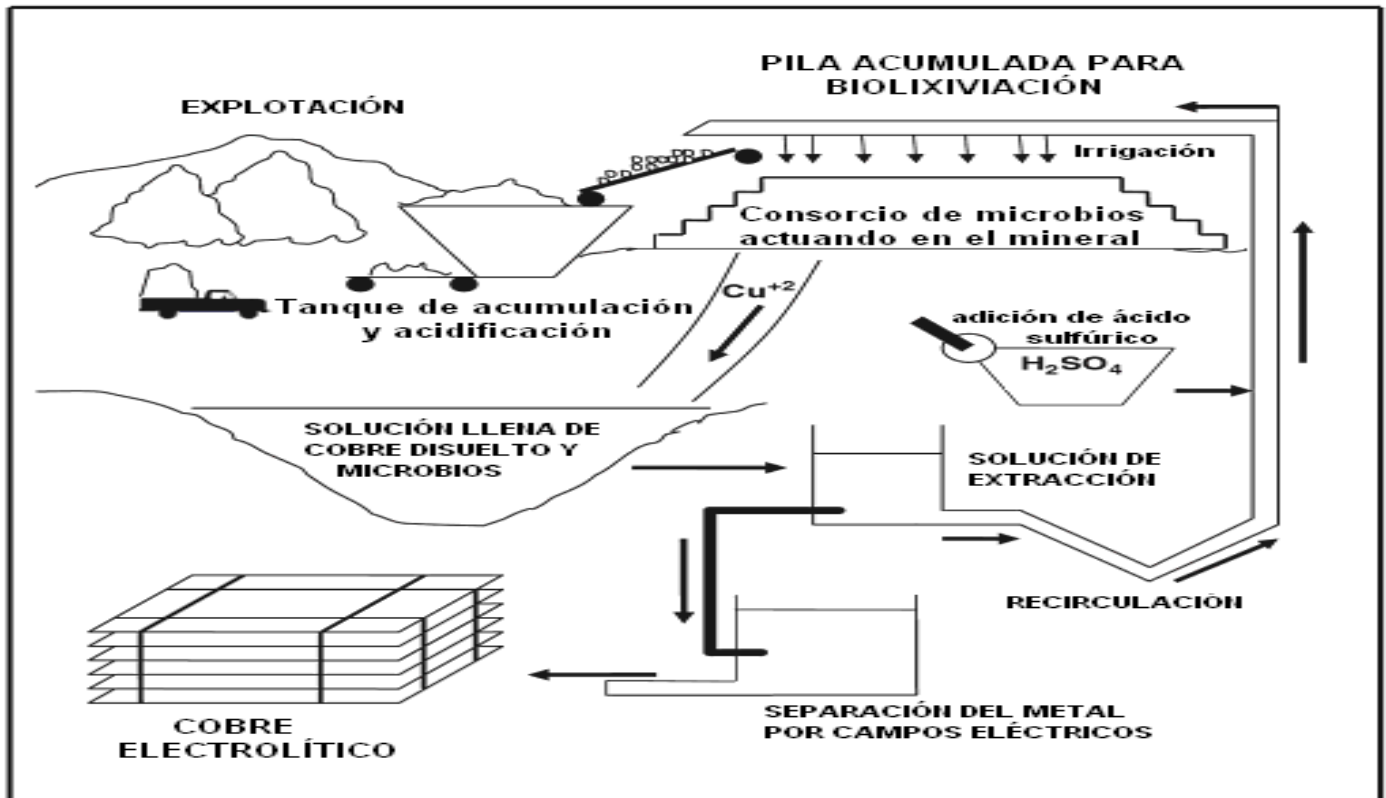


Figura 2. Proceso de biolixiviación aplicado en minería. A: solubilización del mineral; B: Obtención de Cu metálico y C: Recuperación y recirculación del  $Fe^{3+}$ .

Aleación	Tipos/composición	Algunas aplicaciones
Bronce (aleación de cobre y estaño)	Ordinario. Sólo lleva cobre y estaño (del 5 al 30 %).	Campanas y engranajes.
	Especial. Lleva cobre, estaño y otros elementos químicos.	Esculturas y cables eléctricos.
Latón (aleación de cobre y cinc)	Ordinario. Sólo lleva cobre y cinc (del 30 al 55 %).	Tomillería.
	Especial. Lleva cobre, cinc y otros elementos químicos.	Grifos, tuercas y tornillos.
Cuproaluminio	Aleación de cobre y aluminio.	Hélices de barco, turbinas, etcétera.
Alpaca	Aleación de cobre, níquel y cinc. Tiene un color plateado.	Joyería barata, cubiertos, etcétera.
Cuproníquel	Aleación de cobre y níquel (del 40 al 50 %).	Monedas y contactos eléctricos.



## ➤ EL PLOMO

El sulfuro de plomo (II) o sulfuro plumboso es una sustancia oscura, insoluble en agua y ácidos débiles que se forma fácilmente a partir de otras sales de plomo y sulfuros. Se aprovecha esta reacción en química analítica para separar el plomo junto con otros sulfuros poco solubles de los demás cationes en la marcha analítica.

Se extrae del mineral galena que posee la misma composición química. Sirve como fuente de obtención de plomo y de otros compuestos de este metal. En el laboratorio puede obtenerse a partir de una disolución de plomo (II) tratada con ácido sulfhídrico o una disolución de un sulfuro soluble como el de sodio.



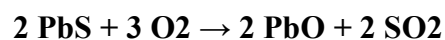
**Mineral de Galena**

La galena o *galenita* tiene como fórmula PbS.

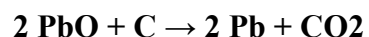
- **Sistema de cristalización:** regular, formando cristales con buena conformación.
- **Dureza:** 2,5.
- **Densidad:** de 7,3 a 7,6 g/cm<sup>3</sup>.
- **Color:** gris con brillo metálico. Da raya gris.
- **Exfoliación:** muy perfecta en tres planos perpendiculares.

En la naturaleza el sulfuro de plomo aparece en forma de galena. Es el mineral más importante del plomo aunque debido a impurezas de plata que puede contener, a veces se explota principalmente para la obtención de este otro metal.

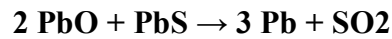
Calentado al aire, el sulfuro se oxida a dióxido de azufre, mientras que el plomo se convierte en óxido de plomo (II) (PbO).



Éste puede ser reducido con carbono para obtener el metal.



También es posible calentar el óxido de plomo (II) formado junto con la cantidad precisa de sulfuro de plomo (II), en cuyo caso éste sustituye al carbono como reductor:



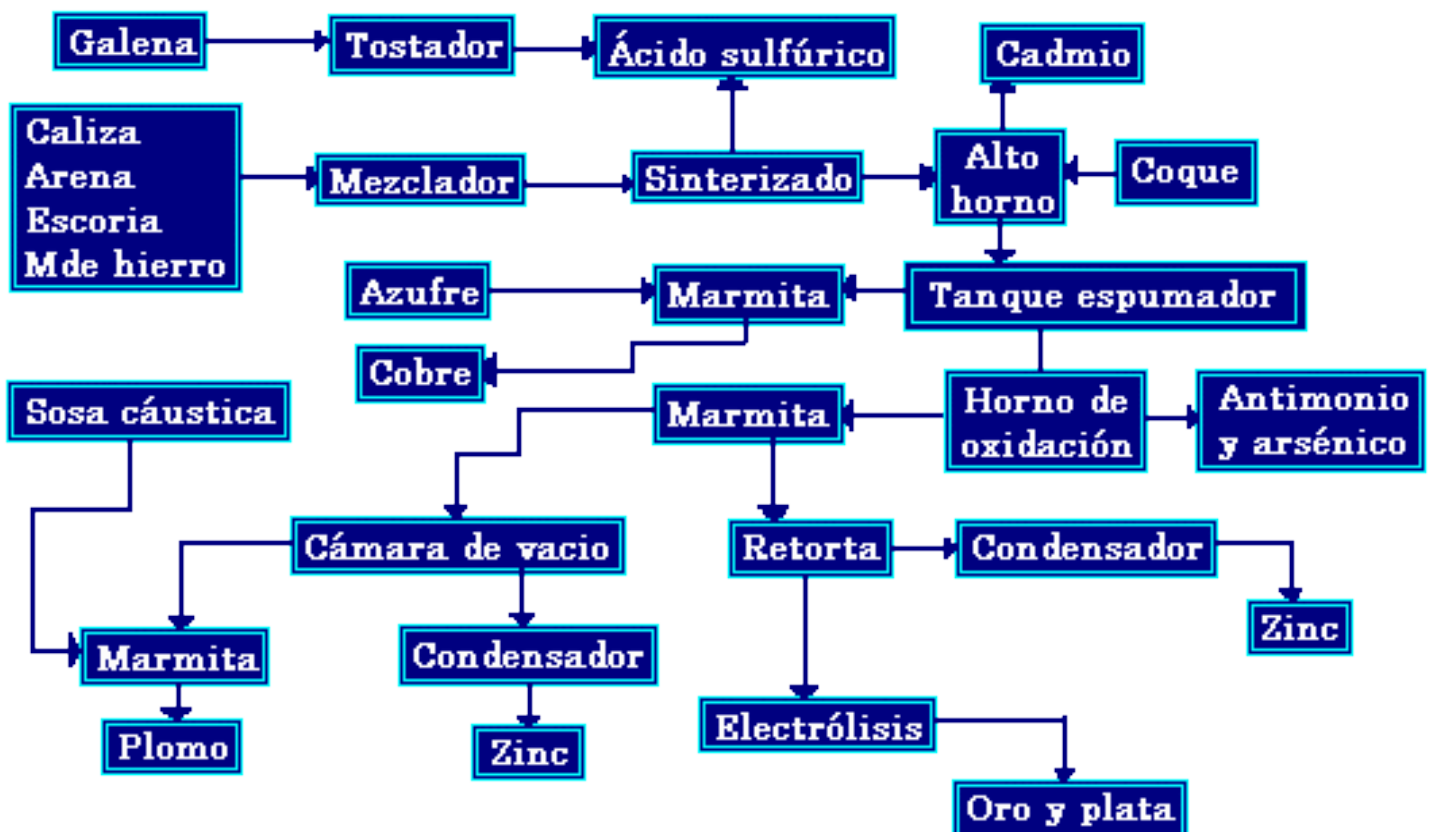
El dióxido de azufre formado como subproducto puede utilizarse en la fabricación del ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). En la antigüedad y la edad media este proceso era una de las principales causas de contaminación medioambiental.

El sulfuro de plomo tiene propiedades de semiconductor. Algunos de los primeros radioreceptores aprovecharon cristales de la galena natural como diodo. Hoy en día el sulfuro de plomo aún se utiliza en algunos detectores de radiación infrarroja.

Cuando se usa para infrarrojo, estos elementos de detección se clasifican como detectores de fotones. A diferencia de los detectores térmicos, la otra gran clase, los detectores de infrarrojo responden directamente a la radiación incidente. Los detectores térmicos responden solamente ante el cambio de temperatura del material causado por la energía de los fotones.

Debido a esta diferencia, la radiación se puede medir de dos formas: detectando la débil corriente eléctrica o midiendo el cambio en la resistencia eléctrica del material que nos permite saber la temperatura. Este segundo método es el más usado.<sup>3</sup>

El sulfuro de plomo también forma parte en la formulación de algunos esmaltes cerámicos. En el horno se convierte en óxido de plomo (II) que forma parte de la capa vítrea que recubre la pieza cerámica. Ya que, en presencia de ácidos y algunos otros compuestos, éstos pueden extraer el plomo. Estas formulaciones se sustituyen actualmente por otras menos tóxicas.



Proceso de Obtención del Plomo



1. Enriquecimiento	2. Oxidación de los sulfuros	3. Reducción del monóxido de Pb	4. Afinado del plomo
La galena se tritura y muele. Luego se separa la ganga de la mena mediante flotación.	Hay que tostar (a unos 700 °C) todos los sulfuros de Pb para transformarlos en óxidos. Al añadir sílice y cal, se obtiene monóxido de plomo (PbO).	Se realiza en un horno de mufla (especie de horno alto en pequeño). Se usa carbón de coque y cal. El plomo obtenido contiene muchas impurezas. Se llama <b>plomo de obra</b> .	Hay dos fases: 1. Separación de otros metales (cobre, cinc, plata, etcétera). 2. Afinado electrolítico.

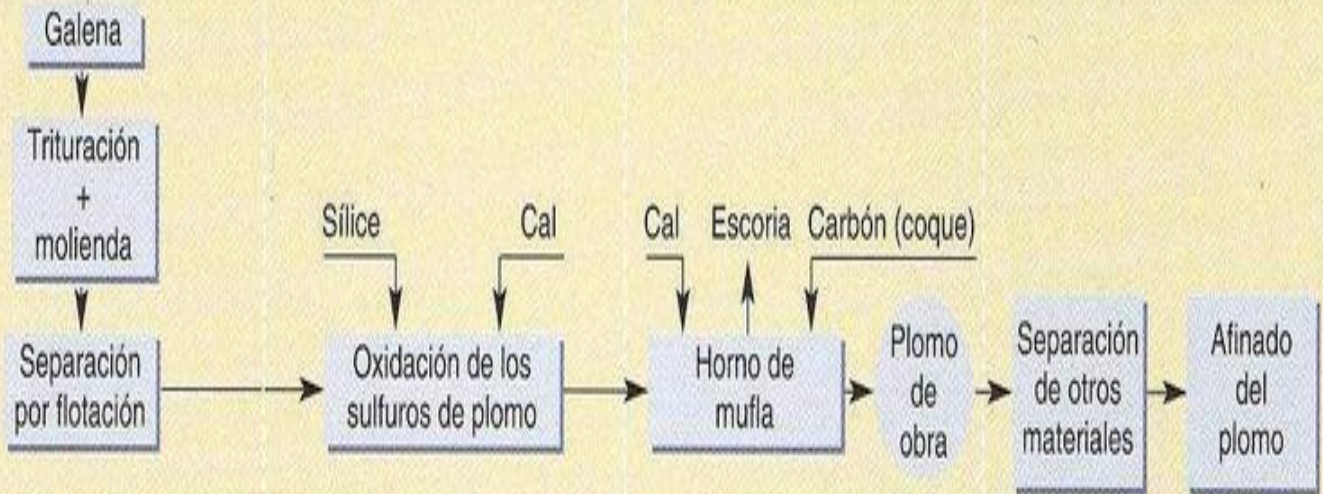


Tabla 10.5. Proceso de obtención del plomo.



Planta Concentradora de Plomo



## ➤ EI ZINC

Sulfuro de zinc es un compuesto inorgánico con la fórmula química de ZnS. Esta es la forma principal de zinc que se encuentra en la naturaleza, en el que se produce principalmente por la esfalerita mineral. Aunque este mineral es generalmente negro a causa de diversas impurezas, el material es de color blanco puro, y se usa ampliamente como un pigmento. En su forma sintética denso, sulfuro de zinc puede ser transparente, y se utiliza como una ventana de óptica visibles y la óptica de infrarrojos.

El ZnS existe en dos principales formas cristalinas, y este dualismo es a menudo un ejemplo sobresaliente de polimorfismo. En tanto el polimorfismo, la geometría de coordinación en Zn y S son tetraédrica. La forma cúbica más estable que se conoce también como **blenda o esfalerita**.

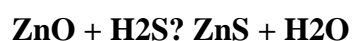


**Mineral de Blenda o Esfalerita**

La forma hexagonal es conocida como la wurtzita minerales, aunque también puede ser producido sintéticamente. La transición de la forma esfalerita a la forma wurtzita se produce en alrededor de 1.020 grados centígrados. Una forma tetragonal también se conoce como el muy raro mineral llamado polhemusite, con la fórmula S..

El Sulfuro de zinc, con la adición de unos pocos ppm de activador adecuado, se utiliza como fósforo en muchas aplicaciones, desde los tubos de rayos catódicos por las pantallas de rayos X para brillar en los productos oscuros. Cuando la plata se usa como activador, el color resultante es de color azul brillante, con el máximo a 450 nanómetros. Uso de los rendimientos de manganeso un color naranja-rojo a alrededor de 590 nanómetros. Cobre da resplandor de largo plazo, y tiene el resplandor verdoso familiar en la oscuridad. Dopado con cobre sulfuro de zinc se utiliza también en paneles electroluminiscentes. También exhibe fosforescencia debido a impurezas en iluminación con luz azul o ultravioleta.

El Sulfuro de zinc se produce generalmente a partir de materiales de desecho de otras aplicaciones. Las fuentes típicas incluyen fundición, escorias y encurtidos licores. También es un subproducto de la síntesis de amoníaco a partir del metano que se utiliza óxido de zinc para barrer las impurezas de sulfuro de hidrógeno en el gas natural:





Se produce fácilmente mediante la ignición de una mezcla de zinc y azufre. Puesto que el hidróxido de zinc es insoluble en agua, soluciones que contienen sales de  $Zn^{2+}$  + forman fácilmente un precipitado  $ZnS$  en la presencia de iones sulfuro.



Esta reacción es la base de un análisis gravimétrico para el zinc.

### Perforación, Extracción y Triturado

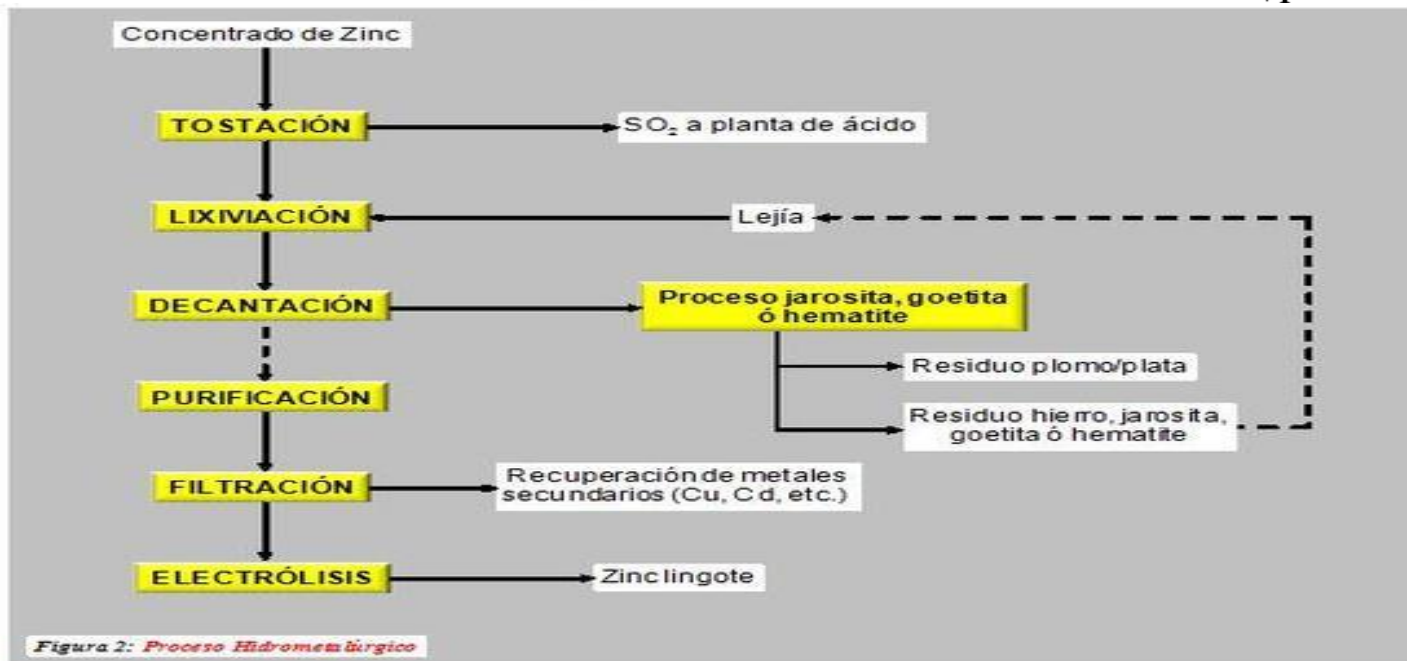
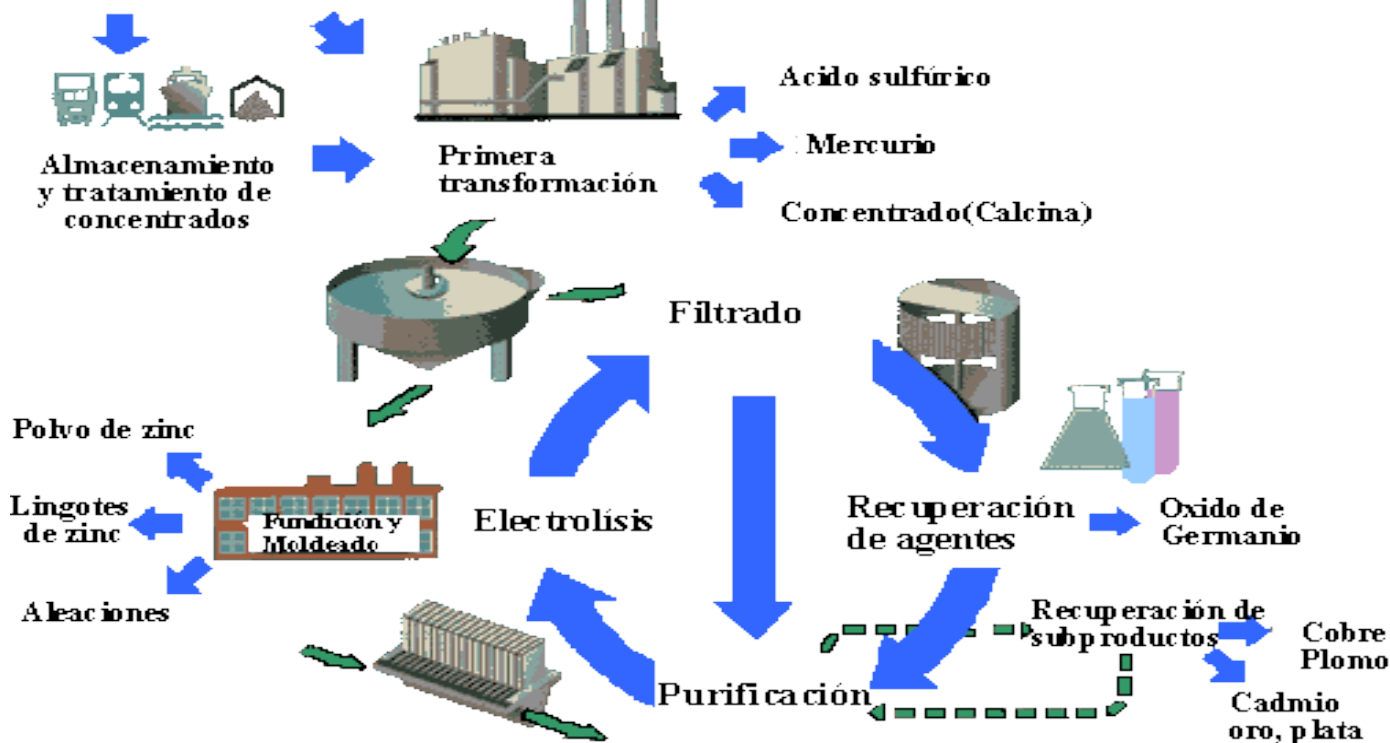
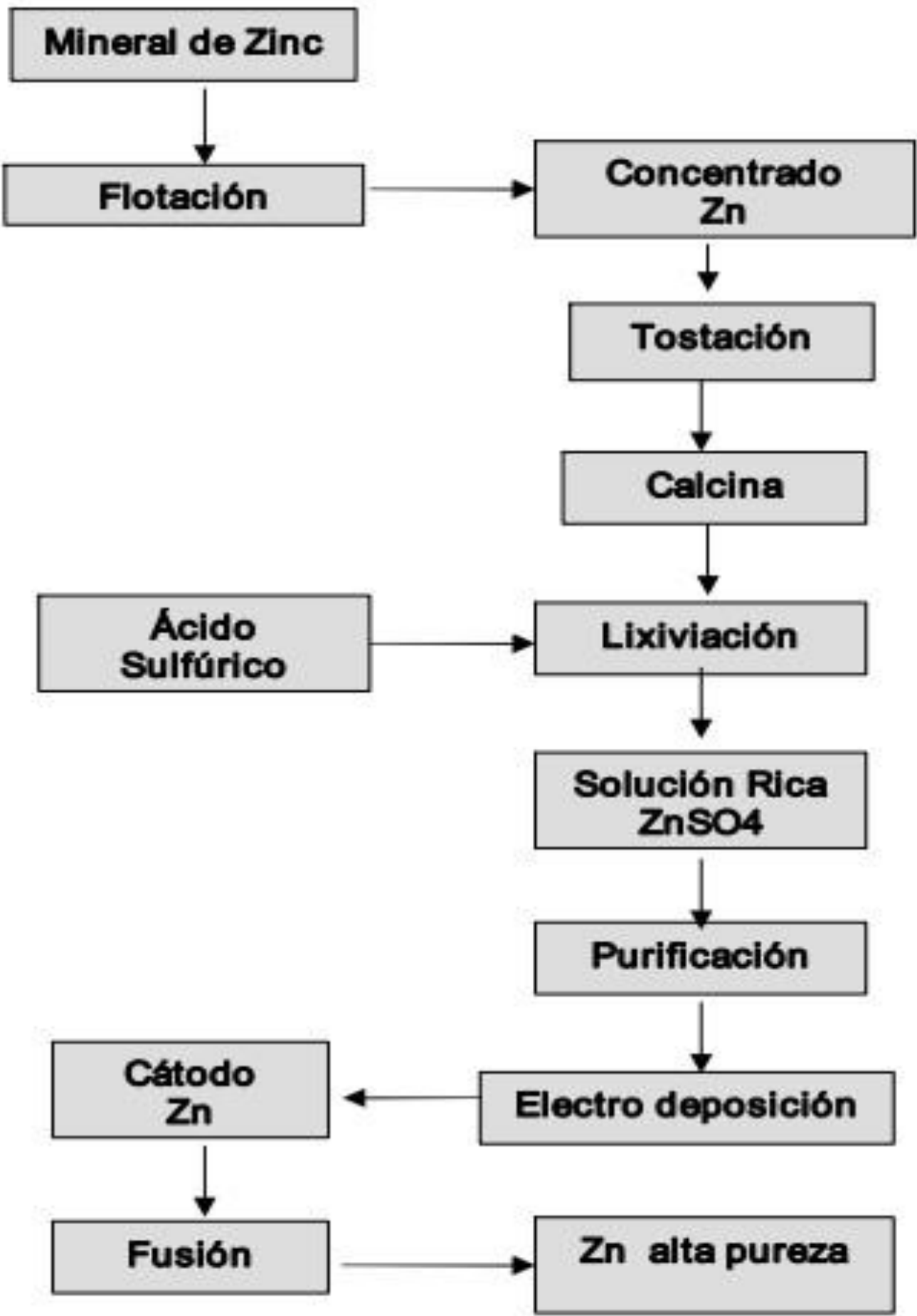


Figura 2: Proceso Hidrometalúrgico

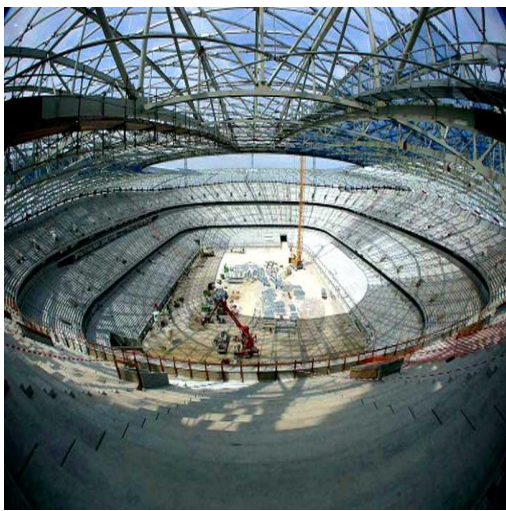
### Proceso de Obtención del Zinc



El zinc es un mineral esencial para la sociedad moderna. Se usa como revestimiento contra la corrosión en el acero, para fabricar componentes de precisión, como material de construcción para producir bronce y caucho, en la elaboración de productos farmacéuticos y cosméticos, en fertilizantes y suplementos alimenticios.

Si tenemos en cuenta la amplia gama de industrias que depende de sus propiedades únicas, la importancia económica del zinc no debe sorprendernos.

Cada año los productos elaborados con zinc o contenido de zinc aportan cerca de 40,000 millones de dólares a la economía mundial. La distribución de la producción minera, fundición y refinamiento de zinc se estima en 18,500 millones de dólares.



Galvanizado



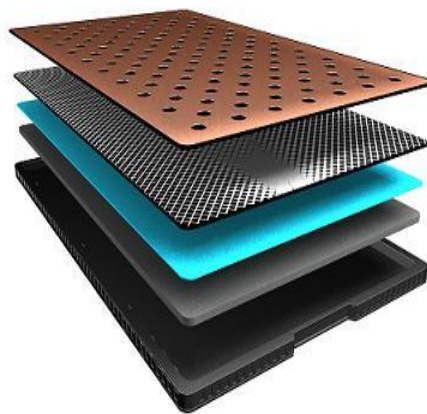
Latón



Die Casting



Óxido de Zinc



Baterías de zinc



Protección Catódica



## ➤ EI MERCURIO

El cinabrio o bermellón (por su color), también conocido como cinabarita, es un mineral de la clase de los sulfuros. Está compuesto en un 85% por mercurio y 15% de azufre. En su simetría y caracteres ópticos presenta un parecido notable con el cuarzo. Como el cuarzo, exhibe una polarización circular, y Alfred Des Cloizeaux demostró que posee quince veces el poder rotativo del cuarzo. Su fórmula química es HgS (sulfuro de mercurio).



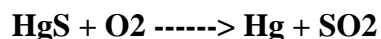
**Mineral de Cinabrio**

El cinabrio tiene como fórmula HgS. Se presenta normalmente en una masa granular de cristales trigonal. Se forma junto a las rocas volcánicas y fuentes cálidas. Además de ser una fuente importante de mercurio, también se utiliza en instrumental científico, aparatos eléctricos, ortodoncia, etc.

En la antigüedad, fue utilizado para preservar huesos humanos y en pinturas rupestres (como las descubiertas cerca de Almadén). Tal vez siguiendo esa tradición como preservador de huesos, los alquimistas utilizaron el cinabrio para preparar un elixir que, suponían, aseguraba la longevidad. En medicina china, se denomina metafóricamente cinabrio a la energía sexual o energía de vida, recibida de los padres en el momento de la concepción y que se va agotando a lo largo de la vida.

En la Edad Media se utilizó para iluminar manuscritos. Otro de los usos fue como colorante para el lacre, que era un sólido (mezcla basada principalmente por cera de abejas) quebradizo y de punto de fusión bajo para sellar las cartas o documentos de la realeza.

Es el único metal líquido a temperatura ambiente que existe. Sus vapores son muy tóxicos, produciendo debilidad mental acompañada de deficiencias en el sistema nervioso. El mineral de mercurio más importante es el cinabrio (HgS), del cual se obtiene el metal por tostación:



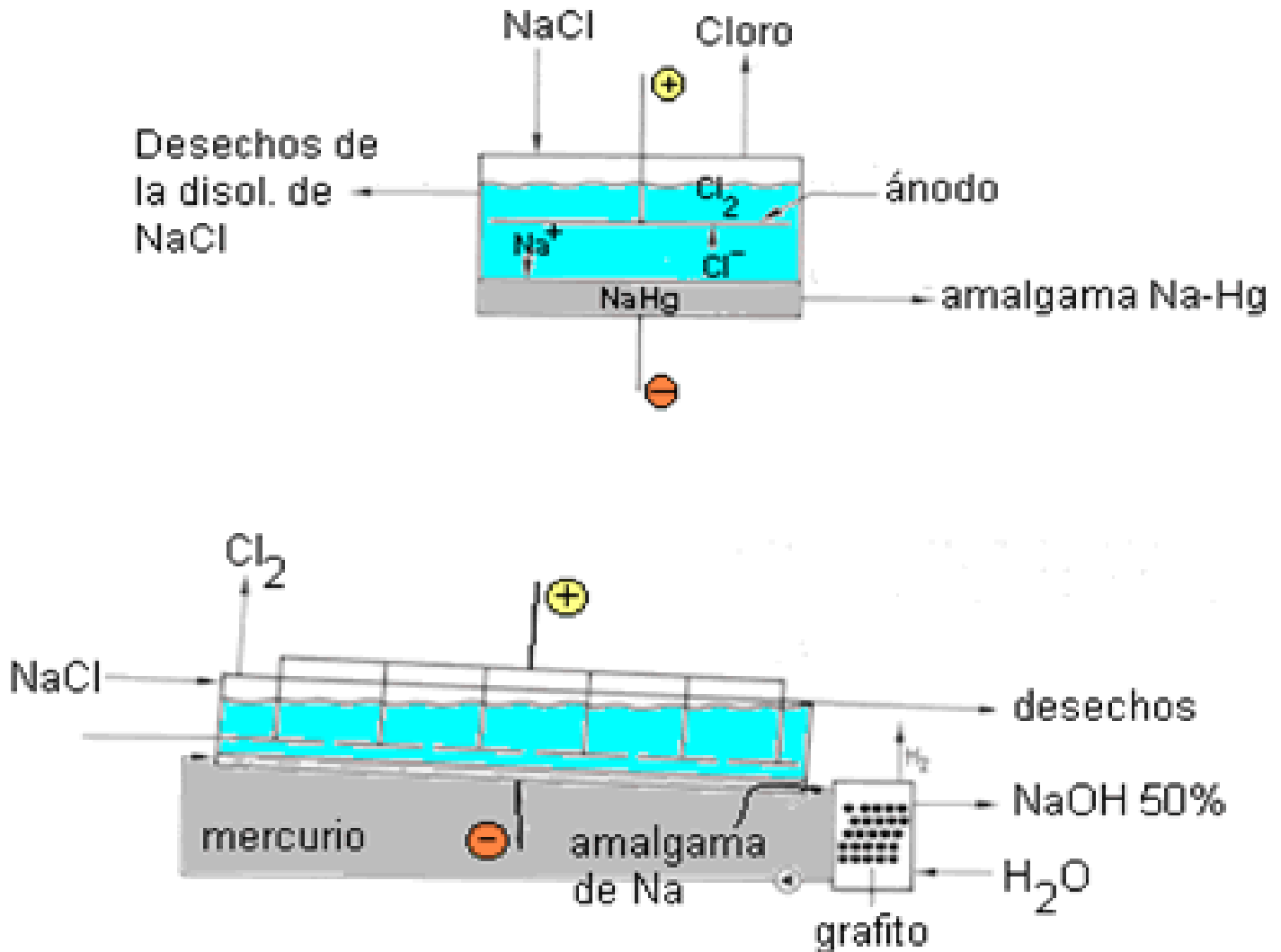
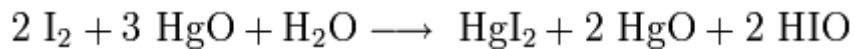
Es un mineral blando, muy pesado, frágil, inalterable al aire libre, se volatiliza a temperaturas superiores a 580 °C, produciendo gotas de mercurio que se depositan en las partes frías próximas; es insoluble en los ácidos pero es atacable por el agua regia y el cloro gaseoso. Presenta una intensa polarización rotatoria.

El cinabrio es un mineral de génesis hidrotermal a temperatura muy baja; se encuentra en filones, incrustaciones o impregnaciones en rocas de distintos tipos, relacionados con las manifestaciones volcánicas.

Está también presente como sublimado en los cráteres activos y como depósito químico de las fuentes hidrotermales probablemente alcalinas.

El mercurio se emplea para hacer termómetros, barómetros y manómetros. También se fabrican lámparas eléctricas y rectificadoras de descarga a base de mercurio. En odontología se utilizan las amalgamas de Estaño, Plata y Oro que son aleaciones de mercurio con estos metales. El cinabrio constituye el principal mineral industrial para la obtención del mercurio. Se ha utilizado también como pigmento mineral con el nombre de bermellón.

En primer lugar el cinabrio (SHg), después la tetraedrita CuSbS<sub>3</sub>, minerales de la oxidación de mercurio y en algunas localidades livingstonita, otras asociaciones son el cuarzo SiO<sub>2</sub>, pirita.



Proceso de Obtención del Mercurio

## 1.2. Obtención de metales a partir de minerales oxidados.

### ➤ EL ALUMINIO

El aluminio es el elemento químico de número atómico 13 y de masa atómica  $Al = 26.9815$ . Es un metal blanco, brillante y de densidad 2.7. Su punto de fusión es de  $660^{\circ} C$  y el de ebullición  $2056^{\circ} C$ . Su resistividad eléctrica es de 2.63 ohmios. En estado puro es blando y muy maleable. Aunque es muy oxidable no se altera en el aire ni se descompone en el agua ya que queda protegido por una delgada capa de óxido de aluminio amorfo. Arde en el oxígeno y en el cloro.

Es un mineral descubierto en el siglo XIX. Fue aislado por primera vez por Wöhler en 1827 tratando cloruro de aluminio con potasio. Su fabricación industrial se inició en 1854, gracias a Sainte-Claire Deville ; su metalurgia por electrólisis la consiguieron simultáneamente, en 1886, el francés Héroult y el norteamericano Hall. Actualmente es el metal más utilizado junto al hierro. La industria aeronáutica debe su desarrollo a las aleaciones ligeras, así como, los progresos realizados por la industria del aluminio se deben en gran parte a los trabajos consagrados a mejorar el rendimiento de los aviones.

Roca de la cual se extrae el aluminio, la bauxita : Es una roca por lo general blanda que puede rayarse con el corta plumas. Es de color amarillento, aunque a veces se presenta en colores rojizos o oscuros debido al hierro. Antes de la segunda guerra mundial, no se conocían los yacimientos más importantes en la actualidad. En 1974 Australia y Jamaica eran los primeros productores mundiales, seguidos de Surinam, Guinea, Rusia y Guayana.

La industria del automóvil es la que más utiliza el aluminio a causa de su ligereza (pistones, cárteres, puente posterior y carrocería), de su buena conducción térmica (bloques y culatas) y de sus posibilidades decorativas (rejillas, cercos de faros, empuñaduras). La industria eléctrica hace gran uso del aluminio, cuya conductividad es igual al 62% de la del cobre, con una densidad tres veces menor, así , un conductor de aluminio es dos veces mas ligero y menos costoso que un conductor equivalente de cobre. Se hacen con aluminio todas las líneas aéreas, barras de conexión, cables aislados, bobinados, etc. También se usa en lugar del plomo para enfundado de cables armados. El aluminio es un excelente material de envoltura por su inocuidad, impermeabilidad y opacidad a los rayos ultravioletas.



**Minerales de Bauxita**



La materia prima a partir de la cual se extrae el aluminio es la bauxita, que recibe su nombre de la localidad francesa de Les Baux, donde fue extraída por primera vez. Actualmente los principales yacimientos se encuentran en el Caribe, Australia, Brasil y África porque la bauxita extraída allí se disgrega con más facilidad.

Es un mineral rico en aluminio, entre un 20% y un 30% en masa, frente al 10% o 20% de los silicatos aluminicos existentes en arcillas y carbones. Es un aglomerado de diversos compuestos que contiene caolinita, cuarzo óxidos de hierro y titanía, y donde el aluminio se presenta en varias formas hidróxidas como la gibbsita  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , la boehmita  $\text{AlOOH}$  y la diásporo  $\text{AlOOH}$ .

La obtención del aluminio se realiza en dos fases: la extracción de la alúmina a partir de la bauxita (proceso Bayer) y la extracción del aluminio a partir de esta última mediante electrolisis. Cuatro toneladas de bauxita producen dos toneladas de alúmina y, finalmente, una de aluminio.

El proceso Bayer comienza con el triturado de la bauxita y su lavado con una solución caliente de hidróxido de sodio a alta presión y temperatura. La sosa disuelve los compuestos del aluminio, que al encontrarse en un medio fuertemente básico, se hidratan:



Los materiales no aluminicos se separan por decantación. La solución cáustica del aluminio se enfría luego para recristalizar el hidróxido y separarlo de la sosa, que se recupera para su ulterior uso. Finalmente, se calcina el hidróxido de aluminio a temperaturas cercanas a  $1000^\circ\text{C}$ , para formar la alúmina.

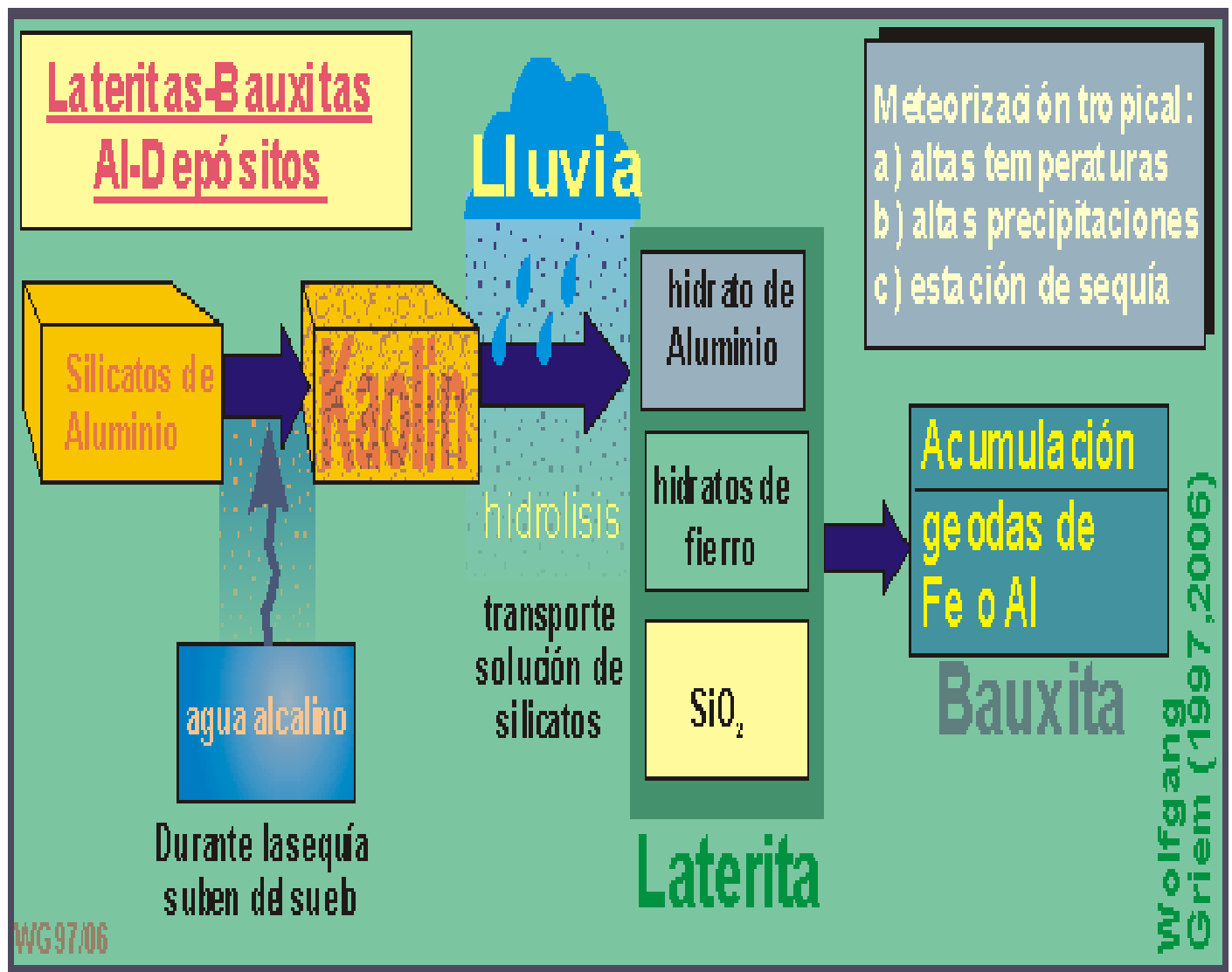


El óxido de aluminio así obtenido tiene un punto de fusión muy alto ( $2000^\circ\text{C}$ ) que hace imposible someterlo a un proceso de electrolisis. Para salvar este escollo se disuelve en un baño de criolita, obteniendo una mezcla eutéctica con un punto de fusión de  $900^\circ\text{C}$ .

A continuación se procede a la electrólisis, que se realiza sumergiendo en la cuba unos electrodos de carbono (tanto el ánodo como el cátodo), dispuestos en horizontal. Cada tonelada de aluminio requiere entre 17 y 20 MWh de energía para su obtención, y consume en el proceso 460 kg de carbono, lo que supone entre un 25% y un 30% del precio final del producto, convirtiendo al aluminio en uno de los metales más caros de obtener. De hecho, se están buscando procesos alternativos menos costosos que el proceso electrolítico.

El aluminio obtenido tiene una pureza del 99,5% al 99,9%, siendo las impurezas de hierro y silicio principalmente. De las cubas pasa al horno donde es purificado mediante la adición de un fundente o se alea con otros metales con objeto de obtener materiales con propiedades específicas. Después se vierte en moldes o se hacen lingotes o chapas.





## Metalurgia del aluminio

La metalurgia actual del aluminio se basa en la reducción electrolítica de la alumina obtenida a partir de la bauxita. La alumina disuelta en la criolita fundida se somete, a alta temperatura, a la acción de una corriente eléctrica continua, descomponiéndose en aluminio y oxígeno.

Prácticamente, se produce un depósito de aluminio fundido en el fondo de la cuba ( cátodo ) y un desprendimiento de oxígeno en el ánodo de carbón que se oxida. Los gases liberados se componen de óxido de carbono y anhídrido carbónico. La operación se efectúa en una cuba rectangular de hierro revestida interiormente con briquetas de carbono precocidas ( antracita ).

La corriente es conducida por numerosas barras de hierro soldadas a los bloques del fondo que sirven de cátodo. Se pueden emplear ánodos precocidos , constituidos por bloques o briquetas de coque de petróleo, aglomerados con alquitrán, prensados y recogidos a 1200°C, o bien ánodos continuos Söderberg.

La intensidad de la corriente alcanza ordinariamente 100'000 amperios a una tensión media de 4.9 voltios. La temperatura se mantiene por efecto Joule entre 950 y 1000°C. El aluminio así obtenido tiene una pureza de 99.5 a 99.8%. Se elabora el aluminio refinado de 99.99% de pureza mediante afinado electrolítico.

El aluminio, a pesar de ser tan abundante en la corteza terrestre, presente en los aluminosilicatos, no es muy práctico extraerlo de la mayor parte de las rocas o minerales que lo poseen, así que, éste viene preparado industrialmente, partiendo de la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), un óxido de aluminio que viene extraído de las menas de alúmina previamente hidratada, cuya fórmula es  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ , la cual es una roca sedimentaria que recibe el nombre de bauxita.

Al contrario de la obtención del hierro, la preparación del aluminio no se puede realizar de manera industrial por reducción química, por lo que se hace necesaria la reducción de la alúmina a través de corriente eléctrica.

La alúmina es un material de tipo refractario que posee un alto punto de fusión, por lo que es conveniente realizar previamente la disolución en criolita,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , el cual tiene un punto de fusión que ronda los  $1000^\circ\text{C}$ , pero aún así es bastante inferior al punto de fusión de la alúmina, el cual es de  $2015^\circ\text{C}$ .

La alúmina en criolita, a modo de baño fundido, es un conductor de la corriente eléctrica, siendo la reducción del aluminio realizada de manera electrolítica. El proceso global presenta la siguiente fórmula:

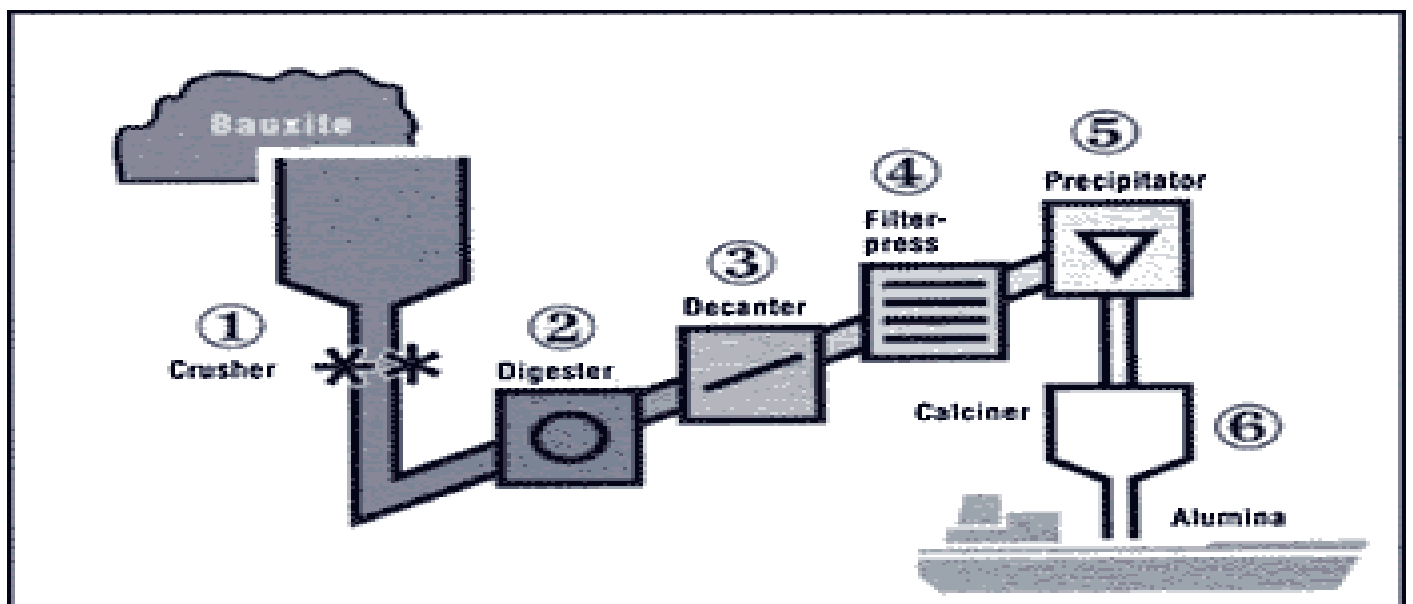


El oxígeno que se produce reacciona con el ánodo de carbono, consiguiendo consumirlo y formar  $\text{CO}_2$ .

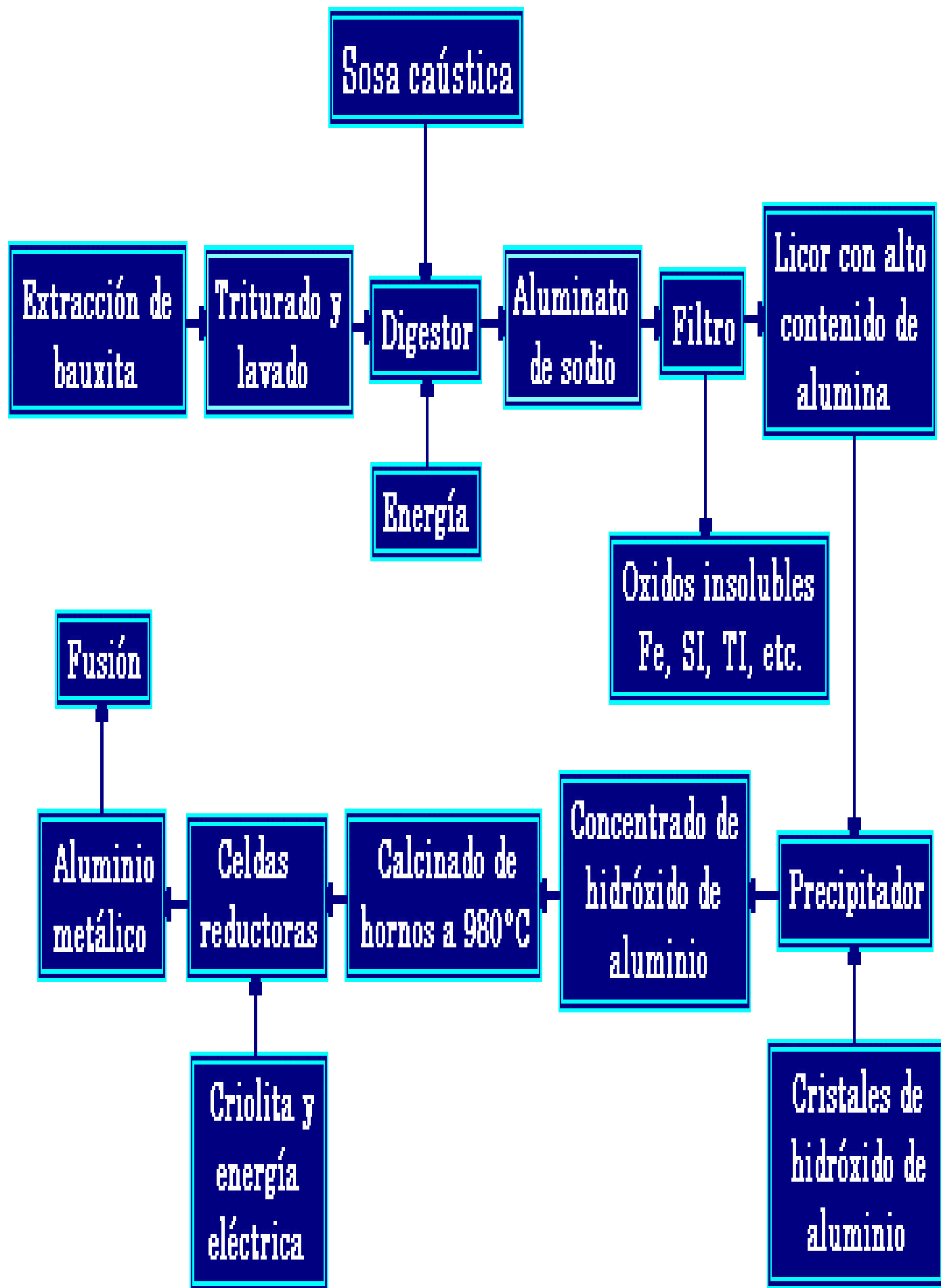
Se obtiene así, el aluminio fundido, siendo más denso que el baño fundido, por lo cual se suele acumular en el fondo, de donde se extrae directamente para poder pasar a solidificarlo en lingotes. La obtención de aluminio consume grandes cantidades de energía.

El aluminio, al igual que el hierro, reacciona con el oxígeno, dando lugar a la formación de los óxidos respectivos. Pero sin embargo, mientras el aluminio forma una cubierta transparente y bastante resistente frente al  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , el cual ejerce una acción de protección impidiendo que se produzca la oxidación que pueda producirse en continuación, mientras que el hierro suele formar una capa rugosa la cual se desprende de la superficie fácilmente, caso en el cual el producto final se conoce como herrumbre, siendo un óxido hidratado de hierro III.

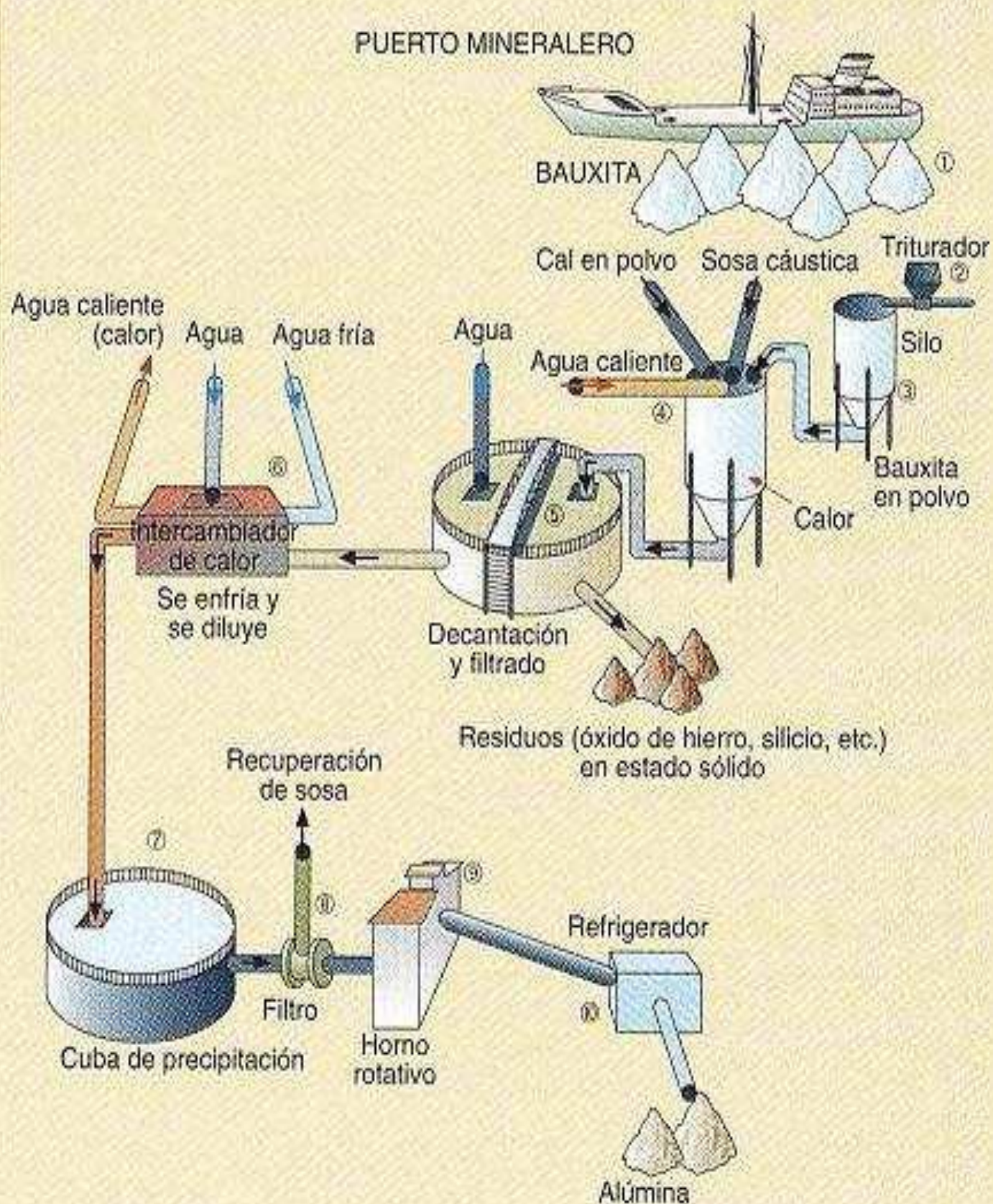
En resumen podemos decir, que el mineral del cual se obtiene o extrae del aluminio, prácticamente en exclusiva es la bauxita, la cual posee entorno a un 30% de aluminio. También puede extraerse de otros tipos de menas, como por ejemplo, los silicatos de aluminio, como la arcilla u otros, pero además de ser más bien pobres en contenido aluminico, su producción es bastante poco rentable hoy en día, por lo cual se utiliza, como ya habíamos dicho, la obtención de aluminio a través de la producción electrolítica.







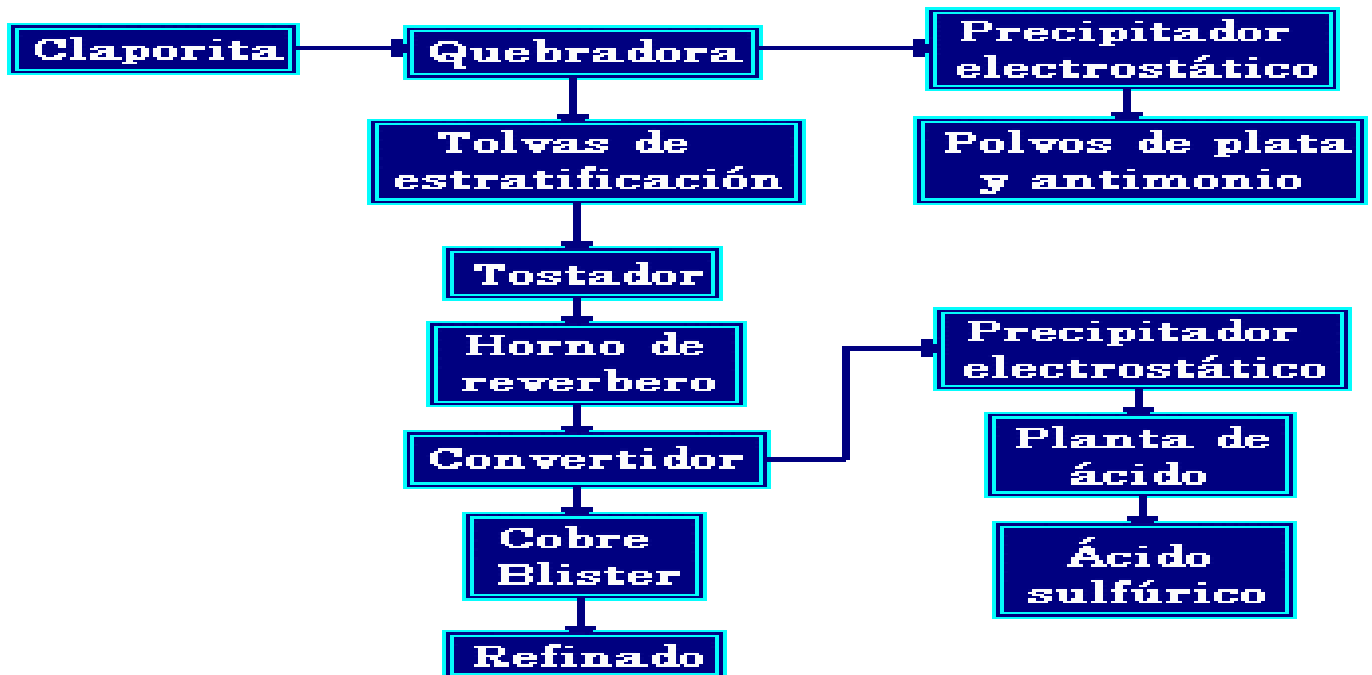
# Primera fase



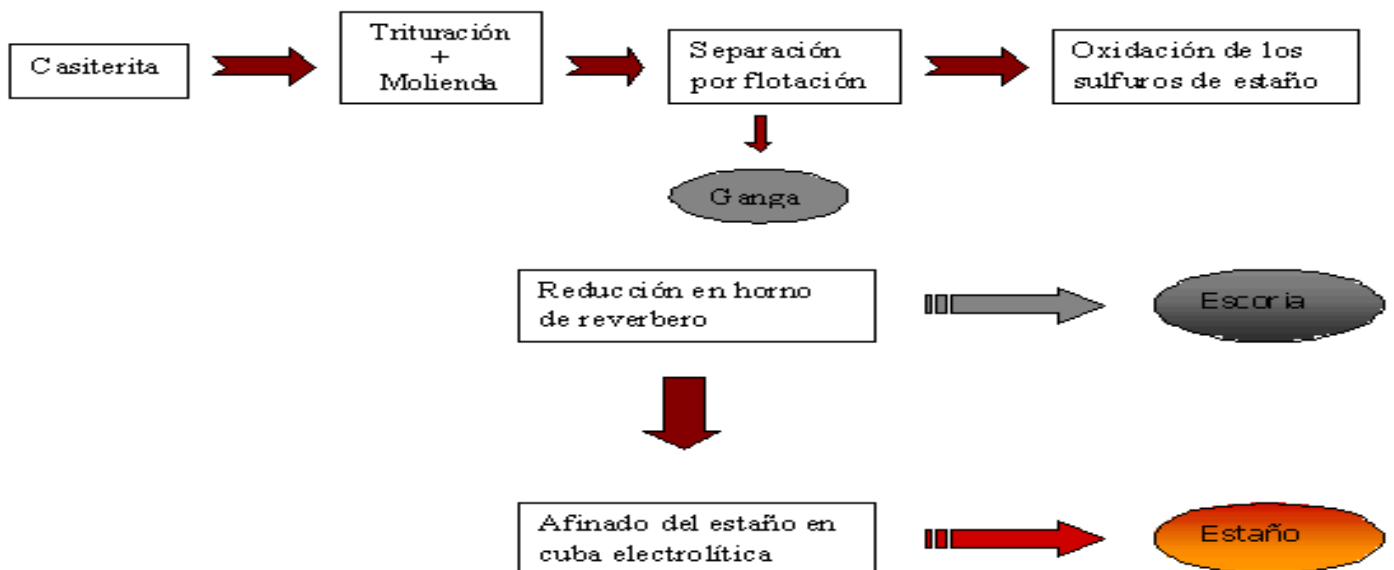
❖ **Tratamiento de los minerales oxidados:**

El método por vía seca se practica en horno de cuba ( water-jacket ), por reducción del mineral fundido en presencia de carbono ; la adición de fundente permite eliminar la ganga del mineral en forma de escoria. Existe un método por vía húmeda, poco empleado, análogo al utilizado para los minerales sulfurados.

Afinado del cobre bruto ( cobre blister ) : Este afinado tiene la doble ventaja de obtener cobre puro y recuperar impurezas de interés, tales como el oro , plata, bismuto, etc. El afinado por vía seca en horno de reverbero permite , al oxidar gran parte de las impurezas y obtener cobre que contiene pro lo menos un 99.5% de mineral puro.



Afinado electrolito : Permite obtener cobre de pureza superior al 99.5%. El cobre bruto colado en ánodos en forma de placas, es electrolizado en una solución de sulfato de cobre ácido. El cobre puro se deposita en los cátodos que posteriormente son refundidos para constituir lingotes.





### 1.3. Obtención de metales a partir de minerales halogenados

Los halógenos son un grupo de elementos que se encuentran ubicados en grupo 17 de la tabla periódica. El grupo se encuentra formado por los elementos flúor, cloro, bromo, yodo y astato. También son conocidos como formadores de sales. Los halógenos en estado natural se encuentran siempre como una molécula diatómica, que necesitan un electrón, por lo cual presentan una gran tendencia a combinarse y formar un ion negativo, conocido como haluro.



Los compuestos halogenados son compuestos ya sean sintéticos o naturales, que en su composición participa algún elemento halógeno. Si los halógenos se unen con elementos metálicos, forman sales halogenadas, como por ejemplo, los cloruros, yoduros, fluoruros, y bromuros. También se combinan con el hidrógeno formando ácidos, y con el oxígeno más un elemento metálico.

Los halógenos tienen la propiedad de poder formar, cuando se combinan con el sodio, sales parecidas a la sal común. Todos los elementos del grupo 17 poseen valencia -1, combinándose con metales, consiguiendo la formación de halogenuros (o haluros), y también con metales y no metales formando iones de tipo complejo.

Los primeros cuatro elementos del grupo de los halógenos, se combinan fácilmente con los hidrocarburos, dando los compuestos que se conocen como halogenuros de alquilo.

- ✓ **Haluros:** Son compuestos binarios formados por un halógeno y un elemento menos electronegativo. Dependiendo que halógeno sea, los haluros podrán ser fluoruro, cloruro, bromuro o yoduro. La clase de los minerales haluros es una de las diez en que se clasifican los minerales según el sistema de Clasificación de Strunz, asignándole el código 3 a este grupo. En esta clase 03 se incluyen los siguientes tipos: haluros o halogenuros simples o complejos, con H<sub>2</sub>O o sin ella, así como derivados oxihaluros, hidroxihaluros y haluros con doble enlace.
- ✓ **Fluoruros:** Son sales derivadas del ácido fluorhídrico (HF). Todos los fluoruros son compuestos sin color generalmente, siendo solubles en agua en el caso de estar formados por metales alcalinos, y poco solubles en el caso de encontrarse formados por elementos alcalinotérreos. Estos se encuentran presentes en minerales, como es el caso de la fluorita. Estos compuestos suelen utilizarse en la higiene buco dental, donde gracias a que el flúor cambia grupos hidróxido del esmalte de los dientes, hace que éstos sean más resistentes contra las caries. Los fluoruros suelen encontrarse presentes en pastas de dientes. En esta categoría se listan todos los minerales con anión fluoruro, tanto los pertenecientes a la "clase 03 de Strunz" por tenerlo como anión principal, como los de otras clases con otro anión principal y el fluoruro es adicional.

- ✓ **Cloruros:** Los cloruros son compuestos que en su composición tienen cloro en su estado de oxidación más bajo, es decir -1. En el caso de los cloruros orgánicos, el cloro se encuentra unido al carbono de manera directa, pudiendo ser sustituido el cloro fácilmente por otros elementos debido a la fuerte diferencia de electronegatividad entre los átomos que conforman el compuesto. Dichas sustituciones se conocen con el nombre de sustituciones nucleofílicas. En el caso de los cloruros inorgánicos, son compuestos que contienen un anión  $\text{Cl}^{-1}$  en su composición por lo cual se dice que proceden del ácido clorhídrico (HCl). En general suelen ser bastante solubles en agua, con algunas excepciones. El cloruro más famoso es sin duda la sal presente en el agua de mar, siendo los mares y océanos fuentes inagotables de cloruros.
- ✓ **Bromuros:** Son compuestos con presencia del átomo de bromo con estado de oxidación -1. Estas sales del ácido bromhídrico pueden formar compuestos de tipo iónico o covalente. Al igual que los cloruros, los bromuros los encontramos como sales formando parte del agua de mar, de ahí que los alimentos de origen marino contengan por lo general altas concentraciones de dichas sales. Es por ello que la concentración de bromuros en el cuerpo viene influenciada por una dieta más o menos rica en la ingesta de pescado. Los bromuros se utilizaron como sedante en siglos pasados, pero aún hoy en día los bromuros son útiles en la medicina, aunque más aún en la medicina veterinaria, pues son también bastante tóxicos y sus características en humanos hace que las dosis empleadas sean difíciles de ajustar, pudiendo provocar males mayores. En esta categoría se listan todos los minerales con anión bromuro, tanto los pertenecientes a la "clase 03 de Strunz" por tenerlo como anión principal, como los de otras clases con otro anión principal y el bromuro es adicional.
- ✓ **Yoduros:** Son compuestos binarios constituidos por el Yodo y otro elemento, el cual suele ser un metal. Son sales del ácido yodhídrico. En esta categoría se listan todos los minerales con anión yoduro, tanto los pertenecientes a la "clase 03 de Strunz" por tenerlo como anión principal, como los de otras clases con otro anión principal y el yoduro es adicional.

