

## HIDROMETALURGIA

### 1.- Extracción de metales por hidrometalurgia

En general los minerales que se extraen de la naturaleza no son puros, sino que están mezclados con materias estériles, que constituyen la ganga del mineral. Estas materias se encuentran en la naturaleza rodeando al mineral propiamente dicho (mena) y no se pueden separar al arrancar el mineral en condiciones económicas y ventajosas.

La extracción de metales por hidrometalurgia se lleva a cabo mediante operaciones por vía húmeda que se realiza a través de reacciones en fase acuosa y a bajas temperaturas.

### 2.- Secuencia del procesamiento de los minerales metálicos por hidrometalurgia

La secuencia del procesamiento de los minerales metálicos por hidrometalurgia incluye las siguientes etapas:

#### 2.1.- Preparación de los minerales.

Las principales operaciones de preparación de los minerales son:

- *Trituración y molienda*: tienen por objeto reducir el tamaño de los minerales, siendo más pequeño el tamaño de las partículas obtenidas tras la operación de molienda. La trituración se realiza con materiales secos, mientras que la molienda puede hacerse con materiales secos o húmedos.

- *Concentración*: tiene por objeto separar de un mineral la mayor parte de la ganga, de forma que el mineral quedará enriquecido o concentrado. La flotación es la operación más empleada para la concentración de las menas utilizadas en hidrometalurgia.

#### 2.2.- Extracción del metal.

La extracción del metal por hidrometalurgia se realiza mediante las siguientes operaciones, una a continuación de la otra:

2.2.1.- *Lixiviación*: operación en la que tiene lugar el ataque químico, en fase acuosa, del metal valioso contenido en la mena mineral. Puede ser ácida, básica o neutra dependiendo del carácter del reactivo químico utilizado, que a su vez es función de la ganga del mineral.

2.2.2.- *Purificación y/o concentración*: operación que se realiza sobre la disolución obtenida en la etapa anterior de lixiviación. El objetivo de esta operación es retirar determinadas impurezas de la

disolución antes de que ésta sea sometida a la etapa siguiente de precipitación. Se suele realizar mediante los siguientes métodos:

2.2.3.- *Métodos químicos de precipitación.*

2.2.4.- *Cementación* (reacción de desplazamiento similar a la metalotermia pero en fase acuosa).

2.2.5.- *Utilizando cualquiera de las reacciones de la química convencional que sirven para retirar un metal de una fase acuosa.*

2.2.6.- *Extracción con disolventes* (en el caso de disoluciones muy diluidas, se expresan como SX). Por lo general se realizan en piletas especiales donde a través de disoluciones se extraen los metales de interés en una fase orgánica ya separada del estéril que se retira contenido en una fase acuosa.

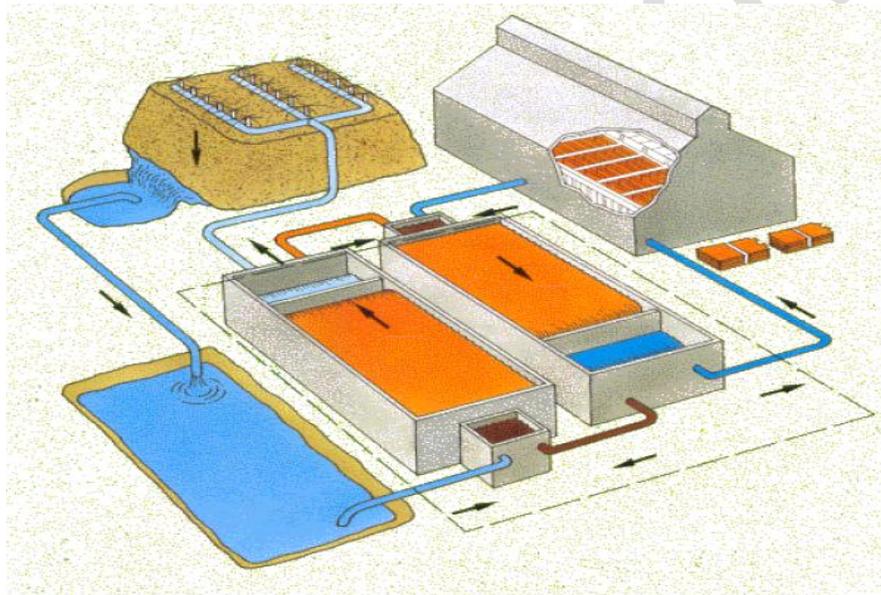


Figura 2.- Planta extracción por solventes (SX) en una operación de lixiviación



Foto 2.- Vista de una Pileta de Extracción por Solventes (SX)



Esquema 2.- Fases y reacciones químicas en la Pileta de Extracción por Solventes (SX)

2.2.7.- Separación con resinas de intercambio iónico (en el caso de disoluciones muy diluidas).

2.2.8. - *Precipitación*: el objetivo de esta operación es separar el metal valioso de la disolución, en forma elemental (casi siempre) o en forma oxidada (en raras ocasiones). Se suele realizar mediante los siguientes métodos:

- i) *Electrólisis* (como es el caso del cobre).
- ii) *Cementación* (como es el caso de las disoluciones cianuradas de oro).

2.2.9. - *Métodos convencionales de química*, como por ejemplo, la precipitación de metales con hidrógeno gaseoso a presión y temperaturas altas (como es el caso del níquel y el cobre).

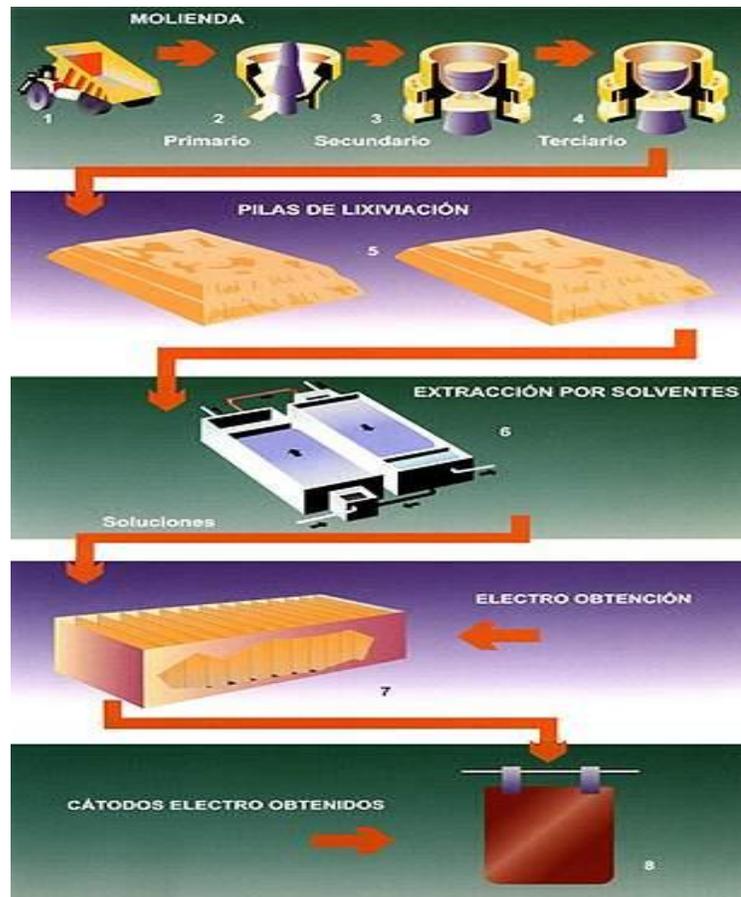


Figura 1.- Etapas del Proceso Hidrometalúrgico

### 3.- Ejemplos de procesamiento de minerales metálicos por hidrometalurgia

A continuación vamos a ver dos ejemplos de procesamiento de minerales metálicos por hidrometalurgia. El primer ejemplo corresponde al procesamiento del cobre y el segundo ejemplo corresponde al procesamiento del cinc.

#### 3.1- Procesamiento de cobre por hidrometalurgia

##### 3.1.1.-Materias primas

Las materias primas utilizadas en el procesamiento del cobre por hidrometalurgia son minerales oxidados. Los minerales oxidados de cobre se originan en la descomposición y oxidación de los minerales sulfurados. Los principales minerales oxidados son la malaquita ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ); la azurita ( $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ ); la crisocola ( $(\text{Cu},\text{Al})_4\text{H}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}\cdot n\text{H}_2\text{O}$ ); la cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) y la brochantita ( $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$ ).

### 3.1.2.- Preparación de los minerales

Los minerales oxidados una vez extraídos se someten a operaciones de trituración y molienda para reducir el tamaño de partícula.

### 3.1.3.- Extracción del cobre

El proceso hidrometalúrgico de extracción del cobre a partir de minerales oxidados se realiza mediante tres etapas consecutivas:

i) *Lixiviación*: tiene por objetivo la obtención del cobre de los minerales oxidados que lo contienen, aplicando una disolución de ácido sulfúrico y agua. Este proceso se basa en que los minerales oxidados son sensibles al ataque de disoluciones ácidas. Se realiza mediante la lixiviación en pilas (heap leaching), consistente en el apilamiento de grandes cantidades de minerales que se riegan con disoluciones diluidas de ácido sulfúrico formando una disolución de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ). Estas pilas se realizan encima de superficies previamente impermeabilizadas y preparadas para recoger todo el líquido procedente de la lixiviación, que contienen óxidos de cobre así como sulfuros. Este proceso se alarga durante meses o incluso años hasta que se agota el cobre de la pila de material. De la lixiviación se obtienen disoluciones de sulfato de cobre con concentraciones de hasta 9 g/l de cobre.

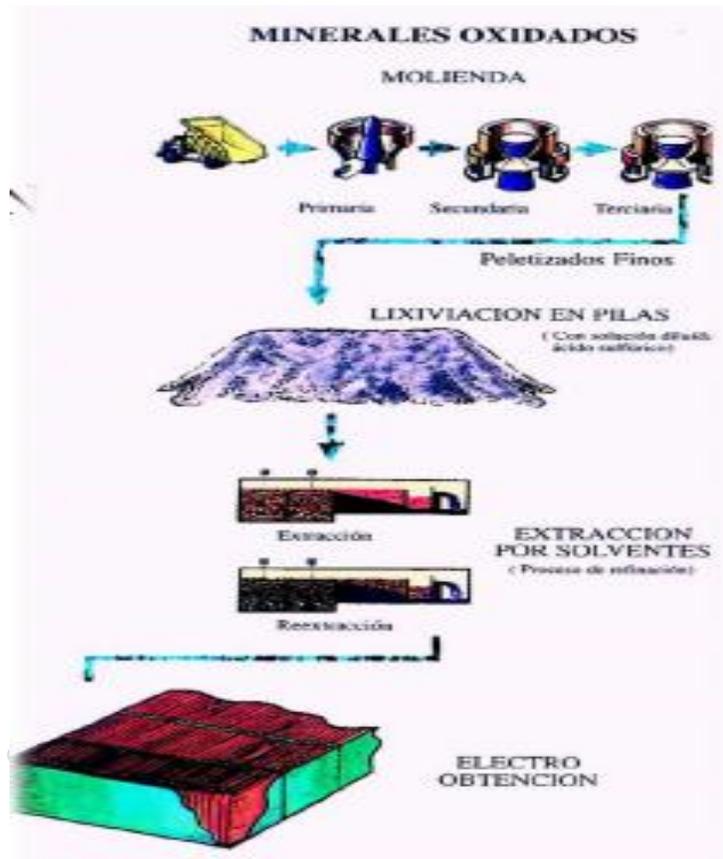


Foto 1.- Vista de la Pila de Lixiviación

ii) *Purificación/Concentración*: las disoluciones obtenidas en la etapa anterior de lixiviación no contienen suficiente cobre, por lo que se extrae este cobre con disolventes orgánicos para separarlo de otras impurezas. A posteriori se extrae una disolución concentrada de cobre de estos disolventes. Mediante la extracción con disolventes se obtienen disoluciones de sulfato de cobre con concentraciones de hasta 45 g/l de cobre.

iii) *Electrólisis - Electrodeposición*: la disolución resultante en la etapa anterior de purificación/concentración se electroliza en grandes plantas con cátodos de acero inoxidable y ánodos inertes de plomo - antimonio.

Finalizada la electrólisis se extrae cobre sólido del 99,99% de pureza. Esta última electrólisis tiene elevado coste energético.



Esquema 1.- Proceso de extracción del Cu por vía hidrometalúrgica

### 3.2.- Procesamiento de cinc por hidrometalurgia

#### 3.2.1.- Materias primas

Las materias primas utilizadas en el procesamiento del cinc por hidrometalurgia son:

- *Minerales sulfurados*: frecuentemente son mezclas de sulfuros de cinc y hierro, combinados con compuestos de otros diferentes elementos. *El mineral más importante es la esfalerita o blenda (ZnS).*

- *Minerales oxidados*:

- Smithsonita (esmitsonita): carbonato de cinc ( $ZnCO_3$ ).

- Hemimorfita (calamina): silicato de cinc ( $4\text{ZnO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).
- Cincita: óxido de cinc ( $\text{ZnO}$ ).
- Franklinita: óxido mixto de hierro y cinc ( $\text{ZnO}\cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Las menas más comúnmente utilizadas como fuente de cinc son la esmitsonita y la esfalerita o blenda.

### 3.2.2.- Preparación de los minerales

Las menas de cinc, principalmente la blenda, se someten a una serie de etapas de preparación de los minerales:

- Trituración y molienda*: tiene como objetivo la reducción del tamaño de partícula del mineral.
- Concentración*: tiene como objetivo la concentración del mineral en el caso de menas mixtas. La concentración de menas se realiza mediante la técnica de flotación, obteniéndose el concentrado de cinc.

### 3.2.3.- Extracción del cinc

El proceso hidrometalúrgico de extracción del cinc a partir de los minerales se realiza mediante las siguientes etapas consecutivas:

- Tostación*: los minerales sulfurados, como es el caso de la blenda, se someten a una tostación oxidante de modo que el contenido metálico de la mena pueda ser recuperado fácilmente. Esta conversión del sulfuro de cinc ( $\text{ZnS}$ ) en óxido de cinc ( $\text{ZnO}$ ) se exige puesto que el sulfuro no se ataca con facilidad por ácidos o bases. Si el contenido de hierro es alto en la blenda, la formación de ferrita de cinc,  $\text{ZnO}\cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , es inmediata y completa.
- Lixiviación*: tiene por objetivo disolver el tostado de la blenda, el óxido de cinc,  $\text{ZnO(s)}$  (calcina), en una disolución diluida de ácido sulfúrico (100-150 g/l), formando una disolución de sulfato de cinc ( $\text{ZnSO}_4$ ); esta concentración de ácido sólo permite disolver el  $\text{ZnO}$ , quedando las ferritas formadas en la tostación,  $\text{ZnO}\cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , intactas. Para mejorar la recuperación del cinc y evitar así pérdidas de metal se efectúa la lixiviación ácida en caliente (90-95°C) durante 2-4 horas. Bajo estas condiciones no solo se disuelve el cinc sino también el hierro asociado a la ferrita de cinc (franklinita), obteniéndose una disolución rica en cinc que contiene entre 15-30 g/l, de hierro (principalmente en forma férrica) que debe ser eliminado de la misma.
- Neutralización y precipitación de hierro*: tiene por objetivo precipitar el hierro, con el que coprecipitan impurezas como el As, Sb y Ge. También se coprecipitan sílice coloidal e hidróxido de aluminio.

La precipitación de  $\text{Fe}^{+3}$  se efectúa como jarosita,  $\text{M}_2\text{Fe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}$  (donde  $\text{M} = \text{Pb}, \text{Na}, \text{K}, \text{NH}_4$ ) o como goetita,  $\text{FeOOH}$ .

iv) *Purificación*: tiene por objetivo eliminar algunos elementos presentes en la disolución obtenida en la etapa anterior, los cuales están en forma de sulfato metálico en la disolución. Dicha eliminación se realiza con la adición de cinc en polvo. Por medio de esta adición precipitan metales como Cu, Co, Cd, Ni, As, Sb y Ge. Esto es posible debido a la cementación de los mencionados metales por el cinc, que es menos noble que ellos.

v) *Electrólisis*: una vez purificada la disolución, ésta se pasa a la instalación de electrólisis para la recuperación metálica. La disolución resultante se electroliza en grandes plantas con cátodos de aluminio y ánodos inertes de plomo plata. Finalizada la electrólisis se extrae cinc sólido del 99,99% de pureza. Esta última electrólisis tiene elevado coste energético.

#### **4.- Comparación del procesamiento por hidrometalurgia de cobre y cinc**

Respecto a los minerales metálicos, para la obtención del cobre por hidrometalurgia se parte de minerales oxidados, mientras que en el caso del cinc se parte tanto de minerales sulfurados como de minerales oxidados.

Respecto a la preparación de los minerales, en los dos casos se realiza una primera etapa de trituración y molienda para la reducción del tamaño de partícula. En el caso del procesamiento del cinc se necesita una etapa posterior de concentración de la mena por flotación.

Respecto a la extracción del metal, en el caso del procesamiento del cobre se realiza mediante las siguientes etapas en serie: 1) lixiviación, 2) purificación/concentración mediante extracción con disolventes orgánicos y 3) electrólisis-electrodeposición. En el caso del procesamiento del cinc la extracción del metal se realiza mediante las mismas etapas, salvo dos consideraciones:

La primera consideración es que en el caso de menas sulfuradas de cinc hay que realizar una tostación antes del proceso de lixiviación, para que de esa forma todo el sulfuro de cinc pase a óxido de cinc.

La segunda consideración es que la etapa de purificación/concentración en el caso del cinc se realiza en dos fases: primero se realiza una neutralización y precipitación del hierro y después se realiza una purificación mediante cementación para eliminar el resto de metales presentes en la disolución como impurezas.