

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



ESCUELA NACIONAL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES



PLANTELES

AZCAPOTZALCO



ORIENTE



SEGUNDA UNIDAD DEL CURSO DE QUÍMICA III. INDUSTRIA MINERO-METALÚRGICA

PROCESOS DE OBTENCIÓN DE METALES

I.Q.M. JOSÉ FRANCISCO CORTÉS RUÍZ VELASCO

[francisco.cortes.ruiz.velasco@gmail.com](mailto:francisco.cortes.ruiz.velasco@gmail.com)

twitter: @caleidoscopio5

I.Q.M. ANGÉLICA NOHELIA GUILLÉN MÉNDEZ

[anguillen5@yahoo.com.mx](mailto:anguillen5@yahoo.com.mx)

2010

## PRESENTACIÓN

La asignatura Química III, tiene como objetivo generar en tí la cultura Química básica que, por un lado capte tu interés en problemas reales y cercanos a tu entorno tanto económico, político, social, etc., además de que comprendas que el comportamiento químico de la materia ha permitido al hombre aislar y sintetizar materiales que han mejorado su calidad de vida.

En éste sentido la presente recopilación de información aborda el estudio de los procesos industriales de obtención de un metal a partir de los concentrados de mena, los cuales se estudian en la segunda unidad del programa de Química III, es por ello que como estrategia de aprendizaje se propone el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), incluyendo resolución de cuestionarios (webquestion o Hot Potatoes) y su discusión mediante seminarios presenciales y a distancia (foros) que se enfocan a reafirmar los conceptos estudiados en la unidad, así como, actividades experimentales, todo esto en su conjunto potencian habilidades y actitudes propias en tu formación personal y académica.

Al final del capítulo se incluye un glosario de términos, además encontraras enlaces web que te llevarán a páginas relacionadas con la temática planteada o bien a sitios de interés académico.

Los autores te invitamos a que disfrutes de la Química como algo divertido y de aplicación práctica, no dudes en escribirnos un mail para cualquier duda o sugerencia.

I.Q.M. JOSÉ FRANCISCO CORTÉS RUÍZ VELASCO

[francisco.cortes.ruiz.velasco@gmail.com](mailto:francisco.cortes.ruiz.velasco@gmail.com)

I.Q.M. ANGÉLICA NOHELIA GUILLÉN MÉNDEZ

[anguillen5@yahoo.com.mx](mailto:anguillen5@yahoo.com.mx)



## PROCESOS DE OBTENCIÓN DE METALES<sup>i</sup>

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.

[foto1 producción de cobre en la antigüedad](#)

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.

### PIROMETALÚRGIA

#### SECADO Y CALCINACIÓN

El secado es un proceso mediante el cual se elimina el agua contenida en sustancias como menas o coque, por evaporación.

Por el contrario, durante la calcinación se eliminan, agua, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases, los cuales se encuentran enlazados químicamente en la forma de, por ejemplo, hidratos y carbonatos.

En una mena común de hierro carbonatada, los carbonatos que suele contener se descomponen de la siguiente manera en presencia de oxígeno:

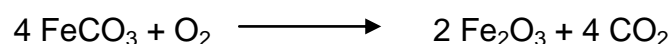
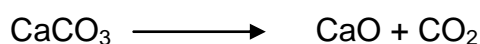




foto 2 horno de calcinación

Para menas carbonatadas de manganeso y de calcio se tienen las reacciones de descomposición siguientes:



La calcinación al igual que el secado son procesos endotérmicos, por lo cual debe suministrarse calor a una temperatura relativamente elevada, dependiendo de la mena que se este procesando.

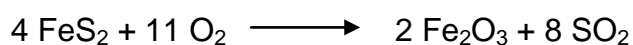
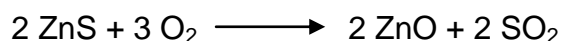
Después de efectuada la calcinación se obtienen generalmente óxidos metálicos y la mena se encuentra lista para su posterior reducción.

En los hornos de calcinación se distinguen tres zonas:

- a) Zona de precalentamiento: en ésta zona la carga sólida se precalienta a contracorriente con los gases calientes del horno.
- b) Zona de reacción: en ésta zona tiene lugar la descomposición de los hidratos o carbonatos.
- c) Zona de enfriamiento: en ésta zona los productos de calcinación se enfrían con aire a contra corriente.

## TOSTACIÓN DE SULFUROS

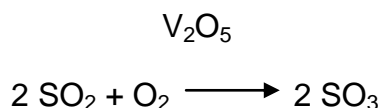
La tostación es la oxidación de sulfuros metálicos para producir óxidos metálicos y dióxido de azufre, ejemplos típicos son:



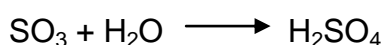
Las menas de cobre, zinc y plomo típicamente se tuestan con el principal propósito de convertir a estas menas en óxidos para su posterior tratamiento de

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:

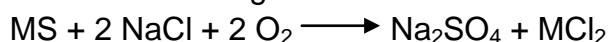


En muchos países industrializados se producen millones de toneladas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  cada año. Éste ácido se utiliza en la manufactura de fertilizantes, papel, detergentes, tintes, plásticos, pinturas y en la industria del hierro, del acero y la del petróleo.

Otro tipo de tostación es la tostación clorurante la cual se describe a continuación.

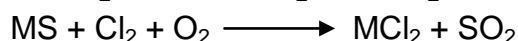
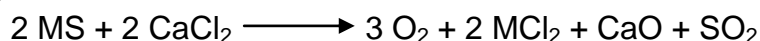
El propósito de la tostación clorurante es convertir las menas no ferrosas en compuestos de dos tipos:

- 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:

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

- 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.

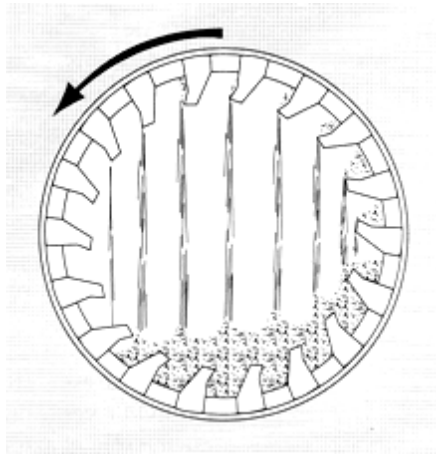


foto 3 horno rotatorio

- 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 desciende aquélla, y pasa a través de cada uno de los pisos sucesivos.

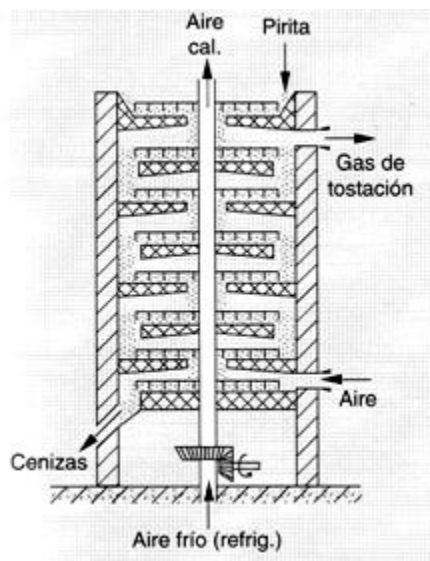


foto 4 horno vertical

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

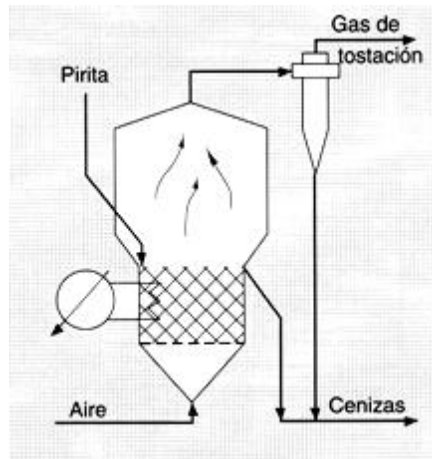


foto 5 horno de lecho fluidizado

## AGLOMERACIÓN

Por aglomeración se entienden los procesos en los que los materiales de granulometría fina, por ejemplo, concentrados de mena, son transformados en terrones más gruesos. La aglomeración se utiliza particularmente si la mena va a ser fundida dentro de un horno de cuba, en el cual el material fino obstruiría el paso del gas. La aglomeración puede ser cualquiera de los siguientes tipos:

Briquetado: es la compactación a temperatura ambiente, de mineral con un aglutinante inorgánico normalmente cal, cemento, arcilla o sales metálicas; o puede ser orgánico; petróleo, alquitrán o brea. Luego se somete a un calentamiento en un horno de sinterizar a fin de unir las partículas que están en contacto, dejando todavía gran porosidad al aglomerado formado.



foto 6 briquets

Sinterización: Es la aglomeración de partículas finas y sueltas en una masa compacta y porosa mediante fusión originada por el calor producido por combustión dentro de la misma mena.

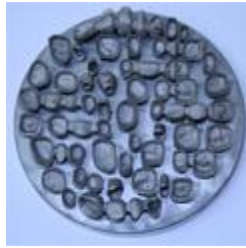


foto 7 metal sinterizado

Pelletización: Se realiza en dos etapas, primero se forman aglomerados esféricos con la mena húmeda de 10 a 20 mm por desmenuzamiento y adición de agua en un tambor giratorio y posteriormente se endurecen esos aglomerados por el subsecuente tratamiento térmico en un horno de cuba.



foto 8 pellets

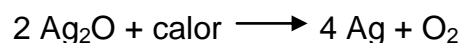
Nodulización: El mineral se transforma en nódulos en un horno giratorio por el balanceo de la carga caliente a una temperatura próxima a la de fusión.

## REDUCCIÓN DE LOS ÓXIDOS METÁLICOS

Un numeroso grupo de metales se producen a partir de óxidos, este es por ejemplo el caso del hierro Fe, cromo Cr, manganeso Mn, estaño, etc. En otros casos, por ejemplo para el plomo Pb y el zinc Zn, las menas de sus sulfuros se tuestan primero para producir óxidos, como ya vimos; posteriormente estos óxidos se reducen para producir metal.

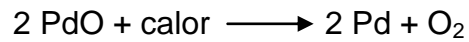
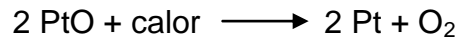
Existen diversos métodos de reducción, entre los cuales se encuentran:

1. Reducción por descomposición térmica: Sólo los óxidos de los metales más nobles pueden convertirse en metal mediante una simple descomposición térmica. Tal es el caso del óxido de plata, el cual, a temperaturas mayores a 200 C y en atmósferas inertes, se descompone mediante la siguiente reacción:





Igualmente el PtO se descompone alrededor de 500 C y el PdO por arriba de casi 900 C mediante las reacciones respectivas siguientes:



2. Reducción por medio de un agente reductor: Todos los demás óxidos metálicos se descomponen por medio de un agente reductor, éste puede ser carbono, monóxido de carbono, hidrógeno y en casos especiales, otro metal que tenga mayor afinidad por el oxígeno, por ejemplo se puede reducir el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  con Al. El carbono, el monóxido de carbono y el hidrógeno son los agentes reductores de mayor importancia industrial y económica y pueden ser producidos a partir de materias primas como el carbón, petróleo o el gas natural.



foto 9 Alto Horno

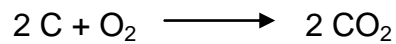
Por la importancia que tiene el hierro en la actividad industrial nos enfocaremos al estudio del proceso de reducción de éste metal.

El proceso más importante para la producción del hierro a partir de su óxido más estable es la fusión en el alto horno, el cual consiste en una cuba entre 20 y 30 m de alto, construida de lámina de acero por fuera y recubierta por dentro con ladrillo refractarios con el objeto de no radiar calor.

El horno se carga con mena de hierro  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en forma de pellets, coque (el agente reductor) y fundentes, los cuales tienen por objeto producir una escoria de composición adecuada, por lo general es cal o piedra caliza.

Por el fondo del horno se introduce un soplo de aire caliente a través de las toberas. Los gases del horno se extraen por la parte superior y el arrabio (metal caliente) y la escoria fundida se localizan en el fondo del horno en un crisol. El cono invertido que se encuentra entre el cuerpo del horno y el crisol se llama atalaje. Como se muestra en la foto 10.

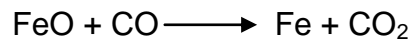
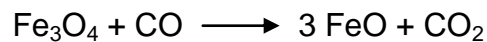
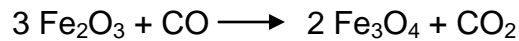
Al nivel de las toberas el aire reacciona con el coque dando la reacción global:



Ésta reacción representa la principal fuente de calor y de gas reductor. En la parte superior del cuerpo del horno, la mena se reduce por medio de las siguientes etapas:



foto 10 zonas de reacción en un alto horno



Las principales reacciones tienen lugar en el intervalo de 700 a 1200 C

Un método alternativo que utilizan los países donde la energía eléctrica es barata es la reducción de mena de hierro mediante electricidad. El tipo de horno utilizado se muestra en la foto 11.

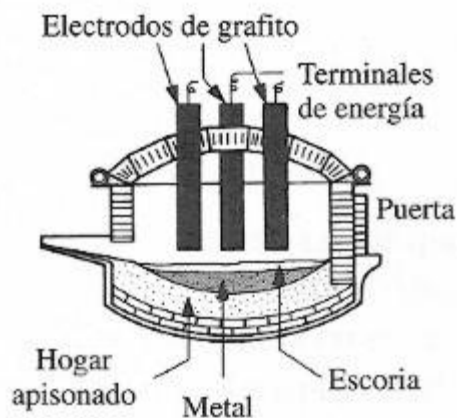


foto 11 Esquema de un Horno de arco eléctrico

La diferencia principal con respecto al alto horno consiste en que la electricidad suministra el calor en lugar de la combustión de coque en las toberas. No obstante, la reducción química de la mena de hierro se realiza también con coque. Debido a que no se introduce aire, el volumen de gases es

mucho menor que en el alto horno y se encuentra limitado a los que se producen por la reducción directa, de acuerdo a la siguiente reacción:

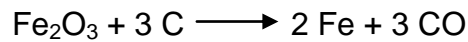


foto 12 Horno de arco eléctrico

## REFINACIÓN

Los metales que se obtienen de los procesos primarios de extracción contienen frecuentemente impurezas provenientes de la mena, los fundentes o el combustible. Para poder utilizar dichos metales es necesario someterlos a uno o varios procesos de refinación. La refinación tiene como fin producir el metal tan puro como sea posible, o en algunos casos, por ejemplo, en la fabricación de acero la refinación se hace para producir un producto con cantidades controladas de impurezas. Finalmente, algunos procesos de refinación se realizan para recuperar impurezas que no son perjudiciales, sino que tienen un alto valor por sí mismas, como por ejemplo, la recuperación de plata en menas de plomo. Los procesos de refinación se basan siempre en el principio de que diferentes elementos se distribuyen de manera distinta entre distintas fases y que estas fases pueden separarse por métodos físicos.

Es importante mencionar que los procesos de refinación de metales no son otra cosa más que procesos de separación de mezclas. Existen muchos procesos de refinación, los cuales involucran conceptos fisicoquímicos muy complejos. De manera general, los procesos se pueden dividir en tres grupos principales:

1. Metal-escoria: aquí el proceso importante es la oxidación y eliminación en la escoria de los elementos menos nobles y puede dársele el nombre común de pirorefinación, ejemplos de éste proceso son la fabricación de acero y la pirorefinación de cobre y plomo.
2. Metal-metal: en éste proceso se encuentra la licuación y la refinación por zonas la cual se utiliza en la elaboración de metales de la más alta pureza.

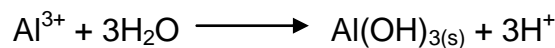
3. Metal-gas: Un proceso metal-gas importante es la destilación de metales volátiles, como el zinc.

## HIDROMETALÚRGIA

Se conoce con el nombre de hidrometalurgia aquellos procesos utilizados para el aislamiento y recuperación de metales por medio de disoluciones acuosas, abarcan una amplia variedad de procesos que van desde la lixiviación de menas de sulfuros tostados pasando por la purificación de disoluciones, hasta la recuperación de metales o sus compuestos mediante precipitación química o electroquímica.

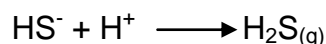
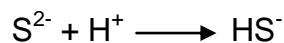
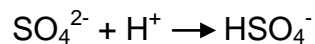
Los procesos hidrometalúrgicos se basan en reacciones iónicas en medio acuoso y se pueden clasificar de la manera siguiente:

1. Reacciones debidas a cambios de pH (hidrólisis), por hidrólisis se entienden las reacciones en las cuales interviene el agua o sus iones, por ejemplo:

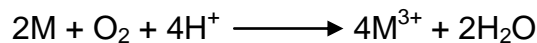


Al aumentar el pH, el catión aluminio reacciona primero precipitando el hidróxido el cual se va de nuevo a la disolución como un anión. Así, el aluminio puede encontrarse en disolución como un catión o como un anión.

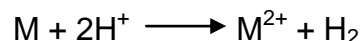
Igualmente, al disminuir el pH ciertos aniones pueden sufrir reacciones, por ejemplo:



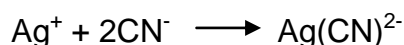
2. Reacciones de oxido-reducción (redox): En presencia de oxígeno, muchos metales pueden ponerse en disolución acuosa, por ejemplo:

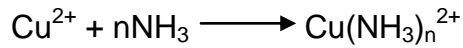


En disoluciones ácidas, algunos metales pueden disolverse con liberación de hidrógeno:



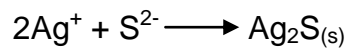
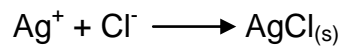
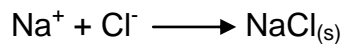
3. Formación de complejos: Distintos iones pueden reaccionar entre sí o con moléculas neutras dando iones complejos, ejemplos comunes son:





En el primer caso, el ión plata cambia de carga positiva a negativa. Así, mientras que la plata en una disolución de nitratos se encuentra presente como catión, la adición de NaCN o KCN la transforma en un anión complejo. De igual manera el ión  $\text{Cu}^{2+}$  puede formar complejos amoniacales, aminoras en donde el número "n" aumenta al incrementarse la concentración de amoníaco en la disolución, pero sin que afecte la carga del ion.

4. Precipitación de compuestos sólidos: De la misma manera en que los hidróxidos sólidos pueden precipitarse por hidrólisis, otros iones pueden reaccionar formando precipitados sólidos, por ejemplo:



## LIXIVIACIÓN



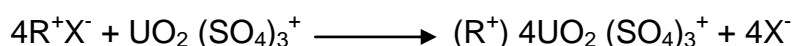
foto 13 planta de lixiviación

Se entiende por lixiviación la disolución de los metales solubles de una mena con ayuda de disolventes apropiados.

Los reactores utilizados para la lixiviación dependen de la naturaleza de la mena, de su ley y del tamaño de partícula. Para mena gruesa y de tamaño medio se utilizan reactores de cama fija como montículos o pilas y el licor de lixiviación se filtra a través de la cama. Para mena finamente molida se utiliza lixiviación por agitación, en donde la mena se mantiene en suspensión en el licor. La agitación puede efectuarse por medio de aire (tanques pachuca) en cuyo caso el reactor se parece a una cama fluidizada o puede utilizarse la agitación mecánica. La lixiviación por arriba de la presión atmosférica se efectúa en autoclaves, equipadas con agitación mecánica.

## INTERCAMBIO IÓNICO

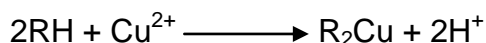
Los intercambiadores de iones son sólidos en los cuales existen diversos iones débilmente enlazados. Los primeros intercambiadores de iones conocidos fueron minerales naturales, las Zeolitas, más tarde éstas se complementaron con resinas orgánicas las cuales se utilizan más en la actualidad. Cuando éstas resinas se sumergen en disoluciones acuosas puede haber intercambio entre los iones que se encuentran en la disolución y los iones de la resina. Existen resinas catiónicas y aniónicas. Un ejemplo característico es:



En donde  $R^+$  denota el catión de la resina y  $X^-$  el anión que puede ser  $Cl^-$  o  $NO_3^-$ . Como el uranio es uno de los pocos metales que pueden formar aniones en disoluciones de ácido sulfúrico, el intercambio es muy selectivo, quedando retenidos en la fase acuosa en forma de cationes, los metales como el Ca, Fe, etc.

## EXTRACCIÓN CON DISOLVENTES

Algunos iones y compuestos metálicos muestran una elevada solubilidad en ciertos disolventes orgánicos. Puede ser también que la solubilidad sea altamente selectiva y hace posible una posible separación de los metales. Por ejemplo para la extracción de cobre se utilizan disolventes catiónicos y la reacción de intercambio puede escribirse en estos casos como:



Aquí R representa la parte aniónica de la molécula orgánica y  $Cu^{2+}$  y  $H^+$  representan iones en la fase acuosa. El compuesto  $R_2Cu$  se denomina quelato. Durante el proceso de extracción, éste compuesto orgánico se disuelve normalmente en un disolvente adecuado tal como el queroseno. Además de ser altamente selectiva para distintos metales, la extracción con disolventes tiene la ventaja que un metal como el cobre puede ser transferido desde una disolución de lixiviación amoniacal a una disolución de ácido sulfúrico, la cual es la materia prima en la obtención del metal por la electrodeposición, proceso que se verá a continuación.

## ELECTROMETALURGIA

La extracción o beneficio electrolítico es importante en el caso de los metales ligeros altamente activos, aluminio, magnesio, etc., los cuales se producen casi exclusivamente por electrólisis de sales fundidas. En el caso de otros metales como el cobre y el zinc, el beneficio electrolítico a partir de disoluciones acuosas representa una alternativa a los procesos

pirometalúrgicos. Otras aplicaciones importantes son la recuperación de impurezas valiosas como la plata y el oro contenidas en el cobre.

En metalurgia extractiva las celdas electrolíticas pueden clasificarse en dos grupos principales:

- a) Celdas de producción (electrobeneficio)
- b) Celdas de refinación (electrorefinado)

### ELECTROBENEFICIO

Cuando dos electrodos se conectan a una fuente de voltaje y se sumergen en una disolución que contiene iones, los iones positivos emigran al electrodo que tiene el exceso de electrones (cátodo), los iones negativos emigran hacia el electrodo deficiente de electrones (ánodo), como se muestra en la foto

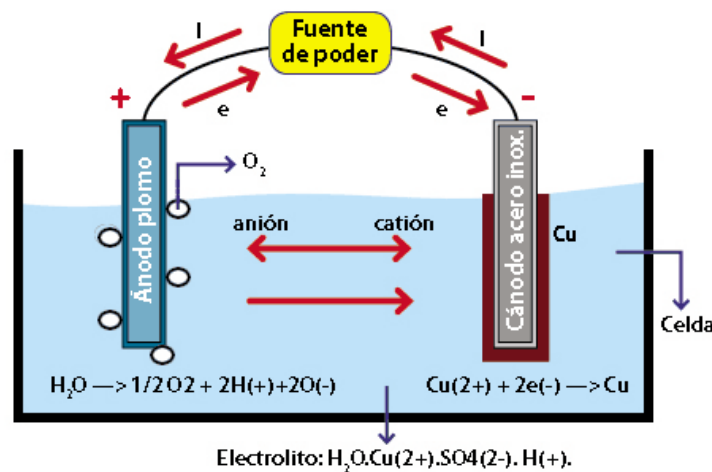
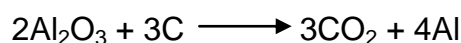


foto 14 electrobeneficio de cobre

Si la diferencia de potencial entre los electrodos es lo suficientemente grande, algunas especies perderán electrones en el ánodo y se oxidarán; al mismo tiempo, otras especies ganarán electrones en el cátodo y se reducirán. Se ha llevado a cabo una reacción REDOX mediante el suministro de energía por una fuente externa.

Por ejemplo para la producción de aluminio mediante el procedimiento denominado Hall-Heroult, el electrolito utilizado es criolita fundida,  $Na_3AlF_6$ , con una cantidad de  $Al_2O_3$ . Durante la electrólisis, el aluminio se deposita en el cátodo y el oxígeno se descarga en el ánodo en donde reacciona con el carbono del electrodo para dar esencialmente  $CO_2$ , las reacciones que intervienen en éste proceso de manera general son:

Criolita





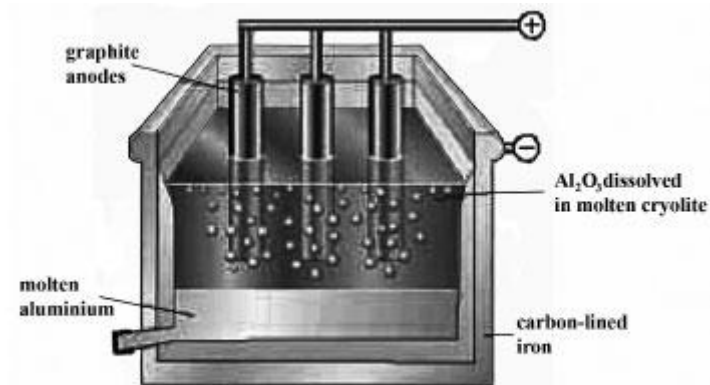
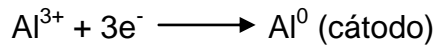
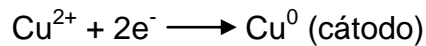
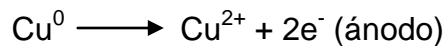


Figure 1. Hall-Heroult cell for aluminium production.

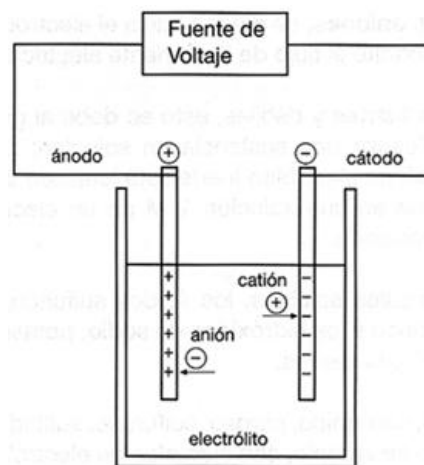
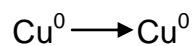
foto 15 electrobeneficio de Al proceso Hall-Heroult

## ELECTROREFINADO

Con frecuencia, un metal se transfiere desde un ánodo impuro o desde una aleación o compuesto hacia un cátodo hecho de un metal puro. Por ejemplo en la refinación del cobre, dos electrodos de cobre se encuentran sumergidos en una disolución de  $\text{CuSO}_4$ . Las siguientes reacciones tienen lugar en los electrodos:



Si se suman las reacciones catódica y anódica se obtiene la reacción total:



Celda electrolítica.

foto 16 Migración ionica en una celda electrolitica



Es decir, el proceso de electrorefinación del cobre consiste en la transferencia de una mol de cobre desde el ánodo impuro hasta el cátodo. La foto representa una celda electrolítica de electrorefinación de cobre, el electrodo 1 es el ánodo y el electrodo 2 es el cátodo.



foto 17 cátodos de Cu refinados en una celda electrolítica

---

<sup>i</sup> Foto 1 tomado de [http://1.bp.blogspot.com/\\_OmDGN17bXfg/SemLurFH-PI/AAAAAAAAAJw/VTYRc9WErjs/s320/edad\\_de\\_bronce%5B1%5D.jpg](http://1.bp.blogspot.com/_OmDGN17bXfg/SemLurFH-PI/AAAAAAAAAJw/VTYRc9WErjs/s320/edad_de_bronce%5B1%5D.jpg)

Foto 2 tomado de <http://www.coboce.com/web/documentos/fotosirpa/PPCemento/calcinacion.jpg>

Foto 6 tomado de <http://www.bar-b-que.com/images/upload/items/826685-LavaRock.jpg>

Foto 7 tomado de <http://www.protesis-sa.com/img/productos/sinterizado.jpg>

Foto 9 tomado de

[http://www.infoacero.cl/catalogo/images\\_csh/100\\_Instalaciones/103\\_Altos\\_Hornos/103\\_016.jpg](http://www.infoacero.cl/catalogo/images_csh/100_Instalaciones/103_Altos_Hornos/103_016.jpg)

Foto 10 tomado de

[http://www.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/Mod\\_4\\_contenidos\\_estudiantes\\_ciencias\\_quimica/Dibujo%2019.jpg](http://www.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/Mod_4_contenidos_estudiantes_ciencias_quimica/Dibujo%2019.jpg)

Foto 11 tomado de <http://www.sapiensman.com/ESDictionary/docs/images/hornos%20electricos1.jpg>

Foto 12 tomado de <http://www.ghihornos.com/imagenes/Horno-Arco-Olarra.plano-gra.jpg>

Foto 13 tomado de <http://www.mch.cl/revistas/imagenes/pag93.jpg>

Foto 14 tomado de <https://www.codelcoeduca.cl/images/proceso-productivo/electroobtencion/f-equipos.gif>

Foto 15 tomado de <http://www.scielo.br/img/revistas/jbchs/v20n3/a02fig01.jpg>

Foto 16 tomado de

[http://www.pps.k12.or.us/district/depts/edmedia/videoteca/curso3/htmlb/GRA\\_532.GIF](http://www.pps.k12.or.us/district/depts/edmedia/videoteca/curso3/htmlb/GRA_532.GIF)

Foto 17 tomado de

[http://2.bp.blogspot.com/\\_mYM54aZs0Cg/Rx4vJ2KG39I/AAAAAAAAACI/pVhHw412toM/s1600-h/Imagen3.gif](http://2.bp.blogspot.com/_mYM54aZs0Cg/Rx4vJ2KG39I/AAAAAAAAACI/pVhHw412toM/s1600-h/Imagen3.gif)