

TEMA 10

METALURGIA EXTRACTIVA



M^a PILAR RUIZ OJEDA y BORJA MUÑOZ LEOZ

Bibliografía

Libros de Teoría y Problemas

- Chang R. Química. McGraw Hill. México, 2010 (Cap. 20).
- Petrucci R. H., Harwood W.S. Química General. Prentice Hall. Madrid, 2011 (Cap. 23).
- Reboiras M.D. Química. La Ciencia Básica. Thomson. Madrid, 2005 (Cap. 23).
- Caselles M.J., Gómez M.R. Química Aplicada a la Ingeniería. UNED. Madrid, 2007.

Libros de Problemas Resueltos

- Fernández M.R., Fidalgo J.A. 1000 Problemas de Química General. Everest. León, 1996.
- Reboiras M.D. Problemas Resueltos de Química. La Ciencia Básica. Thomson. Madrid, 2007.

Webs de Interés

Vídeo sobre la metalurgia del aluminio (8 minutos):

<http://www.youtube.com/watch?v=IC2lBix3PeE>

Vídeo sobre la fabricación de latas de aluminio (4:50 min):

<http://www.youtube.com/watch?v=cYIG-fWpADo&feature=related>

Cómo se hacen ollas de aluminio (4:47min)

<http://www.youtube.com/watch?v=SeL3hD7WxUE&feature=related>

Contenidos:

1. Introducción.
2. Los metales en la naturaleza.
3. Procesos metalúrgicos.
 - 3.1. La extracción del mineral.
 - 3.2. Preparación de la mena.
 - 3.3. Reducción a metales libres.
 - 3.4. Refino de metales.
4. Metalurgia del hierro. El acero.
5. Metalurgia del aluminio.

1. Los Metales en la Naturaleza

En este tema vamos a tratar de responder a algunas preguntas, tales como:

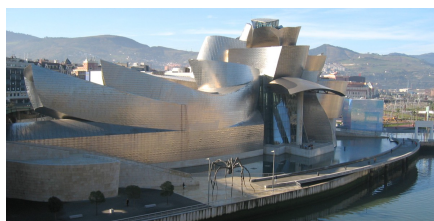
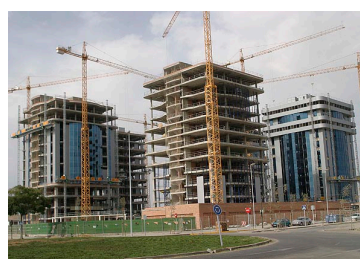
- ¿Qué aplicaciones tienen los metales? ¿Qué propiedades se aprovechan?
- ¿Cómo se presentan en la naturaleza?
- ¿Qué operaciones físicas y químicas son necesarias realizar para la extracción del metal a partir de sus minerales?
- ¿Cómo se obtienen el hierro y el acero?
- ¿Cómo se obtiene el aluminio?

1. Introducción

Los metales se usan ampliamente con fines estructurales en edificios, coches, ferrocarriles, buques y aviación, gracias a sus propiedades mecánicas: resistencia, dureza, maleabilidad, etc.



Estructuras en Construcción



Vehículos



1. Introducción



Buques



Ferrocarril



Aeronaves

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

7

1. Introducción

Como son buenos conductores del calor y la electricidad se utilizan para fabricar equipos para la industria (intercambiadores de calor, calderas, ...) o en los tendidos eléctricos (cableado de cobre).



Intercambiadores de Calor



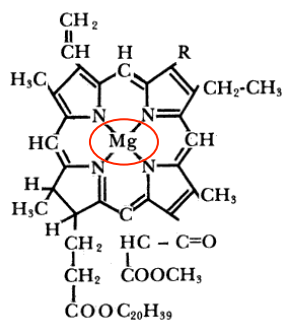
Tendidos Eléctricos

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

8

1. Introducción

Por otra parte, la investigación médica y nutricional de las décadas recientes atribuye importantes funciones biológicas a los metales.



Molécula de Clorofila

En este capítulo estudiaremos cómo se presentan los metales en la naturaleza y cuáles son los procesos de obtención a partir de sus menas.

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

9

2. Los Metales en la Naturaleza

Los metales se encuentran:



En forma nativa: Au, Ag, Cu, ...
(son escasos)



En forma de minerales (la mayoría, por su tendencia a reaccionar y formar compuestos)

Mineral: es una sustancia inorgánica sólida, que se forma en la naturaleza y que tiene una estructura cristalina definida.

Mena: es una roca o mineral del cual se puede extraer de manera económicamente rentable un metal o un no metal.

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

10

2. Los Metales en la Naturaleza

Type	Minerals
Uncombined metals	Ag, Au, Bi, Cu, Pd, Pt
Carbonates	BaCO ₃ (witherite), CaCO ₃ (calcite, limestone), MgCO ₃ (magnesite), CaCO ₃ · MgCO ₃ (dolomite), PbCO ₃ (cerussite), ZnCO ₃ (smithsonite)
Halides	CaF ₂ (fluorite), NaCl (halite), KCl (sylvite), Na ₃ AlF ₆ (cryolite)
Oxides	Al ₂ O ₃ · 2H ₂ O (bauxite), Al ₂ O ₃ (corundum), Fe ₂ O ₃ (hematite), Fe ₃ O ₄ (magnetite), Cu ₂ O (cuprite), MnO ₂ (pyrolusite), SnO ₂ (cassiterite), TiO ₂ (rutile), ZnO (zincite)
Phosphates	Ca ₃ (PO ₄) ₂ (phosphate rock), Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH (hydroxyapatite)
Silicates	Be ₃ Al ₂ Si ₆ O ₁₈ (beryl), ZrSiO ₄ (zircon), NaAlSi ₃ O ₈ (albite), Mg ₃ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₂ (talc)
Sulfides	Ag ₂ S (argentite), CdS (greenockite), Cu ₂ S (chalcocite), FeS ₂ (pyrite), HgS (cinnabar), PbS (galena), ZnS (sphalerite)
Sulfates	BaSO ₄ (barite), CaSO ₄ (anhydrite), PbSO ₄ (anglesite), SrSO ₄ (celestite), MgSO ₄ · 7H ₂ O (epsomite)

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

11

2. Los Metales en la Naturaleza

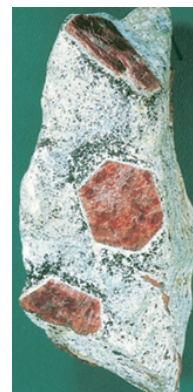
Algunos minerales son:



Dolomita (CaCO₃·MgCO₃)



Pirita (FeS₂)



Corindón (Al₂O₃)



Fluorita (CaF₂)



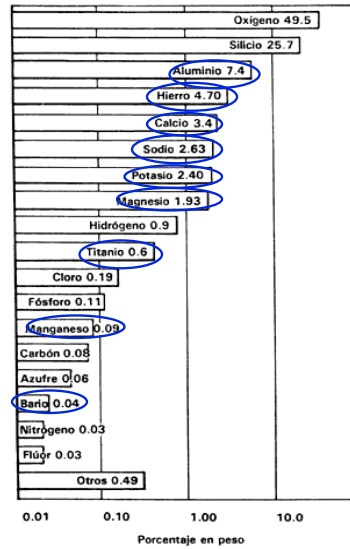
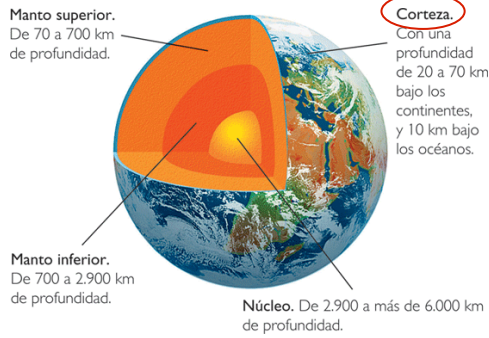
Halita (NaCl)

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

12

2. Los Metales en la Naturaleza

Los metales se encuentran en la corteza terrestre. En la gráfica se da la abundancia de los metales en la corteza terrestre.

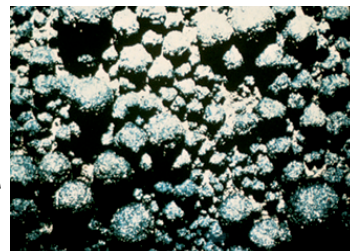


OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

13

2. Los Metales en la Naturaleza

Los metales también se encuentran en el agua del mar, formando sales y en los lechos oceánicos



Nódulos de manganeso en la plataforma oceánica

Salinas

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

14

2. Los Metales en la Naturaleza

¿Cómo se pueden obtener los metales puros a partir de los minerales que los contienen?

3. Los Procesos Metalúrgicos

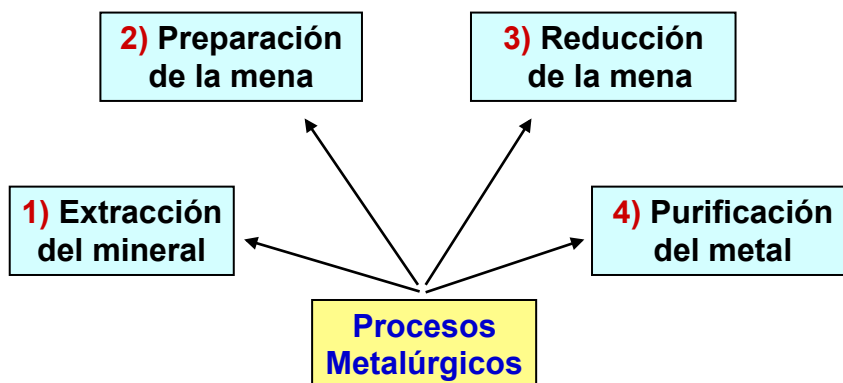
Metalurgia: es la ciencia y tecnología de la separación de los metales a partir de sus menas y de la preparación de aleaciones.

Aleación: es una disolución sólida de dos o más metales, o de un metal o metales con uno o más no metales. En la tabla siguiente se da la composición, a modo de ejemplo, de varios tipos de acero.

Type	Composition (Percent by Mass)*								Uses
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Others	
Plain	1.35	1.65	0.04	0.05	0.06	—	—	Cu (0.2–0.6)	Sheet products, tools
High-strength	0.25	1.65	0.04	0.05	0.15–0.9	0.4–1.0	0.3–1.3	Cu (0.01–0.08)	Construction, steam turbines
Stainless	0.03–1.2	1.0–10	0.04–0.06	0.03	1–3	1–22	4.0–27	—	Kitchen utensils, razor blades

3. Los Procesos Metalúrgicos

En general, los procesos metalúrgicos suelen seguir los siguientes pasos desde la extracción del mineral, hasta la obtención del metal puro.



OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

17

3.1. La Extracción del Mineral

La extracción del mineral se puede llevar a cabo bien a cielo abierto, o bien de forma subterránea mediante galerías.



Minería a cielo abierto



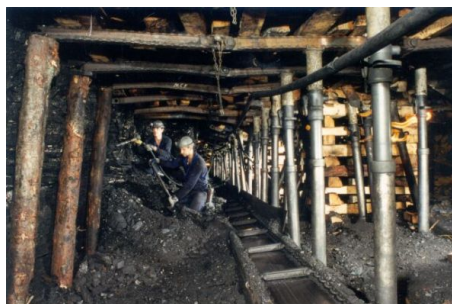
OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

18

3.1. La Extracción del Mineral



Minería subterránea (galerías)



Extracción de carbón en una mina de Asturias

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

19

3.2. La Preparación de la Mena

- En las operaciones de minería, el mineral del que puede extraerse el metal deseado frecuentemente constituye sólo un pequeño porcentaje del material de la mina.
- Es necesario, pues, separar la **mena** del resto del mineral (ganga), antes de proseguir con otras operaciones metalúrgicas.
- El mineral, después de triturado y molido, se somete a un proceso de separación de las partículas de mena de la **ganga** (arena y minerales silíceos) que siempre le acompaña.

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

20

3.2. La Preparación de la Mena

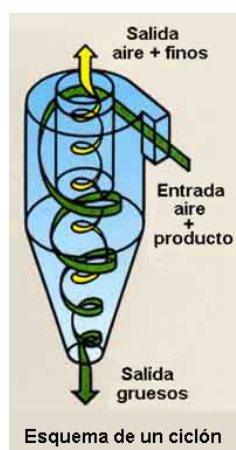
Esta separación se realiza frecuentemente mediante **métodos físicos**:

- 1) Por precipitación
- 2) Por flotación
- 3) Por separación electrostática
- 4) Por separación magnética en el caso de menas férreas o
- 5) Mediante amalgamas, en el caso de metales nobles.

3.2. La Preparación de la Mena

1) Por Precipitación (gravedad)

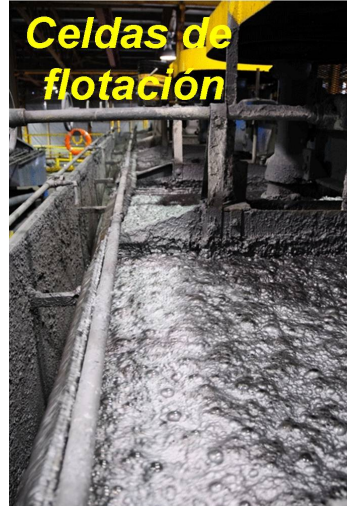
Se inyecta en el ciclón de la figura una suspensión acuosa de partículas de mena y ganga, que se separan por gravedad por la diferencia de densidades.



3.2. La Preparación de la Mena

2) Por Flotación

Este método es aplicable a sulfuros, carbonatos y silicatos. El mineral se muele finamente y se vierte en agua con **aceite** y **detergente**. Se calienta la mezcla y se insufla aire para formar espumas que arrastran la mena. La ganga no se impregna de aceite y cae al fondo. El mineral se recupera de las espumas sobrenadantes.

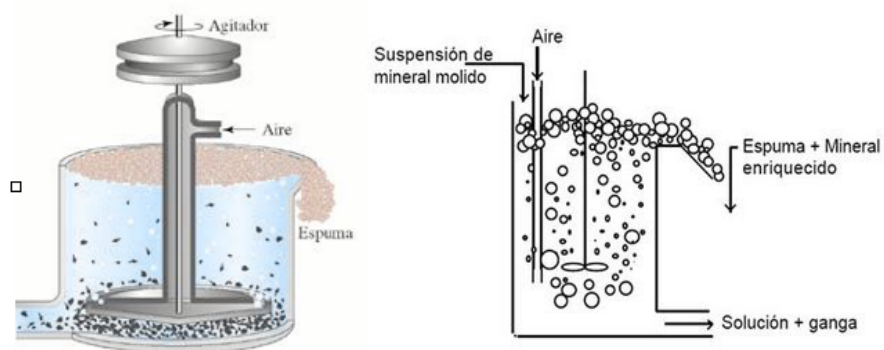


OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

23

3.2. La Preparación de la Mena

2) Por Flotación (esquema)



OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

24

3.2. La Preparación de la Mena

3) Separación Electrostática

- Se basa en las **propiedades conductoras** de muchas menas metálicas, en especial los sulfuros. El mineral finamente pulverizado y seco se carga eléctricamente en contacto con un electrodo ionizador.
- Las partículas de mena cargadas son atraídas hacia un electrodo colector de carga opuesta, donde se recogen. Las partículas de ganga al no ser conductoras, no se cargan por lo que se separan aparte.

3.2. La Preparación de la Mena

4) Mediante Electroimanes

- Otro proceso de separación física aprovecha las **propiedades magnéticas** de ciertos minerales.
- Ejemplo: la magnetita (Fe_3O_4) se puede separar de la ganga usando un potente electroimán. Las sustancias como el hierro y el cobalto, que son fuertemente atraídas por los imanes, se llaman **ferromagnéticas**.

3.2. La Preparación de la Mena

5) Mediante Amalgamas

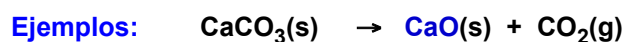
- El **mercurio** forma amalgamas con numerosos metales. Las amalgamas son **aleaciones líquidas** del mercurio con otro metal o metales. El mercurio disuelve la plata o el oro contenidos en una mena. Después, el oro o la plata se recuperan fácilmente por destilación del mercurio (es muy tóxico).

3.3. Reducción a Metal Libre

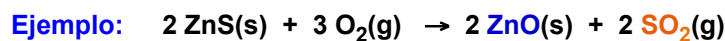
1) Operaciones Preliminares

Estos procesos convierten los compuestos metálicos en compuestos más fáciles de reducir. Los más importantes son:

Calcinación: Consiste en calentar el mineral sin llegar a fundir.



Tostación: Consiste en calentar por debajo del punto de fusión en presencia de **aire**.



(Lluvia ácida)



3.3. Reducción a Metal Libre

Lluvia Ácida: Se forma por la emisión de SO_x y de NO_x a la atmósfera donde estos compuestos se oxidan, finalmente, a ácidos: H_2SO_4 y HNO_3 . Posteriormente, la lluvia los absorbe y se acidifica.



OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

29

3.3. Reducción a Metal Libre

- La tostación de menas sulfuradas produce una **gran contaminación** del aire por la emisión de enormes cantidades de SO_2 a la atmósfera.
- Este gas se oxida después en el aire contaminado produciendo SO_3 , el cual se hidrata rápidamente por la humedad ambiental para formar gotículas de H_2SO_4 (lluvia ácida).
- Las reglamentaciones medioambientales exigen una limitación de las emisiones de SO_2 que escapan con los gases de chimenea. Por ello, la mayor parte del SO_2 se aprovecha para la fabricación de ácido sulfúrico.

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

30

3.3. Reducción a Metal Libre

2) Procesos de Reducción

- Los metales en sus compuestos siempre tienen números de oxidación +, por eso la producción de un metal libre es siempre un proceso de **REDUCCIÓN**.
- Cuanto **más fuerte es el enlace** entre el catión metálico y el anión, mayor es la energía que hay que aplicar en el proceso de reducción y, por tanto, **el proceso es más caro**.
- Los metales más activos tienen los enlaces más fuertes.
- Se puede afirmar que el proceso de reducción del metal será tanto más fácil de realizar cuanto menos negativo sea el Potencial Normal de Reducción. Así, los metales más activos (potenciales normales más negativos), como los metales de los grupos 1 y 2 y el Al, son muy difíciles de reducir teniendo que recurrir a métodos de **reducción electrolítica**.

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

31

3.3. Reducción a Metal Libre

1. Metales poco reactivos:

Existen en estado libre, no requieren procesos de reducción.

Ejemplos: **Au, Ag, Pt, Cu** (conocidos desde la prehistoria)



Oro



Plata



Cobre

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

32

3.3. Reducción a Metal Libre

2. Metales algo reactivos:

Es el caso del mercurio. Se pueden obtener por simple tostación de sus menas sulfuradas:



3. Metales más activos:

- La tostación de minerales de metales más activos produce óxidos metálicos, pero no el metal libre:



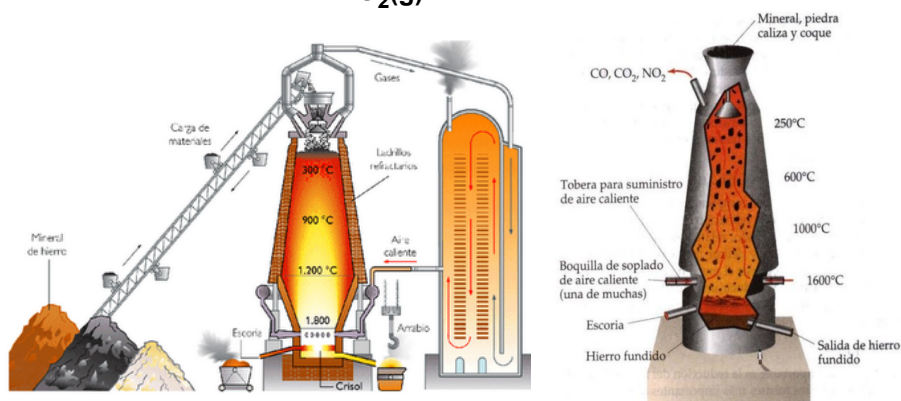
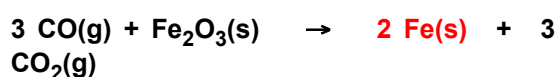
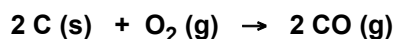
- Los óxidos metálicos resultantes se reducen luego a metal libre con coque o con CO (agentes reductores), o bien se usa otro agente reductor como H₂ o Al.

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

33

3.3. Reducción a Metal Libre

Caso del Hierro



OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

34

3.3. Reducción a Metal Libre

Altos Hornos de Sestao



OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

35

3.3. Reducción a Metal Libre

Caso del Titanio

Se utiliza como agente reductor otro metal más electropositivo, a elevadas temperaturas:



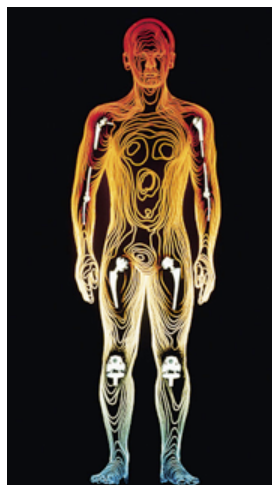
Museo Guggenheim de Bilbao

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

36

3.3. Reducción a Metal Libre

El titanio se utiliza en la fabricación de prótesis óseas



OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

37

3.3. Reducción a Metal Libre

Caso del Wolframio

En algunos casos se utiliza el H₂ como agente reductor:



Bombilla con filamento de Tungsteno o Wolframio

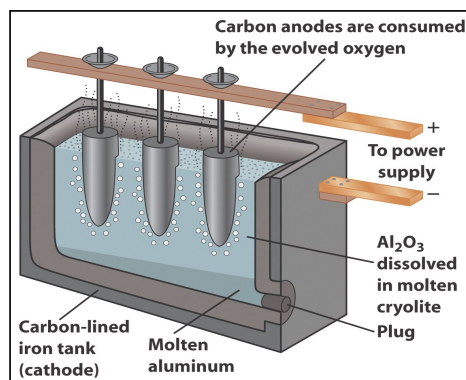
OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

38

3.3. Reducción a Metal Libre

4. Metales muy activos:

- Son metales muy electropositivos, como el **Al**, **Mg** y **Na**. Se reducen **electroquímicamente**, a partir de sus sales fundidas, lo que acarrea costos muy elevados.



*Ejemplo:
Obtención del aluminio
por electrólisis*

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

39

3.3. Reducción a Metal Libre

Células electrolíticas para la obtención de aluminio a nivel industrial. Estas plantas consumen enormes cantidades de electricidad.



OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

40

3.3. Reducción a Metal Libre

Resumen de los procesos de reducción para la obtención de algunos metales:

Metal	Reduction Process
Lithium, sodium, magnesium, calcium	Electrolytic reduction of the molten chloride
Aluminum	Electrolytic reduction of anhydrous oxide (in molten cryolite)
Chromium, manganese, titanium, vanadium, iron, zinc	Reduction of the metal oxide with a more electropositive metal, or reduction with coke and carbon monoxide
Mercury, silver, platinum, copper, gold	These metals occur in the free (uncombined) state or can be obtained by roasting their sulfides

Decreasing activity of metals

3.4. El Refino de Metales

Los metales obtenidos en procesos de reducción casi siempre son **impuros**. Habitualmente se necesita un proceso de **refino** (purificación) posterior.

A continuación se indican algunos de esos procesos.

1. Destilación

- Se aplica a metales volátiles como el **Hg** y el **Zn**.
- Se calienta por encima del punto de ebullición. El metal se volatiliza y se separa de las impurezas no volátiles.
- Se condensan los vapores y se obtiene el metal purificado.
- Se repite el proceso hasta obtener la pureza deseada.

3.4. El Refino de Metales

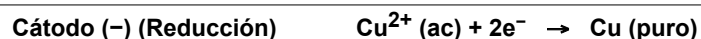
2. Formación de un Compuesto Volátil

- Ciertos metales del grupo VIII (ó grupos 8-10) como el **Fe**, **Co**, **Ni**, se combinan fácilmente con el CO, formando **compuestos volátiles**.
- Posteriormente el metal se obtiene por descomposición del compuesto volátil, calentando a unos 200°C.
- Se obtienen grados de pureza muy elevados, del **99,99%**
- **Ejemplo:** $\text{Ni (s)} + 4 \text{CO (g)} \rightarrow \text{Ni(CO)}_4 \text{ (g)}$ (gas muy tóxico)
 $\text{Ni(CO)}_4 \text{ (g)} \xrightarrow{\text{Q}} \text{Ni (s)} + 4 \text{CO (g)}$ (200°C)

3.4. El Refino de Metales

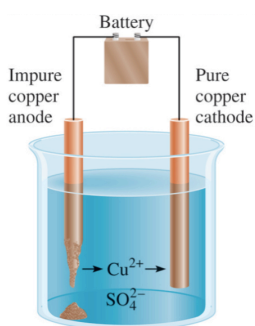
3. Refino Electrolítico

- Es el **método más utilizado**, sin lugar a dudas.
- Se emplea para refinar: **Cu, Al, Au, Ag, Zn, Cd, Pb, Sn**, etc.
- En una cuba electrolítica el metal impuro hace de ánodo (semirreacción de oxidación) y en el cátodo (semirreacción de reducción) se deposita el metal puro.
- **Ejemplo del cobre:**



3.4. El Refino de Metales

(a) Purificación Electrolítica. (b) Instalación industrial de refino electrolítico de cobre. El cobre se utiliza principalmente para fabricar cable. Para ello se requieren purezas muy elevadas, ya que la presencia de pequeñas impurezas reduce de forma considerable su conductividad eléctrica.



(a)



(b)

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

45

3.4. El Refino de Metales

3. Refino por Zonas

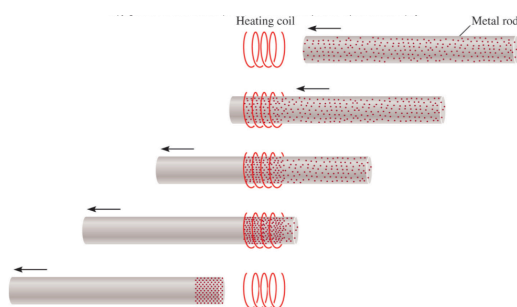
- El refino por zonas se usa cuando se desean metales extremadamente puros, como el silicio de los semiconductores (utilizado en electrónica y células solares).
- El método se basa en que las impurezas son más solubles en el metal fundido que en el metal sólido.
- Por ello, al **desplazar lentamente** una barra de metal impuro a través de una fuente de calentamiento, se produce una estrecha zona de fusión donde se van concentrando las impurezas, que son desplazadas hasta el extremo de la barra.
- El proceso puede repetirse cuantas veces sean necesarias hasta conseguir el grado de pureza deseado.

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

46

3.4. El Refino de Metales

En las figuras se muestra cómo ocurre el refinado por zonas.

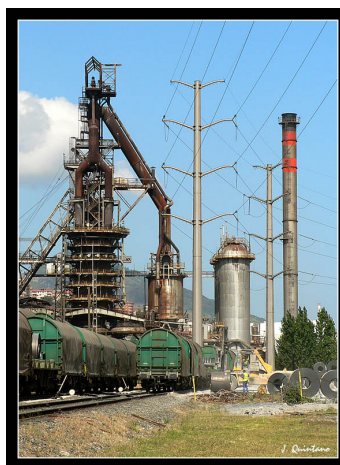


OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

47

4. Metalurgia del Hierro. El Acero

- Las menas de Fe más deseables contienen hematitas, Fe_2O_3 , o magnetita, Fe_3O_4 . Como las provisiones de estas menas de alto grado se han consumido, la taconita, que es magnetita en roca de sílice muy dura, se ha convertido en una importante fuente de Fe.



Altos Hornos de Sestao

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

48

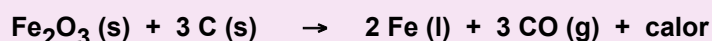
4. Metalurgia del Hierro. El Acero

- El óxido se reduce en el horno alto con monóxido de carbono. Por la parte superior del horno se introduce la "carga" formada por coque (producto que se obtiene a partir de la pirogenación del carbón) mezclado con caliza (CaCO_3), que actúa como fundente, y mena triturada.

- El aire caliente insuflado por la parte inferior (tobera de aire) quema el coque y lo transforma en CO (agente reductor)

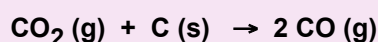


- La mayor parte del óxido se reduce a Fe (l) por el CO, aunque algo se reduce directamente por el coque. Las reacciones globales son:

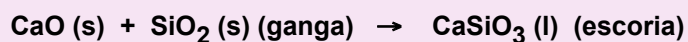
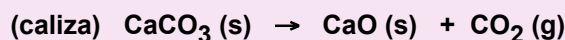


4. Metalurgia del Hierro. El Acero

- Gran parte del CO_2 reacciona con el exceso de coque:



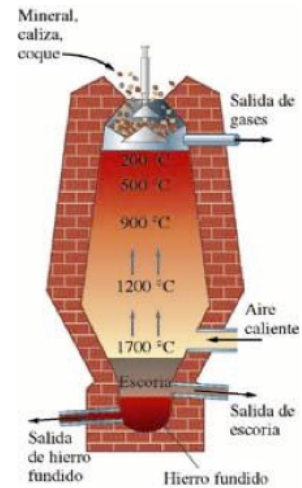
- La caliza (fundente), reacciona con la ganga silíceo para formar una escoria fundida de silicato cálcico:



- La escoria es menos densa que el hierro fundido, flota en la superficie del hierro y lo protege de la oxidación atmosférica.

4. Metalurgia del Hierro. El Acero

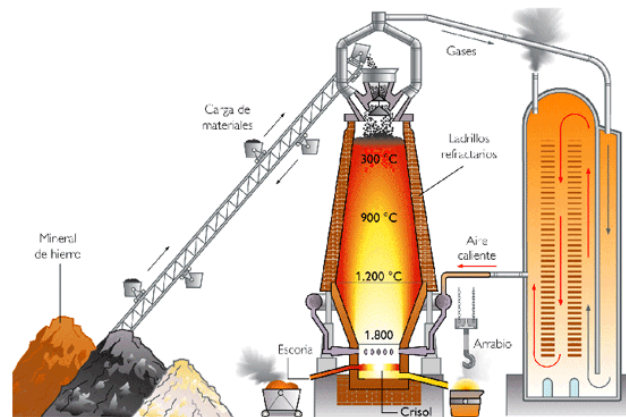
- Ambos se drenan periódicamente a través de la piquera de arrabio y de la piquera de escoria.
- Parte de la escoria se usa posteriormente en la fabricación de cemento.
- El hierro obtenido en el alto horno se denomina arrabio, hierro bruto o hierro de fundición, y contiene aproximadamente el 95 % de Fe, 3-4 % de C y cantidades variables de otras impurezas.



OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

51

4. Metalurgia del Hierro. El Acero



Esquema de funcionamiento de un Alto Horno

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

52

4. Metalurgia del Hierro. El Acero

- El **hierro de fundición** es muy duro y frágil y sólo puede utilizarse para fabricar piezas que no vayan a estar sometidas a esfuerzos o a cambios rápidos de temperatura (choque térmico) como bloques de motores, los tambores de freno y los soportes de transmisión.
- Si se eliminara todo el **carbono** del hierro se obtendría hierro casi puro, muy blando y de poca utilidad. Sin embargo, si se elimina sólo una parte del carbono y se añaden otros metales tales como **Mn, Cr, Ni, W, Mo y V**, la mezcla se vuelve más tenaz (resistencia a la rotura) y se conoce como **acero**.

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

53

4. Metalurgia del Hierro. El Acero

- Hay muchos tipos de acero que contienen metales aleados y otros elementos en diferentes proporciones controladas.
- Los **aceros inoxidables** (resistentes a la corrosión) comunes contienen **14-18 % de Cr** y **7-9 % de Ni**.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

Type	Composition (Percent by Mass)*								Uses
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Others	
Plain	1.35	1.65	0.04	0.05	0.06	—	—	Cu (0.2–0.6)	Sheet products, tools
High-strength	0.25	1.65	0.04	0.05	0.15–0.9	0.4–1.0	0.3–1.3	Cu (0.01–0.08)	Construction, steam turbines
Stainless	0.03–1.2	1.0–10	0.04–0.06	0.03	1–3	1–22	4.0–27	—	Kitchen utensils, razor blades

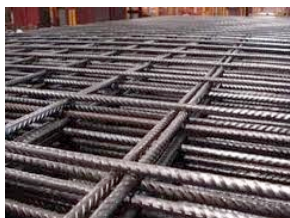
*A single number indicates the maximum amount of the substance present.

Tipos de Aceros según su Composición

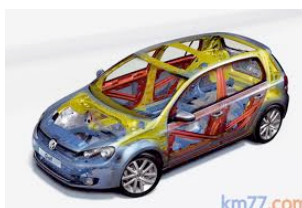
OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

54

4. Metalurgia del Hierro. El Acero



**Aplicaciones
Diferentes Tipos de
Aceros**



OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

55

4. Metalurgia del Hierro. El Acero

EL ACERO

Los cambios fundamentales que deben producirse para transformar el hierro bruto en acero son los siguientes:

- Reducir el contenido de carbono desde 3-4 % del hierro bruto hasta el 0-1,5 % en el acero.
- Eliminar mediante formación de escorias el Si, Mn y P junto con otras impurezas de menor cuantía.
- Añadir elementos de aleación, como Cr, Ni, Mn, V, Mo y W, que confieren al acero las propiedades deseadas.

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

56

4. Metalurgia del Hierro. El Acero

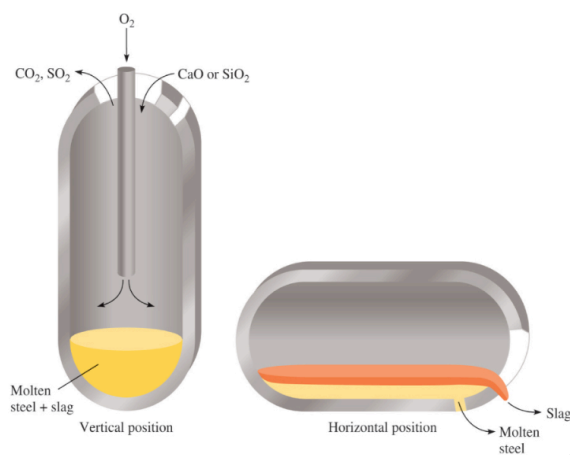
- Para la obtención de acero se utiliza el **horno de oxígeno básico**.
- Se introduce O_2 , mediante una **lanza** resistente al calor, que elimina parte del carbono al formarse CO y CO_2 (gases).
- Se descarga caliza o sílice en polvo sobre el hierro bruto fundido para formar las **escorias** que arrastran los elementos indeseados (Si, Mn, P...).
- Finalmente, el recipiente de reacción se bascula para **retirar la escoria líquida** que flota sobre el hierro y se agregan los elementos deseados en la aleación.

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

57

4. Metalurgia del Hierro. El Acero

Horno de Oxígeno Básico



OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

58

5. Metalurgia del Aluminio

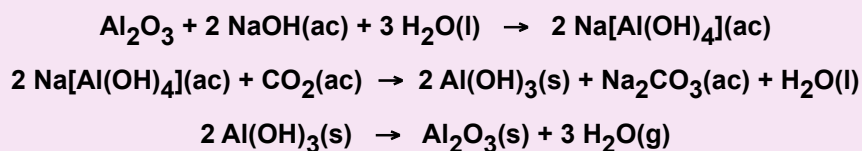
- El aluminio es el **metal no ferroso** comercialmente más importante.
- El aluminio se obtiene de la **bauxita**, u óxido de aluminio hidratado, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (x, indica el número de moléculas de agua en la red cristalina por cada unidad fórmula de Al_2O_3).
- Los iones aluminio pueden reducirse a Al por electrolisis sólo en ausencia de H_2O . Por ello, primero la bauxita triturada se purifica disolviéndola en una disolución concentrada de NaOH para formar $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ soluble.
- Luego se precipita $\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ haciendo borbotear dióxido de carbono para neutralizar el NaOH en exceso, y un ión OH^- por unidad fórmula de $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$.

5. Metalurgia del Aluminio

- Finalmente, al calentar el producto hidratado se deshidrata y pasa a Al_2O_3 :
- El aluminio es el **metal no ferroso** comercialmente más importante.
- El aluminio se obtiene de la **bauxita**, u óxido de aluminio hidratado, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (x, indica el número de moléculas de agua en la red cristalina por cada unidad fórmula de Al_2O_3).
- Los iones aluminio pueden reducirse a Al por electrolisis sólo en ausencia de H_2O . Por ello, primero la bauxita triturada se purifica disolviéndola en una disolución concentrada de NaOH para formar $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ soluble.

5. Metalurgia del Aluminio

- Luego se precipita $\text{Al(OH)}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ haciendo borbotear dióxido de carbono para neutralizar el NaOH en exceso, y un ión OH^- por unidad fórmula de $\text{Na[Al(OH)}_4]$.
- Finalmente, al calentar el producto hidratado se deshidrata y pasa a Al_2O_3 :

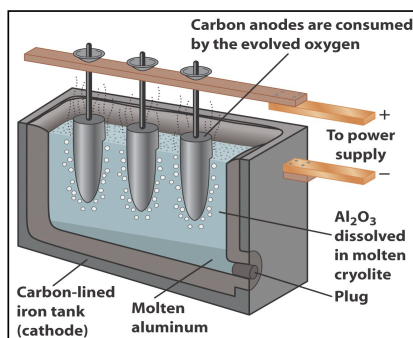


5. Metalurgia del Aluminio

- El punto de fusión del Al_2O_3 es 2045 °C, de manera que la electrolisis del Al_2O_3 puro fundido tendría que realizarse a esta temperatura o superior, con un **gran gasto de energía**.
- Sin embargo, si se agrega **criolita**, que reduce el punto de fusión de la mezcla (actúa como **fundente**).
- La mezcla fundida se electroliza a 1000 °C con electrodos de carbono. La célula usada industrialmente para este proceso, llamado **proceso Hall-Heroult**, se muestra en la siguiente figura:

5. Metalurgia del Aluminio

- La superficie interna de la célula se cubre con carbono, que actúa como el cátodo en el que los iones aluminio se reducen a metal libre.
- El ánodo de grafito se oxida a CO_2 gas y debe reemplazarse con frecuencia. Este es uno de los principales costes de la producción de Al, junto con el consumo de energía eléctrica, lógicamente.
- El Al es más denso que la criolita fundida, así que se acumula en el fondo de la célula hasta que se drena y se enfría.

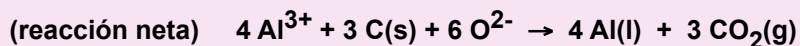
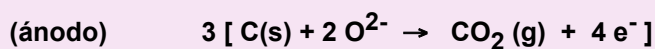
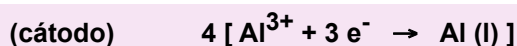


OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

63

5. Metalurgia del Aluminio

Los procesos redox que tienen lugar en la célula electrolítica son:



El uso de grandes cantidades de energía eléctrica en la electrolisis, hace que la producción de aluminio a partir de sus menas sea una **metalurgia cara**.

OCW 2011 © M^a Pilar Ruiz Ojeda y Borja Muñoz Leoz. Fundamentos Químicos de la Ingeniería

64

5. Metalurgia del Aluminio. Reciclaje

- Los métodos para reciclar el Al usado, consumen menos del 10 % de la energía requerida para obtener metal nuevo a partir de bauxita por el proceso Hall-Heroult.
- Esto ayuda a mantener costes moderados en la obtención del Al.

