

PROCESOS DE FUNDICION

GUIA DE ESTUDIO DE LA UNIDAD III

FUSIÓN, REFINACIÓN Y DESOXIDACIÓN

Competencia específica a desarrollar: Conocer y aplicar los principios de refinado y de desoxidación enfocados a los procesos de fundición.

3.1. Parámetros y variables del proceso de fusión de metales ferrosos y no ferrosos.

El proceso de fundición de metales es muy común en diversas industrias y tiene como objetivo cambiar el estado sólido de ciertos materiales, a partir del calentamiento de las piezas, para poder moldearlo en nuevas formas y transformar su aspecto final. Para lograrlo, es necesario derretir los metales a través de ciertos procesos que resultan de gran utilidad para la fabricación de piezas indispensables en el mercado, resistentes y de alta calidad.

Cualquier metal sólido que se pueda fundir puede ser moldeado. Las fundidoras son fábricas que hacen este trabajo de moldeo, desarrollando experiencia con unos cuantos metales y métodos, y diseñando productos estándar para maximizar el valor y la eficiencia en la producción.

Es esencial tener en cuenta que el proceso de fundición no consiste únicamente en el calentamiento de un metal hasta lograr el estado líquido, sino en lo que precede a ese cambio de estado. Por lo tanto, dentro del calentamiento de metales también entran en consideración los moldes para fundición y las piezas finales que se solidifican al finalizar la actividad.

Los metales y métodos de moldeo se influyen el uno al otro: la mejor opción para el moldeo de un producto está influenciada por cómo su metal se comportará en su estado fundido, enfriado y sólido. Para estas dependencias, las especialidades de una fundidora son parte de la determinación de qué tipo de productos hacen. La fundidora que hace juguetes para niños moldeados a presión generalmente no es la misma fundidora que produce partes de motor de alta calidad.

En ese sentido, el proceso de fundición consta de cuatro etapas:

1. La fusión del metal a partir de algún método de calentamiento industrial como los hornos de fundición.
2. El vaciado del metal en estado líquido en un molde.
3. La solidificación o el enfriamiento de la nueva pieza.
4. La limpieza e inspección del producto final.



Figura 3.1.1. Fusión de metales.

Cuando se diseña un molde, encontrar el metal perfecto para balancear el valor y la forma es un arte y una ciencia. El metal adecuado para un trabajo satisfará tanto los requerimientos estéticos como mecánicos de la aplicación, y esto influenciará los métodos de producción requeridos para llevar un prototipo al producto final.

Los metales ferrosos son la elección más común para moldes, con frecuencia seleccionados por su eficiencia de costo y sus propiedades mecánicas. Algunas veces no es la fuerza del metal la que dicta la elección sino las propiedades como el peso, la resistencia a la corrosión o el no magnetismo. Las aleaciones no ferrosas como el bronce y el latón también pueden ser elegidas por tradición o por su belleza.

Consultar con un ingeniero puede ayudar al diseñador a encontrar armonía entre los diferentes aspectos de su proyecto, eligiendo el metal perfecto para honrar tanto la aplicación como el presupuesto.

En la producción y afino de metales, una serie de reacciones fisico-químicas distintas separan los componentes valiosos de las materias inservibles. El producto final es un metal que contiene cantidades controladas de impurezas. La fundición y afino primarios producen metales directamente a partir de concentrados de mineral, mientras que la fundición y afino secundarios los producen a partir de chatarra y residuos de procesos. La chatarra está formada por fragmentos y piezas de componentes metálicos, barras, virutas de torno, chapas y alambre que están fuera de especificación o desgastados pero pueden reciclarse.

Para producir metales refinados se utilizan generalmente dos tecnologías de recuperación, los procesos pirometalúrgicos y los hidrometalúrgicos. En los primeros se utiliza calor para separar los metales deseados de otros materiales. En estos procesos se aprovechan las diferencias entre potenciales de oxidación, puntos de fusión, presiones de vapor, densidad y/o miscibilidad de los componentes del mineral cuando se funden.

Las tecnologías hidrometalúrgicas se diferencian de los procesos pirometalúrgicos en que los metales deseados se separan de otros materiales utilizando técnicas que aprovechan las diferencias de solubilidad y/o entre las propiedades electroquímicas de los constituyentes mientras se encuentran en solución acuosa.

En el proceso de fundición, el metal fundido fluye por gravedad u otra fuerza dentro de un molde donde se solidifica y toma la forma de la cavidad del molde. El término fundición se aplica también a la parte resultante de este proceso. Es uno de los más antiguos procesos de formado que se remonta 6 mil años atrás. El principio de la fundición es simple: se funde el metal, se vacía en un molde y se deja enfriar.

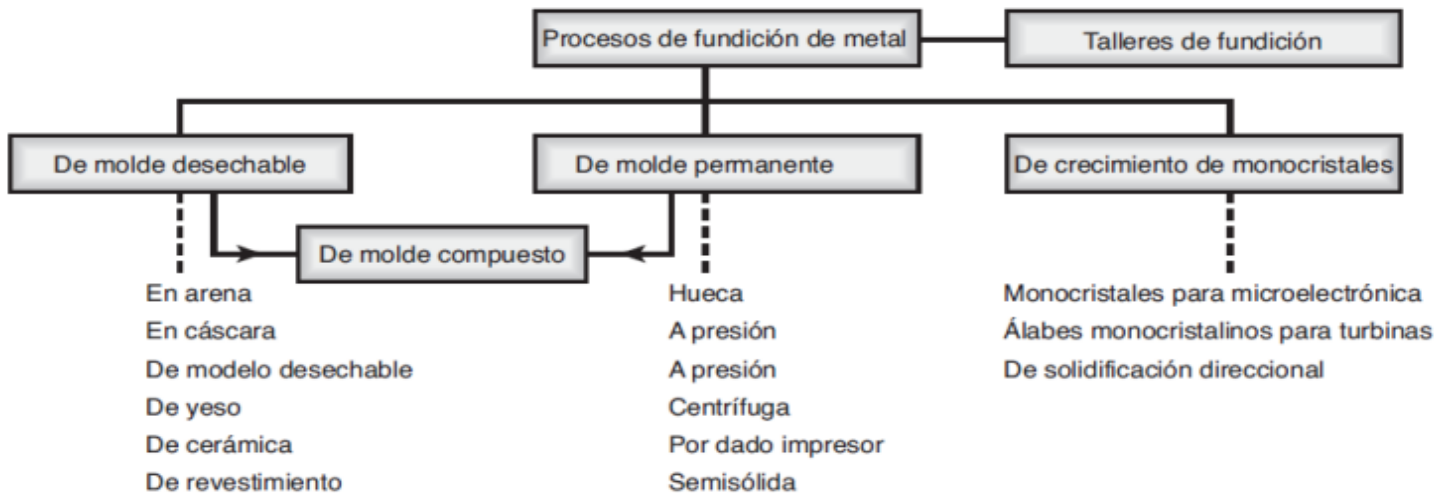


Figura 2.2: Diagrama de procesos de fundición de metales [3]

La fundición incluye la producción de lingotes y la fundición de piezas de forma particular. El término lingote se asocia usualmente con las industrias de metales primarios; describe la producción de una pieza generalmente grande de forma simple, diseñada para volver a formarse en procesos subsiguientes como laminado o forjado. La producción de piezas de geometría compleja involucra la producción de elementos que solo serán modificados, en su geometría y dimensiones, mediante procesos con arranque de viruta.

Existen diversos métodos utilizados en la producción de piezas de geometría irregular, lo cual hace de este proceso uno de los más versátiles en manufactura. Sus posibilidades y ventajas son las siguientes: La fundición se puede usar para crear partes de geometría compleja. Algunos procesos de fundición pueden producir partes de forma neta que no requieren operaciones subsecuentes para llenar los requisitos geométricos y dimensionales de la pieza.

Se puede usar la fundición para producir partes muy grandes. Se han fabricado piezas fundidas que pesan más de 100 toneladas. El proceso de fundición puede realizarse en cualquier metal o aleación que pueda calentarse y pasar al estado líquido. En este caso el proceso está limitado a materiales con temperaturas de fusión menores a los 1750 °C, por lo que los metales refractarios no son procesados mediante estas técnicas.

La factibilidad de aproximarse a la geometría y dimensiones finales vuelve a los procesos de fundición una opción muy económica en el caso de que el diseño conlleve a una geometría irregular. No obstante, también hay desventajas asociadas con la fundición y sus diferentes métodos. Éstas incluyen la porosidad y las propiedades mecánicas inherentes al proceso de solidificación y enfriamiento.

Las piezas de fundición fluctúan en tamaño, desde pequeños componentes que pesan solamente unos cuantos gramos hasta grandes productos de más de 100 toneladas. La lista incluye coronas dentales, joyería, estatuas, estufas de hierro fundido, bloques y cabezas para motores automotrices, bases para máquinas, ruedas para ferrocarril, utensilios de cocina, carcasas para bombas. Se pueden fundir casi todas las variedades de metales ferrosos y no ferrosos.

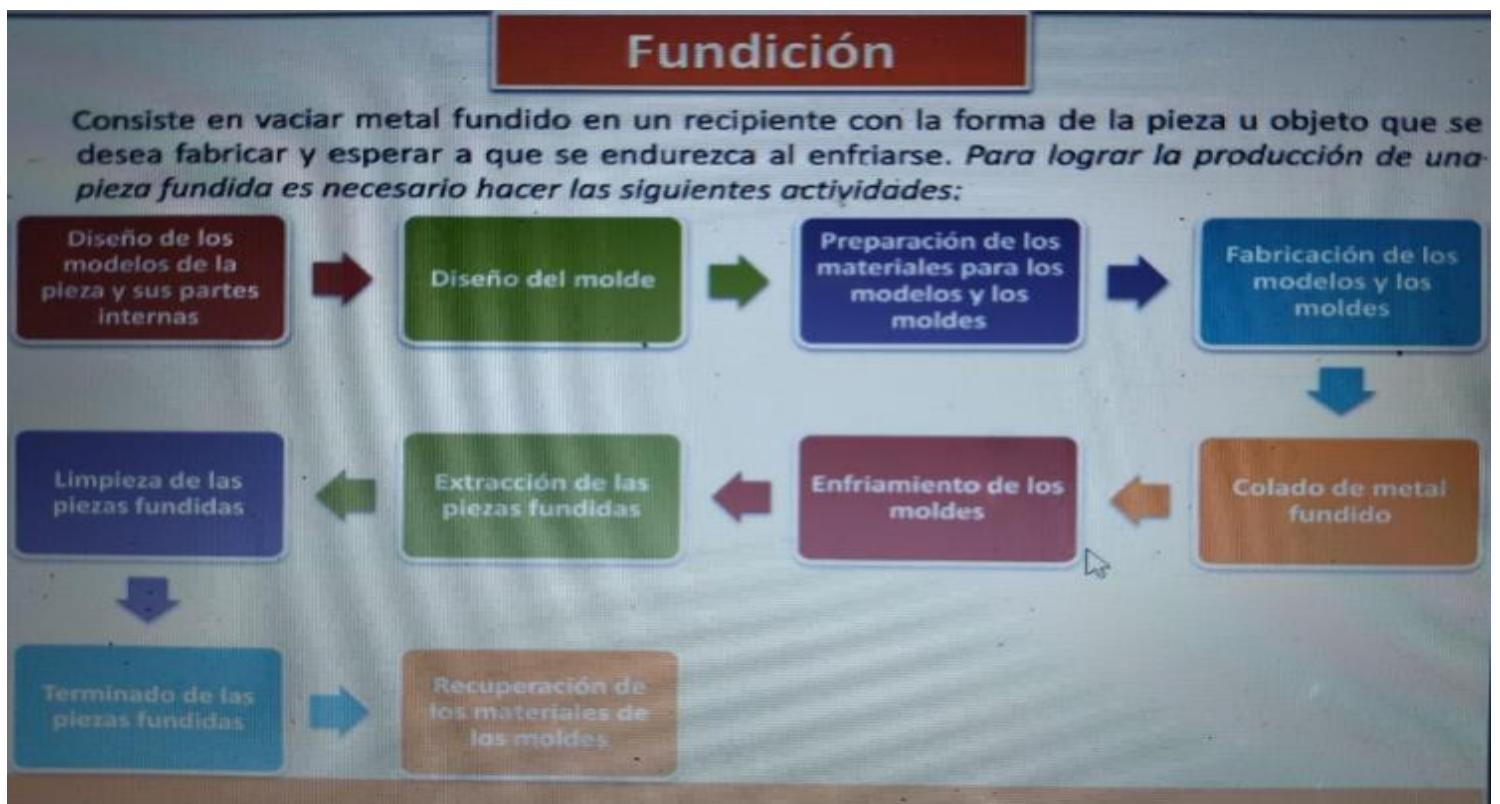


Figura 3.1.2 Etapas de la fundición.

Parámetros importantes en el proceso de fundición

Calentamiento del metal En función del material que se va a fundir, de su calidad y del volumen por producir se pueden utilizar diversos tipos de unidades de fusión (hornos), para calentar el metal a la temperatura necesaria. La energía calorífica requerida es la suma de: 1) el calor para elevar la temperatura hasta el punto de fusión, 2) calor de fusión para convertir el metal sólido a líquido y 3) el calor necesario elevar al metal fundido a la temperatura de vaciado. Esto se puede expresar como:

$$H = \rho V [C_s(T_m - T_0) + H_f + C_l(T_p - T_m)] \quad (2.1)$$

donde:

H = Calor requerido para elevar la temperatura del metal a la temperatura de fusión [J]

ρ = Densidad [kg/m³]

C_s = Calor específico del metal sólido [J/kg °C]

T_m = Temperatura de fusión del metal [°C]

T_0 = Temperatura inicial, generalmente la ambiente [°C]

H_f = Calor de Fusión [J/kg]

C_l = Calor específico del metal líquido [J/kg °C]

T_p = Temperatura de vaciado [°C]

V = Volumen del metal que se calienta [m³]

Las unidades de fusión (hornos) se pueden clasificar de acuerdo con su medio de calentamiento, y en el caso de que la fuente de calor sea la combustión se considerará el contacto entre los gases de combustión y el material a fundir.

Vaciado del metal fundido

Después del calentamiento, y una vez alcanzada la temperatura adecuada (mínima a la que se puede producir una pieza sana), el material está listo para verterse en el molde, lo cual se refiere como vaciado (figura 2.30). La introducción del metal fundido en el molde y su flujo dentro del sistema de vaciado y de la cavidad es un paso crítico en el proceso. Para que este paso tenga éxito, el metal debe fluir antes de solidificarse a través de todas las regiones del molde. Los factores que afectan la operación de vaciado son la temperatura de vaciado, la velocidad de vaciado y la turbulencia generada durante el llenado del molde.

La temperatura de vaciado es la temperatura del metal fundido al momento de su introducción en el molde. Lo importante aquí es la diferencia entre la temperatura de vaciado y la temperatura a la que empieza la solidificación (el punto de fusión para un metal puro, o la temperatura liquidus para una aleación). A esta diferencia de temperaturas se le llama algunas veces sobrecalentamiento. Éste deberá ser el mínimo posible que garantice el correcto llenado del molde, lo anterior en virtud de que tanto la cinética de oxidación como la solubilidad de gas en el metal líquido dependen de la temperatura.

La velocidad de vaciado es el caudal con que se vierte el metal fundido dentro del molde. Si la velocidad es muy lenta, el metal puede enfriarse antes de llenar la cavidad. Si la velocidad de vaciado es excesiva provoca turbulencia y puede convertirse en un problema serio (se favorece la erosión de la arena del molde, así como que el metal atrape gases y escoria).

La turbulencia del flujo se produce al contacto del metal líquido con las paredes del molde, su presencia dependerá de la velocidad y de la viscosidad del metal líquido, así como de la geometría del sistema de llenado. El flujo turbulento debe evitarse ya que provoca una mayor interacción entre el metal y el aire, lo que favorece la formación de óxidos metálicos que pueden quedar atrapados durante la solidificación y degradando de esta forma la calidad de la fundición; también provoca una erosión excesiva del molde por efecto del impacto del flujo de metal fundido. Por último, el flujo turbulento promueve que el metal líquido atrape gas y escorias afectando con esto, en forma negativa, la calidad de las piezas producidas.

Análisis del vaciado

Varias relaciones gobiernan el flujo del metal líquido a través del sistema de vaciado y dentro del molde. Si se considera que el flujo es conservativo (lo cual no es verdad) se puede realizar un primer análisis empleando para tal fin la ecuación de *Bernoulli* (ecuación de conservación de energía que parte de considerar que el flujo es laminar), la cual establece que la suma de las energías (altura, presión dinámica y energía cinética) en dos puntos cualquiera de un líquido que fluye es igual. Esto se puede escribir como:

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + F_1 = h_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + F_2 \quad (2.2)$$

donde:

h = Altura [m]

P = Presión en el líquido [N/m²]

ρ = Densidad [kg/m³]

v = Velocidad de flujo [m/s]

g = aceleración gravitatoria [m/s²]

F = Pérdidas de carga debidas a la fricción [m]

** Los subíndices 1 y 2 indican dos puntos cualesquiera en el flujo del líquido

La ecuación de Bernoulli se puede simplificar de varias maneras. Si no se consideran las pérdidas por fricción y se asume que la descarga es presión atmosférica en toda su extensión, entonces la ecuación puede reducirse a:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.3)$$

La cual puede emplearse para determinar la velocidad del metal fundido en la base del bebedero de colada (ecuación de Torricelli):

La cual puede emplearse para determinar la velocidad del metal fundido en la base del bebedero de colada (ecuación de Torricelli):

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2.4)$$

donde:

v = Velocidad del metal líquido en la base del bebedero [m/s]

g = aceleración gravitatoria [m/s^2]

h = Altura del bebedero [m]

Otra relación de importancia durante el vaciado es la ecuación de conservación de masa y dado que la densidad se considera constante entonces:

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (2.5)$$

donde:

Q = Velocidad de flujo volumétrico [m^3/s]

v = Velocidad [m/s]

A = Área de la sección transversal del líquido [m^2]

** Un incremento en el área produce una disminución en la velocidad y viceversa

Con la finalidad de que el metal no atrape gas durante el vaciado, entonces el conducto vertical del sistema de colada deberá ser cónico y, en general, las secciones transversales deberán reducirse, esto es, el área de la sección transversal del canal debe reducirse conforme el metal se acelera durante su descenso en el bebedero de colada; de otra manera, puede aspirar aire dentro del líquido debido al incremento de la velocidad del metal que fluye hacia la base del bebedero y conducirlo a la cavidad del molde.

Considerando que el canal alimentador de la base del bebedero a la cavidad del molde sea horizontal (y por tanto que la altura sea la misma que la de la base del bebedero), la velocidad volumétrica de flujo a través del sistema de vaciado y dentro de la cavidad del molde permanece igual a en la base. Por consiguiente, se puede estimar el tiempo requerido para llenar una cavidad de volumen V , como sigue:

$$t = \frac{V}{Q} \quad (2.6)$$

donde:

t = Tiempo de llenado del molde [s]

V = Volumen de la cavidad del molde [m^3]

Q = Flujo volumétrico [m^3/s]

** Un incremento en el área produce una disminución en la velocidad y viceversa

El tiempo de llenado del molde, calculado por la ecuación 2.6, debe considerarse como tiempo mínimo, debido a que el análisis ignora las pérdidas por fricción y la posible constricción del flujo en el sistema de vaciado; por tanto, el tiempo de llenado del molde será mayor que el resultante de la ecuación 2.6.

Solidificación y enfriamiento

Después de vaciar el metal fundido en el molde, éste se enfría y solidifica. En esta sección se analizarán los mecanismos físicos de solidificación que ocurren durante la fundición. Los aspectos asociados con la solidificación incluyen el tiempo de enfriamiento del metal, la contracción, la solidificación direccional y el diseño de las mazarotas.

Tiempo de solidificación. Sea que se trate de un metal puro o aleación, de todos modos, su solidificación toma tiempo. El tiempo total de solidificación es el tiempo necesario para que la fundición solidifique después del vaciado. Este tiempo depende del tamaño y de la forma de la fundición expresada por una relación empírica conocida como regla de Chvorinov que establece:

$$t_s = C_m \left(\frac{V}{A}\right)^n \quad (2.7)$$

donde:

t_s = Tiempo de solidificación total [min]

V = Volumen de fundición [m^3]

A = Área superficial de la fundición [m^2]

n = Exponente que toma usualmente el valor de 2

C_m = Constante del molde

La regla de Chvorinov indica que una fundición con una relación de volumen a área superficial se enfriará y solidificará más lentamente que otra con una relación más baja. Este principio ayuda en el diseño de la mazarota del molde (sistema de alimentación). Para cumplir su función de alimentar metal fundido a la cavidad principal, el metal en la mazarota debe permanecer en fase líquida más tiempo que el de la fundición. En otras palabras, la para la mazarota debe exceder la de la fundición principal.

Como la condición del molde para la mazarota y fundición es la misma, las constantes del molde serán iguales. Si el diseño de la mazarota incluye una relación de volumen a área más grande, se puede estar seguro de que la fundición principal solidificará primero y se reducirán los efectos de la contracción. Antes de considerar el diseño de la mazarota mediante la regla de Chvorinov es necesario tomar en consideración la contracción, razón por la cual se necesitan las mazarotas.

Contracción

En el análisis simplificado de la solidificación se ha omitido el impacto de la contracción que ocurre durante el enfriamiento y la solidificación. La contracción ocurre en tres pasos:

- 1) contracción líquida durante el enfriamiento anterior a la solidificación;
- 2) contracción durante el cambio de fase de líquido a sólido, llamada contracción de solidificación, y
- 3) contracción térmica de la fundición solidificada durante el enfriamiento hasta la temperatura ambiente.

Los tres pasos pueden explicarse con referencia a una fundición cilíndrica hipotética hecha en un molde abierto.

Diseño de la mazarota

Tal como se describió antes, una mazarota se usa en un molde de fundición para alimentar metal líquido al proceso durante el enfriamiento y compensar así la contracción por solidificación. La mazarota debe permanecer líquido hasta después de que la fundición solidifique. Para satisfacer este requerimiento, se puede calcular el tamaño de la mazarota usando la regla de Chvorinov.

Metales Ferrosos

Una de las mayores distinciones en la especialización es si las fundidoras trabajan con metales ferrosos, metales no ferrosos, o ambos. La definición de un metal ferroso es cualquier metal que contenga hierro; los metales no ferrosos no lo tienen. La metalurgia ferrosa representa casi el 90% de la producción mundial de metal. El hierro gris es el metal fundido más común en las fundidoras. Por fuera de la fundidora, el acero es la aleación ferrosa más usada en la industria, la construcción y el transporte.

Los metales ferrosos se definen como aquellos metales que contiene hierro. Los metales no ferrosos no lo tienen. El atributo distintivo del hierro es que es denso, fuerte cuando se mezcla con carbono, abundante y fácil de refinar, altamente susceptible a la corrosión y magnético. Hacer aleación de hierro con otros elementos en diferentes proporciones puede mitigar o eliminar uno o más de estos factores.

Cientos de aleaciones ferrosas son bien conocidas. Ellas están especificadas por las proporciones de cada elemento en su composición, así como también las instrucciones en su fundición y acabado. Las aleaciones ferrosas con carbono usualmente se les llama hierro o acero, y pueden contener cualquier cantidad de otros elementos, desde aluminio a vanadio, basado en sus especificaciones. Estos metales usualmente son elegidos por sus propiedades mecánicas.

Los ingenieros y diseñadores pueden estar interesados en su límite elástico, dureza, ductilidad, soldabilidad, elasticidad, facilidad de corte y expansión térmica, los cuales describen cómo se comportará un material bajo factores estresantes específicos.

Estos aspectos distintivos del hierro pueden ser cambiados en la aleación, la cual mezcla el hierro con otros elementos. El acero inoxidable es un buen ejemplo, con algunas aleaciones del inoxidable siendo tanto no magnéticas como no corrosivas. Una manera común de saber si un metal es acero es poner un imán contra él, debido a que el hierro en la aleación causará que el imán se pegue; sin embargo, las personas que han intentado pegar imanes a su nevera de acero inoxidable saben que esto no es una prueba infalible.

Aunque el hierro todavía está presente en esta aleación ferrosa, un alto porcentaje de níquel cambia la microestructura del acero lo suficiente para prevenir una reacción magnética. El acero inoxidable tampoco se corroe como otras aleaciones de hierro y esto es gracias a una adición de cromo. El cromo protege contra el óxido a través de un proceso llamado pasivación, en la cual las moléculas más exteriores del metal se oxidan pero permanecen fuertemente unidas al metal interior, formando un caparazón impenetrable.

En metales ferrosos, el hierro y el acero son los materiales de fundición más comunes.

Hierro

Los hierros fundidos son una categoría de aleaciones de hierro con contenido de carbono mayor a 2%. Ellos son hierros relativamente baratos y densos. Cuando son calentados y fundidos, tienen mucha mayor fluidez a menores temperaturas que el acero, esto significa que pueden fluir hacia adentro y llenar las partes de un molde complejos con mayor eficiencia. Los hierros fundidos también se encogen a la mitad de la tasa del acero mientras se enfrían.

Los hierros fundidos básicos tienen buenas propiedades de compresión, pero son frágiles: se quebrarán antes de doblarse o distorsionarse. Esta vulnerabilidad puede significar que los grados frágiles del hierro fundido no son usados para diseños con detalles de extrudido o elaboración, o con bordes afilados, ya que estas características se pueden picar.

Hierro Gris

Es el tipo de hierro fundido más común producido, presente en todo desde tapas de alcantarillas hasta frenos de disco en autos. Éste obtiene su nombre del color que toma al quebrarse, el cual es gris debido a la presencia de grafito como el aditivo de carbono. El hierro gris es 2,5-4% carbono por peso, y adicionalmente contiene 1-3% de silicona, la cual estabiliza el grafito. Él tiene muchos de los atributos del hierro de fundición básico, en el hecho de que es barato y tiene alta fluidez comparado con el acero cuando se funde, pero la presencia de grafito permite que el hierro sea algo menos frágil, permitiendo un mejor maquinado. El hierro gris todavía es inflexible: se dobla muy poco antes de quebrarse.

Hierro Dúctil

Es una forma de hierro fundido en la cual el carbono añadido es un grafito esférico (nodular). El hierro dúctil es usualmente 3,2-3,6% carbono por peso, y tiene silicona y otros elementos. Mayores niveles de ferrita significan que se acumulan en las herramientas de corte durante la maquinación, así que con frecuencia se usan en la manufactura de moldes primarios, donde una alta fluidez lo hace una gran elección para el trabajo finamente detallado. La forma esférica del grafito le da al hierro dúctil mayor resistencia al impacto y fuerza maleable que el hierro de fundición o el gris, haciendo que sean posibles los diseños detallados o con bordes. El hierro dúctil es relativamente un recién llegado en la especificación de los hierros, ya que se descubrió por primera vez en 1943.

Acero

Los aceros de todo tipo son algunas veces también fundidos. En general, el acero tiene un contenido de carbono de menos del 2,14% por peso, y con frecuencia se hace aleación con otros elementos. El acero tiene propiedades mecánicas más fuertes que los hierros fundidos, pero lo que se gana en dureza se pierde en fluidez. El acero fundido necesita estar mucho más caliente que el hierro fundido para fluir dentro de moldes detallados, y las temperaturas altas requeridas para trabajarlo con acero son un reto para manejarlas y pueden limitar el diseño y acabado del objeto que sale del molde. Como con todos los moldes, diferentes partes de una pieza se pueden enfriar a diferentes tasas, y este diferencial genera estrés dentro del producto: debido a que el acero se encoge más extensa y rápidamente que los hierros fundidos, estos estreses necesitan mayor manejo en el acero fundido.

Estos retos significan que el acero puede ser mucho más intenso de trabajar para moldearlo bien. Él requiere atención experta durante todas las etapas de su producción. Aun así, la alta fuerza mecánica del producto final puede hacer de una aleación de acero la elección clara para algunas aplicaciones, con la maquinación proveyendo acabados de etapa final.

Otras aleaciones de hierro

Otras aleaciones del hierro existen por fuera de estos tipos comunes y son usadas en aplicaciones específicas donde sus comportamientos mecánicos son útiles. Por ejemplo, el elinvar es una aleación de níquel y hierro que no se expande y contrae en el calor, y es usado en partes muy pequeñas de relojes y otros dispositivos de precisión.



Figura 3.1.3. Fundición de Metales Ferrosos.

Metales no Ferrosos

La fundición de metales no ferrosos se refiere a nivel industrial a la fundición de cualquier otro metal diferente al hierro, como por ejemplo el plomo, el cobre, el níquel, el estaño y zinc así como sus aleaciones e incluso los metales considerados como preciosos (oro, plata y platino).

Es necesario realizar una distinción entre estos procesos de fundición de metales no ferrosos y los ferrosos ya que se requieren de diferentes procedimientos e insumos para llevarse a cabo y son especializados dependiendo del metal que se desee trabajar, a continuación se explica de forma general los principios de la fundición.

Existen factores a considerar para la fundición de metales no ferrosos pero hay otros factores importantes a analizar para poder trabajar con estos metales, principalmente estos pueden ser más reactivos que los materiales férreos por lo que a lo largo del proceso se requieren filtros especiales que eliminen gases reactivos que puedan dañar el metal a trabajar (como por ejemplo la escoria o hidrógeno que obstruyen la purificación del metal) a lo largo del proceso, secadoras que mantengan los concentrados no ferrosos libres de humedad y arenas especializadas a la hora de la preparación de los moldes.

En cuanto a las técnicas empleadas, el principio de fundición de metales no ferrosos es igual a su contraparte férrea, con la diferencia de algunas técnicas de llenado de molde especializadas como la inyección a presión, que asegura la obtención de una pieza con proporciones mucho más precisas y de superficies con mejor acabado.

Estos metales incluyen cada metal y aleación que no contiene hierro. Una lista corta de metales no ferrosos comunes incluirá:

- Metales preciosos (plata, platino y oro)
- Cobre y sus aleaciones (bronce y latón)
- Níquel
- Paladio
- Platino
- Titanio
- Aluminio
- Estaño
- Plomo
- Zinc

Con tan amplio rango de materiales en este grupo, muchas de las propiedades mecánicas que recomiendan al hierro pueden ser descubiertas en metales no ferrosos. Por ejemplo, las aleaciones de aluminio o titanio podrían ser sustituidas por acero en muchos casos, si no fuera inaccesible por el costo hacerlo. Las habilidades magnéticas del hierro podrían ser emuladas con el níquel, cobalto o elementos poco comunes de la tierra en aleación con otros metales.

Sin embargo, debido a que los metales no ferrosos con frecuencia son más costosos, tienden a ser elegidos por sus atribuciones únicas en vez de por las formas en que se pueden comportar parecidas al acero. Menores pesos, conductividad, resistencia a la corrosión, propiedades no magnéticas, tradición o valor decorativo son algunas de las razones para elegir un metal no ferroso. Algunos metales son evaluados exactamente porque son poco comunes: antes de que fuera posible la producción generalizada de aluminio, el aluminio era un metal de lujo usado en vajillas lujosas.

Toda clase de materiales especializados son moldeados. Sin embargo, en las fundidoras de moldeo en arena tradicionales, hay tres metales de fundición que valen la pena mencionar.

Bronce y latón

El bronce y el latón fueron los primeros metales fundidos por la humanidad en la edad de bronce, y estas aleaciones de cobre todavía son moldeadas en arena hoy. Ellos se funden a mucha menor temperatura que los materiales ferrosos y moldean detalles bien, así que son con frecuencia usados en aplicaciones decorativas como estatuarios.

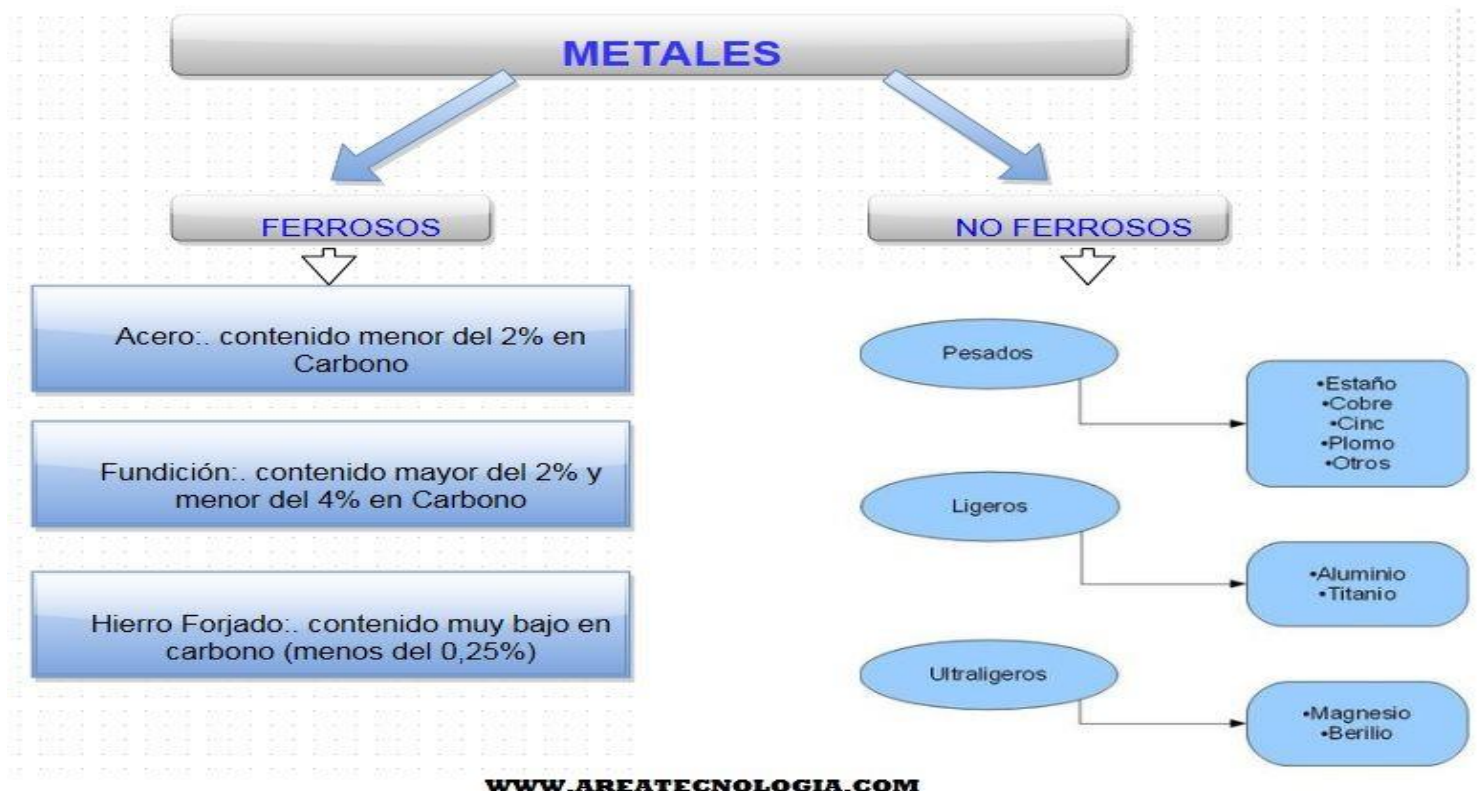
El bronce y el latón son más suaves que el acero, pero son resistentes a la corrosión incluso en la presencia de sal, así que estos metales son usados en aplicaciones marinas estándar como accesorios en botes. El latón también es resistente al “galling”, el cual es el desgaste de un metal contra sí mismo, así que el latón a veces se moldea para partes mecánicas como los propulsores marinos o es maquinado para rodamientos y cierres. Ambas aleaciones son bastante costosas ya que dependen del cobre, un metal también en demanda por sus propiedades eléctricas.

Aluminio

El Aluminio es un metal con mucha menor densidad que el hierro, haciéndolo un metal vital en aplicaciones que necesitan fuerza sin peso, como en la industria aeroespacial. Es resistente a la corrosión porque el aluminio, como el acero inoxidable, reacciona a la oxidación creando un caparazón de óxido de metal que lo protege.

El aluminio también tiene un punto de fundición menor que el de muchos de los aceros y hierros que puede reemplazar, lo cual lo hace más fácil de fundir que el acero, necesitando menos supervisión para formas complejas. La mayor desventaja del aluminio es la expansión.

Los materiales no ferrosos son altamente empleados a nivel industrial ya que presentan ventajas en diferentes propiedades como la conductividad eléctrica, tenacidad o dureza que el hierro no puede cubrir adecuadamente en ciertas ocasiones, además dependiendo del metal a trabajar se pueden obtener disminuciones en los costos de producción por lo que considerar la fundición de metales no ferrosos es una vía acertada para cualquier industria que desee ampliar su rango de producción.



WWW.AREATECNOLOGIA.COM

Figura 3.1.4. Clasificación de los metales para fundición

3.2. Tipos y etapas de refinado de metales ferrosos y no ferrosos.

En la naturaleza son muy escasos los metales puros o nativos por lo que ocasionalmente se hallan concentraciones de ellos. La mayoría de los metales se encuentran asociados químicamente con otros elementos formando compuestos conocidos como minerales. Al proceso que conlleva la extracción propia de la minería metálica se le llama Metalurgia.

El proceso de refinado en estos materiales consiste en modificar la naturaleza química de los minerales para separar el metal de sus compuestos sulfúricos, óxidos, silicatos o carbonatos. Estos métodos dependen mucho del tipo de mena y de su composición química.

Los metales son materias primas sin los cuales una economía industrializada no podría existir. El hierro y el acero en particular están muy extendidos y son fundamentales para atender necesidades básicas como la vivienda y la movilidad. La producción de metales básicos abarca las actividades de fundición o refinado de metales férreos y preciosos, y de otros metales no férreos obtenidos de menas o de chatarra, utilizando técnicas metalúrgicas.

El resultado de la fundición y del refinado, normalmente en forma de lingote, se utiliza en las operaciones de trefilado, laminado y extrusión para fabricar productos tales como placas, láminas, tiras, barras, alambre, tubos, cañerías y perfiles huecos, y en forma de líquido para fabricar piezas fundidas y otros productos de metales básicos.

Es la eliminación de impurezas de metales en bruto. Después de la extracción de materias primas, metales en bruto son entre 96 y 99 por ciento de pureza del principal metal, siendo el resto impurezas. Metales en bruto no puede ser utilizado por la industria en esta etapa debido a la característica inferior en propiedades físicas, químicas, y propiedades mecánicas. Las impurezas que se encuentran en metales en bruto pueden tener un valor elevado en sí mismos, el oro y la plata recuperable de cobre, por ejemplo, pagar el costo total del proceso de refinación.

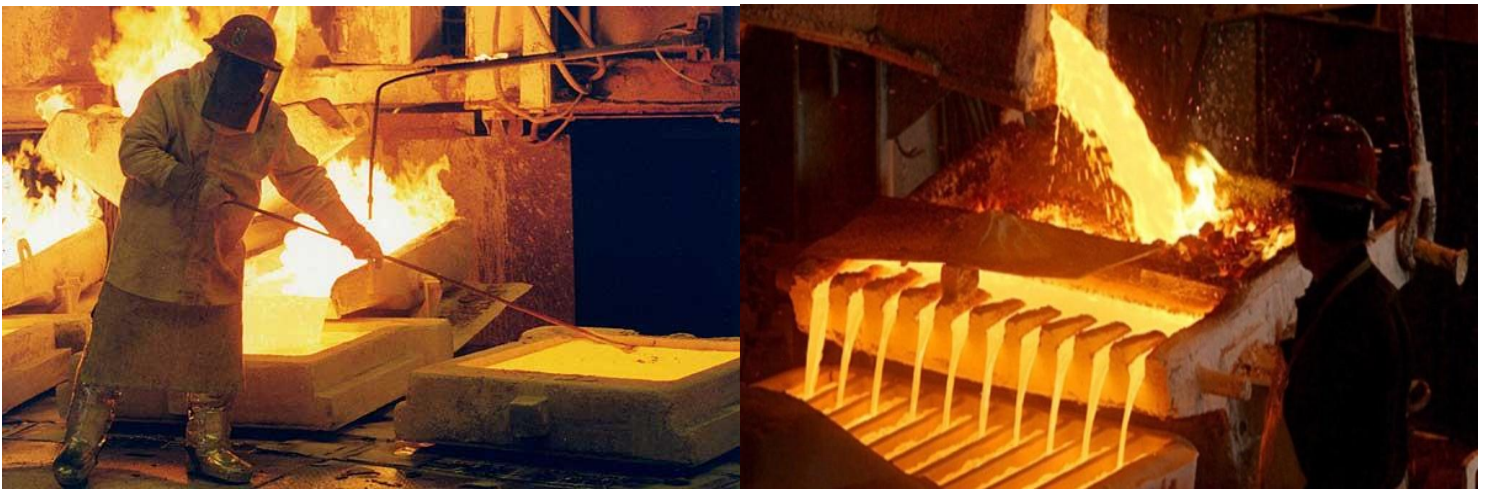


Figura 3.2.1. Refinado de metales.

Los metales obtenidos por los diferentes métodos de la metalurgia extractiva, por lo general contienen impurezas tales como: otros metales, elementos no metálicos, pequeños restos de escoria y gases disueltos, que afectan o favorecen las propiedades del metal o metales de interés.

La remoción de tales impurezas es necesaria para permitir que el metal sea trabajado posteriormente. Un estudio metalúrgico tiene como objetivo definir un proceso que obtenga la máxima recuperación del metal al menor costo permitiendo viabilizar un proyecto.

El separar y extraer los metales de las concentraciones de minerales es un trabajo delicado que requiere mucha destreza. Se hace en la actualidad en fundiciones o refinerías e implica o puede implicar el **Beneficio y la Transformación.**

I. **Beneficio.** Proceso o conjunto de procesos por el cual o cuales se separan la mena y la ganga.

- **Lavado.** Se elimina el lodo y material orgánico presentes en algunos minerales.
- **Trituración.** Disminución del tamaño de los trozos de roca provenientes de la mina.
- **Molienda.** Reducción del tamaño de partículas relativamente gruesas dejadas por la trituración.
- **Homogenización.** Mezcla de la molienda para compensar las variaciones de la granulometría y composición química.
- **Clasificación.** Separación de una mezcla en dos o más fracciones en base al tamaño.
- **Concentración.** Separación del mineral o metal útil de la ganga.
- **Gravimétrica.** Aprovecha la diferencia de densidades del material a separar, utiliza una gran cantidad de agua.
- **Flotación.** Utiliza un proceso físico-químico complejo (reactivos) para la separación de material.
- **Magnética.** Se vale de la atracción de ciertos minerales hacia un campo magnético.

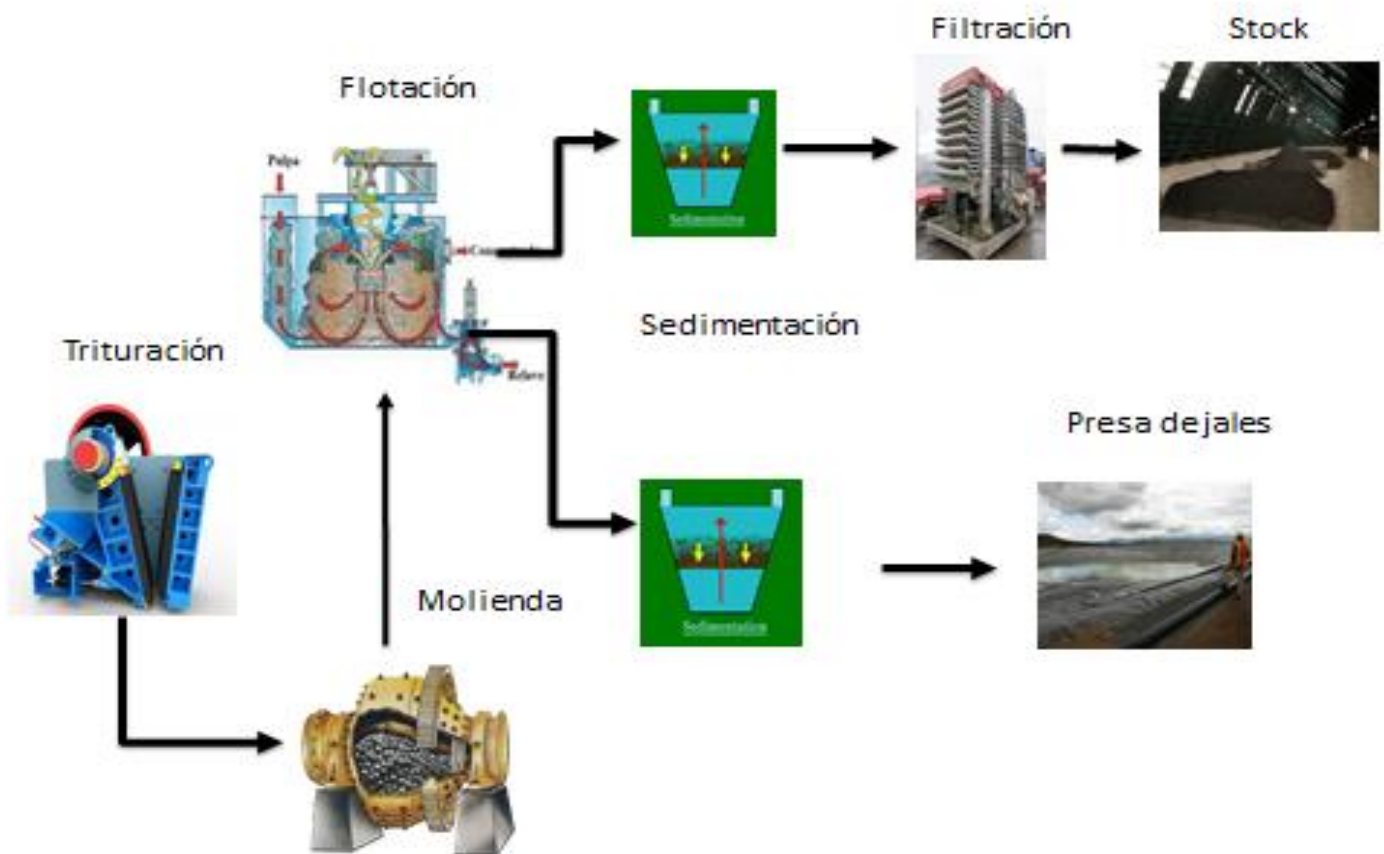


Figura 3.2.2. Beneficio de minerales.

II. Transformación. Modificación mecánica o química del mineral extraído y beneficiado a través de un proceso industrial, después del cual resulta un producto diferente y no identificable con el mineral en su estado natural.

- Hidrometalurgia. Recuperación de los metales de sus menas o de sus concentrados, disolviéndolos mediante algún reactivo para luego precipitarlo (lixiviación).
- Pirometalurgia. Se utiliza calor para la obtención de los metales (tostación, calcinación, coquización, fundición, cocción, secado, refinación, etc.).
- Biometalurgia. Obtención del metal mediante un proceso confiado a la acción de bacterias.
- Electrometalurgia. Trata la extracción y refinación de los metales por el uso de la corriente eléctrica (proceso electrolítico o electrólisis).

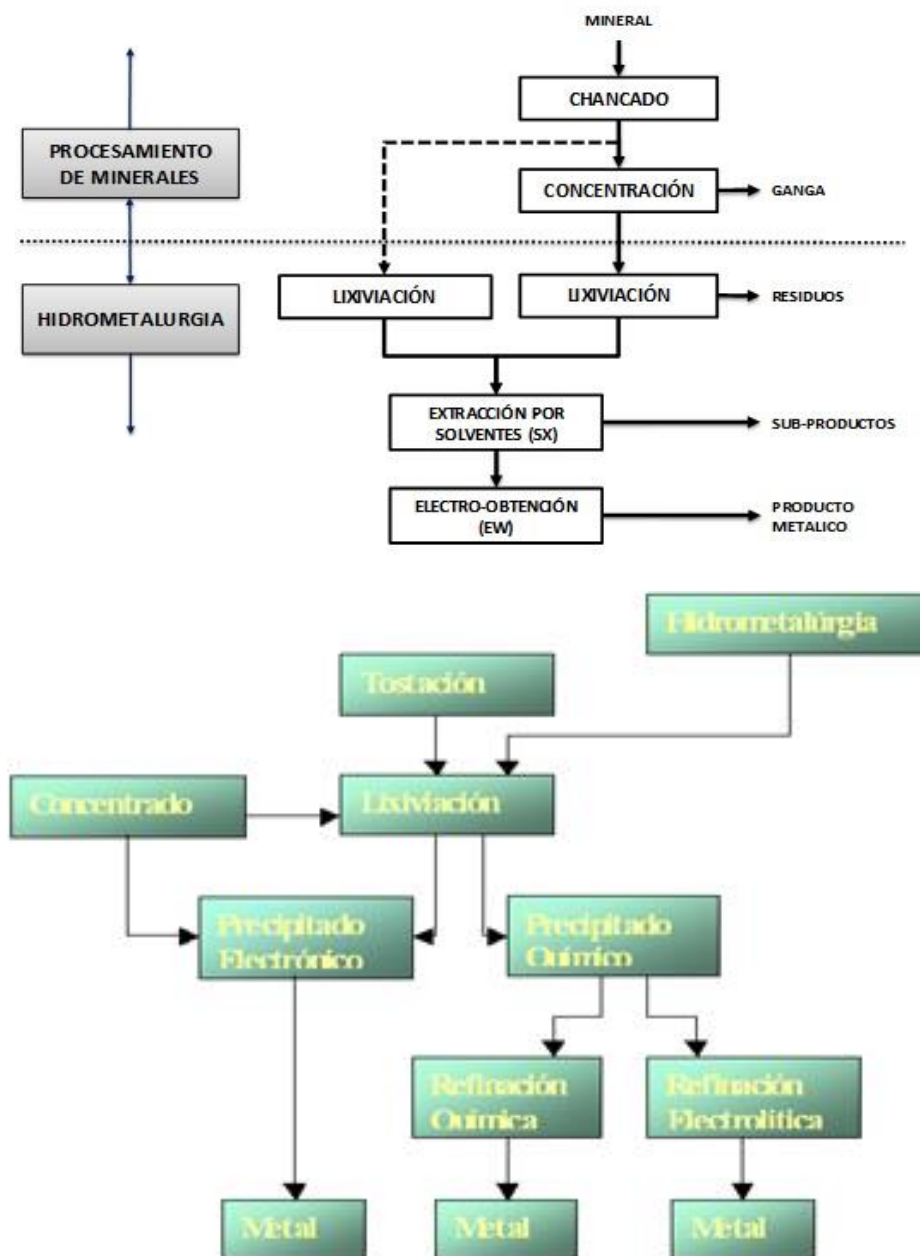


Figura 3.2.3. Ejemplos de la transformación de minerales.

Los tres métodos básicos de refinación son **pirometalúrgico, electrolítico y químico**. Todos estos métodos se basan en las propiedades distintivas de los elementos individuales, como la temperatura de fusión, la densidad, y la electronegatividad. Los metales puros se obtienen frecuentemente mediante el empleo de varios métodos de refinación en sucesión,

⌘ Refinación pirometalúrgica

La refinación pirometalúrgica, que se lleva a cabo a una alta temperatura en una masa fundida, tiene un número de variaciones:

- ✓ **Refinación de oxidación**. Se basa en la tendencia de algunas impurezas para formar compuestos con O, S, Cl, F y que son más estables que los compuestos de la principal metal y estos elementos. Esta técnica se utiliza para refinar Cu, Pb, Zn y Sn.

Por ejemplo, cuando una corriente de aire es forzado a través del cobre fundido, los óxidos se forman mezclas de Fe, Ni, Zn, Pb, Sb, As, y Sn, ya que las mezclas tienen una mayor tendencia a reaccionar con el oxígeno que el cobre; la óxidos de subir a la superficie del tanque y se retiran.

- ✓ **Fusión y separación por densidad (Licuefacción)**. Separación se basa en las diferencias en las temperaturas de fusión y densidades de componentes de la aleación y en el bajo nivel de solubilidad mutua de los componentes.

Por ejemplo, cuando el plomo crudo fundido se enfría, los cristales de cobre (escoria) separar a cabo a temperaturas establecidas y, debido a su baja densidad, flotan en la superficie y se puede quitar. Este método se utiliza para eliminar Cu, Ag, Au, Bi y de plomo crudo, para eliminar el Fe, Cu, Pb y de Zinc en bruto, y para refinar estaño y otros metales.

- ✓ **Recristalización fraccionada**. Utiliza la diferencia en las solubilidades de un aditivo metálico en las fases sólida y líquida y la lenta difusión de impurezas en la fase sólida. Este método se utiliza en la producción de materiales semiconductores y en la preparación de los metales de alta pureza, sino que se emplea en la zona de fusión, la metalurgia del plasma, la eliminación de los cristales individuales a partir de una masa fundida, y la dirigida cristalización.

- ✓ **Destilación**. Se basa en la diferencia entre el punto de ebullición del metal principal y la de las impurezas.

- ❖ **Refinación** se lleva a cabo como un proceso continuo en el que el reflujo se repite volatilización y condensación de la fracción que se separa muchas veces.
- ❖ **Rectificación** se puede acelerar considerablemente si se realiza en un vacío. Este método tiene aplicación en la eliminación de Cd de Zn o Zn de Pb, en la separación de Al y Mg, Ti y en la metalurgia.
- ❖ **La filtración** a vacío de un metal líquido a través de filtros de cerámica elimina las impurezas sólidas suspendidas; el proceso se utiliza en metalurgia Sn.

Cuando el acero es refinado en una cuchara de colada con escoria sintética líquida, la superficie de contacto del metal y la escoria es apreciablemente mayor (debido a la mezcla), que cuando los procesos de refinación se lleva a cabo en un agregado de fusión.

Esto mejora enormemente la eficiencia de desulfuración, defosforación, y desoxidación de metales en la eliminación de impurezas no metálicas. Los gases inertes son soplados a través de acero fundido en un procedimiento de refinado que elimina suspendidas partículas de escoria u óxidos sólidos del metal. Las impurezas se adhieren a las burbujas de gas y flotan en la superficie de la masa fundida.

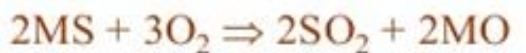
VENTAJAS DE LOS PROCESOS PIROMETALÚRGICOS

1. Bajos requerimientos energéticos (características 1,2,3 y 4).
2. Reductores baratos (1 y 2).
3. Las altas capacidades específicas conducen a bajos costos de inversión y obra de mano (1 y 4).
4. La separación del metal y sus residuos constituye un proceso simple y barato (5).
5. Los metales preciosos son ampliamente recuperados como subproductos (6).
6. El descarte de desechos sólidos es simple (9).

PROCESOS PIROMETALÚRGICOS

TOSTACIÓN

Tostación Oxidante



Tostación clorurante:



Como resultado de la tostación se obtiene

a) $MO = Fe_2O_3, ZnO, CuO; ZnSO_4; Fe_2ZnO_4; MX.$

b) SO_2

REDUCCIÓN DE CARBONATOS Y SILICATOS METÁLICOS

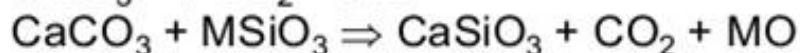
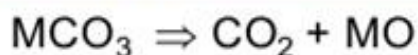


Figura 3.2.4. Ejemplo de la Transformación de minerales.

⌘ Refinado electrolítico

- ✓ Refinación electrolítica, la electrólisis de soluciones acuosas o sal se funde, produce metales de alta pureza. Se utiliza para la purificación completa de la mayoría de los metales no ferrosos.
- ✓ Refinación electrolítica con ánodos solubles implica la disolución del ánodo de los metales a ser purificada y la deposición de los metales puros en el cátodo, en este proceso, los electrones del circuito externo son capturados por iones del metal principal.

La electrólisis puede ser utilizada para separar los metales debido a que el principal metal y mezclas de los tienen diferentes potenciales electroquímicos. Por ejemplo, el potencial de electrodo estándar relativa de Cu a un electrodo normal de hidrógeno-toma como cero-es + 0,346; los valores de Au y Ag son mayores, y las de Ni, Fe, Zn, Mn, Pb, Sn y Co son negativos.

Durante la electrólisis, el cobre se deposita en el cátodo, los metales nobles no se disuelven sino que se depositan en el fondo de la celda electrolítica como una suspensión, y metales con potenciales de electrodo negativos se acumulan en el electrolito, que se limpia periódicamente.

Ocasionalmente en la hidrometalurgia del zinc, por ejemplo-refinación electrolítica se realiza utilizando ánodos insolubles. Aquí, el metal principal es en una solución de la que las impurezas se retiran cuidadosamente de antemano, y durante la electrólisis se deposita en el cátodo como una masa compacta.

Electrolisis de sales fundidas

Una sal fundida es capaz de conducir la electricidad en virtud de que los iones originalmente ordenados en estado sólido se separan y se desplazan libremente a lo largo del líquido. La **electrolisis de sales fundidas** es una estrategia para obtener metales alcalinos y alcalinotérreos el procedimiento consiste en fundir sal y aplicar una corriente eléctrica.

Los productos de la electrolisis de sales fundidas son por lo general metales que se obtiene en el cátodo de la celda como resultado de la reducción de los iones.

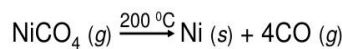
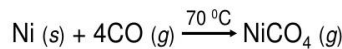
La obtención de sodio metálico, por ejemplo se lleva a cabo mediante un dispositivo que se conoce como celda de Down, en el que se coloca el NaCl fundido y se someten a una corriente eléctrica.

Electrolysis of Aluminum

Bauxite ore is purified to Al_2O_3 , which is mixed with cryolite, a mixture of NaF and AlF_3 , which melts at 1000 C.

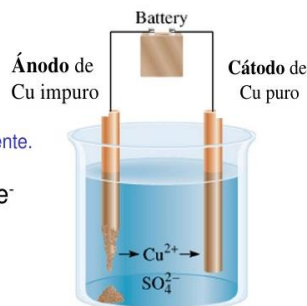
C. Ophardt c.1997

DESTILACION Puede conseguirse mediante destilación si el metal es más volátil que sus impurezas.



ELECTROLISIS

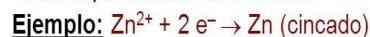
Cu, Ag, Au, Al; se purifican electro químicamente.



→ **Obtención de metales:** Se utiliza industrialmente para obtener metales a partir de sales de dichos metales utilizando la electricidad como fuente de energía.

→ **(Electro)Refinado de metales:** Se utiliza como ánodo un electrodo de un metal con impurezas. En el cátodo se depositarán los átomos ("puros") de este metal.

→ **Recubrimiento de metales (electrodeposición):** Se llama galvanoplastia al proceso de recubrir un objeto metálico con una capa fina de otro metal:



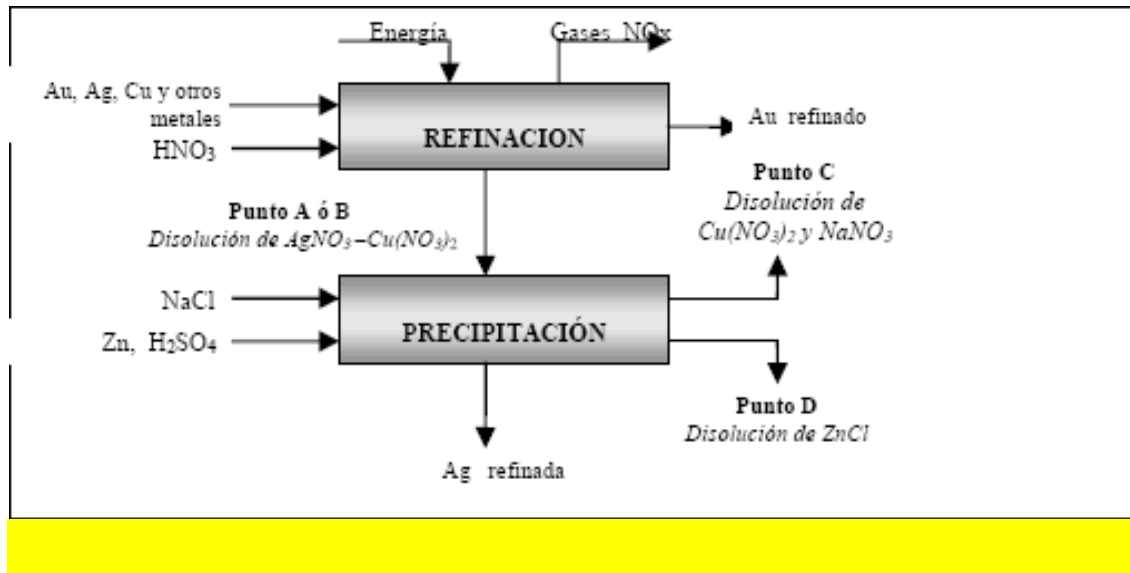
(en este caso los electrones los suministra la corriente eléctrica)

Figura 3.2.5. Descripción del proceso electrolítico, ejemplos y sus aplicaciones.

⌘ Refinado químico.

La refinación química se basa en las diferentes solubilidades de un metal y sus impurezas en soluciones ácidas o alcalinas. Las impurezas se acumulan gradualmente en una solución y se eliminan por medios químicos, tales como la hidrólisis, la cementación, la formación de compuestos escasamente solubles, y purificación por extracción o de intercambio iónico.

El refinado de metales nobles es un ejemplo de refinado químico. El oro (Au) se refina en ebullición sulfúrico o ácido nítrico; Cu, Ag, y otras impurezas metálicas se disuelven, mientras que el oro purificado, que es inmune al ataque con ácido, permanece como un residuo insoluble.



Se adiciona este reactivo para disminuir el contenido de HNO₃ residual en la solución auríca:



Para precipitar el Au se usa una solución de NaHSO₃ al 50% se agrega lentamente formando una nube de sólido y va perdiendo su tonalidad de amarillo naranja a marrón oscuro.

Se agrega 1,89 gr de NaHSO₃ por gramo de Au:



Para probar la existencia de Au en la solución se emplea Cl₂Sn en solución saturada.

El cloruro estañoso II en soluciones neutras o débilmente ácidas forma un precipitado "púrpura" de Cassius de Sn(OH)₂ hidróxido de Sn y oro coloidal.



La ventaja de esta variación es que reduce el tiempo total en la obtención del oro refinado al no entrar ya en el proceso de fundición, además que disminuye las pérdidas por manipuleo, siempre y cuando este se haga con sumo cuidado.

Figura 3.2.6. Proceso de refinación de Oro y de Plata con ácido nítrico.

⌘ Metales ferrosos

El metal de hierro, en su forma cruda tiene un número de impurezas. La refinación es el proceso que libera de las impurezas de metales que contiene, como el silicio, fósforo, manganeso y azufre. Hay varios procesos que se han utilizado durante siglos para refinar el hierro.

Después del siglo XIV se aumentó el tamaño de los hornos utilizados para la fundición y se incrementó el tiro para forzar el paso de los gases de combustión por la carga o mezcla de materias primas. En estos hornos de mayor tamaño el mineral de hierro de la parte superior del horno se reducía a hierro metálico y a continuación absorbía más carbono como resultado de los gases que lo atravesaban.

El producto de estos hornos era el llamado arrabio, una aleación que funde a una temperatura menor que el acero o el hierro forjado. El arrabio se refinaba después para fabricar acero.

La producción moderna de acero emplea altos hornos que son modelos perfeccionados de los usados antiguamente. El proceso de refinado del arrabio mediante chorros de aire se debe al inventor británico Henry Bessemer, que en 1855 desarrolló el horno o convertidor que lleva su nombre.

Desde la década de 1960 funcionan varios mini hornos que emplean electricidad para producir acero a partir de material de chatarra. Sin embargo, las grandes instalaciones de altos hornos continúan siendo esenciales para producir acero a partir de mineral de hierro.

Estos incluyen el proceso de refinamiento y el proceso de Bessemer. Los procesos del proceso de refinación de hierro más antiguo son refinados y el proceso de maduración. El producto resultante de los ornamentos del proceso de refinación de hierro era de hierro forjado. No fue sino hasta el siglo 18 que el charco proceso entró en uso. Este proceso no ha sido muy exitosa.



Figura 3.2.7. Diagrama del procesamiento y obtención de arrabio (composición típica).

Tecnología relacionada con la producción del hierro y sus aleaciones, en especial las que contienen un pequeño porcentaje de carbono, que constituyen los diferentes tipos de acero. A veces, las diferencias entre las distintas clases de hierro y acero resultan confusas por la nomenclatura empleada.

En general, el acero es una aleación de hierro y carbono a la que suelen añadirse otros elementos. Algunas aleaciones denominadas 'hierros' contienen más carbono que algunos aceros comerciales. El hierro de crisol abierto y el hierro forjado contienen un porcentaje de carbono de sólo unas centésimas.

Los distintos tipos de acero contienen entre el 0,04 y el 2,25% de carbono. El hierro colado, el hierro colado maleable y el arrabio contienen entre un 2 y un 4% de carbono. Hay una forma especial de hierro maleable que no contiene casi carbono alguno. Para fabricar aleaciones de hierro y acero se emplea un tipo especial de aleaciones de hierro denominadas ferroaleaciones, que contienen entre un 20 y un 80% del elemento de aleación, que puede ser manganeso, silicio o cromo.

Una vez obtenido el arrabio o el hierro esponja es necesario refinar al hierro para que se transforme en material útil para diferentes objetos o artefactos, o sea en hierro o acero comercial. Aunque casi todo el hierro y acero que se fabrica en el mundo se obtiene a partir de arrabio producido en altos hornos, hay otros métodos de refinado del hierro que se han practicado de forma limitada. Uno de ellos es el denominado método directo para fabricar hierro y acero a partir del mineral, sin producir arrabio.

En este proceso se mezclan mineral de hierro y coque en un horno de calcinación rotatorio y se calientan a una temperatura de unos 950 °C. El coque caliente desprende monóxido de carbono, igual que en un alto horno, y reduce los óxidos del mineral a hierro metálico.

Sin embargo, no tienen lugar las reacciones secundarias que ocurren en un alto horno, y el horno de calcinación produce la llamada esponja de hierro, de mucha mayor pureza que el arrabio. También puede producirse hierro prácticamente puro mediante electrólisis, haciendo pasar una corriente eléctrica a través de una disolución de cloruro de hierro. Ni el proceso directo ni el electrolítico tienen importancia comercial significativa.

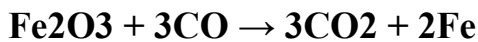
- Se puede obtener hierro a partir de los óxidos con más o menos impurezas. Los principales minerales de hierro son óxidos, pero también otros pueden ser oxidados para lograr procesarlos.
- La reducción de los óxidos para obtener hierro se lleva a cabo en un horno denominado Alto horno. A partir de una reacción química de reducción se desprende el oxígeno del mineral y se libera el hierro.
- Para ello se añaden al horno los minerales de hierro en presencia de coque y carbonato de calcio, CaCO_3 , que actúa como escorificante.
- El arrabio (o hierro fundido) producido en el alto horno contiene un nivel importante de carbono para la producción de acero, por lo que debe ser refinado en hornos básicos de oxígeno o convertidores para generar un acero fundido, que puede ser refinado nuevamente.

Figura 3.2.8. Proceso productivo del hierro.

El arrabio es un producto intermedio del proceso de fundición de las menas del hierro tratadas con coque como combustible y caliza como fundente. También se han usado como combustibles el carbón vegetal y la antracita.

Se obtiene como material fundido en un alto horno mediante reducción del mineral de hierro. Se utiliza como materia prima en la obtención del acero en los hornos siderúrgicos. El arrabio tiene un alto contenido en carbono, generalmente entre 3.5–4.5%,¹ además de sílice y otras impurezas, que lo hacen muy frágil por lo que tiene limitados usos como material.

Los materiales básicos empleados para fabricar arrabio son mineral de hierro, coque y caliza. El coque se quema como combustible para calentar el horno, y al arder libera monóxido de carbono, que se combina con los óxidos de hierro del mineral y los reduce a hierro metálico. La ecuación de la reacción química fundamental de un alto horno es:



La caliza de la carga del horno se emplea como fuente adicional de monóxido de carbono y como sustancia fundente. Este material se combina con la sílice presente en el mineral (que no se funde a las temperaturas del horno) para formar silicato de calcio, de menor punto de fusión. Sin la caliza se formaría silicato de hierro, con lo que se perdería hierro metálico.

El silicato de calcio y otras impurezas forman una escoria que flota sobre el metal fundido en la parte inferior del horno. El arrabio producido en los altos hornos tiene la siguiente composición: un 92% de hierro, un 3 o 4% de carbono, entre 0,5 y 3% de silicio, del 0,25% al 2,5% de manganeso, del 0,04 al 2% de fósforo y algunas partículas de azufre.

El O₂ reacciona con las impurezas y permite su disminución:

C y S se eliminan como CO₂ y SO₂.

El Si forma SiO₂, que se adhiere a la escoria, los óxidos metálicos forman silicatos con el SiO₂

La presencia de CaO ayuda a la eliminación del P, formándose el Ca₃(PO₄)₂.

Figura 3.2.9. Refinación del hierro para obtención de acero.

Un alto horno típico está formado por una cápsula cilíndrica de acero forrada con un material no metálico y resistente al calor, como amianto (asbesto) o ladrillos refractarios. El diámetro de la cápsula disminuye hacia arriba y hacia abajo, y es máximo en un punto situado aproximadamente a una cuarta parte de su altura total. La parte inferior del horno está dotada de varias aberturas tubulares llamadas toberas, por donde se fuerza el paso del aire.

Cerca del fondo se encuentra un orificio por el que fluye el arrabio cuando se sangra (o vacía) el alto horno. Encima de ese orificio, pero debajo de las toberas, hay otro agujero para retirar la escoria. La parte superior del horno, cuya altura es de unos 30 m, contiene respiraderos para los gases de escape, y un par de tolvas redondas, cerradas por válvulas en forma de campana, por las que se introduce la carga en el horno. Los materiales se llevan hasta las tolvas en pequeñas vagonetas o cucharas que se suben por un elevador inclinado situado en el exterior del horno.

Los altos hornos funcionan de forma continua. La materia prima que se va a introducir en el horno se divide en un determinado número de pequeñas cargas que se introducen a intervalos de entre 10 y 15 minutos. La escoria que flota sobre el metal fundido se retira una vez cada dos horas, y el hierro se sangra cinco veces al día.

El aire insuflado en el alto horno se precalienta a una temperatura comprendida entre los 550 y los 900 °C. El calentamiento se realiza en las llamadas estufas, cilindros con estructuras de ladrillo refractario. El ladrillo se calienta durante varias horas quemando gas de alto horno, que son los gases de escape que salen de la parte superior del horno. Después se apaga la llama y se hace pasar el aire a presión por la estufa. El peso del aire empleado en un alto horno supera el peso total de las demás materias primas.

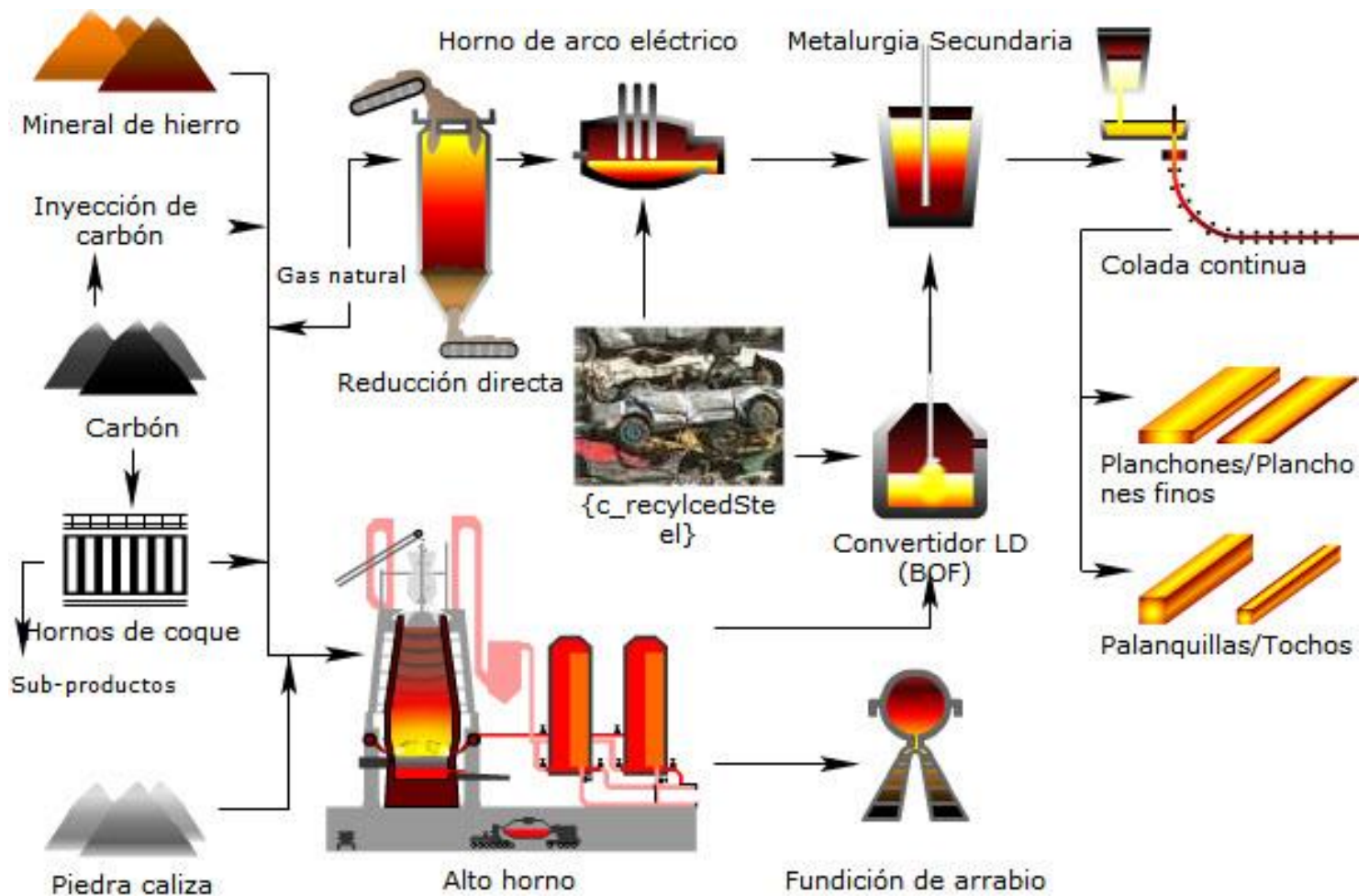


Figura 3.2.10. Proceso de refinación del hierro para obtención de aceros.

Después de la Segunda Guerra Mundial se introdujo un importante avance en la tecnología de altos hornos: la presurización. Estrangulando el flujo de gas de los respiraderos del horno es posible aumentar la presión del interior del horno hasta 1,7 atmósferas o más. La técnica de presurización permite una mejor combustión del coque y una mayor producción de hierro. En muchos altos hornos puede lograrse un aumento de la producción de un 25%. En instalaciones experimentales también se ha demostrado que la producción se incrementa enriqueciendo el aire con oxígeno.

El proceso de sangrado consiste en retirar a golpes un tapón de arcilla del orificio del hierro cercano al fondo del horno y dejar que el metal fundido fluya por un canal cubierto de arcilla y caiga a un depósito metálico forrado de ladrillo, que puede ser una cuchara o una vagoneta capaz de contener hasta 100 toneladas de metal. Cualquier escoria o sobrante que salga del horno junto con el metal se elimina antes de llegar al recipiente. A continuación, el contenedor lleno de arrabio se transporta a la fábrica siderúrgica.

Los altos hornos modernos funcionan en combinación con hornos básicos de oxígeno, y a veces con hornos de crisol abierto, más antiguos, como parte de una única planta siderúrgica. En esas plantas, los hornos siderúrgicos se cargan con arrabio. El metal fundido procedente de diversos altos hornos puede mezclarse en una gran cuchara antes de convertirlo en acero con el fin de minimizar el efecto de posibles irregularidades de alguno de los hornos.

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. En el caso de la refinación del hierro es importante analizar la fase Metal – Escoria, pues aquí el proceso importante es la oxidación y eliminación de las impurezas contenidas en el arrabio y dar continuidad al proceso de la fabricación de acero.

Es el sub producto de la fabricación del arrabio en el alto horno se suele decir "No se hace hierro en el alto horno, se hace escoria". Es decir, que si el horno produce "buena escoria", el funcionamiento del horno y el arrabio obtenido serán también buenos.

Sílice (SiO_2)	18 a 38 %
Alumina (Al_2O_3)	8 a 27 %
Cal (CaO)	30 a 50 %

En general, la suma de la alumina y de la sílice suele variar de 45 a 55 %.

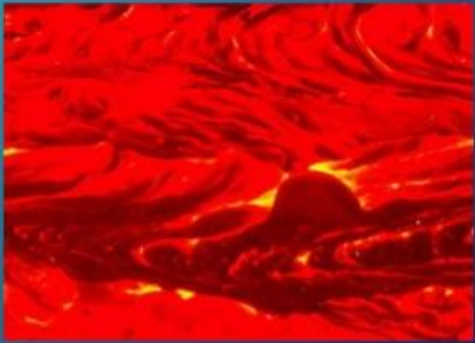


Figura 3.2.11. Descripción de la obtención de arrabio y eliminación de escoria.

❖ Una vez obtenido el arrabio o hierro esponja es necesario refinar el hierro para que se transforme en material útil para las diferentes aplicaciones o sea en hierro o en acero comercial



Figura 3.2.12. Alternativas de los proceso de refinación del arrabio obtenido del alto horno.

⌘ Físicoquímica de la refinación del hierro

- ✓ La mayor parte de las reacciones pirometalúrgicas son heterogéneas, es decir, la interacción se realiza entre sustancias que se encuentran en diferentes fases. La combustión del carbón en los hornos y la reducción de los óxidos de hierro por los gases del horno pueden servir de ejemplo de este tipo de reacciones.
- ✓ Se puede obtener hierro a partir de los óxidos con más o menos impurezas. Muchos de los minerales de hierro son óxidos, y los que no se pueden oxidar para obtener los correspondientes óxidos.
- ✓ La reducción de los óxidos para obtener hierro llevada a cabo en el *alto horno*, como se ha señalado se añaden los minerales de hierro en presencia de coque, C, y carbonato de calcio, CaCO_3 , que actúa como escorificante.
- ✓ La transferencia de las sustancias reaccionantes a la interfase, es decir, a la zona de la reacción. El acto químico de la interacción propiamente dicho.
- ✓ La evacuación de todos los productos de la zona de reacción. Los gases sufren una serie de reacciones; el coque puede reaccionar con el oxígeno para formar dióxido de carbono, con la formación de CO y CO_2
- ✓ Los óxidos de hierro pueden reducirse, parcial o totalmente, con el monóxido de carbono, CO; Conforme se baja en el horno y la temperatura aumenta, reaccionan con el coque (carbono en su mayor parte), reduciéndose los óxidos.
- ✓ El óxido férrico Fe_2O_3 se reduce a $400\text{ }^\circ\text{C}$ por el óxido de carbono, según una reacción reversible que produce el óxido magnético en la parte superior de la cuba.
- ✓ El óxido magnético Fe_3O_4 , se reduce a su vez entre $600\text{ }^\circ\text{C}$ y $700\text{ }^\circ\text{C}$ y, según la concentración de CO, se puede producir las dos reacciones siguientes, en la parte media de la cuba.
- ✓ La primera reacción se produce con mucha facilidad. Por encima de $600\text{ }^\circ\text{C}$ pueden existir en equilibrio los cuatro cuerpos: Fe_3O_4 , FeO, CO y CO_2 con proporciones convenientes de CO y CO_2 .
- ✓ El óxido ferroso introducido en la carga se reduce a su vez entre $900\text{ }^\circ\text{C}$ y $1000\text{ }^\circ\text{C}$, en el vientre del alto horno.
- ✓ El proceso de oxidación de coque con oxígeno libera energía y se utiliza para calentar (llegándose hasta unos $1900\text{ }^\circ\text{C}$ en la parte inferior del horno).
- ✓ En la carga también se encuentran otros óxidos como el MnO, el SiO_2 y el P_2O_5 (anhídrico fosfórico) que pasan a formar la escoria que sobrenada en el baño metálico.
- ✓ Las curvas de Chaudron señalan las posibles reacciones teóricas que se pueden producir a diversas temperaturas entre los óxidos de hierro Fe_2O_3 , Fe_3O_4 y FeO con diferentes proporciones de CO y CO_2 . Es decir, estas curvas señalan las proporciones de CO que se deben rebasar para que se pueda producir a diversas temperaturas la reducción de los diferentes óxidos de hierro.
- ✓ Finalmente se produce la combustión y desulfuración (eliminación de azufre) mediante la entrada de aire. Y por último se separan dos fracciones: la escoria y el arrabio.

⌘ Metales no ferrosos

Cuando el mineral es extraído de la mina, contiene grandes cantidades de sustancias estériles (ganga), en la mayoría de los casos se debe someter a un tratamiento previo de separación (por trituración y molienda, gravimetría, flotación, separación magnética, etc.) Estas operaciones previas por lo general no producen alteraciones en la identidad del mineral.

La siguiente etapa son procesos químicos que se efectúan a altas temperaturas o bien se utilizan soluciones acuosas o corriente eléctrica, esto con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de impurezas (refinación). Después que los metales son refinados, se les somete a diferentes tratamientos físicos y químicos para obtener de ellos determinadas cualidades, adaptándolas a las aplicaciones que se les va a dar.

Concentración: es la operación que nos permite realizar una separación sólido-sólido, previa trituración o molienda. La separación consiste en obtener un producto valioso denominado concentrado y otro constituido por minerales estériles denominado relave. Posteriormente los procesos de metalurgia extractiva transformaran los concentrados en metales de alta pureza o productos de uso industrial.

Los minerales son sólidos naturales inorgánicos, pudiendo ser elementos, como en el caso del diamante (C) o compuestos químicos como en el caso de la halita (NaCl). En los minerales las partículas que los constituyen se disponen ordenadamente dentro de una estructura interna, característica que lo sitúa como solido cristalino, por lo que presentan tres propiedades fundamentales:

- Propiedades estructurales: debido a su estructura cristalina pueden presentar formas geométricas externas, como es el caso del cuarzo (SiO_2), que presenta la forma combinada de prisma hexagonal con bipirámide hexagonal.
- Propiedades físicas: Son muy variables y sirven para identificar al mineral. Por ejemplo, en el caso del oro nativo, podría confundirse con la pinta (FeS_2) por el color y brillo, pero se diferencian porque el primero es muy denso y variable.
- Propiedades químicas: generalmente dependen del grupo aniónico que caracteriza su composición química. Así, agregamos una gotas de HCl a una muestra de calcita (CaCO_3), esta efervescerá debido al desprendimiento de CO_2 durante la reacción, pero esto no ocurriría con el yeso, cuya composición es $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

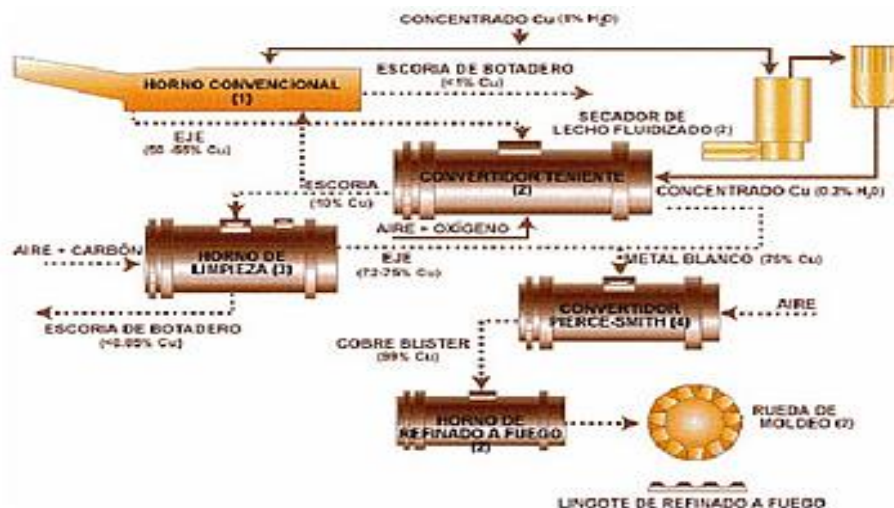


Figura 3.2.13. Ejemplo de los procesos físicos y químicos de refinación de metales.

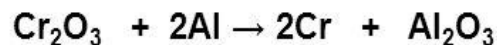
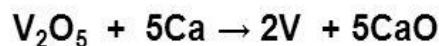
Los metales que consiguen obtener en pirometalurgia, a través de reductores químicos, o por electrólisis, cuentan con una cierta cantidad de otro tipo de elementos que los hacen ser impuros en diferentes grados. Dicho hecho puede afectar de manera negativa a sus propiedades y a sus aplicaciones. Es por este motivo que por lo general, se necesita hacer pasar al metal por un procedimiento de afinamiento o purificación, con el fin de eliminar la mayor parte posible de las impurezas que se encuentran acompañando el metal.

La refinación es la eliminación de impurezas de metales en bruto. Después de la extracción de materias primas, metales en bruto son entre 96 y 99 por ciento de pureza del principal metal, siendo el resto impurezas. Metales en bruto no pueden ser utilizados por la industria en esta etapa debido a la característica inferior en propiedades físicas, químicas, y propiedades mecánicas. Las impurezas que se encuentran en metales en bruto pueden tener un valor elevado en sí mismos, el oro y la plata recuperable de cobre, por ejemplo, pagan el costo total del proceso de refinación.

Los tres métodos básicos de refinación son pirometalúrgico, electrolítico y químico. Todos estos métodos se basan en las propiedades distintivas de los elementos individuales, como la temperatura de fusión, la densidad, y la electronegatividad. Los metales puros se obtienen frecuentemente mediante el empleo de varios métodos de refinación en sucesión.

Procesos:

- a) Reducción Química: Se emplea como agente reductor un metal más electropositivo que otro para separar al metal de interés a partir de la mena a altas temperaturas.



En algunos casos el hidrógeno se emplea como agente reductor

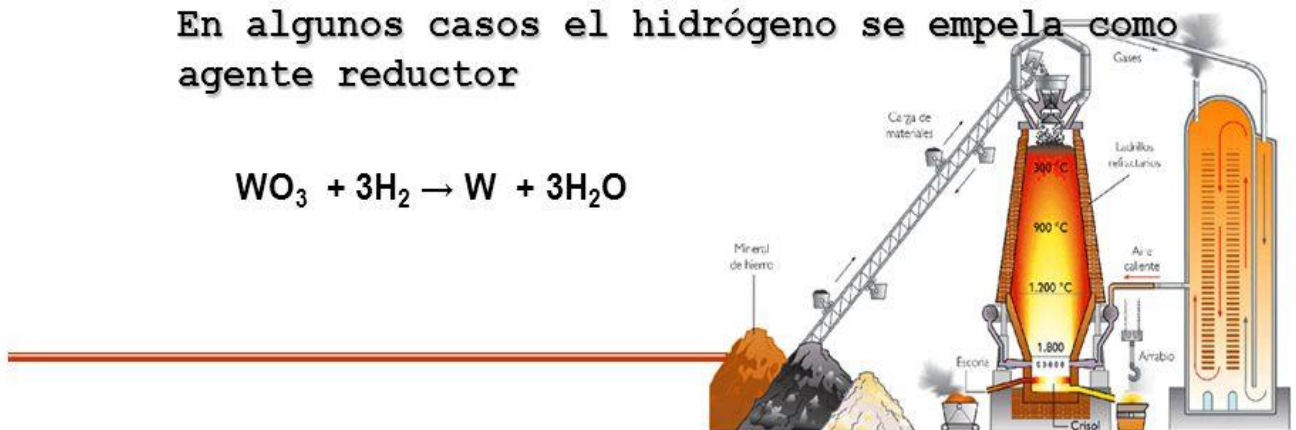
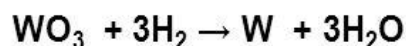


Figura 3.2.14. Ejemplo de la reducción química de ciertos metales.

✓ Refinación pirometalúrgica

La refinación pirometalúrgica, que se lleva a cabo a una alta temperatura en una masa fundida, tiene un número de variaciones. Refinación de oxidación se basa en la tendencia de algunas impurezas para formar compuestos con O, S, Cl, F y que son más estables que los compuestos de la principal metal y estos elementos.

Esta técnica se utiliza para refinar Cu, Pb, Zn y Sn. Por ejemplo, cuando una corriente de aire es forzado a través del cobre fundido, los óxidos se forman mezclas de Fe, Ni, Zn, Pb, Sb, As, y Sn, ya que las mezclas tienen una mayor tendencia a reaccionar con el oxígeno que el cobre; la óxidos de subir a la superficie del tanque y se retiran.

○ Fusión y separación por densidad (Licuefacción)

Separación se basa en las diferencias en las temperaturas de fusión y densidades de componentes de la aleación y en el bajo nivel de solubilidad mutua de los componentes.

Por ejemplo, cuando el plomo crudo fundido se enfría, los cristales de cobre (escoria) separar a cabo a temperaturas establecidas y, debido a su baja densidad, flotan en la superficie y se puede quitar. Este método se utiliza para eliminar Cu, Ag, Au, Bi y de plomo crudo, para eliminar el Fe, Cu, Pb y de Zinc en bruto, y para refinar estaño y otros metales.

○ Recristalización fraccionada

Utiliza la diferencia en las solubilidades de un aditivo metálico en las fases sólida y líquida y la lenta difusión de impurezas en la fase sólida. Este método se utiliza en la producción de materiales semiconductores y en la preparación de los metales de alta pureza, sino que se emplea en la zona de fusión, la metalurgia del plasma, la eliminación de los cristales individuales a partir de una masa fundida, y la dirigida cristalización.

○ Purificación por zonas

Este método, también llamado afino por zonas, se usa para obtener metales con alto grado de pureza, como puede ser el caso del silicio que se usa en la fabricación de semiconductores. Se realiza un sistema de calefacción eléctrica a través de inducción que se encuentre rodeado por una barra de metal en bruto.

Cuando el sistema se desplaza a lo largo de la barra, el metal en sí se funde, disolviéndose en él la gran parte de las impurezas. La zona que se funde, es más soluble en el fundido que un metal sólido, va pasando y arrastrándolas a lo largo de toda la barra. Cuando la zona que está fundida llega al final de la barra, se condensa al enfriarse, y se corta. La repetición del procedimiento repetidas veces llevará a alcanzar un metal con una pureza superior del 99.99%.

○ Afino por oxidación

Éste es el proceso que ya se ha descrito para la purificación del hierro en estado bruto, así como la fabricación del acero. Por lo general, una vez se ha fundido el metal bruto, pueden pasar a eliminarse sus impurezas a través de la reacción con el oxígeno; formándose óxidos desprendido en forma de gas, u óxidos que reaccionan con algunos productos presentes y que se suelen separar como escoria. En el caso del acero, las impurezas que contienen de carbono, silicio, manganeso y azufre, disminuyen de manera controlada hasta llegar a los valores que se desean para cada tipo de acero.

○ Afino por destilación

Algunos de los procedimientos de purificación más usados son: a través de destilación, por zonas, electrolítico, mediante oxidación y por fusión. Los metales que poseen puntos de ebullición más bien bajos, como puede ser el caso del mercurio o el cinc, se pueden conseguir separar de otros metales que los hacen impuros, a través de la destilación fraccionada.

Para realizar esta técnica de destilación, debe haber una suficiente diferencia entre los diferentes puntos de ebullición de los metales, es decir, del metal que nos interesa purificar y de los metales que lo acompañan. De esta manera, puede conseguirse uno de los metales a modo de vapor, mientras que los demás se mantienen en estado líquido. Así por ejemplo, el cinc, que tiene un punto de ebullición de 906°C, puede ser separado de sus impurezas de plomo o cadmio, a través de destilación fraccionada, pues los puntos de ebullición de los otros dos metales son respectivamente, 1725°C y 765°C.

Se basa en la diferencia entre el punto de ebullición del metal principal y la de las impurezas. Refinación se lleva a cabo como un proceso continuo en el que el reflujo se repiten volatilización y condensación de la fracción que se separa muchas veces. Rectificación se puede acelerar considerablemente si se realiza en un vacío. Este método tiene aplicación en la eliminación de Cd de Zn o Zn de Pb, en la separación de Al y Mg, Ti y en la metalurgia. La filtración a vacío de un metal líquido a través de filtros de cerámica elimina las impurezas sólidas suspendidas; el proceso se utiliza en metalurgia Sn.

Cuando el acero es refinado en una cuchara de colada con escoria sintética líquida, la superficie de contacto del metal y la escoria es apreciablemente mayor (debido a la mezcla), que cuando los procesos de refinación se lleva a cabo en un agregado de fusión. Esto mejora enormemente la eficiencia de desulfuración, defosforación, y desoxidación de metales en la eliminación de impurezas no metálicas. Los gases inertes son sopladados a través de acero fundido en un procedimiento de refinado que elimina suspendidas partículas de escoria u óxidos sólidos del metal. Las impurezas se adhieren a las burbujas de gas y flotan en la superficie de la masa fundida.

Procesos metalúrgicos

a) Se prepara la mena
b) Se obtiene el metal
c) Se afina el metal

a) En el tratamiento de una mena, puede separarse el mineral deseado de la ganga (generalmente arcillas y minerales de silicato) mediante

- * flotación: la mena se muele y se vierte en una mezcla de agua con aceite y detergente, y se bate para formar espuma. La ganga se deposita en el fondo, mientras que el aceite moja el mineral de interés que se mezcla con la espuma. La espuma se recoge y se seca, separando el mineral.
- * Si son minerales ferro magnéticos (Fe, Ni) pueden separarse con electroimanes.
- * Muchos metales forman amalgamas con mercurio, y luego se separa el Hg por destilación
- * Por tostación, se eliminan impurezas volátiles y se convierten carbonatos y sulfuros en óxidos metálicos más fáciles de reducir.

Figura 3.2.15. Procedimientos de procesos metalúrgicos.

✓ Refinado electrolítico

Ciertos metales, como el cobre, la plata o el oro, a través de electrólisis se purifican. Por ejemplo, el cobre que se consigue por tostación partiendo del sulfuro de cobre, suele tener un contenido de impurezas en pequeñas cantidades de otros metales. Por electrólisis de cobre bruto, el cual hace el papel de ánodo, se recoge en el cátodo el cobre con una alta pureza, lo que es crucial para su posterior utilización como conductor eléctrico.

La electrólisis puede ser utilizado para separar los metales debido a que el principal metal y mezclas de los tienen diferentes potenciales electroquímicos. Por ejemplo, el potencial de electrodo estándar relativa de Cu a un electrodo normal de hidrógeno-toma como cero-es + 0,346; los valores de Au y Ag son mayores, y las de Ni, Fe, Zn, Mn, Pb, Sn y Co son negativos.

Durante la electrólisis, el cobre se deposita en el cátodo, los metales nobles no se disuelven sino que se depositan en el fondo de la celda electrolítica como una suspensión, y metales con potenciales de electrodo negativas se acumulan en el electrolito, que se limpia periódicamente.

Ocasionalmente-en la hidrometalurgia del zinc, por ejemplo-refinación electrolítica se realiza utilizando ánodos insolubles. Aquí, el metal principal es en una solución de la que las impurezas se retiran cuidadosamente de antemano, y durante la electrólisis se deposita en el cátodo como una masa compacta.

Mediante la electrorefinación se transforman los ánodos producidos en el proceso de fundición a cátodos de cobre electrolítico de alta pureza. El proceso de electro refinación constituye la etapa terminal del proceso de beneficio de minerales sulfurados y mixtos de cobre, que contempla las siguientes operaciones unitarias:

- Chancado
- Molienda
- Flotación
- Conversión
- Fusión
- Electrorefinación

Refinación electrolítica, la electrólisis de soluciones acuosas o sal se funde, produce metales de alta pureza. Se utiliza para la purificación completa de la mayoría de los metales no ferrosos.

Refinación electrolítica con ánodos solubles implica la disolución del ánodo de los metales a ser purificada y la deposición de los metales puros en el cátodo, en este proceso, los electrones del circuito externo son capturados por iones del metal principal.

Ejemplo de la electrorefinación del cobre

La electrorefinación es un proceso que se lleva a cabo en las celdas electrolíticas en donde se ponen alternadamente un ánodo de cobre blister y un cátodo inicial de cobre puro en una solución de ácido sulfúrico.

A esta instalación se le aplica una corriente eléctrica continua de baja intensidad, que hace que se disuelva el cobre del ánodo y se deposite en el cátodo inicial, lográndose cátodos de 99,99% de cobre y un peso entre 150 y 165 kg.

La electrorefinación tiene dos objetivos:

- a) Eliminar las impurezas que dañan las propiedades eléctricas y mecánicas del cobre.
- b) Separar las impurezas valiosas del cobre, estas pueden ser recuperadas después como subproductos metálicos.

La electrólisis consiste en hacer pasar una corriente eléctrica por una solución de ácido sulfúrico y agua. Durante la electrólisis se oxida el ánodo, y los iones de cobre (Cu^{2+}) se dirigen al cátodo, donde se depositan como cobre metálico.

Los componentes del ánodo que no se disuelven, se depositan en el fondo de las celdas electrolíticas, formando lo que se conoce como barro anódico el cual es bombeado y almacenado para extraerle su contenido metálico y tiene las siguientes características:

- a) Utilización de solución ácida de CuSO_4 como electrolito, ánodos de cobre (99,7% de pureza) y láminas de arranque como cátodos (99,99% de pureza) como promedio.
- b) El proceso facilita la separación del cobre de otras impurezas en el ánodo, siendo adecuada para la producción industrial del cobre de alta pureza.
- c) Los metales preciosos como Au, Ag, Pt, etc. contenidos en los ánodos son separados como materiales insolubles, pudiendo ser recuperados ventajosamente del fango electrolítico.
- d) Amplio rango de condiciones de operación: temperatura, densidad de corriente, etc.
- e) Desde el punto de vista en que la electrodeposición es excelente y uniforme, la construcción de un tanque y el método de circulación son simples y adecuados para una buena producción a bajo costo en comparación con otros procesos.

- Comportamiento del Cobre durante la Electrolisis

1. Proceso Anódico:

En el ánodo el cobre por el paso de la corriente, se producen una reacción de oxidación disolviéndose el cobre en forma de ion cuproso y pasando éste a la solución, por tanto consumirá energía siendo la reacción la siguiente:



2. Proceso Catódico:

- a) Transporte del catión a través de la capa de la solución a la superficie del cátodo.
- b) Se produce una reacción de reducción del catión por medio de los electrones que pasan del cátodo formándose el metal con liberación de energía como se muestra en la reacción:



3. Como último paso es la introducción del átomo del metal formado dentro de la red cristalina del cátodo dando como resultado el crecimiento del cátodo.

- Sistemas de Afino Electrolítico

1. Sistema Múltiple:

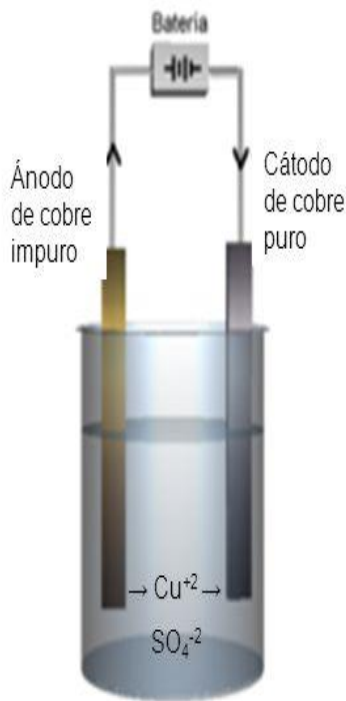
Llamado también Sistema de Conexión en Paralelo, en el cual los ánodos y los cátodos se conectan en paralelo entre dos barras colectoras pesadas que están montadas en los lados de las cubas electrolíticas.

2. Sistema en Serie:

En este sistema los electrodos se colocan en posición vertical en el tanque y mientras un electrodo terminal se conecta al conductor positivo, el otro lo está al negativo.

b) Electrólisis:

Purificación electrolítica del cobre:



- ✓ Impurezas: Zn, Fe, Ag, Au
- ✓ Ánodo (oxidación) $\text{Cu (s)} \rightarrow \text{Cu}^{2+} (\text{ac}) + 2\text{e}^-$
- ✓ Cátodo (reducción) $\text{Cu}^{2+} (\text{ac}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu (s)}$
- ✓ Los metales reactivos en el ánodo de cobre (Fe, Zn) se oxidan y pasan a la disolución como Fe^{2+} y Zn^{2+} ; no se reducen en el cátodo.
- ✓ Los metales menos electropositivos (Au, Ag) se oxidan en el ánodo.
- ✓ A medida que se disuelve al ánodo estos metales caen al fondo de la celda.
- ✓ Pureza obtenida: $\uparrow 99.95\%$

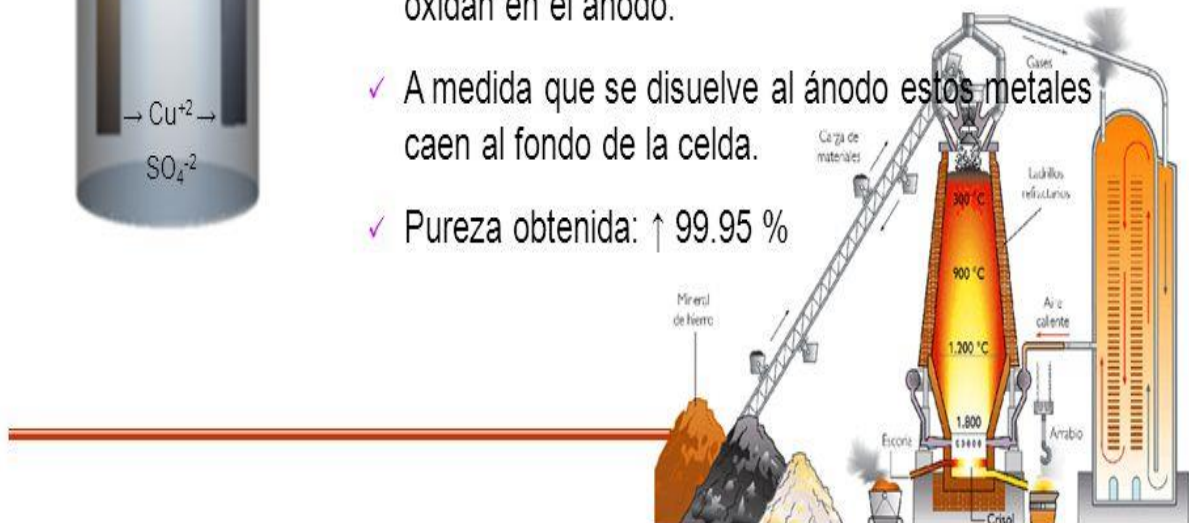


Figura 3.2.16. Ejemplo de la electrorefinación del cobre.

La mayoría de los metales, aun cuando pasan por un proceso de reducción para eliminar el oxígeno, no son lo suficientemente puros para uso comercial; deben ser refinados. Esto se ilustra con un aluminio en mineral que contiene algo de hierro, y puesto que el hierro se reduce más fácilmente que el aluminio, cualquier cantidad de hierro en el mineral aparecerá también en el metal.

De manera similar, una cierta porción del silicio o del fósforo en un mineral de hierro aparece en el hierro metálico que es extraído, debido a que estos elementos son reducidos en forma parcial junto con el hierro. Por regla general, estas impurezas son indeseables; por lo tanto deben ser eliminadas.

Nuevamente, para lograr lo anterior existe una gran variedad de procesos metalúrgicos disponibles. Describiremos solamente uno de ellos, el proceso de oxígeno básico, el cual es relativamente nuevo. Supongamos que tenemos hierro en estado fundido conteniendo 2%p de silicio y 3.5%p de carbono.

La composición dada es correcta si queremos usar el metal para ciertas fundiciones de hierro, pero debemos bajar los contenidos de silicio y carbono si va a ser usada en aceros de baja aleación. Invariablemente se usará oxígeno para separar selectivamente esas dos impurezas.

Debe anotarse, sin embargo, que no se podrá tener una simple reversión de la reducción inicial que antes describimos, puesto que el hierro se oxidaría junto con el silicio y el carbono. En términos sencillos, usamos una escoria rica en CaO debido a que posee una gran afinidad para el SiO₂ que se forma es desactivado por el CaO en la escoria.

La oxidación del carbono produce CO y CO₂ productos que salen del horno en forma de gases. Aunque algo de hierro puede oxidarse y disolverse en la escoria, esta pérdida puede minimizarse con un control adecuado de la temperatura y del tiempo. El paso final en la producción de un metal es el solidificarlo en una lingotera, o moldearlo directamente en la forma deseada. Un lingote es simplemente una masa alargada y solidificada de metal que puede, subsecuentemente, ser deformada mecánicamente por laminado o forjado.

Una de las principales consideraciones técnicas al hacer una fundición es el hecho de que el volumen se reduce cuando el metal cambia de líquido a sólido. Con muy raras excepciones –por ejemplo el metal para "tipos", usados en las imprentas- la solidificación se ve acompañada de una contracción. Por esta razón una reserva, usualmente llamada cabeza de alimentación, debe encontrarse dispuesta en la colada de manera que alimente material fundido adicional dentro del molde mientras que ésta se enfría (solidificación).

También se debe tener cuidado que los canales de alimentación no se solidifiquen y que obstruyan el flujo del metal fundido hacia las partes mayores que aún no se estén solidificando. El metalurgista puede compensar parcialmente este problema usando enfriadores, o amortiguadores de calor en las partes cercanas a las secciones más grandes de la fundición, incrementando así la velocidad de enfriamiento en esas zonas.



Figura 3.2.17. Formas de refinación de metales no ferrosos.

Un sistema de fundición, para obtener resultados satisfactorios, debe ser diseñado por una persona con considerable conocimiento técnico y una amplia experiencia.

○ Afino por fusión

Al calentarse el metal justo por encima del punto de fusión, algunos metales como puede ser el caso del estaño, pueden llegar a purificarse, aunque el metal funde, no pasa lo mismo con sus impurezas, lo cual permite la fácil separación. El afino es el proceso de descarburización y eliminación de impurezas al que se somete el arrabio (hierro de primera fundición con alto porcentaje de carbono) para la obtención del acero.

Este método de fusión se emplea para producir aceros de calidad superior partiendo de fundición, o bien acero si se trata de refinarlo. Se efectúa en hornos de crisol. Los más sencillos son los llamados de viento libre. El crisol es de grafito o de acero inoxidable (20% de níquel y 25% de cromo) y suele calentarse externamente, mediante carbón, gas o petróleo; o, más corrientemente, por inducción.

Los hornos de crisol calentados por inducción se emplean para fabricar aceros inoxidable refractarios, aceros magnéticos, etc. Íntimamente relacionado con el acero al crisol, se encuentra el acero al vacío. Se denomina así el acero resultante cuando, en algún momento del proceso, el líquido se encuentra rodeado por una disminución de la presión atmosférica. Esto facilita que se eliminen los gases ocluidos en el metal líquido, como son el óxido de carbono, el oxígeno, el hidrógeno, el plomo, etc.

○ Afino al aire

Consiste en lanzar aire comprimido a través de la fundición en estado de fusión, con lo cual, oxidándose los cuerpos extraños que contiene, particularmente el carbono, aquélla se transforma en acero o hierro. Para que el afino se haga en buenas condiciones, es indispensable que la temperatura del baño sea siempre superior a la del punto de fusión del metal en los diversos grados de su transformación, el cual se eleva a medida que adelanta el proceso.

○ Afino sobre solera

Consiste en descarburar la fundición partiendo de chatarra de hierro y acero y mineral de hierro. Se utilizan los hornos Martin-Siemens, que se llaman así por deberse a estos dos metalúrgicos.

○ Afino al horno eléctrico

Este método tiene la ventaja de que el metal puede ser tratado sin intervenir el aire atmosférico, con lo cual se evita calentar inútilmente gases inertes, y siendo la fuerte concentración de calor favorable por disminuir las pérdidas por conducción y radiación; así se logran productos puros y de una calidad determinada previamente. La temperatura alcanzada puede ser mayor que en cualquiera de los hornos reseñados anteriormente. Además Se evita casi en su totalidad la reoxidación del acero.

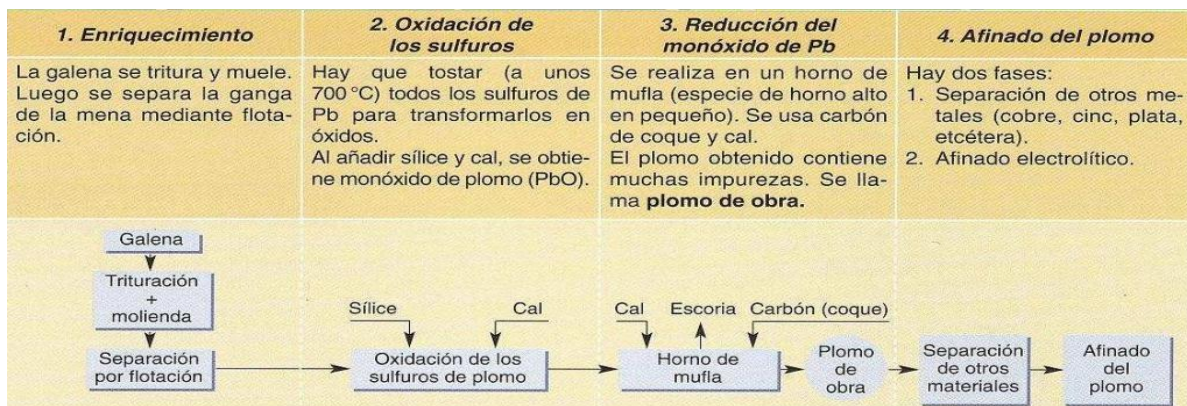
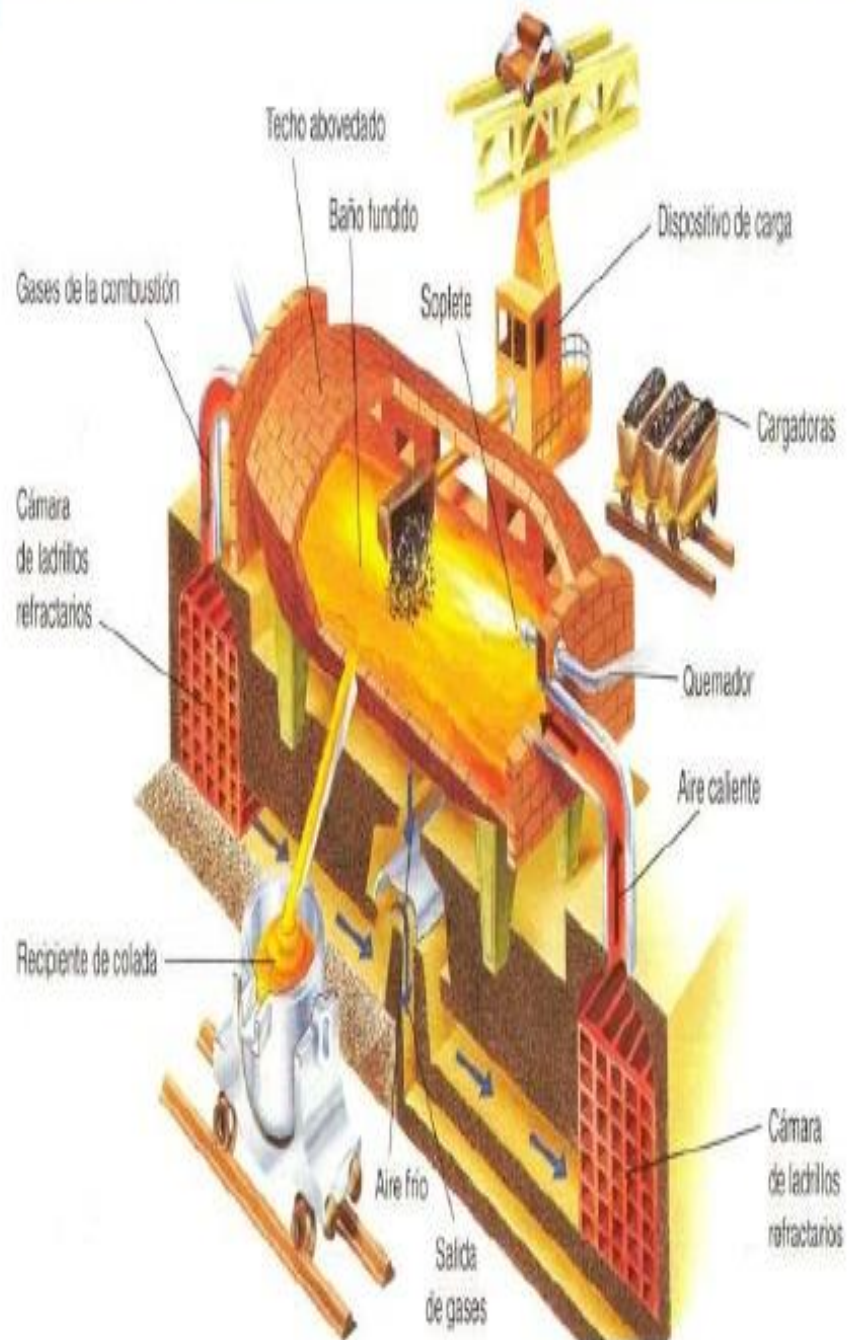


Figura 3.2.18. Ejemplo de procesos de afino del plomo.

Proceso de Afino en horno Martin-Siemens o de hogar abierto:

- El horno es un recipiente rectangular con puertas para combustible y gases en ambos extremos.
- Estas puertas deben dirigir los gases hacia abajo, hacia la carga o baño del metal.
- La llama y los gases calientes pasan por encima del baño y salen por el extremo opuesto del horno.
- Los gases de la combustión atraviesan uno o dos regeneradores antes de perderse en la chimenea; frecuentemente se colocan calderas después de los regeneradores para recuperar el calor perdido y conseguir la mejor recuperación posible de los productos de la combustión mediante válvulas refrigeradas con agua y entonces al horno se le calienta desde el extremo opuesto.



3.3. Principios, tipos y procedimientos de desoxidación de metales ferrosos y no ferrosos.

Se denomina reacción de reducción-oxidación, de óxido-reducción o, simplemente, reacción redox, a toda reacción química en la que uno o más electrones se transfieren entre los reactivos, provocando un cambio en sus estados de oxidación. Para que exista una reacción de reducción-oxidación, en el sistema debe haber un elemento que ceda electrones, y otro que los acepte:

- ✓ El agente oxidante es aquel elemento químico que tiende a captar esos electrones, quedando con un estado de oxidación inferior al que tenía, es decir, siendo reducido.
- ✓ El agente reductor es aquel elemento químico que suministra electrones de su estructura química al medio, aumentando su estado de oxidación, es decir, siendo oxidado.

Cuando un elemento químico reductor cede electrones al medio, se convierte en un elemento oxidado, y la relación que guarda con su precursor queda establecida mediante lo que se llama un «par redox». Análogamente, se dice que, cuando un elemento químico capta electrones del medio, este se convierte en un elemento reducido, e igualmente forma un par redox con su precursor oxidado. Cuando una especie puede oxidarse, y a la vez reducirse, se le denomina anfótero, y al proceso de la oxidación-reducción de esta especie se le llama anfoterización.

The diagram is organized into several colored boxes. At the top left, a light blue box defines oxidation as gaining oxygen, with the example $2\text{Ca} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CaO}$ and the note 'El Ca se oxida, ya que gana oxígeno'. At the top right, a light green box defines reduction as losing oxygen, with the example $\text{CoO} + 2\text{H}_2 \longrightarrow \text{Co} + \text{H}_2\text{O}$ and the note 'El Co se reduce, ya que pierde oxígeno'. In the middle, a light green box shows both processes occurring simultaneously in the reaction $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \longrightarrow 4\text{Fe} + 3\text{CO}_2$, with the note 'El hierro se reduce (pierde oxígeno) y el carbono se oxida (gana oxígeno)'. At the bottom left, a yellow box defines oxidation as losing electrons, with the example $\text{Mg} \longrightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$ and the note 'El Mg se oxida ya que pierde electrones'. At the bottom right, a yellow box defines reduction as gaining electrons, with the example $\text{S} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{S}^{2-}$ and the note 'El S se reduce ya que gana electrones'. Finally, two dark blue boxes at the bottom define the roles: 'Agente reductor: cede e⁻ (se oxida)' and 'Agente oxidante: gana e⁻ (se reduce)'.

Figura 3.3.1. Conceptos y ejemplos de las reacciones de oxidación - reducción.

⌘ Oxidación

La oxidación es una reacción química donde un elemento cede electrones, y por lo tanto aumenta su estado de oxidación.

Se debe tener en cuenta que en realidad una oxidación o una reducción es un proceso por el cual cambia el estado de oxidación de un compuesto. Este cambio no significa necesariamente un intercambio de iones. Implica que todos los compuestos formados mediante un proceso redox son iónicos, puesto que es en estos compuestos donde sí se da un enlace iónico, producto de la transferencia de electrones.

Estas dos reacciones siempre se dan juntas; es decir, cuando una sustancia se oxida, siempre es por la acción de otra que se reduce. Una cede electrones y la otra los acepta. Por esta razón, se prefiere el término general de reacciones redox.

La vida misma es un fenómeno redox. El oxígeno es el mejor oxidante que existe debido a que la molécula es poco reactiva (por su doble enlace), y sin embargo es muy electronegativo. El nombre de "oxidación" proviene de que, en la mayoría de estas reacciones, la transferencia de electrones se da mediante la adquisición de átomos de oxígeno (cesión de electrones) o viceversa. Sin embargo, la oxidación y la reducción puede darse sin que haya intercambio de oxígeno de por medio.

Ejemplo:

El hierro puede presentar dos formas oxidadas:

- Óxido de hierro (II): FeO.
- Óxido de hierro (III): Fe₂O₃.

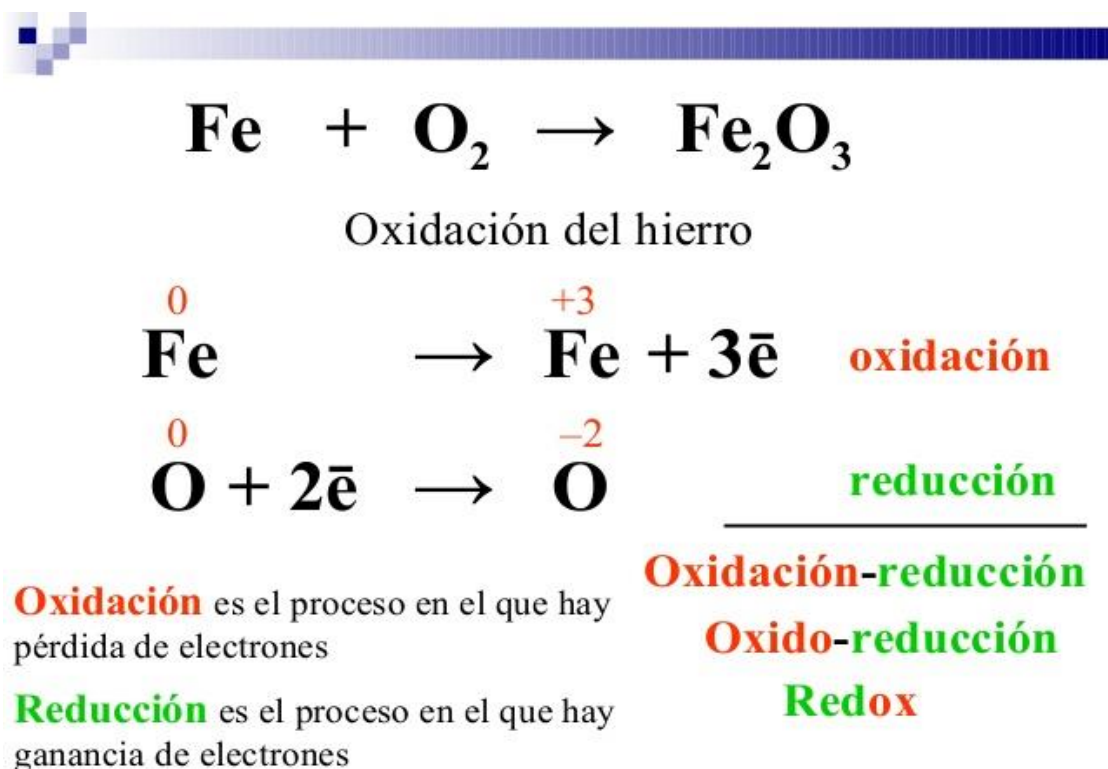


Figura 3.3.2. Ejemplo de la reacción de oxidación del hierro.

⌘ Reducción

En química, reducción es el proceso electroquímico por el cual un átomo o un ion ganan electrones. Implica la disminución de su estado de oxidación. Este proceso es contrario al de oxidación.

Cuando un ion o un átomo se reducen presenta estas características:

Actúa como agente oxidante.

Es reducido por un agente reductor.

Disminuye su estado o número de oxidación.

Ejemplo

El ion hierro (III) puede ser reducido a hierro (II):

- Fe^{3+}
- $+ \text{Fe}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$

Reacciones Redox: Ejemplos

Ejemplo: Comprobar que la reacción de formación de hierro: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{CO} \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$ es una reacción redox. Indicar los E.O. de todos los elementos antes y después de la reacción .



Reducción: El Fe disminuye su E.O. de “+3” a “0” luego se reduce (cada átomo de Fe captura 3 electrones).

Oxidación: El C aumenta su E.O. de “+2” a “+4” luego se oxida (en este caso pasa de compartir $2e^-$ con el O a compartir los 4 electrones).

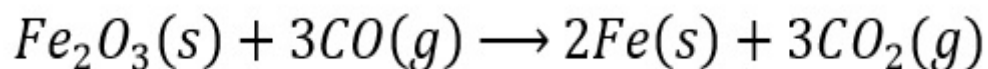


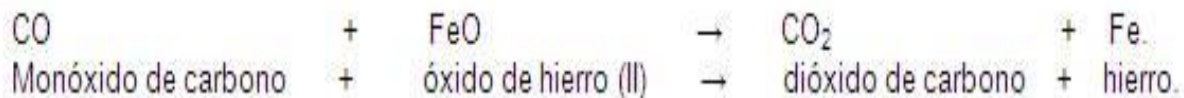
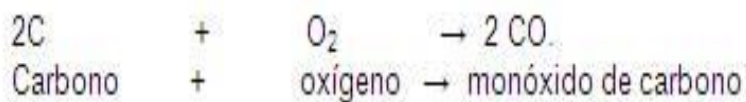
Figura 3.3.3. Ejemplo de la reacción de reducción del hierro.

⚡ Reacciones de oxidación y reducción de la refinación del hierro

La combustión es una reacción química de reducción-oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de energía, en forma de calor y luz, manifestándose visualmente como fuego.

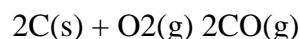
En toda combustión existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente), generalmente oxígeno en forma de O_2 gaseoso. Los explosivos tienen oxígeno ligado químicamente, por lo que no necesitan el oxígeno del aire para realizar la combustión.

Los tipos más frecuentes de combustible son los materiales orgánicos que contienen carbono e hidrógeno. En una reacción completa todos los elementos tienen el mayor estado de oxidación. Los productos que se forman son el dióxido de carbono (CO_2) y el agua, el dióxido de azufre (SO_2) (si el combustible contiene azufre) y pueden aparecer óxidos de nitrógeno (NO_x), dependiendo de la temperatura y la cantidad de oxígeno en la reacción.

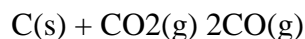


El mineral de hierro, carbón de coque y piedra caliza se cargan por la parte superior del alto horno. Por la parte inferior, se inyecta aire caliente para facilitar los procesos químicos. Las principales reacciones químicas que ocurren en el alto horno son: la generación de gases reductores, la reducción de los óxidos de hierro y la formación de escorias.

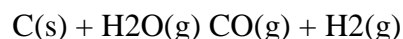
La fuente de gases reductores (CO y H_2) es la combustión del coque. El carbón se quema en la parte inferior del horno, donde la temperatura es muy alta, originando monóxido de carbono a medida que asciende, como se puede ver en la ecuación siguiente:



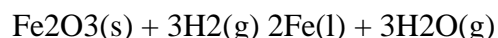
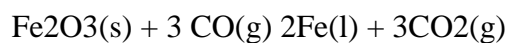
A estas altas temperaturas, cualquier formación de CO_2 es reducida por las capas superiores de coque, según:



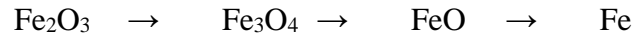
El vapor de agua presente en los gases inyectados reacciona también con el coque, de acuerdo a la siguiente ecuación:



Los óxidos de hierro son reducidos por el $H_2(g)$ y el $CO(g)$ obteniéndose hierro fundido, según:



A temperaturas superiores a 555 °C, la reducción de los óxidos de hierro por la acción de mezclas de CO y de CO₂ se realiza en tres etapas sucesivas, avanzando las transformaciones en la siguiente forma:



A temperaturas inferiores a 555 °C, el paso de Fe₂O₃ a Fe se verifica solamente a través del Fe₃O₄, sin la aparición de la fase FeO intermedia.

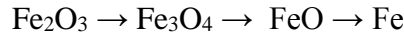
Es interesante indicar que el óxido de hierro FeO, denominado *wustita*, no es estable a la temperatura ambiente, y normalmente no se encuentra libre en forma estable en la naturaleza, donde aparece en forma combinada, y sólo en algunas ocasiones se presenta, pero en forma inestable. El FeO solamente es estable a temperaturas superiores a 560 °C.

Teóricamente, las transformaciones Fe₃O₄ → FeO y FeO → Fe por la acción del CO, sólo pueden producirse a temperaturas superiores a 555 °C.

Las principales reacciones que produce el CO en la reducción de los óxidos de hierro, que bastan pequeñísimos porcentajes de CO en los gases, inferiores a 0.003 %, que son casi despreciables, para que en el intervalo 400 - 900 °C se verifique a diversas temperaturas, las transformaciones señaladas anteriormente; de acuerdo con la figura son:



A 500 °C concentraciones 0,0005 % CO 48



A 700 °C concentraciones 0,0015 % CO 38 60

A 900 °C concentraciones 0,0030 % CO 25 68

A 700 °C, por ejemplo, para que teóricamente se produzca la reducción Fe₂O₃→ Fe₃O₄→ FeO, hay que sobrepasar la proporción de 38 % de CO en los gases; y para que se complete la reducción FeO → Fe, hay que rebasar la proporción de 60 % de CO.

A 900 °C para que se realice la transformación Fe₃O₄ → FeO, teóricamente, hace falta sobrepasar la proporción de 25 % de CO en los gases; y para la reducción FeO → Fe, el porcentaje de CO debe ser superior a 68 %.

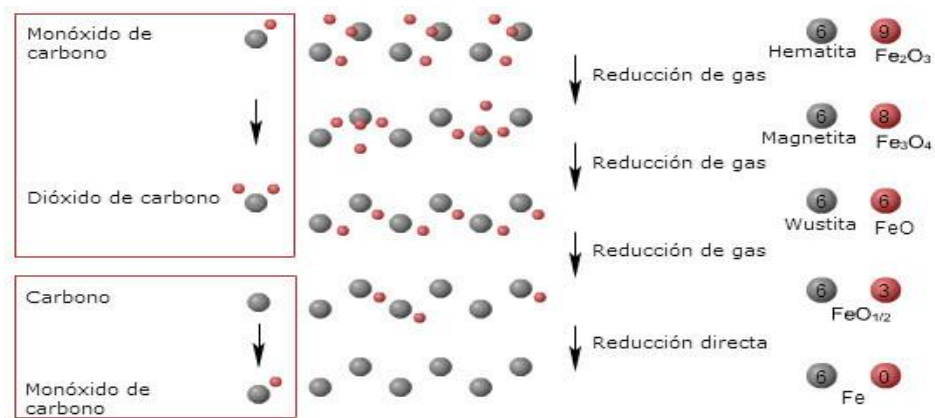


Figura 3.3.4. El proceso de reducción de las partículas de mineral de hierro (pélets o sinter) es un proceso de eliminación del oxígeno de los óxidos de hierro.

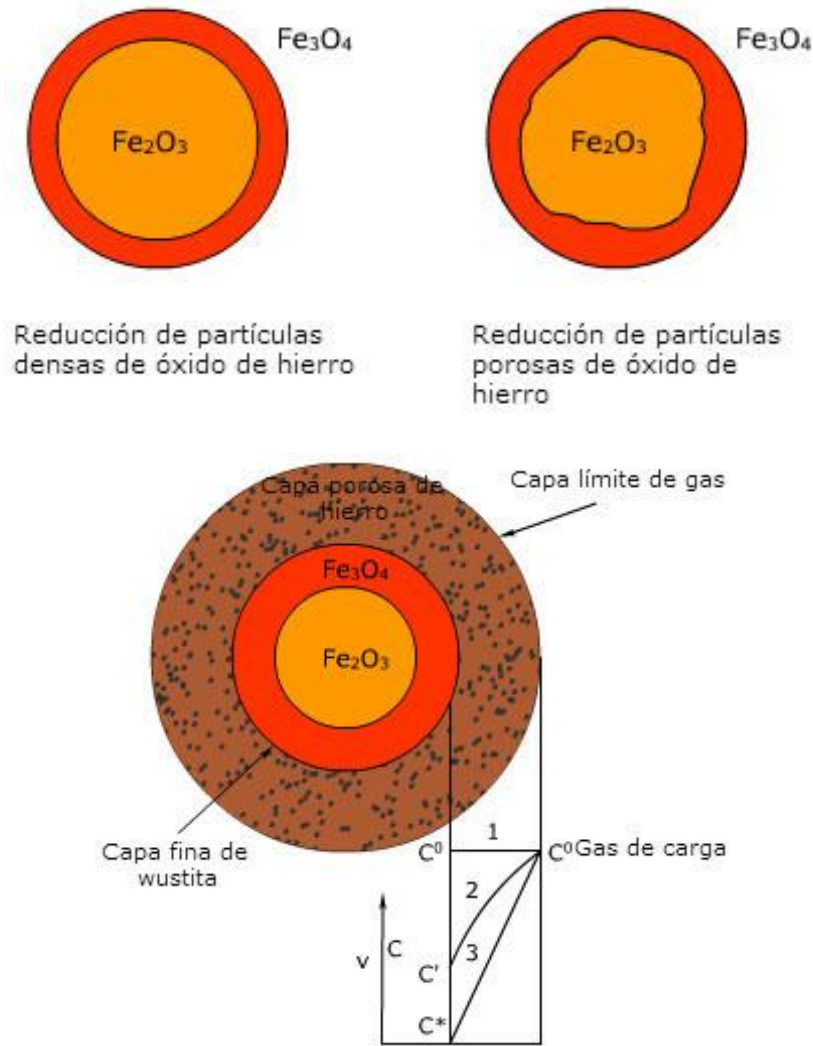


Figura 3.3.5. Diagrama esquemático de la reducción gaseosa de óxido férrico esférico.

La piedra caliza agregada al alto horno participa en la formación de escorias. Con las altas temperaturas, esta se descompone en óxido de calcio y dióxido de carbono, de acuerdo a la siguiente ecuación:



El óxido de calcio reacciona con las impurezas que acompañan al mineral. Por ejemplo, con el óxido de silicio para formar la escoria, principalmente silicato de calcio ($CaSiO_3$), según vemos en la ecuación que sigue:



El silicato de hierro es menos denso que el hierro fundido, por lo que se acumula en la base del horno formando una capa sobre el metal que lo protege de reacciones con el aire. Cada cierto tiempo, se remueve para ser aprovechado en otros procesos.

Las escorias son usadas para fabricar cemento y para hacer carreteras. El hierro fundido se extrae por las salidas laterales situadas en la base del horno. El metal obtenido se contiene alrededor de un 95% de hierro y el 5% restante se compone de impurezas como C, P, Mn y Si. La principal utilidad del hierro es la fabricación del acero, una aleación de hierro y carbono.

⌘ Reacciones de oxidación y reducción de la refinación del metales no ferrosos

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.

La lista de metales no ferrosos puros tan ampliamente utilizado en la industria moderna incluye muchos que son producidos por medios electrolíticos, tales como el cobre, el zinc, el níquel, el aluminio, el magnesio, el sodio, el plomo, el cadmio, el calcio y muchos otros.

En el caso de algunos metales, un fuego común o los métodos químicos de producción son importantes, pero en otros, el 100% del metal utilizado es producido por electrólisis. La producción comercial de la electrólisis de los metales tuvo su origen hace un siglo, cuando James Elkington, un inglés, inventó un proceso para la refinación de cobre electrolítico; más tarde, alrededor de 1890, fue la primera de aluminio producidos a escala comercial por electrólisis, seguido en 1905 por el plomo, níquel y zinc en 1910, cerca de 1915.

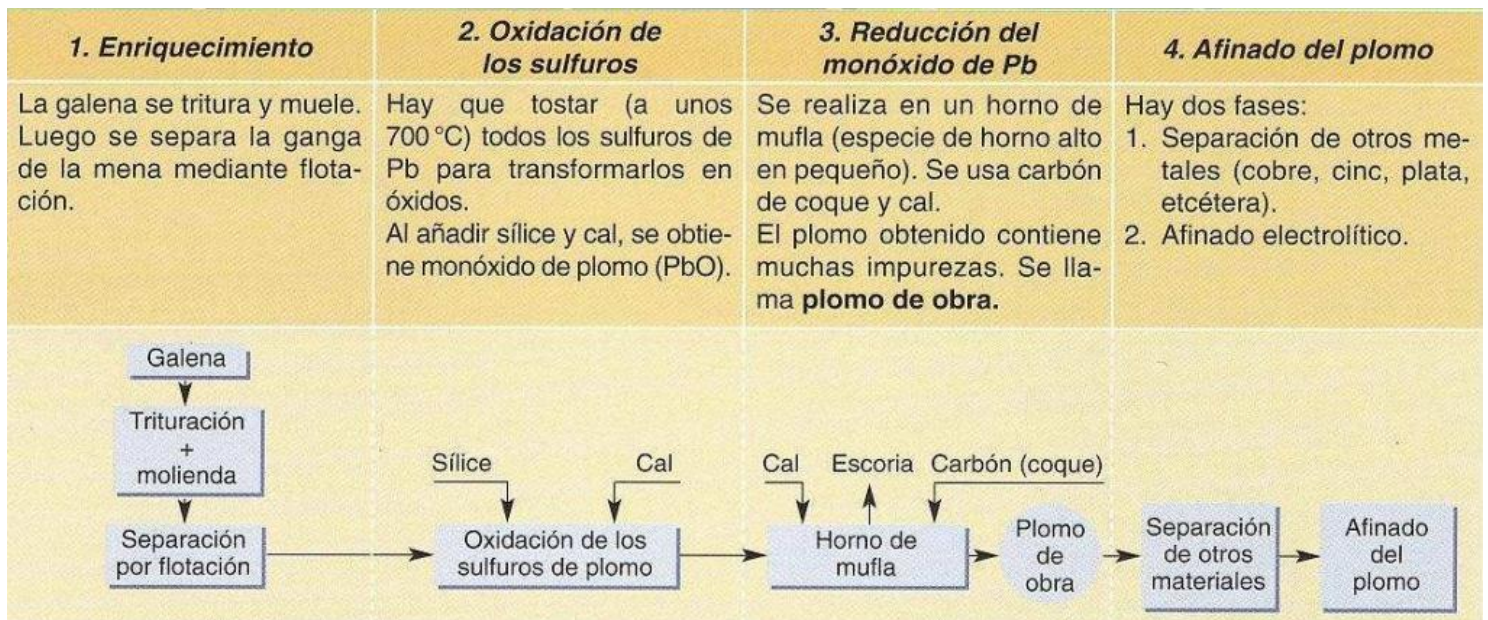
Tabla 3.1. Metales no ferrosos refinados por electrolisis.

Plomo.....	99.999+%
Aluminio (de alta pureza).....	99.999+%
Zinc.....	99.99+%
Cobre.....	99.98+%
Níquel.....	99.95+%
Manganeso.....	99.95+%
Magnesio.....	99.90+%
Aluminio.....	99.85+%

Hay un número de razones por las que los metales mediante electrolisis han desempeñado un papel tan importante como lo han hecho en la industria moderna. En primer lugar, metales producidos de este modo suelen ser excepcionalmente puros; el grado de pureza que se muestran en la siguiente tabla puede obtenerse en la práctica comercial

Las peculiares propiedades de metales de alta pureza incluyen: alta resistencia a la corrosión, alta maleabilidad, alta conductividad eléctrica y otros de similar naturaleza. El plomo de alta pureza ofrece un servicio excepcional en la industria química de la construcción, la industria de fundición de zinc depende en alto grado de zinc metálico, un cobre de alta conductividad es esencial en la industria eléctrica, el níquel puro encuentra una multitud de usos, debido a sus especiales propiedades físicas, el aluminio es muy blando y maleable, tiene una brillante superficie de espejo, y es difícilmente soluble en ácidos o álcalis. Estas propiedades son más fácilmente y económicamente desarrolladas en la producción electrolítica de metales.

Una segunda razón para el empleo de métodos electrolíticos es que, a menudo, constituyen el método más económico de separar un metal valioso de la ganga, escoria, u otros metales con los que se combina. Asimismo, en el caso de metales ubicados en la parte alta en la serie electromotriz, tales como sodio y aluminio, la electrólisis ofrece el único medio práctico para romper los compuestos oxidados y preparar el metal en forma metálica.



En la fundición es muy importante la oxidación de minerales sulfurosos para un perfecto control de la reacción, así mismo permite eliminar las impurezas volátiles como el azufre SO_2 ,

Arsénico As_2O_3 , antimonio Sb_2O_3 , etc.

Para la oxidación de las muestra se utiliza de preferencia el nitrato de potasio o nitrato de sodio. Las reacciones esta representada por la las siguientes ecuaciones:

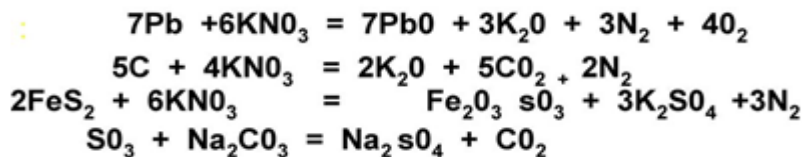


Figura 3.3.6. Ejemplos del afinado y oxidación de plomo.

Conceptos Básicos en la Refinación Electrolítica

Todas las operaciones electrolíticas dependen de dos factores fundamentales: la primera es el volumen o cantidad factor que está relacionado con amperios; la segunda es la energía o factor de presión que está relacionado a voltios.

La cantidad de metal depositado desde un electrolito está en conformidad con las leyes enunciadas por Faraday, que establecen: (1) que la cantidad es proporcional al número de amperios-hora, y (2) que un número determinado de amperio-horas depositará una cantidad equivalente de cualquier metal, el equivalente se determina dividiendo el peso atómico por la valencia. Cálculo de experimentar y probar la validez de las leyes de Faraday y demuestran que, si una corriente de 1000 amperios pasa a través de una celda durante una hora (o un amperio-horas para 1000, sin embargo, uno puede tener otro objetivo), los siguientes pesos de metal será depositado si el actual y la eficiencia de la celda es 100%.

Tabla 3.2. Cantidad de corriente que va a depositar 8,5 libras de plomo, depositará sólo 6 onzas de berilio o 12 onzas de aluminio

Metal	Atomic Weight	Valence	Lb. per 1000 amp.-hrs.
Be	9.02	2	0.371
Mg	24.32	2	1.000
Al	26.97	3	0.739
Mn	54.93	2	2.259
Ni	58.69	2	2.415
Cu	63.57	2	2.613
Zn	65.38	2	2.689
Sn	118.70	2	4.881
Pb	207.22	2	8.521

•La electrorefinación de un metal consiste en la disolución anódica del metal impuro y el posterior depósito catódico de este metal puro.

•En un proceso de refinación electrolítica se utiliza un ánodo(metal impuro) y un cátodo permanente, las impurezas se deben "perder" durante el paso de los iones metálicos disueltos del ánodo y depositados en el cátodo durante la electrólisis.

Figura 3.3.7. Descripción del proceso de electrorefinación.

La eficiencia actual de una celda electrolítica puede ser calculado comparando la cantidad de metal realmente depositados por una corriente que pasa a través de la celda de un momento dado con la cantidad que debe ser depositado, según la ley de Faraday, por la misma corriente que pasa por el mismo período de tiempo.

La tensión necesaria para el funcionamiento de una celda es una cuestión totalmente diferente, ya que depende de varios factores tales como resistencia, electrolitos y resistencias de contacto, así como la descomposición de tensión. Este último factor no se expresa simplemente, pero puede decirse que representan, en unidades eléctricas, las unidades de calor que debe suministrarse para descomponer un compuesto como óxido de aluminio o sulfato de cobre de tal manera que el contenido energético de los elementos componentes se restaura al nivel existente antes de que el compuesto fue formado originalmente.

Para cada uno de los compuestos y el electrolito, un potencial o presión debe ser suministrado siempre antes de cualquier corriente (amperios), esta es la descomposición de voltaje y, una vez que se alcanza, la corriente sigue fluyendo a la presión constante de la tensión de la descomposición, y el metal es depositado según la ley de Faraday.

Las tensiones requeridas para que la corriente fluya a través de las celdas son bajas en los electrolitos acuosos y sólo ligeramente superior en electrolitos fundidos, a pesar del hecho de que la resistencia de los electrolitos fundido es suficiente para generar el calor necesario para mantener el electrolito líquido.

Las condiciones de la electrólisis varían enormemente para los diferentes metales y electrolitos diferente, aunque no se puede establecer relaciones dadas, cabe señalar que los voltajes varían en 0,25 V. para refinación de cobre electrolítico con ánodos solubles a unos 5 V. para la reducción de aluminio con electrodos de carbono.

El requisito de potencia (W) para la producción electrolítica de metales está determinada, básicamente, por el amperio-hora (I), combinada con la voltaje de la celda (E). A partir de la relación Potencia = Voltaje x Amperaje.

Es obvio que los dos factores se multiplican. Es posible calcular con precisión el amperaje, pero yo como E depende de varios factores, W sólo puede determinarse por el ensayo. Como el metal es depositado por la corriente continua, el requisito de potencia de una planta electrolítica debe incluir también las pérdidas de línea y del transformador. La potencia media o los requisitos energéticos de algunos metales es el siguiente.

Tabla 3.3. Información de operación e incluye la resistencia de la celda, eficiencia de amperaje, y otros factores adicionales.

Metal	Kw-h/libra
Cobre refinado.....	0.08-0.24
Plomo refinado.....	0.09
Níquel refinado.....	1.1
Estaño refinado.....	0.085
Precipitación de cobre.....	0.0-1.35
Precipitación de zinc.....	1.4-1.56
Precipitación de aluminio.....	8.5-9.0
Precipitación de cromo.....	8.4

Electro-Refinación y Electro-Deposición

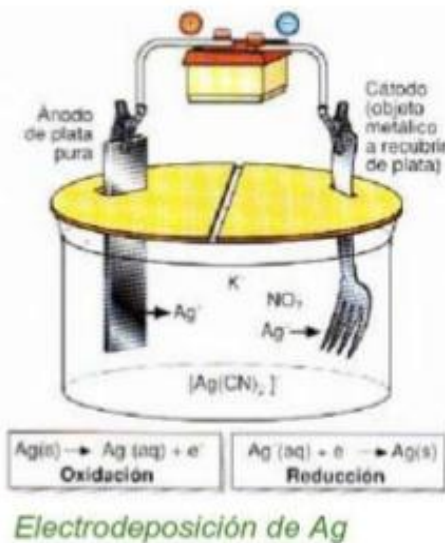
El campo de la producción electrolítica de metales puede ser convenientemente separada en dos divisiones principales que pueden calificarse, brevemente, como la electro-refinación y electro-deposición. Las operaciones son similares en que ambos emplean la corriente directa, que pasa de los ánodos de cátodos convenientemente dispuestos en una celda que contiene un electrolito, y que en ambos tipos de operación, el metal puro se deposita en el cátodo.

La diferencia esencial entre los dos procesos es que en electro-refinación un ánodo de aleación impuro es usado que se disuelve por la acción de la corriente, lo que se reabastece en el electrolito de una cantidad de metal aproximadamente equivalente a la cantidad depositada en el cátodo. En la electro-deposición, sin embargo, el ánodo está hecha de algún material como el plomo o el carbono que es insoluble en el electrolito, por lo que es necesario reponer el contenido de metal en el electrolito mediante la adición de un compuesto metálico que es soluble en el electrolito.

Aunque la cantidad de metal refinado depositado por amperio-hora es el mismo en ambos procesos, la electro-deposición requiere más energía por libra de metal depositado que electro-refinación y los voltajes son por lo tanto mucho mayor para operaciones de electro-deposición, con el consiguiente aumento del consumo de energía. En el proceso de electro-refinación, cuando la celda está funcionando correctamente, no se liberan gases en ánodo o cátodo: en electro-deposición, un gas esta siempre liberándose en el ánodo cuando la celda está en funcionamiento. (Comúnmente, oxígeno o cloro es producido así).

APLICACIONES DE LA ELECTROLISIS

2. Recubrimientos metálicos



3. Purificación (electrorrefinado)

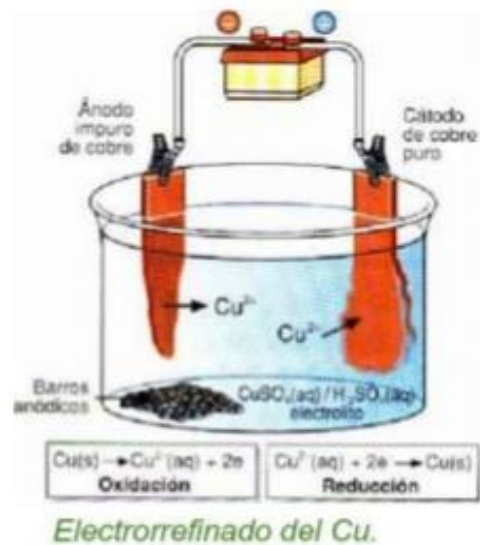


Figura 3.3.8. Ejemplos gráficos de la electrodeposición y la electrorefinación.

Electro-Refinación

Usualmente el objetivo de la refinación electrolítica es separar uno de los metales en forma pura a partir de una aleación que contiene un alto porcentaje del metal deseado, por ejemplo, cobre y varios otros metales disueltos en el cobre o íntimamente mezclados con ella. Las impurezas pueden clasificarse en dos grupos: a) los metales que pueden ser más fácilmente que el cobre oxidado, por ejemplo, hierro, níquel, y b) los metales oxidados con menos facilidad de cobre -por ejemplo, oro, plata.

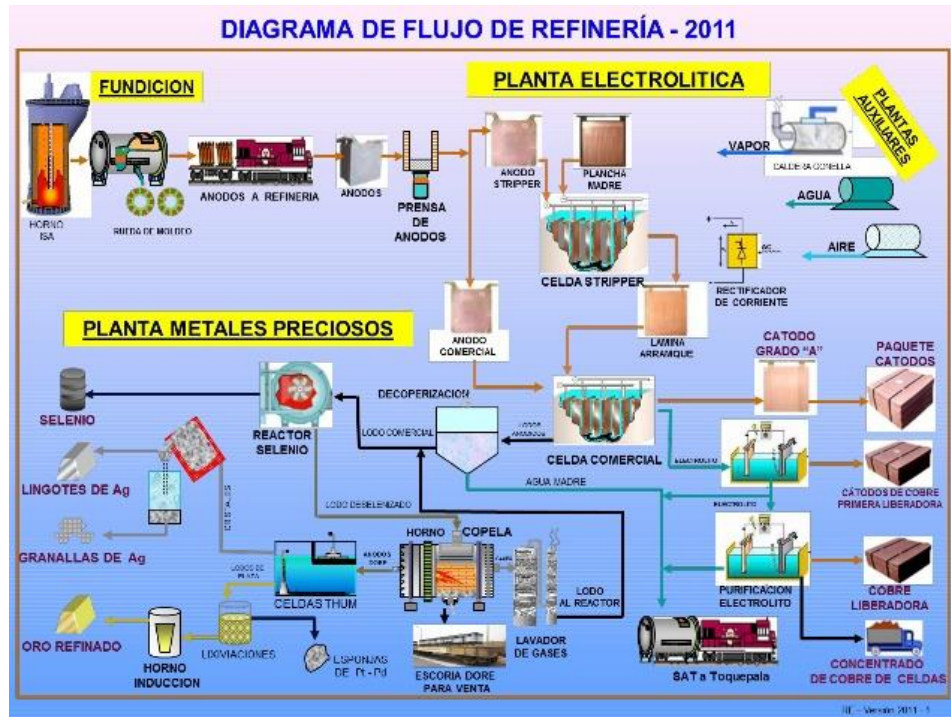


Figura 3.3.9. Ejemplo y diagrama del proceso de electrorefinación.

Cobre:

En la actual operación de refinación de cobre, la impura de aleación de cobre, níquel, oro, etc., se convierte en una delgada placa plana, constituyendo el ánodo: el cátodo es generalmente una hoja de cobre electrolítico puro. Los ánodos y cátodos (30 a 40 de cada una) están inmersos en una celda que contiene sulfato de cobre y ácido sulfúrico, el cual actúa como un electrolito. La acción de la corriente eléctrica puede ser fácilmente visualizada recordando que la acción en el ánodo es siempre de oxidación, y reducción en el cátodo.

El paso de la corriente tiende a oxidar hierro, níquel y cobre en el ánodo. El oro o la plata no se oxidan en el ánodo mientras hay cobre metálico presente. Los óxidos metálicos son solubles en el ácido sulfúrico del electrolito y, como los sulfatos, son libres para moverse hacia el cátodo.

En el cátodo el sulfato de cobre, siendo más fácil de reducir a otros sulfatos presentes, se descompone en metal de cobre y ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico se devuelve al ánodo para disolver más cobre, completando así el ciclo. Ninguno de los otros sulfatos en el electrolito se descompone en el cátodo mientras hay sulfato de cobre para el actual a trabajar.

De esta manera, el cobre se separa por solución preferente de oro y plata que se mantienen en el ánodo metálico finamente dividido de modo que formen un limo; es separado del hierro y el níquel en el cátodo por descomposición preferencial del sulfato.

ELECTRO REFINACIÓN DE COBRE

- ✗ Los ánodos se moldean en la fundición y son de cobre impuro (99.4 a 99.8 % Cu) y los cátodos son láminas de cobre puro (99.98 % Cu) u de acero inoxidable sobre el cual se va a depositar el cobre puro.
- ✗ REACCION ANODICA : $\text{Cu} \Rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ $E^\circ = 0.34 \text{ V}$
- ✗ (Disolución de cobre)
- ✗ REACCION CATODICA : $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \Rightarrow \text{Cu}$ $E^\circ = 0.34 \text{ V}$
- ✗ (Precipitación de cobre)
- ✗ REACCION DE CELDA O GLOBAL : $\text{Cu} \Rightarrow \text{Cu}$ $\Delta E = 0 \text{ V}$

Figura 3.3.10. Descripción del proceso de electrorefinación del cobre.

Las relaciones de energía en una celda de este tipo son características de aquellos en todas las celdas donde se utilizan ánodos solubles. Cuando un compuesto como el sulfato de cobre es formado de cobre, oxígeno, y SO_3 , una cierta cantidad de energía es liberada o estará disponible en forma de calor o unidades eléctricas equivalentes.

Por el contrario, cuando se descompone de sulfato de cobre para formar el cobre, oxígeno y SO_3 exactamente la inversa es de verdad una cantidad igual de energía (calor o electricidad) es absorbida. En la celda con ánodos solubles, ambas reacciones están procediendo al mismo tiempo, de manera que la energía necesaria para la descomposición se deriva de la energía resultante de la combinación, el resultado final es que no se absorbe o disipa energía.

Por lo tanto, la única nueva energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de la celda de ánodo soluble está representado por la tensión necesaria para superar la polarización, la resistencia de las células, etc. esta tensión es relativamente pequeña en el caso del electrolito formado de sulfato de cobre y ácido sulfúrico.

Otros metales impuros son refinados exactamente de la misma manera, aunque es necesario ajustar los electrolitos y otras condiciones de funcionamiento para adaptarse a cada uno de los metales, el requisito esencial es que el electrolito debe estar compuesto de solución de sal soluble del metal refinado.

La electro refinación de cobre consiste en la disolución anódica del cobre impuro desde el ánodo; y su posterior depósito catódico de cobre puro sobre un cátodo de láminas iniciales de cobre.

La electro refinación de cobre tiene dos objetivos:

Eliminar las impurezas que perjudican las propiedades eléctricas y mecánicas del cobre, tales como: As, Sb, Bi, O, S, Se, Te, Fe, Co, Ni y Pb.

Recuperar las impurezas con valor, como: Au, Ag, metales del grupo del Pt y Se.

Figura 3.3.11. Descripción de la electrorefinación del cobre.

Plomo:

Una serie de plantas de plomo electrolítico están en operación, la separando plomo de cobre, antimonio, bismuto, oro, plata, etc. En esta operación el ánodo es sólo del 98% de plomo, con antimonio, cobre, oro, plata, etc., presentes como impurezas. Una solución fluosilicato de plomo y ácido hidrofúosilicico forman el electrolito (el ácido sulfúrico no lo haría, como el sulfato de plomo es insoluble). La acción de la celda es, con evidentes modificaciones, idéntica a la celda de refinación de cobre, con la excepción de que toda cantidad de estaño presente en el ánodo se disuelve con el plomo y es depositada en el cátodo.

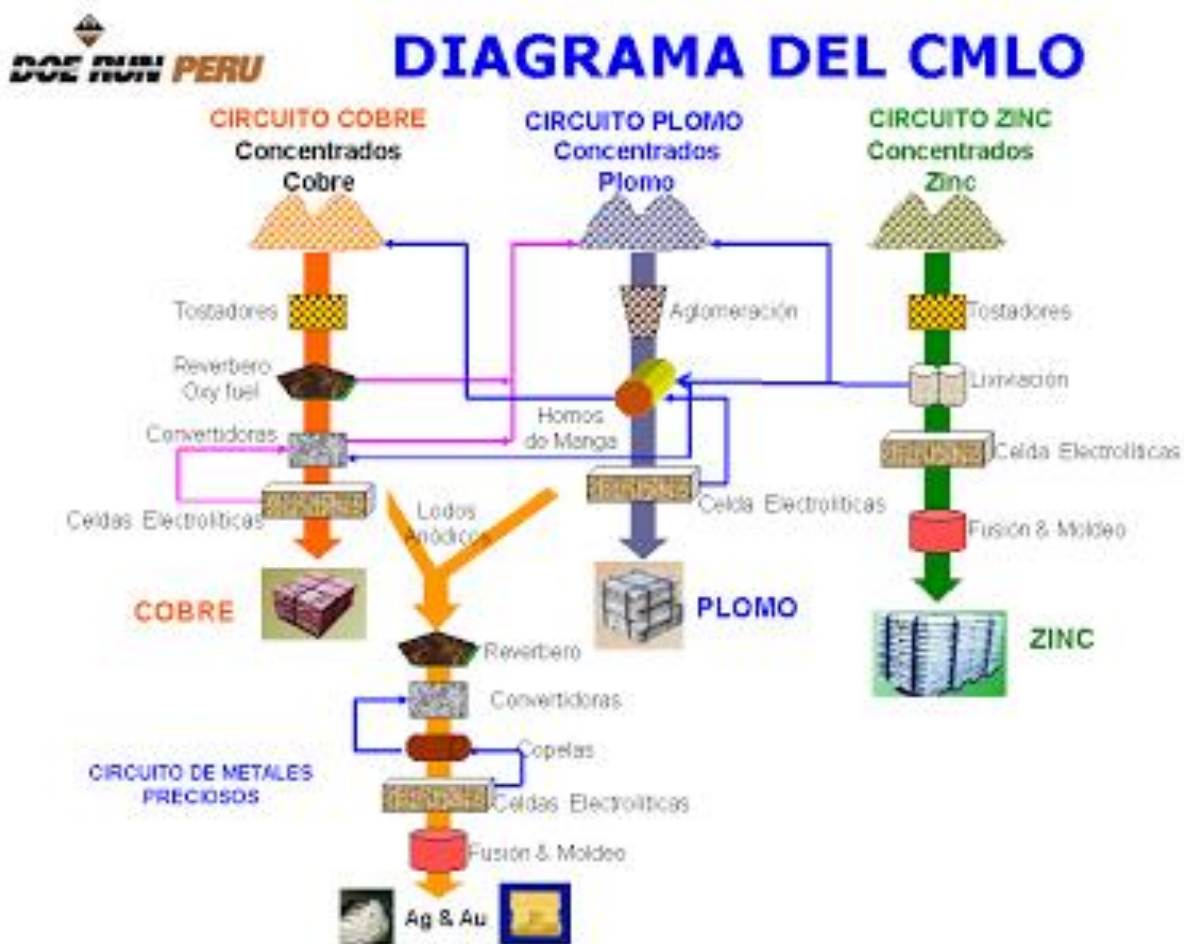


Figura 3.3.12. Ejemplos de electrorefinación de distintos metales.

Níquel:

El níquel es refinado electrolíticamente de níquel metálico o ánodos de sulfuro de níquel que contiene como impurezas de hierro, cobre, oro, plata, platino, paladio, etc. El electrolito contiene, principalmente, el sulfato de níquel en casi una solución neutra. Deben tomarse precauciones extraordinarias para garantizar que el electrolito en el cátodo es libre de cobre, hierro y otras impurezas.

Cada cátodo está suspendida en un compartimiento de paredes porosas individuales- para que el electrolito pueda ser alimentado a una tasa predeterminada. El electrolito impuro dejando los ánodos es retirado de la celda y es purificado por la extracción de hierro, cobre, etc., antes de ser devuelto al compartimento del cátodo para la precipitación de níquel puro en el cátodo. De lo contrario, la base de operaciones se asemeja a que en la refinación del cobre.

Plata y Oro:

Comúnmente son plata y oro refinado por electrólisis de una solución de nitrato de plata neutro es el electrolito de la plata y el oro refinado a partir de una solución de cloruro de oro refinado

Metales Preciosos

Los ánodos utilizados en la refinación de metales básicos, el níquel, el cobre, el plomo y por electrólisis usualmente contienen oro, plata, platino, paladio, etc., así como el selenio y el telurio en alguna cantidad. En todo caso, estos metales, siendo menos fácilmente oxidados que el principal metal que constituye el ánodo, no se disuelven por la acción electrolítica, y permanecen en el ánodo en forma de partículas finamente divididas. Como el principal metal, por ejemplo el cobre- es en gran medida disuelto, el peso de las lamas del ánodo es pequeño en relación con el peso del ánodo original, y el anterior (metales y selenio y telurio) están concentradas en el material fino, junto con antimonio, arsénico, plomo, bismuto, etc.

Los métodos empleados para la separación y la recuperación de los metales presentes en las partículas finas están determinados por la composición de las lamas en cada caso individual. La lamas puede ser tostadas, tratadas químicamente, derretido y re-electrolizado, oxidado, lixiviados, etc., con el propósito de recuperar el antimonio, bismuto, selenio, telurio y el arsénico como subproductos y producir una aleación compuesta principalmente de metales preciosos- generalmente el oro y la plata, aunque los metales de platino a menudo están presentes en cantidades importantes. Las aleaciones de metales preciosos son tratadas químicamente y por métodos de refinación electrolítica para separar y recuperar los metales individuales.

La recuperación de metales preciosos y metales de productos derivados es una fase importante de la refinación electrolítica de metales comunes.

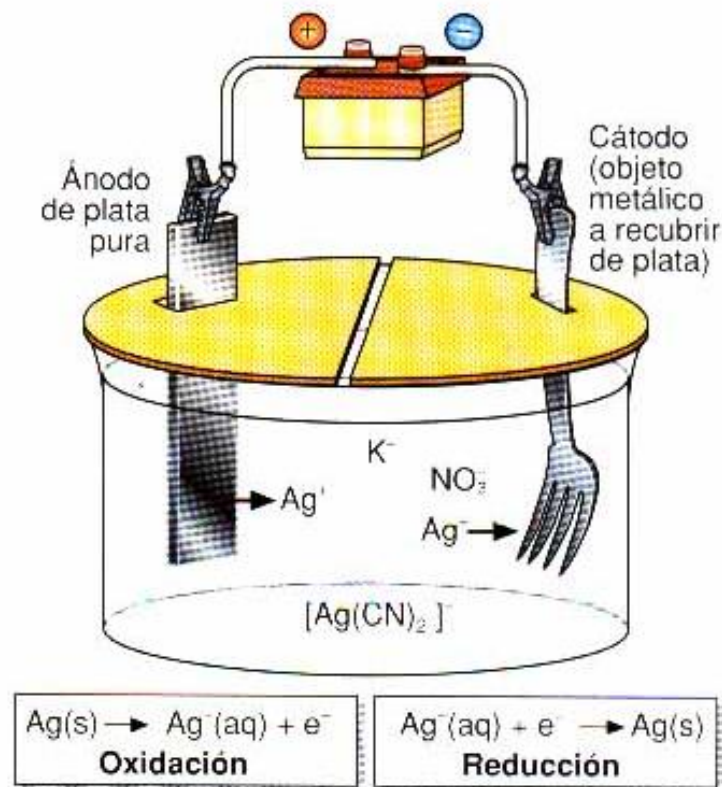


Figura 3.3.13. Descripción del proceso de electrorefinación de la plata.

Electro-Deposición

El objeto de las operaciones de electro-deposición es descomponer un compuesto de un metal oxidado y depositar un metal puro en el cátodo, no sólo separar el metal de la ganga, pero en realidad la reducción a metal por primera vez. (Normalmente, en la electro-refinación, el metal aparece en forma metálica en el ánodo, la reducción ha sido efectuada por fundición o alguna operación similar) La Electro-deposición así proporciona un método de producción de metal de un mineral sin fundición.

El funcionamiento de un proceso de electro-deposición requiere que el metal recuperado en cierta forma en que puede ser disuelto en un electrolito adecuado, mientras que los ánodos debe estar compuesto de algún material insoluble en el electrolito. Los cátodos pueden tener cualquier forma adecuada, pero consisten generalmente del metal se trató de recuperar

Deposito electrolítico de metales (p. 282)

Lograr cromados, plateados, recubrimientos de Ni, Au...

- La **electrodeposición** es un proceso electroquímico en el que se usa una **corriente eléctrica** para reducir los **cationes** presentes en una **disolución** acuosa (Ag^+ , Au^+ , Zn^{2+} ...)
- Logra la precipitación del metal en estado puro, sobre un objeto que será el **cátodo** de la celda.
- Crea un fino recubrimiento con el material reducido.

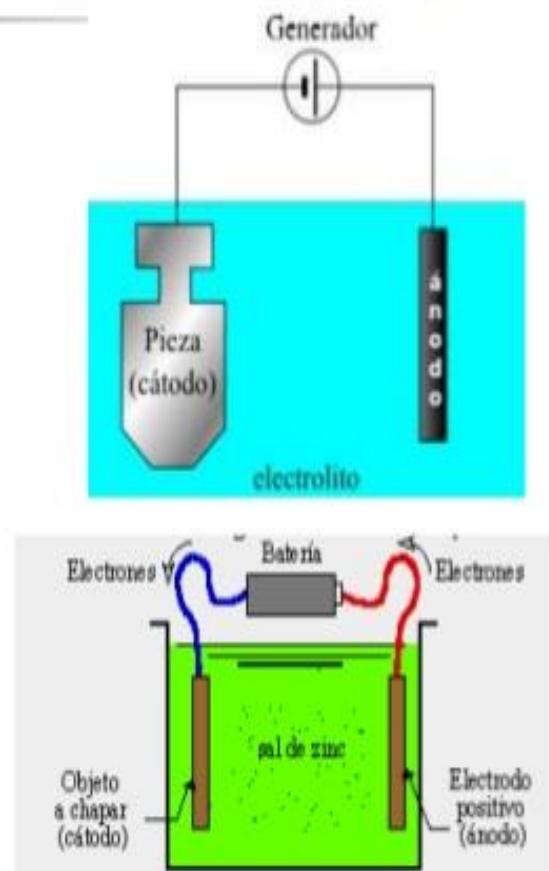


Figura 3.3.14. Descripción del proceso de electro-deposición.

Zinc:

La acción de la celda es relativamente fácil de explicar, y quizás se pueda ilustrar mejor la producción de zinc electrolítico. En esta operación, una solución neutra de sulfato de zinc se alimenta a la celda que contiene una serie de ánodos de plomo y cátodos cubiertos de zinc.

La corriente eléctrica dejando el ánodo tendería a oxidar el plomo, como óxido de plomo no es soluble en ácido sulfúrico, la superficie del ánodo se vuelve inerte y el agua del electrolito se descompone para liberar el gas oxígeno e iones de hidrógeno. En el cátodo, la acción reductora de corriente descompone el sulfato de zinc, depositando zinc metálico en el cátodo y salen los iones de sulfato en la solución.

Solución de sulfato de zinc neutra, por lo tanto, entrar en la celda se convierte en zinc metálico, oxígeno y ácido sulfúrico (iones de hidrógeno y los iones de sulfato). El ácido sulfúrico, así generado está generándose en la celda y se utiliza para disolver el óxido de zinc que se elabora tostado el concentrado de sulfuro de zinc.

El ácido Disuelve el óxido de zinc en preferencia al óxido de hierro, pero algunos otros óxidos también se disuelven en el ácido y la solución debe ser purificada antes de ser devuelto a la celda como sulfato de zinc, donde se repite el ciclo.

La esencia de la operación es que el óxido de zinc es químicamente disuelto, entra en la celda donde el oxígeno y el zinc son producidos y ácido se regenera para disolver más óxido. Básicamente, ha ocurrido que la celda proporciona un mecanismo para el suministro de corriente eléctrica a la energía necesaria para descomponer ZnO a sus elementos Zn y O.

Esta es la diferencia fundamental entre electro-deposición y electro-refinación, y es esta energía un requisito que exige mayores voltajes en la electro-deposición. Como la electricidad es obtenida sobre la base de voltios y amperios, y el amperaje debe ser constante (la Ley de Faraday), el voltaje más alto significa mayores costos de energía. Por esta razón, las operaciones de electro-deposición casi invariablemente están ubicados en zonas de bajo consumo energético.

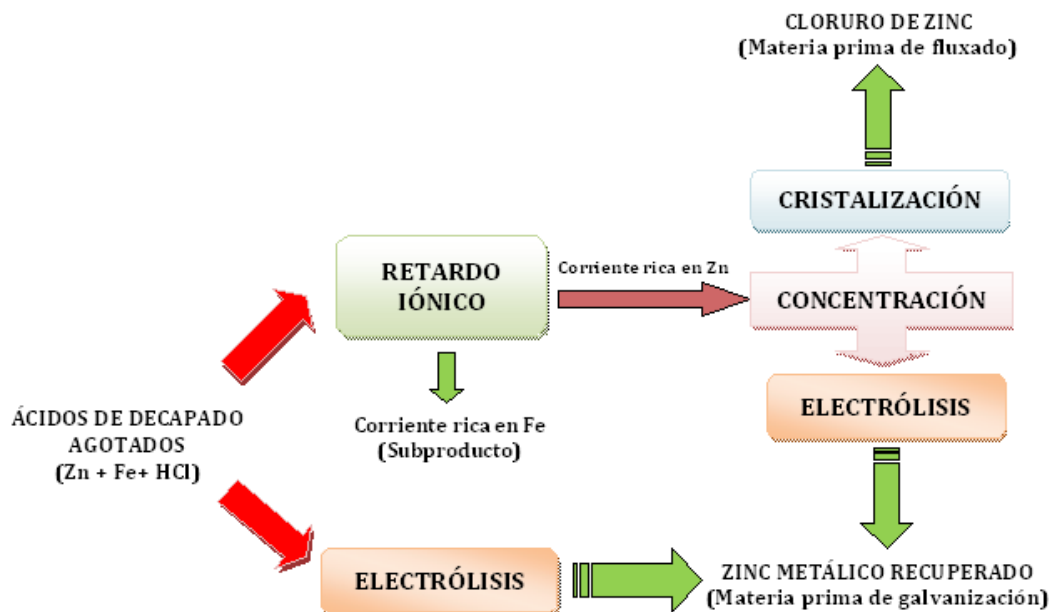


Figura 3.3.14. Ejemplo del proceso de electro-deposición del zinc.

Cobre, Níquel, Cadmio:

La producción de cobre de algunas partes del mundo es producida por lixiviación y la electrólisis. La base es exactamente la misma que la descrita para el zinc, incluso con el uso de sulfato de cobre (electrolito de ácido sulfúrico). El níquel no es producido por este medio, debido a la insolubilidad de óxido de níquel. Sin embargo, el proceso podría fácilmente ser empleado si el carbonato de níquel, por ejemplo, está disponible como materia prima. El cadmio es recuperado de la planta de zinc como subproductos mediante un proceso electro-deposición parecido al proceso de zinc.

Aluminio, Magnesio:

Aluminio y magnesio son producidos por métodos-electro-deposición, el 100% del aluminio y la mayoría del magnesio está hecho de esta manera. Ninguno de estos metales puede ser reducido de compuestos en una solución acuosa de sales fundidas son usados como electrolitos. Básicamente, las operaciones son las mismas que las ya descritas, pero las técnicas son muy diferentes.

En el caso del aluminio, el ánodo está compuesto de carbono, el cátodo es una celda de fundición de aluminio en la parte inferior de la celda y el electrolito se compone de fluoruros de aluminio de sodio en la cual se disuelve Al_2O_3 puro. El Al_2O_3 es preparado por medios químicos y se añade a la celda a intervalos regulares.

La corriente eléctrica descompone el Al_2O_3 , el depósito de aluminio puro en el cátodo, mientras que el oxígeno liberado en el ánodo se reacciona con el carbono en forma de CO_2 que se escapa de la celda. El ánodo es insoluble en el electrolito, pero constantemente se consume y debe ser continuamente renovado. No hay productos secundarios de la celda.

La producción de magnesio es bastante diferente. El electrolito más adecuado es el cloruro de magnesio fundido mezclado con un álcali-cloruro, generalmente cloruro de sodio. Se utiliza un ánodo de grafito y un cátodo de acero -este último sirve sólo para conducir la corriente fuera de la celda. Metal de magnesio es liberado desde el cloruro en la superficie del cátodo de acero y, a medida que el metal tiene una gravedad específica menor que el cloruro, se eleva a la superficie del electrolito fundido, para ser retirados por medios mecánicos.

El cloro generado en el ánodo se transporta por tuberías hasta un horno donde reacciona con carbono y MgO para producir $MgCl_2$ anhidro, que a su vez es cargado a una celda electrolítica, completando así el ciclo. Cuando la Mg se produce a partir de agua de mar, el cloro se reduce a ácido clorhídrico que se utiliza para la conversión de $Mg(OH)_2$ de $MgCl_2$.

Metales Preciosos

En el proceso de electro-deposición, sólo los metales solubles en la solución de lixiviación son recuperados a través de la electrólisis. Si un mineral contiene metales preciosos, es muy improbable que se recuperarán, como, por ejemplo, el ácido sulfúrico diluido utilizada para lixiviar minerales de cobre y zinc y calcinas no disuelven el oro o la plata.

La aplicación de la electro-deposición está limitada a minerales que no contienen metales preciosos en cantidad suficiente para justificar su recuperación, a la luz de los minerales metálicos que normalmente no contienen metales preciosos, o los materiales de alta concentración tales como concentrados, matas y productos en los cuales el contenido de metales preciosos es tan alto que los residuos de la lixiviación puede ser procesado por métodos de fundición para recuperar el oro y la plata.

Cuando no hay metales base económicos, es posible tratar los metales preciosos por cianuración, y la solución rica obtenida puede enviarse a un proceso de electro-deposición para tener un metal precipitado con alta contenido de oro y plata, este producto es tratado químicamente antes de someterlo a una etapa de fundición final.