

LOS MINERALES

Llamamos Minerales a aquellos materiales del suelo o del subsuelo que sirven para ser preparados y transformados en ciertos metales.

- 1.- Los metales en estado nativo, es decir en estado metálico y más o menos puros, son muy raros. Sin embargo el Oro existe en estado nativo en los filones cuarzosos y en pepitas en las arenas de aluvión. El Cobre, la Plata y el Mercurio también se encuentran en estado nativo.
- 2.- Lo más frecuente es encontrar el metal combinado con el Oxígeno, el silicio, el azufre, el arsénico, etc. La propia combinación metálica está mezclada con impurezas (materiales ferrosos por ejemplo) que forman la ganga o estéril. La mezcla de la combinación metálica y la ganga es la mena o mineral.
- 3.- Se llaman minerales artificiales a los subproductos de algunas industrias, como las piritas tostadas de las fábricas de ácido sulfúrico, los residuos de la fabricación del cobre, del níquel, etc.

CONSTITUCIÓN QUÍMICA DE LA COMBINACIÓN METÁLICA

La combinación metálica puede ser sencilla: óxidos, anhídridos ó hidratos, carbonatos y sulfuros.

- a) Como óxidos anhídridos se encuentran: la magnetita Fe_3O_4 ; la hematites roja Fe_2O_3 la casiterita SnO_2 ; la pirolusita MnO_2 .
- b) Entre los óxidos Hidratados tenemos: la hematites parda óxido férrico hidratado $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ y la bauxita alúmina hidratada $Al_2O_3 \cdot nH_2O$.
- c) Como carbonatos se presentan: la siderosa $FeCO_3$; la magnesita $MgCO_3$; la calamina o smithsonita $ZnCO_3$, la whiterita $BaCO_3$.
- d) Al estado de sulfuros tenemos por ejemplo la pirita de hierro, FeS_2 ; la blenda ZnS ; la galena PbS ; la cinabrio HgS , la argirosa Ag_2S .

El compuesto metálico se presenta a veces en forma más complicada, resultando más difícil la extracción del metal. Tenemos por eje. La pirita de cobre o calcopirita que es un sulfuro doble de hierro y cobre Cu_2S , Fe_2S_3 .

PREPARACIÓN DE LOS MINERALES

Antes de comenzar el proceso metalúrgico propiamente dicho, se somete el mineral a un tratamiento mecánico que tiene por fin concentrar la parte metálica y eliminar elementos perjudiciales. Estas operaciones se complementan a veces con un tratamiento térmico (tostión o fusión) que produce en el mineral cambios químicos, los cuales dan lugar a un producto intermedio entre el mineral y el metal y facilitan la extracción.

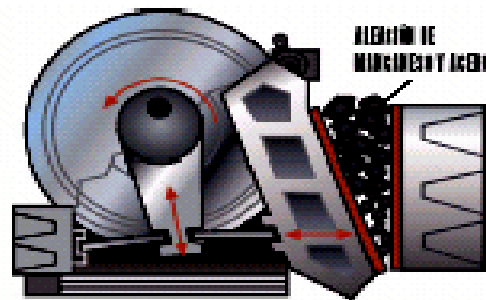
I.- TRATAMIENTO MECÁNICO DE LOS METALES

El mineral llega de la mina en bloques más o menos grandes. El tratamiento mecánico tiene por finalidad llevarlo a una finura determinada. Se procede de forma escalonada hasta llegar a una de las tres categorías de productos siguientes:

- Los gruesos o trozos de calibre superior a 25 mm.
- La granalla o Arena con calibre entre 1 y 25 mm.
- Los Finos con calibre inferior a 1 mm.

TRITURACIÓN

La trituración o quebranto transforma los bloques en trozos de 30 a 50 mm. De dimensión máxima. Las quebrantadoras actúan por aplastamiento, a la manera de un cascanueces.



TRITURACIÓN

Los trozos de mineral se trituran hasta hacerlos menores de cinco centímetros mediante una máquina de acero, cuya parte móvil machaca el hierro contra una placa fija.

La quebrantadora de mandíbulas se compone de dos placas rectangulares de Acero al magnesio, una "A" fija y otra móvil alrededor del eje XY con un movimiento de vaivén de amplitud regulable aproxima y aleja ambas mandíbulas.



MOLIENDA

La Molienda transforma los gruesos en granalla o arena y en finos hasta de 1/20 de mm. en algunos casos . Hay varios tipos de molinos que funcionan por choque y por frotamiento, de los que citaremos uno de los más empleados. El molino de bolas: consiste en un tambor cilíndrico o polígono

revestido por un tamiz, en cuyo interior se encuentra cierto número de bolas de fundición dura colada en coquilla. El mineral se introduce en el tambor por una tolva a caballo sobre el eje.

El tamiz está protegido del choque directo de las bolas y del mineral por chapas fuertes de acero duro. El conjunto está en el interior de una envuelta metálica .

Las bolas elevadas por la rotación del tambor caen unas sobre las otras y rompen los fragmentos; el tamiz sólo deja pasar la materia que ha alcanzado la figura deseada .

II.- SEPARACIÓN DE LOS MINERALES (Concentración)

La separación del compuesto metálico de la ganga se efectuará sobre el mineral molido, la operación suministra un producto enriquecido en mineral. La separación se basa en diferencias de propiedades físicas de la ganga y de la combinación metálica, por eje. : la diferencia de densidad en la concentración Hidromecánica. En la concentración por flotación se utilizan las fuerzas de tensión superficial, y las fuerzas magnéticas en la concentración magnética.

Concentración Hidromecánica: El compuesto metálico y la ganga se separan por orden de densidad es en un líquido inmóvil o en movimiento.

a) **Separador de émbolo**: se compone de una cuba llena de agua , un émbolo P comunica a la masa de agua un movimiento de pulsación .Los finos mezclados con el agua llegan a través de la rejilla G, las partículas ligeras son elevadas por el líquido en movimiento hasta una altura inversamente proporcional a sus pesos y escapan por el desagüe D, las partículas pesadas caen al fondo y se pueden extraer mediante una cadena de cangilones.

b) **Separador por Arrastre** : el aparato está formado por una serie de cajas tronco piramidales C_1 C_2 etc., cuya longitud y profundidad aumentan gradualmente desde la entrada a la salida . Los finos son arrastrados por una corriente de agua cuya velocidad disminuye al aumentar el tamaño de las cajas: Las partículas más pesadas se depositan en las primeras cajas. Para asegurar una clasificación más completa de las partículas se inyecta una corriente de aire o agua por los tubos T_1 T_2 que vuelve a suspenderlas. Los productos clasificados se recogen por los orificios O_1 O_2 etc.

C) **Separados por flotación** : si se depositan suavemente los finos sobre la superficie de un líquido apropiado se comprueba que la ganga se hunde y que el compuesto metálico no se moja y flotará debido a la tensión superficial Hay minerales que no son mojados por el agua y se consigue separarlos con agua sola o, con agua preparada especialmente con aceite (sulfuros).

DENSIDAD

Un canal con agua posibilita la separación de la ganga (menos densa, por lo que flota) y la mena (que cae al fondo por ser más pesada).



En el caso que se emplee agua con aceite, el aceite reviste a las partículas de sulfuro que por este motivo no son mojadas por el agua y flotan en la superficie, los granos de la ganga mojables por el agua caen al fondo.

MAGNETISMO

Otro método permite separar la mena magnética de la ganga, a través de un electroimán giratorio que actúa sobre los materiales.

Infografía: Juan Emilio Germano
Texto: Manuel Iniesta / EL MUNDO

D.) **Separación Magnética.**- Un separador magnético es el representado en la fig., está constituido por un tambor T formadas por láminas alternadas de hierro y cobre. El Campo magnético creado por el electroimán E imanta las láminas de hierro dulce. Los bloques magnéticos A (hematites rojas o pardas, carbonatos de hierro, etc.) son retenidos por las láminas imantadas, los estériles caen directamente en B y el mineral magnético en A

III TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS MINERALES.

Es común que a los minerales ya concentrados someterlos a la acción del calor para producir una modificación química, con la finalidad de obtener un producto más fácil de tratar posteriormente. Hay dos maneras de tratarlos:

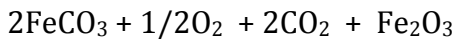
La calcinación: en hornos de cuba para minerales en briquetas o en trozos grandes.

La tostión en hornos de solera, sobre las que se extiende el mineral (fino) en capas delgadas.

LA CALCINACION. Se aplica al carbonato de hierro que se calienta en el horno de cuba en presencia de un exceso de oxígeno.

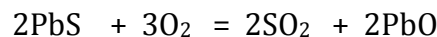
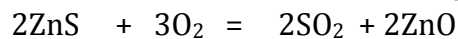
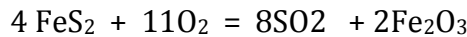
El mineral y el combustible (10Kg de carbón por tonelada de mineral) se cargan por el tragante, el aire se sopla en la base a través de toberas regularmente repartidas y el producto calcinado que se extrae por la base se envía al alto horno.

La calcinación oxidante transforma el carbonato en sesquióxido de hierro:



Un horno de 100m³ de capacidad produce 60 Ton. de mineral calcinado en 24 Hrs.

TOSTION. Es una operación metalúrgica que se aplica a los sulfuros aprovechándose el anhídrido sulfuroso formado para obtener ácido sulfúrico.



Los aparatos empleados para la tostión dependen del contenido de azufre.

1.- Si el contenido de azufre es grande (piritas de hierro FeS₂ , que si es pura puede contener hasta 53% de azufre) la combustión prosigue por sí sola una vez iniciada. Se dice entonces que el mineral es autocombustible.

2.- Cuando el contenido de S es menor (la blenda ZnS puede contener hasta 33% de S) no basta el calor despendido por la combustión para mantener la tostión y el mineral se dice que es no autocombustible.

Hornos Wedge para minerales autocombustibles. Es de forma cilíndrica y suele tener 9m de altura y 7m de diámetro. Consta de varias soleras superpuestas S₁, S₂. El mineral se carga por la parte superior y un árbol hueco provisto de rastrillos R₁ R₂ ... remueve el material y lo hacen pasar de la solera S₁ a la solera S₂ por aberturas situadas alternativamente en la periferia y cerca del eje el árbol central y los rastrillos están refrigerados por circulación de agua.

Horno Edwars para minerales no autocombustible. Es un horno de reverbero cuya solera inclinada facilita la salida del material, puede tener hasta 90m. De largo. Su solera es calentada por un hogar principal F y otros laterales F₁, F₂ (carbón pulverizado) puertas laterales P permiten regular el acceso de aire.

La bóveda del horno está atravesada por una serie de árboles verticales provistos de rastrillos o rables R₁ R₂ que son huecos y refrigerados con agua, giran continuamente removiendo el mineral y haciéndolo descender a lo largo de la solera inclinada.

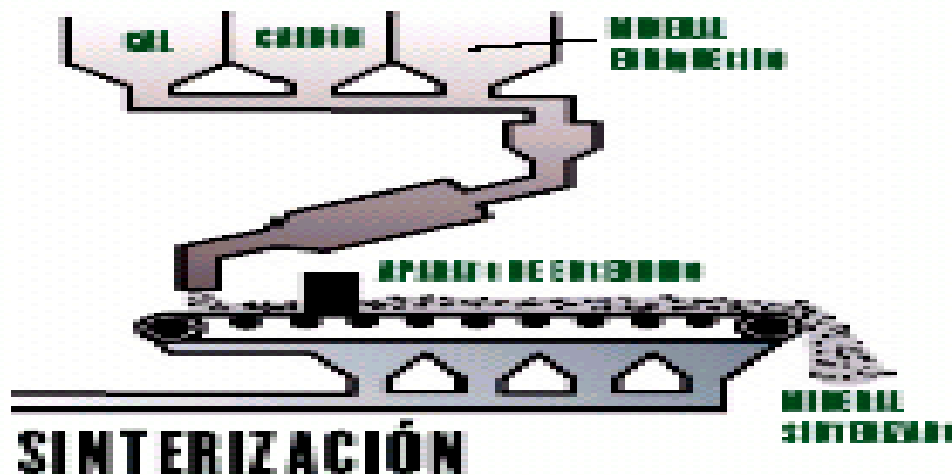
El Rable R₁ reparte los finos sobre la periferia 1, el R₂ ligeramente desfasado con respecto al R₁ , recoge una parte de los finos y los reparte en la trayectoria 2. Los finos bajan por la solera en la dirección al hogar F

III.- LA AGLOMERACION.

Con los tratamientos mecánicos se consigue un mineral molido y concentrado y con los tratamientos térmicos se produce la transformación química necesaria par su posterior transformación en productos metalúrgicos, sin embargo en los hornos metalúrgicos, no se puede introducir el mineral en forma de finos, por que perturbarían la circulación de los gases reductores, por lo que se recurre a la aglomeración de lo finos, que transforman estos polvos en

trozos de mayores dimensiones. La aglomeración puede lograrse empleando un elemento ligante como la cal o el cloruro de calcio, formando briquetas o nódulos mediante la aplicación de presión en moldes adecuados, las briquetas son endurecidas o secadas en hornos.

También puede producirse la aglomeración por sinterizado que es un proceso en el cual la unión de las partículas de los finos, se logra aplicando temperaturas elevadas que los lleva a un estado pastoso (fritado de los finos) En el caso de los minerales de hierro la sinterización se realiza cargando en pailas capas de mineral y de coque, la combustión de este último produce el fritado de los finos y resultan bloques aptos para ser cargados en los hornos metalúrgicos.



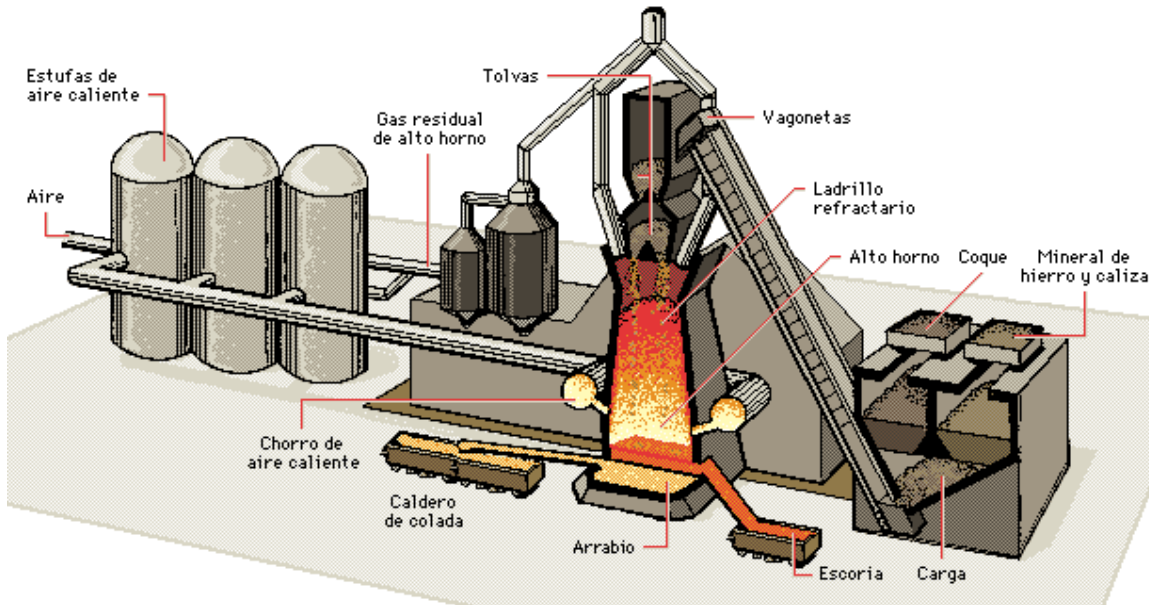
SINTERIZACIÓN
El polvo de mineral se funde con cal y carbón para formar trozos mayores que se puedan usar en un alto horno.

PRODUCCIÓN DEL ARRABIO

Para elaborar la fundición de hierro empleada en la fabricación de piezas coladas (moldeo) o también los aceros se parte de una fundición muy impura que se llama arrabio.

El arrabio es esencialmente una aleación de hierro y carbono con contenidos más o menos altos de silicio, manganeso y fósforo que en la obtención de la fundición de hierro son requeridos como elementos de aleación. La obtención del acero partiendo del arrabio consiste en la eliminación del carbono operación que se llama Afino y que consiste siempre en oxidar el arrabio. El arrabio se obtiene en estado líquido, mediante la reducción de los óxidos de hierro por el carbono en el alto horno.

HORNO ALTO: los hornos altos son en general hornos de cuba, o sea, grandes cavidades formadas por dos troncos de conos desiguales, unidos por su base mayor. La figura representa la sección de un horno moderno para trabajar con carbón de coque.



La carga del mineral y carbón con los fundentes necesarios, se efectúa por la boca superior del horno llamado tragante.

Como un horno alto suele tener unos 20 ó 30 metros de altura, para elevar todas las materias anteriormente citadas hasta el tragante se recurre a potentes montacargas efectuándose hoy en día la descarga automáticamente. Del tragante caen el mineral, el carbón y el fundente en capas alternativas a la cuba que se va gradualmente ensanchando hacia abajo hasta la zona denominada vientre que puede tener un diámetro hasta de 9 metros.

A partir de allí el horno vuelve a estrecharse en la zona llamada etalajes y por fin se hace cilindro en la Obra en cuya parte inferior se encuentra el crisol cuyo fondo se denomina solera. El crisol tiene dos orificios de salida uno en la parte inferior denominado piquera y otro en la parte superior que se llama bigotera.

A la altura de la obra y todo alrededor del horno alto, existen unas bocas llamadas toberas por donde entra el aire (a una temperatura de 750-800°C) impulsado por potentes máquinas soplantes. El horno alto está fabricado con ladrillos refractarios (resistentes a altas temperaturas) forrados exteriormente con planchas de acero.

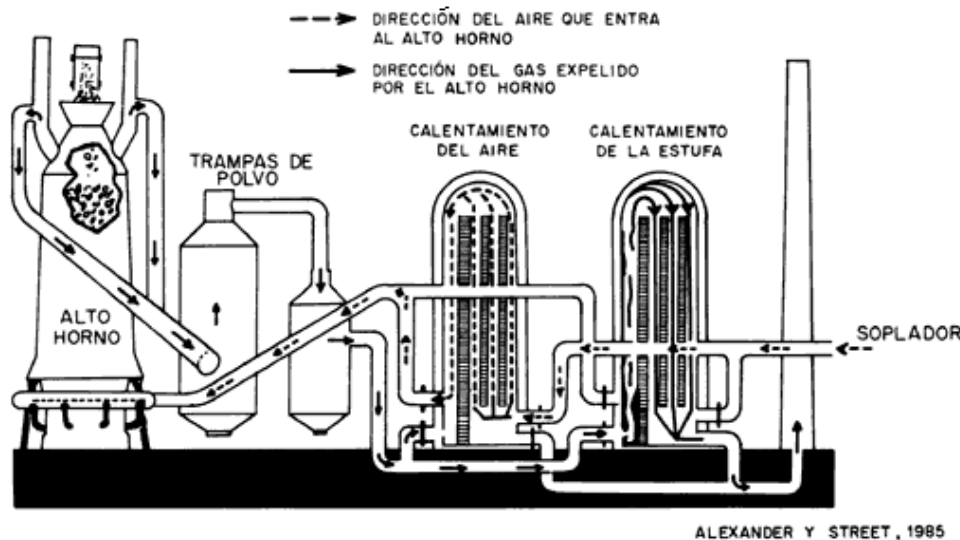
En el dispositivo de carga tiene grande importancia el sistema de doble campana de cierre el cuál permite introducir los materiales en el horno sin que se escapen los gases a la atmósfera.

La evacuación de los gases se hace solamente después que se han eliminado las partículas sólidas mediante dispositivos depuradores :

- pescador de polvos (en el cual el polvo se deposita por disminución de la velocidad de los gases)
- lavador de gases (en el cual se separa el polvo por acción de una lluvia de agua sobre los gases) y
- precipitador electrónico (en el cual se completa la separación del polvo mediante el depósito en las paredes de tubos condensadores de partículas previamente electrizadas).

El polvo separado en los depuradores contiene mineral aprovechable que se transforma en trozos conglomerados y se vuelve a introducir en el horno. Después de la eliminación de los polvos, los gases (por contener apreciables cantidades de CO (óxido de carbono) vienen a ser utilizados en parte en las estufas Cowper destinadas al precalentamiento del aire que alimenta el horno (recuperadores de calor). Los recuperadores Cowper, están constituidos de una torre llena por mas o menos $\frac{3}{4}$ de ladrillos refractarios huecos y forrada de planchas de acero.

La parte vacía forma un ducto vertical que se llama Cámara de Combustión. Cada alto horno tiene por lo menos dos torres Cowper que funcionan alternativamente: en un primer tiempo como recuperador de calor y después de calentador del aire de alimentación. Los gases provenientes del alto horno, después de haber sido depurados de los polvos vienen introducidos en un recuperador donde se hace llegar aire producida por una soplante. El óxido de carbono contenido en los gases se combina con el oxígeno del aire produciendo una regular cantidad de calor que calienta el recuperador. Después de un tiempo los gases vienen desviados en un segundo recuperador mientras en el primero se insufla aire que circulando en el recuperador se calienta a una temperatura entre 750 y 900° C y viene enviada a las toberas del alto horno.



El ciclo se repite cada cuatro horas. La parte restante de los gases depurados de los polvos, por contener mucho CO, se aprovechan para la marcha de calderos y de motores de combustión interna (tipo de gas).

El Balance Térmico de un horno alto es el siguiente:

45 % de calorías que se consumen dentro del horno.

7 % de calorías se pierden por radiación.

48% de calorías quedan en los gases y que a su vez vienen aprovechados como sigue :

14 % en las estufas COWPER

5 % se pierde como fugas

29 % quedan disponibles para la marcha de los calderos y de motores de gas .

FUNCIONAMIENTO DEL HORNO ALTO :

El funcionamiento del horno alto es continuo o sea que continuamente se va cargando por arriba y van saliendo los productos por debajo. Como hemos dicho se carga por el tragante el mineral, el carbón y el fundente. El objeto del fúndente (caliza CaCO_3) es formar con la ganga un compuesto fácilmente fusible, el cual siendo más ligero que el hierro flota sobre él.

En la parte superior de la cuba el mineral se va desecando (zona de deshidratación) entre los 200° C y los 400° C. Según va funcionando el horno, el mineral va bajando por su propio peso y llega al aparte inferior de la cuba que constituye la zona de reducción ($\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$) Esto se efectúa a temperaturas que van de los 400°C a los 1400°C. Estas grandes temperaturas se alcanzan por la combustión del carbón con el aire ($\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 8000 \text{ kcal.}$) que entra en gran cantidad por las toberas junto a las cuales se alcanza una temperatura de más o menos 1800° C .

A la altura de los etalajes el hierro que ha perdido el oxígeno empieza a fundirse y a disolver el carbono combinándose en parte en la zona de carburación ($3 \text{ Fe} + \text{C} \rightarrow \text{Fe}_3 \text{C}$)
Este hierro fundido con el carbón disuelto, cae al crisol.

ZONA DE FUSIÓN :

Al mismo tiempo, la ganga se ha combinado con el fúndente y se ha hecho también líquida, quedando encima del hierro fundido por su menor peso específico, constituyendo así la escoria.

Esta escoria se deja salir por la bigotera; y el hierro fundido (o arrabio líquido) de cuando en cuando se sangra y se deja salir por la piquera, que se abre con un largo hierro puntiagudo tapándose de nuevo con un trozo de arcilla refractaria cuando se ha vaciado el crisol .

La escoria se transporta el escorial y se aprovecha para la fabricación de cemento y lana de escoria.

Parte del hierro líquido obtenido se deja correr por un surco que se hace en la arena de una solera que se desplaza y permite que se llene varios surcos uno por uno (peines) donde se le deja enfriar lentamente y solidificar formando los llamados lingotes o fundición gris. El material así obtenido se llama arrabio o hierro de primera fusión es muy impuro y quebradizo y se destina a una segunda fusión después de la cual se cuela por moldeo.

El hierro líquido resultante se lleva aún en estado líquido a la fábrica de acero , cargándolo en recipientes (cucharas) recubiertos interiormente de material refractario . El arrabio líquido contenido en varias cucharas se vierte en un recipiente llamado mezclador que homogeniza el arrabio y tiene una capacidad suficiente para almacenar y mantener a temperatura adecuada entre 500 y 800 toneladas de dicho producto.

Del mezclador el arrabio líquido se vierte en los hornos que los transformarán en acero.

Actualmente hay hornos que pueden producir hasta 3000 toneladas de arrabio en 24 horas.

El alto horno trabaja en funcionamiento continuo por 6 a 10 años, después de los cuales tiene que ser demolido y vuelto a reconstruir.

Resumiendo el arrabio líquido producido por el horno alto puede destinarse a dos usos:

A) Una parte viene solidificada colándolo en arena dando lugar al a formación de lingotes (arrabio o hierro de primera fusión) que servirán fundiéndolos nuevamente a la fabricación de piezas de hierro fundido por el sistema de moldeo.

B) La parte restante se mantiene todavía al estado líquido destinándola a la fabricación del acero.

Núcleo de Actividad 2: Obtención del Acero.

OBTENCIÓN DEL ACERO

Para la fabricación del acero la materia prima es el arrabio líquido. El afino hace bajar el contenido del carbono de 3 % 4,5 % a menos de 1,5 y elimina las impurezas de Si, Mn y P.

Como ejemplo indicamos una, composición promedio de un arrabio :

Carbono	C	3.60 %
Silicio	Si	2.20 %
Manganeso	Mn	0.70 %
Fósforo	P	0.50 %
Azufre	S	0.12 %

El arrabio tiene las características de resistencia siguientes:

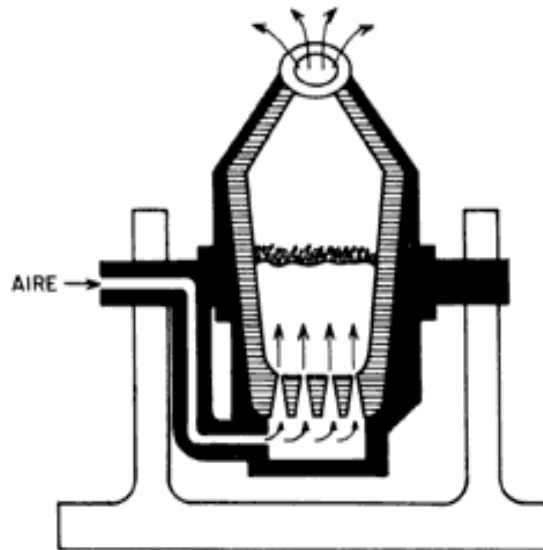
Resistencia a tracción	15 + 35 kg./ mm ²
Resistencia a compresión	45 % 90 kg./mm ²

La obtención del acero es un proceso de purificación del arrabio que consiste principalmente en una refinación (afino) por oxidación. La oxidación puede lograrse por el oxígeno del aire o por el agregado de elementos oxidables como el óxido de hierro.

El carbono se oxida transformándose en CO y CO₂ y escapa en forma de gas, el silicio, el manganeso y el fósforo forman óxidos que se separan con la escoria. El azufre no toma parte en el afino (ha sido bajado en algunos casos hasta 0.05 % : eliminándolo parte en el horno alto)

OBTENCIÓN DE ACEROS POR CONVERTIDOR:

Consiste en la descarburación de la fundición que sale del horno alto (arrabio líquido) quemando el carbono con el oxígeno del aire. La operación se lleva a cabo sin necesidad de emplear combustibles, mediante un aparato llamado convertidor.



El convertidor es un gran recipiente acorazado exteriormente con acero (chapa de 20 a 25 mm) y revestido interiormente con ladrillos refractarios (40 a 50 cm). El fondo está constituido por una gruesa placa refractaria con 100 a 200 agujeros o toberas de 10 mm de diámetro : por debajo de esta placa se encuentra la caja de viento unida a una tubería que pasa por uno de los muñones huecos y por la que llega aire a presión (1,5 % 2,5 kg./cm²).

El convertidor báscula alrededor de un eje horizontal para la carga y la colada: uno de los muñones de apoyo es macizo y lleva un piñón que engrana con una cremallera accionada hidráulicamente.

El horno se carga por la boca con arrabio líquido y el aire que atraviesa la masa metálica produce la refinación por oxidación de ésta. No se necesita combustible porque el calor necesario para mantener la masa metálica en estado líquido es proporcionado por las reacciones químicas que se producen. Se oxidan el hierro, el silicio y el manganeso con formación de escorias que flotan; a continuación se quema el carbono que se manifiesta con la salida de intensas llamas por la boca del convertidor. Cuando las llamas se apagan la descarburación ha reducido el carbono a 0.03 % .

Al terminar el proceso de refinación que dura de 15 a 20 minutos el material líquido se vierte en cucharas y después en lingoteras.

El revestimiento interior del horno puede ser de ladrillo silicoso (cuarzo) o de dolomita (carbonato doble de cal y magnesio) . En el primer caso el proceso se denomina ácido o

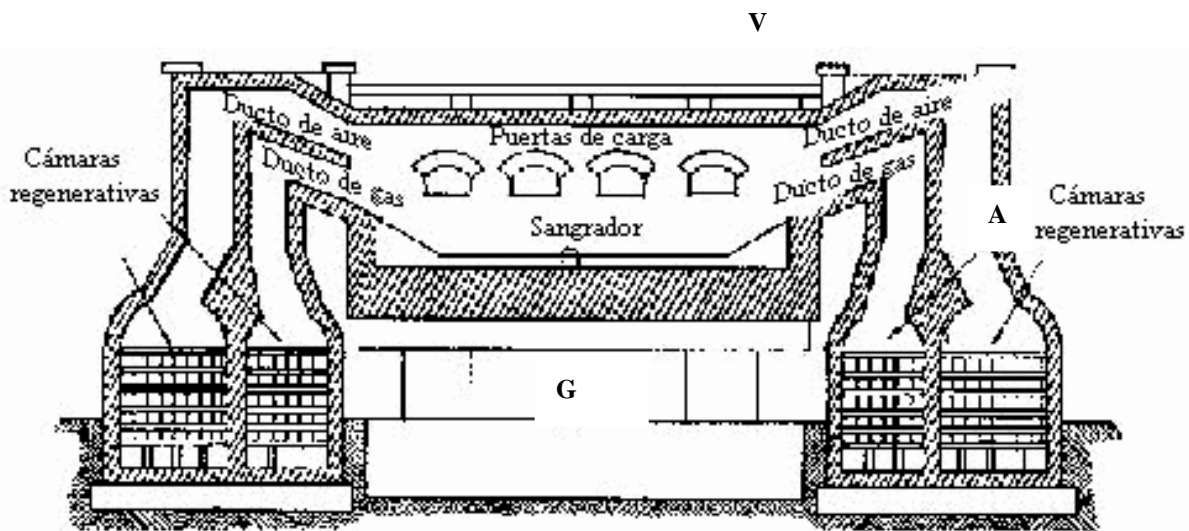
Bessemer y se aplica cuando el arrabio es rico de silicio ($Si > 2\%$) y pobre de fósforo ($P < 0.08\%$). En el segundo caso el proceso básico o Thomas y se aplica cuando el arrabio contiene poco silicio y mucho fósforo hasta $2,4\%$. Los convertidores tienen una capacidad de 10 a 20 t. de arrabio líquido.

El proceso de refinación por convertidor es muy económico y permite operaciones muy rápidas. La calidad del acero no es, por el contrario, suficiente para muchas aplicaciones debido principalmente a que la rapidez del proceso no permite controlarlo correctamente no pudiéndose mantener mucho tiempo el material líquido por el peligro de su enfriamiento.

Las características mecánicas obtenidas con acero de convertidor son, a igualdad de composición, inferiores a los correspondientes aceros obtenidos por los otros procedimientos (elevado contenido de oxígeno y nitrógeno). Otro inconveniente lo constituye el tener que emplear solamente arrabio de composiciones definidas.

Cuando se piden aceros de calidad los productos del convertidor vienen sometidos a otro afino (horno Martin- Siemens, horno de crisoles y hornos eléctricos). Sea el convertidor, como los otros hornos que se emplean en la fabricación del acero, éstos son intermitentes al contrario de los hornos altos que, como ya hemos indicado, son de funcionamiento continuo.

Obtención del acero por el procedimiento Martin-Siemens. - Los hornos Martin Siemens pertenecen al tipo de hornos de reverbero y se caracterizan por tener un sistema recuperador de calor que permite que el aire y los gases empleados por la combustión sean precalentados. La fabricación del acero Martin Siemens esta basada en uno de los principios siguientes:



Vista seccional de un horno de hogar abierto

1- Se transforma el arrabio en acero por dilución añadiendo al arrabio líquido productos menos carburados para que disminuya el contenido de carbono del conjunto. La adición es de chatarra de acero. Este proceso se denomina de arrabio y chatarra.

2- Se produce una oxidación del "C" añadiendo arrabio líquido, óxidos de Hierro. La mayor parte del oxígeno necesario para la descarburación procede del mineral y el resto de la atmósfera del horno. El proceso se llama arrabio y mineral.

Descripción del horno. - El horno Martin - Siemens es un horno de reverbero, cuya solera se calienta exteriormente, pudiéndose cargar arrabios de cualquier composición.

El horno o laboratorio: contiene el arrabio a tratar, esta limitado por la solera S, la bóveda V y lateralmente por las paredes (ver figura). La solera es rectangular, de 4 a 8.50 a 3.50m de ancho, puede recibir de 15 a 40 toneladas. El revestimiento puede ser ácido o básico según la composición del arrabio a tratar, el espesor es de 20 a 40 cm. La cara anterior del horno tiene las puertas de carga y la posterior la piquera de colada C. Sobre cada una de las dos caras

laterales se tienen dos conductos g^I , a^I y a^{II} , g^{II} que sirven para la llegada del gas y el aire comburente y para la salida de los humos. El horno está situado entre dos recuperadores de calor A^I , G^I y A^{II} , G^{II} formados por emparrillados de ladrillos. Un horno puede realizar más de 2000 operaciones.

Funcionamiento del horno Martin- Siemens.- el gas combustible procedente del alto horno o de gasógenos se envía por la válvula V^I sobre los emparrillados de ladrillo G^I y entra en el laboratorio por el canal g^I .

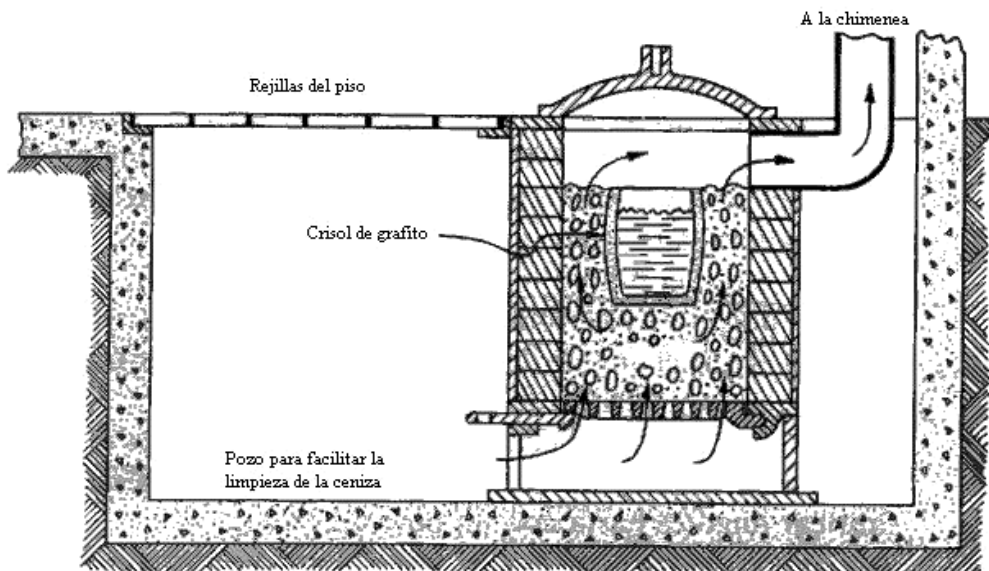
El aire comburente es enviado por la válvula V^I sobre los emparrillados de ladrillos A^I y se desemboca recalentando en el horno por el conducto a^I la llama pasa por la superficie del baño y los humos salen por los canales g^{II} y a^{II} , alcanzando los emparrillados de los recuperadores G^{II} y A^{II} escapando por la chimenea por el fuego de las válvulas V^I y V^{II} .

Periódicamente se invierte el sentido de la corriente gaseosa girando 90° las válvulas (V^I_2 , V^I_1) . El tiempo que transcurre entre 2 inversiones es variable; al principio del afino es de 30 minutos y al final de la operación, de 15 minutos. Las inversiones son tan frecuentes para evitar la fusión de los conductos y la bóveda cuando alcanzan la temperatura máxima de 1600° C. Espesor del baño 40 a 50 cm.

El procedimiento dura de 6 a 9 horas . Al terminar el procedimiento se pincha el agujero de colada para poder vaciar el acero líquido a cucharas y después a lingoteras .

El acero obtenido es de buena calidad porqué es posible el dosaje exacto de los componentes.

Obtención del acero por horno de crisoles.- es el procedimiento más antiguo para obtener acero en estado líquido homogéneo, con dosaje exacto y sin inclusiones gaseosas. Los crisoles son de arcilla refractaria a la cual se le añade el coque y arcilla ya cocida (chamota) . También se fabrican crisoles de grafito (15 a 75 %) adicionado de arcilla refractaria y de arena el crisol dura más cuanto más grafito contiene. Los crisoles se calientan en un horno de recuperadores calentado como el horno Martín Siemens. La solera puede admitir 24 crisoles, que cargan cada uno 10 a 50 kg. de metal . En los crisoles se puede fundir acero cementado, hierro y una cierta cantidad de arrabio para tener el contenido de carbono deseado y mezclas convenientemente dosificadas.



Horno estacionario con coque

Los aceros al crisol son productos de segunda fusión no hay afino. La carga esta afuera de la acción del combustible y de la atmósfera del horno (los crisoles llevan tapas) .

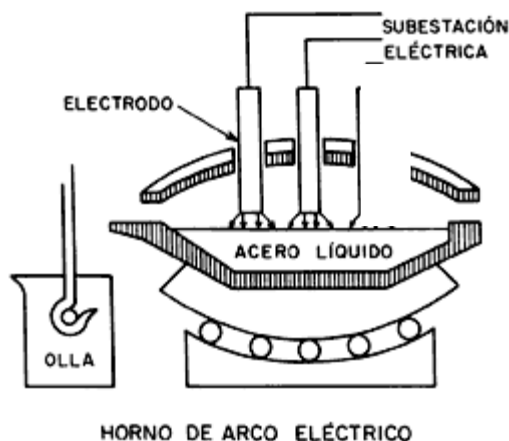
Por el bajo rendimiento térmico de los hornos de los crisoles y por el gran consumo de crisoles el costo del producto resulta elevado y por esta razón este método se limita solamente a la fabricación de aceros especiales.

Hornos eléctricos para la fabricación de acero.- Tienen la ventaja del calentamiento rapidísimo y de consentir elevadas temperaturas. Hay dos tipos de hornos eléctricos para obtener acero: Hornos de arco voltaico y hornos de inducción. El horno eléctrico es particularmente apto para la fabricación de aceros especiales partiendo de un acero ya afinado. Se puede también realizar un afino como en el horno Martín Siemens empleando como agente oxidante Mineral (óxido de fierro) con la adición de arrabio y de las necesarias ferroaleaciones. Estos productos llamados ferroaleaciones son fabricadas en hornos eléctricos.

Las ferroaleaciones son aquellas aleaciones en las que el hierro no es elemento preponderante, sino por el contrario lo son el silicio, el wolframio, o tungsteno, el molibdeno cuyos contenidos pueden llegar al 70 y 90%. Las ferro aleaciones se emplean como adiciones finales en el afino del arrabio o para fabricar aceros especiales aleados. Hay aleaciones de ferrosilicio, ferromanganeso, silicomanganeso, ferrowolframio, etc.

El horno eléctrico presenta las ventajas que el acero no se contamina no por el aire ni por el combustible además puede calentarse rápidamente alcanzando altas temperaturas fácilmente regulables cuando se necesite.

Los hornos eléctricos de más común empleo son los de arco voltaico, a corriente continua o alterna, con dos o tres electrodos.



Uno de los hornos más conocidos es el Heroult, que es un horno a solera no conductora, alimentando a corriente monofásica y con dos electrodos de grafito. Se producen dos arcos entre el primer electrodo y el baño metálico y el otro entre el mismo baño y el segundo electrodo. La capacidad es de 15 a 35 toneladas durando la operación de 3 a 6 horas.

Los hornos eléctricos de inducción actúan por el principio de la inducción electromagnética o sea sobre la generación de corrientes inducidas por una variación del campo magnético.

Pueden ser de baja frecuencia con núcleo magnético, de alta frecuencia sin núcleo magnético.

Horno de inducción de baja frecuencia (kiellin).- este horno se diferencia de los anteriores en que el baño no está en contacto con ningún electrodo. Es un transformador en el que el primario esta conectado a la red de alta tensión .El secundario tiene un espiral formado por el metal líquido que ocupa un canal anular. El circuito magnético esta formado por un paquete de chapas. Este horno de baja frecuencia (5 entre 50 hertz) permite operar en ausencia completa de carbono condición favorable para la preparación de aleaciones especiales . La temperatura se puede regular fácilmente y la agitación del baño por la influencia de las fuerzas electromagnéticas proporciona productos más homogéneos.

Horno de inducción de alta frecuencia .- en estos hornos el calentamiento viene a causa de la corrientes inducidas en la masa metálica por una bobina, que circunda el crisol, alimentada por una corriente alterna de alta frecuencia (500 - 3000 Hz).

La bobina es constituida de muchos espirales de tubo de cobre refrigerado por agua , las corrientes inducidas se ponen en la periferia de la masa metálica y circulan en un estado anular de pequeño espesor . Este anillo constituye un espiral cerrado en corto circuito y funciona como el secundario de un transformador cuyo primario es la bobina exterior . Como se trata de un solo espiral las corrientes inducidas tienen una intensidad elevada y por está razón el calentamiento de la masa metálica viene con rapidez (se puede alcanzar temperaturas entre 2800 y 3000 ° C).

Los hornos de inducción de alta frecuencia son idóneos para el ulterior afino del acero de convertidor o de acero de horno de arco como también para la fabricación de aceros aleados.

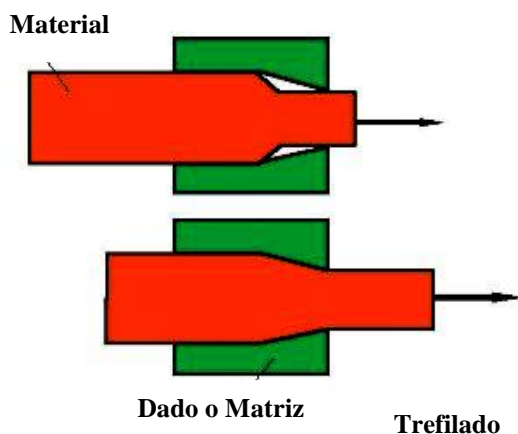
Colada del acero.- el acero líquido en los hornos viene vertido en cucharas y de las cucharas viene colado en moldes especiales llamados lingoteras.

Las cucharas son recipientes metálicos de planchas de acero revestidos internamente de ladrillos refractarios. Contienen 30-50 toneladas de acero y vienen transportadas al local de las lingoteras con grúa - puente. Las lingoteras son moldes de hierro fundido. La forma de la sección longitudinal es tronco-cónica para facilitar la salida del tocho. Hay lingoteras de colada directa y de colada indirecta.

Las lingoteras grandes dan tochos de $\frac{3}{4}$ -5-7 toneladas pero con moldes o con máquinas especiales se moldean piezas chicas llamadas palanquillas de 80 × 80, 100 × 100, 150 × 10 mm de sección.

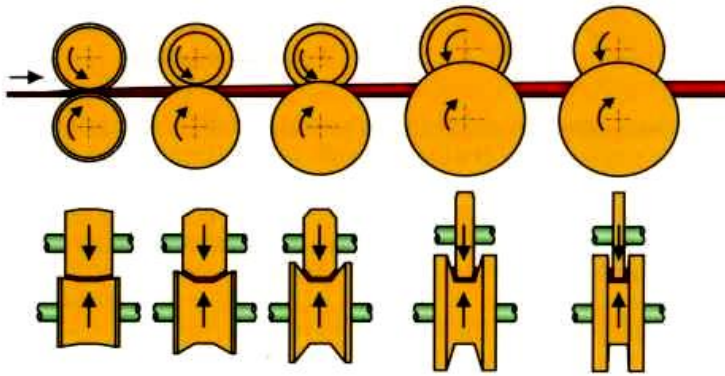
Estos productos serán sometidos a un proceso de transformación plástica laminándolos (en caliente o en frío) para obtener como productos finales platinas, ángulos, perfiles, alambρόn, planchas, tubos, para obtener los alambres delgados se parte del alambρόn trefilándolo.

A veces el acero se funde en moldes especiales dando lugar a piezas de acero fundido. Esto se hace directamente desde los hornos productores de acero o sea empleando directamente al acero líquido o (sobre todo para piezas pequeñas) refundiendo el acero en hornos eléctricos.

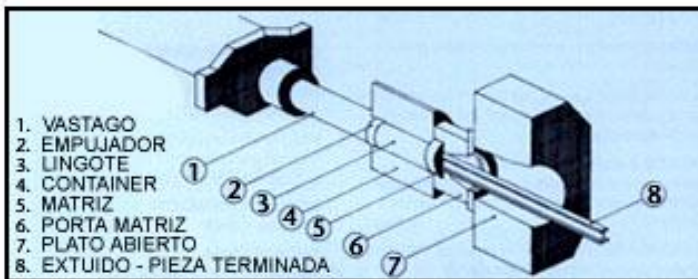


Rolado de una Plancha





Tren de Laminación



Extrusión de un perfil

NUCLEO DE ACTIVIDAD 3 : ESTRUCTURA CRISTALINA DE LOS METALES ESTRUCTURA CRISTALINA DE LOS METALES.

En la mayoría de los casos, los materiales metálicos se obtienen por fusión de los minerales en los cuales se encuentran bajo forma de compuestos químicos. Al momento que dichos materiales pasan del estado líquido al sólido se forman cristales, en forma paulatina, primero aparecen núcleos de cristalización y alrededor ellos se agrupan otros cristales, a medida que la velocidad de enfriamiento aumenta aparecen cristales formados a partir de diferentes núcleos cuando chocan entre sí el crecimiento se detiene y aparecen contornos con ordenamiento irregular formando los **granos cristalinos**, que se pueden observar a simple vista con la ayuda de una lupa y que están formados por cientos de miles de cristales pues tienen un tamaño de 2 a 3 A° (Angstrom, siendo un A° = 10⁻⁷mm).

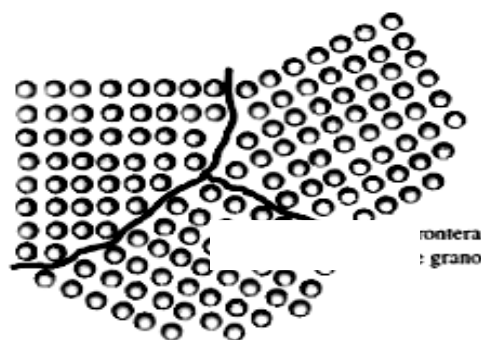


FIGURA 4-14 Los átomos cerca de las fronteras de los tres granos no tienen un espaciamiento o arreglo de equilibrio.



Estructura granular del hierro(x100) y del hierro Fundido blanco

El microscopio electrónico permite descubrir que cada grano está formado por una serie de **ordenaciones geométricas** iguales para un determinado metal, lo que le da un carácter **crystalino** a los metales. Finalmente los distintos cristales que forman la estructura cristalina, están formados por átomos colocados según una red espacial determinada.



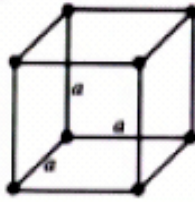
FIGURA 3-3 Una red es un arreglo periódico de puntos que definen un espacio. La celda unitaria (contorno grueso) es una subdivisión de la red que sigue conservando las características de la red.

La **red espacial** de los cristales y la ordenación de éstos, varían según la **clase de metal** y para determinados metales y aleaciones varían según la temperatura, de ésta manera tenemos:

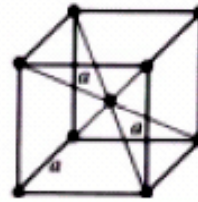
- a.- Sistema Cúbico Centrado en el cuerpo (b.c.c.): La celda elemental está formado por 9 átomos, un átomo en cada vértice y uno en el centro, éste sistema es característico de los metales duros (tungsteno, molibdeno, hierro α y hierro δ , vanadio, sodio, cromo)
- b.- Sistema cúbico de cara centrada (f.c.c.) : La celda elemental está constituida por 14 átomos, un átomo en cada vértice y uno en cada una de las caras del cubo, éste sistema es característico de los metales más dúctiles (cobre, plata, níquel, plomo, aluminio, hierro γ , oro.)
- c.- Sistema Hexagonal (c.p.h.) : La celda elemental está constituida por 17 átomos, 14 formando un prisma hexagonal y 3 al centro de la celda. Esté sistema es característico de los metales frágiles (magnesio, cadmio, zinc, berilio)



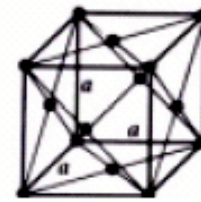
Hexagonal



Cúbico simple (P)
Cúbico $a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$



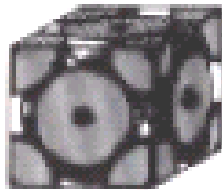
Cúbico centrado en el cuerpo (I)



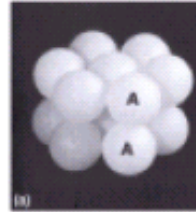
Cúbico centrado en la cara (F)



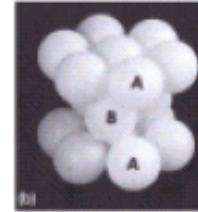
bcc



fcc

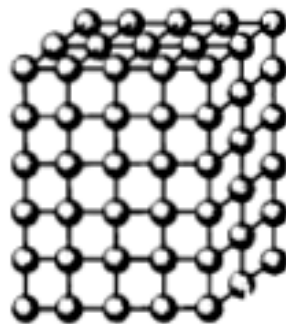


bcc



fcc

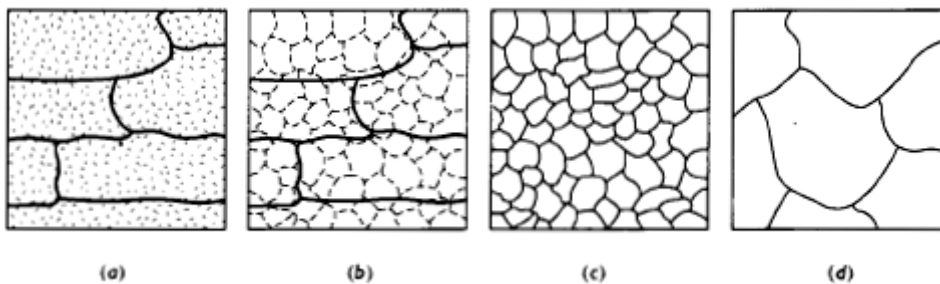
Pero un celda sea de cualquier estructura no es una celda aislada si no que están formando una red cristalina, es decir que alrededor de una celda hay otras celdas con quienes comparten los átomos de los vértices, es decir que en la celda bcc. cada átomo de los vértices esta compartido con otras cuatro celdas unitarias, tal como se muestran en los gráficos anteriores bcc y fcc.



Polimorfismos y Alotropía: El polimorfismo es la propiedad de los materiales de existir en más de un tipo de red espacial en el estado sólido. Si el cambio en estructura es reversible, el cambio polimorfo se conoce como **Alotropía**. Por lo menos quince metales tienen esta propiedad y el hierro es el ejemplo más conocido. Cuando el hierro cristaliza a 2800°F es b.c.c. (Fe δ) a 2554°F la estructura cambia a f.c.c. (Fe γ) y a 1670°F vuelve a transformarse a b.c.c. (Fe α)

Mecanismos de Cristalización: La cristalización es la transición del estado líquido al sólido y ocurre en dos etapas: Formación de núcleos y crecimientos del cristal. En ellos tienen que ver la temperatura y el tiempo, cuando la temperatura disminuye el movimiento de los átomos disminuye favoreciendo la formación de núcleos y de crecimiento de cristales a partir de ellos. A sí mismo en estado líquido tienen diferentes formas de energía producto de la temperatura, estas formas de energía son las cinética y la potencial. La cinética esta relacionada con la velocidad con que se mueven los átomos, la potencial esta relacionada con la distancia entre átomos, ambos tipos de energía se incrementan con la temperatura.

Tamaño del Grano: El tamaño de los granos de una pieza colada está determinado por la relación entre la rapidez de crecimiento y la rapidez de nucleación. Si el número de núcleos formados es alto se tendrá un material de grano fino, si sólo se forman unos cuantos núcleos se producirá un material de grano grueso. La rapidez de enfriamiento es el factor más importantes para determinar la rapidez de nucleación y por lo tanto el tamaño del grano.



DEFORMACIÓN POR DESLIZAMIENTO: Si el cristal de un metal es forzado tensilmente más allá de su límite elástico, se alarga en forma ligera y aparece un escalón sobre una determinada superficie indicando un desplazamiento relativo de una parte del cristal con respecto al resto. Al aumentar la carga se producirá movimiento en otro plano paralelo y dará como resultado otro escalón. Cada alargamiento sucesivo necesita un esfuerzo aplicado cada vez mayor y resulta con la aparición de un escalón, que es en realidad la intercepción de un plano de deslizamiento en superficies del cristal. El Aumento progresivo de la carga producirá eventualmente fractura del material.

METALES: Toman éste nombre las sustancia que tienen las características siguientes : Buena conductibilidad térmica y eléctrica, brillo característico llamado metálico, no se combinan con el hidrógeno, se combinan con el oxígeno formando óxidos, son sólidos a temperatura ordinaria. excepto el mercurio que es líquido.

METALOIDES: Son las sustancias que tienen las características opuestas a los metales.

ALEACIONES: Es la combinación de dos o más metales o de metales con metaloides. Las aleaciones se obtienen fundiendo en un horno varios componentes y dejando enfriar la solución líquida, las características de las aleaciones dependen exclusivamente de los componentes y de la velocidad de enfriamiento. Respecto a los metales las aleaciones tienen una mayor resistencia a la tracción, una mayor dureza, una mayor resistencia a los agentes químicos y al desgaste.

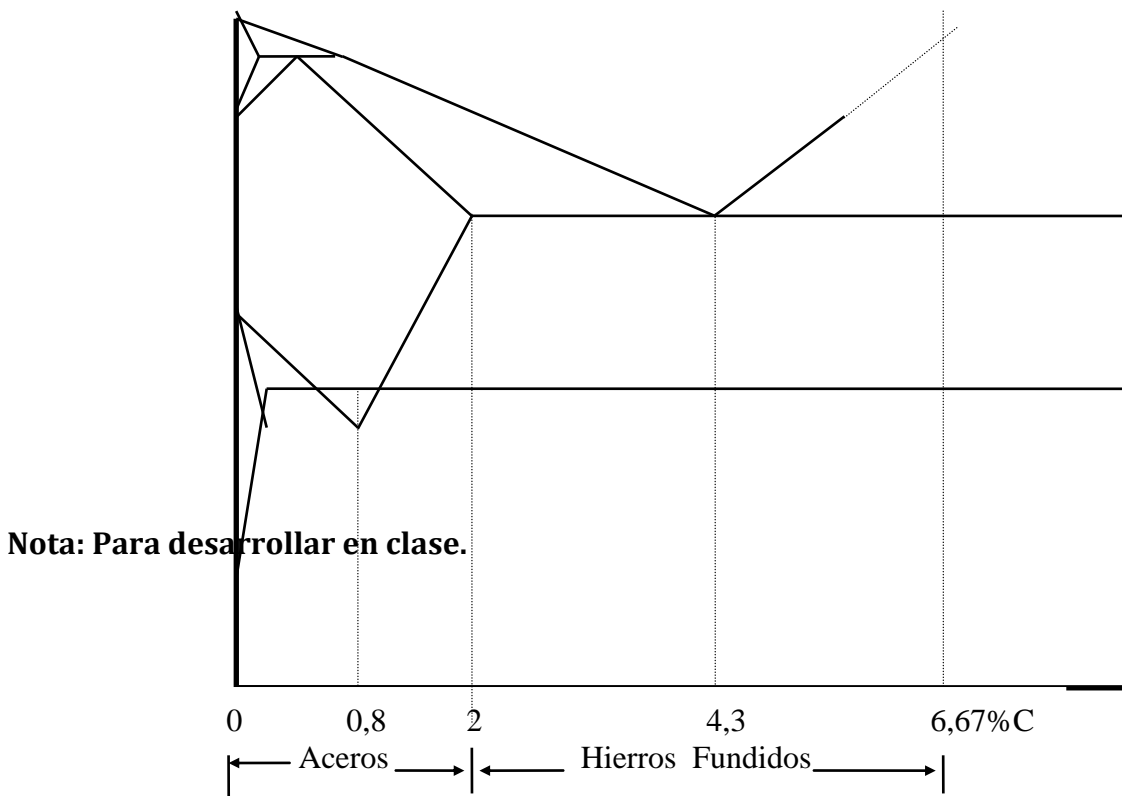
DIAGRAMA DE EQUILIBRIO HIERRO CARBONO.

El hierro es uno de los componentes de aleación más importante de la industria moderna, por su gran aplicabilidad y uso. En estado casi puro denominado Hierro Dulce tiene pocas aplicaciones en la industria.

El hierro es un metal alotrópico, lo cual significa que puede existir en más de una estructura reticular, dependiendo de la temperatura, cuando el hierro solidifica a 2800°F, está en la forma b.c.c. (cúbica centrada en el cuerpo) δ (delta). Al bajar a la temperatura de 2554°F ocurre un cambio de fase y los átomos se reacomodan por sí mismo en la forma γ (gama) que es f.c.c. (cúbica centrada en la caras) y no magnética. Cuando la temperatura alcanza los 1666°F ocurre otro cambio de fase de hierro γ f.c.c. no magnético a hierro α (alfa) b.c.c. no magnético. Finalmente a 1414°F el hierro α se hace magnético sin cambio en la estructura reticular.

Diagrama Hierro - Carburo de Hierro.

La temperatura a que tienen lugar los cambios alotrópicos está influida por los elementos de aleación, de los cuales el más importante es el carbono, en el gráfico que a continuación mostramos muestra la porción de interés de la aleación hierro carbono y que es la parte entre el hierro puro y un compuesto llamado Carburo de hierro Fe_3C que contiene 6,67% de carbono por peso. Por lo tanto esta porción se llamará diagrama de equilibrio hierro carbono.



Los metales y aleaciones y en particular los aceros no forman una masa homogénea, si no que están constituidos por granos o cristales de distinto tamaño, distinta composición y distintas propiedades, la forma, el tamaño y la composición de dichos metales varía al calentar o enfriar

las masas metálicas a ciertas temperaturas críticas, esto hace posible los llamados tratamientos térmicos.

En el diagrama se muestran haciendo uso de letras griegas se representan las soluciones sólidas y que reciben diversos nombres.

Reciben el nombre de constituyentes de los aceros los distintos tipos de granos o cristales que se obtiene a distintas temperaturas y composición de Hierro y Carbono y ellos son:

Ferrita.- Es el hierro casi puro, es el más blando de los constituyentes tiene buena tenacidad, se llama también hierro alfa (α).

Hierro Gamma (γ).- Es otra de las formas en que se puede encontrar el hierro casi puro, se forma a altas temperaturas y tiene propiedades algo distintas que la ferrita. Al enfriarse se transforma en ferrita.

Cementita.- Es un carburo de hierro Fe_3C , se compone de 6,67% de carbono y el resto es de hierro, es el más duro y frágil de los constituyentes del acero.

Perlita.- Es un constituyente formado por capas ó láminas alternas de ferrita y cementita. Contiene aproximadamente 0,9% C y es muy resistente al desgaste, se produce en los aceros al someterlo a enfriamientos lentos.

Austenita.- es una solución sólida de cementita en hierro gamma, el contenido de Carbono puede variar de 0 a 1,7%C (2 065°F) se puede obtener enfriando rápidamente ciertos aceros desde altas temperaturas, es relativamente blanda, pero muy tenaces y resistentes al desgaste.

Martensita.- Es una solución sólida de cementita en ferrita y puede contener hasta el 1% C, La resistencia, dureza y fragilidad aumenta con el Carbono, es el constituyente típico de los aceros templados

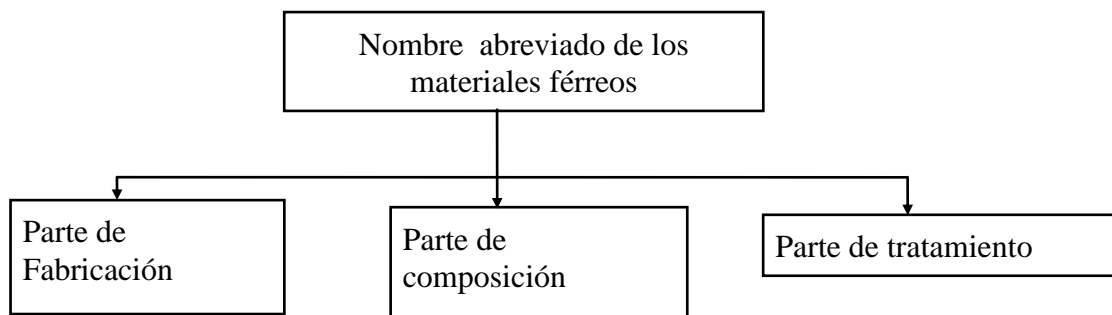
Ledeburita.- Es una mezcla de austenita y cementita , contiene 4,3%C y se forma a 2 065°F

Carburos.- Son los compuestos de carbono y metal, además del carburo de hierro existen también carburos de tungteno, cromo y vanadio.

Estas transformaciones se representan en el diagrama de la siguiente manera por ejemplo para un acero del 0,4 % de Carbono, trazaremos una línea vertical que pase por el punto 0,4 de la línea horizontal correspondiente a la "x" y siguiendo de arriba hacia abajo es decir disminuyendo la temperatura se va pasando sucesivamente por las regiones correspondientes al acero líquido, austenita, mezcla de austenita y ferrita, y por fin mezcla de ferrita y perlita. Los puntos en que la línea vertical corta las líneas del diagrama sirven para indicar la temperatura en que ocurren las transformaciones.

NORMALIZACION DE LOS MATERIALES METALICOS.

1.- DESIGNACION DEL ACERO.



Una designación completa consta de los datos necesarios para la adquisición de un determinado material, en ella se debe indicar, la fabricación la composición y los tratamientos a que se a sometido. Por lo general estos se indican por letras o por números que se irán indicando posteriormente.

1.1.- ACEROS NO ALEADOS:

Los aceros no aleados se designan indicando su resistencia a al tracción o su contenido de carbono. Son los llamados “aceros de construcción” en general, se designa por la letras “**St**” y el índice de calidad (que multiplicado por 9,81 y redondeado que da como resultado la resistencia a la tracción en N/mm^2)

Ejemplo: Un **St 37** es un acero de construcción corriente de $37 \times 9,81 \approx 370 N/mm^2$ de resistencia a la tracción. El **C55** es un acero de calidad no aleado llamado también acero al carbono, adecuado para tratamientos térmicos, el 55 significa que contiene un $55/100 = 0,55\%$ de carbono.

1.2.- ACEROS ALEADOS . Se designan según su composición y se discriminan en aceros de baja aleación y aceros de alta aleación.

En los **aceros de baja aleación** la suma de los componentes aleados no sobrepasa del 5% de la masa. Siendo el número indicador de la siguiente manera:

Factor entre 4 : Cr, Co, Mn, Ni, Si, W (tungteno)

Factor entre 10: Al, Mo, Ti, V

Factor entre 100: C,S,P, N.

Ejemplo:

34Cr4 nos indica un acero de baja aleación con $34/100 = 0,34\%$ de C y de $4/4 = 1\%$ de Cromo.

48 Cr MoV 6 7 nos indican que es un acero fino de baja aleación con 0,48% de C, $6/4 = 1,5\%$ de Cr. y $7/10 = 0,7\%$ de Mo y un bajo contenido de Vanadio

Para los **aceros de alta aleación** que tienen más del 5% en masa de componentes aleados, antes de la indicación del componente aleado predominante se antepone una “X” y todos los componentes tienen un factor 1

X5Cr Ni Mo18 13 nos indica un acero de alta aleación con $5/100 = 0,05\%$ de C, 18% de Cr, 13% de Ni y bajo porcentaje de Mo. También se le llama aceros inoxidable.

1.3.- DIFERENTES TIPOS DE ACERO:

Son aceros de diferentes calidades con diferentes aplicaciones y que están especificados en las designaciones anteriormente mencionados. Dentro de ellos tenemos: Aceros de Construcción Básicos, Aceros de Calidad, Aceros Inoxidables, Aceros de Herramientas, Aceros Rápidos, etc.

Los Aceros de Construcción son los que no se emplean para construcción de herramientas, no son aleados, por su resistencia a la tracción y su **límite de fluencia** se emplea para la construcción de puentes, carpintería metálica, maquinarias, autopartes, etc.

Aceros de Calidad, con el aumento del contenido del Carbono se consigue mejores propiedades mecánicas, como endurecimiento, capacidad para tratamientos térmicos, dentro de ellos tenemos, los aceros de cementación, Aceros bonificados, aceros de Nitruración

Aceros Inoxidables, con un contenido de 12% como mínimo de Cr y que poseen una estabilidad frente a sustancias que atacan químicamente (agua, aire, gases, ácidos, lejías).

Aceros para Herramientas. Se emplean para la fabricación de herramientas de corte y conformación, son aceros al carbono que proporcionándole un adecuado tratamiento térmico poseen una capa superficial dura y un núcleo tenaz no templado.

Aceros Rápidos; son aceros de alta aleación en la que el Carbono forma carburos de W, Mo, Co, dando como resultado carburos que son duros, resistentes al desgaste y altas temperaturas, que permiten el uso de grandes velocidades de corte, ello exige que el filo de la herramienta resista sin ablandarse y sin mellarse a las temperaturas elevadas producto de las elevadas velocidades de corte. El elemento fundamental es el Wolframio y el Cobalto.

Aparte de ellos existen una gran cantidad de aceros como los aceros para válvulas de motores que trabajan no solo mecánicamente si no resistir gases corrosivos propios de la combustión, dentro de sus componentes están el Ni (12%) Cr (12%) Si, Mn y W.

También forman parte de ellos los Aceros refractarios para el uso de elevadas temperaturas a las que deben resistir sin la formación de cascarillas es decir sin destrucción por oxidación, son aceros inoxidable especiales con alto contenido de Ni y Cr. (20 y 25%)

Otro tipo de aceros son los que poseen una gran permeabilidad magnética y poca resistencia y que se emplean como chapas para transformadores, dinamos, tiene bajo, contenido de C (menos del 0,8%) Si desde 1,8 a 5%

FUNDICIONES

Son llamados también materiales colados y que son aleaciones de Hierro y Carbono con un 2 a 4% de Carbono, que debido a sus propiedades, son aptos para la producción de fundición en molde. Las características de una fundición no sólo dependen de su composición química, sino también del proceso de elaboración, ambas determinan la forma de presentación del Carbono (combinado en forma de grafito laminar, esferoidal, etc.)

Dentro de ellas se encuentran el hierro fundido con grafito laminar, el hierro fundido con grafito esferoidal, la fundición dura y la fundición maleable.

Hierro Fundido con Grafito Laminar.- Prácticamente no tiene alargamiento, es decir no trabaja a tracción. La superficie de rotura es con grano fino de color gris (por ello se **llaman también fundiciones grises**) por el hecho de que el carbono se separa preferentemente en forma de grafito en capas de laminitas repartidos en la masa de hierro.

En la superficie de rotura se presentan vetas de forma laminar con radios de curvatura pequeños, los cuales actúan en forma de entallas y reducen por lo tanto la resistencia y aumentan la posibilidad de rotura, la viruta desprendida durante el mecanizado es quebradiza, su resistencia a la comprensión es alta, por lo que se utiliza preferentemente para la mayoría de piezas mecánicas que han de servir de soporte o de alojamiento de mecanismos (carcazas, bancadas, cajas, mesas, volantes, etc.)

Hierro Fundido con Grafito Esferoidal.- Llamadas también **fundiciones nodulares** que por adición de pequeñas cantidades de magnesio y cerio, estas fundiciones el grafito solidifica en forma de pequeñas esferas lo que aumentan su resistencia a la tracción, los pequeños granos de grafito aumentan la cohesión evitando los efectos de la entalladura de la fundición gris, se mecaniza por arranque de viruta mejor que las fundiciones grises, poseen suficiente alargamiento sobre todo si se somete a tratamientos térmicos.

Fundición Dura.- Se obtiene por adición de manganeso y enfriamiento rápido del caldo. De esta forma se consigue que el carbono se separa de toda la sección en forma de carburo de hierro Fe_3C , su superficie de rotura es de aspecto blanco. Se consigue una mayor resistencia mecánica, dureza y resistencia al desgaste.

DESIGNACIÓN DE LAS FUNDICIONES

Se utiliza el nombre abreviado empezando con el símbolo de la fundición seguido de un guión y el resto corresponde a la designación del acero.

Símbolos : GG = hierro fundido con grafito laminar (fundición gris)

GGG = hierro fundido con grafito esferoidal (fundición nodular)

Ejemplos: GG-20 se trata de una fundición gris de 200N/mm² de resistencia a la tracción

GGG-40 fundición nodular de 400N/mm²

NUCLEO DE ACTIVIDAD 4: METALES NO FERREOS

MATERIALES INDUSTRIALES NO FÉRREOS

METALES LIGEROS

1.- **ALUMINIO.**- Es un metal de color blanco plateado, siendo su principal característica su ligereza que lo hace muy útil en muchas aplicaciones, Es dúctil y maleable, buen conductor de la electricidad y del calor, su resistencia a la tracción es baja, valor que se duplica al ser laminado en frío, se funde a 657°C.

No se presenta puro en la naturaleza, sin embargo combinado es uno de los metales más abundantes en la tierra (8% de la corteza), y se encuentran presentes en la mayoría de las rocas, de la vegetación y de los animales. el mineral más rico en aluminio es la **Bauxita**. El Corindón es un óxido de aluminio cristalino. Puro y claro es una piedra preciosa (Zafiro, Rubí, Topacio, Amatista). Otra de las aplicaciones de los óxidos de aluminio es el carborundo como abrasivos, para pulir, asentar válvulas, y el corindón que es un óxido fundido en horno eléctrico y que es el abrasivo de las piedras esmeriles y de rectificar. Pero una de las mayores ventajas del aluminio es que puede ser reciclado una y otra vez sin perder su calidad ni sus propiedades.

El aluminio se puede forjar, laminar incluso a finas láminas, estirar, mecanizar con arranque de viruta, fundir y soldar con diversos procedimientos.

Las aleaciones del aluminio son con el Cu, Si, Mg, Mn, y el Zinc. Las principales aleaciones son: AlCuMg en las que el % de Cu está en 4, 4,2 4,4 4,5 y que son de uso en general, para la fabricación de los remaches se usa una aleación del tipo AlCuMg 2,5, para las culatas, émbolos, cartes y similares se usa una aleación AlCu Ni 4.

La base de todas las plantas fundidoras de aluminio primario es el proceso Hall-Héroult, inventado en 1886. La alúmina se disuelve mediante un baño electrolítico de criolita fundida (fluoruro aluminico sódico) en un recipiente de hierro revestido de carbón o grafito conocido como "crisol". Una corriente eléctrica se pasa por el electrolito a un bajo voltaje pero con una corriente muy alta generalmente 150,000 amps. La corriente eléctrica fluye entre el ánodo (positivo) de carbono hecho del coque de petróleo y brea, y un cátodo (negativo) formado por un recubrimiento de carbón grueso o grafito del crisol.

El aluminio fundido es depositado en el fondo del crisol y se revuelve periódicamente, se lleva a un horno, de vez en cuando se mezcla a una aleación especificada, se limpia y generalmente se funde.

El aluminio se forma a cerca de 900°C pero una vez que se ha formado tiene un punto de fusión de solo 660°C. En algunas fundidoras este ahorro de calor es utilizado para fundir metal reciclado que luego es mezclado con el metal nuevo.

También existe el proceso de producción de aluminio llamado BAYER

2.- **EL MAGNESIO: Mg** Metal de color y brillo semejante al de la plata, es maleable, poco tenaz, y ligero como el aluminio, lo que hace posible su gran aplicabilidad. Tiene un peso específico de 1,78Kg/dm³ es muy inflamable es poco resistente a la corrosión en atmósfera húmedas.

En estado natural forma diversos minerales dentro de los cuales están la Magnesita (carbonato de Mg: MgCO₃) la dolomita y la carnalita, al igual que el aluminio el magnesio puro se prepara por electrólisis, en pirotecnia se utiliza como desoxidante y como flash, el magnesio

ardiendo hay que apagarlo con arena pues con agua aviva la reacción, es fácil de mecanizar evitando el uso de refrigerantes, fácil también de fundir y conformar.

Por su facilidad de combustión el magnesio sólo se usa aleado, para materiales de construcción ligeros, los aleantes modifican sus propiedades, por ejemplo el Mn aumenta su resistencia a la corrosión, el Al mejora su comportamiento mecánico, el Zinc le comunica gran alargamiento y mucha resistencia.

Más del 95% de las piezas de aleaciones fundidas son por el procedimiento a presión, son ligeras y aproximadamente de la misma resistencia que las piezas fundidas a presión de las aleaciones de aluminio. La aleación más usada es la Fundición Mg AL8Zn1 que se emplea para piezas de motores como cárter, carcasas de árboles de levas, cuerpos de ventiladores, aros decorativos para llantas de vehículos.

METALES PESADOS.

1.- EL COBRE Cu.

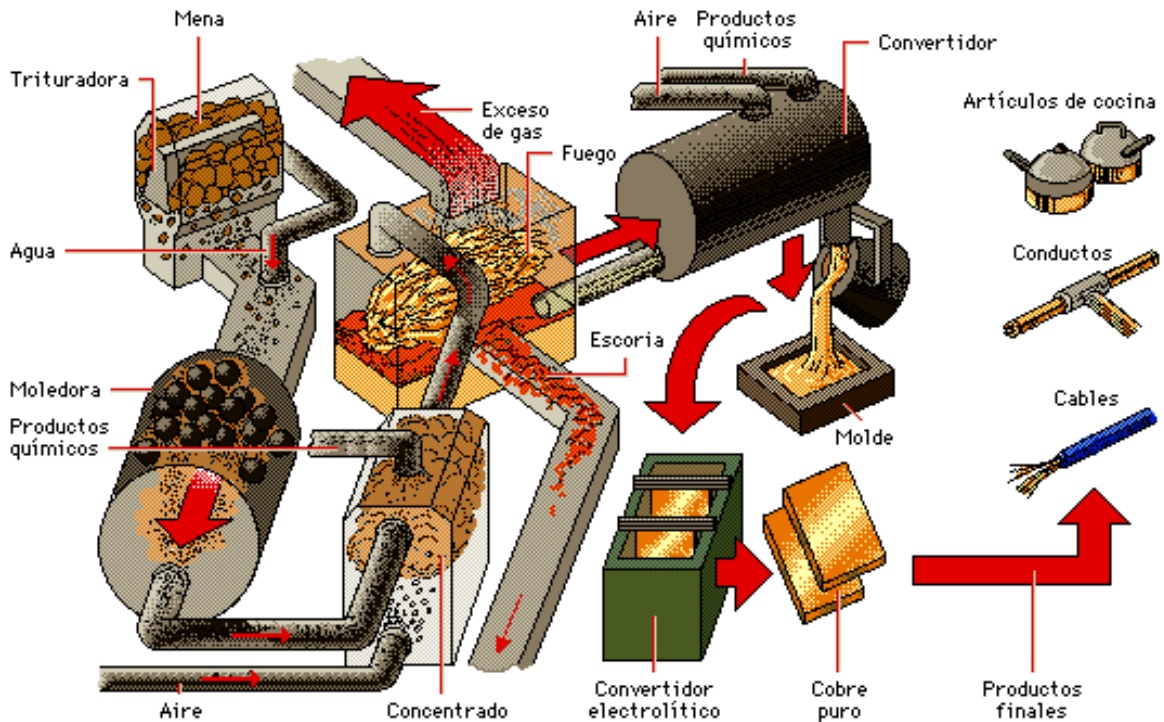
Es uno de los pocos metales que se encuentran en forma nativa y principalmente formando minerales, es el de consumo más antiguo y junto con el Aluminio es el metal no férreo más importante, su uso en la electricidad y la electrónica es inestimable.

Los minerales más importantes son la Calcosina (Cu_2S), la Calcopirita (CuFeS_2) y las piritas de Cu que son óxidos. La obtención del Cu a partir de los minerales se puede realizar por medio de tres métodos: Por reducción de los óxidos de Cu en hornos apropiados, con lo que se obtiene el Cu metalúrgico, otra forma es tratando los minerales con disolventes adecuados (ácidos sulfúrico o clorhídrico) obteniendo un cobre bruto muy impuro y por último por vía electrolítica con lo que se obtiene un Cu muy puro. En hornos de calcinación se logra eliminar el S combinándolo con el oxígeno formando dióxido de azufre SO_2

El Cu es muy maleable pudiéndolo laminarlo en hojas de hasta 0,02mm de espesor, también permite estirarlo en hilos finísimos, sus principales aplicaciones son la fabricación de hilos, cables, láminas para la electricidad, para la calderería y en aleaciones en múltiples aplicaciones. El Cu puede forjarse, laminarse, repujarse, embutirse mecanizarse con arranque de viruta, colarse y soldarse. En estado líquido absorbe gases (oxígeno, dióxido de carbono) por lo que los bloques de Cu colado presentan poros. Su densidad es de $8,9\text{Kg}/\text{dm}^3$ su punto de fusión es de 1084°C alta conductividad térmica unas 8 veces mayor que el acero y su conductibilidad eléctrica es de 7 veces mayor que el acero. En el aire se oxida formando óxido de cobre CuO , en atmósfera de aire húmedo forma con el dióxido de carbono una capa superficial protectora de Carbonato de Cobre CuCO_3

El cobre industrialmente se combina con otros metales y encuentra múltiples aplicaciones entre ellos tenemos, el Zn, el Sn, el Ni, el Al y el Hierro. Con el Zn forma los llamados latones, que tienen una buena colabilidad, resistencia a la corrosión y templabilidad en frío. Con el níquel el cobre forma una aleación que adquiere un color blanco de plata y que se conoce con el nombre de plata alemana y de alpaca.

Con el Estaño a su aleación se le conoce como Bronce en una proporción de 60/40 tiene una buena resistencia mecánica y a la corrosión, buena capacidad de deslizamiento por lo que se le emplea como cojinetes antifricción ruedas helicoidales, especialmente cuando son fundición por centrifugación, el grano de toda la masa es homogéneo.



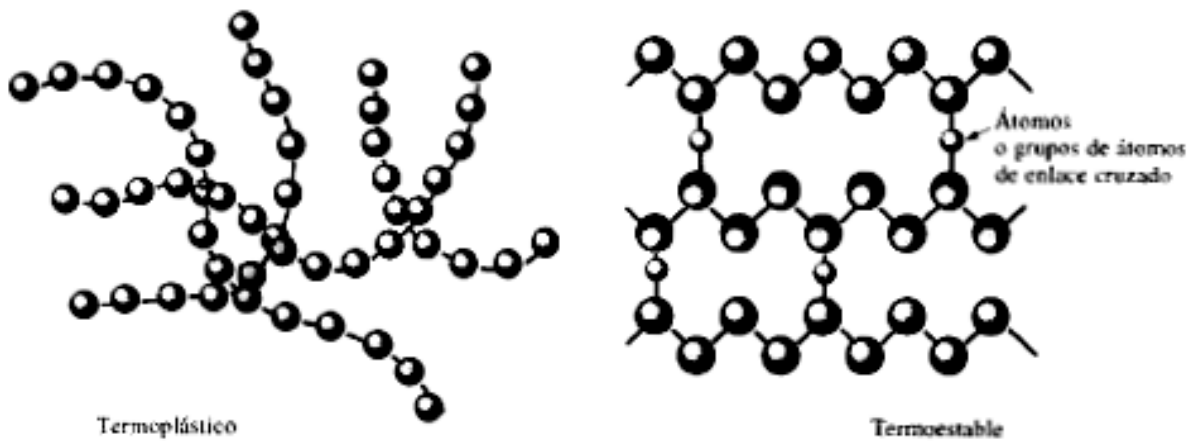
NUCLEO DE ACTIVIDAD 5: PLASTICOS INDUSTRIALES

PLASTICOS

Los plásticos se encuentran entre los materiales industriales de mayor crecimiento en la industria moderna. La amplia variedad y sus propiedades los hacen los más adaptables de todos los materiales en términos de aplicación.

La molécula básica (polímero) del plástico se basa en el carbono. Las materias primas para la producción de plásticos son los gases de petróleo y del carbón. La resina básica se produce por la reacción química de monómeros para formar moléculas de cadena larga llamada polímeros. A éste proceso se le denomina **Polimerización**, el cual se efectúa por dos métodos: **Polimerización por adición**, en la cual dos o más monómeros similares tienen reacción directa para formar moléculas de cadena larga y **Polimerización por condensación**, en la cual reaccionan dos o más monómeros diferentes para formar moléculas largas y agua como subproducto.

El monómero de un plástico es una molécula única de un hidrocarburo, por ejemplo, una molécula del etileno, (C_2H_4) y los polímeros son moléculas de cadenas largas, formada por muchos monómeros unidos entre sí. El polímero comercial más conocido es el Polietileno $-(C_2H_4)_n-$ siendo n de 100 a 1000 aproximadamente. Muchos plásticos importantes entre ellos el polietileno, son sólo compuestos de carbono e hidrógeno, otros contienen Oxígeno como los acrílicos, Nitrógeno como las Amidas(nylon), silicio como las siliconas, etc.



Propiedades de los Plásticos. Es importante entender las propiedades características de los plásticos, entre los cuales se encuentran el alto peso molecular, la baja densidad, alta resistencia a la corrosión y baja conductividad térmica y eléctrica, todo al contrario de los materiales metálicos, es por ello que su aplicación en la industria moderna es cada día más creciente. Las características antes mencionadas hacen posible su amplia aplicación y uso de tipo industrial, tal es así que en la actualidad existen plásticos con elevada resistencia al calor y a la tracción, con valores próximos a los aceros.

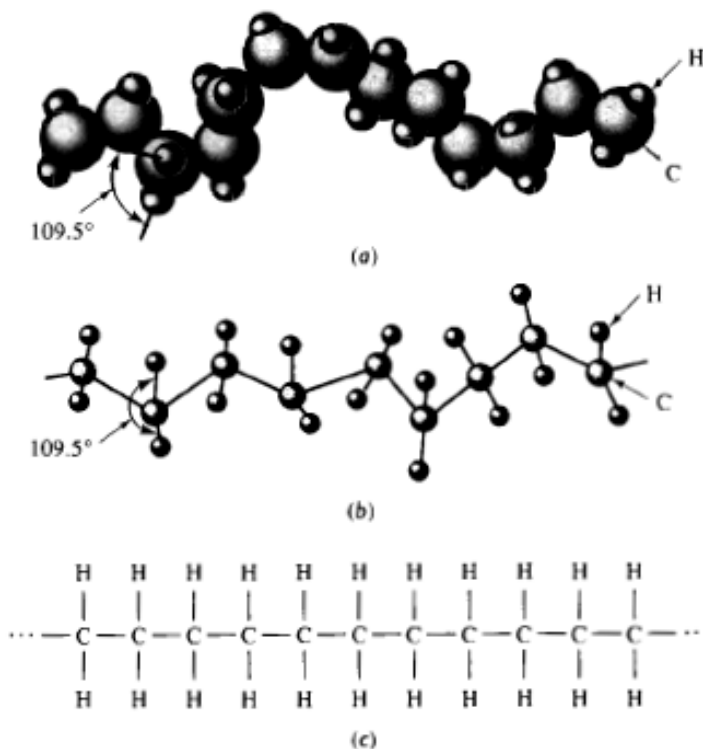


FIGURA 15-1 Tres formas de representar la estructura del polietileno: (a) modelo sólido tridimensional; (b) modelo "espacial" tridimensional; (c) modelo bidimensional simple.

Tres formas diferentes de representar al Polietileno: a.-Forma de sólido b.- Modelo espacial tridimensional c.- modelo bidimensional simple

Los plásticos, bajo carga, tienen un comportamiento diferente al de cualquier otro material industrial, la razón es que en forma especial los termoplásticos tienen un comportamiento viscoelástico, es decir tienen una reacción viscosa y elástica, al contrario de los metales que tiene una reacción ante las cargas de una falla por deformación. Esta deformación viscoelástica se debe, en forma principal, a la estructura molecular de cadena larga. Cuando las cadenas largas están bajo cargas, se mueven una a lo largo de la otra y la cantidad de movimiento se debe al tipo de enlace. Los plásticos con enlaces débiles se deforman con más facilidad que los que tienen enlaces fuertes.

CLASIFICACIÓN Y DESIGNACIÓN DE LOS PLÁSTICOS INDUSTRIALES.

En la industria moderna existe una gran variedad de plásticos para diversos tipos de usos, las aplicaciones van desde la elaboración de envases de medicina, recipientes para alimentos, envolturas, bolsas, recubrimiento de conductores eléctricos, piezas mecánicas de artefactos electrodomésticos como engranajes, bocinas, etc. Dentro de la gran variedad existente de resinas todas ellas se les puede clasificar en dos grandes grupos: Las resinas TERMOPLÁSTICAS ó termo deformables y las DUROPLÁSTICAS o termoestables, la designación de estables o deformables está en relación al comportamiento de la pieza ya elaborada en presencia del calor.

TERMOPLÁSTICOS son las resinas que se ablandan en presencia del calor y se endurecen cuando se enfrían, no importa cuantas veces se repita el proceso, dentro de ellas tenemos: Vinílicos y Polivinílicos, Poliestirénos, Poliamidas (nylon), Policarbonatos, Polietilenos, ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), Acetálicas, Acrílicos, las Celulosas (acetato butirato de celulosa, propianato de celulosa, nitrato de celulosa y la celulosa etílica), Polipropileno, polimetacrilato, Politetra- fluoretileno, etc.

DUROPLÁSTICOS, son las resinas que se solidifican en forma definitiva cuando se les aplica calor y presión durante el moldeo, el recalentamiento no ablanda estos materiales y si el calor continua la pieza llega a carbonizarse directamente. Dentro de éste grupo tenemos: Las resinas Fenólicas, Úricas, Melamínicas, Epoxi, Poliéster, Poliuretanos, Alquídicos, Caseína, Amina, etc.

RESINAS FENOLICAS (RF).- Se obtienen combinando el fenol con el formaldehído, tienen un olor característico a ácido fénico, particularmente si se les calienta, se les utiliza mezcladas con cargas de relleno, para mejorar sus características físicas, su peso específico oscila entre 1,3 a 1,9 kg/dm³, son excelentes aisladores, por lo general se usa en colores oscuros, marrones, negros, su combustibilidad es mala pues arde con gran dificultad, su permeabilidad a la luz está entre transparente a opaco, el producto más conocida es la Bakelita. Con esta resina se moldean mango de interruptores, clavijas, carcasas de radios televisión, agitadores de lavadoras, poleas, prendería, etc.

RESINAS URICA .- Tiene como materia básica la urea sintética y el folmadehido, no tienen olor característicos, su peso específico es de 1,5 kg/dm³, por lo general se usa en colores claros y blancos, arde con dificultad, es opalescente a la luz, soporta de 130 a 138°C de temperatura. Con está resina se moldean artículos de cocina, materiales eléctricos, etc.

RESINAS DE MELAMINA.- Tienen como elemento básico la Melamina que se obtiene del carburo de calcio y nitrógeno, tienen buena resistencia eléctrica, son duros, peso específico de 1,5 kg/dm³ se usa en colores claros, arde con dificultad, es opalescente, , disponible en polvo o en forma granular, se utiliza para artículos de cocina, vasija como platos, tazas, prendería, etc. En la actualidad se usa mucho en forma de recubrimiento de chapas contraplacadas o madera prensada en carpintería.

RESINA DE POLIESTER (UP).- Se derivan del alquitrán de hulla y del estírol, son incoloros aunque se pueden colorear a voluntad, se utiliza con cargas de fibra de vidrio, que le da una

considerable resistencia, se le consigue en forma de líquidos y como compuestos premezclados, arden con dificultad auto extinguiéndose, se utiliza para cascos de embarcaciones, carrocería de automóviles, placas transparentes para cubiertas, se utiliza también para impregnar tejidos de tela, papel y como pinturas duras.

POLIURETANOS (PUR).- Son materiales sintéticos que proporcionan productos de gran elasticidad: gomas, espumas, correas, se emplea como pegamento y como barniz de gran dureza, se puede manufacturar en forma de espuma en el lugar de uso, se obtiene en forma sólida a partir de dos reactantes, el artículo final de puede extruir, calandrar, fundir y forma líquida para obtener espumas, con éstas resinas de producen colchones, cojines, almohadillas, juguetes, refuerzos, para esmaltes de gran calidad, plantas para zapatos, zapatillas, se utiliza también como recubrimiento metálico, es común su uso en los paneles llamadas caretas en los automóviles, etc.

CLORURO DE POLIVINILO (PVC).-Tienen como elemento básico el acetileno y el ácido clorhídrico, no tienen olor característicos es insípido, se pueden colorear a voluntad, arden con dificultad, soportan temperaturas de 60 a 91°C, se utilizan como materiales duros, tuberías diversas, piezas resistencias a la corrosión, en estado blando encuentra una serie de aplicaciones como mangueras, cueros artificiales, impermeables, etc.

POLIESTIRENO(PS).- Se obtienen del estirolo, derivado del petróleo y del benzol, su peso específico es bajo, se colorea a voluntad, arde lentamente, en el mercado se obtienen en forma de polvo y en forma granular para moldeo, el forma de finas, varillas para manufacturase por arranque de viruta, se emplea para fabricar planchas, películas, espumas, objetos de oficina, bolígrafos, plantillas, escuadras, con ellas se elaboran las llamadas micas de las luces intermitentes en etc.

POLIAMIDAS(PA).- Son derivados del carbón, no tienen olor ni sabor, poseen características mecánicas notables, en las que destacan su resistencia al desgaste, al calor y la corrosión, tiene colores lechosos, soporta de 100 a 200°C, de larga duración, es auto extingible, con una permeabilidad a la luz de translúcido a opaco, con el envejecimiento decolora ligeramente, los productos más conocidos comercialmente son el Nylon y el perlón. Se obtiene en forma de polvo, láminas, películas, filamentos, varillas, se moldea por inyección, soplado, extrusión. Con el se obtienen vasos para beber, grifos de agua, engranajes, palancas, cojinetes, ruedas, correas, como filamento se emplean para cerdas de cepillos, cordeles para pesca, etc.

POLICARBONATOS.- Son derivados del Fenol, se mecanizan bien, alta resistencia a la humedad, su permeabilidad a la luz es buena (transparente), se colorea a voluntad, son auto extingible en presencia del fuego, con el envejecimiento cambia ligeramente de color y se hace frágil, es un material de moldeo por excelencia, puede tomar la forma de películas, perfiles extruidos, recubrimiento, fibras o elastómeros. Con ésta resina se construyen cabinas de aviones, automóviles, máquinas industriales, reglas, vidrios de seguridad, carcasas, cuerpos de bombas, ventiladores, tapas de instrumentos eléctricos, con esta resina se construyen los CD's.

POLIETILENO (PE).- Es un derivado directo del petróleo, su aspecto al tacto es ceroso, buena resistencia a los ácidos, buen aislante eléctrico, tienen bajo peso específico 0,95 kg/dm³, se puede colorear a voluntad, su combustibilidad es muy lenta, permeabilidad a la luz es de transparente a opaca, con el envejecimiento se vuelve quebradizo, tienen sonido metálico al estirarse en forma continua, se obtiene en el mercado en forma granular o de polvo, para su moldeo de todas las formas existentes, se emplean para producir recipientes para cubos de hielo, vasos para beber, vajillas, botellas, bolsas, globos juguetes, barreras contra la humedad.

POLIMETACRILATOS.- Se obtienen partiendo del acetileno, se caracterizan por su extraordinaria transparencia, su peso específico es de 1,18 kg/dm³, se colorea a voluntad, arde rápidamente, con el envejecimiento se amarillenta ligeramente, soporta hasta 80°C, su

producto más conocida es el plexiglás, se emplea para placas transparentes de carrocería, cristales de faros, tapas de relojes,

POLITETRA-FLUORETILENO.- Es un derivado sintético del acetileno, su principal particularidad es su resistencia a la temperatura y a los ácidos, aspecto en que sólo es comparable al vidrio, su peso específico es elevado $2,15\text{kg}/\text{dm}^3$, buena resistencia, por lo general se utiliza colores oscuros, poca permeabilidad a la luz, no sufre variaciones con el envejecimiento, sus productos comerciales más conocidos es el teflón considerado como el sólido con más alto índice de resbalosidad comparado con el hielo. Se emplea en casquillos sin lubricación, cajas y juntas para bombas, válvulas y griferías, aislamiento de cables eléctricos.

ABS.- Son una familia de resinas termoplásticas opacas, obtenidas por termopolimerización de los monómeros de acrilonitrilo butadieno y estireno (abs), se destacan por su elevada resistencia al impacto, buena estabilidad dimensional, buena resistencia química y térmica, dureza superficial y poco peso, se moldean rápidamente por los diferentes métodos de fabricación de termoplásticos, disponible en forma de polvo o granulado, se emplean para la fabricación de tuberías, para el transporte de gas, agua, agua de regadío y aplicaciones de la industria química, las láminas se fabrican por calandrado o extrusión, se emplean para puertas y revestimiento de refrigeradoras, embalajes, parachoques. Cajas para radios, baterías, Etc.

RESINAS ACETALICAS.- Son resinas termoplásticas que por su alta cristalinidad y el punto de fusión de la resina justifican sus propiedades que cubren el hueco entre metales y el plástico, tienen una superficie lisa, duras, brillante algo resbaladiza al tacto, buena abrasión, sin necesidad de lubricación su coeficiente de fricción es bastante bajo, su coeficiente de fricción estático y dinámico con el acero es casi el mismo. Se emplea por su resistencia al desgaste en rotores de bombas en reemplazo al latón, en bandas transportadoras en sustitución del acero inoxidable, ruedas dentadas motrices en reemplazo del hierro colado, diversos instrumentos del automóviles en reemplazo del cinc inyectado.

ACRILICOS (PMMA).- Son polímeros de metacrilatos de metilo, se caracterizan por su transparencia cristalina, favorable índice de refracción, por lo que se emplea para la fabricación de lentes ópticos, buena resistencia al impacto, excelente resistencia a la luz solar a la intemperie y a la mayoría de productos químicos, como aislante térmico es mejor que el vidrio, se pueden aserrar, taladrar, mecanizar. Plegar, embutir o conformar a cualquier forma cuando se le calienta hasta 140°C , las cabinas de aviones se hacen por soplado o al vacío, con o sin molde, en el mercado las láminas de acrílico se utilizan para anuncios, rótulos iluminados interiormente y que se exponen a la intemperie, ventanas industriales, pantallas de seguridad, mirillas de inspección, por la belleza de los productos moldeados con acrílicos su uso es en forma masiva.

RESINAS CELULOSICAS.- Es un polímero natural, que se encuentra en todas las formas vegetales, suministraron el primer termoplástico en 1868 y el primer material para el moldeo por inyección en 1932. Dependiendo del reactivo empleado para su obtención podrá resultar cualquiera de los cuatro ésteres de celulosa (cetato, propianato, acetato-butirato o nitrato) o un éster de celulosa (etil celulosa). Se emplean en todos los colores incluyendo los transparentes, están entre los plásticos más tenaces, conservan un buen acabado lustroso bajo desgaste normal.

- *Acetato de Celulosa.* Es la celulosa que más se usa corrientemente, disponible en forma de granulado, láminas, películas, varillas, tubos. Los productos finales se pueden obtener por extrusión, inyección, compresión, se emplea en monturas de gafas, películas fotográficas, películas celulósicas de amplia aplicaciones eléctricas como aislamiento de condensadores, cables de comunicación, cajas de fusible.

- *Propionato de Celulosa.*- El mayor campo de aplicación del propionato de celulosa es para piezas industriales. Volantes de automóviles, pomos de puertas, teléfonos, juguetes enseres domésticos, cepillos dentales, plumas lápices, etc.
- *Acetato Butirato de Celulosa.*- Su obtención en el mercado y su elaboración es muy similar al acetato y al propionato
- *Nitrato de Celulosa,* se obtiene por reacción del ácido nítrico y del sulfúrico sobre la celulosa, su obtención en el mercado y su empleo es muy similar a los tres anteriores.
- *Etil Celulosa.*-Las aplicaciones típicas incluyen cascos para rugby, cajas de herramientas, linternas y partes eléctricas, su obtención en el mercado y su elaboración es similar a los anteriores.

VINILOS.- Se obtiene en forma similar al PVC, siendo éste último un derivado de un determinado vinil, son fuertes y resistentes a la abrasión, resistentes al calor y al frío, se usa en una amplia gama de colores, en el mercado los encontramos en forma de polvo, granular, varillas, tubos, barras, láminas, se emplea para impermeables, bolsas para vestidos, juguetes inflables, mangueras, en la industria discográfica, baldosa para pisos, cortinas de baño, tapicería, en nuestro país su producto más conocido es el Vinifan, los juguetes y pelotas vinivoll.

POLIPROPILENO (PP),-Es el termoplástico de menor densidad que se encuentra en el comercio, utilizando troqueles de gran longitud se pueden recubrir hilos y cables eléctricos, tienen alta resistencia al calor, alta resistencia al resquebrajamiento, se utiliza en colores opacos a lechosos, se obtiene en el mercado en la forma que hace posible su transformación mediante inyección, soplado y extrusión, se emplea para fabricar recipientes térmicos comerciales y medicinales, accesorios de tuberías, aislamiento de cables y alambres, láminas de embalaje.

NATURE WORKS PLA : Una resina proveniente del maíz permitió el desarrollo de la primera botella de plástico biodegradable para envasar agua procesada. La compañía proveedora de sistemas de inyección Husky, que participó en el proyecto, asegura que este nuevo material podría llegar a ser un fuerte competidor en el mercado de los empaques por su bajo impacto ambiental y similitud de costos con el PET. La resina se llama NatureWorks PLA y fue suministrada por Cargill Dow LLC. De acuerdo con la empresa, es un material que se degrada rápidamente en los rellenos sanitarios municipales e industriales.

El procesamiento de la resina PLA no tiene precedentes en el moldeo por inyección y es completamente diferente en comparación con el del PET, según el vicepresidente de sistemas de PET de Husky, Mike Urquhart. El proyecto tomó siete meses desde su concepción hasta su estado actual e incluyó diseño y prototipaje de la preforma, prueba de aditivos, corridas de producción, optimización de herramental y ajuste de parámetros. La compañía procesadora de agua BIÖTA Brands sería la primera en utilizar este desarrollo.