

MATERIALES FÉRRICOS.

* Introducción.

- Los materiales han estado siempre presentes en la historia de la humanidad desde tiempos muy antiguos, hasta el punto de que su utilización preferente ha servido de nombre para denominar largos periodos prehistóricos: Edad de bronce, Edad de hierro.

- Los metales ferrosos (materiales derivados del hierro) han ocupado y ocupan un lugar preferente en el conjunto de los materiales metalúrgicos (su producción mundial es 20 veces superior a la del resto de los metales).

- Esta supremacía del hierro se debe a la gran diversidad de materiales que se pueden obtener a partir de él, mediante diferentes procesos y operaciones.

* Generalidades acerca de los metales.

- Todos los metales, excepto el mercurio (líquido a temperatura ambiente), tienen unas características comunes derivadas de su estructura interna, que a su vez, son consecuencia de la peculiaridad de su enlace metálico.

- Algunas de las características de los metales son:

- * Elevada conductividad térmica y eléctrica.
- * Considerable resistencia mecánica.
- * Gran plasticidad (considerable capacidad de deformación antes de la rotura).
- * Elevada maleabilidad (capacidad de laminación).
- * Carácter reciclable, ya que se pueden fundir y conformar de nuevo.

* Estructuras cristalinas.

- Los cuerpos sólidos se pueden presentar en dos estados fundamentales:

* Estado cristalino.

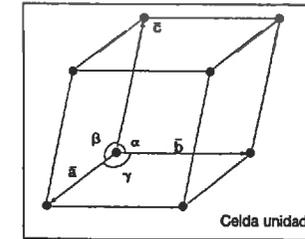
- Cuando están formados por átomos perfectamente ordenados en el espacio.
- En este grupo se encuentran incluidos los metales, los materiales cerámicos y algunos polímeros con regularidad suficiente.

* Estado amorfo.

- Cuando solamente presentan una ordenación espacial a corta distancia.
- Es el caso de los vidrios y de los polímeros vítreos.

- La estructura espacial de un sólido cristalino se construye a partir de una unidad repetitiva o celda unidad.

- La celda unidad genérica se representa en la siguiente figura y se define mediante:



+ Distancias a, b y c que son las aristas del paralelepípedo.

+ Los tres ángulos α , β y γ que forman entre sí dichas aristas.

- Según los valores de estas aristas y ángulos, existen siete sistemas cristalinos diferentes (siete formas diferentes de la celda unidad).

- Los siete sistemas cristalinos aparecen recogidos en la siguiente tabla:

Ejes y ángulos	Sistema cristalino	Red espacial	Ejemplo
$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Triclinico	Simple	Ácido bórico Dicromato de potasio
$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Monoclinico	Simple De base centrada	Azufre β Sacarosa
$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Ortorrombico	Simple De base centrada De caras centradas Centrada	Azufre α Gallo
$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Tetragonal	Simple Centrada	Estaño (blanco) Indio, martensita
$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Cúbico	Simple De caras centradas Centrada	Carbono (diamante) Oro, aluminio, plomo, plata Hierro α
$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Hexagonal	Simple	Magnesio, berilio, cinc, Cadmio, grafito
$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Romboédrico	Simple	Antimonio, mercurio, Arsénico, bismuto

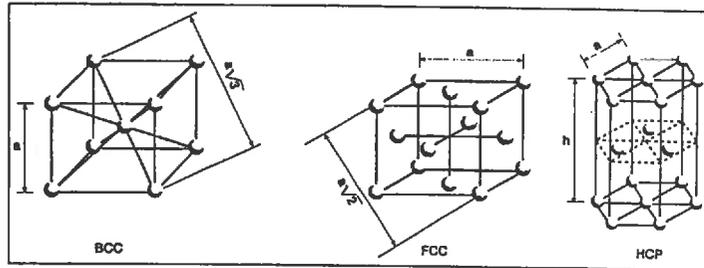
- En los vértices de las celdas unidad se sitúan los átomos.

- La repetición de las celdas en el espacio da lugar a las llamadas redes cristalinas simples.

- También existe la posibilidad de situar átomos en el centro de la celda (red cristalina centrada en el cuerpo) o en el centro de las caras (red cristalina centrada en las caras).

- Hay que destacar que la mayor parte de los metales de interés industrial únicamente cristalizan en tres tipos de redes:

- * Cúbica centrada en el cuerpo (BCC).
- * Cúbica centrada en las caras (FCC).
- * Hexagonal compacta (HCP).



- En la siguiente tabla se muestra el tipo de red cristalina presente en algunos metales y la dimensión fundamental de la arista de la celda:

Elemento	Red cristalina	Dimensión de la red (en Å)
Aluminio	FCC	4,049
Cinc	HCP	2,665
Cromo	BCC	2,884
Cobalto	HCP	2,507
Cobre	FCC	3,615
Oro	FCC	4,079
Hierro	BCC	2,866

Plomo	FCC	4,951
Magnesio	HCP	3,209
Níquel	FCC	3,524
Platino	FCC	3,923
Plata	FCC	4,086
Titanio	HCP	2,950
Vanadio	BCC	3,039

*** Soluciones sólidas.**

- En los tres tipos de redes cristalinas frecuentes en los metales (BCC, FCC y HCP) existen una serie de huecos entre los que se pueden introducir átomos extraños en la red.

- De esta forma se originan las llamadas soluciones sólidas de inserción.

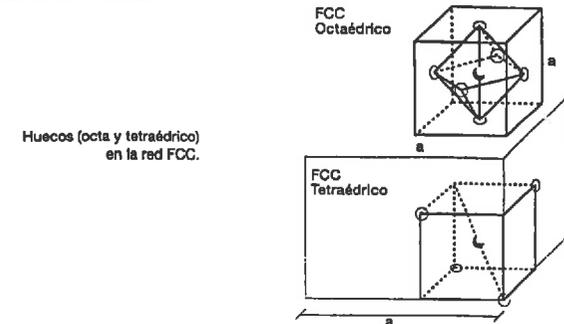
- También se pueden formar otro tipo de soluciones sólidas, llamadas de sustitución, en las que los átomos extraños desplazan a los originales de sus posiciones.

- Ambos tipos de soluciones no son más que aleaciones de dos metales.

- Se dice que dos metales en estado sólido son solubles entre sí cuando en la red cristalina de uno de ellos, algunos de sus átomos se pueden sustituir por átomos del otro metal (sustitución) o se pueden insertar en los huecos interatómicos de la red (inserción).

- Para que dos metales se puedan alea por sustitución en cualesquiera proporciones es preciso que se cumplan una serie de requisitos:

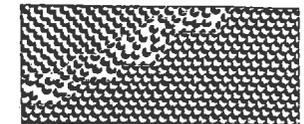
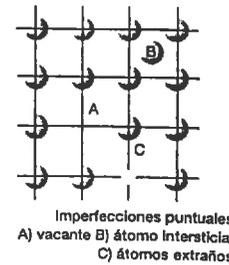
- * Que los tamaños de los átomos de los dos metales sean semejantes.
- * Que ambos cristalicen en la misma red.



*** Defectos en la red cristalina.**

- En las redes cristalinas de los metales existen una serie de imperfecciones o de defectos de distinto tipo:

*** Imperfecciones puntuales:** son debidas a átomos del mismo o de otro metal situados en un punto que no pertenece a la red (átomos intersticiales) o a lugares vacantes, que son puntos de la red vacíos

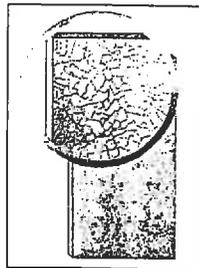


*** Imperfecciones lineales (llamadas también dislocaciones):** disminuyen la resistencia mecánica de los metales. Estas dislocaciones son las responsables de la deformación plástica de los metales.

*** Imperfecciones superficiales:** la estructura de un material cristalino es una red tridimensional homogéneamente ordenada, la de un metal o aleación está compuesta por múltiples zonas ordenadas, dispuestas de tal forma que los ejes cristalográficos de una zona no coinciden con los de las otras.

- A estas zonas se las llama *cristales o granos*, y a la zona límite entre dos de ellos (imperfección a nivel superficial) se la conoce como *junta de grano*.

- La formación de granos en el interior de los metales se produce durante el proceso de solidificación.
- Cuando se enfría un metal en estado líquido, llega un momento en que los átomos comienzan a ordenarse en el espacio, es decir, comienza la cristalización, produciéndose simultáneamente desde varios puntos en el interior del material.
- Por ello, una vez concluida la cristalización, existen diferentes zonas ordenadas que están separadas por juntas de grano.
- La forma de los granos en un metal suele ser equiáxica (no hay ninguna dimensión que prevalezca sobre las demás).
- Si el material es deformado en frío (ejemplo: laminación) los granos pueden adoptar formas alargadas.
- La orientación de los granos es habitualmente aleatoria, originándose de esta manera materiales isotropos (con las mismas propiedades en todas las direcciones).



Estructura granular de un metal.

- En ocasiones, debido a procesos de deformación plástica (laminación, estirado, extrusión, etc.) se observa en los granos una orientación preferente.
- En ocasiones, esta orientación preferente, da lugar a un material anisótropo (con distintas propiedades según la dirección).
- Los materiales anisótropos son de utilidad en algunas aplicaciones (ejemplo: chapas para la fabricación de núcleos magnéticos en las bobinas y transformadores eléctricos).

*** Mecanismos de endurecimiento de los metales.**

- El continuo desarrollo tecnológico demanda materiales más duros y resistentes.
- Para lograr este objetivo se siguen una serie de procedimientos encaminados a mejorar las características de los materiales metálicos:

1.- Endurecimiento por deformación en frío.

- La deformación plástica en frío origina un endurecimiento en los materiales.

- Sin embargo, este endurecimiento viene acompañado de una gran fragilidad.

- Por esto, es habitual que un metal que haya experimentado una deformación en frío (a temperatura ambiente) se someta posteriormente a un tratamiento térmico denominado recocido, para devolverle su plasticidad

2.- Endurecimiento por afinamiento de grano.

- Existe una relación experimental entre el límite elástico de un material (σ_e) y el tamaño medio de sus granos, d :

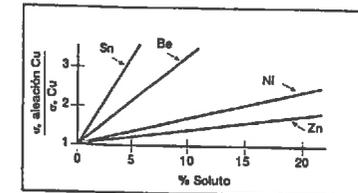
$$\sigma_e = \sigma_0 + \frac{K}{\sqrt{d}}$$

Donde: σ_0 y K son constantes dependientes del material y de la temperatura.

- De esta expresión se deduce que cuanto menor sea el tamaño medio del grano, mayor será el límite elástico del material.

3.- Endurecimiento por solución sólida.

- Las soluciones sólidas, tanto de sustitución como de inserción, provocan un aumento en la dureza del metal.



Endurecimiento del cobre provocado por la presencia de otros elementos.

- En la figura se muestra el endurecimiento (medido por la relación entre el límite elástico del metal aleado y del metal puro) del cobre al añadirle pequeños porcentajes de estaño, berilio, níquel y cinc.

- Este endurecimiento se explica:

- * Por la deformación mecánica que se produce al no coincidir exactamente los tamaños de los átomos de disolvente y de soluto en las soluciones de sustitución.
- * A causa del pequeño tamaño de los huecos intersticiales en las soluciones sólidas de inserción.

*** Tratamientos de los metales para mejorar sus propiedades.**

- Los metales se pueden someter a una serie de tratamientos para potenciar sus propiedades.

- En unos casos lo que se busca es mejorar su dureza y resistencia mecánica, en otros mejorar su plasticidad para facilitar su conformado.

- Existen cuatro clases de tratamientos:

- * Tratamientos térmicos.
- * Tratamientos termoquímicos.
- * Tratamientos mecánicos.
- * Tratamientos superficiales.

- Los tratamientos no deben alterar de forma notable la composición química del metal, pues, en caso contrario, no sería un tratamiento, sino otro tipo de proceso.

1.- Tratamientos térmicos.

- Los tratamientos térmicos son operaciones de calentamiento y enfriamiento de los metales que tienen por objeto modificar su estructura cristalina (en especial, el tamaño del grano).

- La composición química permanece inalterable

- Hay tres tratamientos fundamentales:

*** Recocido.**

- El metal se calienta durante cierto tiempo a una temperatura determinada y, a continuación se enfría lentamente.

- De esta manera, conseguimos una mayor plasticidad para que pueda ser trabajado con facilidad.

- La temperatura y la duración de este tratamiento dependerán del grado de plasticidad que se quiera comunicar al metal, así como del grado de tensiones internas iniciales existentes en él.

*** Temple.**

- Consiste en calentar el metal, seguido de un posterior enfriamiento realizado de forma brusca.

- Con esto, se consigue obtener un metal muy duro y resistente mecánicamente, con su estructura cristalina deformada.

- El endurecimiento adquirido por medio del temple se puede comparar al que se consigue por deformación en frío.

*** Revenido.**

- Se aplica exclusivamente a los metales templados, pudiendo considerarse como un tratamiento complementario del temple.

- Con ello, se pretende mejorar la tenacidad del metal templado, a costa de disminuir un poco su dureza.

2.- Tratamientos termoquímicos.

- Los metales se someten a calentamientos y enfriamientos, completados con la aportación de otros elementos en la superficie de las piezas (se modifica la composición química de su superficie exterior).

- Los tratamientos químicos más importantes son:

*** Cementación.**

- Consiste en añadir carbono a la superficie de un acero que presente un bajo contenido en el mismo.

- Así se obtiene una dureza superficial muy elevada.

*** Nitruración.**

- Es un proceso de endurecimiento del acero por absorción de nitrógeno a una temperatura determinada.

- Además del endurecimiento proporciona una buena resistencia a la corrosión.

- Se utiliza para endurecer piezas de maquinaria (bielas, cigüeñales, etc.), herramientas, brocas, etc.

*** Cianuración.**

- Es un tratamiento intermedio entre los dos anteriores.

- Se utiliza no sólo en aceros con bajo contenido en carbono (como en la cementación), sino también en aquellos cuyo contenido en carbono sea medio o alto, cuando se pretende que obtengan una buena resistencia.

*** Carbonitruración.**

- Este procedimiento consigue aumentar la dureza de los aceros mediante la absorción simultánea de carbono y nitrógeno a una temperatura determinada, igual que la cianuración.

- La diferencia con el tratamiento anterior radica en que la carbonitruración se realiza mediante gases y la cianuración por medio de baños.

- Se emplea en piezas de gran espesor.

*** Sulfinización.**

- Consiste en la inmersión del metal en un baño especial consiguiendo incorporarle una capa de carbono, nitrógeno, y sobre todo, azufre.

- Con este tratamiento se aumenta considerablemente la resistencia al desgaste de los metales, a la vez que se disminuye su coeficiente de rozamiento.

3.- Tratamientos mecánicos.

- Consiste en mejorar las características de los metales mediante deformación mecánica con o sin calor.

- Existen los siguientes tratamientos mecánicos:

* *Tratamientos mecánicos en caliente (también llamados forja).*

- Consiste en calentar un metal hasta una temperatura determinada, para luego, deformarlo golpeándolo fuertemente.

- Con esto se afina el tamaño del grano y se eliminan del material sopladuras y cavidades interiores, con lo que se mejora su estructura interna.

* *Tratamientos mecánicos en frío.*

- Consiste en deformar el metal a la temperatura ambiente, bien golpeándolo, o por trefilado o laminación.

- Estos tratamientos incrementan la dureza y la resistencia mecánica del metal y, también, acarrear una disminución de su plasticidad.

4.- Tratamientos superficiales.

- Se mejora las características de la superficie de los metales sin variar su composición química másica.

- En estos tratamientos, a diferencia de los termoquímicos no es necesario llevar a cabo calentamiento alguno.

- Los tratamientos superficiales más utilizados son:

* *Metalización.*

- Consiste en proyectar un metal fundido, pulverizándolo sobre la superficie de otro metal.

- Con esto se consigue comunicar a la superficie de un metal las características de otro diferente.

* *Cromado.*

- Consiste en depositar cromo electrolíticamente sobre el metal.

- De esta manera se disminuye su coeficiente de rozamiento y se aumenta su resistencia al desgaste.

* *Metales férricos*

- Los metales férricos o ferrosos son los que contienen como elemento base el hierro (Fe).

- El hierro técnicamente puro es un material metálico, magnético, de color blanco azulado, dúctil y maleable.

- Su punto de fusión es de aproximadamente 1535 °C, aunque disminuye cuando se encuentra aleado con carbono (Por ejemplo, la aleación con 4,3% de carbono funde a 1145 °C).

- Su densidad es 7,87 g/cm³ y es un buen conductor del calor y de la electricidad.

- El hierro es un metal químicamente activo (se combina con halógenos, azufre, fósforo, carbono y silicio).

- Expuesto al aire se corroe, formando sesquióxido de hierro monohidratado (Fe₂O₃.H₂O), una sustancia pardo-rojiza escamosa denominada comúnmente óxido.

- Existen cuatro variedades alotrópicas (diferentes tipos de estructuras) del hierro, estables en determinados intervalos de temperatura, y que condicionan sus propiedades; en especial, el contenido de carbono con el que es posible alearlo.

Temperatura	Forma alotrópica	Red cristalina	Parámetro de la red
Hasta 788 °C	α	BCC	2,86 Å
788 °C - 910 °C	β	BCC	2,90 Å
910 °C - 1400 °C	γ	FCC	3,60 Å
1400 °C - 1535 °C	δ	BCC	2,93 Å

- El hierro industrialmente puro tiene aplicaciones muy limitadas por sus bajas propiedades mecánicas: (electroimanes, láminas metálicas galvanizadas, etc.).

- Por este motivo, el hierro se suele utilizar aleado con carbono.

- Los metales férricos son los más utilizados a nivel industrial (a comienzos de la década de los 90, la producción mundial de hierro se aproximaba a los 920 millones de toneladas anuales).

* *Tipos de metales férricos.*

- Como ya hemos mencionado, el hierro industrialmente puro carece de buenas propiedades mecánicas por lo que se utiliza aleado con carbono o con carbono y otros metales.

- Según el contenido en carbono (aunque los contenidos pueden variar de unas publicaciones a otras), tenemos los siguientes productos férricos industriales:

* *Hierro industrial:* cuando el contenido en carbono es menor de 0,03%.

* *Acero:* cuando el contenido en carbono está comprendido entre el 0,03 y el 1,67%.

* *Fundición:* cuando el contenido en carbono está comprendido entre el 1,67 y el 6,67%.

* *Aleaciones con un contenido en carbono superior al 6,67%:* carecen de interés industrial por ser muy frágiles.

1.- Hierro industrial.

- Se trata de hierro con un contenido en carbono muy bajo (por debajo del 0,03%).

- Es un metal de color plateado, de gran permeabilidad magnética, dúctil y maleable.

- Admite la forja: hierro forjado.

- Posee unas características mecánicas poco adecuadas (es muy poroso, se oxida con facilidad y presenta grietas internas) y por ello apenas se utiliza industrialmente.

- Se utiliza para conducción eléctrica por su baja resistividad y en electrónica (formando lo que se conoce como ferritas), por sus propiedades magnéticas.

2.- Acero.

- Es una aleación hierro carbono con un contenido de éste comprendido entre el 0,03 y el 1,67%.

- Cuanto mayor sea el contenido en carbono de un acero: mayor dureza, mayor resistencia a la tracción, menor ductilidad y mayor fragilidad.

- Su densidad oscila entre 7,6 y 7,8 g/cm³ y su punto de fusión varía entre 1300 y 1400 °C.

- Los aceros, en general presentan las siguientes propiedades:

- * Son dúctiles y maleables.
- * Su tenacidad disminuye al aumentar el porcentaje de carbono.
- * Su resistencia mecánica, dureza y fragilidad aumentan con el contenido en carbono.
- * La soldabilidad disminuye con el porcentaje de carbono.
- * Se oxidan fácilmente, salvo los aceros inoxidable.

- De acuerdo con el porcentaje en carbono los aceros se pueden clasificar en: extradulces, muy dulces, dulces, semidulces, semiduros, duros, muy duros y extraduros. Esto se puede apreciar en la siguiente tabla:

CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS			
Acero	% de carbono	σ_s (kg/mm ²)	E (kg/mm ²)
Extradulces	0,05-0,15	32-38	20-24
Dulces	0,15-0,25	38-46	24-28
Semidulces	0,25-0,40	46-55	28-32
Semiduros	0,40-0,60	55-65	32-38
Duros	0,60-0,70	65-75	36-45
Muy duros	0,70-0,80	75-85	45-50
Extraduros	>0,80	85-100	50-55

- El acero se puede obtener añadiendo carbono al hierro, aunque industrialmente se procede de manera inversa: extrayendo carbono de la fundición.

- Por regla general, además de hierro y carbono se añaden otros elementos que mejoran sus propiedades, pudiendo tener:

* **Aceros al carbono:** son aquellos en los que el contenido de otros elementos no supera los porcentajes indicados en la siguiente tabla:

Elemento	Proporción (%)
Aluminio	0,10
Azufre	0,10
Bismuto	0,10
Cobalto	0,10
Cobre	0,40
Cromo	0,30
Fósforo	0,10
Manganeso	1,60

Molibdeno	0,08
Níquel	0,30
Plomo	0,40
Silicio	0,60
Titanio	0,05
Vanadio	0,10
Wolframio	0,10

Porcentajes límites en aceros no aleados.

* **Aceros aleados:** son los aceros que contienen otros elementos además de hierro y carbono en proporciones superiores a las dadas en la tabla anterior.

- Cada elemento comunica al acero una serie de propiedades, como por ejemplo:

+ **Azufre:** proporciona una gran fragilidad a los aceros. Su efecto es perjudicial y se contrarresta añadiendo manganeso.

+ **Cobalto:** aumenta la dureza del acero en caliente, su resistencia a la corrosión, a la oxidación y al desgaste. Tienen unas propiedades magnéticas muy acentuadas.

+ **Cromo:** aumenta la dureza, la resistencia a la corrosión y la tenacidad del acero. Forman los aceros inoxidables.

+ **Manganeso:** hace más factible el proceso de temple e incrementa la dureza de los aceros templados. Contrarresta las acciones negativas del azufre.

+ **Molibdeno:** es el elemento más eficaz, junto con el carbono, para incrementar la dureza de los aceros. Aumenta su resistencia en caliente y al desgaste.

+ **Níquel:** es un componente fundamental del acero inoxidable y aumenta su resistencia a la tracción.

+ **Plomo:** favorece el mecanizado del acero por el procedimiento de arranque de viruta, porque el plomo hace de lubricante (su punto de fusión es bajo). No debe sobrepasar el 0,5% de plomo porque, en caso contrario, dificulta el temple del acero y disminuye su tenacidad en caliente.

+ **Silicio:** elimina el exceso de oxígeno en los aceros y les comunica una gran elasticidad. En proporciones suficientes confiere a los aceros unas buenas características magnéticas.

+ **Vanadio:** elimina el oxígeno, al igual que el silicio. Proporciona al acero una buena resistencia a la fatiga y a la tracción.

+ **Wolframio:** le confiere una gran dureza a todas las temperaturas.

En proporciones adecuadas se obtienen los llamados aceros rápidos, utilizados para construir herramientas de corte.

3.- Fundiciones.

- Se denomina fundición a la aleación de hierro y carbono con un contenido entre el 1,67 y el 6,67% de carbono.

- En la práctica, el contenido en carbono de las fundiciones oscila entre el 2,5 y el 4,5%, encontrándose también presentes otros elementos como silicio, manganeso, azufre y fósforo.

- Las fundiciones son fácilmente fusibles, de ahí su nombre, y generalmente se utilizan para obtener piezas por moldeo en moldes de arena o metálicos.

- Su densidad es menor que la del acero ($7,2 - 7,6 \text{ g/cm}^3$) y su punto de fusión oscila entre 1050 y 1300 °C.

- Las fundiciones, en general, no son dúctiles ni maleables y no se pueden soldar ni forjar con facilidad.

- Las fundiciones presentan las siguientes ventajas:

* Su fabricación es más sencilla que la del acero, porque su punto de fusión es más bajo, y por lo tanto, la mecanización resulta más fácil.

* Tienen unas características mecánicas aceptables: resistencia a la tracción de 90 Kg/cm^2 , buena resistencia al desgaste y mayor resistencia a la oxidación que el acero.

* *Las piezas de fundición son más baratas que las de acero, (se puede meter más chatarra en el proceso y necesitan menos afino).*

* *Mayor resistencia a la compresión.*

* *Absorben mejor las vibraciones mecánicas y acústicas*

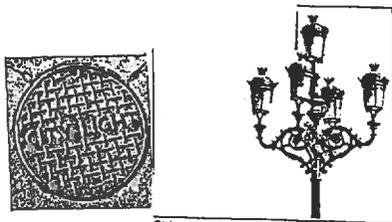
- Las fundiciones tienen los siguientes inconvenientes:

* *No son laminables porque su ductilidad es muy pequeña (sólo se pueden fabricar piezas por moldeo.*

* *Son frágiles y quebradizas.*

* *No se pueden forjar.*

- Las fundiciones pueden clasificarse según se indica en el siguiente cuadro:



Objetos fabricados con fundición.

Fundiciones ordinarias	Biancas	
	Grises.....	Ferríticas Grises ordinarias Perlíticas
	Atruchadas	
Fundiciones aleadas	De baja aleación.....	Resistentes a la rotura Resistentes al desgaste Resistentes al calor De alta dureza
	De alta aleación.....	Al níquel Al cromo Al silicio Al aluminio
Fundiciones especiales	Maleables	Corazón blanco Corazón negro Maleable perlítica
	De grafito esferoidal	
	De grafito difuso	

* Fundiciones ordinarias.

- Son aquéllas que únicamente contienen hierro, carbono y pequeñas cantidades de silicio, manganeso, azufre y fósforo. En su fabricación no se emplea ninguna técnica especial.

- Según el aspecto que presentan las superficies de fractura, pueden ser:

1.- Fundiciones blancas.

- El carbono está combinado con el hierro en forma de carburo de hierro (Fe_3C), también llamado cementita.

- La presencia de este componente confiere al material gran dureza y fragilidad y a la vez una tenacidad muy pequeña.

- Las fundiciones blancas son muy difíciles de mecanizar y carecen prácticamente de interés industrial.

- Las características de esta fundición son las siguientes:

* *Dureza muy alta entre 300 y 400 unidades Brinell.*

* *La contracción que experimenta en el enfriamiento es muy alta (unos 18 mm/m).*

* *Densidad de $7,7 \text{ g/cm}^3$.*

* *Son muy difíciles de mecanizar.*

* *Su fractura es de color blanco brillante.*

2.- Fundiciones grises.

- La mayor parte del carbono está dispuesto en forma de grafito (una de las dos formas alotrópicas del carbono).

- Estas fundiciones son menos duras que las blancas, pero más tenaces.

- Se mecanizan fácilmente y tienen una elevada resistencia a la corrosión y al desgaste (tienen propiedades autolubricantes).

- Las fundiciones grises pueden ser: ferríticas, grises ordinarias y perlíticas, según el contenido de carbono que presenten en forma de grafito.

- Sus características son:

* *Dureza entre 200 y 250 grados Brinell.*

* *Densidad de $7,25 \text{ g/cm}^3$.*

* *Tiene propiedades autolubricantes.*

* *Son fáciles de mecanizar.*

- Se emplea para fabricar la mayoría de las piezas mecánicas que sirven de soporte o de alojamiento de mecanismos (carcasas de motores, bancadas, etc.)

3.- Fundiciones atruchadas.

- Tienen unas características intermedias entre las fundiciones blancas y las grises.

- Reciben este nombre por el color que presentan en las superficies de fractura, parecido a las truchas.

*** Fundiciones aleadas.**

- Son aquellas que además de hierro y carbono contienen cantidades suficientes de otros elementos para modificar las propiedades de las fundiciones ordinarias.

- Si la fundición contiene menos de un 5% de éstos elementos se llama fundición de baja aleación, en caso contrario se la llama fundición de alta aleación.

*** Fundiciones especiales.**

- Se obtienen a partir de las ordinarias, mediante determinados tratamientos o con la adición de algún elemento químico.

- Hay tres tipos de fundiciones especiales:

1.- Fundiciones maleables.

- Se obtienen a partir de las fundiciones blancas después de someterlas a un tratamiento de recocido llamado maleabilización.

- Las fundiciones maleables se caracterizan por poseer una tenacidad y resistencia a la tracción mayores que las fundiciones blancas.

- Son fáciles de moldear y ofrecen una elevada resistencia a la corrosión y al desgaste.

2.- Fundiciones de grafito esferoidal.

- Son fundiciones especiales que se obtienen añadiendo manganeso a las fundiciones ordinarias.

- En ellas, el grafito que estaba dispuesto en láminas, pasa a tener forma esferoidal o nodular.

- El resultado de este cambio en la forma del grafito es un incremento de la resistencia a la tracción.

3.- Fundiciones de grafito difuso.

- Se obtienen a través de las fundiciones blancas, mediante una serie de tratamientos especiales que difunden el grafito en forma de pequeños nódulos.

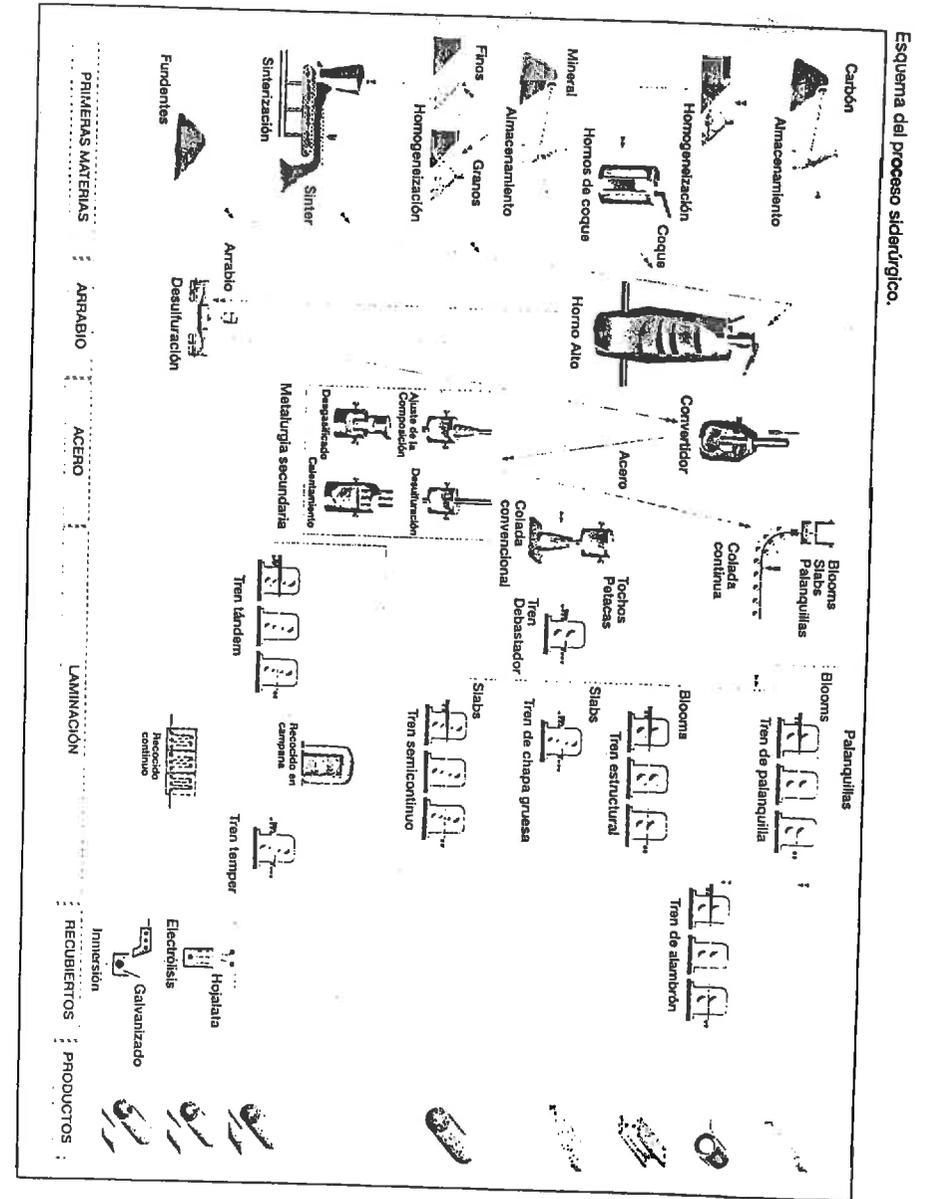
- Con este tratamiento se consigue mejorar sus propiedades.

*** El proceso siderúrgico.**

- Se conoce con el nombre de proceso siderúrgico al conjunto de operaciones que es preciso realizar para llegar a obtener un metal férreo (aleación de hierro) de unas determinadas características.

- Aleación es una mezcla de dos metales o de un metal y un no metal en estado líquido y que una vez solidificada sigue manteniendo las propiedades metálicas.

- El proceso siderúrgico abarca desde la extracción del mineral de hierro en las minas hasta la fabricación final del producto comercial.



1.- Obtención del mineral de hierro.

- El hierro es uno de los metales más abundantes en la naturaleza (constituye el 4,7% de la corteza terrestre, ocupando el segundo lugar después del aluminio).

- El hierro rara vez se encuentra en estado puro, sino en forma de óxidos, carbonatos o sulfuros.

Tipo de mineral	Nombre del mineral	Proporción (%)
Óxidos	Magnetita (Fe_3O_4)	72,4
	Hierro oligisto (cristalizado) (Fe_2O_3)	70
Óxidos hidratados	Hematitas parda ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	60
	Limonita ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	60
Carbonatos	Siderita (FeCO_3)	48,3
	Esferoidita (FeCO_3)	48,3
Sulfuros	Pirita de hierro (FeS_2)	46,3

- El mineral que se extrae de las minas de hierro contiene:

- * Una parte de óxidos, carbonatos o sulfuros de hierro llamada **mena**.
- * Otra parte compuesta por sustancias no ferrosas (rocas, sílice, etc.) llamada **ganga**.

- Los minerales de hierro antes de ser cargados en los altos hornos deben sufrir diversas etapas de preparación que pretenden aumentar la ley del hierro del mineral y mejorar sus condiciones físicas (porosidad) para facilitar su reducción:

* **Tostación:** para eliminar la humedad y elementos volátiles.

* **Trituración:** en tres etapas para realizar una reducción de tamaño.

* **Molienda:** reducción del mineral a polvo fino.

* **Cribado:** el material que no pasa la criba vuelve a la molienda.

* **Separación de las gangas:** se pueden emplear distintos métodos:

- **Hidromecánica:** se basa en la diferencia de velocidad de caída del material en el agua según su naturaleza química.

- **Flotación:** hace que la ganga permanezca en el fondo, mientras que la mena (rica en mineral) flota.

- **Separación magnética:** los elementos ferromagnéticos son atraídos por campos magnéticos.

- La obtención industrial del hierro se basa en la reducción (eliminación de oxígeno) de los óxidos de hierro que son los minerales que presentan un porcentaje mayor del metal.

- Los carbonatos se calcinan (calentamiento en ausencia de oxígeno) y los sulfuros se tuestan (calentamiento en presencia de oxígeno) convirtiéndose en óxidos y a partir de ellos se obtiene hierro por reducción.

2.- Obtención del carbón de coque.

- En el proceso siderúrgico, el carbón de coque realiza las siguientes funciones:

- * Al combustir crea el calor necesario para fundir la mena dentro del alto horno.
- * Soportar las cargas en el alto horno.
- * Producir gas reductor CO que transforma los óxidos de hierro en arrabio
- * Dar permeabilidad a la carga y facilitar el paso del gas.

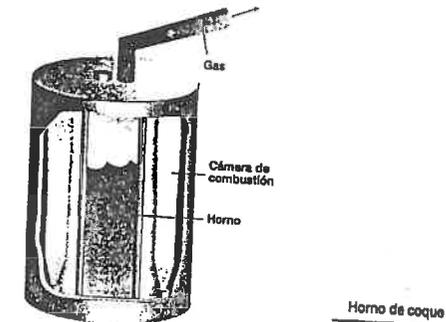
- El coque se obtiene a partir de carbones de hulla con un bajo contenido en azufre (menos del 1%) y cenizas (por debajo del 8%).

- Estas hullas son las llamadas hullas grasas y semigrasas, que posee un contenido en materias volátiles entre el 22 y el 30%.

- El carbón de coque siderúrgico se obtiene industrialmente eliminando la materia volátil del carbón de hulla y aglutinándolo posteriormente.

- Esto se consigue introduciendo la pasta de carbón (mezcla de diferentes tipos de hullas finamente trituradas en las llamadas baterías de hornos de coque.

- En estos hornos se somete la pasta de carbón a un proceso de coquizado (calentar el carbón por encima de 1000°C , en ausencia de aire, durante 16 horas aproximadamente).



- El calentamiento se realiza en hornos cerrados, que reciben el calor a través de las paredes laterales.

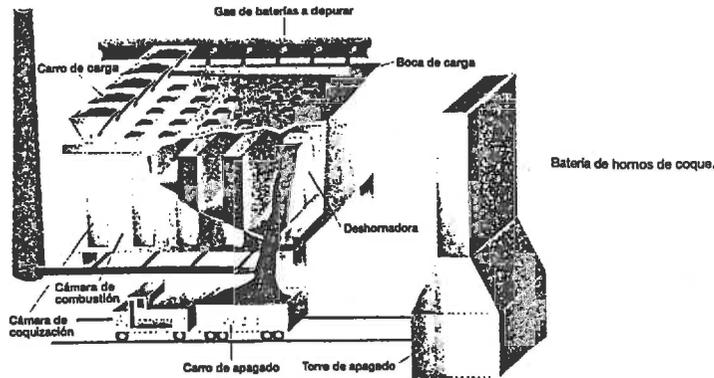
- Como consecuencia de este proceso, la materia volátil de la hulla se desprende y los granos de hulla se aglutinan.

- Cuando termina el proceso se extrae el carbón de coque siderúrgico de las baterías y se rocía con agua para evitar su combustión, ya que arde espontáneamente al entrar en contacto con el oxígeno del aire.

- El coque siderúrgico es un material duro y poroso, con un contenido en carbono superior al 90%.

- La materia volátil que se desprende en el proceso de coquizado, una vez depurada se utiliza como combustible en los mismos hornos de coque (para continuar el proceso) o en otras instalaciones.

- Como se puede apreciar en la figura, los hornos de coque se llenan de pasta de carbón por su parte superior.



- Una vez finalizado el proceso de coquizado, para proceder al vaciado del coque, se abren las dos compuertas laterales del horno.

- Mediante una máquina deshornadora, se empuja el coque hacia fuera.

- Por último se transporta mediante una vagoneta hasta la torre de apagado, con el fin de evitar su combustión espontánea.

*** Aglomeración del mineral en polvo.**

- Se hace antes de introducirlo en el alto horno para evitar que se obturen los intersticios entre las cargas y los orificios de salida de los gases.

- La aglomeración se puede hacer mediante varias técnicas:

- * **Briqueado:** consiste en comprimir los polvos con aglomerantes sin aumento de temperatura.
- * **Sinterización:** consiste en calentar los polvos a temperatura elevada (1000 °C) y mezclarlos con un poco de carbón con lo que se consigue un estado pastoso.
- * **Pelletización:** se utiliza para aglomerar polvos muy finos (0,2 mm.). Consiste en hacer bolas con un 10% de humedad, que posteriormente se endurecen en un horno con bentolina.

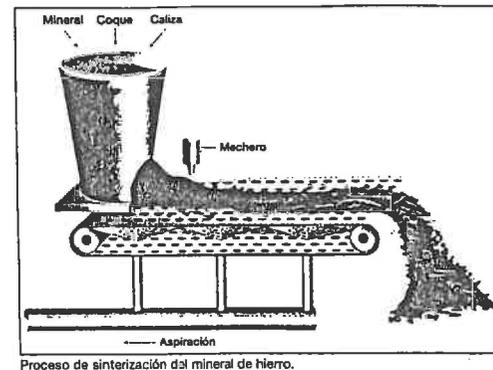
3.- Sinterización del mineral de hierro.

- El objetivo de la sinterización del mineral de hierro es lograr un material poroso, de forma que el tamaño de los granos que se introduzcan posteriormente en el alto horno ofrezcan una alta permeabilidad a los gases.

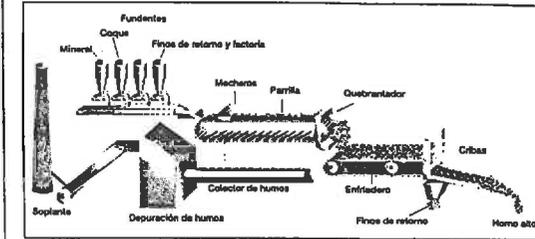
- El mineral de hierro se mezcla con el carbón de coque y con granos de materiales llamados fundentes (por lo general, caliza).

- El combustible, situado en la parte superficial, se hace arder y la mezcla se conduce por medio de una cinta transportadora metálica provista de orificios a través de los cuales se efectúa una aspiración.

- Al final, el calor desprendido en la combustión hace que los materiales adquieran un estado pastoso.
- De este modo, los granos finos del material inicial acaban convirtiéndose en un aglomerado.



Proceso de sinterización del mineral de hierro.



Esquema del proceso de sinterización del mineral de hierro.

- El tamaño de los trozos de este aglomerado (denominado sinter), es el adecuado para su introducción en el alto horno.

- El proceso de reducción del mineral de hierro en el alto horno se ve doblemente favorecido por la sinterización:

- * Porque al ser el sinter un material poroso presenta una elevada superficie de contacto con el gas reductor.
- * Porque el mineral se encuentra íntimamente ligado al fundente.

4.- Obtención del arrabio (alto horno u horno alto).

- El alto horno es un recipiente de acero recubierto por un material refractario y con forma de dos troncos de cono unidos por sus bases.

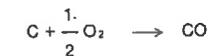
- En el alto horno se produce la reducción del mineral de hierro, para lo cual se introducen en su interior los siguientes materiales:

- * **Aportadores de hierro (minerales de hierro, sinter):** suministran la materia prima de la cual se obtendrá el hierro.

- * **Fuel:** actúa como combustible calentando todo el conjunto. Se inyecta conjuntamente con el aire caliente.

- * **Carbón de coque:** actúa como combustible y además es la sustancia que provoca la reducción del mineral de hierro.

- El coque sufre una combustión incompleta, desprendiéndose monóxido de carbono gaseoso:



- El monóxido de carbono gaseoso, al entrar en contacto con el mineral de hierro se apodera del oxígeno para formar CO₂:



- De esta forma el mineral de hierro se reduce convirtiéndose en hierro metálico.

*** Fundentes o formadores de escoria (caliza y cuarzo principalmente).**

- Aunque el mineral de hierro ha sido separado de la ganga, todavía quedan en él impurezas.

- Al añadir fundentes se busca:

* Disminuir el punto de fusión de la ganga haciendo que la escoria se encuentre fluida.

* Reaccionar químicamente con las impurezas (ganga), en el momento en que se encuentran en estado líquido para arrastrarlas hacia la parte superior formando lo que se denomina escoria.

*** Aire caliente (oxígeno).**

- Es necesario para realizar la combustión de coque y del fuel, además sostiene todo el conjunto y evita que los materiales se precipiten sobre el crisol.

- A la salida del alto horno el producto principal que se obtiene es el arrabio (95% de hierro, 3,5% de carbono y porcentajes menores de otros elementos (silicio, manganeso, azufre, fósforo, etc.)).

- Del alto horno se obtienen también dos subproductos:

*** Escoria.**

- Está formada por los fundentes, las impurezas de los minerales y las cenizas del coque.

- Se emplea como firme en carreteras y para fabricar cemento.

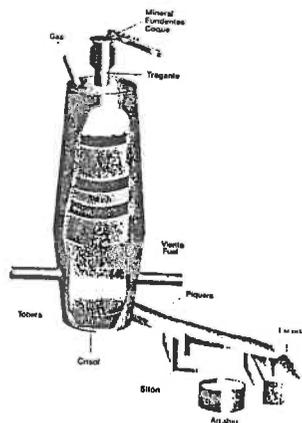
*** Gas de alto horno.**

- Tiene un contenido aproximado del 20% de monóxido de carbono.

- Se puede utilizar como combustible después de ser depurado.

- Se emplea para calentamiento en los procesos de laminación en caliente, en los hornos de coque y en otras muchas aplicaciones.

- Periódicamente, por un orificio situado en el crisol (piquera) se extraen del horno el arrabio y la escoria, que son separados en el sifón.



Esquema del funcionamiento de un horno alto.

- En un alto horno se pueden diferenciar las siguientes partes:

*** Tragante:** es la zona superior del horno y por ella se introducen los materiales sólidos (minerales, fundentes y coque).

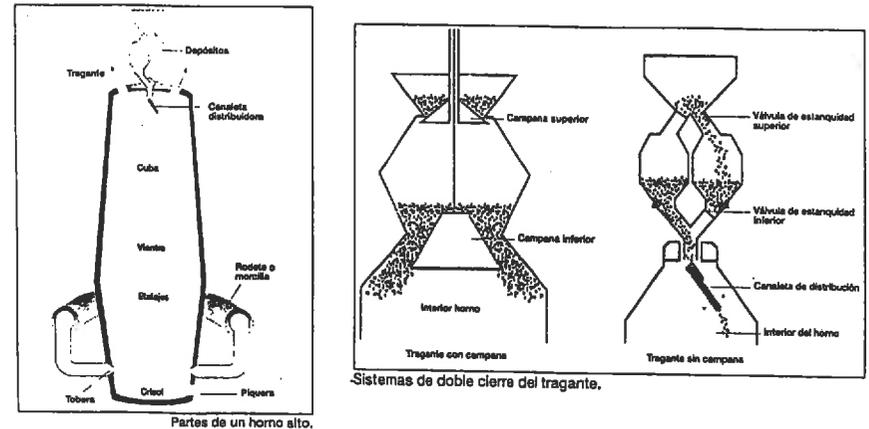
- Para evitar que durante el proceso de carga los gases producidos salgan al exterior, los hornos poseen, en el tragante, un sistema de doble cierre.

- Este sistema puede ser:

+ Un mecanismo provisto de dos campanas.

+ Un mecanismo con dos depósitos con válvulas de entrada y salida.

- Los hornos con tragantes sin campana, tienen en su interior una canaleta que gira para distribuir uniformemente la carga.



Sistemas de doble cierre del tragante.

*** Cuba:** es la zona más amplia del horno, en ella los materiales se van secando y calentando. Es donde comienza el proceso de reducción.

*** Vientre:** es la zona de mayor diámetro y donde se realiza la mayor parte del proceso de reducción.

*** Etalajes:** es la parte superior del tronco de cono inferior.

- En estas zonas se encuentran situadas las toberas por las que se inyecta el aire caliente y el fuel.

- En los etalajes se produce la combustión del coque y del fuel, la reducción final del mineral y la formación de escoria.

*** Crisol:** es la parte más baja del horno.

- De él se extrae el arrabio y la escoria a través de un orificio llamado piquera.

- El alto horno tiene una altura que oscila de 30 a 80 m. y su diámetro máximo en la zona de vientre está comprendido entre 10 y 14 m.

- A la salida del alto horno, el arrabio, se deposita en unos recipientes llamados vagones torpedo, para su traslado a la siguiente fase del proceso siderúrgico.

- El arrabio cuando se encuentra en el torpedo, se le somete a un proceso de desulfuración (separación de azufre).

- La desulfuración se lleva a cabo inyectándole una mezcla de cloruro y carbonato de calcio.

- De esta forma, el calcio de ambos compuestos reacciona con el azufre del arrabio, formando sulfuro de calcio, que se separa.

5.- Transformación del arrabio en acero.

- La proporción de carbono en el arrabio extraído del alto horno se encuentra en el intervalo correspondiente a las fundiciones.

- Por tanto, el arrabio, es un material duro y frágil, que no puede ser extendido en hilos ni en láminas, por lo que no tiene apenas aplicación industrial.

- Por tanto, es necesario reducir el contenido de carbono del arrabio para convertirlo en acero (material duro, elástico, capaz de soportar impactos y que se puede extender en láminas y en hilos).

- Para obtener el acero hay que dar dos pasos:

1.- **Afino del acero mediante oxidación (parte del carbono se oxida a monóxido de carbono (CO)).**

- Conjuntamente con el carbono se oxidan otros elementos (P, Si, S), incluso hierro.

- El producto que obtenemos es óxido de hierro (producto de mala calidad).

2.- **Proceso de desoxidación para eliminar el oxígeno que forman los óxidos.**

- Para realizar este proceso se utiliza el manganeso, proporcionando una aleación (C-Fe-Mn) llamada fundición espectacular.

- Para un afinado más profundo se puede utilizar Si o ferrosilicio.

- Para procesos de superafino se utiliza el aluminio.

- Esta transformación del arrabio en acero se lleva a cabo en un recipiente llamado convertidor.

- Hay diferentes tipos de convertidores, pero los más usados son:

1.- Convertidor de Siemens-Martin.

- Fue el primer convertidor que permitió la obtención de acero a partir de la chatarra.

- Para realizar la conversión se utiliza un gran horno reverbero (calentamiento del horno ajeno a la combustión). (Calor en una cámara y combustión en otra) (o combustión por encima de la mezcla).

- El horno tiene forma rectangular (bunquer con una apertura superior por la que entran las llamas) de techo abovedado y con una capacidad de carga de unas 400 T.

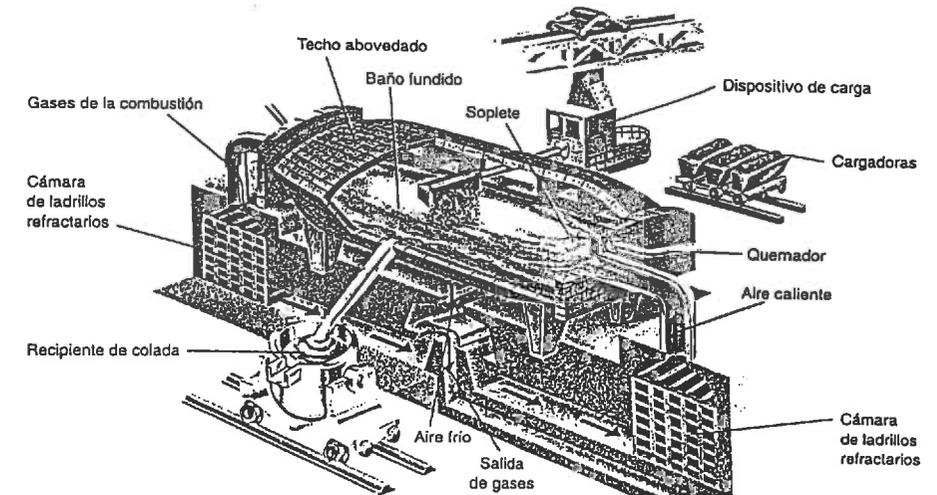
- El revestimiento interior es de carácter básico y dispone de cámaras para precalentar el combustible utilizado (normalmente gas).

- La carga del material se realiza por la parte superior del convertidor mediante dispositivos especiales.

- El convertidor puede funcionar con:

* Arrabio procedente del alto horno (sólido o líquido).

* Arrabio mezclado con chatarra y mineral de hierro (el contenido en chatarra puede llegar hasta el 70%).



- El proceso de afinado consiste en quemar el combustible alcanzando temperaturas cercanas a los 1800 °C.

- El combustible está previamente precalentado:

* Los gases de la combustión pasan por una cámara y precalientan unos ladrillos refractarios (T = 1150 °C).

* Posteriormente se invierte el ciclo y se hace pasar el gas combustible a través de los ladrillos.

- Cuando se está produciendo la combustión se añade cal y las impurezas del material se oxidan y se eliminan.

- El monóxido de carbono (CO) se escapa en forma de gas.

- Los óxidos de silicio y fósforo son arrastrados por la cal en forma de escoria.

- No se insufla aire ni oxígeno. La descarburación se produce a partir del oxígeno aportado por el óxido de hierro que tiene la chatarra:



- Cuando se estima que el contenido en carbono es el adecuado, se añaden los aleantes necesarios y se extrae la colada del acero.

- El proceso de afino es lento puede durar hasta 12 horas. Los aceros obtenidos por este procedimiento admiten la forja, el temple y la soldadura.

- Los inconvenientes de este sistema son:

* Alto coste por el consumo energético.

* Baja calidad del producto comparado con otros convertidores.

2.- Convertidor Bessemer y Thomas.

- Consiste en un recipiente metálico, basculante de gran tamaño, recubierto por material refractario.

- El tiempo de afino oscila ente 15 y 20 minutos y la temperatura unos 1500 °C.

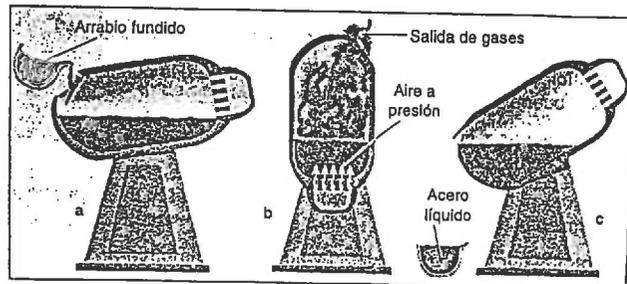
- El combustible son los propios elementos que al oxidarse desprenden calor. Es poco usado.

- En el convertidor de Bessemer el recubrimiento es ácido (no es válido para arrabios con contenidos en azufre y fósforo)

- En el convertidor de Thomas el recubrimiento es básico (cal) (lo que permite eliminar óxidos de azufre y fósforo).

- El proceso se realiza en tres fases:

1.- **Llenado:** se inclina el convertidor para facilitar el llenado con arrabio fundido procedente del alto horno.



Proceso de trabajo del convertidor Bessemer: a) llenado; b) soplado; c) vaciado.

2.- **Soplado:** se coloca el convertidor en posición vertical y se inyecta aire a presión a través de unos orificios practicados en el fondo.

- El aire pasa a través de la masa fundida y oxida el carbono el silicio y el manganeso.

- El calor desprendido de estos procesos de oxidación permite mantener la temperatura del arrabio sin necesidad de combustible.

3.- **Vaciado:** una vez quemadas las impurezas se inclina el convertidor y se vierte el acero en la lingotera.

- La ventaja de este sistema es que se puede detener el proceso sólo con cerrar la entrada de aire.

- De esta forma, podemos conseguir aceros con distintas cantidades de carbono, silicio y manganeso.

3.- Convertidor L-D (de oxígeno)

- Se puso en práctica en dos ciudades de Austria (Liuz y Donawitz), de ahí su nombre.

- Este método da problemas para aceros de altos contenidos en fósforo (utilizar para contenidos de fósforo menores de 1,3%).

- El recipiente utilizado es de gran tamaño (500 T.) construido de acero recubierto de ladrillo refractario.

- Para facilitar la carga y descarga se monta de forma que pueda vascular sobre un costado.

- El proceso de afino dura aproximadamente 1 hora y comprende tres fases:

1.- Llenado.

- Se coloca el convertidor en posición inclinada (como una hormigonera) y se carga con arrabio líquido procedente del alto horno y después con chatarra de acero y fundentes.

- El arrabio se transporta en torpedos desde el alto horno hasta la acería en las proximidades del convertidor.

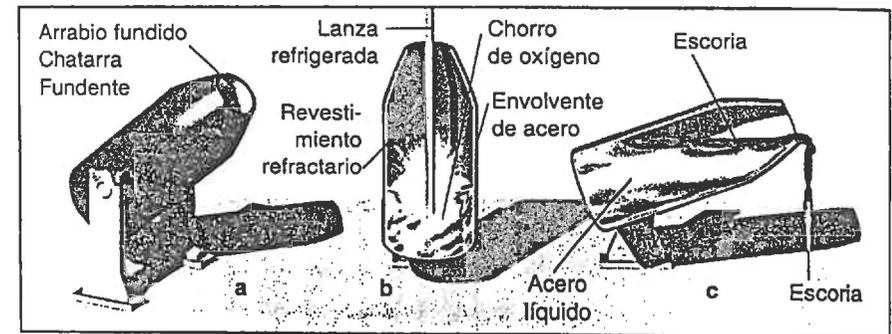
- Mediante un recipiente llamado cuchara se vierte en el convertidor todo el contenido del torpedo.

- Además del arrabio, también se introduce en el convertidor:

* **Chatarra:** actúa como refrigerante al absorber calor en su fusión.

* **Fundentes:** materiales destinados a la formación de escoria y que se hacen llegar desde unas tolvas.

* **Oxígeno.**



Proceso de trabajo del convertidor LD: a) llenado; b) afino; c) vaciado.

2.- Afino.

- Se coloca el convertidor en posición vertical y se inyecta el oxígeno a una presión de 10 bar, mediante una lanza colocada en el eje del aparato y refrigerada por agua.
- La lanza se introduce unos 50 cm. por debajo del nivel del líquido.
- Al inyectar el oxígeno se produce un aumento considerable de la temperatura (2500 °C) y se eliminan las impurezas, en especial el carbono, por oxidación generándose dióxido de carbono.
- Por último, se añade los aleantes necesarios.
- Para favorecer la agitación del baño se suele inyectar, por la parte inferior del convertidor, un gas inerte (argón o nitrógeno). Este proceso suele durar unos 15 minutos.

3.- Vaciado.

- Se inclina el convertidor sobre un costado para eliminar la escoria que flota y luego se vuelca totalmente para vaciar el acero.

- Con el método del oxígeno se obtienen aceros de buena calidad, ya que, al insuflar oxígeno puro en vez de aire, se elimina el nitrógeno y el hidrógeno del acero que perjudican sus propiedades.

- Hay mejoras para tratar arrabios con más contenido en fósforo, procedimiento OLP (Oxígeno Lanza Polvo), que consiste en insuflar un chorro de oxígeno cargado de cal pulverenta.

- Con esto aumentamos la penetración del chorro de oxígeno en el baño y se provoca un enfriamiento, por lo que, los humos disminuyen y se produce una buena desulfuración.

- Es el método más utilizado en la actualidad para obtener aceros comunes de baja aleación, ya que permite recuperar la chatarra para obtener acero nuevo.

- Las ventajas del convertidor de oxígeno son las siguientes:

- * La combustión de las impurezas es más rápida.
- * Se produce un menor gasto de energía, se insufla oxígeno puro en lugar de aire, y al haber nitrógeno la oxidación es más efectiva.
- * Los revestimientos del horno duran más (la corriente de oxígeno va al centro del baño, no a las paredes).
- * Se obtiene acero colmado (sin nitrógeno ni burbujas internas).

4.- Convertidor eléctrico.

- No se utiliza para la obtención del acero en sentido estricto, sino que se trata más bien de un procedimiento de refinado o se utiliza para la chatarra.

- Las ventajas de este método de afino son:

- * Rápido calentamiento.
- * Buen control de la temperatura (se puede conseguir una temperatura exacta).
- * No se generan gases en la combustión que generen impurezas.
- * Se obtienen aceros muy finos y de gran pureza (el baño no queda expuesto a los gases de caldeo ni al oxígeno). (Se puede lograr una atmósfera neutra).

- El inconveniente principal es el elevado coste de la energía eléctrica que se necesita para producir calor.

- Debido a esta carestía se suele utilizar para el último refinado del acero procedente de un convertidor LD o Siemens-Martin.

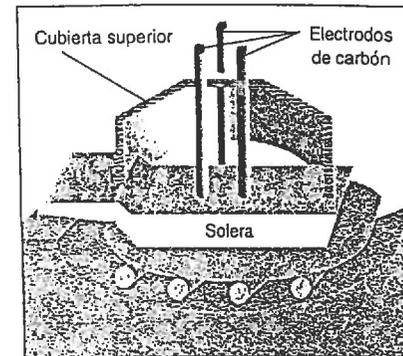
- Con este convertidor se obtienen aceros especiales muy puros, aceros de alta aleación y aceros inoxidables.

- Los convertidores eléctricos más utilizados son los de arco y los de inducción, pero sólo vamos a estudiar el de arco.

* Convertidor eléctrico de arco.

- Es un recipiente de acero de forma cilíndrica, recubierto interiormente de ladrillo refractario y provisto de un circuito de refrigeración. Puede albergar hasta 130 T. de material.

- La cubierta superior se puede desplazar para cargar el horno y está atravesada por tres electrodos de grafito.



Esquema de la estructura de un horno eléctrico de arco.

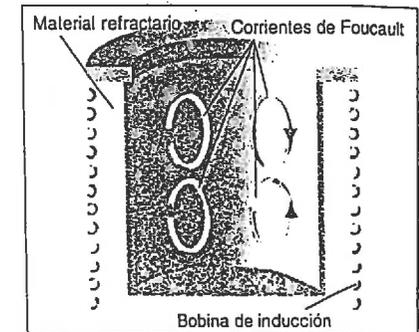


Fig. 10. Esquema de la estructura de un horno eléctrico de inducción.

- La carga del convertidor suele ser chatarra o acero ya refinado, materiales de aleación y fundente.

- El oxígeno necesario para la oxidación de impurezas procede del aire en contacto con el baño de los fundentes y del óxido que contiene la chatarra añadida.

- El proceso de afino es el siguiente:

- * Se introduce la chatarra y el fundente en el horno o el acero solidificado ya tratado.
- * Se cierra el recipiente y se hace saltar un potente arco voltaico entre los tres electrodos (cilindros) y la chatarra que hace de masa.
- * Se saca la escoria producida y se añade carbono (antracita) y se sigue calentando toda la masa.
- * Se añaden aleaciones metálicas silice y cal para eliminar el azufre.
- * La temperatura que alcanza el convertidor es superior a 3500 °C (permite fundir metales con elevada temperatura de fusión (molibdeno, volframio, níquel, cromo, vanadio, manganeso, etc.).

- En el convertidor se obtienen como productos finales:

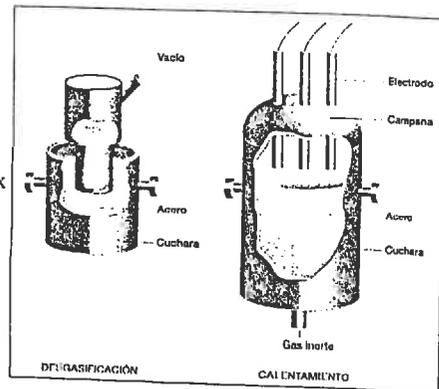
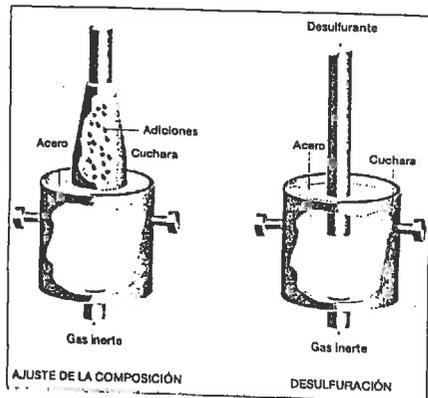
- * **Acero líquido:** será transportado por medio de otra cuchara hacia las siguientes etapas del proceso siderúrgico (metalurgia secundaria).
- * **Escoria:** se utiliza como firme de carreteras y mezclada con dolomía para regular el PH de los campos de cultivo.
- * **Gases:** se aprovechan debido a su poder calorífico.

6.- Metalurgia secundaria.

- La función de la metalurgia secundaria consiste en modificar la composición del acero para acomodarlo a unas determinadas necesidades.

- Para ello se le somete a uno o varios de los siguientes tratamientos:

- * **Ajuste de composición.**
 - Se realiza añadiendo al acero los elementos necesarios para que la composición sea la especificada.
 - A la vez se sopla gas inerte para homogeneizar el baño.
- * **Desulfuración.**
 - El azufre es un componente indeseable de los aceros, porque les confiere gran fragilidad.
 - Para eliminarlo se inyecta al acero un producto desulfurante, mientras se sopla gas inerte.



* Desgasificación.

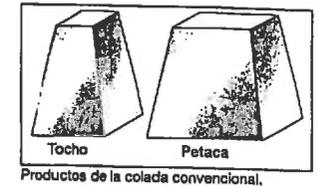
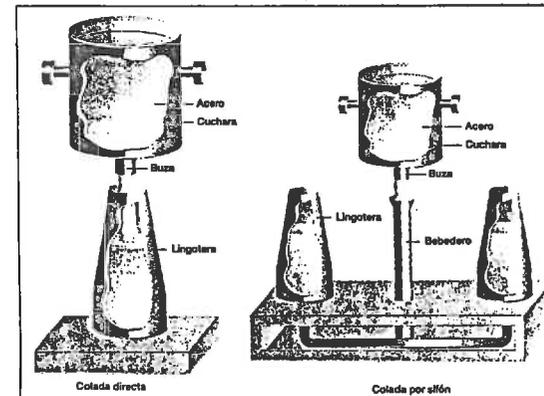
- Se introduce en la cuchara una campana conectada al vacío, que facilita la extracción de los gases contenidos en el interior del metal y que podría dar lugar a sopladuras indeseables.

* Calentamiento.

- Para elevar la temperatura se utiliza el calor aportado por la descarga de un arco eléctrico que salta entre unos electrodos a través del baño.
- Como producto final del proceso de metalurgia secundaria se obtiene un acero con las características especificadas.

7.- Colada convencional.

- La función de la colada convencional es trasvasar el acero procedente del proceso de metalurgia secundaria, o del convertidor (si no ha sido necesario el ajuste de su composición), a unos moldes o lingoteras de forma troncopiramidal para su solidificación.



- El acero contenido en una cuchara se pasa a las lingoteras a través de un orificio, practicado en el fondo de la cuchara, llamado buza.

- El proceso se puede realizar de dos formas:

* **Colada directa:** se llenan las lingoteras sucesivamente una tras otra.

* **Colada en sifón:** todas las lingoteras se llenan simultáneamente.

- El contenido de la cuchara se vierte en un bebedero y, a través de un sistema de vasos comunicantes, el acero pasa a las lingoteras.

- El acero solidificado tiene forma troncopiramidal y su sección puede ser:

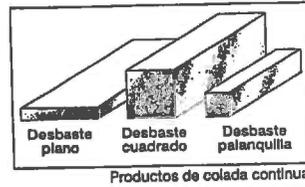
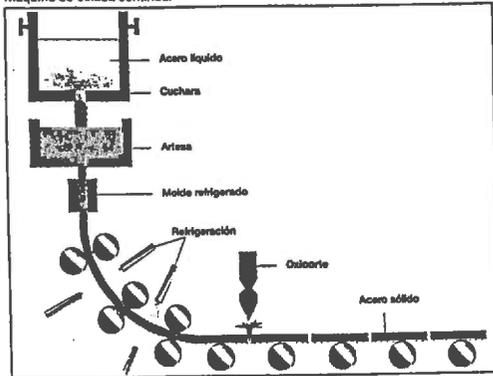
* **Cuadrada:** las piezas de acero reciben el nombre de **tochos**.
- Se utilizan para fabricar: carriles, perfiles y redondos.

* **Rectangular:** las piezas de acero se conocen como **petacas**.
- De estas piezas se obtienen las planchas.

8.- Colada continua.

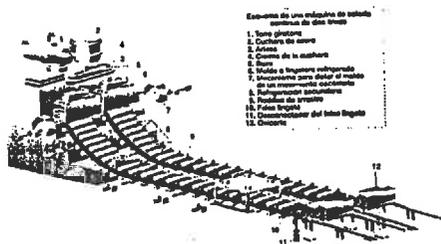
- El objetivo de la colada continua es solidificar el acero en productos de sección constante.
- El acero se traspa desde la cuchara a una artesa que actúa como depósito regulador.
- De la artesa se le hace pasar a través de un molde refrigerado, de tal forma que su parte exterior se solidifica y es capaz de soportar la presión interior del líquido.

Máquina de colada continua.

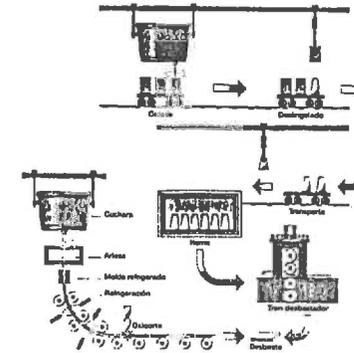


Productos de colada continua.

- Una vez fuera del molde, se continúa la refrigeración haciendo inyectando chorros de agua al acero.
- El espesor solidificado aumenta hasta obtener un producto sólido.
- De las máquinas de colada continua se obtienen diferentes productos dependiendo de la forma del molde:
 - * **Desbastes planos:** se destinan a la fabricación de chapas.
 - * **Desbastes de sección cuadrada:** se dedican a la fabricación de perfiles y carriles.
 - * **Palanquillas de sección cuadrada:** son más pequeñas que los anteriores y se destinan a la sección de redondos.
- En la siguiente figura se muestra un esquema de una máquina de colada continua de dos líneas con sus diferentes partes identificativas:



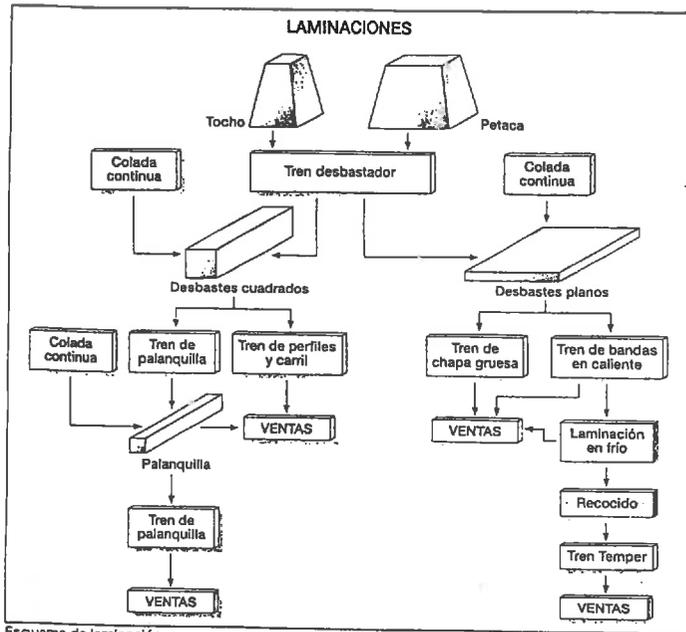
- Comparación entre la colada convencional y la colada continua se aprecian en el siguiente dibujo:



- En la colada convencional se siguen los siguientes pasos:
 - * Se vierte el acero líquido en las lingoteras.
 - * Se espera a que se enfríe.
 - * Se deslingota y se calienta a la temperatura de laminación (1250 °C).
 - * Se lamina en un tren desbastador para obtener un producto intermedio.
 - * Se trata el producto intermedio para obtener el producto final
- Las máquinas de colada continua transforman el acero líquido directamente en desbaste, mediante un reducido proceso de elaboración que reduce el coste.
- 9.- Laminación del acero en caliente.**
 - El acero obtenido en la colada se le somete a un proceso de laminación para darle la forma y las características mecánicas necesarias.
 - A los productos obtenidos de la colada convencional se les debe aplicar una laminación previa (desbaste), antes de continuar su manipulación.
 - Los desbastes procedentes de las máquinas de colada continua o trenes desbastadores se envían a los correspondientes trenes de laminación, según su formato:
 - * **Tren de alambón:** a él se envía la palanquilla obtenida en el proceso de colada continua, o procedente del tren de palanquilla en la colada convencional.

* **Tren de perfiles:** a él se envían los desbastes cuadrados obtenidos por colada continua o convencional.

- Como productos finales se obtienen perfiles y raíles de ferrocarril.



Esquema de laminación.

* **Tren de chapa gruesa:** se envían a él los desbastes planos de la colada continua o del tren desbastador.

- Así se obtiene una chapa destinada a calderería pesada y a la fabricación naval.

* **Tren de bandas en caliente:** a él también se envían los desbastes planos.

- Como producto de salida se obtiene una banda de chapa recogida en forma de bobina.

- Estas bobinas se pueden utilizar como entrada al proceso de laminación en frío.

10.- Laminación del acero en frío.

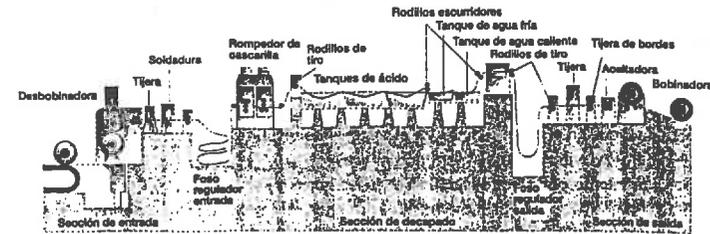
- La laminación en frío se realiza a temperatura ambiente a diferencia de las laminaciones realizadas en caliente.

- Este método de laminación se utiliza cuando el espesor requerido en la chapa es muy pequeño y, además, se necesita un buen acabado superficial.

11.- Decapado.

- Las bobinas laminadas en caliente salen con una capa de óxido superficial (cascarilla).

- Esta capa hay que eliminarla antes de la laminación en frío para que no se produzcan defectos superficiales importantes en la chapa.



- Para el decapado se hace pasar la chapa por unos rodillos que agrietan la cascarilla facilitando así la acción limpiadora de un ácido.

- A continuación se lava la chapa con agua, se seca y se recubre con una capa de aceite que le sirve de protección.

12.- Recocido.

- La laminación en frío produce cambios notables en la estructura interna del acero y por ello, su capacidad de deformación se hace muy pequeña.

- Para regenerar de nuevo la estructura interna del acero se le somete a un proceso de recocido.

- El recocido consiste en calentar el material, mantenerlo a temperatura elevada durante cierto tiempo y enfriarlo luego controladamente.

- Existen dos sistemas de recocido:

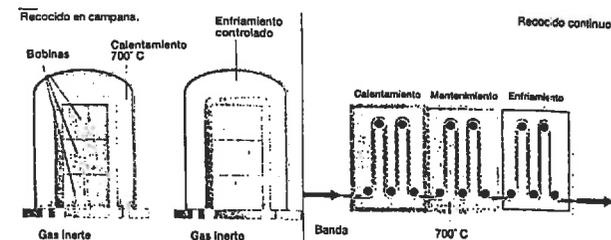
* Recocido en campana.

- Las bobinas de chapa se cubren con una campana metálica en cuyo interior se introduce un gas inerte para evitar la oxidación.

- Sobre esta campana se coloca otra que funciona como un horno.

- Cuando finaliza el periodo de calentamiento se retira el horno y se coloca encima otra campana de refrigeración.

- Una vez que el material se ha enfriado se retiran las dos campanas.



*** Recocido continuo.**

- Se realiza de forma continua, haciendo que la chapa recorra sucesivamente tres cámaras: la de calentamiento, la de mantenimiento y la de enfriamiento.

13.- Temperizado.

- Una vez recocido, la dureza del acero disminuye notablemente, por lo que es preciso someterlo a un proceso de temperizado.

- El temperizado consiste en hacer pasar la chapa por un tren de laminación especial en el que se reduce su espesor en una pequeña proporción, comunicándole una cierta dureza superficial.

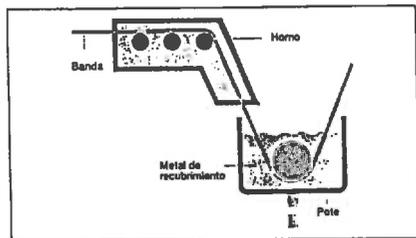
14.- Recubrimientos de los aceros.

- Los aceros presentan una fuerte tendencia a la oxidación, por lo que es preciso recubrirlos con metales protectores.

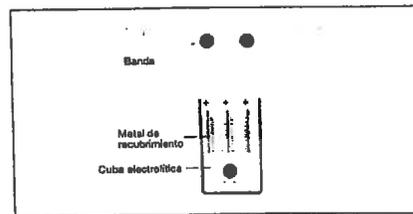
- Este recubrimiento se realiza mediante dos sistemas:

*** Recubrimiento por inmersión.**

- Consiste en calentar de forma controlada la banda de acero y hacerla pasar posteriormente por un tanque en el que se encuentra el material de recubrimiento fundido.



Recubrimiento por inmersión.



Recubrimiento por electrólisis.

*** Recubrimiento por electrólisis.**

- La banda de acero se hace pasar a través de una cuba electrolítica que contiene una disolución de una sal del metal que se quiere depositar sobre el acero.

- Si el metal de recubrimiento es estaño el metal producido recibe el nombre de hojalata.

- Si el metal protector es cinc o una aleación de cinc y aluminio, se obtienen productos galvanizados.