

**TEMA 12. MATERIALES METÁLICOS: METALES FERROSOS O FÉRRICOS.**

**ÍNDICE:**

1. GENERALIDADES ACERCA DE LOS METALES.
  - 1.1. Estructuras cristalinas.
  - 1.2. Mecanismos de endurecimiento en metales.
  - 1.3. Tratamientos de los metales para mejorar sus propiedades.
2. METALES FERROSOS O FÉRRICOS.
  - 2.1. Tipos de metales ferrosos.
3. PROCESO SIDERÚRGICO.
  - 3.1. Obtención del mineral de hierro.
  - 3.2. Obtención del carbón de coque.
  - 3.3. Sinterización del mineral de hierro.
  - 3.4. Obtención del arrabio (alto horno).
  - 3.5. Transformación del arrabio en acero.
  - 3.6. Metalurgia secundaria.
  - 3.7. Colada convencional.
  - 3.8. Colada continua.
  - 3.9. Laminación del acero en caliente.
  - 3.10. Laminación del acero en frío.
  - 3.11. Decapado.
  - 3.12. Recocido.
  - 3.13. Temperizado.
  - 3.14. Recubrimientos de los aceros.
4. ACTIVIDADES DE SÍNTESIS.
5. RECURSOS WEB.
6. BIBLIOGRAFÍA.



Los metales han estado siempre presentes en la historia de la humanidad desde tiempos muy antiguos, hasta el punto de que su utilización preferente en distintas épocas ha servido de pauta para la denominación de largos períodos del tiempo prehistórico: Edad del Cobre, Edad del Bronce o Edad del Hierro.

Además de los metales utilizados tradicionalmente: plomo, estaño, níquel, magnesio, etc., en la industria metalúrgica moderna han hecho su aparición, como consecuencia del desarrollo tecnológico, nuevos metales (titanio, berilio, niobio, germanio, etc.) que hasta hace pocos años se consideraban como una mera curiosidad científica. Por ejemplo, el espectacular avance experimentado hoy en día por la exploración espacial se debe a las investigaciones realizadas en el campo de las aleaciones de titanio y carburo de boro.

Los metales ferrosos (materiales derivados del hierro) han ocupado (armas, corazas, herramientas...) y ocupan actualmente (puentes, estructuras en la construcción...) un lugar preferente en el conjunto de los materiales metalúrgicos, como pone de manifiesto el hecho de que su producción mundial sea 20 veces superior a la del resto de los metales. Esta supremacía del hierro se debe, sin duda, a la gran diversidad de materiales que se pueden obtener a partir de él mediante distintos procesos y operaciones, y justifica por sí misma el porqué de su estudio en este Tema.

## 1. GENERALIDADES ACERCA DE LOS METALES.

Todos los metales, excepto el mercurio (líquido a temperatura ambiente), poseen unas características comunes derivadas de su estructura interna, que a su vez es consecuencia de la particularidad propia del enlace metálico.

Algunas de estas características son las siguientes:

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

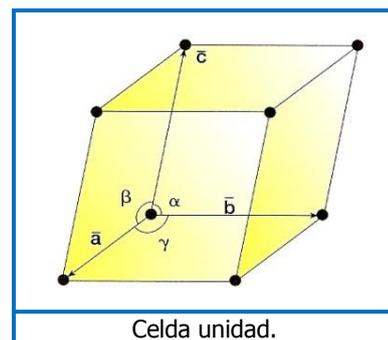
### 1.1. Estructuras cristalinas.

Los cuerpos sólidos se pueden presentar en dos estados fundamentales:

- **Cristalino.** Cuando están constituidos por átomos perfectamente ordenados en el espacio. En este grupo se encuentran englobados los metales, los materiales cerámicos y algunos polímeros que poseen regularidad suficiente.
- **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**, representada de forma genérica en la figura, y que se define mediante:

- Las 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 geométricas distintas de la celda unidad), que aparecen recogidos en la siguiente tabla:

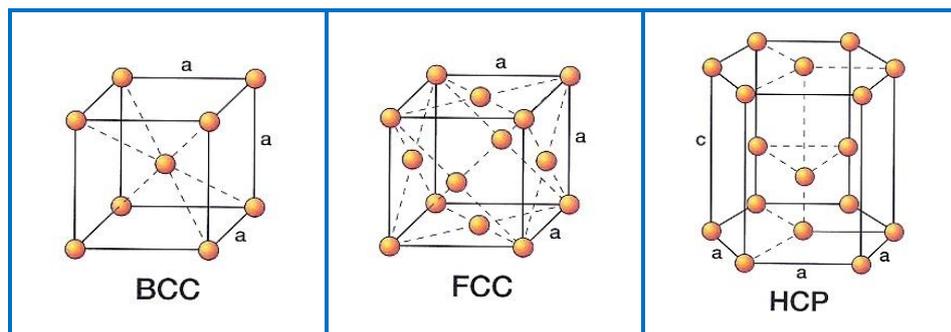
Ejes y ángulos	Sistema cristalino	Red espacial	Ejemplo
$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Triclínico	Simple	Ácido bórico Dicromato de potasio
$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Monoclínico	Simple De base centrada	Azufre β Sacarosa
$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Ortorrómico	Simple De base centrada De caras centradas Centrada	Azufre α Galio
$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	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 estas 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 los centros de las celdas (red cristalina centrada) o de las caras (red cristalina de caras centradas).

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

- **Cúbica centrada en el cuerpo** (que se designa abreviadamente por 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 celda.

Elemento	Red cristalina	Dimensión de la red (a 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

### 1.1.1. Soluciones sólidas.

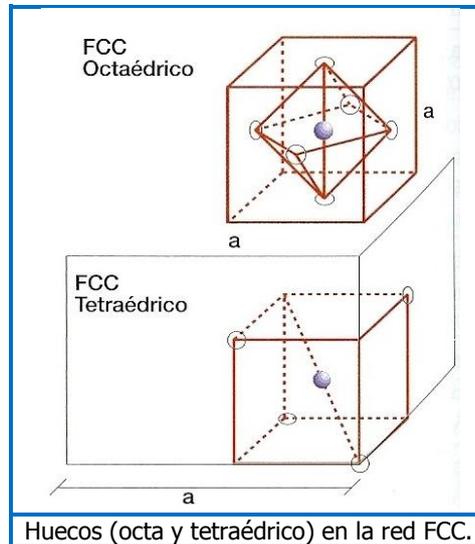
En los tres tipos de redes cristalinas frecuentes en los metales (BCC, FCC y HCP) existen una serie de huecos en los que se pueden introducir átomos extraños a la red, originándose de esta forma las llamadas **soluciones sólidas de inserción**.

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**).

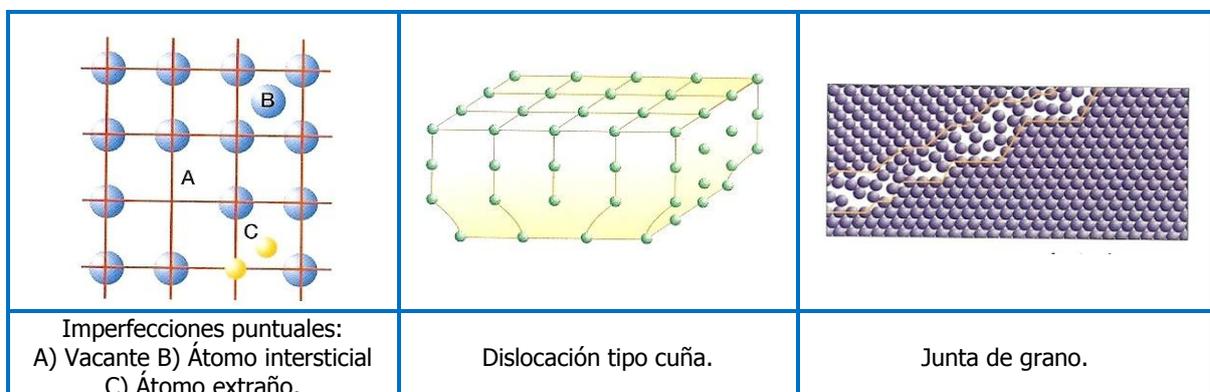
Para que dos metales se puedan alejar por sustitución en cualesquiera proporciones es preciso que se cumplan una serie de requisitos; por ejemplo, que los tamaños de los átomos de los dos metales sean semejantes y que ambos cristalicen en la misma red.



### 1.1.2. Defectos en la red cristalina.

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

- **Imperfecciones puntuales** 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** (denominadas también **dislocaciones**), que disminuyen la resistencia mecánica de los metales. Estas imperfecciones son las causantes de la deformación plástica en los metales.
- **Imperfecciones superficiales**. Si bien 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 sus ejes cristalográficos respectivos no coinciden entre sí. A estas zonas se las denomina **cristales** o **granos**, y a la zona límite entre dos de ellos (imperfección a nivel superficial) se la conoce como **junta de grano**.

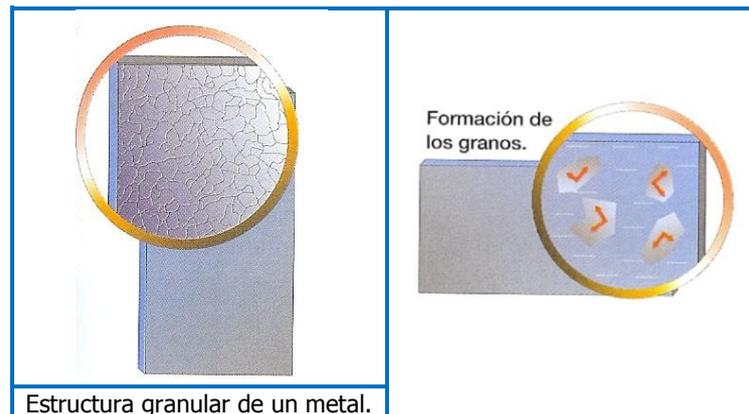


La formación de granos en el interior de los metales se produce durante el proceso de solidificación. Cuando se enfría un metal en estado líquido, llega un momento en que los átomos comienzan a ordenarse en el espacio; es decir, comienza la cristalización, verificándose simultáneamente desde varios puntos en el interior del material. De ahí que, una vez concluida la cristalización, existan diversas zonas ordena-

das que están separadas por juntas de grano.

La forma de los granos en un metal es habitualmente **equiáxica**; es decir, no existe ninguna dimensión que prevalezca sobre las demás. Aunque si el material se ha deformado en frío, por ejemplo mediante 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). En ocasiones, debido a procesos de deformación plástica (laminación, estirado, extrusión), se observa en los granos una orientación preferente. En algunos casos esta orientación preferente -que da lugar a un **material anisótropo**- resulta de utilidad, como sucede en las chapas para la fabricación de núcleos magnéticos de bobinas y transformadores eléctricos.



## 1.2. Mecanismos de endurecimiento en metales.

El creciente desarrollo tecnológico exige materiales cada vez más duros y resistentes. Para lograr este objetivo se siguen una serie de procedimientos encaminados a mejorar las características de los materiales metálicos:

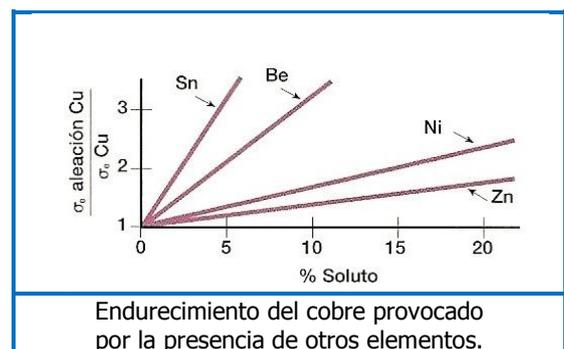
- **Endurecimiento por deformación en frío.** Se ha analizado en el Tema anterior que la deformación plástica origina un endurecimiento en los materiales. Sin embargo, este endurecimiento viene acompañado de una acusada fragilidad y, por eso, es habitual que un metal que haya experimentado una deformación en frío (a temperatura ambiente) se someta posteriormente a un tratamiento térmico, denominado **recocido**, con objeto de devolverle su plasticidad.

- **Endurecimiento por afino de grano.** Existe una relación experimental entre el límite elástico de un material ( $\sigma_e$ ) y el tamaño medio de sus granos, **d**:

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

siendo  $\sigma_0$  y K 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.*

- **Endurecimiento por solución sólida.** Las soluciones sólidas, tanto de sustitución como de inserción, provocan un aumento en la dureza del metal. En la figura se muestra el endurecimiento (medido por la relación entre el límite elástico del metal aleado y del 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,



o a causa del pequeño tamaño de los huecos intersticiales en las soluciones sólidas de inserción.

### 1.3. 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 se busca mejorar su dureza y resistencia mecánica; en otros, mejorar su plasticidad para facilitar su conformado.

Existen cuatro clases de tratamientos:

- **Tratamientos térmicos.** El metal es sometido a procesos térmicos en los que no varía su composición química, aunque sí su estructura.
- **Tratamientos termoquímicos.** Los metales se someten a enfriamientos y calentamientos, pero además se modifica la composición química de su superficie exterior.
- **Tratamientos mecánicos.** Se mejoran las características de los metales mediante deformación mecánica, con o sin calor.
- **Tratamientos superficiales.** Se mejora 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 no deben alterar de forma notable la composición química del metal pues, en caso contrario, no sería un tratamiento, sino otro tipo de proceso.

#### 1.3.1. 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 inalterada.

Existen tres tratamientos fundamentales:

- **Recocido.** El metal se calienta durante cierto tiempo a una temperatura determinada y, a continuación, se enfría lentamente. De esta manera se consigue 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 el calentamiento del 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 ligeramente su dureza.

#### 1.3.2. Tratamientos termoquímicos.

Los tratamientos termoquímicos consisten en operaciones de calentamiento y enfriamiento de los metales, completadas con la aportación de otros elementos en la superficie de las piezas.

Los más relevantes son:

- **Cementación.** Consiste en la adición de carbono a la superficie de un acero que presente un bajo contenido en este elemento. Se obtiene así una dureza superficial muy elevada.
- **Nitruración.** Es un proceso de endurecimiento del acero por absorción de nitrógeno a una temperatura determinada. Además, proporciona una buena resistencia a la corrosión. Se utiliza para endurecer

piezas de maquinaria (bielas, cigüeñales, etc.); también herramientas, como brocas, etc.

- **Cianuración.** Es un tratamiento intermedio entre los dos anteriores. Se utiliza no solamente en aceros con bajo contenido en carbono (como en el caso de la cementación), sino también en aquéllos cuyo contenido en carbono sea medio o alto, cuando se pretende que adquieran una buena resistencia.
- **Carbonitruración.** Consigue aumentar la dureza de los aceros mediante la absorción simultánea de carbono y nitrógeno a una temperatura determinada, igual que la de 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.** Mediante la inmersión del metal en un baño especial se consigue 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.

### 1.3.3. Tratamientos mecánicos.

Los tratamientos mecánicos mejoran las características de los metales por deformación mecánica, con o sin calor.

Existen los siguientes tratamientos mecánicos:

- **Tratamientos mecánicos en caliente,** también denominados **forja.** Consisten en calentar un metal a 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.** Consisten en deformar el metal a la temperatura ambiente, golpeándolo o sometiéndolo a trefilado o laminación. Estos tratamientos incrementan la dureza y la resistencia mecánica del metal y, también, acarrear una disminución en su plasticidad.

### 1.3.4. Tratamientos superficiales.

Los tratamientos superficiales más utilizados son:

- **Metalización.** Se proyecta un metal fundido, pulverizándolo sobre la superficie de otro. Con esto se consigue comunicar a la superficie de un metal las características de otro diferente.
- **Cromado.** Se deposita cromo electrolíticamente sobre el metal; de esta manera se disminuye su coeficiente de rozamiento y se aumenta su resistencia al desgaste.

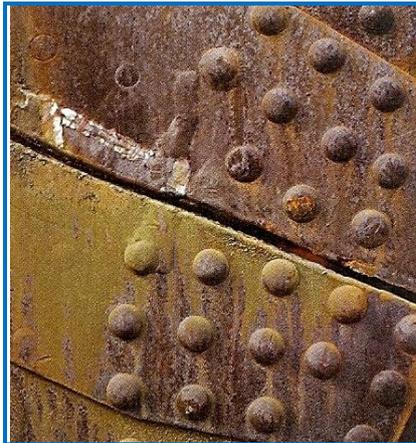
### ACTIVIDAD:

1. Explica claramente el significado de los siguientes términos: a) red cristalina; b) solución sólida de inserción; c) junta de grano; d) materiales isótropos y anisótropos; e) nitruración.

## 2. METALES FERROSOS O FÉRRICOS.

Los metales ferrosos o férricos 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 1.535 °C, aunque disminuye cuando se encuentra aleado con carbono (por ejemplo, la aleación con 4,3% de carbono funde a 1.145 °C). Su densidad es 7,87 g/cm<sup>3</sup>. 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 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O), una sustancia pardo-rojiza escamosa, denominada comúnmente **orín**.



El hierro es un metal que expuesto al aire se oxida y corroe con facilidad.

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 768 °C	$\alpha$	BCC	2,86 Å
768 °C - 910 °C	$\beta$	BCC	2,90 Å
910 °C - 1400 °C	$\gamma$	FCC	3,60 Å
1400 °C - 1535 °C	$\delta$	BCC	2,93 Å

El hierro industrialmente puro tiene aplicaciones muy limitadas (electroimanes, láminas metálicas galvanizadas...), a causa de sus bajas propiedades mecánicas. Por ello, se utiliza más frecuentemente aleado con carbono.

Los metales ferrosos, como se dijo en la introducción, son los más utilizados a nivel industrial. En 2.001 las producciones mundiales estimadas de hierro y de acero fueron respectivamente de 623 y 845 millones de toneladas anuales, mientras que la de metales no ferrosos -aluminio, cobre, plomo, manganeso y cinc- alcanzó solamente la cantidad de 45 millones de toneladas.

## 2.1. Tipos de metales ferrosos.

El hierro industrialmente puro carece de buenas propiedades mecánicas; por ello, se utiliza aleado con carbono, o con carbono y otros metales. Según el contenido en carbono (aunque los porcentajes pueden variar), se distinguen los siguientes productos férreos industriales:

- **Hierro industrial.** Cuando el contenido en carbono es menor del 0,03%.
- **Acero.** Cuando el contenido en carbono está comprendido entre el 0,03 y el 1,67%.
- **Fundición.** El porcentaje de carbono está comprendido entre el 1,67 y el 6,67%.

Las aleaciones con un contenido en carbono mayor del 5% carecen de interés industrial, ya que son extremadamente frágiles.

### 2.1.1. Hierro industrial.

El hierro con un contenido en carbono bajo (< 0,03 %) posee unas características mecánicas inadecuadas y, por ello, apenas se emplea industrialmente.

Cuanto mayor sea el contenido en carbono de un acero, mayores serán su dureza y su resistencia a la

tracción, pero su ductilidad disminuirá y se incrementará su fragilidad. Su densidad oscila entre 7,6 y 7,8 g/cm<sup>3</sup>, y su punto de fusión varía entre 1.300 y 1.400 °C.

En general, se puede decir que los aceros presentan las siguientes propiedades:

- Son dúctiles y maleables.
- Su resistencia mecánica, dureza y fragilidad se incrementan con el contenido en carbono. De acuerdo con ello, los aceros se pueden clasificar en: extradulces, muy dulces, dulces, semidulces, semiduros, duros, muy duros y extraduros.
- La soldabilidad disminuye con el porcentaje en carbono.
- Se oxidan fácilmente (salvo los aceros inoxidable).

CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS			
Acero	% de carbono	$\sigma_e$ (kg/mm <sup>2</sup> )	E (kg/mm <sup>2</sup> )
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
Muy duros	0,60-0,70	65-75	36-45
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; es decir, se extrae carbono de la fundición, ya que su contenido en ella -como consecuencia de los procesos de obtención en el alto horno- es muy elevado.

Por regla general, además de hierro y carbono, en los aceros se encuentran presentes otros elementos que modifican notablemente sus propiedades. Así, se tiene:

- **Aceros al carbono.** Son aquéllos cuyo contenido en otros elementos no supera los porcentajes indicados en la tabla de la página siguiente.

- **Aceros aleados.** Superan alguno de esos límites.

Estos elementos confieren al acero una serie de propiedades:

• **Azufre.** Confiere una gran fragilidad a los aceros. Su efecto es perjudicial y se contrarresta añadiendo manganeso.

• **Cobalto.** Aumenta la dureza del acero en caliente y su resistencia a la corrosión, a la oxidación y al desgaste. Los aceros con cobalto poseen unas propiedades magnéticas más acusadas.

• **Cromo.** Aumenta también la dureza, la resistencia a la corrosión y la tenacidad del acero. Los aceros inoxidable están constituidos por acero aleado con cromo.

• **Manganeso.** Hace más factible el proceso del 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 también su resistencia en caliente y al desgaste.

• **Níquel.** Al igual que el cromo, constituye un componente fundamental del acero inoxidable y aumenta su resistencia a la tracción.

- **Plomo.** Favorece el mecanizado del acero por procedimientos de arranque de viruta, puesto que el plomo hace de lubricante (su punto de fusión es bajo). No se debe sobrepasar el 0,5% de plomo pues, en caso contrario, se dificultaría la posibilidad de templado del acero y se disminuiría 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. Con porcentajes elevados se obtienen los llamados aceros rápidos, utilizados para construir herramientas de corte.

### Breve historia del hierro.

1700 a. C. Los hititas comienzan a emplear el hierro en la fabricación de sus armas.  
 600 a. C. Los celtas utilizan el hierro.  
 700. Aparece en Cataluña un nuevo tipo de horno para la obtención del acero (forja catalana).  
 1300. Surge en Europa el antecesor del actual alto horno.  
 1784. El inglés Henry Cort descubre un procedimiento llamado «pudelage», que reduce el contenido en carbono del arrabio.  
 1856. El inglés Henry Bessemer descubre el procedimiento para la obtención del acero que lleva su nombre.  
 1865. Se descubre el procedimiento Martin para el afinado de los aceros.  
 1884. Comienza a funcionar en España el primer horno de coque.  
 1960. Se instala en España la primera colada continua.  
 1965. Comienza a funcionar en España la primera acería con convertidores soplados con oxígeno.

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.

<p><b>Clasificación de aceros según el Instituto del hierro y del acero</b></p> <p>El Instituto del hierro y del acero establece las siguientes categorías para los materiales metalúrgicos:</p> <p><b>F.</b> Aleaciones férreas.  <b>L.</b> Aleaciones ligeras.  <b>C.</b> Aleaciones de cobre.  <b>V.</b> Aleaciones varias.  <b>S.</b> Productos sinterizados.</p> <p>Las aleaciones férreas se dividen, a su vez, en nueve series:</p> <p><b>F-100.</b> Aceros finos de construcción general.</p>	<p><b>F-200.</b> Aceros finos de usos especiales.</p> <p><b>F-300.</b> Aceros resistentes a la oxidación y a la corrosión.</p> <p><b>F-400.</b> Aceros de emergencia.</p> <p><b>F-500.</b> Aceros para herramientas.</p> <p><b>F-600.</b> Aceros comunes.</p> <p><b>F-700.</b> Aceros para moldear.</p> <p><b>F-800.</b> Fundiciones.</p> <p><b>F-900.</b> Aleaciones férreas especiales.</p> <p>Cada una de esas series se divide en más subgrupos.</p>	 <p>Objetos de acero inoxidable.</p>
---	--	---

### 2.1.3. Fundiciones.

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

de piezas por moldeo en moldes de arena o metálicos.

Su densidad es menor que la del acero (7,2 - 7,6 g/cm<sup>3</sup>), y su punto de fusión oscila entre 1.050 y 1.300 °C.

En general, no son dúctiles ni maleables; tampoco se pueden forjar ni soldar con facilidad.

Las fundiciones presentan las siguientes ventajas:

- **Su fabricación es más sencilla que la del acero**, ya que su punto de fusión es más bajo y, por lo tanto, la mecanización resulta más fácil.
- Poseen características mecánicas aceptables: resistencia a la tracción de 90 kg/mm<sup>2</sup>, buena resistencia al desgaste, mayor resistencia a la oxidación que el acero...
- **Las piezas de fundición**, por su fácil fabricación, **son más baratas que las de acero**.

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

Fundiciones ordinarias	Blancas	Ferríticas Grises ordinarias Perlíticas
	Grises.....	
	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	



Objetos fabricados con fundición.

✓ **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:

- *Fundiciones blancas.* El carbono está combinado con el hierro en forma de carburo de hierro (Fe<sub>3</sub>C), también denominado **cementita**. La presencia de este componente confiere al material gran dureza y fragilidad, a la vez que una tenacidad muy pequeña. Las fundiciones blancas son muy difíciles de mecanizar y carecen prácticamente de interés industrial.
- *Fundiciones grises.* La mayor parte del carbono está dispuesto en forma de grafito (una de las dos formas alotrópicas del carbono). Estas fundiciones son, en general, menos duras que las blancas, pero más tenaces. Se mecanizan fácilmente y tienen una elevada resistencia a la corrosión y al desgaste (poseen propiedades autolubricantes). Las fundiciones grises pueden ser: ferríticas, grises ordinarias y perlíticas, según el porcentaje de carbono presente en forma de grafito.
- *Fundiciones atruchadas.* Por sus características, son intermedias entre las fundiciones blancas y las grises; reciben este nombre a causa del color que presentan en las superficies de fractura, parecido al de las truchas.

✓ **Fundiciones aleadas.** Son aquéllas que, además de hierro y carbono, contienen níquel, cromo, silicio, aluminio, molibdeno, titanio, vanadio y otros elementos en cantidades suficientes para modificar las características de las fundiciones ordinarias. Cuando la fundición contiene menos de un 5% de estos elementos se denomina fundición de **baja aleación**; si contiene más de un 5% recibe el nombre de fundición de **alta aleación**.

✓ **Fundiciones especiales.** Se obtienen a partir de las ordinarias mediante determinados tratamientos o con la adición de algún elemento químico. Existen tres tipos de fundiciones especiales:

- *Fundiciones maleables.* Se obtienen a partir de las fundiciones blancas, después de someterlas a un tratamiento de recocido denominado **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.

- *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.

- *Fundiciones de grafito difuso.* Se obtienen a partir 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.

#### ACTIVIDADES:

1. ¿Qué son formas o variedades alotrópicas de un elemento? ¿En qué se diferencian? ¿Qué elementos las presentan? Busca la bibliografía adecuada y realiza un breve trabajo de redacción al respecto.

2. ¿Qué son las fundiciones? ¿Cómo se pueden clasificar? ¿Qué diferencias existen entre ellas?

### 3. 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.

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

#### 3.1. Obtención del mineral de hierro.

El hierro es uno de los metales más abundantes en la naturaleza (constituye un 4,7% de la corteza terrestre, ocupando, en lo que a metales se refiere, el segundo lugar después del aluminio). Sin embargo, rara vez se encuentra en estado puro, sino en forma de óxidos, carbonatos o sulfuros.

Tipo de mineral	Nombre	Proporción Fe (%)
Óxidos	Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )	72,4
	Hierro oligisto (cristalizado) ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	70
Óxidos hidratados	Hematites 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 ( $\text{FeCO}_3$ )	48,3
	Esferoidita ( $\text{FeCO}_3$ )	48,3
Sulfuros	Pirita de hierro ( $\text{FeS}_2$ )	46,3

El mineral que se extrae de las minas de hierro contiene una parte de óxidos, carbonatos o sulfuros de hierro (denominada **mena**), acompañada de sustancias no ferrosas (**ganga**), tales como rocas, sílice,

etc. Una vez triturado el mineral, la mena (parte útil) se separa de la ganga (parte inútil) aprovechando sus diferentes densidades o su distinto comportamiento frente a 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 el hierro por reducción.

### 3.2. Obtención del carbón de coque.

En el proceso siderúrgico, el carbón de coque actúa como:

- Combustible.
- Reductor de los óxidos de hierro.

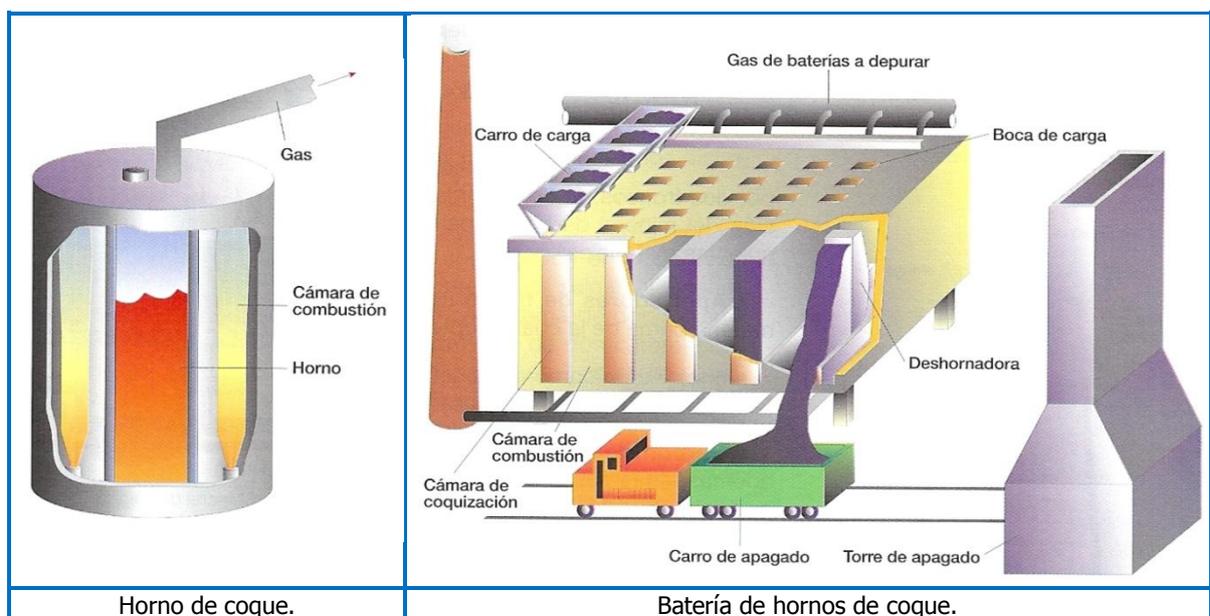
Se obtiene a partir de carbones de hulla con un bajo contenido en azufre (menor del 1 %) y cenizas (por debajo del 8%); son las llamadas hullas grasas y semigrasas, que poseen un contenido en materias volátiles de entre el 22 y el 30%.

El carbón de coque siderúrgico se obtiene industrialmente eliminando la materia volátil del carbón de hulla y aglutinándolo posteriormente. Para ello, se introduce la **pasta de carbón** (mezcla de diferentes tipos de hullas trituradas finamente) en las llamadas baterías de **hornos de coque**. En estos hornos se somete la pasta de carbón a un proceso de **coquizado**, consistente en calentar el carbón por encima de 1.000 °C, en ausencia de aire y 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 comprobar en el esquema de la figura anterior, 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 y mediante una máquina deshornadora se empuja el coque hacia fuera; luego, se transporta por medio de una vagoneta hasta la torre de apagado, con el fin de evitar su combustión espontánea.

### 3.3. Sinterización del mineral de hierro.

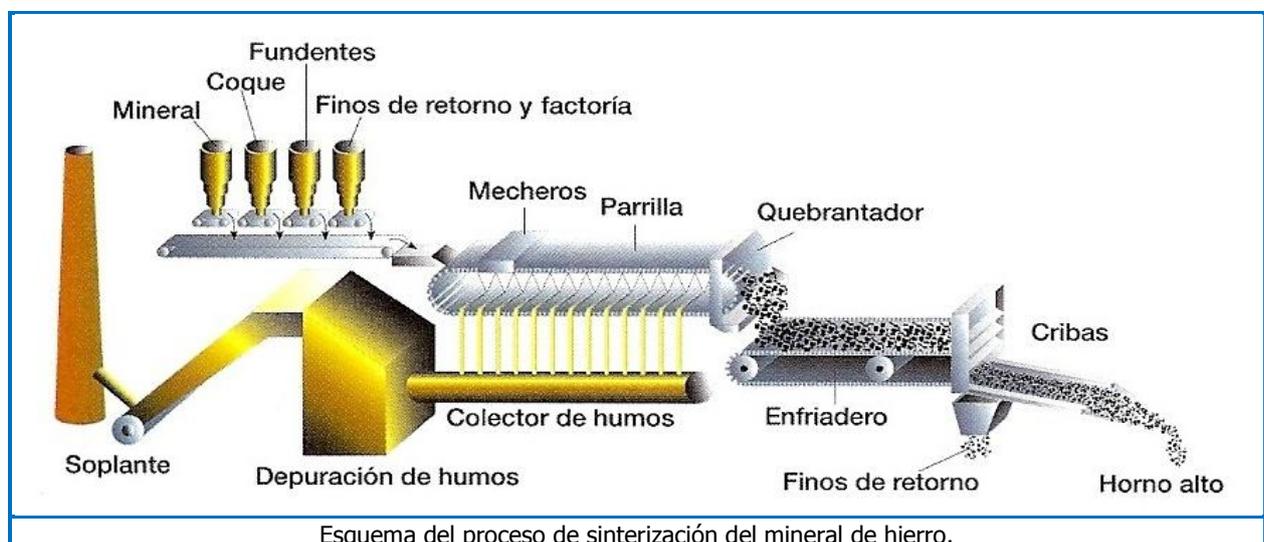
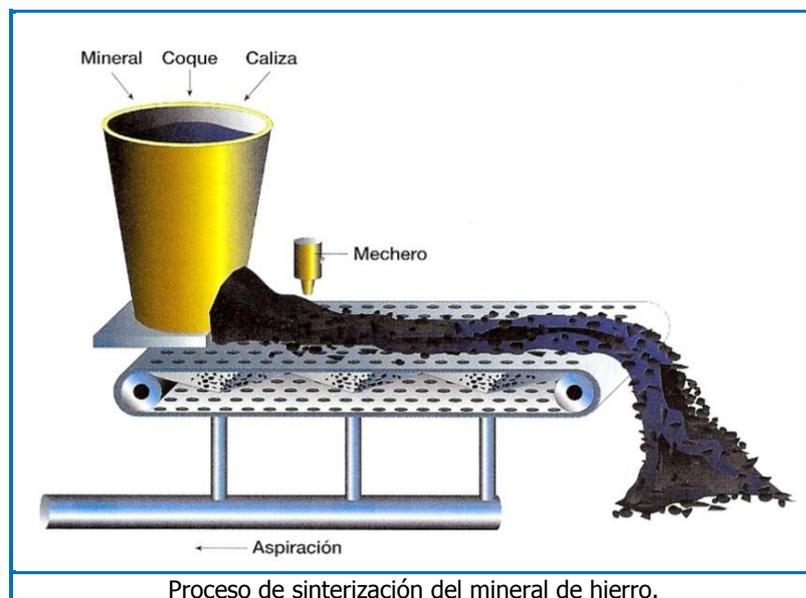
El objetivo de la sinterización del mineral de hierro es lograr un material poroso, de forma que el tamaño de los granos que se introduzcan posteriormente en el alto horno ofrezca una alta permeabilidad a los gases.

El mineral de hierro se mezcla con el carbón de coque y con granos de materiales llamados fundentes (por lo general, caliza), que tienen una gran importancia en el proceso de reducción del mineral de hierro que se lleva a cabo en el alto horno, como se verá más adelante. Se hace arder el combustible situado en la parte superficial, 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 modo que los granos finos del material inicial acaban convirtiéndose en un aglomerado.

El tamaño de los trozos de este aglomerado de mineral y fundentes, que se denomina **sinter**, es el adecuado para su introducción en el alto horno.

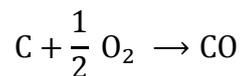
El proceso de reducción del mineral de hierro en el alto horno se ve doblemente favorecido por esta sinterización, ya que al ser el sinter un material poroso presenta una elevada superficie de contacto con el gas reductor y, además, el mineral se encuentra íntimamente ligado al fundente.



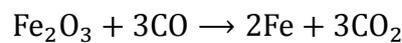
### 3.4. Obtención del arrabio (alto horno).

El alto horno es un recipiente de acero recubierto por un material refractario y constituido por dos troncos de cono unidos por sus bases. En él 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 metálico.
- **Fuel**. Actúa como combustible, calentando todo el conjunto. Se inyecta conjuntamente con el aire caliente a través de las toberas.
- **Carbón de coque**. Actúa como combustible, al igual que el fuel. Pero, además, es la sustancia que provoca la reducción del mineral de hierro. El coque sufre una combustión incompleta, desprendiéndose monóxido de carbono gaseoso:



que, al entrar en contacto con el mineral de hierro, se apodera del oxígeno para formar  $\text{CO}_2$ :



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; con la adición de estos formadores de escoria se busca disminuir su punto de fusión y que reaccionen con ellas, de modo que los productos formados se sitúen en la parte superior del mineral fundido, dando lugar a una capa de materiales que recibe el nombre de **escoria**.
- **Aire caliente** (oxígeno). Necesario para realizar la combustión del coque y del fuel. Además, sostiene todo el conjunto, evitando que los materiales se precipiten sobre el crisol.

A la salida del alto horno el producto principal que se obtiene es el **arrabio**, compuesto aproximadamente por un 95% de hierro, un 3,5% de carbono y porcentajes menores de otros elementos, como silicio, manganeso, azufre y fósforo.

También se obtienen dos subproductos:

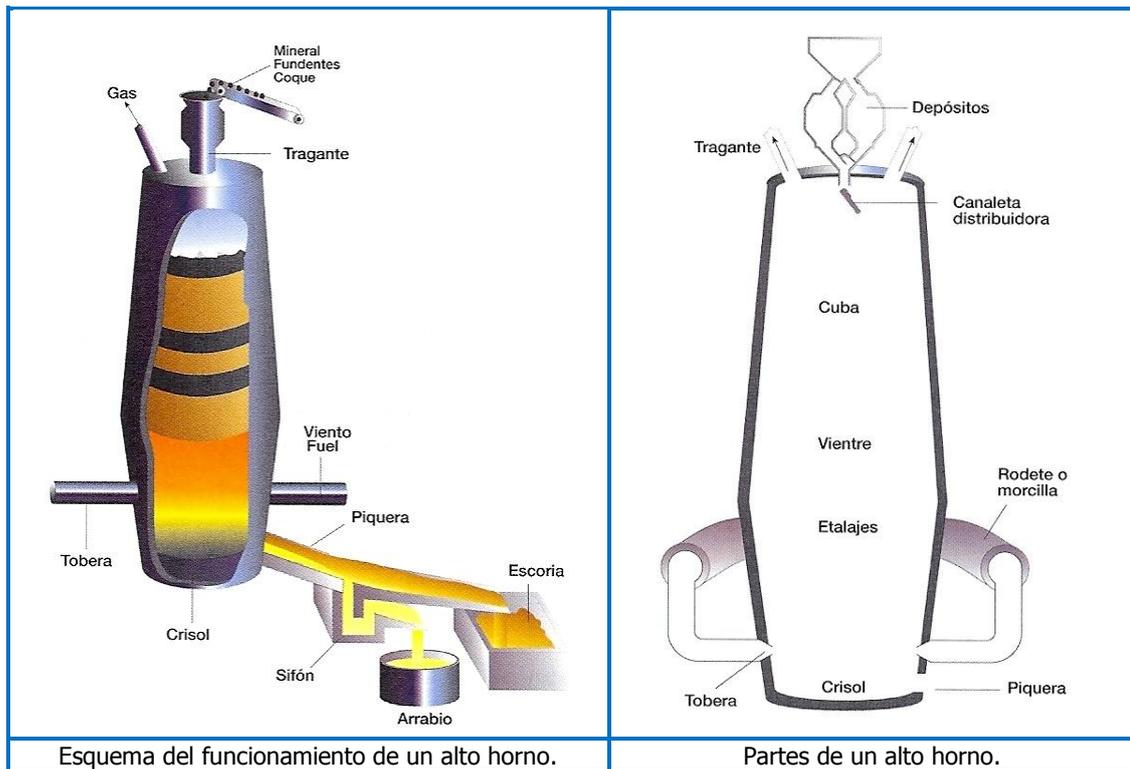
- **Escoria**. Formada por los fundentes, las impurezas de los minerales y las cenizas del coque. Se emplea como firme de carreteras y para la fabricación de cementos.
- **Gas de alto horno**. Con un contenido aproximado de un 20% de monóxido de carbono. Por esta razón, se puede utilizar como combustible después de ser depurado convenientemente. Se emplea para el 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 alto horno el arrabio y la escoria, que son separados en el **sifón**.

En las ilustraciones de la página siguiente, se muestran el esquema y las partes de un alto horno, en el que se aprecian los distintos componentes:

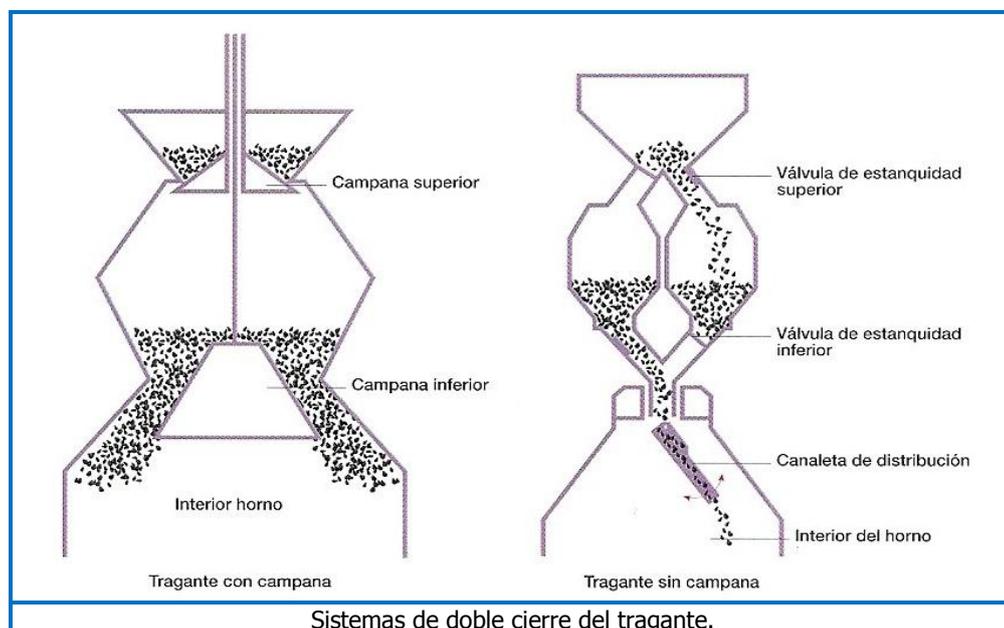
- **Tragante**. Es la zona superior del horno y por ella se introducen los materiales sólidos (minerales, fundentes y coque). Con el fin de evitar que durante el proceso de carga los gases producidos salgan al exterior, los hornos van equipados en el tragante de un sistema de doble cierre; éste se compone, bien de un mecanismo provisto de dos campanas o bien de dos depósitos con válvulas de entrada y salida. Los hornos equipados con tragantes sin campana disponen en su interior de una canaleta que gira para distribuir uniformemente la carga suministrada al horno.

- **Cuba.** Es la zona más amplia del horno; en ella los materiales se van secando y calentando, y es donde comienza el proceso de reducción.
- **Ventre.** Es la zona de mayor diámetro y en la que se realiza la mayor parte del proceso de reducción.
- **Etalajes.** Es la parte superior del tronco de cono inferior. En esta zona se encuentran situadas las toberas por las que se inyectan 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 la escoria.
- **Crisol.** Es la parte más baja del horno; de él se extraen el arrabio y la escoria a través de un orificio llamado **piquera**.



### Gigantes de acero y ladrillo.

Un horno alto tiene una altura de 30 a 80 m, y su diámetro máximo (en la zona del ventre) está comprendido entre 10 y 14 m.

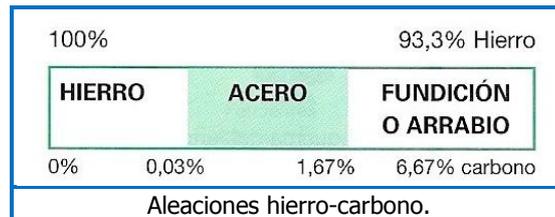


A la salida del alto horno el arrabio se deposita en unos recipientes denominados **vagones torpedo**, para su traslado a la siguiente fase del proceso siderúrgico. El arrabio cuando se encuentra en el torpedo se somete a un proceso de **desulfuración** (separación de azufre). Ésta se lleva a cabo inyectándole 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.

### 3.5. Transformación del arrabio en acero.

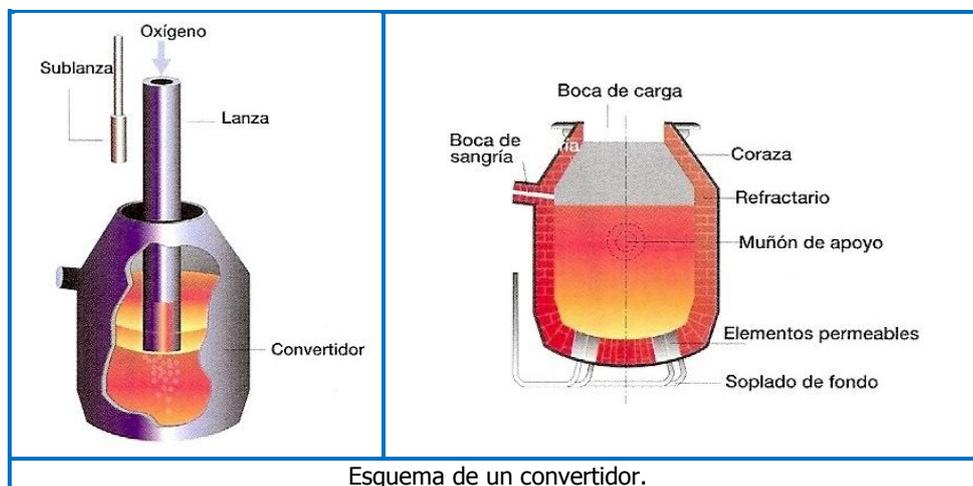
Las aleaciones hierro-carbono, de acuerdo con su contenido en este último elemento, se denominan:

- **Hierro puro**, si contienen menos del 0,03% de carbono.
- **Acero**, si la proporción de carbono está comprendida entre 0,03 y 1,67%.
- **Fundición**, si su contenido en carbono se sitúa en el intervalo 1,67 al 6,67%.



La proporción de carbono en el arrabio extraído del alto horno se encuentra en el intervalo correspondiente a las fundiciones. Así pues, se trata de un material duro y frágil, que no puede ser extendido en hilos ni en láminas; por este motivo apenas tiene aplicación industrial. Se hace necesario, pues, reducir el contenido en carbono del arrabio para convertirlo en un acero: material duro, elástico, capaz de soportar impactos y que se puede extender en láminas y en hilos.

Esta transformación del arrabio en acero se lleva a cabo en un recipiente llamado **convertidor**, y se realiza suministrando oxígeno al arrabio líquido, de manera que se verifique la combustión del exceso de carbono.



El arrabio se transporta en torpedos desde el alto horno hasta la acería, en las proximidades del convertidor y, mediante un recipiente denominado **cuchara**, se vierte en él todo su contenido. Además del arrabio, también se introducen en el convertidor:

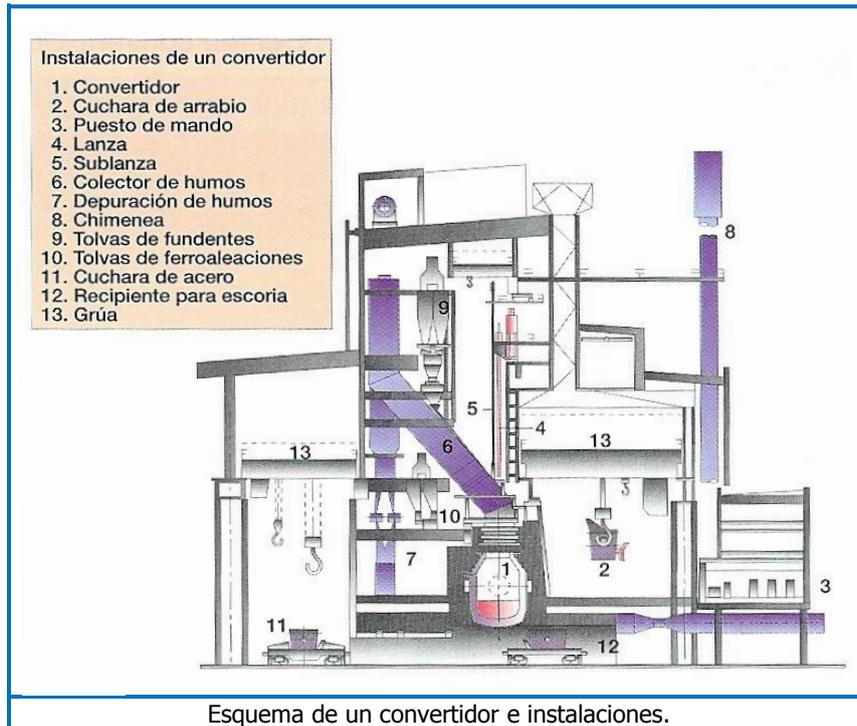
- **Chatarra**, que actúa como refrigerante al absorber calor en su fusión.
- **Fundentes**, que son materiales destinados a la formación de escoria.
- **Oxígeno**.

El oxígeno, que realiza la oxidación del exceso de carbono, se inyecta en el convertidor a través de un tubo vertical (denominado **lanza**) que se introduce hasta unos 50 cm por debajo del nivel del líquido. Los fundentes necesarios se hacen llegar desde unas tolvas, para que los compuestos producidos en la oxidación formen una escoria, evitando de esta manera que pasen de nuevo al acero.

Para favorecer la agitación del baño es usual que se inyecte por la parte inferior del convertidor un gas inerte (por lo general, argón o nitrógeno). Este proceso tiene una duración aproximada de 15 minutos.

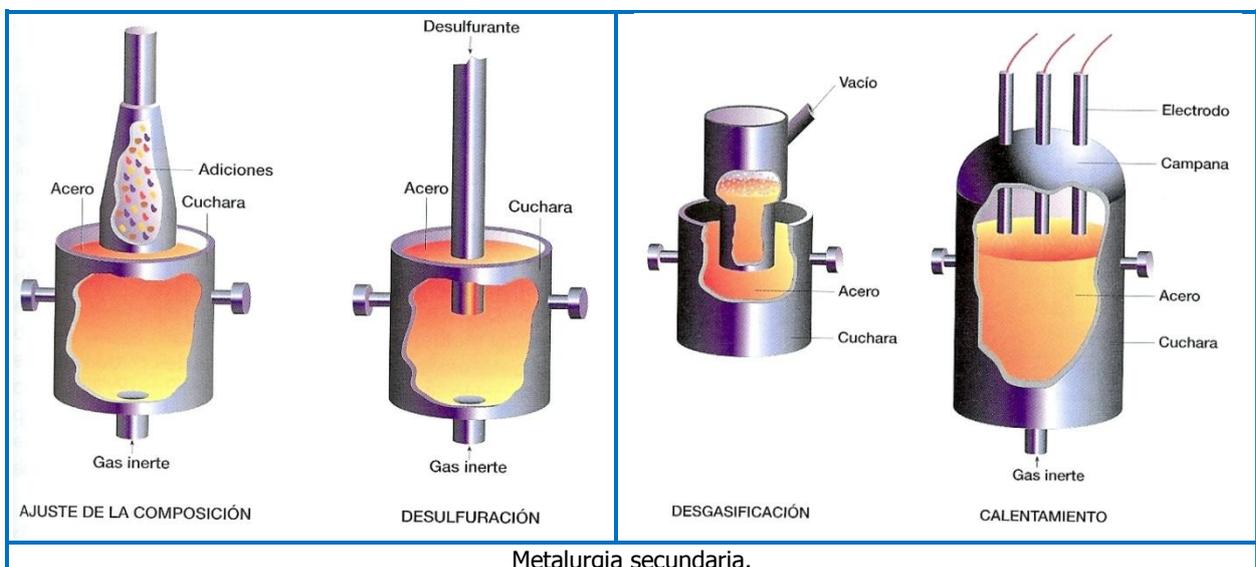
En el convertidor se obtienen como productos finales:

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



### 3.6. 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 la composición.** Se realiza añadiendo al acero los elementos necesarios para que la composición sea la especificada, mientras que a la vez se sopla gas inerte con objeto de homogeneizar el baño.

- **Desulfuración.** El azufre es un componente indeseable de los aceros, pues les confiere una 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 podrían 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.

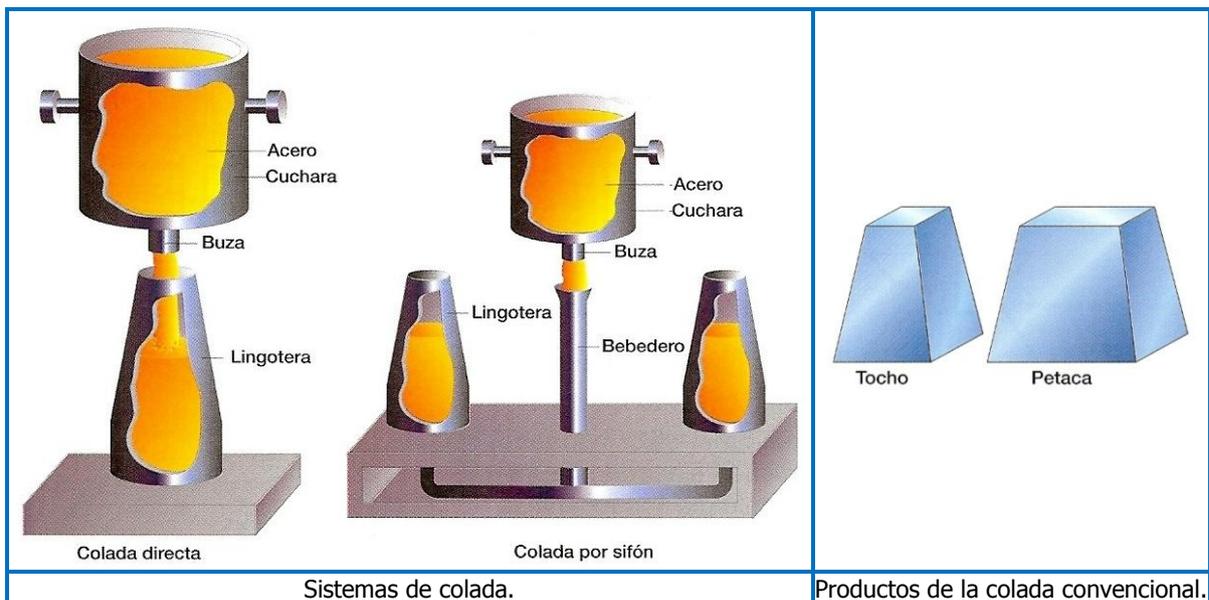
### 3.7. Colada convencional.

La función de la colada convencional es trasvasar el acero, procedente del proceso de metalurgia secundaria, o del convertidor -si no ha sido necesario ajustar 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 (llamado **buza**) practicado en el fondo de la cuchara. 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, pues 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**, y se utilizan para la posterior fabricación de carriles, perfiles y redondos.
- **Rectangular.** En este caso las piezas de acero se conocen como **petacas**. De ellas se obtienen las chapas.

### 3.8. Colada continua.

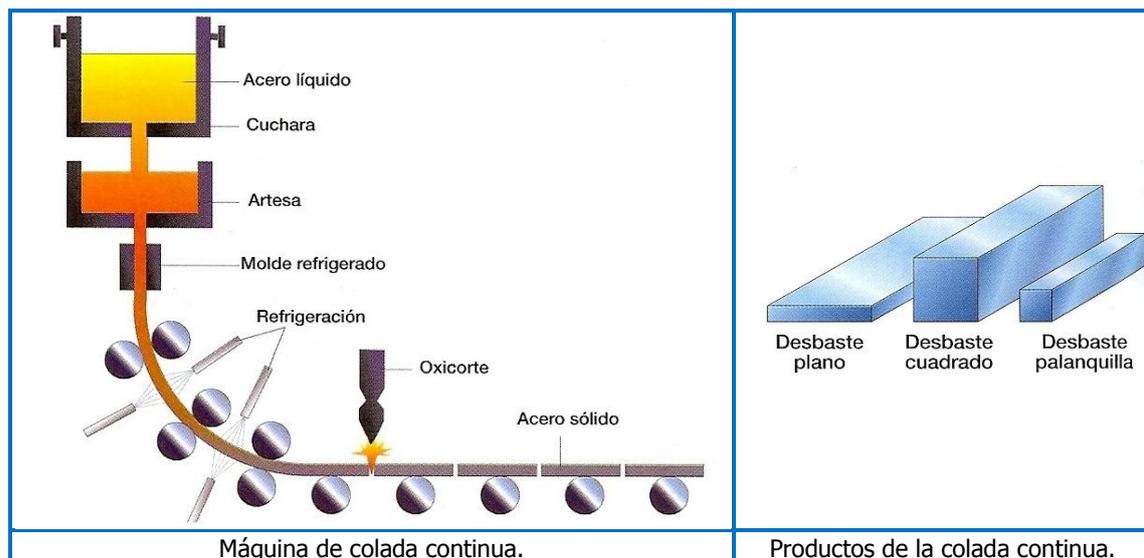
El objetivo de la colada continua es solidificar el acero en productos de sección constante.

El acero se trasvasa desde la cuchara a una artesa, que actúa como depósito regulador; de ésta se le

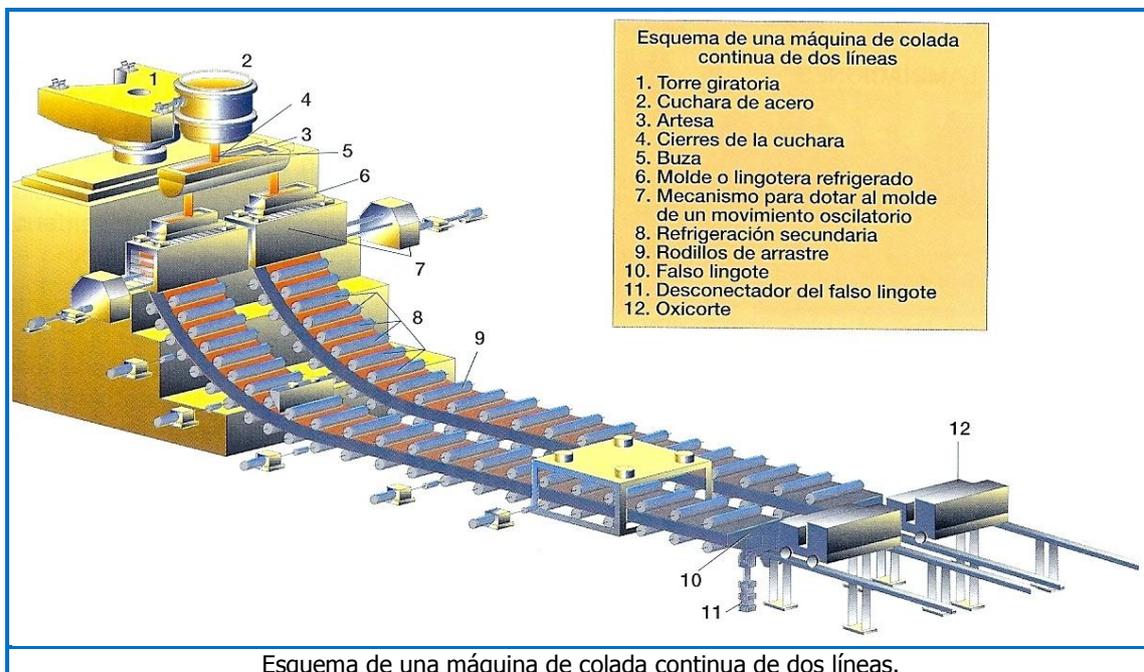
hace pasar a través de un molde refrigerado, de tal forma que su parte exterior se solidifica y es capaz de soportar la presión interior del líquido. Una vez fuera del molde, se continúa la refrigeración inyectando chorros de agua al acero, y el espesor solidificado aumenta hasta la obtención de un producto sólido.

De las máquinas de colada continua se obtienen distintos productos que dependen 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,** más pequeña que la de los anteriores. Se destinan a la producción de redondos.



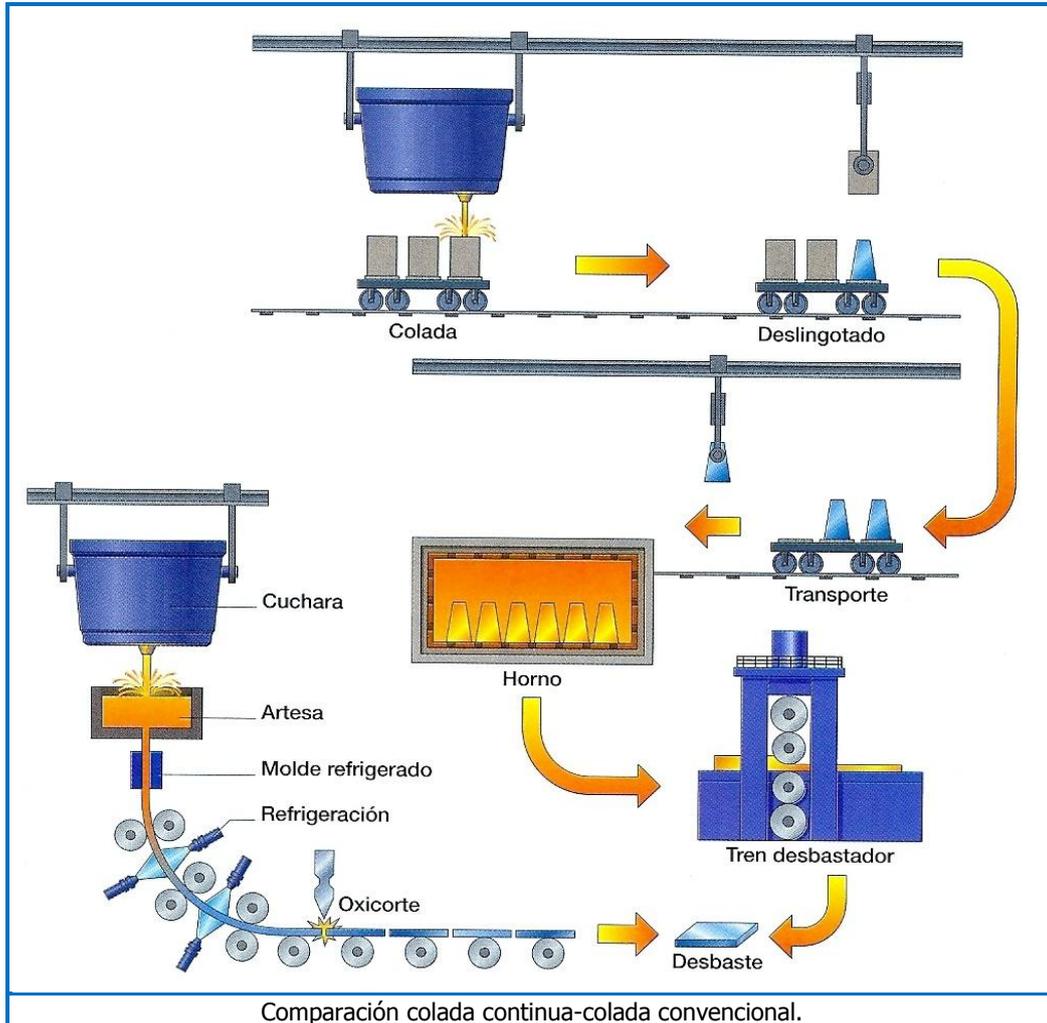
En la figura se muestra un esquema de una máquina de colada continua de dos líneas, con sus diferentes partes identificadas.



Después de verter en las lingoteras el acero líquido procesado por colada convencional, se debe esperar a que enfríe; posteriormente se deslingota, se calienta a una temperatura de laminación (1.250 °C) y se lamina en un tren desbastador para obtener un desbaste producto intermedio, a partir del cual se consigue el producto final. En cambio, mediante un reducido proceso de elaboración que hace disminuir el coste del producto, las máquinas de colada continua transforman el acero líquido directamente en des-

baste.

En el siguiente esquema se muestran de forma comparativa las diferencias existentes entre la colada continua y la convencional.



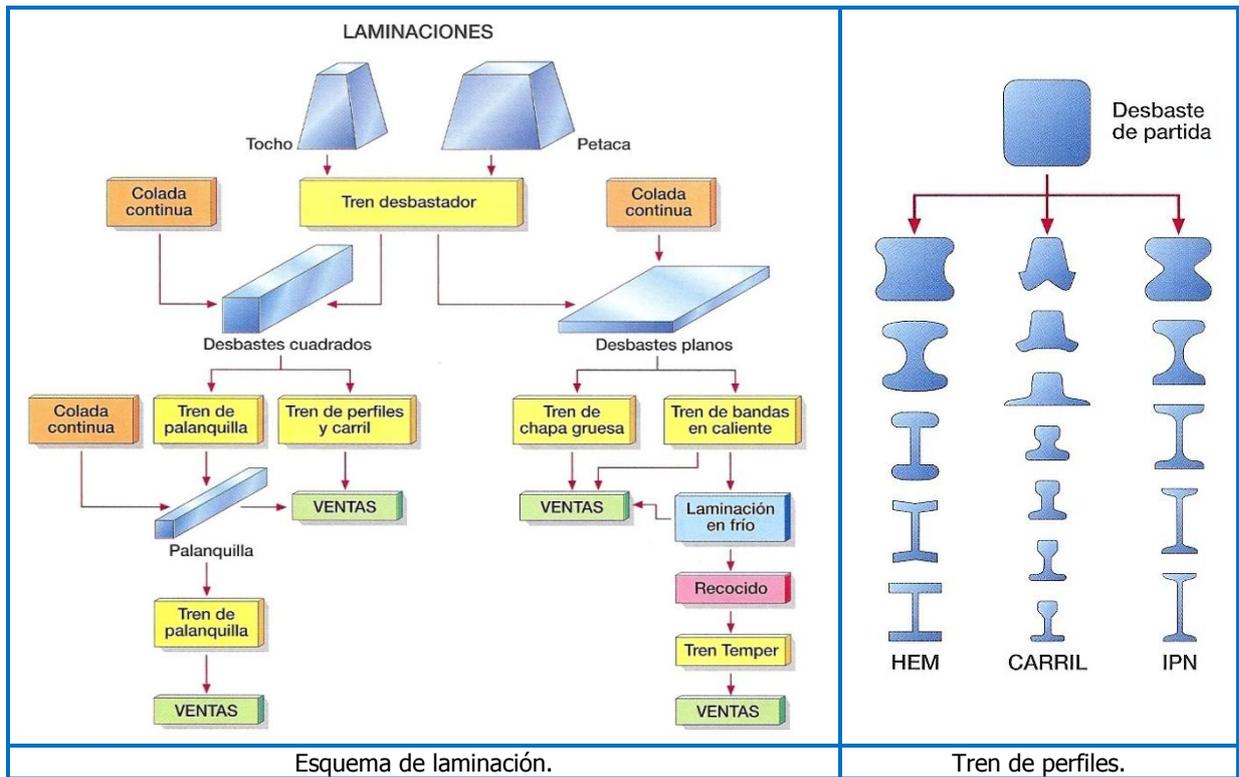
Comparación colada continua-colada convencional.

### 3.9. Laminación del acero en caliente.

El acero obtenido, tanto en la colada continua como en la convencional, se 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, conforme se indicó anteriormente.

Los desbastes procedentes de las máquinas de colada continua o de trenes desbastadores se envían a los correspondientes trenes de laminación de acabado, según su formato:

- **Tren de alambIÓN.** A él se envía la palanquilla obtenida en el proceso de colada continua, o procedente del tren de palanquilla después de la colada convencional.
- **Tren de perfiles.** A él se envían los desbastes cuadrados obtenidos por colada continua o convencional. Resultan como productos finales perfiles y raíl es de ferrocarril, por ejemplo.
- **Tren de chapa gruesa.** Se envían a él los desbastes planos de la colada continua o del tren desbastador. Se obtiene así una chapa destinada a calderería pesada y a la fabricación naval.
- **Tren de bandas en caliente.** También se envían a él los desbastes planos y se obtiene como producto de salida una banda de chapa recogida en forma de bobina. Estas bobinas se pueden utilizar como entrada al proceso de laminación en frío.



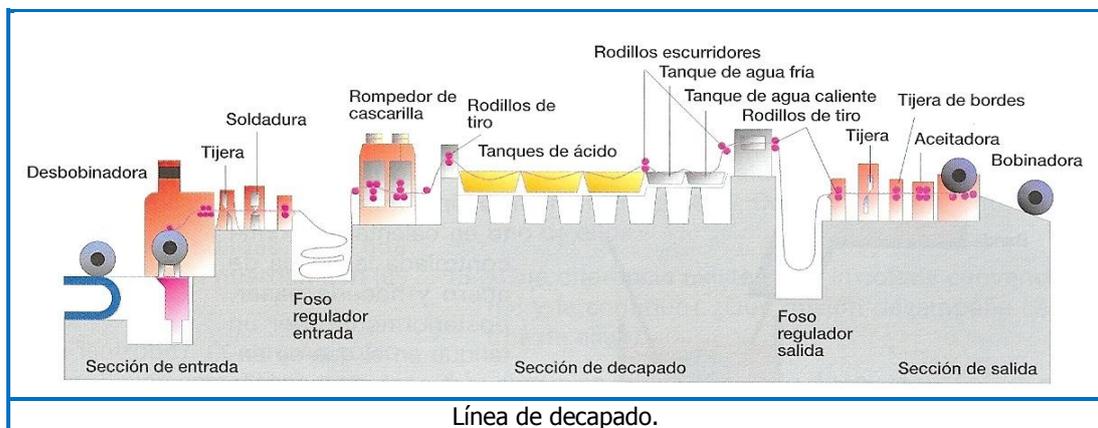
### 3.10. Laminación del acero en frío.

A diferencia de todas las anteriores realizadas en caliente, la laminación en frío se verifica a temperatura ambiente. Se utiliza cuando el espesor de la chapa requerido es muy pequeño y además se precisa un buen acabado superficial.

### 3.11. Decapado.

Las bobinas laminadas en caliente salen con una capa de óxido superficial (**cascarilla**), que es preciso eliminar antes de la laminación en frío para que no se produzcan defectos superficiales importantes en la chapa.

Con este objeto, se hace pasar la chapa por unos rodillos que agrietan la cascarilla, facilitando así la acción limpiadora de un ácido. A continuación, se procede al lavado de la chapa con agua, se seca y se recubre con una capa de aceite que le sirve de protección.



### 3.12. Recocido.

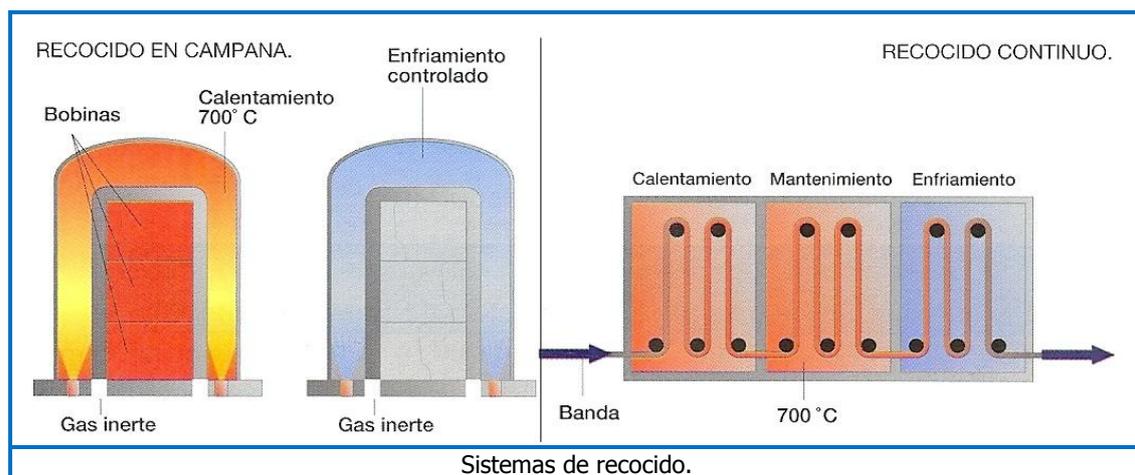
La laminación en frío produce cambios notables en la estructura interna del acero y, como consecuencia de ello, su capacidad de deformación se hace muy pequeña.

Para regenerar de nuevo la estructura interna del acero se le somete a un proceso de **recocido**, que 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 propiamente como un horno. Cuando finaliza el período de calentamiento se retira el horno y se coloca encima de la campana protectora otra campana de refrigeración. Una vez que el material se haya 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.

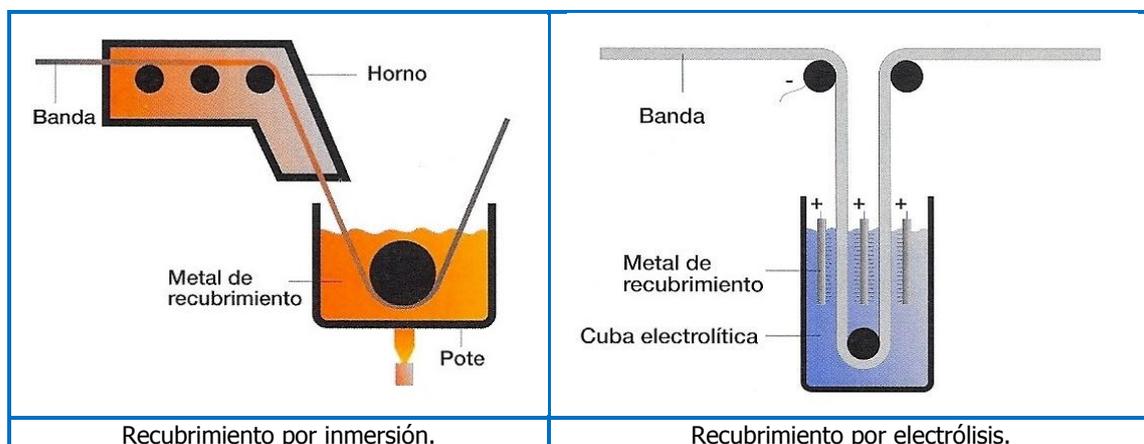


### 3.13. Temperizado.

Una vez recocido el acero, su dureza disminuye notablemente; por ello es preciso someterlo a un proceso de **temperizado**, con objeto de comunicarle una cierta dureza superficial. El proceso consiste, simplemente, en pasar la chapa por un tren de laminación especial en el que se reduce su espesor en una pequeña proporción.

### 3.14. Recubrimientos de los aceros.

Los aceros presentan una fuerte tendencia a la oxidación; por ello 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 electrólisis.** La banda de acero se recubre del metal protector haciéndola pasar a través de una cuba electrolítica que contenga una disolución de una sal del metal que se pretende depositar sobre el acero. Si el metal de recubrimiento es estaño, el producto obtenido recibe el nombre de **hojalata**, que se destina fundamentalmente a la industria conservera. Y si el metal protector es cinc, o una aleación de cinc y aluminio, se obtienen productos **galvanizados**.

En la tabla de la página siguiente se puede estudiar la producción de acero de los grandes grupos siderúrgicos (acero bruto en 2.005):

Los grandes grupos siderúrgicos del mundo en función de su producción de acero bruto en 2005 (según el Iron and Steel Institute)		
Grupo	País	Producción (millones de toneladas)
Mittal Steel + Arcelor	Holanda, Luxemburgo	110
Nipon Steel	Japón	32
Posco	Corea del Sur	31
JFE Holdings	Japón	30
Shanghai Baosteel	China	24
US Steel	Estados Unidos	20
Corus	Holanda, Gran Bretaña	18
Nucor	Estados Unidos	18
Thyssen-Krupp	Alemania	17
Tangshan	China	16

#### ACTIVIDADES:

1. ¿Qué diferencia existe entre mena y ganga? ¿Cuáles son las menas más importantes del hierro? ¿Cómo se obtiene el metal a partir de ellas?
2. Describe, ayudándote de un esquema, las partes fundamentales de que consta un alto horno. ¿Qué misión desempeña cada una?
3. ¿En qué consiste el recocido de un acero? ¿De qué maneras se puede efectuar?

#### 4. ACTIVIDADES DE SÍNTESIS.

1. Cita los distintos sistemas cristalinos existentes, mencionando sus características diferenciadoras.
2. ¿A qué se llaman soluciones sólidas? ¿De qué tipos pueden ser? ¿Qué relación guardan con las aleaciones?
3. ¿Qué es un material isótropo? ¿Y uno anisótropo? Cita algunos ejemplos de este último tipo.
4. «Las redes cristalinas de los metales presentan una serie de defectos». ¿Qué se quiere expresar con esta afirmación? ¿De qué defectos se trata?
5. Se sabe que el diámetro medio de grano de un determinado material es 10  $\mu\text{m}$  y su límite elástico, 10,32 MPa. Manteniendo constante la temperatura, si el tamaño de grano se reduce hasta 5  $\mu\text{m}$ , su límite elástico pasa a ser de 10,45 MPa. Calcula los valores de K y  $\sigma_0$  de acuerdo con la ecuación:

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

Resultado:  $K = 10^{-3}$  MPa/m;  $\sigma_0 = 10$  MPa.

6. Las propiedades de los metales se pueden mejorar mediante una serie de tratamientos. ¿Qué tratamientos son éstos? Clasifícalos, estableciendo de una forma sencilla las diferencias existentes entre ellos.
7. ¿Qué diferencias fundamentales existen entre el hierro, el acero y la fundición?
  - a) Según su contenido en carbono.
  - b) Según sus propiedades.
8. ¿Qué elementos químicos se encuentran presentes en los aceros? ¿Qué propiedades les confieren? ¿Cuáles son útiles y cuáles perjudiciales? ¿Por qué?
9. ¿Qué es el carbón de coque? ¿Cómo se obtiene? ¿Qué misión desempeña en el proceso siderúrgico?
10. Los hornos de coque, ¿son abiertos o cerrados? ¿Por qué?
11. Define claramente el significado de los siguientes términos: a) arrabio; b) fundente; c) sinterización; d) escoria; e) gas de alto horno.
12. ¿A qué se llama metalurgia secundaria? ¿De qué tratamientos consta? Describe brevemente cada uno de ellos.
13. ¿Qué diferencia existe entre la colada convencional y la continua? ¿Qué misión desempeña cada una de ellas?
14. ¿A qué se llama decapado de un acero? ¿Qué misión desempeña? ¿Cómo se realiza?
15. Realiza un breve trabajo de redacción con el título: «Pasado y presente del hierro: importancia de la siderurgia en el mundo actual».
16. Un alto horno consume 500 kilogramos de coque por cada tonelada de arrabio que produce. ¿Qué cantidad de coque se necesita y qué masa de arrabio puede obtenerse a partir de 250 toneladas de mineral de hierro con un contenido en este metal del 22%?

Resultado: 57,9 toneladas de arrabio; 28,95 toneladas de coque

17. Relaciona cada aleante de la columna de la izquierda con las propiedades que comunica al

##### Aleante:

- a) Carbono
- b) Azufre
- c) Wolframio
- d) Cobalto
- e) Manganeso
- f) Cromo
- g) Molibdeno
- h) Plomo
- i) Níquel
- j) Vanadio
- k) Silicio

##### Propiedad:

- 1) Fragilidad
- 2) Resistencia al desgaste
- 3) Dureza
- 4) Inoxidabilidad
- 5) Resistencia a la corrosión
- 6) Facilidad de mecanizado
- 7) Resistencia a la oxidación
- 8) Elasticidad
- 9) Resistencia a la tracción
- 10) Propiedades magnéticas
- 11) Resistencia a la fatiga