

de la misma. Para ello, hay que considerar dos tipos de estructuras: la cristalina y la granular.

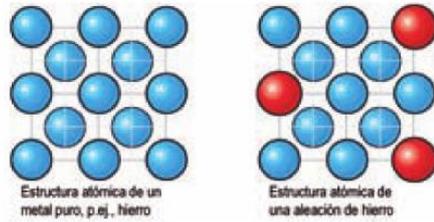


Figura 2.3. Estructura cristalina del hierro y de una aleación.

### 2.2.1. Estructura cristalina

En este tipo de estructura los átomos están ordenados en el espacio según una red geométrica constituida por repetición de un elemento básico llamado *crystal*. Las distintas formas posibles de ordenar los átomos en el espacio constituyen redes espaciales diferentes. La mayor parte de los metales cristalizan en las redes siguientes: cúbica centrada, cúbica centrada en las caras y hexagonal compacta.



Figura 2.4. Redes geométricas de cristalización de los metales.

Este tipo de estructura determina las propiedades del metal. Entre otras, el hecho de que la unión entre los átomos sea muy fuerte justifica su gran resistencia, y la posibilidad que tienen los átomos de ocupar otras posiciones estables en la red al ser desplazados por una fuerza exterior, explica la formación plástica.

### 2.2.2. Estructura granular

La agrupación de cristales forma los granos. Los granos aparecen al solidificarse un metal que se encuentra en estado líquido. Cuando se trata de un metal puro, como todos los átomos son iguales, los granos son de la misma naturaleza. En cambio en las aleaciones, como se mezclan átomos de los diferentes elementos aleados, pueden existir granos distintos. El tamaño y la disposición de los granos constituye la estructura del metal (granular). Esta estructura tiene una gran importancia, ya que las propiedades de un metal (sobre todo las mecánicas) dependen en gran medida de ella.

Los granos también se denominan constituyentes de un metal (un metal puro tendrá un solo constituyente). Los granos son de forma irregular y su tamaño oscila entre 0,02 y 0,2 mm. El número de granos y su tamaño dependen, principalmente:

- Del proceso de fabricación del metal.
- De los procesos térmicos a que se haya sometido el metal. Cuanto más rápido sea el enfriamiento, más fina será la estructura obtenida.

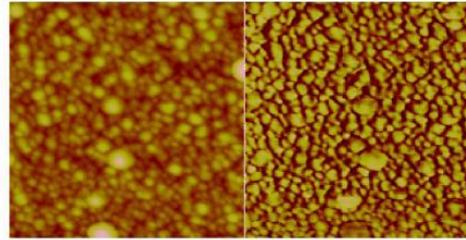


Figura 2.5. Estructura granular de un metal.

En líneas generales, cuanto mayor es el grano de que está constituido un metal, peores son sus propiedades mecánicas. Esto se debe a que los metales suelen contener una cierta cantidad de impurezas insolubles formadas por óxidos, silicatos, etc. Estas impurezas, bastante frágiles, se concentran formando capas que envuelven los granos y los separan unos de otros. Por ello, cuanto más pequeños sean los granos (cuanto más fina sea su estructura), tanto más duro y resistente será el metal.

## 2.3. Propiedades generales de los metales

Las propiedades de los materiales constituyen un conjunto de características diferentes para cada cuerpo, que ponen de manifiesto cualidades intrínsecas de los mismos o su forma de responder a determinadas acciones exteriores.

Las características de los metales son, unas veces cualidades, otras defectos y en algunos casos solo constantes físicas. Asimismo, las propiedades mecánicas y físicas de un material dependen de su microestructura.

Las principales propiedades de los materiales, de especial interés en el desarrollo de este tema podemos agruparlas en:

- Propiedades físicas.
- Propiedades químicas.
- Propiedades mecánicas.

## 2. Características de los materiales metálicos

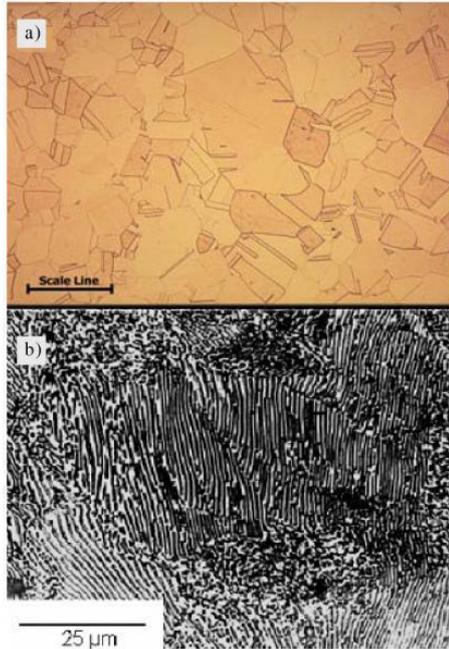


Figura 2.6. Diferentes microestructuras granulares: a) «Simple» en un metal puro. b) Más compleja, mezcla de distintas fases en una aleación.

### 2.3.1. Propiedades físicas

Dentro de este conjunto se incluyen tanto las propiedades básicas de la materia como otras que son consecuencia de la acción directa de agentes físicos exteriores. Algunas de las más importantes son:

- **Fusibilidad.** La fusibilidad es la propiedad que tienen los metales de licuarse (pasar del estado sólido al líquido) bajo la acción del calor. En esta propiedad se basan los trabajos de fundición para la obtención de piezas coladas.
- **Calor específico.** Indica la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de la unidad de masa de un cuerpo desde 0 hasta 1 °C. Se expresa en calorías-gramo. Su valor tiene gran importancia, porque permite conocer la cantidad de calor que se necesita aportar a una masa de metal para elevar su temperatura hasta la de transformación o de fusión.
- **Dilatabilidad.** Es la propiedad que poseen los cuerpos de aumentar su volumen por efecto del calor. Esta

propiedad se suele expresar por el aumento unitario de longitud que sufre el metal al elevarse en un grado su temperatura, llamado coeficiente de dilatación lineal.

Tabla 2.1. Coeficiente de dilatación a 100 °C.

Material	Coeficiente de dilatación a 100 °C
Acero	$12 \times 10^{-6}$
Acero inoxidable	$16 \times 10^{-6}$
Aluminio	$23,6 \times 10^{-6}$
Cinc	$2,6 \times 10^{-5}$
Fundición gris	$10,5 \times 10^{-6}$
Latón	$1,8 \times 10^{-5}$
Cobre	$1,7 \times 10^{-5}$

- **Temperatura de fusión.** Es una característica bien definida de los metales, que coincide con el cambio de estado (de sólido a líquido) que experimenta un metal al aumentar la temperatura de forma progresiva. El cuadro siguiente muestra las temperaturas típicas de fusión de algunos metales.

Tabla 2.2. Temperatura de fusión.

Material	Temperatura de fusión
Aluminio	660 °C
Cobre	1.083 °C
Cromo	1.875 °C
Estaño	232 °C
Hierro	1.539 °C
Níquel	1.453 °C
Plomo	327 °C

- **Conductividad térmica.** Es una propiedad de los metales que les permite transmitir el calor a través de su masa.

Tabla 2.3. Conductividad térmica.

Conductividad térmica	(W/m <sup>2</sup> K)
Acero	58
Aluminio	235

- **Conductividad eléctrica.** Es una propiedad casi exclusiva de los metales y consiste en la facilidad que poseen de transmitir la corriente eléctrica a través de su masa. La inversa de la conductividad es la resistencia eléctrica.

Tabla 2.4. Coeficiente de resistencia eléctrica.

Coeficiente de resistencia eléctrica	(Ω mm <sup>2</sup> /m)
Acero	0,13
Aluminio	0,02655

### 2.3.2. Propiedades químicas

Las dos propiedades más importantes desde el punto de vista químico se refieren a la resistencia que oponen los materiales frente a las acciones químicas y atmosféricas; es decir, a la oxidación y la corrosión.



Figura 2.7. Procesos de corrosión.

- Oxidación. Es un fenómeno de combinación química del oxígeno con los elementos metálicos, que produce la corrosión o degradación del metal. Su efecto se acentúa al aumentar la temperatura. En algunos metales el proceso de oxidación no desemboca en corrosión, sino que, muy al contrario, genera una capa protectora a la misma. En estos casos, a medida que aumenta el espesor de la película de óxido, aumenta también la dificultad de difusión del proceso, hasta que al llegar a un determinado grueso se detiene y, por tanto, cesa también la oxidación. El espesor de óxido necesario para que se produzca una acción protectora depende y varía sustancialmente en función de la naturaleza del metal y de la temperatura a la que se encuentre.
- Corrosión. Es el deterioro lento y progresivo de un metal debido a un agente exterior. La corrosión atmosférica es la producida por el efecto combinado del oxígeno del aire y la humedad, pero se da también la corrosión química producida por los ácidos y los álcalis. Existen diferentes tipos de corrosión, en función de cada uno

de los cuales los efectos apreciados en los metales varían de forma notoria. En algunos casos el efecto de la corrosión provoca un adelgazamiento o disminución de espesor del metal; en otros casos, el metal queda picado y suele mostrar grandes rugosidades superficiales por la pérdida de masa. La corrosión puede afectar también a la cohesión de los granos constituyentes del metal, debilitando su resistencia de tal forma que a veces se rompen las piezas al menor esfuerzo, sin que exteriormente se observe ninguna alteración superficial.

### 2.3.3. Propiedades mecánicas

- Tenacidad. Es la propiedad de los metales que les permite resistir a los esfuerzos de rotura o deformación. Da idea de la capacidad que tiene un metal de absorber energía antes de romperse. Dicho de otra forma, es la energía total que absorbe un material hasta romperse.

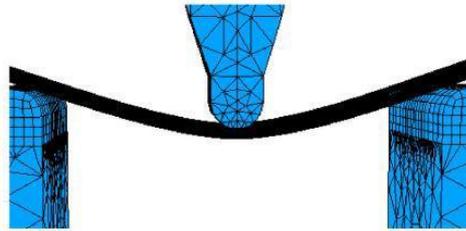


Figura 2.8. Elasticidad de un material.

- Elasticidad. Es la propiedad de los metales que les permite recuperar su forma original después de haber sido deformados y una vez que se suprime el esfuerzo que los deformaba. Algunos conceptos asociados son:
  - » *Límite elástico*. Es la fuerza máxima de deformación que puede aplicarse a un material sin originar una deformación permanente. En la práctica, es el valor de la carga que rebasa ligeramente la elasticidad, produciendo una deformación muy pequeña (0,2%). La tabla siguiente muestra el valor del límite elástico de algunos metales.



Figura 2.9. El límite elástico de un muelle de suspensión suele ser de unos 1.800 N/mm<sup>2</sup> aproximadamente.

## 2. Características de los materiales metálicos

Tabla 2.5. Límite elástico.

Material	Límite elástico
Aleaciones de aluminio	De 150 a 350 N/mm <sup>2</sup>
Hierro	200 N/mm <sup>2</sup>
Acero 0,15% C	280 N/mm <sup>2</sup>
Acero 0,25% C	300 N/mm <sup>2</sup>
Acero 0,45% C	400 N/mm <sup>2</sup>
Acero inox. de muelles	De 1.500 a 2.000 N/mm <sup>2</sup>

- » **Módulo de elasticidad.** Cuando una muestra se somete a un esfuerzo de tracción, sufre un alargamiento. La relación entre la tensión aplicada y el alargamiento producido, con relación a la longitud primitiva, permanece constante para un mismo material y se denomina módulo de elasticidad.
- » **Alargamiento de rotura.** Es el alargamiento máximo, sin rotura, que se puede dar por tracción a un material. Se expresa en porcentaje sobre la longitud inicial de la pieza.

Tabla 2.6. Alargamiento.

Alargamiento	(%)
Acero	31
Aluminio	11

- **Plasticidad.** Se define como la capacidad que tienen los materiales de adquirir deformaciones permanentes. Sus propiedades más importantes son:
  - » **Maleabilidad.** Es la propiedad que poseen ciertos metales de dejarse reducir en forma de láminas mediante esfuerzos de compresión. En esta propiedad se basan los trabajos de laminado, que permiten obtener las chapas de metal utilizadas corrientemente en la industria. La maleabilidad permite también los trabajos de forjado y embutido.

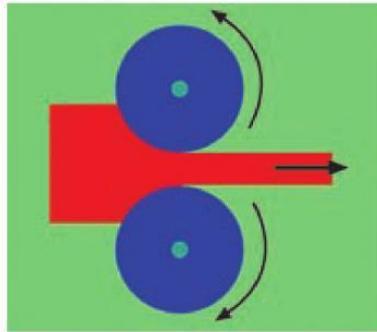


Figura 2.10. Proceso de laminado.

- » **Ductilidad.** Es la propiedad que poseen algunos metales de dejarse estirar mediante esfuerzos de tracción. Es la base de los trabajos de trefilado (reducción de un metal a alambre o hilo).

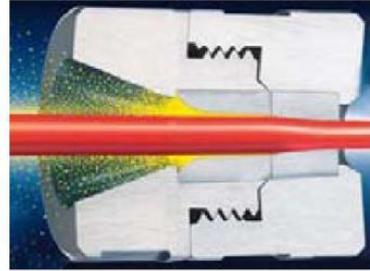


Figura 2.11. Proceso de trefilado.

- **Fatiga.** Cuando un metal se somete a esfuerzos de magnitud y sentido variables, puede romperse aplicando cargas muy inferiores a su resistencia a la rotura normal para un esfuerzo de tensión constante. A este aparente desfallecimiento de los metales cuando están sometidos a esfuerzos de magnitud diferente se le denomina fatiga de los metales. Uno de los conceptos asociados más importantes es la *resistencia a la fatiga*, que se define como la carga que un metal sometido a esfuerzos repetidos puede soportar indefinidamente sin romperse.
- **Resistencia a la rotura.** Se denomina así a la carga a partir de la cual se produce un período de rápido estiramiento de la muestra con una sensible reducción de su sección hasta que se produce la rotura bajo un esfuerzo menor que la tensión antes citada. Dicho de otra forma, es la carga máxima, por unidad de superficie (N/mm<sup>2</sup>), que un material es capaz de soportar sin romperse.

Tabla 2.7. Resistencia a la tracción.

Resistencia a la tracción	(N/mm <sup>2</sup> )
Acero	380
Aluminio	120

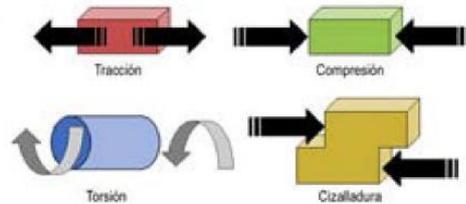


Figura 2.12. Diferentes tipos de esfuerzos de rotura.

- **Estricción.** Es la propiedad que tienen los metales de oponerse a la reducción de su sección cuando están sometidos a una carga de tracción.

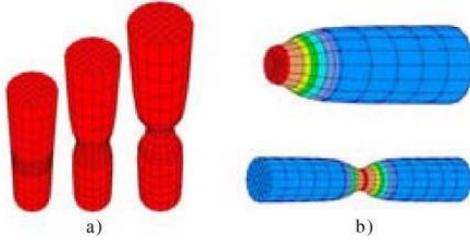


Figura 2.13. Pruebas de estricción de una probeta cilíndrica: a) Secuencia del estiramiento. b) Contornos de deformación plástica efectiva.

- **Dureza.** Es una propiedad que tienen los metales que define la resistencia que oponen a ser penetrados por otros cuya forma y dimensiones se encuentran debidamente normalizadas. Se entiende, asimismo, como la resistencia que opone un cuerpo a ser rayado por otro. También da idea de la resistencia de un material a una deformación permanente.

Tabla 2.8. Dureza.

Dureza	(HB)
Acero	62
Aluminio	15



Figura 2.14. El diamante es el mineral natural más duro.

- **Fragilidad.** Es la propiedad de los metales de romperse más o menos fácilmente bajo la acción de un choque. Un material frágil es aquel que se rompe al rebasar el límite elástico sin apenas experimentar deformación plástica alguna.

- **Resiliencia.** Define la resistencia que opone un cuerpo a la ruptura por choque o percusión. Es la propiedad inversa a la fragilidad, es decir, un metal resiliente no es frágil. Da idea de la energía que es capaz de absorber el material al romperse mediante un solo golpe.
- **Fluencia.** Es la propiedad que tienen algunos metales de deformarse lenta y espontáneamente bajo la acción de su propio peso o de cargas muy pequeñas. En general, esta característica aparece con más intensidad en los metales con temperaturas de fusión bajas, como el plomo.
- **Maquinabilidad.** Con esta denominación se agrupan varias propiedades, como: velocidad a la que puede mecanizarse el material al someterle a trabajos con máquinas, clase de viruta producida, capacidad de desgaste por herramienta y tipo de acabado superficial que puede obtenerse.

## 2.4. Mejora de las cualidades de un metal

Gran parte de las aplicaciones habituales de los metales exigen una serie de características que obligan a mejorar las cualidades y propiedades naturales de los mismos. Estas mejoras se consiguen sometiendo a los metales a tratamientos térmicos que permiten modificar sus características mecánicas, o incorporándoles elementos de adición (aleaciones) para mejorar o conseguir ciertas cualidades.

### 2.4.1. Aleaciones

Se denomina aleación a la unión de un metal con otros metales o metaloides conservando, en estado sólido, sus propiedades metálicas.

Los metales se alean con otros para conseguir un conjunto de características muy difíciles de encontrar en los metales puros, los cuales no tienen una utilización industrial salvo en casos muy específicos.

En general, en toda aleación se pueden apreciar dos elementos: el elemento predominante o de base, que es el que está en mayor proporción y determina las principales propiedades de la misma, y los elementos aleantes, que modifican, complementan o acentúan dichas propiedades.

Para obtener una aleación, se funden al mismo tiempo el metal base y los elementos aleantes y a continuación se los deja enfriar y solidificar.

## 2. Características de los materiales metálicos

- **Extrusión.** La extrusión es una técnica que fuerza al metal a través de una matriz o abertura para darle una forma deseada de sección transversal. Al ser empujado con una fuerza de hasta 1.200 toneladas, el metal adopta la forma de la matriz. Solo puede aplicarse a determinadas aleaciones muy dúctiles, que posteriormente se tratan para que consigan la resistencia adecuada. Normalmente una pieza extruida es larga y hueca, o con un determinado perfil que no puede conseguirse mediante la estampación.

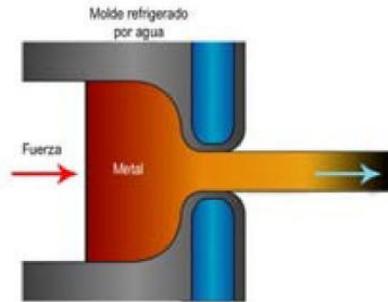


Figura 2.22. Extrusión.

- **Laminado.** El laminado es uno de los procesos más comunes en los métodos industriales de conformado en caliente. El laminado en caliente es principalmente una operación de desbastado. En su principal aplicación se destina a dar forma a grandes lingotes de metal basto para obtener un contorno fácil de trabajar. El laminado se realiza en grandes trenes de laminado en los que se comprime el metal entre dos rodillos giratorios que se encuentran a una distancia entre sí inferior al grosor inicial del metal sometido al proceso. Estos trenes de laminado pueden producir numerosas formas distintas: chapas, varillas redondas, barras planas y ángulos. Para la elaboración de chapa fina la laminación se realiza en frío.
- **Estampación.** Consiste en presionar entre dos moldes metálicos (estampas) un trozo de material a la temperatura adecuada, hasta que por deformación llena el hueco existente entre ellas, adoptando su forma. Durante el proceso, las dos estampas se presionan mediante una prensa muy potente.
- **Troquelado.** Consiste en obtener piezas mediante la presión que ejercen unos punzones sobre un molde o matriz. Los pliegos o láminas de chapa se intercalan entre el punzón y la matriz, produciéndose el corte mediante el esfuerzo de cizalla del punzón sobre la chapa. La forma del punzón, y consecuentemente de la matriz, determina la pieza obtenida.

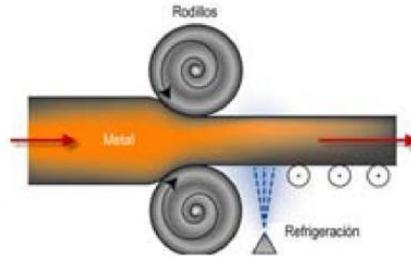


Figura 2.23. Laminación.

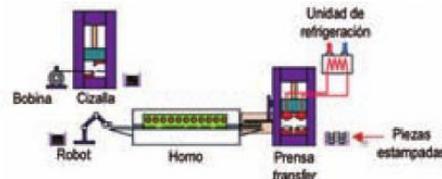


Figura 2.24. Proceso de estampación.

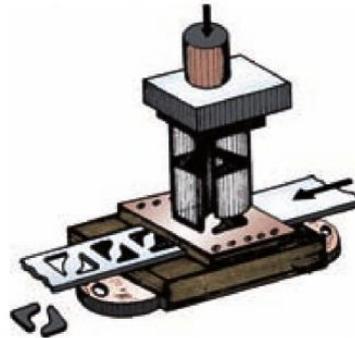


Figura 2.25. Proceso de troquelado.

- **Embutición.** Es un procedimiento similar al anterior, pero en este caso, la compresión a que es sometida la chapa entre punzón y matriz, solo consigue que se deforme sin cortarla. Se utiliza para obtener cuerpos huecos en la chapa.

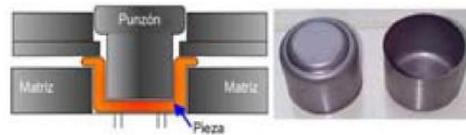


Figura 2.26. Proceso de embutición.

La profundidad origina un alargamiento que en el caso de los aceros empleados en la construcción de carrocerías y en función del tipo de embutición, viene a ser de:

- » Embutición ordinaria: 30%
- » Embutición profunda: 35%
- » Embutición difícil: 45%

## 2.6. Materiales férreos

Son aquellos que contienen hierro (Fe) como elemento principal y carbono (C) en proporciones variables. El contenido en carbono es el que clasifica y determina las propiedades de estos productos. Entre las aleaciones más importantes se encuentran:

- Aceros (aleaciones que contienen entre 0,1 y 1,7% de carbono).
- Fundiciones (aleaciones que contienen entre 1,7 y 5% de carbono).

La importancia en el uso generalizado del acero radica en el hecho de que admite gran cantidad de aleaciones y tratamientos que mejoran sus cualidades y propiedades, unido a la particularidad de poder conformarse mediante la mayoría de los procesos industriales actuales.

### 2.6.1. Proceso de fabricación del acero

El proceso, paso a paso y a grandes rasgos, es el siguiente:

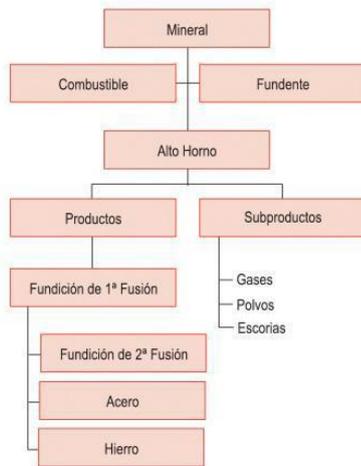


Figura 2.27. Operaciones siderúrgicas para la obtención de los productos férreos.

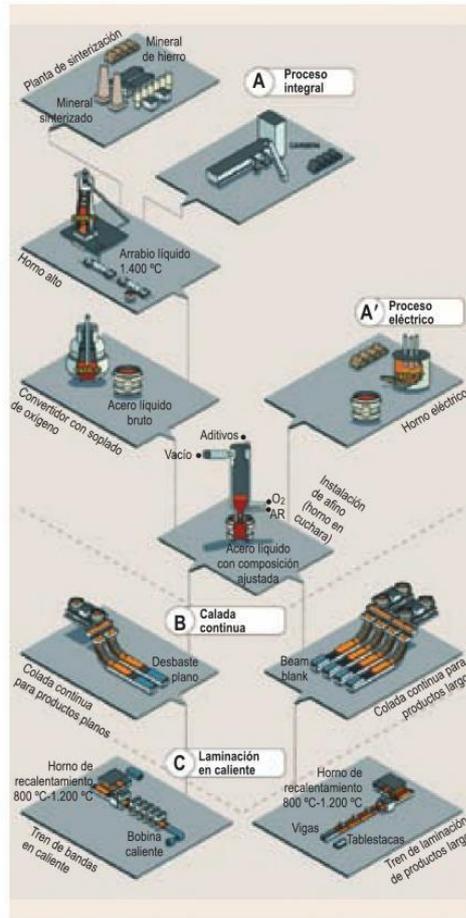


Figura 2.28. Proceso de obtención del acero.

1.º En primer lugar, el mineral es triturado y sus impurezas se separan mediante cilindros magnéticos. La planta de sinterización es donde se prepara el mineral de hierro: se machaca el mineral de hierro y se calibra en granos que se «sinterizan», o se aglomeran. A continuación el mineral de hierro sinterizado se machaca y se introduce, por capas alternativas, con coque en el alto horno. Coque es el residuo sólido de carbón rico en carbono destilado y es extremadamente combustible.

## 2. Características de los materiales metálicos

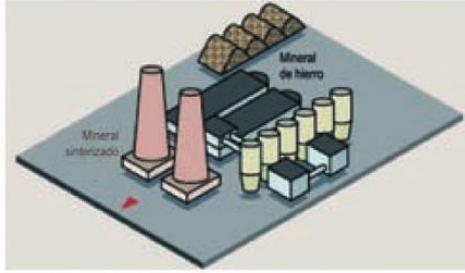


Figura 2.29. Planta de sinterización.

- 2.º Un alto horno es básicamente un enorme cilindro de acero recubierto con ladrillo refractario y cargado con mena de hierro, coque, caliza y aire caliente. De la mena se obtiene el hierro; el coque aporta el calor necesario para fundir dicha mena, el monóxido de carbono elimina el oxígeno del óxido de hierro; la caliza se mezcla con impurezas como azufre y dióxido de silicio para purificar el hierro, y el aire caliente proporciona el oxígeno necesario para que arda el coque. En las operaciones realizadas en los altos hornos, las cantidades dosificadas de mena de hierro, coque y caliza (la llamada *carga*) se introducen en cajas guiadas que se desplazan hasta la parte superior del horno, desde donde se vacían. A continuación se insufla aire calentado en un intercambiador-calentador desde la parte inferior, forzando la combustión del coque a temperaturas del orden de unos 1.600 °C suficientes para fundir la mena, que se va depositando en el fondo del horno al tiempo que se añade más carga en la parte superior en un proceso continuo. El aire caliente asciende y forma monóxido de carbono, que ayuda a eliminar el oxígeno de la mena (separando así el hierro) y a convertirlo en dióxido de carbono. La caliza (que actúa como fundente) se funde y se mezcla con impurezas para convertirse en una sustancia llamada *escoria*, más ligera que el hierro fundido y que flota sobre él. La escoria se retira regularmente del fundido y puede utilizarse para fabricar bloques de cemento. El hierro fundido se retira del horno (la llamada *colada*) cada cuatro o cinco horas. En cada colada se obtienen normalmente de 150 a 300 toneladas de hierro, que se introducen en formas de unos 45 kg denominadas *lingotes*, o que pueden transportarse como arrabio a la acería. Es interesante hacer notar que para fabricar una tonelada de arrabio se necesitan unas dos toneladas de mena de hierro, una tonelada de coque, casi media de caliza y cuatro de aire. El arrabio contiene entre un 3 y un 4% de carbono,

de 0,06 a 0,10% de azufre, de 0,10 a 0,50% de fósforo, de 1 a 3% de silicio y pequeñas cantidades de otras impurezas.

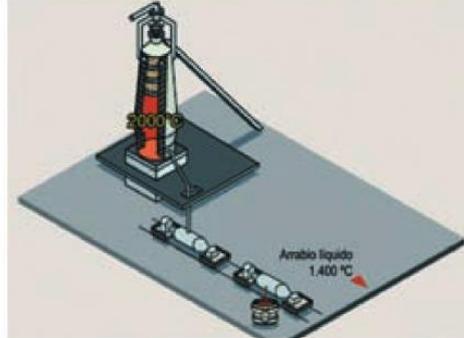


Figura 2.30. Alto horno.

- 3.º El convertidor de oxígeno es donde el arrabio se convierte en acero. El arrabio fundido se vierte sobre una capa de chatarra férrea. Las sustancias indeseables, como carbón y residuos, se queman mediante inyecciones de oxígeno puro, para producir acero bruto. El residuo, o escoria, se retira de la superficie. Este acero bruto, así llamado porque todavía ha de recibir una etapa de afinado, se vierte en una cuchara de colada.

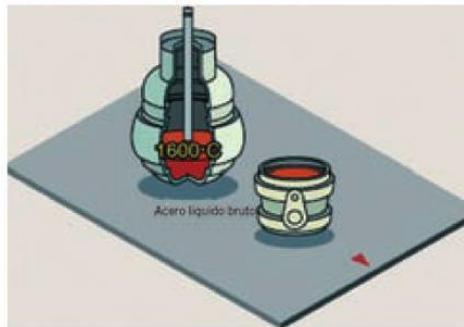


Figura 2.31. Convertidor de oxígeno.

- 4.º La materia prima que se introduce en el horno puede ser chatarra seleccionada sin tratar (piezas de máquinas viejas, por ejemplo), o puede ser entregada como chatarra seleccionada, machacada y calibrada con un contenido mínimo en hierro del 92%. La chatarra se funde en un horno de arco eléctrico. Se consigue así el acero líquido, que recibe entonces los mismos