

porque en las mismas existen granos de distinta composición (en los metales puros todos los granos son de igual composición). A temperatura ambiente y en estado normal (sin haber sufrido tratamiento térmico alguno), los constituyentes fundamentales de las aleaciones hierro-carbono son: la ferrita, la cementita y la perlita.

- **Ferrita.** Es uno de los principales constituyentes de los hierros y de los aceros, y debido a su bajo límite de solubilidad a temperatura ambiente (0,008% de C), se puede considerar como hierro alfa puro. La *ferrita* es blanda, poco resistente, dúctil y magnética, perdiendo esta última propiedad a temperaturas superiores a 768 °C.



Figura 2.44. Microestructura de un acero al carbono A285 (0,18 C, 0,43 Mn, 0,009 P, 0,026 S). Ferrita (gris claro) y perlita (gris oscuro).

- **Cementita.** Es la denominación usual del carburo de hierro (Fe_3C). Forma el constituyente más duro y frágil de los aceros al carbono. Presenta una composición del 6,67% de carbono y 93,3% en hierro. Es magnética a temperatura ambiente, perdiendo esta propiedad en torno a los 210°.

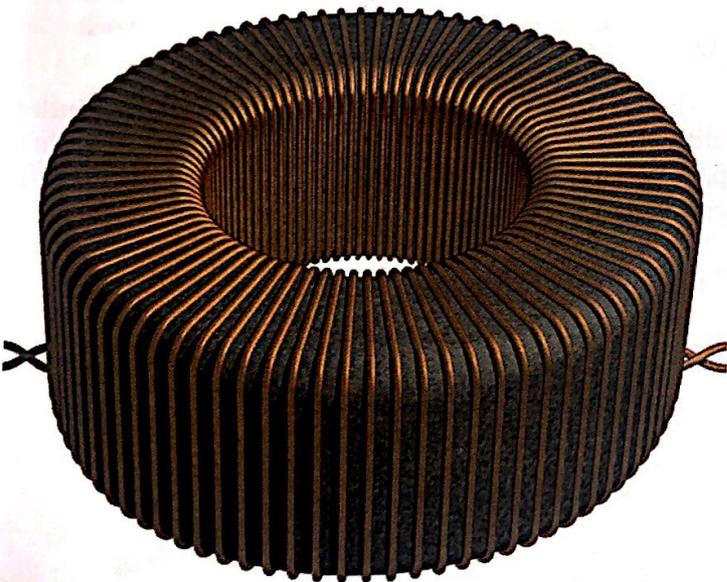


Figura 2.45. Transformador de ferrita.

- **Perlita.** Es un constituyente eutectoide formado por 86,5% de ferrita y 13,5% de cementita. Tiene un 0,89% de carbono y se presenta, generalmente, bajo forma laminar, alternando placas de cementita y ferrita. Es más dura y resistente que la ferrita, pero más blanda y maleable que la cementita.

■ ■ ■ Otros constituyentes

- **Austenita.** Es una solución sólida de carbono en hierro gamma. Puede contener desde 0 a 1,7% de carbono. Solo es estable a elevadas temperaturas (cuando el hierro α se transforma en hierro γ). La propiedad más importante es su gran plasticidad, por lo que se trabaja fácilmente (forja, estampación, etc.).
- **Martensita.** Es el constituyente habitual de los aceros templados. Se obtiene mediante una transformación demasiado rápida de la austenita en hierro α , debido a un enfriamiento brusco, lo que origina la aparición de una estructura un tanto desordenada. Es un constituyente que presenta una gran dureza y resistencia, aunque es poco dúctil y maleable.
- **Ledeburita.** Es una aleación con un 35,5% de Fe y un 64,5% de Fe_3C . Es la que tiene el punto de fusión más bajo. Su principal característica, es su gran fluidez. Sus propiedades mecánicas no son interesantes. Dado su alto contenido en carbono (4,3%) no es un componente de los aceros sino de las fundiciones.

Además existen otros constituyentes como la troostita, sorbita, bainita, etc.

■ ■ ■ Diagrama hierro-carbono

Como se ha visto anteriormente, el carbono se encuentra en los productos siderúrgicos en varias formas distintas: en disolución con el hierro gamma formando *austenita*, en menor proporción con hierro alfa formando *ferrita*, combinado con el hierro delta formando *cementita*, y en estado libre formando *grafito*.

El diagrama hierro-carbono representa el diagrama de fases para el acero y la fundición, en el cual se indican los constituyentes que existen a cualquier temperatura y para cualquier contenido en carbono cuando la aleación se enfría y calienta con la suficiente lentitud para que aquellos permanezcan en estado de equilibrio.

A continuación se muestra un diagrama Fe-C (simplificado), sobre el que podemos realizar ciertas consideraciones:

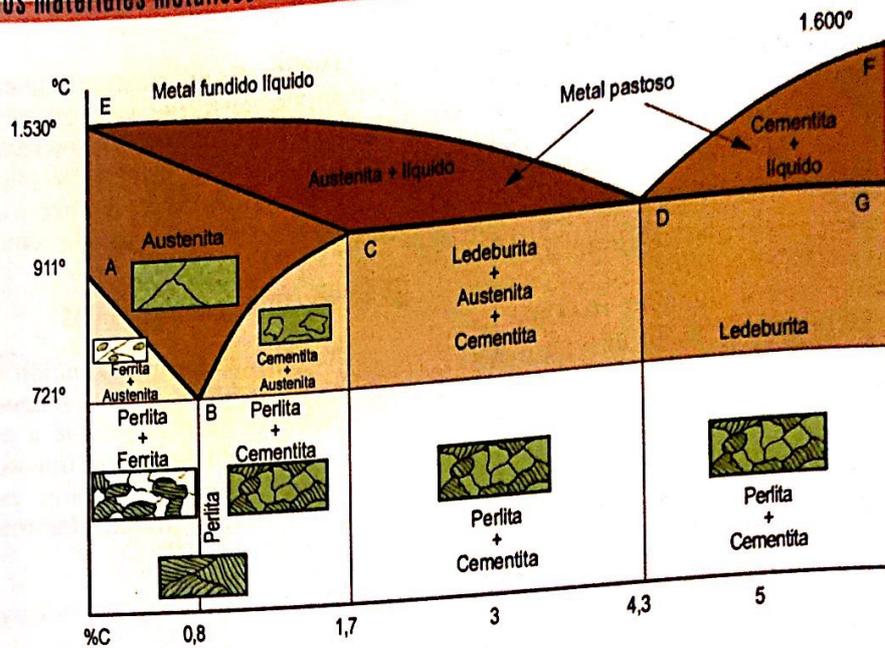


Figura 2.46. Diagrama hierro-carbono.

Como ya se mencionó anteriormente, el hierro α se transforma en hierro γ a 911°C . Esta temperatura de transformación no es constante, ya que varía según el porcentaje de carbono, tal como muestra el diagrama.

Por encima de la línea EDF, la aleación se encuentra en estado líquido, a partir de esta línea comienza la solidificación que llega hasta la línea ECDG, que marca la temperatura del final de la solidificación. En zona ECBA la solución está constituida por cristales de *austenita*. Al enfriarse la solución por debajo de la línea AB y con contenidos de carbono inferiores a $0,8\%$, se forma *ferrita* y *austenita* hasta el punto B, llamado eutectoide, el cual determina la temperatura de transformación de la austenita en una mezcla de *perlita* con cristales de *ferrita*. Al enfriarse la solución hasta la línea BC, se forma *austenita* y *cementita*, formándose por debajo de los 721° una aleación de *perlita* y *cementita*. El punto D determina una aleación de tipo eutéctico denominada *ledeburita* que al enfriarse hasta los 721° , separa cristales de *austenita* y *cementita*, y bajando de esta temperatura, los separa de *cementita* y *perlita*.

Las aleaciones con un porcentaje de carbono superior al 5% , no tienen aplicación industrial significativa.

2.6.5. Materiales férreos. Aceros

Los aceros son aleaciones hierro-carbono que contienen menos del $1,7\%$ de carbono. El acero es un metal de color gris azulado. Su rotura presenta granos regulares, de espesor diferente según la calidad:

- Grandes y brillantes en los aceros de poco contenido en carbono.
- Finos y apretados en los aceros de alto contenido en carbono.

El acero, es un material duro y elástico capaz de absorber impactos y que puede deformarse y extenderse en forma de alambres o chapas.

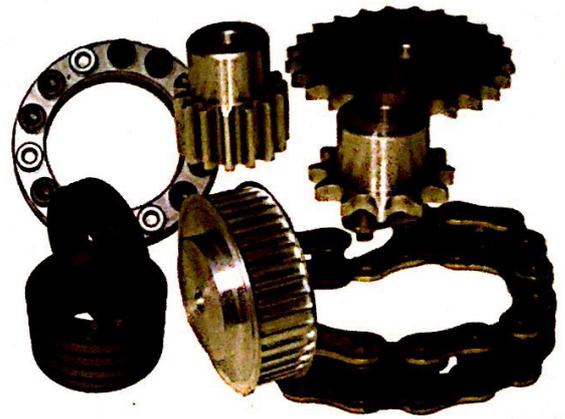


Figura 2.47. Piezas de acero.

En la mayoría de los trabajos de mecanizado se suelen utilizar distintos tipos de acero: al carbono, en aleación o para herramientas, por ello resulta muy importante clasificarlos e identificarlos adecuadamente.

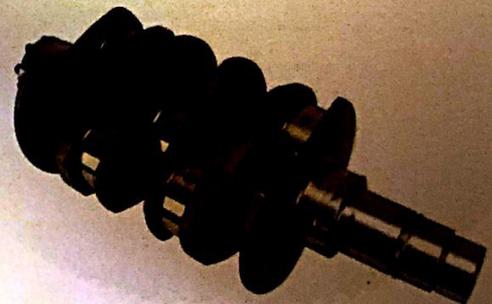


Figura 2.48. Cigüeñal fabricado con acero de alta resistencia.

Para clasificar a los aceros se utilizan diferentes criterios: según los procedimientos o procesos de obtención utilizados, atendiendo al grado de desoxidación, según su contenido en carbono, según su composición, según su aplicación y según su estado y forma de suministro.

■ ■ ■ Clasificación y propiedades

En general, los tipos de aceros más comunes son:

» Aceros al carbono

Se denominan también no aleados. Poseen en su composición hierro, carbono, pequeñas cantidades de manganeso (inferiores al 1,6%) y silicio (inferiores al 0,55%), como impurezas poseen fósforo y azufre (con contenidos limitados a un máximo de 0,0035%).

Los aceros al carbono se clasifican según la cantidad de carbono que contienen.

- **Acero de bajo carbono** (aceros extrasuaves de 0,1 a 0,2% de C y aceros suaves de 0,2 a 0,3% de C). El acero de bajo carbono, a menudo llamado también *acero dulce o suave*, contiene entre 0,1 y 0,3% de carbono, insuficiente para someterse a endurecimiento por temple. Son tenaces, dúctiles y fáciles de mecanizar, conformar y de soldar. Al ser fácil de soldar, trabajar con máquina y conformar, resulta adecuado para productos y proyectos en los que se necesita un metal manejable.
- **Acero de carbono medio** (aceros semisuaves de 0,3 a 0,4% de C y aceros semiduros de 0,4 a 0,5% de C). Son resistentes y duros, por lo que necesitan precauciones especiales a la hora de soldarlos, tales como: tratamientos térmicos, materiales de aportación especiales para la soldadura, etc. Se usa en numerosas piezas industriales normalizadas.
- **Acero de alto carbono** (aceros duros de 0,5 a 0,6% de C y aceros extraduros de 0,6 a 0,7% de C). Estos aceros requieren condiciones especiales de soldadura, puesto que a medida que aumenta la proporción de carbono son más susceptibles al temple y por tanto resultan más duros y resistentes pero a la vez más frágiles. Se utilizan para fabricar pequeñas herramientas u otros materiales que hayan de someterse a procesos de endurecimiento o temple.

El contenido en carbono es el que determina la dureza, la resistencia y la ductilidad de los aceros. Cuanto mayor sea el contenido de carbono mayor será la dureza y la resistencia. Por el contrario, cuanto menor sea el contenido en carbono, mayor será la ductilidad del acero, pero menor su resistencia y dureza.

» Aceros de aleación

Los aceros de aleación, además de las impurezas normales, contienen otros elementos metálicos aleados, en

suficiente cantidad como para alterar sus características, fundamentalmente: su tenacidad, resistencia al calor, a la oxidación, al choque, al desgaste, etc. Por ello, poseen propiedades especiales determinadas por la mezcla y la cantidad de los elementos que se les añaden, que consiguen que cada acero de aleación adquiera una «personalidad» propia.

Entre los principales elementos que se alean destacan:

- **Níquel.** Se añade para aumentar la resistencia y la tenacidad del acero, y ayuda también a evitar la corrosión.
- **Cromo.** Incorpora dureza, tenacidad y resistencia al desgaste y a la corrosión. Los engranajes y los ejes a menudo están hechos de acero al níquel y cromo, por su elevada resistencia.
- **Manganeso.** Se emplea en los aceros para producir un metal limpio. También añade resistencia al material y favorece su tratamiento térmico.



Figura 2.49. Microestructura de un acero al manganeso.

- **Silicio.** Se usa a menudo para elevar la resiliencia del acero, sobre todo en la fabricación de muelles o resortes.
- **Wolframio.** Se utiliza junto con el cromo, el vanadio, el molibdeno y el manganeso, para producir acero de alta velocidad usado en herramientas cortantes. El wolframio es un material que tiene dureza suficiente para cortar incluso después de calentarse al rojo.
- **Molibdeno.** Añade tenacidad y resistencia al acero. Se emplea para fabricar aceros de alta velocidad.

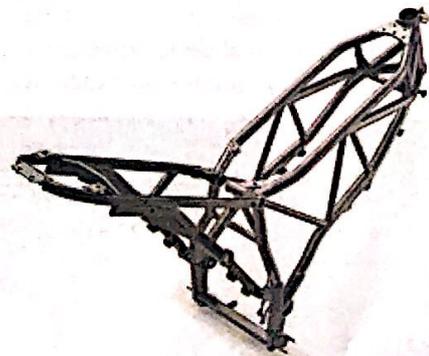


Figura 2.50. Estructura de chasis de motocicleta fabricado en acero al cromo molibdeno.

2. Características de los materiales metálicos

- **Vanadio.** Mejora la textura del acero. Se usa junto con el cromo para fabricar acero al cromo y vanadio, con el que se producen engranajes y piezas de transmisiones. Este tipo de acero es muy resistente y presenta una excelente resistencia antichoque.
- **Titanio.** Además de aumentar la dureza, limita el crecimiento del grano en estado austenístico.



Figura 2.51. Herramienta con aleación cromo-vanadio.

» Aceros para herramientas de corte

Estos aceros constituyen un grupo amplio de materiales que se usan cuando se requiere un tratamiento térmico delicado. Se usan así para fabricar herramientas con un filo cortante.

» Acero laminado

El acero laminado, en el que se incluyen barras, varillas y aceros estructurales, se produce por laminación del acero en frío o en caliente. Los *aceros laminados en caliente* se conforman calentándolos al rojo. El metal pasa a través de una serie de rodillos, cada uno un poco más cerca del siguiente. Al atravesar el último rodillo, se dispersa agua caliente sobre el material, para formar una *laminilla azulada*. El acero producido por este método tiene una calidad bastante uniforme y se usa en muchas clases de piezas. Las barras laminadas en caliente de la mejor calidad se emplean en la producción de aceros acabados en frío. Estos *aceros acabados en frío* se emplean cuando se necesita un acabado superficial de gran precisión y se requieren ciertas propiedades mecánicas. Existen varios métodos para producir barras acabadas en frío. Los más habituales proporcionan los denominados *aceros labrados en frío*. El proceso es el siguiente: primero se retira la laminilla de las barras laminadas en caliente, luego se *estiran en frío* estas láminas mediante un troquel menor que el tamaño original de las mismas y, finalmente, se *laminan en frío* hasta la dimensión exacta requerida.

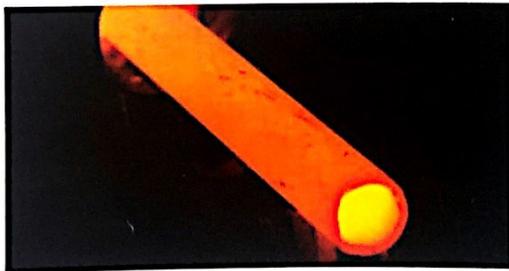


Figura 2.52. Proceso de fabricación de tubo de acero en caliente.

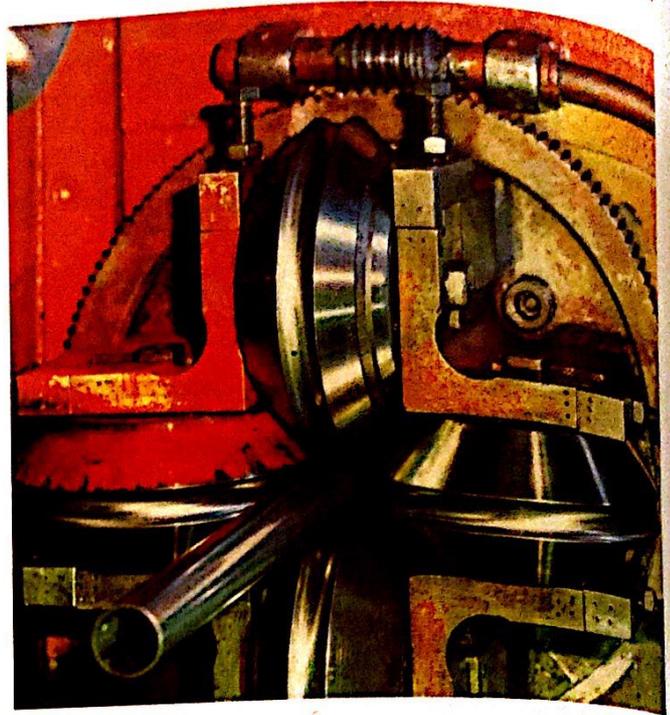


Figura 2.53. Proceso de fabricación de tubo de acero en frío.

» Acero inoxidable

El acero inoxidable se define como una aleación de acero con un mínimo de 10% de cromo y otros elementos aleantes como el níquel y el molibdeno. Es resistente a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales que contiene, posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro. Sin embargo, esta capa puede ser afectada por algunos ácidos.

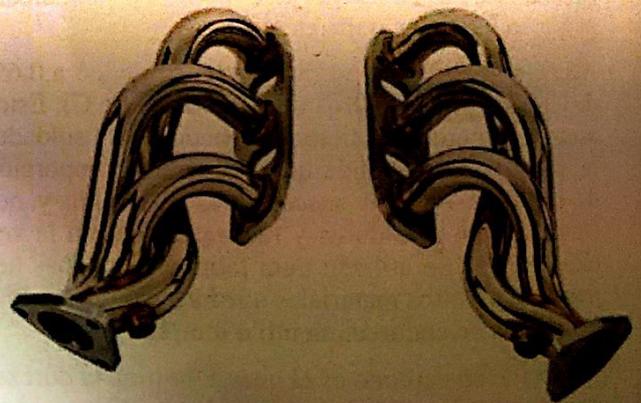


Figura 2.54. Colectores de escape de acero inoxidable.

La clasificación de los aceros inoxidables es:

- **Acero inoxidable extrasuave.** Contiene un 13% de Cr y un 0,15% de C. Se utiliza en la fabricación de: elementos de máquinas, álabes de turbinas, válvulas, etc. Tiene una resistencia mecánica de 800 N/mm² y una dureza de 175-205 HB.

- **Acero inoxidable al cromo-níquel «16Cr-2Ni».** Contiene un 16% de Cr, un 2% de Ni y un 0,20% de C. Tiene una resistencia mecánica de 950 N/mm² y una dureza de 275-300 HB. Se suelda con dificultad, y se utiliza para la construcción de álabes de turbinas, ejes de bombas, etc.
- **Acero inoxidable al cromo-níquel «18Cr-8Ni».** Contiene un 18% de Cr, un 8% de Ni y un 0,18 de C. Tiene una resistencia mecánica de 600 N/mm² y una dureza de 175-200 HB. Es un producto muy utilizado porque resiste bien el calor hasta los 400 °C
- **Acero inoxidable al cromo-manganeso «11Cr-18-Mn».** Contiene un 11% de Cr, un 18% de Mn y un 0,14% de C. Tiene una resistencia mecánica de 650 N/mm² y una dureza de 175-200 HB. Es soldable y resiste bien altas temperaturas. Es amagnético. Se utiliza principalmente en colectores de escape.

» Acero revestido

El acero *galvanizado*, o *recocido después de galvanizado*, es un acero dulce en chapas cubierto de zinc para evitar la oxidación. Por su parte, la *hojalata* es un acero dulce recubierto con estaño.

» Acero moldeado

Existen metales en formas muy diferentes. El *metal perforado* tiene un diseño troquelado, mientras que el *metal expandido* está hecho por cortes en el metal que sirven como base de una expansión. Por su parte, el *metal en relieve* tiene un diseño impreso en su superficie.

■ ■ ■ Identificación de los aceros

Todos los aceros se parecen. Así, resulta difícil identificar el tipo de acero solo con mirarlo. En general se aplican tres métodos generales de identificación: sistema numérico, código de color y prueba de chispa.

» Sistemas numéricos

En la industria, cada fabricante designa los aceros que produce con una denominación arbitraria, lo cual origina una verdadera complicación a la hora de elegir un acero o de establecer las equivalencias entre aceros de distintos fabricantes. Para evitar este inconveniente, el Instituto del Hierro y el Acero (IHA) adopta una clasificación de los materiales metalúrgicos en 5 grandes grupos:

- F = Aleaciones férreas.
- L = Aleaciones ligeras.
- C = Aleaciones de cobre.
- V = Aleaciones varias.
- S = Productos sintetizados.

Entre las aleaciones férreas, la identificación de los aceros se basa en el empleo de caracteres alfanuméricos. La designación se realiza mediante la letra F seguida de un guión y tres cifras, que indican:

- 1.ª **La serie.** Agrupa a los distintos tipos de aceros que tienen similar aplicación. Las series que corresponden a los aceros van desde la F-100 hasta la F-900.
- 2.ª **El grupo.** Hace referencia a las propiedades de utilización.
- 3.ª **El tipo.** Especifica cada acero normalizado.

Tabla 2.8. Identificación de aceros mediante sistema numérico. Como ejemplo, la denominación F-124, indica que se trata de un acero de la serie 1, grupo 2 y tipo 4.

Serie	Grupo	Denominación
1 Aceros para usos generales	1	Aceros finos al carbono.
	2 y 3	Aceros aleados de gran resistencia.
	4	Aceros aleados de gran elasticidad.
	5 y 6	Aceros de cementación.
	7	Aceros de nitruración.
2 Aceros para usos especiales	1	Aceros de fácil mecanización.
	2	Aceros de fácil soldadura.
	3	Aceros de propiedades magnéticas.
	4	Aceros de dilatación térmica concreta.
	5	Aceros resistentes a la fluencia.
3 Aceros resistentes a la oxidación y corrosión	1	Aceros inoxidables.
	2 y 3	Aceros resistentes al calor.
5 Aceros para herramientas	1	Aceros al carbono para herramientas.
	2, 3 y 4	Aceros aleados para herramientas.
	5	Aceros rápidos.

» Código de color

Los fabricantes suelen identificar cada tipo de acero (según la normalización alfanumérica), pintando las barras con varios colores representativos. Algunos solo pintan los extremos, mientras que otros extienden la pintura en toda la barra. La finalidad de esta práctica es evitar confusión entre barras de acero al almacenarlas. Los colores empleados están debidamente normalizados de acuerdo con la siguiente tabla.