

dos de absorción, como el agar, la gelatina, el tanino, etc., que son sustancias coloidales que se fijan sobre el metal impidiendo su corrosión.

### Protección por pasivadores

Ya se ha indicado anteriormente que en algunos metales, como el aluminio, se forma una película en su superficie que detiene la corrosión apenas iniciada. Se dice que estos metales tienen una pasividad natural contra la corrosión. También puede conseguirse la pasividad tratando previamente el metal; por ejemplo, sumergiendo una pieza de acero en ácido nítrico concentrado, resulta inatacable por el ácido nítrico diluido, lo cual se expresa diciendo que la pasividad la ha provocado un pasivador. El metal base protegido por una capa de minio (sobre todo si está a la intemperie) es más resistente a la oxidación que si se empleara cualquier otro producto. Los pasivadores más empleados son el minio (óxido de plomo) y el cromato de cinc, ambos muy útiles como aplicación previa al pintado sobre piezas de acero. La diferencia entre el minio (pasivador) y una pintura antioxidante es que, si se hace una raya en la pintura que descubra el metal, éste resultará atacado, lo cual no sucede si la superficie está recubierta con minio.

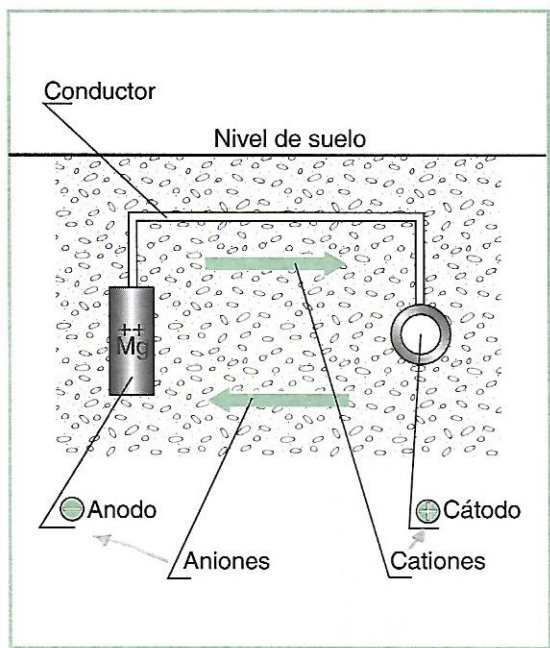


Fig. 50. Protección catódica con ánodo de magnesio.

### Protección catódica

Es una consecuencia del mecanismo electroquímico expuesto en las causas de corrosión y consiste en incluir la pieza que se desea proteger en un circuito eléctrico en el cual ésta actúa de cátodo. Por ejemplo (Fig. 50), si se quiere proteger un depósito de chapa de acero que contenga agua, se añade un ánodo de magnesio en contacto con la chapa, de forma que el hierro resulta protegido a costa de consumirse en magnesio. Los ánodos más empleados son de cinc, aluminio o magnesio. Si la resistencia eléctrica del baño o medio en que se encuentra el metal a proteger es demasiado grande y la corriente que circula entre los dos metales es demasiado débil, debe suministrarse corriente continua exterior, además de incluir los ánodos, que en este caso son de hierro.

## CLASES DE ACEROS

### Aceros finos de construcción

#### Aceros al carbono

Son los que carecen de elementos de aleación, o los tienen en pequeña proporción, y cuyo contenido en carbono está comprendido en:

- De 0,10% al 0,80% de carbono.
- De 0,15% al 0,30% de silicio.
- De 0,30% al 0,70% de manganeso.
- Fósforo y azufre menos del 0,04%.

Se les suele clasificar, según sus características mecánicas, en siete grupos (tabla XI). Están fabricados, en general, en horno eléctrico.

Sólo se aplican los tratamientos de recocido contra acritud y el normalizado o la cementación. Se emplean para piezas que exijan una resistencia entre 35 y 50 kg/mm<sup>2</sup>. A los aceros de mayor contenido de carbono (hasta 0,55%), además de los tratamientos citados, en ocasiones se les aplica un temple a la llama o por inducción, aunque su templabilidad es muy baja



del mecanismo elec-  
 las causas de corro-  
 la pieza que se desea  
 eléctrico en el cual  
 ejemplo (Fig. 50), si  
 depósito de chapa de  
 a, se añade un ánodo  
 to con la chapa, de  
 alta protegido a costa  
 esio. Los ánodos más  
 aluminio o magnesio.  
 del baño o medio en  
 al a proteger es dema-  
 nte que circula entre  
 asiado débil, debe su-  
 ntinua exterior, ade-  
 os, que en este caso

## strucción

en de elementos de  
 en pequeña propor-  
 en carbono está com-

de carbono.  
 de silicio.  
 de manganeso.  
 enos del 0,04%.

t, según sus caracterís-  
 grupos (tabla XI). Están  
 i horno eléctrico.

tratamientos de recoci-  
 malizado o la cemen-  
 piezas que exijan una  
 kg/mm<sup>2</sup>. A los aceros  
 carbono (hasta 0,55%),  
 os citados, en ocasio-  
 le a la llama o por in-  
 labilidad es muy baja

Designación	% de C	Resultado de los ensayos de tracción en estado de recocido		
		R Kg./mm <sup>2</sup>	E Kg./mm <sup>2</sup>	A %
Aceros extra-dulces .....	0,05 a 0,15	32 a 38	20 a 24	34 a 28
Aceros dulces .....	0,15 a 0,25	38 a 46	24 a 28	28 a 25
Aceros semi-dulces .....	0,25 a 0,40	4,5 a 55	28 a 32	25 a 22
Aceros semi-duros .....	0,40 a 0,60	55 a 65	32 a 38	22 a 18
Aceros duros .....	0,60 a 0,70	65 a 75	38 a 45	18 a 14
Aceros muy duros .....	0,70 a 0,80	75 a 85	45 a 50	14 a 8
Aceros extra-duros .....	0,80	85 a 100	50 a 55	8 a 5

Tabla XI. Clasificación de los aceros atendiendo a sus características mecánicas.

y no se recomienda para piezas de gran responsabilidad. Se emplean brutos, de forja o laminación, o recocidos y normalizados para piezas que requieran una resistencia de 55 a 70 kg/mm<sup>2</sup>.

■ F-1110 = AISI/SAE 1017.—Acero extra suave con un contenido de carbono entre 0,1% y 0,2%. Es fácilmente soldable y muy deformable. Resistencia entre 38 y 48 kg/mm<sup>2</sup>, alargamiento entre 28% y 23% y dureza entre 110 y 135 HB. Se emplea para piezas de poca resistencia y buena tenacidad, como tornillos, roblones, etc., y para elementos auxiliares de las máquinas.

■ F-1120 = AISI/SAE 1023.—Acero suave con un contenido de carbono entre 0,2% y 0,3%. Es soldable y deformable fácilmente. Normalizado, su resistencia es de 48 a 55 kg/mm<sup>2</sup>, alargamiento del 24% al 18% y dureza entre 135 y 160 HB. Al igual que el anterior, no es necesario recocerlo para su posterior mecanización. Se utiliza para piezas que deban poseer buena tenacidad y características mecánicas poco elevadas.

■ F-1130 = AISI/SAE 1034.—Acero semi-suave. Contiene entre 0,3% y 0,4% de carbono. Templado en agua y revenido, tiene una resistencia de 65 kg/mm<sup>2</sup> y dureza de 185 a 205 HB. Se emplea para piezas de máquina y motores que exijan buena resistencia y tenacidad.

■ F-1140 = AISI/SAE 1042.—Acero semi-duro. Contiene entre 0,4% y 0,5% de carbono. Templado y revenido, tiene una resistencia de 70 kg/mm<sup>2</sup> y dureza de 190 a 210 HB. Se emplea para la fabricación de piezas de bastante

resistencia, para maquinaria y también, normalizado, para piezas de resistencia media.

■ F-1150 = AISI/SAE 1049.—Acero duro. Su contenido de carbono oscila entre 0,5% y 0,6%. Templado y revenido, alcanza una resistencia de 90 kg/mm<sup>2</sup> y dureza de 250 a 270 HB. Se utiliza para fabricar ejes, transmisiones y piezas regularmente cargadas. También puede utilizarse para muelles.

## Aceros aleados de gran resistencia

Se caracterizan por el aumento de templeabilidad conseguido por la adición de elementos aleados, lo cual da la posibilidad de templear el núcleo de piezas de grandes dimensiones, consiguiendo así resistencias más elevadas, además de la disminución de las velocidades críticas de temple. Limitación sobre el crecimiento del grano de la austenita, lo que mejora las propiedades mecánicas. Se utilizan en cigüeñales, ejes de transmisiones, tornillos, palieres, bulones, pasadores, piñones y, en general, a todas las piezas sometidas a grandes esfuerzos. Resumiendo lo anteriormente descrito, se puede decir que los aceros aleados tienen tres ventajas sobre los no aleados:

- Posibilidad de templear núcleos de piezas de gran tamaño.
- Posibilidad de utilizar diferentes tipos de temple, agua, en aceite o al aire.
- Mayor margen de temperatura en los tratamientos térmicos y menor peligro de sobrecalentamiento.



Pero tienen los inconvenientes siguientes:

- Mayor dificultad de elaboración y eliminación de defectos.
- Precio más elevado.
- Mayor dificultad de aprovisionamiento.

■ **F-1210 = AISI 1541.**—Se utiliza para la construcción de piezas de resistencia media y alta tenacidad.

■ **F-1220.**—Tiene aplicación en piezas de resistencia elevada y grandes dimensiones, por ejemplo, cigüeñales, bielas, ejes muy cargados, etc.

■ **F-1230.**—En general, sirve para las mismas aplicaciones que las del anterior cuadro y se necesita mayor tenacidad.

■ **F-1240.**—Se utiliza para piezas de máquinas y motores que exijan alta resistencia y sean de gran espesor.

■ **F-1250 = AISI/SAE 4137.**—Se emplea para piezas de espesor medio con gran resistencia y buena tenacidad para maquinaria y motores.

■ **F-1260.**—Para piezas de gran resistencia y máxima responsabilidad, de grandes dimensiones, como cigüeñales, bielas, ejes muy cargados, etc.

■ **F-1270.**—Se utiliza para piezas de alta resistencia y máxima responsabilidad, de menor espesor que las del anterior.

■ **F-1280 = AISI/SAE 4340.**—Es un acero de gran templabilidad que sirve para piezas que exijan alta resistencia, generalmente ejes, bielas, etc., para automóviles y ferrocarriles.

■ **F-1290.**—Similar al anterior, pero con características mecánicas algo inferiores.

■ **F-1310 = AISI/SAE 5210.**—Debido a su gran dureza másica, se utiliza principalmente en la fabricación de cojinetes de bolas y rodillos.

■ **F-1320.**—Se aplica para la fabricación de engranajes, taqués, arandelas regulables, válvulas, etc.

■ **F-1330.**—Debido a su alta resistencia a la fatiga, se utiliza para piezas de gran dureza básica.

### Aceros de gran elasticidad

Destinados a la fabricación de muelles, resortes, ballestas, barras de torsión, etc., piezas sometidas a esfuerzos repetidos y alternativos

pero inferiores a su límite elástico, por lo cual es imprescindible que sus aceros tengan una gran resistencia a la fatiga. Estos aceros precisan de recocido, después de la forja o laminación, para eliminar tensiones internas y facilitar el mecanizado y arrollado de los muelles. El temple debe ser cuidadísimo, para evitar las decarburaciones y el aumento del grano. Los tipos normalizados son:

■ **F-1410 = AISI/SAE 9262.**—Acero de muelles al carbono de temple en aceite. Contiene un 0,70% de carbono. Se emplea para la fabricación de muelles con diámetros pequeños de varilla, en forma de cuerda de piano.

■ **F-1420.**—Acero de muelles al carbono de temple en agua. Su contenido en carbono es algo inferior, 0,50%, pero tiene las mismas aplicaciones que el que antecede.

■ **F-1430 = AISI/SAE 6150.**—Acero de muelles al cromo-vanadio. Contiene 0,50% de carbono, 1% de cromo y 0,20% de vanadio. Sirve para fabricar muelles y resortes de la mayor calidad, en especial aquellos que están sometidos a trabajos de gran responsabilidad.

■ **F-1440 = AISI/SAE 9255.**—Acero manganosilicioso de temple en aceite. Su composición es de 0,55% de carbono, 1,75% de silicio y 0,85% de manganeso. Tiene la ventaja de poder templar en aceite hasta 30 mm de diámetro. Se aplica para fabricar muelles de todas clases, ballestas y muelles en espiral para automóviles y ferrocarril.

■ **F-1450.**—Acero manganosilicioso de temple en agua. Contiene 0,50% de carbono, 1,75% de silicio y 0,75% de manganeso. Sirve para las mismas aplicaciones que las del anterior, pero sus dimensiones máximas de empleo son de 30 mm enfriando en agua y de 10 mm enfriando en aceite.

### Aceros de cementación

Tienen su principal aplicación una vez cementados, con posterior temple y revenido, y sirven para la construcción de piezas de gran resistencia al desgaste por frotamiento y con una elevada tenacidad en el núcleo. Se divide en dos grupos: al carbono y aleados. Su contenido en carbono oscila entre 0,1% y 0,23%. Los tipos más comunes son:



elástico, por lo cual los aceros tengan una alta resistencia. Estos aceros precisan de la forja o laminaciones internas y facilitar el temple de los muelles. El objetivo, para evitar las deformaciones del grano. Los tipos

**AISI 9262.**—Acero de temple en aceite. Contiene 0,12% de carbono. Se emplea para la fabricación de ejes de diámetros pequeños y resortes de gran resistencia.

**AISI 9262.**—Acero de temple en aceite. Contiene 0,12% de carbono. Se emplea para la fabricación de ejes de diámetros pequeños y resortes de gran resistencia.

**AISI 6150.**—Acero de temple en aceite. Contiene 0,50% de carbono y 0,20% de vanadio. Se emplea para muelles y resortes de gran resistencia. Especial aquellos que requieren una gran resistencia.

**AISI 9255.**—Acero mantenido en aceite. Su composición es de 0,12% de carbono, 1,75% de silicio y 0,20% de vanadio. Tiene la ventaja de ser templado hasta 30 mm de diámetro y se emplea para muelles de todas clases y resortes espiral para automóviles.

**AISI 9255.**—Acero mantenido en aceite. Su composición es de 0,12% de carbono, 1,75% de silicio y 0,20% de vanadio. Tiene la ventaja de ser templado hasta 30 mm de diámetro y se emplea para muelles de todas clases y resortes espiral para automóviles.

ión

aplicación una vez templado y revenido, y para la fabricación de piezas de gran tamaño por frotamiento y con temple en el núcleo. Se divide en tipos de aleación y no aleados. Su contenido de carbono es entre 0,1% y 0,23%.

■ **F-1510 = AISI/SAE 1010.**—Acero de cementación al carbono. Posee un 0,10% de carbono. Se utiliza para piezas cementadas de pequeñas dimensiones en las cuales no interesa mucha tenacidad en el núcleo.

■ **F-1520 = AISI/SAE 8620.**—Acero de cementación al níquel. Contiene 0,12% de carbono y 3,25% de níquel. Se usa para piezas poco cargadas, con buena tenacidad en el núcleo y buena resistencia al choque, como engranajes, ejes de levas, etc.

■ **F-1530 = AISI/SAE 8620.**—Acero de cementación al cromo-níquel (duro). Posee 0,12% de carbono, 4,15% de níquel y 1% de cromo. Sirve para elementos de máquinas y motores que, además de gran dureza superficial, deban ofrecer alta resistencia en el núcleo y buena tenacidad.

■ **F-1540 = AISI/SAE 345.**—Acero de cementación al cromo-níquel (tenaz). Se compone de 0,12% de carbono, 2,60% de níquel y 0,65% de cromo. Para piezas de gran dureza superficial y buena resistencia en el núcleo para maquinaria y automovilismo.

■ **F-1550.**—Acero de cementación al cromo-molibdeno. Contiene 0,13% de carbono, 1,15% de cromo y 0,20% de molibdeno. Para piezas de gran dureza superficial y resistencia media en el núcleo.

■ **F-1560.**—Acero de cementación al cromo-níquel-molibdeno (duro). Compuesto de 0,15% de carbono, 4,15% de níquel, 1% de cromo y 0,25% de molibdeno. Para piezas de grandes dimensiones con elevada resistencia y dureza superficial. Es el tipo de acero de cementación de más elevadas características. Se emplea para elementos de máquinas y motores de máxima responsabilidad, como engranajes, coronas, reductores, etc.

■ **F-1570.**—Acero de cementación al cromo-níquel-molibdeno (tenaz). Contiene 0,18% de carbono, 1% de manganeso, 1% de níquel, 1% de cromo y 0,20% de molibdeno. Se utiliza para piezas gruesas de automóviles, como engranajes, levas, ejes, etc., en sustitución de los aceros de cementación al cromo-níquel-molibdeno duro y los de cementación al cromo-níquel duro.

■ **F-1590.**—Acero de cementación de baja aleación (tenaz). Su composición es de 0,14% de carbono, 0,8% de manganeso, 1% de níquel, 1% de cromo y 0,10% de molibdeno. Es

similar al anterior, pero con menos resistencia y templabilidad.

## Aceros de nitruración

Son aptos para ser nitrurados y tienen un contenido de carbono entre 0,20% y 0,50%, según las características requeridas en el núcleo. La resistencia mecánica del núcleo oscila entre 80 y 125 kg/mm<sup>2</sup>. La resistencia a la fatiga de los aceros nitrurados parece ser superior a la de los demás aceros. Los tipos normalizados son:

■ **F-1710.**—Acero de nitruración al cromo-níquel-molibdeno-vanadio de gran resistencia. Su contenido es de 0,30% de carbono, 3,25% de cromo, 0,40% de molibdeno y 0,22% de vanadio. Sirve para piezas de muy elevada resistencia y gran dureza superficial para resistir el desgaste, por ejemplo, husillos para máquinas de extrusionar plástico.

■ **F-1720.**—Acero de nitruración al cromo-molibdeno-vanadio de resistencia media. Su composición es de 0,25% de carbono, 3,25% de cromo, 0,40% de molibdeno y 0,22% de vanadio. Para piezas de resistencia inferior a la de las fabricadas con el acero que antecede, pero también de gran dureza superficial.

■ **F-1730.**—Acero de nitruración al cromo-molibdeno-vanadio de baja resistencia. Contiene 0,20% de carbono, 1,50% de cromo, 0,20% de molibdeno y 0,22% de vanadio. Para piezas de resistencia media y gran dureza superficial.

■ **F-1740.**—Acero de nitruración al cromo-aluminio-molibdeno de gran dureza. Compuesto de 0,40% de carbono, 1,50% de cromo, 0,20% de molibdeno y 1% de aluminio. Se utiliza preferentemente para piezas de resistencia media pero que deben poseer la más alta dureza superficial.

## Aceros finos para usos especiales

### Aceros de fácil mecanización

Aceros que desprenden con facilidad la viruta troceada, pudiéndose mecanizar a grandes velocidades de corte. Aptos para tornos automáticos destinados a la fabricación de piezas en grandes series. La facilidad para el mecani-



zado se consigue con adiciones de plomo o azufre. Los normalizados son:

■ **F-2110 = AISI/SAE 1213.**—Acero de fácil mecanización al azufre. Contiene 0,20% de carbono, 0,80% de manganeso y 0,20% a 0,30% de azufre. Este acero se mecaniza estirado en frío. Se usa, en general, para piezas fabricadas en máquinas automáticas, como tornillos, bulones, etc.

■ **F-2120 = AISI/SAE 1108.**—Acero de fácil mecanización al plomo. Contiene 0,20% de carbono, 1,20% de manganeso y 0,20% a 0,30% de azufre. Es más resistente que el anterior al azufre, pues el plomo no modifica sensiblemente las características mecánicas del acero. Tiene aplicaciones análogas a las del anterior.

Estos aceros dependen principalmente de:

- Del tamaño de grano, siendo más fácil mecanizar con un tamaño de grano grueso.
- De la dureza, la más adecuada para mecanizar está comprendida en 187 a 229 Brinell.
- De los constituyentes, siendo la perlita laminar la que mejor facilita el mecanizado.
- Relación límite de elasticidad a resistencia mecánica; cuanto mayor es la relación, más fácil se mecaniza.
- De las inclusiones metálicas o no metálicas.

### Aceros de fácil soldadura

Los aceros de este grupo tienen, todos ellos, un bajo contenido de carbono, inferior al 0,30%, y su característica más acusada es la facilidad de ser soldados. Los tipos normalizados son:

■ **F-2210 = AISI 1022 = SAE 1518.**—Acero al carbono soldable. Contiene 0,20% de carbono, 0,20% de silicio y 0,55% de manganeso. Se utiliza para herrajes y estructuras.

■ **F-2220 = AISI/SAE 4130.**—Acero al cromo-molibdeno soldable. Se compone de

0,28% de carbono, 0,20% de silicio, 0,55% de manganeso, 0,95% de cromo y 0,20% de molibdeno. Se usa para tubos y perfiles de elevada resistencia, como herrajes y tornillería

■ **F-2230.**—Acero al cromo-vanadio soldable. Contiene 0,30% de carbono, 0,20% de silicio, 0,50% de manganeso, 0,95% de cromo y 0,17% de vanadio. Para tubos y perfiles, herrajes y, en general, piezas de alta resistencia sometidas a esfuerzos de fatiga.

■ **F-2240.**—Acero al cromo-manganeso-vanadio soldable. Compuesto de 0,30% de carbono, 1,15% de manganeso, 0,75% de cromo y 0,15% de vanadio. Es un acero especialmente apto para soldadura.

### Aceros de propiedades magnéticas

Aceros que se utilizan para la fabricación de núcleos de motores eléctricos, transformadores e imanes deben poseer determinadas características electromagnéticas y magnéticas, según el fin a que se destinan. Los tipos normalizados son:

■ **F-2310.**—Acero para chapas de transformadores. Contiene 0,08% de carbono, 4,75% de silicio y 0,10% de manganeso. Se utiliza para el troquelado de chapas de núcleos de transformadores.

■ **F-2320.**—Acero para chapas de inducidos de motores. Su porcentaje es de 0,10% de carbono, 2,5% de silicio y 0,30% de manganeso. Sirve para la fabricación de chapas y para la fabricación de inducidos de motores, dinamos y alternadores.

■ **F-2330.**—Acero para imanes al tungsteno. Contiene 0,65% de carbono y 6% de wolframio. Se utiliza para la fabricación de imanes permanentes de menor fuerza coercitiva que la de los aceros al cobalto.

■ **F-2340.**—Acero para imanes al cobalto. Con 1,10% de carbono, 9,5% de cromo, 1,50% de molibdeno y 9% de cobalto. Para fabricar imanes permanentes de fuerza coercitiva muy elevada.

### Aceros de dilatación térmica específica

Aceros que, por aleación con determinados elementos, tienen su coeficiente de dilatación más bajo o más alto que el normal en ace-



de silicio, 0,55% de cromo y 0,20% de molibdeno y perfiles de elevada resistencia y tornillería

El cromo-vanadio soluble en carbono, 0,20% de carbono, 0,95% de cromo y perfiles, hebras de alta resistencia y fatiga.

El cromo-manganeso soluble en carbono, 0,30% de carbono, 0,75% de cromo y acero especialmente

### Aceros magnéticos

para la fabricación de bobinas, transformadores e inductancias caracterizadas por sus propiedades magnéticas, según el fin para el que se normalizan son:

para chapas de transformadores, 0,20% de carbono, 4,75% de manganeso. Se utiliza para chapas de núcleos de

para chapas de inducción, el porcentaje es de 0,10% de carbono, 0,30% de manganeso y perfiles de chapas y para la fabricación de motores, dinamos

para imanes al tungsteno, 0,20% de carbono y 6% de wolframio para la fabricación de imanes permanentes de fuerza coercitiva que la

para imanes al cobalto, 0,20% de carbono, 1,50% de cromo, 1,50% de cobalto. Para fabricar imanes de fuerza coercitiva muy

### Aceros térmicos

para aplicaciones con determinadas propiedades de dilatación, el coeficiente de dilatación debe ser el normal en ace-

ros corrientes. La aleación con níquel disminuye el coeficiente hasta valores muy bajos. El *invar* es un acero, con un 0,24% de carbono y un 36% de níquel, cuyo coeficiente de dilatación pasa a ser prácticamente nulo entre 0 °C y 200 °C. Los tipos normalizados son:

■ **F-2410.**—Acero de alta dilatación. Contiene 0,70% de carbono, 4,5% de manganeso, 12,5% de níquel y 3% de cromo. Con un coeficiente de dilatación similar al de las aleaciones ligeras, se emplea para fabricar piezas de acero que deban ser engarzadas en aleaciones ligeras, por ejemplo, asientos de válvulas en culatas de aluminio.

■ **F-2420.**—Acero de baja dilatación. Contiene 0,20% de carbono y 36% de níquel. Es un acero, similar al *invar*, empleado para piezas y aparatos de precisión que trabajen entre 0 °C y 200 °C.

### Aceros resistentes a la fluencia

Poseen resistencia a la deformación en caliente. El tipo más normal es:

■ **F-2510.**—Acero al molibdeno resistente a la fluencia. Contiene 0,08% a 0,28% de carbono, 0,40% a 0,65% de molibdeno y 0,10% a 0,25% de cobre. El molibdeno le comunica resistencia a la fluencia y el cobre, a la oxidación. Se utiliza de preferencia en instalaciones que deban trabajar a temperaturas elevadas, hasta 500 °C.

### Aceros resistentes a la oxidación y a la corrosión

Se sabe que uno de los medios para evitar la oxidación y la corrosión es utilizar metales y aleaciones inoxidable. En los aceros inoxidables, la acción ejercida por los elementos aleados es sustancial además de estructural, es decir, la aleación resultante adquiere con mayor o menor intensidad ciertas propiedades específicas de los elementos aleados o de los propios aceros. Para que esto suceda el porcentaje del elemento o los elementos de la aleación debe ser elevado. El cromo es el elemento aleado que más influye en la resistencia a la oxida-

ción y la corrosión de los aceros. Un porcentaje del 12% de cromo ya impide la corrosión por el aire ambiente húmedo. Para resistir la oxidación a temperaturas elevadas son necesarios porcentajes más elevados, hasta del 30%. El níquel mejora la resistencia a la corrosión de los aceros al cromo. Además del cromo y níquel, se añaden pequeños porcentajes de molibdeno para mejorar la resistencia a la oxidación a altas temperaturas.

### Aceros inoxidables

Aceros resistentes a la corrosión atmosférica, a los ácidos y álcalis, y también a la oxidación a temperaturas no muy elevadas. Los aceros inoxidables se clasifican en tres grupos principales: ferríticos, martensíticos y austeníticos.

#### 1. Aceros ferríticos

Estructura ferrítica a cualquier temperatura, por consiguiente no hay transformación de la ferrita en austenita en el calentamiento, ni transformación martensítica en el enfriamiento. No existe la posibilidad de regeneración del grano y la recristalización sólo es posible mediante una deformación plástica en frío, previo recocido o mediante una deformación en caliente. A esta familia pertenecen los aceros con un 15% a 18% de cromo y un máximo de 0,12% de carbono, que ofrecen una resistencia a la corrosión superior a la de los aceros martensíticos. También pertenecen a ella los aceros con un 25% a 30% de cromo y un porcentaje inferior al 0,35%. Del mismo modo, se incluyen los aceros al cromo con un contenido de aluminio hasta el 4% que son más resistentes a la oxidación y muy utilizados para fabricar resistencias, gracias a su gran resistividad. Las propiedades físicas de estos aceros son similares a las de los martensíticos. A veces se les añade nitrógeno, en proporciones entre 0,10% y 0,25%, para reducir, a temperaturas elevadas, la velocidad de crecimiento de los granos. Cuando un acero con un 15% a 18% de cromo se calienta a más de 1.000 °C y se enfría al aire, su alargamiento y su resiliencia descienden gradualmente. Con un recocido posterior a 750 °C se consigue aumentar su alargamiento, pero no así su resiliencia, que prácticamente se mantiene. Para poder aumentar ésta, es necesario realizar una nueva trans-



formación, ya sea en caliente o en frío. Los aceros ferríticos, en general, son difíciles de soldar y se emplean en embutición profunda por su ductilidad. Son magnéticos.

## 2. Aceros martensíticos

Adquieren gran dureza cuando se los enfría rápidamente una vez austenizados. Los aceros con un 12% a 14% de cromo y un contenido de carbono de 0,20% a 0,50% se emplean principalmente en cuchillería. Los aceros con un 16% a 18% de cromo y un contenido de carbono de 0,60% a 1,20% adquieren, por temple, elevadas durezas y son resistentes a la corrosión y al desgaste. Los tipos normalizados son:

■ *F-3110 = AISI-311*.—Acero inoxidable extradulce. Contiene menos del 0,1% de carbono, 13% de cromo y 0,30% de níquel. Resiste la acción corrosiva atmosférica, la del agua corriente y la de los ácidos y álcalis débiles. Es fácilmente soldable. Se emplea para utensilios de uso doméstico, grifería, ornamentación, cubertería, etc.

■ *F-3120 = AISI-312*.—Acero inoxidable por un 13% de cromo, para cuchillería. Se compone de 0,30% de carbono, 13% de cromo y 1% de níquel. Resiste bien la acción del vapor de agua, amoníaco, vinagre, alcohol, sangre y ácido nítrico diluido. Es el más clásico de los aceros martensíticos inoxidables y se utiliza para cuchillos, navajas, tijeras, instrumentos de cirugía, piezas de maquinaria, etc.

■ *F-3130 = AISI-313*.—Acero inoxidable con un 17% de cromo. Contiene menos del 0,25% de carbono, 17% de cromo y 2,50% de níquel. Resiste la corrosión del agua del mar y la corrosión galvánica aun en contacto con otros materiales de diferente potencial electroquímico (bronce y latón). Tiene buena resistencia mecánica y se emplea en piezas para buques, ejes de bombas, etc. Este tipo de acero inoxidable martensítico es probablemente el más aconsejable para trabajos duros en condiciones extremas y quizá sea uno de los más empleados para la fabricación de cabinas de pruebas de materiales en atmósfera controlada y con un gran porcentaje de salinidad; por ejemplo, para el control de recubrimientos especiales en chapas de acero, como el cinc.

## 3. Aceros austeníticos

No presentan transformación alguna en el calentamiento, y por ello su estructura es austenítica a cualquier temperatura, como indica su nombre. Son amagnéticos y engrosan el grano a temperaturas elevadas o con permanencias largas, pero la fragilidad que adquieren no es tan peligrosa como la de los aceros ferríticos. La precipitación del carburo de cromo en las juntas de los granos hace que se produzca una pérdida de cromo en las inmediaciones de aquéllas. Las zonas en que se produce esta decromización pierden inoxidableidad, quedando sensibilizadas a la corrosión intergranular. Para evitar la precipitación de carburos, puede disminuirse el contenido de carbono a un 0,03%, o bien otros elementos, como el titanio o el niobio, más ávidos del carbono que del cromo. Los aceros con un porcentaje de carbono superior al 0,03% deben ser sometidos a un temple austenítico (hipertemple) a fin de disolver los carburos precipitados. En estos aceros, y en general en todos los inoxidables y refractarios, el tiempo de permanencia a la temperatura de tratamiento térmico debe ser, como mínimo, el doble que en los aceros al carbono, por ser baja su conductividad calorífica. Dado que es difícil determinar el límite de proporcionalidad, se suele adoptar el que corresponde a un alargamiento permanente del 0,2%. El carbono y el nitrógeno hacen aumentar la dureza y, por consiguiente, el límite elástico. Cuando se desea conseguir límites elásticos buenos en aceros con un porcentaje de carbono inferior al 0,03%, se añade un 0,15% de nitrógeno.

El crecimiento del grano en estos aceros no ejerce influencia en las características mecánicas, pero tiene el inconveniente de hacer aparecer, en los aceros embutidos, lo que se denomina vulgarmente piel de naranja, que dificulta las operaciones de pulido. La ductilidad de estos aceros es muy grande, motivo por el cual se emplean tanto en la embutición. Una de las buenas propiedades de los aceros austeníticos es la ausencia de fragilidad a bajas temperaturas, lo contrario de lo que sucede en los martensíticos y ferríticos. Mantienen resiliencias excelentes a temperaturas cercanas al cero absoluto ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Por el contrario, las restantes características mecánicas varían notablemente (aumentan la carga de rotura y el límite







tengan dicha resistencia a más alta temperatura. Para determinar los cambios químicos experimentados por los aceros a temperaturas elevadas, se pueden utilizar varios métodos: ponderables, volumétricos, por cambio de espesor, etcétera. La determinación del aumento de peso se realiza controlando cómo se eleva a determinada temperatura en función del tiempo, para de esta manera conocer la resistencia a la oxidación a temperatura elevada. Por otro lado, con el método de determinación de la pérdida de peso es posible conocer la que sufre el acero, una vez eliminada la capa oxidada, cuando previamente lo hemos sometido a una temperatura concreta durante cierto tiempo. La eliminación del óxido se realiza enfriando en agua las probetas ensayadas a alta temperatura. Los métodos volumétricos determinan el oxígeno consumido en la oxidación del acero. La unión del cromo en el níquel, al formar estructuras auténticas, mejora la resistencia a la oxidación. Cuanto menor es el tamaño del grano, mejor es dicha resistencia. Y adiciones de calcio, bario o estroncio también la mejoran, así como la de Mischmetal (45% de cerio, 30% de lantano, 20% de didimio y 5% de iterbio). Por el contrario, el carbono, el nitrógeno y el oxígeno disminuyen la resistencia a la oxidación. Cantidades de boro con porcentajes del 0,0004 disminuyen sensiblemente la resistencia, al escorificar la película de óxido. Véase ahora el fenómeno de la corrosión de los aceros refractarios en los distintos medios.

■ *Efecto de nitrógeno.*—La presencia de nitrógeno en los aceros refractarios se fija en forma de nitruros o bien en solución sólida y, si es naciente, el efecto es mucho más acusado. En los aceros refractarios ferríticos con silicio o aluminio provoca una destrucción rápida a temperaturas de 1.100 °C a 1.200 °C. Para evitar en parte este efecto nocivo en los aceros ferríticos con cromo y aluminio, se procura formar una película de óxido de aluminio con un tratamiento a baja temperatura, de modo que el acero quede protegido para trabajar a altas temperaturas. Para que las aleaciones austeníticas refractarias no sean corroídas por la presencia de nitrógeno, no deben utilizarse a temperaturas superiores a los 1.100 °C.

■ *Efecto del hidrógeno.*—En general, todos los aceros tienen buena resistencia a la

corrosión en presencia de hidrógeno a bajas presiones. No pasa lo mismo cuando los aceros están sometidos a grandes presiones de hidrógeno, como es el caso en la fabricación de alcohol, gasolina, amoníaco sintético, etc., que provocan una descarburación intergranular y, por tanto, gran fragilidad. Molibdeno, cromo, vanadio, titanio y niobio protegen a los aceros contra dicha corrosión. La mejor resistencia en este sentido (grandes presiones de hidrógeno a elevadas temperaturas) la ofrecen los aceros refractarios austeníticos con molibdeno o tungsteno.

■ *Efecto del anhídrido carbónico.*—Están sometidos a este efecto los reactores refrigerados con anhídrido carbónico. En general, los aceros austeníticos ofrecen una resistencia aceptable. Entre ellos, los más resistentes son el 18/8 con titanio o niobio y, en particular, los que contienen 20% de cromo y 25% de níquel, o bien 25% de cromo y 20% de níquel.

■ *Efecto del sulfuro de hidrógeno.*—Este medio corrosivo, así como las mezclas sulfurosas reductoras a alta temperatura, provoca la rápida destrucción de los aceros refractarios en general, normalmente en forma de corrosión intergranular. Los aceros con un 12% de cromo ofrecen una resistencia aceptable hasta los 700 °C. Y adiciones de silicio, aluminio y cantidades no superiores al 20% de níquel mejoran la resistencia hasta los 800 °C. Para temperaturas superiores se recomiendan los aceros con 25% a 30% de cromo y 3% a 5% de silicio o aluminio. El acero con 20% de cromo, 35% de níquel y 3% de aluminio es el menos atacable a temperaturas elevadas.

■ *Efecto de los gases de combustión.*—Dependiendo de la naturaleza de los combustibles empleados (fuel-oil, carbón, gas, gasolina, etc.) los aceros refractarios pueden estar sometidos a reacciones de oxidación, sulfuración, carburación y nitruración como consecuencia de estar mezclados los productos de combustión con oxígeno, vapor de agua, óxido de carbono, anhídrido carbónico, azufre, nitrógeno, etc. Cuando los gases no son sulfurosos, las reacciones pueden ser solamente de oxidación y carburación, y los aceros se comportan más o menos como en el aire. Las aleaciones ferríticas con un 30% de cromo y las austeníticas con 25% de cromo y 20% de níquel ofrecen buena resistencia hasta los 1.100 °C. Las aleaciones con 80% de



de hidrógeno a bajas presiones. También cuando los aceros soportan grandes presiones de hidrógeno en la fabricación de plástico sintético, etc., que provocan la fractura intergranular y, a veces, la formación de hidruros. El molibdeno, el cromo y el níquel protegen a los aceros de la mejor resistencia en presencia de hidrógeno a altas presiones. Ofrecen los aceros resistentes al hidrógeno el molibdeno o tungsteno.

**Aceros al carbono.**—Están presentes en los reactores refrigerados al agua. En general, los aceros tienen una resistencia a la tracción más resistente son el acero al carbono y, en particular, los aceros al carbono y 25% de níquel, 10% de níquel.

**Aceros al hidrógeno.**—Este tipo de aceros, en las mezclas sulfuro-oxígeno, provoca la rá- pida corrosión de los aceros refractarios en forma de corrosión localizada. Con un 12% de cromo y un 3% de silicio, es aceptable hasta los 1000 °C. El aluminio y el cromo mejoran la resistencia. El 10% de níquel mejoran la resistencia a 1000 °C. Para temperaturas superiores a 1000 °C, los aceros con un 3% a 5% de silicio o un 10% de cromo y 3% de silicio son el menos atacable a altas temperaturas.

**Aceros al hidrógeno.**—De los combustibles (gas, gasolina, etc.) pueden estar sometidos a la corrosión por sulfuración, carburación y oxidación. Como consecuencia de estar sometidos a combustión con oxígeno, anhídrido de carbono, anhídrido de nitrógeno, etc. Cuando los aceros están sometidos, las reacciones pueden ser de oxidación y carburación, que se producen más o menos como en los aceros ferríticos con un 30% de cromo y 3% de silicio. Una buena resistencia a la oxidación se consigue con 80% de

níquel y 20% de cromo pueden utilizarse hasta los 1.200 °C. En los gases de combustión sulfurosos oxidantes el azufre se encuentra en forma de anhídrido sulfuroso y reduce sensiblemente la resistencia a la corrosión, aunque ésta es menor que en una atmósfera de sulfuro de hidrógeno. Cuando los gases de combustión son carburantes y el contenido de azufre sobrepasa los 3 g/m<sup>3</sup>, las aleaciones con contenidos de cromo inferiores al 16% son atacadas rápidamente. En general, los aceros refractarios sufren una sulfuración a temperaturas superiores a los 900 °C, y se puede considerar que las temperaturas de utilización disminuyen entre 100 °C y 200 °C en comparación con las de los gases libres del azufre. La mejor manera para reducir la corrosión de los aceros refractarios por efecto de las atmósferas sulfurosas es conseguir que la combustión sea completa y regular en los hornos, procurando que no haya exceso de hidrógeno y, por el contrario, exista un pequeño exceso de aire a fin de que no se produzca una carburación originada por el óxido de carbono y, seguidamente, una sulfuración de las zonas carburadas. Las válvulas empleadas en los motores de explosión están sometidas a gases de combustión con oxígeno, hidrocarburos, vapor de agua, óxidos de nitrógeno, anhídridos sulfurosos y sulfúricos, aldehídos, carbono libre y nitrógeno naciente. Cuando el combustible empleado es la gasolina y ésta contiene plomo tetraetilo, que es el antidetonante, el plomo aumenta la agresividad.

El acero de válvulas más económico y que posee mayor resistencia es el que contiene 0,45% de carbono, 9% de cromo y 3% de silicio.

### Aceros para herramientas

Los aceros para herramientas se utilizan principalmente en las fábricas de útiles necesarios para conformar los materiales de construcción, sea por deformación plástica o por eliminación, mediante corte, del sobrante del material. Las especiales condiciones de trabajo de las herramientas exigen que los aceros utilizados para ellas posean también unas características especiales, lo cual se consigue eligiendo adecuadamente los elementos de aleación y los tratamientos térmicos. Las características mecá-

nicas que interesan en los aceros para herramientas son las siguientes:

- Elasticidad.
- Tenacidad.
- Dureza.
- Resistencia al desgaste.
- Conservación de las características en caliente.
- Templabilidad.
- Indeformabilidad.

### Aceros al carbono

Son aquellos aceros en que los elementos aleados, por su bajo contenido, no tienen influencia sobre sus características mecánicas y su presencia es debida al proceso metalúrgico por el cual se obtienen. Los contenidos de carbono varían entre el 0,50% y el 1,40% dependiendo del porcentaje la dureza y la utilidad de cada tipo. Su penetración de temple es pequeña, originándose con el tratamiento una capa muy dura y un núcleo tenaz. Pierden sus características por encima de los 180 °C. Los más normales son:

■ **F-5110.**—Acero al carbono muy tenaz. Contiene entre 0,5% y 0,6% de carbono. Su dureza está entre 45 y 55 HRc. Se utiliza para herramientas agrícolas, alicates, tenazas y martillos.

■ **F-5120 = AISI/SAE W 112.**—Acero al carbono muy tenaz. Contiene entre 0,6% y 0,7% de carbono. Su dureza está entre 47 y 57 HRc. Se usa en herramientas para minas y carpintería, pinceles, martillos, tijeras, etc.

■ **F-5130.**—Acero al carbono tenaz. Tiene entre 0,7% y 0,8% de carbono. Su dureza está entre 55 y 62 HRc. Se utiliza en herramientas para minas y carpintería, cuchillas de cizallas, buterolas, matrices, mandíbulas de tornillo de banco, etc.

■ **F-5140.**—Acero al carbono tenaz duro. Contiene entre 0,8% y 0,9% de carbono. Su dureza, como en el anterior, varía entre 55 y 62 HRc. Es utilizado en matrices para embutir y estampar, punzones, troqueles, formones, cinceles, etc.

■ **F-5150.**—Acero duro suave. Contiene del 0,9% al 1% de carbono. Su dureza se sitúa



entre 60 y 64 HRc. Se utiliza para troqueles y estampas, machos de roscar, brocas finas, escariadores, punzones, cuchillas de cepilladoras, etc.

■ **F-5160.**—Acero muy duro. Contiene del 1% al 1,20% de carbono. Su dureza está, como en el anterior, entre 60 y 64 HRc. Se usa para terrajas, fresas, brocas, escariadores, mordazas, conos, cuchillas, etc.

■ **F-5170.**—Acero muy duro. Contiene entre 1,20% y 1,40% de carbono. Su dureza es superior a 64 HRc. Su utilización, básicamente, abarca limas, rasquetas, cuchillas de acabado, rocas, cuchillas para papel y tabaco, hileras, etcétera. Es un tipo de acero que debe ser templado en muy buenas condiciones, ya que en su aplicación pueden llegar a escarbotarse o agrietarse debido a su gran dureza. Se emplea para matrices y punzones, cuchillas para cortar en caliente, estampas para forja, moldes para fundición inyectada, etc.

### Aceros resistentes al desgaste

Tienen la ventaja de que mecanizan mejor que los aceros indeformables, manteniendo un grado medio de indeformabilidad, dureza y resistencia. Templan de 800° a 860° y con una dureza entre 60 HRc. Dentro de este grupo se pueden considerar los aceros F-5230, F-5233 y F-5237.

### Aceros para trabajos en caliente

Son aquellos que su temperatura de trabajo se eleva por encima de 200 °C. Entre las herramientas que pueden trabajar a estas temperaturas se citan tornillos, remaches, bulones, etc.

■ **F-5270.**—Acero para trabajos en caliente, bajo en wolframio. Sus porcentajes son 0,3% a 0,4% de carbono, 1% de silicio, 1,5% de cromo, 4% de wolframio y 0,20% de molibdeno. Su dureza se encuentra entre 40 y 50 HRc. Tiene muy buena combinación de resistencia en caliente y tenacidad. Resiste mejor los choques que el anterior. Se utiliza en matrices para fabricar tubos de cinc y plomo, y moldes de fundición inyectada de metales de bajo punto de fusión.

■ **F-5280.**—Acero para matrices en caliente, el cromo-níquel-molibdeno. Contiene 0,4% a 0,5% de carbono, 0,65% de cromo, 0,6% a 1,3% de níquel y 0,3% a 0,6% de molibdeno.

Su dureza está entre 40 y 50 HRc. Es un acero de alta tenacidad y resistencia en caliente. Se usa para matrices de tamaño grande y mediano para estampar en caliente acero y metales no férreos, piezas para automóvil y maquinaria, herramientas para extrusión de metales no férreos, etc.

■ **F-5290.**—Acero al cromo para estampado en caliente. Contiene 0,5% a 0,6% de carbono, 0,6% a 0,9% de manganeso y 1% de cromo. Su dureza está comprendida entre 32 y 37 HRc. Se utiliza para matrices de forja y estampación en caliente.

### Aceros de corte aleados

Este grupo comprende diversos tipos de aceros de baja o media aleación destinados a la fabricación de herramientas de corte que deban trabajar en condiciones muy severas. Sus características son intermedias entre las de los aceros al carbono y las de los aceros rápidos. Su contenido de carbono varía entre el 0,60% y el 1,50%, según la aplicación, empleándose los de más alto porcentaje para fabricar herramientas de limar; los de contenido medio para herramientas de corte, como brocas y machos de roscar, y los de menor contenido para herramientas que requieran gran tenacidad. Los tipos normalizados son:

■ **F-5310 = AISI/SAE H10.**—Acero al cromo tungsteno, de gran dureza, para herramientas. Contiene 1,25% a 1,50% de carbono, 0,4% a 0,6% de cromo y 3,5% a 4,5% de tungsteno (el vanadio es opcional). Su dureza está entre 60 y 65 HRc. Posee gran resistencia al desgaste, cinco veces superior a la de los aceros al carbono para herramientas. Se emplea para cuchillas de torneado y acanalar cilindros de fundición, para laminar en caliente, rasquetas y sierras para metales, hileras para estirar en frío, etc.

■ **F-5320 = AISI/SAE H21.**—Acero al tungsteno, para brocas. Contiene 1,1% a 1,2% de carbono y 0,9% a 1,1% de tungsteno. Su dureza es de 60 y 64 HRc. Es el acero clásico para la fabricación de brocas, mandriles, avellanadores, escariadores, fresas, terrajas, machos de roscar, etc.

■ **F-5330.**—Acero al cromo, para limas. Contiene 1,15% a 1,30% de carbono y 0,5% a



50 HRc. Es un acero de alta resistencia en caliente. Se emplea para el tamaño grande y mediano de acero y metales no ferrosos en máquinas móviles y maquinaria, y para la fundición de metales no ferrosos.

Este acero es adecuado para estampación en caliente, para el tamaño grande y mediano de acero y metales no ferrosos en máquinas móviles y maquinaria, y para la fundición de metales no ferrosos.

Tipos

Existen diversos tipos de aceros rápidos destinados a las aplicaciones de corte que deban soportar condiciones muy severas. Sus características difieren de las de los aceros rápidos comunes. Su contenido en carbono está entre el 0,60% y el 1,20%, empleándose los tipos para fabricar herramientas de corte de tamaño medio para herramientas de corte como brocas y machos de corte, y para herramientas de corte de tamaño grande para herramientas de corte de gran tenacidad. Los tipos

**AE H10.**—Acero al carbono de alta dureza, para herramientas de corte. Contiene 1,50% de carbono, 0,50% de cromo y 3,5% a 4,5% de tungsteno (opcional). Su dureza es superior a la de los aceros rápidos. Posee gran resistencia superior a la de los aceros rápidos. Se emplea para cortar y acanalar cilíndricamente en caliente, raspar, hileras para esti-

**AE H21.**—Acero al carbono de alta dureza, para herramientas de corte. Contiene 1,1% a 1,2% de carbono, 0,50% de tungsteno. Su dureza es superior a la de los aceros rápidos. Se emplea para cortar mandriles, avellanar, y para herramientas de corte como brocas, machos de

cromo, para limas. Su contenido en carbono y 0,5% a

1% de cromo. Su dureza está comprendida entre 60 y 64 HRc. Es una variante del acero al carbono para limas. La adición de cromo mejora su templabilidad. Se emplea para limas y también para herramientas de todo tipo.

■ **F-5340.**—Acero semirrápido, para herramientas. Posee 0,65% a 0,75% de carbono, 3,5% a 4,5% de cromo, 9% a 11% de tungsteno y 0,45% a 0,6% de vanadio. Su dureza, al igual que en el anterior, está entre 60 y 64 HRc. Este acero puede trabajar en cuchillas de corte a grandes velocidades. Se utiliza para fundición dura y aceros, cuchillas circulares, cuchillas para cepillar y fresar, etc.

■ **F-5350.**—Acero inoxidable, para herramientas. Sus porcentajes son de 0,3% a 0,4% de carbono y 13% a 14% de cromo. Su dureza está entre 40 y 50 HRc. Este acero es prácticamente igual que el AISI-312 para cuchillería. Este acero inoxidable, debido a su alto porcentaje de cromo, es uno de los que presenta mayor resistencia a la oxidación. Al mismo tiempo, es fácilmente trabajable con los elementos normales de que se dispone. Es también uno de los aceros que se emplea para instrumental quirúrgico, como pinzas, tijeras, tenazas, etc.

### Aceros rápidos

Su característica más importante es que las herramientas construidas con ellos pueden trabajar a velocidades de corte muy elevadas (14 m/min.) y a temperaturas de 600 °C sin que sus filos pierdan la capacidad de corte (tabla XII). Los aceros rápidos contienen, fundamentalmente, proporciones elevadas de tungsteno, cobalto y molibdeno, y, secundariamente, cromo y vanadio. El carbono está en una proporción elevada, oscilando entre 0,65 y 0,85 su porcentaje.

Clase de acero de la herramienta	m/minuto
Aceros al carbono.....	1
Aceros al 4% de wolframio, 0,50% de Cr (F-531).....	5,60
Aceros al 10% de wolframio (F-534).....	8,20
Aceros rápidos.....	14
Aceros extrarrápidos.....	17 a 19

Tabla XII. Velocidades de corte de cuchillas de diferentes aceros.

Las propiedades de los aceros rápidos son:

- Estabilidad al revenido.
- Dureza en caliente.
- Resistencia al desgaste.

Estas se consiguen mediante dosificaciones adecuadas de los elementos aleantes y por tratamientos térmicos apropiados para obtener la estructura más conveniente, que es la formada por carburos muy duros y finamente dispersos en una matriz resistente al ablandamiento por calentamiento. Se dividen en dos grandes grupos: aceros al tungsteno y aceros rápidos al cobalto o extrarrápidos.

### 1. Aceros rápidos al tungsteno

Tienen un porcentaje elevado de tungsteno, del orden del 13% al 19%, y se usan generalmente como herramientas de corte. Los tipos normalizados son:

■ **F-5510.**—Acero rápido al 14% de tungsteno. Contiene 0,65% a 0,75% de carbono, 14% de tungsteno, 4% de cromo y 1% de vanadio. Se emplea para herramientas de corte, de torneado y cepillar, y para aceros suaves y semi-duros y cuchillas circulares.

■ **F-5520 = AISI/SAE T1.**—Acero rápido al 18% de tungsteno. Sus porcentajes son 0,7% a 0,75% de carbono, 18% de tungsteno, 4% de cromo y 1,1% de vanadio. Es el mejor acero rápido para usos generales. Posee gran tenacidad, elevada capacidad de corte. Utilizado para trabajos pesados de desbaste, brocas, escariadores, fresas, herramientas de corte, cuchillas de cepillar, peines de roscar, etc.

### 2. Aceros rápidos con cobalto o extrarrápidos

El cobalto aumenta la dureza en caliente, permitiendo a la herramienta mantener una elevada dureza a altas temperaturas, pero tiende a producir descarbonización en los tratamientos térmicos.



Los aceros rápidos con cobalto se adaptan mejor a operaciones de desbaste que de acabado y son muy aptos para mecanizar materiales de viruta corta, como fundición y metales no férreos. Sólo deben emplearse cuando puedan aprovecharse de ellos las ventajas que el cobalto les proporciona, por ejemplo, para cortes profundos y elevadas velocidades de corte (17-19 m/min.), y para materiales duros o con costra. Los tipos normalizados son:

■ **F-5530 = AISI/SAE T4.**—Acero extrarrápido con 5% de cobalto. Contiene 0,75% a 0,80% de carbono, 18% de tungsteno, 5% de cobalto, 1% de molibdeno, 4% de cromo y 1% de vanadio. Se utiliza para herramientas de torno, escariado y torneado de hierro fundido, fundición gris templada, aceros aleados y metales no férreos. También para sectores cambiables de sierras circulares, machos de roscar, etc.

■ **F-5540 = AISI/SAE T5.**—Acero extrarrápido con 10% de cobalto. Su porcentaje es de 0,75% de carbono, 18% de tungsteno, 10% de cobalto, 1% de molibdeno, 4% de cromo y 1% de vanadio. Es el acero de mayor rendimiento de corte con grandes velocidades y fuertes pasadas para materiales muy duros. No sirve para

herramientas finas o delicadas por su alta temperatura de temple.

### FUNDICIONES

Todas las aleaciones hierro-carbono cuyo contenido en carbono es mayor del 1,76%. La fundición es una aleación hierro-carbono-silicio con los límites usuales de carbono entre 2,5% a 4,5%, silicio entre 0,5% a 4% y conteniendo además, como impurezas, cantidades variables de manganeso, fósforo y azufre. Puede contener otros elementos, como cromo, níquel, molibdeno, etc. Las fundiciones tienen características que las hacen aptas para muchas aplicaciones: resistencia a la compresión hasta 100 kg/mm<sup>2</sup>, muy buena resistencia al desgaste, capacidad para absorber vibraciones mayores que la del acero, cualidades autolubricantes y más resistencia a la oxidación que la del acero al carbono.

### Clasificación según su composición

Las fundiciones pueden clasificarse con arreglo a la tabla XIII. Debemos decir que no se van a explicar todas las variedades diferentes de fundiciones.

FUNDICIONES ORDINARIAS .....	<ul style="list-style-type: none"> <li>Blancas</li> <li>Grises                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Ferríticas</li> <li>Grises ordinarias</li> <li>Perlíticas</li> </ul> </li> <li>Atruchadas</li> </ul>
FUNDICIONES ALEADAS .....	<ul style="list-style-type: none"> <li>De baja aleación                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Resistentes a la rotura</li> <li>Resistentes al desgaste</li> <li>Resistentes al calor</li> <li>De alta dureza</li> </ul> </li> <li>De alta aleación                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Al níquel</li> <li>Al cromo</li> <li>Al silicio</li> <li>Al aluminio</li> </ul> </li> </ul>
FUNDICIONES ESPECIALES .....	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maleables                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Corazón blanco (europeas)</li> <li>Corazón negro (americanas)</li> <li>Maleable perlítica</li> </ul> </li> <li>De grafito esferoidal</li> <li>De grafito difuso</li> </ul>

Tabla XIII. Clases de fundiciones.



...cadas por su alta tem-

...s hierro-carbono cuyo  
...mayor del 1,76%. La  
...a hierro-carbono-silicio  
...carbono entre 2,5% a  
...a 4% y conteniendo  
...cantidades variables  
...azufre. Puede contener  
...omo, níquel, molibde-  
...tienen características  
...muchas aplicaciones:  
...ón hasta 100 kg/mm<sup>2</sup>,  
...desgaste, capacidad  
...es mayores que la del  
...ricantes y más resisten-  
...del acero al carbono.

### su composición

...den clasificarse con  
...emos decir que no se  
...variedades diferentes

...es a la rotura  
...es al desgaste  
...es al calor  
...ureza

...blanco (europeas)  
...negro (americanas)  
...perlítica

## Fundiciones ordinarias

Unicamente contienen hierro, carbono y pequeñas cantidades de silicio, manganeso, azufre y fósforo. Por su aspecto se clasifican en grises, blancas y atruchadas.

### 1. Fundiciones grises

Esta denominación se debe al aspecto que presenta la superficie de fractura, en la cual la mayor parte del carbono está en forma de grafito. Al solidificarse en un molde de arena seca, precipita todo o parte del carbono en grafito. Las fundiciones grises tienen un peso específico de 7,25, inferior al de las blancas, que es de 7,7, porque el carbono en forma de grafito posee un volumen mayor que combinado con el hierro en forma de cementita. Esto se traduce en un aumento de volumen de las fundiciones grises al enfriarse, entre los 1.000 °C y 800 °C, o sea, las temperaturas en que se forma el grafito.

Se pueden dividir como sigue:

**Perlítica.**—Contiene el carbono combinado necesario para formar perlita con todo el hierro existente (Fig. 51). También se llama tenaz por sus buenas propiedades y es la estructura preferida por todos los fabricantes de piezas. Sus constituyentes estructurales son perlita y grafito. Posee, aproximadamente, un 0,80% de carbono. La resistencia a la tracción de las fundiciones perlíticas varía de 20 a 35 kg/mm<sup>2</sup> y su dureza de 180 a 250 HB, teniendo gran resistencia al desgaste.

**Ferrítica.**—Contiene menos carbono combinado que la anterior y sus constituyentes estructurales son ferrita y grafito.

**Ordinaria.**—Cuando el porcentaje de carbono es superior al de la perlítica. A este grupo pertenecen las fundiciones atruchadas, con fractura más o menos blanca según el porcentaje de carbono combinado y con manchas grises. Sus constituyentes principales son: perlita, grafito y cementita. Las fundiciones se mecanizan con facilidad y tienen una elevada moldeabilidad. Se emplean para bancadas de máquinas, cárters, bloques de cilindros, tubos, culatas, pistones, etc.

### 2. Fundición blanca

Son aleaciones Fe-C constituidas por perlita y cementita. El porcentaje de carbono oscila



Fig. 51. Fundición gris perlítica  $\times 200$ . Carbono en forma de cementita 0,85%. Carbono total 3,40%.

entre 1,76% y 6,67%, y cuanto más alto es, mayor es el porcentaje de cementita, desde el 27% que tiene con un 1,76% de carbono hasta el 100% cuando hay un 6,67% de carbono, y la perlita disminuye desde el 85% hasta cero. Las fundiciones blancas con un 4,3% de carbono se denominan fundiciones eutécticas (Fig. 52). Las que tienen menos de un 4,3% se llaman hipoeutécticas, y finalmente, aquellas cuyo carbono oscila entre el 4,3% y el 6,67% son las hipereutécticas. Las fundiciones blancas hipoeutécticas tienen una estructura, observable al microscopio, formada por agrupaciones derivadas de la ledeburita, compuestas por cementita y perlita; en cambio, la microestructura de las fundiciones blancas hipereutécticas está formada por grandes masas de cementita primaria rodeadas también de agrupaciones de perlita y cementita, derivadas de la ledeburita. Estas fundiciones, en general, son muy duras, de 300 a 350 HB, pero frágiles y de poca tenacidad. Se emplean para elaboración por su gran dureza superficial y su resistencia al desgaste (rodillos, laminadores, levas, asientos de válvulas, etc.). Suelen utilizarse también para obtener fundiciones maleables.

### Fundiciones aleadas

Son las que contienen elementos de aleación destinados a modificar sus propiedades, que suelen ser: níquel, cromo, molibdeno, cobre, etc., y también silicio, fósforo y manganeso, en cantidades superiores a lo normal, con el objeto de conferir al producto ciertas características especiales. El cromo, el manganeso y el molibdeno forman carburos con el carbono y se oponen a la grafitación, favoreciendo así la



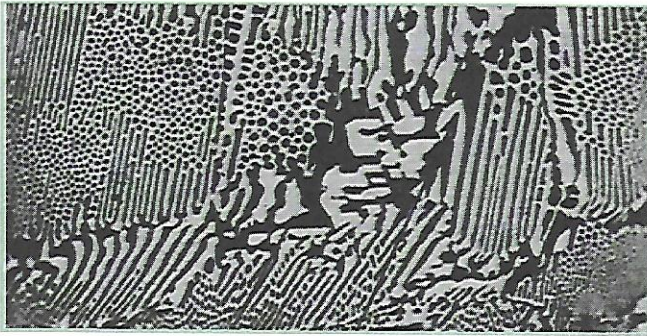


Fig. 52. Fundición blanca eutéctica de 4,3 % de C  $\times$  250.

formación de la fundición blanca. Además de los elementos antes citados, las fundiciones aleadas pueden contener lo mismo que las comunes: azufre, fósforo, oxígeno e hidrógeno. El azufre favorece la formación de cementita y se opone a la grafitación del carbono; al combinarse con el manganeso, origina sulfuro de manganeso, y como en este compuesto químico ni el azufre ni el manganeso tienen ninguna influencia sobre la grafitación, resulta que, si se añade azufre a una fundición que contiene manganeso, al principio aquél neutraliza a éste y favorece la grafitación, y sólo en cantidades mayores provoca la formación de cementita. El fósforo se añade a las fundiciones a fin de aumentar su fluidez cuando se quiere fabricar piezas de formas complicadas. Este efecto se debe a que se forma steadita, cuyo punto de fusión es muy bajo y hace descender el de la fundición. El oxígeno se encuentra en las fundiciones a modo de inclusiones no metálicas de óxido de hierro, óxido de manganeso, óxido de aluminio y óxido de silicio. El oxígeno se opone a la grafitación del carbono y disminuye la fluidez del metal en la colada. El hidrógeno es un elemento indeseable en las fundiciones y se presenta como una impureza gaseosa que produce fundiciones porosas. Proviene del vapor de agua, del aire soplado y de la humedad del coque y de la arena de los moldes.

### Fundiciones especiales

Las fundiciones son muy sensibles al espesor de la pared, espesor determinado por el carbono y el silicio, los cuales deben ser dosificados de manera que produzcan fundiciones en que la distribución del grafito sea máxima y lo más fina posible. Con este objetivo, se han elab-

orado varias calidades de fundición menos sensibles al espesor de la pared, entre las cuales cabe mencionar la llamada «Mechanite», o fundición gris inoculada, una fundición blanca de composición especial a la que se añade, en estado líquido, un inoculante de calcio-silicio que mejora sus propiedades, aumentando notablemente su resistencia a la tracción y evitando que aparezcan zonas blancas. Contiene un 2,8% de carbono y un 1,1% de silicio.

### 1. Fundición maleable

Para mejorar las características de las fundiciones conservando las buenas cualidades (moldeabilidad, resistencia a la corrosión, etc.) se someten las fundiciones blancas a un proceso de maleabilidad en estado sólido. De este modo se logran tenacidades, resistencias y mecanibilidades superiores a las de las fundiciones y muy parecidas a las del acero. Existen dos tipos de fundiciones maleables:

a) *Fundición maleable europea o de núcleo blanco*. Este tipo de fundición se realiza partiendo de piezas moldeadas con fundición blanca (Fig. 53) y aunque éstas, teóricamente, pueden tener cualquier porcentaje de carbono, interesa que sea lo más bajo posible, para disminuir el que se deba transformar o eliminar. El porcentaje de silicio debe variar, según el espesor de las piezas, entre 0,60% y 1,5%. El recorrido para maleabilizar la fundición blanca por el procedimiento europeo se hace envolviendo las piezas con un material oxidante, como mineral de hierro, cascarillas de laminación, etc., y colocándolas dentro de cajas cerradas que se calientan en un horno a temperaturas de 900 °C a 1.000 °C. El proceso dura seis días. Por medio

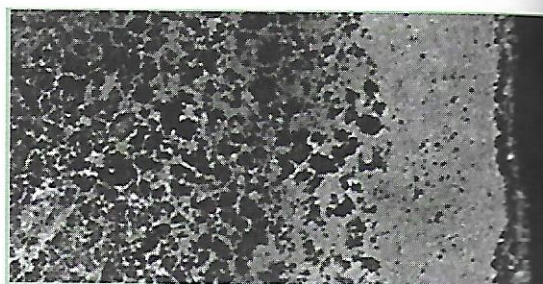


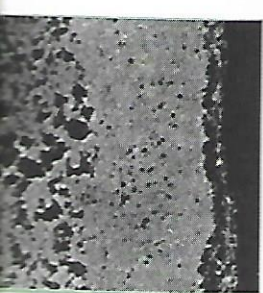
Fig. 53. Fundición maleable de corazón blanco  $\times$  100.



calidades de fundición  
es al espesor de la pared,  
s cabe mencionar la lla-  
«nitrato», o fundición gris  
la fundición blanca de  
especial a la que se  
líquido, un inoculante  
que mejora sus propie-  
tando notablemente su  
tracción y evitando que  
las blancas. Contiene un  
y un 1,1% de silicio.

características de las fun-  
las buenas cualidades  
ncia a la corrosión, etc.)  
nes blancas a un proce-  
estado sólido. De este  
dades, resistencias y me-  
a las de las funciones y  
acero. Existen dos tipos  
es:

able europea o de nú-  
de fundición se realiza  
bladeadas con fundición  
ue éstas, teóricamente,  
porcentaje de carbono,  
bajo posible, para dis-  
nsformar o eliminar. El  
de variar, según el espe-  
0,60% y 1,5%. El reco-  
la fundición blanca por  
eo se hace envolviendo  
rial oxidante, como mi-  
las de laminación, etc.,  
e cajas cerradas que se  
temperaturas de 900 °C  
ura seis días. Por medio



de corazón blanco × 100.

de este recocido se descarbura la fundición blanca por la acción oxidante de la cascarilla que rodea las piezas. Primero se descarbura una zona superficial y después, por difusión del carbono del interior hacia el exterior, se descarbura la totalidad de las piezas, si no son de mucho espesor. Estas fundiciones son soldables estructuralmente (por fusión).

b) **Fundición maleable americana o de núcleo negro.** Es la fundición maleable blanca en la cual el carbono se presenta en forma de grafito nodular sumamente dividido (Fig. 54). El proceso de descaburación se efectúa en un ambiente neutro, lográndose con él características superiores a las de la europea. El enfriamiento es muy lento y controlado. La estructura puede ser ferrítica o perlítica, con nódulos de grafito uniformemente distribuidos. La fundición perlítica se produce con una composición similar, pero mediante un proceso de recocido diferente. Las fundiciones americanas tienen que recibir este tratamiento, no el de las europeas, porque son diferentes a éstas, pobres en azufre y ricas en silicio. Hay una fundición denominada semimaleable, que por su composición solidificaría en gris, pero solidifica en blanco gracias a un enfriamiento rápido. Con este procedimiento, su resistencia a la tracción llega hasta los 38 kg/mm<sup>2</sup> y su alargamiento es del 10% al 20%.

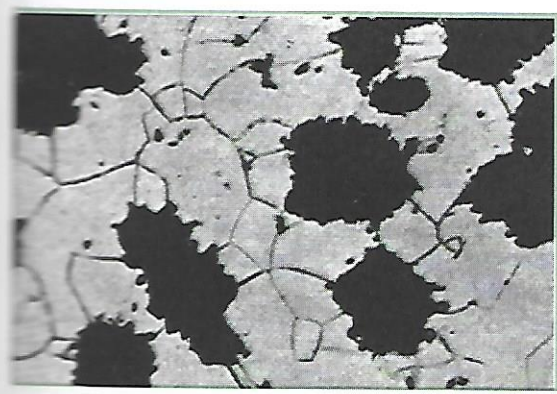


Fig. 54. Fundición maleable de corazón negro. Nódulos de grafito sobre ferrita × 250.

**2. Fundición nodular o de grafito esferoidal**

Las fundiciones de este tipo tienen el grafito en forma de nódulos o esferoidal (Fig. 55). Para su obtención se parte de fundiciones grises ordinarias a las cuales, en la colada, se les

añade magnesio a razón de 200 g por tonelada. Las fundiciones de grafito esferoidal responden a los tratamientos térmicos de forma muy parecida a como lo hacen los aceros. Se templen entre 850 °C y 925 °C y se enfrían en aceite. El revenido disminuye su resistencia y dureza y aumenta su tenacidad, dependiendo los resultados de la temperatura. El recocido se realiza calentando a 900 °C y enfriando hasta 650 °C en el horno, y después al aire. Estas fundiciones, una vez templadas y revenidas, llegan a alcanzar una resistencia de 90 kg/mm<sup>2</sup> y un alargamiento del 4%.

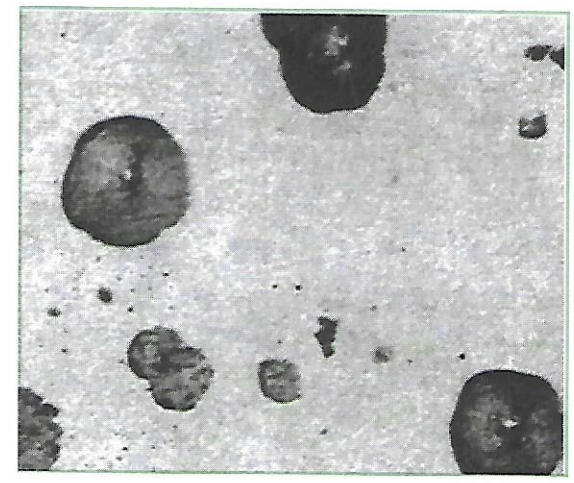


Fig. 55. Fundición gris ordinaria y grafito en forma esferoidal.

**Fundición endurecida o templada**

Es la fundición gris enfriada rápidamente durante la solidificación, por ejemplo, sustituyendo total o parcialmente la superficie del molde de arena por uno metálico, con lo que se obtiene una capa superficial que presenta el aspecto de una fundición blanca, siendo de fundición gris la zona enfriada más lentamente. La superficie alcanza una dureza de 400-500 HB. Aunque se dice que las piezas obtenidas por este procedimiento son de fundición templada, no ha habido ningún temple, sino sólo una transformación de la zona superficial, de fundición gris a fundición blanca. Se aplica mucho para la fabricación de cilindros de laminación y ruedas de ferrocarril, cuya banda de rodadura queda así muy dura, y el resto de la rueda, con mejor tenacidad (Fig. 56).



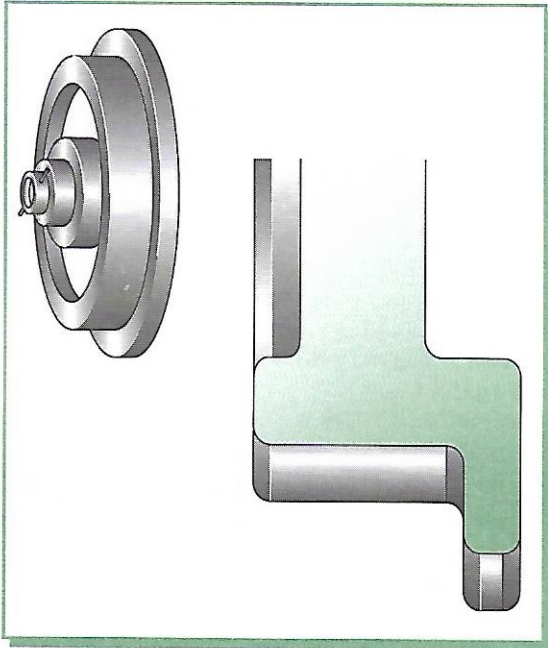


Fig. 56. Sección transversal de rueda de ferrocarril de fundición templada.

### Clasificación según su proceso de elaboración

Teniendo en cuenta su origen o proceso de elaboración, las fundiciones se pueden clasificar en fundiciones de primera fusión, de segunda fusión, maleables, endurecidas o templadas y nodulares.

#### Fundición de primera fusión

Es la que se origina en el alto horno al reducir con carbono el mineral de hierro. En estado líquido, se llama arrabio. Por su composición y estructura, no suelen emplearse directamente en la fabricación de piezas. Se dedica a la obtención de lingotes o, todavía líquida, a su afino, para la fabricación de otros productos.

#### Fundición de segunda fusión

Es la que resulta de fundir la fundición de primera fusión, mezclada con chatarra de fundición y acero, con lo que quedan eliminadas gran parte de las impurezas que contiene. Su elaboración se realiza en cubilotes, hornos eléctricos, etc.

## METALES NO FERREOS

### Aleaciones ligeras

#### Metales industriales no férreos

Los productos siderúrgicos ocupan actualmente un lugar preferente en el conjunto de los materiales metalúrgicos debido a la gran variedad de características que se pueden conseguir a un coste relativamente bajo, mediante fundición, forja, mecanizado, soldadura, etc., complementadas además por los tratamientos térmicos.

No obstante, la mayoría de los productos férreos presentan el inconveniente de corroerse con facilidad o, en otros casos, sus propiedades no son satisfactorias para ciertas aplicaciones. Por otra parte, por exigencias de la técnica se ha impuesto una disminución de peso a igualdad de resistencia y una mayor resistencia mecánica y a la corrosión a temperaturas elevadas. Por las razones expuestas, se utilizan otros metales y aleaciones distintas de las siderúrgicas como cobre, aluminio, magnesio, plomo, estaño, cinc, etc.

#### Aleaciones ligeras

El carácter principal de estas aleaciones radica en su reducido peso específico y en ser el aluminio el elemento base de las mismas. Como el aluminio es un metal de características mecánicas débiles, se usa aleado con gran variedad de elementos (cobre, magnesio, cinc, manganeso, níquel, hierro, silicio, titanio, cromo, etc.) que mejoran dichas características y lo hacen más fácil de moldear o conformar en frío y en caliente. Además, afectan a otras características, como resistencia a la corrosión y a fatiga, ductilidad, etc. Según el fin a que se destinan las aleaciones de aluminio se pueden dividir en dos grandes grupos: aleaciones para moldeo y aleaciones para forja.

#### 1. Aleaciones para moldeo

El aluminio es muy difícil de moldear por su elevado coeficiente de contracción y su gran capacidad de absorber gases; por consiguiente, cuando se desea obtener piezas de colada directa, es preciso evitar grietas, roturas y porosi-