

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-

dades con las denominadas. El número de patentes clasificadas, cada uno de los individuos. Cada uno de los elementos que en ella de la sílaba Fu, y año porcentaje del seguro en que figuran en la por ejemplo: Fusión de Al-Cu-Zn con u

#### 2. Aleaciones para forja

Cuando deben utilizarse, al fabricar piezas estampadas, etc., se emplea, en las cuales los elementos aleantes son: Casi todas ellas son de alta resistencia mecánica (resistencia a la tracción y de homogeneización y maduración) para hacerlas más

Densidad	.....
Módulo elástico	.....
Peso atómico	.....
Coeficiente de dilatación	.....
Peso específico	.....
Resistencia eléctrica	.....
Conductividad térmica	.....
Coefficiente de dilatación	.....
Punto de fusión	.....
Calor latente de fusión	.....
Calor específico medio	.....
Punto de ebullición	.....
Calor de combustión	.....

Tabla 20. Constantes físicas

Según el proceso de fabricación y aplicaciones, se clasifican en:

- Aluminio de 99,7%
- Aluminio de 99%

dades con las denominadas aleaciones para moldeo. El número de éstas es muy elevado, pudiéndose clasificar en cuatro grupos principales, cada uno de los cuales se subdivide en individuos. Cada aleación se designa ligando fonéticamente los símbolos químicos de los elementos que en ella intervienen, precedidos de la sílaba *Fu*, y añadiendo a continuación el porcentaje del segundo elemento en el orden en que figuran en la norma correspondiente; por ejemplo: Fualcuzin 7 (corresponde a la aleación Al-Cu-Zn con un 7% de Cu).

## 2. Aleaciones para forja

Cuando deben alcanzarse grandes resistencias, al fabricar piezas por laminado, forjado, estampado, etc., se utilizan las aleaciones para forja, en las cuales los porcentajes de los elementos aleantes son inferiores a las anteriores. Casi todas ellas son susceptibles de tratamiento térmico (recocidos de estabilización, contra acritud y de homogeneización, temple de precipitación y maduración artificial), lo que permite variar sus características, dentro de ciertos límites, para hacerlas más adecuadas a las aplica-

ciones que se les dan. Se clasifican, respecto al elemento principal, en cuatro grupos, y cada grupo se subdivide en individuos. Se designan como las anteriores, pero sólo con los símbolos químicos, o sea, sin la sílaba *Fu*. La propiedad química más destacada del aluminio es su gran afinidad con el oxígeno, por lo que se utiliza para la fabricación de explosivos. Es completamente inalterable en el aire, ya que se recubre de una capa de óxido muy delgada, de algunas centésimas de micra, que protege al resto de la masa respecto de la oxidación. Al mismo tiempo las aleaciones del aluminio, debido a su inalterabilidad a los agentes atmosféricos, son muy apreciadas tanto en cerrajería como en carpintería metálica, tan utilizada en la actualidad.

## Aluminio

Es el metal más abundante en la naturaleza y se encuentra en gran número de minerales (feldespato, arcilla, corindón, etc.), siendo la auxita y la criolita los empleados en su metalurgia. Se obtiene mediante proceso electrolítico. Sus principales características, cuando está prácticamente puro, son (tabla XIV):

Símbolo.....	Al
Número atómico.....	13
Peso atómico.....	26,98
Cristalización en la red cúbica centrada en las caras.....	$a = 4,04^{\text{Å}}$ cm.
Peso específico.....	2,699
Resistividad eléctrica a 20°.....	2,655 microohms cm <sup>2</sup> /cm.
Conductividad calorífica a 0°.....	0,53 cal/cm. × S °C.
Coefficiente de dilatación lineal de 20° a 100°.....	$23,6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ .
Punto de fusión.....	660°
Calor latente de fusión.....	94,5 calorías/g.
Calor específico medio.....	0,215 ca/g °C.
Punto de ebullición.....	2.450°
Calor de combustión.....	380,8 Kcal/mol.

Tabla XIV. Constantes del aluminio.

Según el proceso de elaboración, su pureza y aplicaciones, se distinguen las siguientes variedades:

- Aluminio de primera fusión (93% a 99,7%).
- Aluminio de segunda fusión (98% a 99%).

- Aluminio para desoxidación del acero (86% a 92%).
- Aluminio de 99,5% para forja.
- Aluminio de 99% para forja.

Las dos variedades de aluminio para forja se suministran en forma de laminado y chapas y tienen distintos grados de acritud (semiduro o

duro) o están cocidas. Sus aplicaciones son muy numerosas, debido a sus características: Por su bajo peso específico, se emplea en construcciones de estructura metálica, construcciones aeronáuticas y vehículos de transporte (trenes, automóviles, etc.). Por su buena conductibilidad eléctrica, se usa como conductor en líneas de alta tensión. Por su resistencia a la corrosión para utensilios de cocina, depósitos, chapas para cubiertas de edificios, etc.

### Aleaciones ultraligeras

Las aleaciones cuyo metal básico es el magnesio son denominadas ultraligeras y se caracterizan principalmente por su bajo peso específico (menos de  $2 \text{ kg/dm}^3$ ), al cual deben su amplio campo de aplicación. Los elementos que se añaden al magnesio son aluminio, cinc y manganeso, actuando los dos primeros como endurecedores y el manganeso para mejorar la resistencia a la corrosión. Las aleaciones de magnesio más empleadas son las conocidas comercialmente como metales electrón. Existen aleaciones para moldeo y aleaciones para forja.

### Magnesio

Se encuentra en la naturaleza formando minerales como la dolomita dolomía (carbonato cálcico magnésico) y la magnesita (carbonato de magnesio). Es el más ligero de los minerales industriales. Sus principales características están reflejadas en la tabla XV.

El magnesio es relativamente frágil y no tan plástico como el hierro, cobre, aluminio, etc. No suele deformarse en frío. A una temperatura de  $300^\circ\text{C}$ , se deforma con más facilidad que el acero. Debido a que, por encima de cierta temperatura ( $310^\circ\text{C}$ ) se inflama espontáneamente en contacto con el aire, dando una luz blanca muy intensa, antiguamente se empleaba en fotografía.

La principal utilidad del magnesio radica en la preparación de aleaciones ligeras y ultraligeras destinadas a la fabricación de pistones, cárters, hélices, ruedas y trenes de aterrizaje de aviones, etc. Su elevada tendencia a la corrosión en atmósferas marinas constituye el principal obstáculo para su desarrollo industrial. También se emplea, aunque moderadamente, en las ferroaleaciones (Fe-Si-Mg) para obtener la fundición nodular.

Símbolo.....	Mg
Número atómico.....	12
Peso atómico.....	24,32
Cristalización en la red hexagonal compacta.....	$a = 3,202^{\text{a}} \text{ cm.}$ $c = 5,199^{\text{a}} \text{ cm.}$
Peso específico.....	1,74
Resistividad eléctrica a $20^\circ$ .....	4,45 microohms $\text{cm}^2/\text{cm.}$
Conductividad calorífica a $0^\circ$ .....	0,376 $\text{cal./cm} \times S^\circ\text{C.}$
Coefficiente de dilatación lineal de $20^\circ$ a $100^\circ$ .....	$27,1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
Punto de fusión.....	$65 \pm 02$
Calor latente de fusión.....	$88 \pm 2 \text{ calorías/g.}$
Calor específico medio.....	0,245 $\text{cal/g}^\circ\text{C}$
Punto de ebullición.....	$1.107^\circ$
Calor de combustión.....	7.403 $\text{cal/g.}$

Tabla XV. Constantes del magnesio.

### El cobre y los latones

#### Cobre

El cobre se encuentra en la naturaleza en diversos estados, integrando minerales como la calco-pirita y la calcosina (que forman sulfuros), la malaquita y la azurita (que forman carbonatos) y la cuprita (que es un óxido). También en

estado nativo, pero en pequeñas cantidades. La obtención del cobre se realiza por medio de dos procedimientos fundamentales, que son:

1. *Por vía seca.* Se parte de minerales sulfurados que casi siempre contienen hierro, los cuales se someten a procesos de tostación, fusión y afino en hornos de reverbero y afino por electrólisis. Son sus fases:

...naturaleza formando mi-  
...la dolomía (carbonato  
...magnesita (carbonato de  
...ro de los minerales in-  
...s características están

...amente frágil y no tan  
...bre, aluminio, etc. No  
...A una temperatura de  
...más facilidad que el  
...encima de cierta tem-  
...a espontáneamente en  
...o una luz blanca muy  
...empleaba en fotografía.  
...del magnesio radica  
...ciones ligeras y ultrali-  
...ricación de pistones,  
...trenes de aterrizaje de  
...tendencia a la corro-  
...s constituye el princi-  
...desarrollo industrial.  
...que moderadamente,  
...e-Si-Mg) para obtener

32  
3,202<sup>8</sup> cm.  
5,199<sup>8</sup> cm.  
5 microohms cm<sup>2</sup>/cm.  
76 cal./cm × S °C.  
1 × 10<sup>-6</sup>/°C  
± 02  
± 2 calorías/g.  
45 cal/g °C  
07°  
03 cal/g.

...ueñas cantidades. La  
...liza por medio de dos  
...tales, que son:

...te de minerales sulfu-  
...contienen hierro, los  
...esos de tostación, fu-  
...reverbero y afino por

— Concentrar mineral por flotación a fin de eliminar parte de la ganga y conseguir un porcentaje de cobre de alrededor del 20%.

— Eliminar parcialmente el hierro por tostación, que suprime parte del azufre, el cual se utiliza para la fabricación de ácido sulfúrico, quedando un producto, denominado mata, formado por sulfuros de cobre y de hierro.

— Oxidar la mata para eliminar el hierro que queda de la tostación.

— Afinar el cobre por oxidación, y luego reducción. Finalmente, afinar por electrólisis hasta conseguir una pureza del 99,99%.

2. *Por vía húmeda.* Procedimiento empleado para minerales pobres que implica la transformación en sulfatos y la precipitación de la solución resultante. Las dos fases que comprende son:

— Disolver, con ácido sulfúrico o sulfato férrico, los minerales oxidados o las cenizas producidas por la tostación de las piritas al fabricar el ácido sulfúrico, hasta obtener sulfato de cobre.

— Precipitar la solución obtenida por medio del hierro, formándose sulfato de hierro y precipitándose cobre.

Las características del cobre son (tabla XVI):

Símbolo .....	Cu
Número atómico .....	29
Peso atómico .....	63,54
Cristaliza en la red cúbica centrada en las caras .....	a = 3,6153 × 10 <sup>-8</sup> cm.
Peso específico .....	8,96
Resistividad eléctrica a 20° .....	1,673 × 10 <sup>-6</sup> ± Ohm. cm <sup>2</sup> /cm.
Conductividad calorífica a 0° .....	0,941 cal/cm <sup>2</sup> cm. S °C
Coefficiente de dilatación lineal de 20° a 100° .....	16,5 × 10 <sup>-6</sup> /°C
Punto de fusión .....	1.083 ± 1 °C
Calor latente de fusión .....	50,6 calorías/g.
Calor específico medio .....	0,092 cal/g °C
Punto de ebullición .....	2.595 °C

Tabla XVI. Constantes del cobre.

Debido a sus características, el cobre tiene muchas aplicaciones:

- Fabricación de conductores eléctricos.
- Construcción de serpentines de refrigeración, hornos de baños, etc.
- Construcción de tuberías y recipientes para la industria química.
- Recubrimientos electrolíticos. Aleaciones con otros metales. Es interesante hacer notar que el cobre puede ser sometido a tratamientos mecánicos y a recocidos de estabilización y contra acritud.

Contiene una serie de impurezas, que son las siguientes:

**Arsénico.**—Este elemento se encuentra en la mayoría de los cobres comerciales en peque-

ñísimas cantidades, y el cobre arsenical contiene en disolución sólida entre un 0,30% y un 0,50% de arsénico. De hecho, la presencia del arsénico parece disminuir la influencia perniciosa de otros elementos. El arsénico forma con el cobre una disolución sólida hasta una proporción de un 7,25% y la solubilidad disminuye un poco al descender la temperatura. Entre un 7,25% y un 21%, las aleaciones están formadas por granos de la disolución sólida en una matriz eutéctica, y desde un 21% a un 28% por el compuesto Beta (posiblemente de composición Cu<sub>3</sub>As) embebidos en el eutéctico. El efecto más pronunciado del arsénico es disminuir la conductividad eléctrica. En la proporción de un 0,35% a un 0,55%, el arsénico aumenta la tenacidad del cobre, y hasta unos 200 °C a 300 °C se mantiene sin disminuir sensiblemente la ductilidad. También mejora algo la resistencia a la corrosión y el cobre arsenical se emplea mucho para fabricar tubos de calderas. Por existir una gran zona de solidificación en las aleaciones de cobre-arsénico, es

decir, por estar muy separadas las líneas *liquidus* y *solidus*, la estructura del metal, rápidamente enfriado, presenta granos de cobre casi puros con los límites ricos en arsénico.

**Antimonio.**—El antimonio también se disuelve bastante en el cobre sólido y tiene una zona de solidificación aún más amplia que en el caso del arsénico. Su efecto sobre la disminución de la conductividad eléctrica es la mitad que el del arsénico, y pequeñas cantidades de antimonio son tan eficaces como el arsénico para fortalecer el cobre a 250 °C. La presencia de estos dos elementos intensifica esta acción. El antimonio no se emplea nunca como elemento de aleación con el cobre.

**Bismuto.**—Este elemento es el que posee un efecto más perjudicial sobre el cobre, pues a cantidades ligeramente superiores al 0,001% lo hacen frágil, particularmente a elevadas temperaturas. Esto es debido a que, si bien los dos metales se disuelven mutuamente en estado líquido, en cambio son muy poco solubles en estado sólido y forman un eutéctico que contiene un 0,2% de cobre, con un punto de fusión inferior en más de un grado al del bismuto. Por solidificación de la masa líquida de cobre con bismuto se separa primeramente el cobre, y sus granos cristalinos aparecen envueltos por una frágil película de eutéctico líquido por encima de los 168 °C, a través de la cual se producen roturas con facilidad. El bismuto disminuye bastante la conductividad eléctrica del cobre.

**Plomo.**—El cobre y el plomo son sólo parcialmente miscibles en estado líquido y prácticamente insolubles en estado sólido. El plomo, debido a su bajo punto de fusión, se licua en el cobre a todas las temperaturas superiores a su punto de fusión, 327 °C, y así el plomo en cobre sólido aparece en forma de glóbulos o películas rodeando los granos cristalinos. Su acción es análoga a la del bismuto y forma un eutéctico con menos de un 0,1% de cobre, que tiene un punto de fusión un grado por debajo del plomo. El cobre con más de un 0,005% de plomo no se puede laminar bien en caliente.

**Silicio.**—Algunas veces este elemento se emplea como desoxidante y, debido a que se disuelve en exceso en estado sólido, afecta bastante a la conductividad eléctrica, si bien en menor grado que la mayoría de los desoxidantes. El cobre puede retener hasta un 4% de silicio en disolución sólida a la temperatura ambiente.

**Fósforo.**—Este elemento es un desoxidante intenso pero, a causa de su solubilidad sólida, la más pequeña porción que resta en el cobre influye desfavorablemente sobre la conductividad. El efecto general, hasta un 0,95%, es aumentar la resistencia a la tracción del cobre y el límite de fatiga sin disminuir la tenacidad y la ductilidad. Por un adecuado tratamiento del cobre con fósforo, prácticamente no quedan ni óxido ni desoxidante residuales. Ahora bien, las grandes cantidades de fósforo hacen que el cobre sea muy frágil, por formar la combinación  $Cu_3P$ , soluble en aquél en un 1,2% a 705 °C y un 0,5% a 300 °C, y un eutéctico con un 8,2% de fósforo que se funde a 707 °C. El cobre fosforoso del comercio, que contiene del 10% al 14% de fósforo, está integrado por  $Cu_3P$  y el eutéctico.

**Cadmio.**—El cadmio, de modo análogo a la plata, eleva la temperatura a la cual el cobre trabajado en frío empieza a recrystalizar y, además, hace más tenaz el material y aumenta su resistencia a la fatiga. En conducciones aéreas, como las que se emplean en las líneas de teléfono, telégrafo y ferrocarriles eléctricos, es un importante factor la resistencia a la tracción del material, y es el cadmio el elemento que tiene el máximo efecto en el aumento de dicha resistencia y el mínimo en la disminución de la conductividad. Con un 0,08-0,1% de cadmio se consiguen los alambres pesados de troles estirados en frío, de una resistencia a la tracción de 45 kg/mm<sup>2</sup>, combinada con una conductividad del 89%.

**Cromo.**—El cobre con algo de cromo es otro material que asocia una buena conductividad eléctrica y térmica con buenas propiedades mecánicas, las cuales se consiguen en este caso por tratamiento térmico más bien que por trabajo en frío. La aleación comercial contiene aproximadamente un 0,5% de cromo, y a 1.000 °C la mayor parte de éste, si no todo, forma una disolución sólida con el cobre. El cobre con cromo hipertemplado desde unos 1.000 °C es dúctil, y su conductividad eléctrica es pequeña, pero si después se recalienta a unos 500 °C durante dos horas, el cromo precipita, y con ello se mejoran notablemente tanto las propiedades mecánicas como la conductividad. Este material se puede utilizar a temperaturas moderadamente elevadas sin peligro de ablandamiento, ya que la mejoría de las propiedades mecánicas no se ha conseguido por trabajo en frío.

ento es un desoxidante  
u solubilidad sólida, la  
resta en el cobre influ-  
re la conductividad. El  
0,95%, es aumentar la  
del cobre y el límite de  
acidad y la ductilidad.  
ento del cobre con fós-  
uedan ni óxido ni des-  
a bien, las grandes can-  
que el cobre sea muy  
binación  $Cu_3P$ , soluble  
5 °C y un 0,5% a 300  
8,2% de fósforo que se  
osforoso del comercio,  
4% de fósforo, está in-  
ctico.

de modo análogo a la  
a la cual el cobre tra-  
recristalizar y, además,  
al y aumenta su resis-  
ucciones aéreas, como  
líneas de teléfono, te-  
tricos, es un importan-  
tracción del material,  
o que tiene el máximo  
dicha resistencia y el  
n de la conductividad.  
dmio se consiguen los  
es estirados en frío, de  
de 45 kg/mm<sup>2</sup>, com-  
dad del 89%.

on algo de cromo es  
na buena conductivi-  
n buenas propiedades  
on siguen en este caso  
más bien que por tra-  
n comercial contiene  
0,5% de cromo, y a  
de éste, si no todo,  
lida con el cobre. El  
emplado desde unos  
nductividad eléctrica  
pués se recalienta a  
oras, el cromo preci-  
n notablemente tanto  
s como la conductivi-  
de utilizar a tempera-  
evadas sin peligro de  
mejoría de las propie-  
a conseguido por tra-

**Teluro.**—El teluro, lo mismo que el azufre y el selenio, forma compuestos estables que son insolubles en el cobre sólido y aparecen en pequeñas partículas bien distribuidas en la matriz. Estas partículas, sin afectar en gran extensión a las propiedades mecánicas y eléctricas, hacen que la viruta se rompa durante el mecanizado, con lo que se facilita mucho el corte del metal. El cobre con un 0,5% de este elemento posee propiedades muy análogas a las del cobre puro, si bien su mecanizado se puede comparar con el del latón, de fácil mecanizado. El cobre con teluro se obtiene generalmente con la variedad desoxidada y su conductividad eléctrica es superior al 90%.

En casi todas las aleaciones de cobre, la conductividad eléctrica y térmica juegan un papel secundario y lo que interesa es obtener elevadas características mecánicas y una buena resistencia a la corrosión. Estas características se consiguen mediante aleaciones de cobre con gran diversidad de metales, pero especialmente con cinc y estaño, contrariamente a las aleaciones ligeras. Las de cobre presentan un alto peso específico, siendo consideradas como aleaciones pesadas.

Además, según el fin a que se destinan en la industria, los latones y los bronce se

dividen a su vez en aleaciones con uno o varios elementos metálicos que les confieren propiedades para forjar y en otros casos para fundir.

### Latones

Los latones son aleaciones de cobre y cinc. Los latones de aplicación industrial, cuyo porcentaje de cinc se mantiene siempre inferior al 50%, presentan las propiedades esenciales del cobre con las ventajas de su precio inferior y su mayor facilidad para el trabajo, puesto que el cinc aumenta su fusibilidad, su facilidad de moldeo y su resistencia mecánica. Los latones con menos de un 35% de cinc son muy dúctiles y maleables, por lo cual se pueden trabajar en frío, y los que tienen un porcentaje entre el 35% y el 45% son muy poco maleables en frío, pero se pueden trabajar bien en caliente, siendo más elevada su resistencia a la tracción (del orden de 80 kg/mm<sup>2</sup>); los de más del 45% de cinc son muy frágiles y casi no tienen aplicaciones industriales. Fundamentalmente, los latones se dividen en dos grupos: latones ordinarios (Cu + Zn, exclusivamente) y latones especiales (Cu + Zn + otros elementos). Véase tabla XVII.

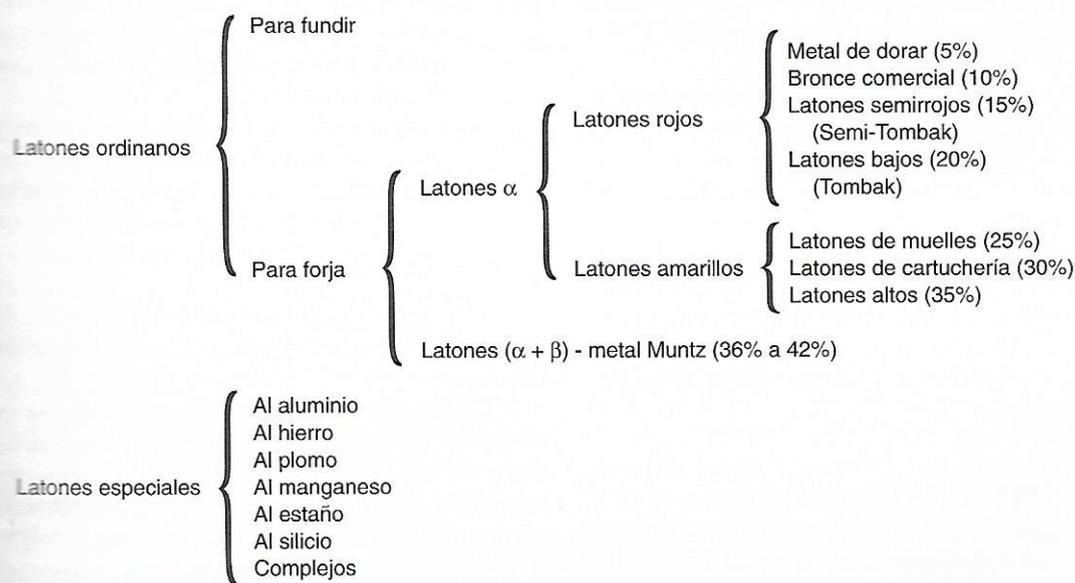


Tabla XVII. Clases de latones.

## 1. Latones ordinarios

Seguidamente se hace una breve descripción de los latones para forja más importantes, debido a sus mejores propiedades mecánicas.

1. *Latones rojos*. Según el porcentaje de cinc, tienen distintas propiedades y denominaciones, pudiéndose distinguir:

- Metal para dorar. Contiene un 5% de cinc. Es utilizado en joyería para imitar el oro.
- Bronce comercial. Contiene un 10% de cinc. Se utiliza en joyería y decoración para imitar el bronce.
- Latón semirrojo. Contiene un 15% de cinc. También se conoce como semi-Tombak. Se utiliza para los radiadores de automóviles.
- Latón bajo. Contiene un 20% de cinc. También se conoce como Tombak. Se utiliza para tubos flexibles.

2. *Latones amarillos*. Contienen entre un 25% y un 35% de cinc y los más importantes son:

- Latón de muelles. Contiene un 25% de cinc. Es el utilizado para fabricar muelles y resortes.
- Latón de cartuchería. Contiene un 30% de cinc. Muy dúctil, se emplea para embutición profunda y estampado.

3. *Latones ( $\alpha+\beta$ )*. Contienen del 36% al 42% de cinc y se conocen como metal Muntz. Son menos dúctiles que los latones rojos y amarillos y no se laminan en frío. Los latones ordinarios pueden someterse a tratamientos mecánicos y térmicos, entre los cuales se encuentran los recocidos de estabilización, contra acritud y de homogeneización. Y según la clase de latón, a diversos temple, que pueden ser de precipitación, martensítico, de maduración artificial, revenido, etc.

## 2. Latones especiales

Como ya se ha dicho, son aleaciones cobre-cinc más otros elementos que les confieren resistencia mecánica, mayor dureza y mejor resistencia a la corrosión. La mayoría de los elementos que se añaden actúan como si

hubiese un porcentaje de cinc superior. Los principales latones especiales son:

1. *Latones al aluminio*. El aluminio aumenta más que ningún otro elemento la resistencia mecánica a la corrosión de los latones. Además, favorece la colabilidad.

2. *Latones al hierro (hasta 1% de Fe)*. El hierro mejora la dureza de los latones de manera muy notable y también, aunque en menor proporción, aumenta su resistencia a la tracción.

3. *Latones al plomo (hasta 2% de Pb)*. El plomo reduce la resistencia mecánica de los latones y mejora su maquinabilidad. Se denominan usualmente latones de tornillería.

4. *Latones al manganeso (hasta 5% de Mn)*. El manganeso aumenta la resistencia a la tracción de los latones y disminuye su ductilidad. La única aleación alta en manganeso es la llamada mangalcapa, en la cual el níquel se sustituye en su mayor parte por el manganeso.

5. *Latones al estaño (hasta 10% de Sn)*. El estaño aumenta la resistencia a la tracción de los latones y su resistencia a la corrosión. Las aleaciones de latón y estaño más conocidas son las dos siguientes:

- Metal de Almirantazgo. Esta aleación contiene 71% de Cu, 28% de Zn, 1,2% de Sn, 0,075% de Pb y 0,06% de Fe. Ofrece muy buena resistencia a la corrosión y se emplea para fabricar tubos de condensadores.
- Latón naval. Sus características son muy similares a las del metal Muntz, pero con una resistencia a la corrosión mucho más elevada. Este latón contiene 60% de Cu, 39,25% de Zn y 0,75% de Sn.

6. *Latones al silicio (hasta 1,5% de Si)*. El silicio es el elemento más influyente sobre los latones.

La aleación de Cu-Zn-Si más conocida es el bronsil. El bronsil es una aleación de fácil fusión, de alta resistencia a la tracción y muy resistente a la corrosión. Se utiliza para fabricar campanas, válvulas, cojinetes, bombas y engranajes.

7. *Latones complejos*. Son los formados por Cu-Zn y otros elementos. Presentan gran resistencia a la corrosión y se emplean para héli-

de cinc superior. Los tipos son:

El aluminio aumenta el aumento la resistencia de los latones. Además.

(hasta 1% de Fe). El los latones de mane- n, aunque en menor resistencia a la trac-

(hasta 2% de Pb). El la mecánica de los la- bilitad. Se denomi- e tornillería.

neso (hasta 5% de ta la resistencia a la disminuye su ductili- a en manganeso es la la cual el níquel se e por el manganeso.

(hasta 10% de Sn). El a la tracción de a a la corrosión. Las o más conocidas son

azgo. Esta aleación Cu, 28% de Zn, 1,2% e Pb y 0,06% de Fe. a resistencia a la co- a para fabricar tubos

características son muy metal Muntz, pero con la corrosión mucho tón contiene 60% de y 0,75% de Sn.

(hasta 1,5% de Si). El influyente sobre los

Si más conocida es aleación de fácil fu- a tracción y muy re- utiliza para fabricar tes, bombas y engra-

Son los formados s. Presentan gran re- e emplean para héli-

ces y para maquinaria marítima. Los más utiliza- zados son los bronce Stone y Manganick.

**Bronces**

Los bronce son aleaciones de cobre y esta- ño. Actualmente se aplica también esta deno- minación a todas las aleaciones de cobre con cualquier metal o metales, excepto con el cinc. En los bronce de aplicación industrial, el por- centaje de estaño no es superior al 22%, y su acción es similar a la del cinc, pero más enérgi- ca. Las propiedades mecánicas aumentan con el porcentaje de estaño, y también la resistencia a la corrosión. Los bronce con menos de un 6% de estaño son blandos, dúctiles y maleables en frío. Se emplean para medallas, monedas, alambres y chapas de embutición. Los bronce con un 10-12% de estaño ofrecen gran resisten- cia y dureza. Se utilizan para piezas sujetas a grandes esfuerzos y débil rozamiento (engrana- jes, casquillos de cojinetes, tornillos sin fin, etc.). Los bronce con un 12-18% de estaño son también muy duros y resistentes, y maleables en caliente. Resisten bien al rozamiento. Se em- plean en cojinetes, engranajes, piezas de ma- quinaría, etc. Los bronce con más de un 22% de estaño no son maleables y tienen gran dure- za, pero su resistencia disminuye debido a su fragilidad. Se emplean para fabricar campanas y platillos. En general, los bronce se pueden clasificar en dos grupos: bronce ordinarios y bronce especiales (tabla XVIII).

Bronces ordinarios.....	{ Bronces Bronces fosforosos Bronces rojos
Bronces especiales.....	{ Bronces al aluminio Bronces al magnesio Bronces al níquel Bronces al plomo Bronces al silicio Bronces al berilio Bronces conductores

Tabla XVIII. Clasificación de los bronce.

**Bronces ordinarios**

Son los formados exclusivamente por cobre y estaño (bronce), aunque, en la práctica, algu-

nos poseen pequeños porcentajes de otros ele- mentos (bronce fosforosos y bronce rojos). Los tipos de bronce ordinarios más utilizados son:

1. *Bronce de medallas.* Contiene de un 5% a un 8% de estaño. Presenta excelentes cuali- dades para moldeo y resistencia a la corrosión.

2. *Bronce de cañones.* Contiene de un 8% a un 12% de estaño. Ofrece buena resistencia a la corrosión y sus características mecánicas son mucho mejores que las del bronce de medallas.

3. *Bronces fosforosos.* Son bronce ordina- rios que contienen de un 4% a un 12% de esta- ño y que se han desoxidado con fósforo, que- dando del mismo, en la aleación, un porcentaje muy pequeño (del orden de 0,03-0,25%). Son de mejor calidad que los otros bronce y más moldeables.

4. *Bronces rojos.* Con unos porcentajes de cinc y de plomo pequeños, son más moldea- bles y más fáciles de mecanizar que los bronce fosforosos: por esto, y siendo más baratos, los sustituyen.

Los bronce ordinarios pueden recibir los mismos tratamientos que los latones y sus apli- caciones son muy numerosas, debido a sus ca- racterísticas de rozamiento (cojinetes y engrana- jes), moldeabilidad y resistencia a la corrosión (grifos y válvulas), aspecto permanente (mone- das, medallas y estatuas), sonoridad (campanas) y resistencia mecánica (piezas de maquinaria).

**Bronces especiales**

Son las aleaciones del cobre con un metal distinto del estaño. Cobre-aluminio, cobre- manganeso, cobre-níquel, etc., y reciben el nombre del metal aleado con él: bronce al alu- minio, bronce al níquel, etc. Los bronce espe- ciales más importantes y conocidos son:

1. *Bronces de aluminio.* Las aleaciones cobre-aluminio contienen un porcentaje máxi- mo de aluminio del 12%. Si están formadas sólo por cobre y aluminio, se denominan cu- proaluminios; si contienen pequeños porcenta- jes de otros elementos, se llaman bronce com- plexos de aluminio. Son dúctiles y maleables, con buena resistencia mecánica y a la corro- sión. Se emplean para construir ejes de bom- bas, turbinas, faros, reflectores, etc.

2. *Bronces de níquel*. Las propiedades de estas aleaciones varían de forma continua según los porcentajes empleados. Tienen una extensa aplicación y algunas de ellas se conocen con los siguientes nombres populares:

- Níquelina. Contiene un 32% de níquel. Se emplea para la construcción de resistencias.
- Constantán. Contiene un 45% de níquel. Se utiliza para patrones de resistencias y cañas pirométricas.
- Metal Monel. Contiene un 66% de níquel. Se utiliza para la construcción naval (hélices, válvulas, etc.).
- Alpacas. Aparte del cobre, contienen níquel y cinc. Son útiles para la fabricación de cubiertos, relojería, resistencias eléctricas, etc.

3. *Bronces de manganeso*. Poseen gran resistencia mecánica a altas temperaturas. Estos bronce, además de manganeso, contienen adiciones de otros elementos, como níquel, aluminio, silicio, etc.

4. *Bronces de plomo*. Son aleaciones de cobre con un alto porcentaje de plomo (del orden del 40%) y otros elementos, como estaño, níquel y cinc. Poseen gran plasticidad y se emplean para cojinetes.

5. *Bronces de silicio*. El silicio aumenta la resistencia a la tracción del cobre, junto con una buena conductividad eléctrica. Se emplean para hilos telegráficos y telefónicos.

6. *Bronces de berilio*. Son de gran importancia, pues se consiguen extraordinarias características mecánicas mediante un tratamiento de bonificación. Son muy buenos conductores. Tienen un amplio campo de aplicaciones, como contactores, relés, porta-escobillas, muelles para válvulas de motores, piezas de relojería, engranajes, rodamientos, hélices, etc.

## Plomo, estaño, cinc, níquel y aleaciones antifricción

### Plomo

El plomo se encuentra en la naturaleza principalmente en forma de sulfuro de plomo, constituyendo el mineral galena. Se obtienen

más usualmente por medio de los sistemas de tostación, reducción y afino electrolítico. El plomo se deforma lentamente por su propio peso, pues es uno de los metales más pesados (*creep* o fluencia). Es muy tóxico y debe trabajarse con precauciones. No se endurece al deformarlo, o sea, no adquiere acritud. Se emplea para planchas para el revestimiento de depósitos de ácido sulfúrico (ya que éste, si no está concentrado, no lo ataca al formarse una capa protectora de sulfato de plomo), tuberías para conducción de agua y gas, insonorización de paredes y protección contra los rayos X, fusibles, perdigones y metralla. Se utiliza también para la preparación de colores minerales y del plomo tetraetilo, que es un antidetonante, para aumentar el índice de octano de las gasolinas. Gran cantidad de plomo se destina a fabricar soldaduras con porcentajes del 20% al 60% de plomo y el resto de estaño. Caracteres de imprenta, con porcentajes de 65% de plomo, 25% de antimonio y 10% de estaño. Aleaciones antifricción (plomo, cobre, antimonio y estaño).

### Estaño

El estaño se encuentra en la naturaleza formando el mineral casiterita como óxido de estaño. El metal se obtiene por reducción. Por su inalterabilidad, se utiliza para proteger los metales contra la corrosión, por ejemplo, la chapa de hierro recubierta de estaño (hojalata). Se emplea para fabricar tubos para serpentines, papel de estaño para envoltorios (que llega a tener espesores de 0,0025 mm), para diversas aleaciones (bronces y metales antifricción) y, sobre todo, para la soldadura, etc.

### Cinc

El cinc se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuro de cinc, que es la base fundamental del mineral blenda. Para obtenerlo, se utiliza el procedimiento de tostación-reducción o el electrolítico.

Por su resistencia a la corrosión, se emplea en forma de chapas para techados, cubiertas de edificios, tubos, depósitos de agua, etc. Sirve para recubrir el hierro mediante galvanizado electrolítico o sherardización. Y se emplea también para aleaciones, como son los latones, metales antifricción, pinturas, etc. Una de sus

... medio de los sistemas de  
... y afino electrolítico. El  
... lentamente por su propio  
... de los metales más pesados  
... muy tóxico y debe traba-  
... nes. No se endurece al de-  
... quiere acritud. Se emplea  
... el revestimiento de depósi-  
... rico (ya que éste, si no  
... lo ataca al formarse una  
... sulfato de plomo), tuberías  
... agua y gas, insonorización  
... ón contra los rayos X, fusi-  
... tralla. Se utiliza también  
... de colores minerales y del  
... es un antidetonante, para  
... octano de las gasolinás.  
... como se destina a fabricar  
... ntajes del 20% al 60% de  
... estaño. Caracteres de im-  
... es de 65% de plomo, 25%  
... de estaño. Aleaciones anti-  
... e, antimonio y estaño).

... entra en la naturaleza for-  
... terita como óxido de es-  
... ne por reducción. Por su  
... za para proteger los me-  
... ón, por ejemplo, la chapa  
... estaño (hojalata). Se em-  
... os para serpentines, papel  
... rios (que llega a tener es-  
... n), para diversas aleacio-  
... es antifricción) y, sobre  
... a, etc.

... ntra en la naturaleza en  
... nc, que es la base funda-  
... enda. Para obtenerlo, se  
... o de tostación-reducción

... a la corrosión, se emplea  
... ra techados, cubiertas de  
... sitos de agua, etc. Sirve  
... mediante galvanizado,  
... acción. Y se emplea tam-  
... como son los latones,  
... nturas, etc. Una de sus

... aleaciones más interesantes es la que sirve para  
... fabricar piezas por moldeo o por inyección, co-  
... nocida mundialmente como Zamak, nombre  
... dado por la New Jersey Zinc Co. Existen tres va-  
... riedades de Zamak, a saber:

1. Zamak 3. Compuesta por 4% de alumi-  
... nio, 0,04% de magnesio y el resto de cinc. Su  
... densidad es del orden de  $6,6 \text{ kg/dm}^3$  y funde a  
...  $380 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2. Zamak 5. Compuesta por 4% de alumi-  
... nio, 1% de cobre, 0,04% de magnesio y el resto  
... de cinc. Es un poco más densa que la anterior,  
... ya que su peso específico es de  $6,7 \text{ kg/dm}^3$  y  
... funde a  $380 \text{ }^\circ\text{C}$ .

3. Zamak 2. Compuesta por 4% de alumi-  
... nio, 3% de cobre y el resto de cinc. Es la más pe-  
... sada, pues su peso específico es de  $6,8 \text{ kg/dm}^3$  y  
... funde, como las anteriores, a  $380 \text{ }^\circ\text{C}$ . Todas ellas  
... poseen muy buenas características mecánicas.

### Níquel

Es un metal blanco brillante, duro, tenaz y  
... muy maleable y dúctil. Su peso específico es de  
...  $8,9 \text{ kg/dm}^3$  y funde a  $1.450 \text{ }^\circ\text{C}$ . Es muy resiste-  
... te al desgaste e inalterable en aire húmedo,  
... agua del mar y compuestos químicos. Puro, se  
... utiliza para fabricar instrumental quirúrgico y  
... de laboratorio, para acumuladores, recubri-  
... mientos protectores (niquelado), etc. Se usa  
... principalmente como elemento de aleación  
... para fabricar aceros inoxidable y bronce de  
... níquel (alpaca), y en aleaciones para resisten-  
... cias eléctricas. Como elemento principal, forma  
... aleaciones de gran interés: metales Monel (gran  
... resistencia a la corrosión), Permalloy (gran per-  
... meabilidad magnética) e Invar (bajo coeficiente  
... de dilatación).

### Aleaciones antifricción

Las aleaciones o metales antifricción son  
... ciertas aleaciones empleadas para recubrir coji-  
... netes y órganos de máquinas dotados de movi-  
... mientos de deslizamiento cuando se requiere  
... disminuir el coeficiente de rozamiento, a fin de  
... evitar el desgaste de uno de los elementos aco-  
... plados, cargando el deterioro sobre el otro ele-  
... mento de fácil sustitución. En general, se com-  
... ponen de dos clases de elementos: uno duro,  
... con un coeficiente de rozamiento pequeño,

que está englobado en la masa plástica formada  
... por el otro elemento, y este otro, que es blando  
... y permite el acoplamiento del cojinete al eje,  
... repartiendo uniformemente las cargas. Estas  
... aleaciones deben presentar las siguientes carac-  
... terísticas:

- Elevado grado de plasticidad.
- Bajo coeficiente de rozamiento.
- Resistencia a la compresión y la fatiga.
- Elevada dureza superficial.
- Lento desgaste por frotamiento.
- Resistencia a la corrosión.
- Conductividad térmica elevada.
- Bajo punto de fusión.
- Adherencia con el metal básico.

Las aleaciones antifricción aparecen en  
... forma de semicojinetes o semianillos compues-  
... tos por diversas capas, entre las cuales pueden  
... distinguirse: capas monometálicas (constituidas  
... por una sola aleación), bimetálicas (constitui-  
... das por un soporte de acero dulce y una capa  
... antifricción) y trimetálicas (constituidas por un  
... soporte de acero dulce, una primera capa anti-  
... fricción, que es la capa básica, y una capa su-  
... pericial de rozamiento). Los metales más em-  
... pleados para las aleaciones antifricción son:  
... plomo, estaño, cobre, cadmio, aluminio, anti-  
... monio, plata, níquel, arsénico y otros en peque-  
... ños porcentajes.

Según los elementos fundamentales que  
... componen, se clasifican del modo siguiente:

1. *Antifricciones al plomo.* Muy económi-  
... cas, tienen el inconveniente de su poca resis-  
... tencia al desgaste. Se emplean sólo bajo cargas  
... ligeras.

2. *Antifricciones al estaño.* Denominadas  
... también metal Babbitt, son más costosas que las  
... anteriores pero tienen mejores características  
... mecánicas. Se emplean en cojinetes muy carga-  
... dos y con elevadas velocidades.

3. *Antifricciones al cadmio.* Relativamente  
... caras, pero con características mecánicas exce-  
... lentes a temperaturas elevadas, por lo cual sus-  
... tituyen muchas veces a las de estaño. Tienen el  
... inconveniente de ser corroídas por algunos  
... tipos de lubricante.

4. *Antifricciones al cobre.* Las aleaciones antifricción basándose en cobre más utilizadas son:

- Bronces antifricción basándose en cobre, estaño y cinc, que aguantan cargas elevadas y temperaturas muy elevadas.
- Bronces al plomo basándose en cobre, plomo y estaño.

5. *Antifricciones al cinc.* Se emplean para velocidades muy pequeñas y temperaturas no superiores a los 100 °C. Su composición más usual es cinc, aluminio, cobre y magnesio.

6. *Antifricciones al aluminio.* Empleadas en motores de explosión sometidos a grandes cargas. Su composición es aluminio, estaño aleado con un endurecedor (magnesio, silicio, cobre, níquel, manganeso, etc.).

7. *Antifricciones a la plata.* Son destinadas a recubrir cojinetes de acero para cargas muy elevadas. Su composición más usual es plata y plomo.

## Pulvimetalurgia

De todos es conocido que la fabricación de piezas metálicas tiene lugar mediante un proceso previo de fusión y solidificación, seguido de otro de conformación con o sin arranque de viruta. Sin embargo, existe una excepción que se caracteriza por la ausencia de fusión, o por sólo la de un mínimo de elementos, la cual soluciona los problemas que se plantean cuando no son aplicables los métodos convencionales por alguna de las siguientes razones:

- Cuando se trata de metales que, por su elevado punto de fusión, no admiten el trabajo de fundición, como el tungsteno, el tantalio, los carburos, etc.
- Cuando se han de unir componentes metálicos que no forman aleación, por ejemplo, cobre-plomo, etc.
- Cuando se trata de aleaciones con una rigurosa dosificación de sus elementos y de propiedades muy específicas.
- Cuando se producen una serie de piezas con una forma definitiva, evitando costosos mecanizados.

La pulvimetalurgia, o metalurgia de polvos, consiste en conformar metales y aleaciones partiendo de polvos metálicos (con o sin inclusiones no metálicas) y mediante prensado y calentamiento por debajo del punto de fusión de componente principal (sinterizado). Comprende tres fases, a saber:

- Fabricación de polvos.
- Compresión en frío.
- Sinterizado.

La pulvimetalurgia es la que se dedica a la fabricación del carburo de tungsteno o de boro, tan utilizado en la mecanización de metales, sobre todo si éstos están templados, su dureza sobrepasa los 63 HRc y, en un principio, fueron descubiertos por la casa Krupp. Se comercializa con el nombre de Widia.

## Fabricación de polvos

Las características del material que va a obtenerse dependen principalmente de la forma, tamaño y densidad de las partículas. Según el proceso usado, pueden obtenerse partículas de formas diversas.

### 1. Procedimientos mecánicos

Entre los procedimientos mecánicos los más utilizados son:

*Molido.*—Los metales frágiles, como el manganeso y el cromo, son triturados en molinos de bolas o martillos. Es un método de poco rendimiento y sólo se utiliza complementando a otros.

*Pulverización.*—Se realiza mediante un chorro de metal fundido dirigido hacia un disco que gira a gran velocidad y que lo fragmenta.

*Atomización.*—Dirigiendo una corriente de aire o agua a presión sobre un chorro de metal fundido se obtienen partículas solidificadas con extraordinaria rapidez. Se aplica para producir polvo de hierro, estaño, cinc, cadmio, plomo, etc.

### 2. Procedimientos físico-químicos

Comprenden los siguientes métodos:

*Reducción de óxidos.*—Los polvos se obtienen directamente de los óxidos metálicos

ia, o metalurgia de polvos, ar metales y aleaciones metálicos (con o sin inclu- y mediante prensado y ca- jo del punto de fusión del (sinterizado). Compre-

polvos.  
frío.

ia es la que se dedica a la o de tungsteno o de boro, mecanización de metales, tán templados, su dureza y, en un principio, fueron a Krupp. Se comercializa ia.

polvos

as del material que va a n principalmente de la nsidad de las partículas. o, pueden obtenerse par- rsas.

mecánicos

amientos mecánicos los

ales frágiles, como el man- n triturados en molinos de n método de poco rendi- complementando a otros. Se realiza mediante un o dirigido hacia un disco idad y que lo fragmenta. rigiendo una corriente de sobre un chorro de metal partículas solidificadas con . Se aplica para producir c, cinc, cadmio, plomo, etc.

sico-químicos

siguientes métodos:

idos.—Los polvos se ob- de los óxidos metálicos,

reduciéndolos con hidrógeno o carbono. Este método se usa especialmente para producir polvo muy fino de hierro, molibdeno y tungsteno.

**Electrólisis.**—Partiendo de sales disueltas o fundidas, se obtiene un depósito electrolítico esponjoso que después es molido con facilidad. Se emplea para producir polvos de gran pureza de hierro, cobre, níquel, estaño y cobalto.

**Disociación térmica.**—Descomponiendo un carbonilo metálico por calentamiento, se forma un polvo muy fino. El carbonilo se obtiene haciendo reaccionar monóxido de carbono gaseoso sobre el metal esponjoso. Es empleado para producir polvo de hierro o níquel en grandes cantidades.

**Condensación.**—Los metales en estado de vapor dan polvos muy finos y de forma esférica, cualidades que se aprovechan para fabricar polvos de cinc. Existen otros procedimientos, como corrosión intergranular, mecanizado a lima, precipitación química, etc., pero éstos apenas son utilizados en la actualidad.

### Compresión en frío

El polvo, una vez mezclado de forma homogénea, se pone en el molde o matriz correspondiente a la pieza que se ha de fabricar y se somete a una elevada presión, que oscila entre 10 y 100 kg/mm<sup>2</sup>, produciéndose así, a la temperatura ordinaria, una soldadura de las partículas de poca resistencia. Las presiones bajas dan materiales porosos y las presiones altas son para los polvos finos y de gran densidad.

### Sinterizado

Consiste en calentar las piezas obtenidas por compresión en frío, a una temperatura inferior a la de fusión del componente principal, para conseguir un efecto similar al de calentar los metales deformados en frío, esto es, favorecer la difusión de los componentes y conseguir la recristalización en muchos casos. Cuando los polvos aglomerados no pueden ser mecanizados después de sinterizados, se realiza con ellos un presinterizado a temperatura más baja y luego se los sinteriza. Véanse unos ejemplos: el aluminio se sinteriza entre 300 °C y 500 °C durante 24 horas, el bronce se sinteriza a más

de 700 °C durante 30 minutos, el carburo de tungsteno se presinteriza a 800 °C y luego se sinteriza entre 1.340 °C y 1.550 °C.

### Aplicaciones de la pulvimetalurgia

La técnica de la pulvimetalurgia se aplica a:

— Metales refractarios en forma dúctil, como las varillas sinterizadas de tungsteno, que se utilizan estiradas, para filamentos de lámparas de incandescencia.

— Metales muy puros, como el hierro, uranio, berilio, etc.

— Metales o aleaciones difíciles de moldear, forjar o mecanizar.

— Aleaciones de metales con puntos de fusión muy diferentes, como los contactos eléctricos (platinos), compuestos de cobre-tungsteno, plata-tungsteno o plata-molibdeno.

— Estructuras especiales, como las aleaciones pesadas de tungsteno, níquel y cobre, y los denominados metales duros (Widia), compuestos de carburo de tungsteno, titanio, vanadio y cobalto.

— Cojinetes autolubricados compuestos por bronce sinterizados, cuyos poros representan de un 20% a un 30% del volumen total y son impregnados con aceite. Se utilizan cuando las cargas a soportar son ligeras y los puntos a lubricar son inaccesibles, o también como prevención ante los fallos accidentales del engrase.

— Grandes series de piezas terminadas, que resultan muy económicas. Una de sus aplicaciones más importantes es el campo de la automovilística, donde se aplican en cantidad (casquillos, biela y cigüeñal, distribuidor, etc.), y el de la máquina-herramienta, sobre todo cuando se trata de fabricar tuercas por las que tiene que pasar un husillo de acero templado y cojinetes de los cigüeñales de las prensas y sus bielast.

### Metales duros

Por su importancia, se tratará ahora de los carburos metálicos sinterizados, patentados con la denominación de Widia, pues son casi tan duros como el diamante y representan un gran avance sobre los demás materiales empleados para las herramientas de corte (aceros rápidos y estelitas). Estos materiales están compuestos de carburos de tungsteno, titanio o vanadio, siendo

el aglomerante el cobalto. Su dureza es de 90 HRc, aproximadamente, y resisten temperaturas superiores a los 800 °C sin perder el filo, lo cual permite velocidades de corte muy superiores a las de los aceros rápidos. Su mayor inconveniente es que son relativamente frágiles, sobre todo si contienen titanio. Según su composición, se subdividen en dos grandes grupos:

a) Metales duros compuestos por carburo de tungsteno y aglomerante de cobalto. Son muy resistentes al desgaste y se emplean para:

- Mecanizado de metales de viruta corta (fundición, porcelana, etc.).
- Mecanizado de metales de viruta plástica (aluminio, cobre, bronce, latón blando, etc.). Piezas que exijan resistencia al desgaste (matrices, puntos de torno, calibres, etc.).

En las herramientas de corte, el contenido de carburo de tungsteno varía entre el 97%, en la calidad más dura, y el 94%, en la calidad más tenaz. Según la clasificación ISO, corresponden al grupo K (Fig. 57).

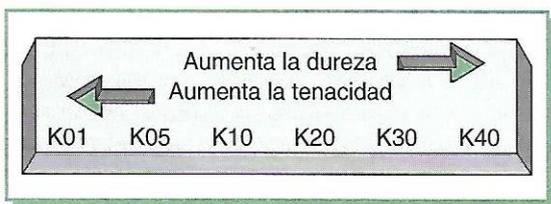


Fig. 57. Clasificación ISO del grupo K.

b) Metales duros compuestos por pluricarbonos: carburo de wolframio + carburo de titanio + cobalto, o bien carburo de wolframio + carburo de titanio + carburo de tantalio + cobalto. Son muy resistentes a la craterización y se emplean para:

- Mecanizado de metales de viruta larga continua, como son los aceros de todo tipo.

Corresponden al grupo P de la clasificación ISO (Fig. 58).

Cuando los pluricarbonos contienen sólo pequeñas cantidades de carburo de titanio y tántalo, pueden usarse para mecanizar materia-

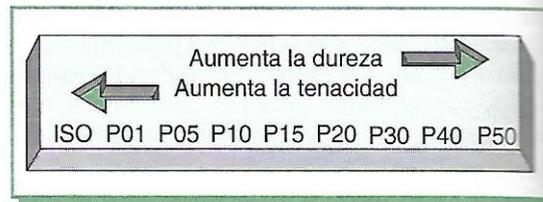


Fig. 58. Clasificación ISO del grupo P.

les tanto de viruta corta como de viruta larga, así como para la fundición maleable y el desgaste del acero forjado con inclusiones de arena. Estas calidades de dureza se distinguen por su resistencia a la abrasión y la craterización. Corresponden al grupo M de la clasificación ISO (Fig. 59).

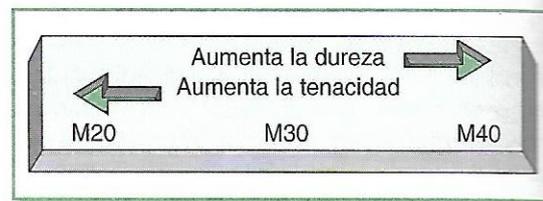


Fig. 59. Clasificación ISO del grupo M.

El sistema ISO, de clasificación de las calidades del metal duro respecto del tipo de aplicación, constituye una guía perfecta para elegir el metal adecuado para cada trabajo.

### Características de empleo

Las características físicas (dureza, peso específico, coeficiente de dilatación, etc.) son útiles para clasificar las calidades del metal duro, pero no suficientes para conocer sus posibilidades de empleo, que son las que interesan a la hora de elegir una calidad para un trabajo concreto. Como poseer determinada característica operatoria tiene en contra el disminuir otra, se deduce que no puede existir un metal duro ideal para todos los trabajos. Por ello, los metales duros se fabrican de forma que reúnan las características exigidas para una gama de trabajos lo más amplia posible, en las mejores condiciones y con el máximo rendimiento. Estas características son:

1. Resistencia a la abrasión anterior. Es la clase de desgaste que se manifiesta sobre la incidencia lateral o frontal del corte y apa-

la dureza →  
la tenacidad

P15 P20 P30 P40 P50

del grupo P.

ta como de viruta larga, ductilidad maleable y el desdoblamiento con inclusiones de dureza se distinguen de la abrasión y la craterización. El grupo M de la clasificac-

la dureza →  
la tenacidad

M30 M40

del grupo M.

la clasificación de las calidades respecto del tipo de aplicación. La guía perfecta para elegir la herramienta para cada trabajo.

### empleo

propiedades físicas (dureza, peso específico, dilatación, etc.) son utilidades del metal duro, para conocer sus posibilidades de aplicación las que interesan a la hora de elegir una herramienta para un trabajo con determinadas características. Cuando una característica mejora, se empeora otra, se debe existir un metal duro para cada trabajo. Por ello, los metales duros se fabrican en formas que reúnan las características para una gama de trabajos. En las mejores condiciones de trabajo, el rendimiento. Estas ca-

de la abrasión anterior. Es la que se manifiesta sobre la cara frontal del corte y apa-

rece con mayor o menor intensidad cuando se corta cualquier material. Aparece en el corte de metales de viruta corta (fundición gris no aleada), metales no ferrosos de viruta plástica (aluminio, cobre, bronce, etc.) y materiales no metálicos (resina sintética, goma, madera, etc.).

2. Resistencia a la craterización. Originada por las virutas al deslizarse sobre la cara superior del corte, donde forman un avellanamiento en la zona inmediatamente posterior al filo del corte. Se presenta en la mecanización de materiales de viruta larga, cuyo arranque requiere un sensible trabajo de deformación plástica (aceros, fundiciones aleadas, etc.), junto con la abrasión anterior.

3. Resistencia a las variaciones térmicas. En los trabajos en que las bruscas variaciones de profundidad de pasada y velocidad de corte (por diferencia de diámetros en tornos copiadores) producen variaciones térmicas apreciables que someten a la herramienta a dilataciones y contracciones, es necesario que el metal duro soporte dichas variaciones sin agrietarse o romperse. Otro caso típico es el cepillado, en el cual se produce en el retorno un sensible enfriamiento del corte.

4. Resistencia al choque. Esta característica la poseen en menor grado que el acero rápido o estelita, y es una cualidad esencial en el torneado con corte interrumpido, cepillado y fresado. Esta diferencia se puede paliar en el metal duro empleando el corte negativo para aumentar la sección de corte resistente.

## MATERIALES NO METALICOS

### Lubricantes

En los distintos órganos en movimiento de las máquinas, existen rozamientos en las superficies de contacto que disminuyen su rendimiento. Este fenómeno se debe a diversos factores, el más característico de los cuales es el coeficiente de rozamiento, cuya causa principal reside en las irregularidades de las superficies de las piezas en contacto. Se llama lubricante la sustancia capaz de disminuir el rozamiento entre dos superficies en movimiento. Sus fines son, principalmente, dos:

1. Disminuir el coeficiente de rozamiento.
2. Actuar como medio dispersor del calor producido.

Además, con él, se consiguen los siguientes objetivos secundarios:

- Reducir desgastes por frotamiento.
- Disminuir o evitar la corrosión.
- Aumentar la estanqueidad en ciertos órganos (cilindros, segmentos, juntas, etc.).
- Eliminar o trasladar sedimentos y partículas perjudiciales.

### Características de los lubricantes

Para cada lubricante, dentro de su gran variedad de aplicaciones, hay unas características que, en mayor o menor grado, deben cumplirse.

#### 1. Características fundamentales

**Viscosidad.**—Es la característica más importante para la elección de los aceites y se define como la resistencia de un líquido a fluir. Es la inversa de la fluidez y se debe a la fricción de las partículas del líquido. La viscosidad se valora según los métodos usados para su determinación, y las unidades, en orden decreciente a su exactitud, son:

- **Viscosidad dinámica o absoluta.** La unidad de viscosidad absoluta es el «poise», que se define como la viscosidad de un fluido que opone determinada fuerza al deslizamiento de una superficie sobre otra, a velocidad y distancia determinadas. Corrientemente se emplea el centipoise, que es la centésima parte del poise y equivale a la viscosidad absoluta del agua.
- **Viscosidad cinemática.** Es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad del líquido. La unidad es el «stoke» (St), aunque prácticamente se emplea el centistoke, que equivale a la centésima parte de aquél y es aproximadamente la viscosidad cinemática del agua a 20 °C.