

TEMA VIII

Materiales Metálicos

LECCIÓN 11

Aleaciones Férricas

11.1 INTRODUCCIÓN

Las aleaciones férricas son las de mayor empleo en ingeniería:

- En la corteza terrestre abundan los compuestos de hierro
- Se fabrican en procesos relativamente económicos
- Son extremadamente versátiles

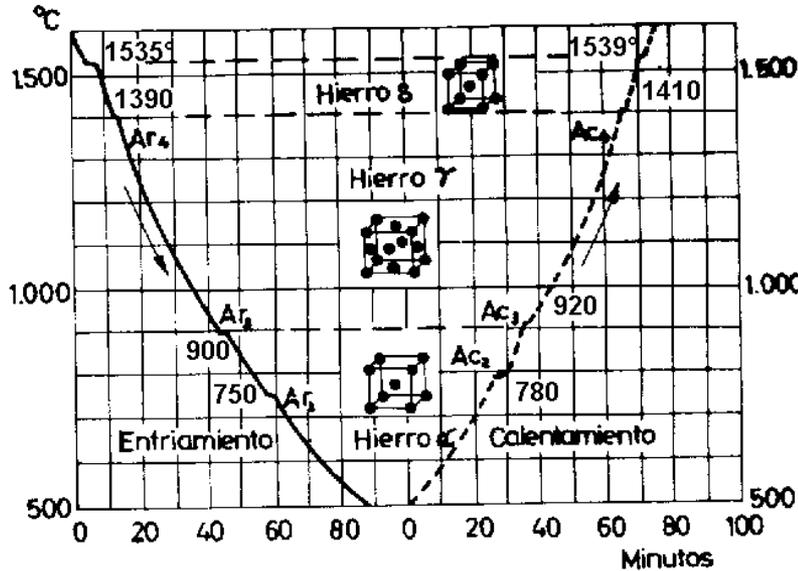
Inconveniente: elevada susceptibilidad a la corrosión

- Dos categorías:
 - **Aceros** ($0.05\% < C < 2\%$)
 - **Fundiciones** ($2\% < C < 4.5\%$)

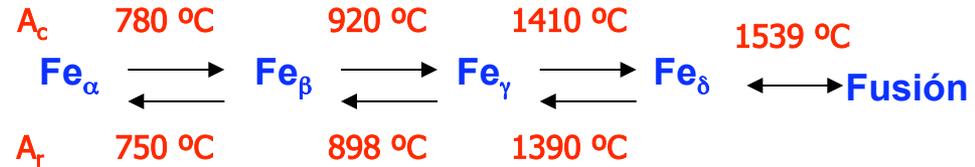
Su estudio ha contribuido al de los materiales metálicos y al desarrollo de la Ciencia de Materiales, dando lugar a una rama separada de la Metalurgia que se conoce con el nombre de **Siderurgia**

11.2 PROPIEDADES Y ESTRUCTURA DEL HIERRO PURO

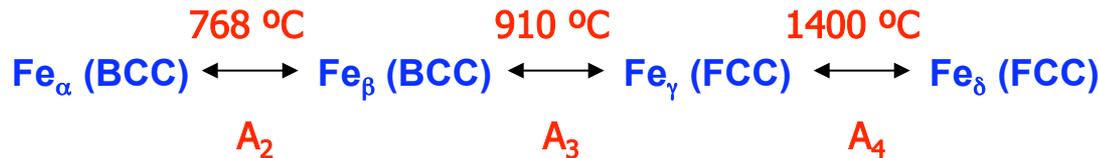
Fe: metal blanco azulado, dúctil y maleable. Densidad 7,87 g/cm³. Funde de 1536 a 1539 °C



• 4 variedades alotrópicas



Si las velocidades de calentamiento o enfriamiento fueran infinitamente lentas:



VARIEDADES ALOTRÓPICAS DEL HIERRO PURO

Temperaturas	Formas alotrópicas	Sistema cristalino	Parámetros	Propiedades magnéticas
Hasta 768°	α		2.86 Å	MUY MAGNÉTICA
a				
768° a 910°	β		2.90 Å	DÉBILMENTE MAGNÉTICA
a				
910° a 1400°	γ		3.60 Å	NO MAGNÉTICA
a				
1400° a 1539°	δ		2.93 Å	DÉBILMENTE MAGNÉTICA
a				

11.3 CONSTITUYENTES DE LAS ALEACIONES HIERRO - CARBONO

Las aleaciones están formadas por constituyentes cuya naturaleza varía según las proporciones de los componentes de la aleación y la temperatura.

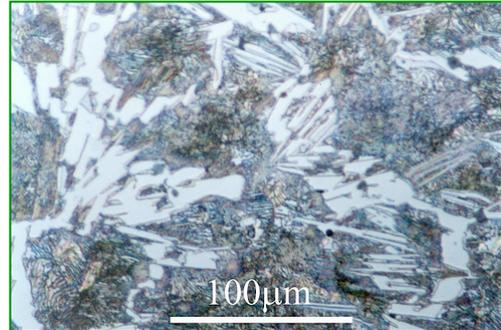
Ferrita



Solución sólida de carbono en Fe_{α} con una solubilidad máxima de 0.02% (a 723°C)

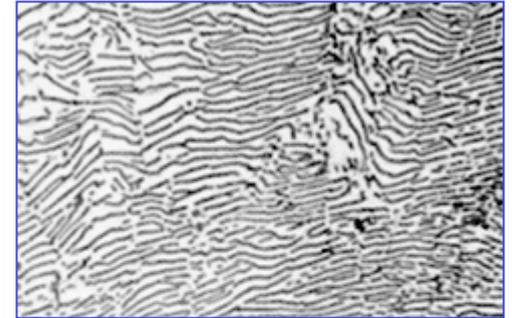
Es el constituyente más blando y dúctil.

Cementita



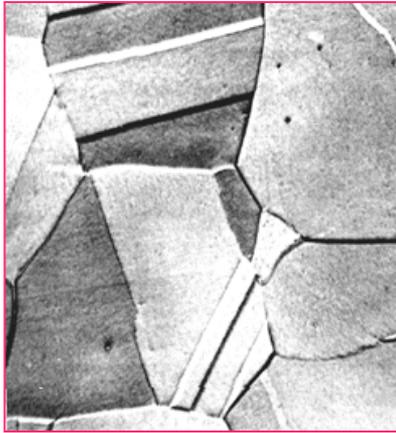
Es el carburo de hierro (Fe_3C) y es el constituyente más duro y frágil de los aceros.

Perlita

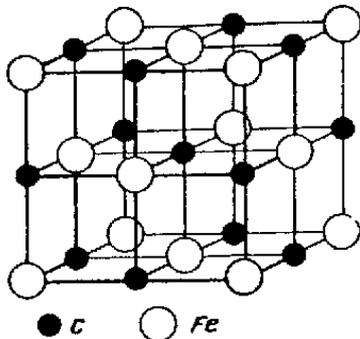


Constituyente eutectoide compuesto por 86.5% de ferrita y 13.5% de cementita.

Austenita



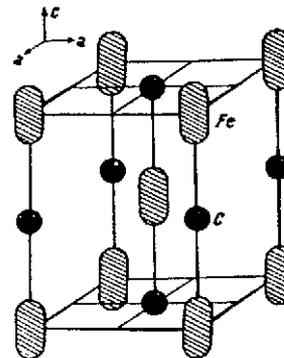
Solución sólida por inserción de C en Fe_γ .
Es muy dúctil, tenaz y resistente al desgaste.



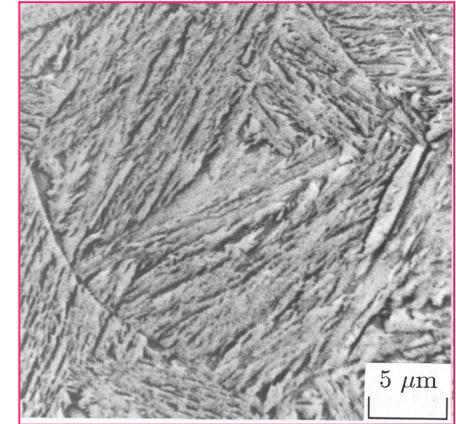
Martensita



Solución sólida sobresaturada de C en Fe_α obtenida por enfriamiento muy rápido. Es el constituyente más duro de los aceros tras la cementita.

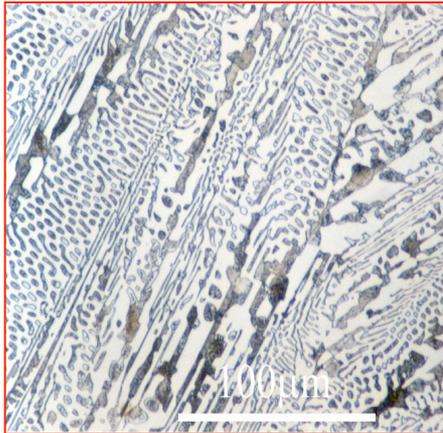


Bainita



Procede de la transformación isotérmica de la austenita [250 – 550] °C:
Bainita superior: 400 – 550 °C
Bainita inferior: 250 – 400 °C

Ledeburita



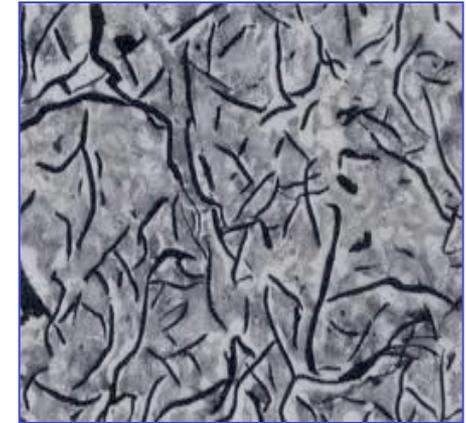
Constituyente eutéctico de las fundiciones formado por austenita y cementita.

Steadita



Constituyente de las fundiciones de más de 0.15% de fósforo. Es muy dura y frágil.

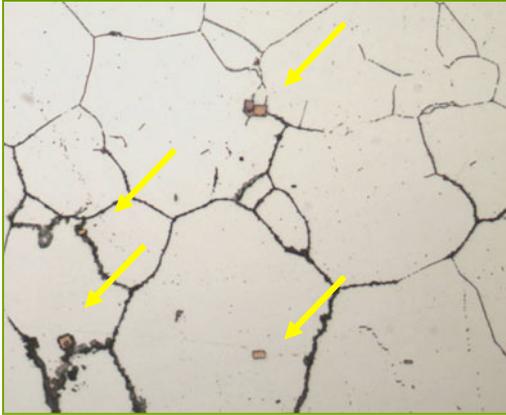
Grafito



Variedad alotrópica de carbono libre que se presenta en determinadas fundiciones.

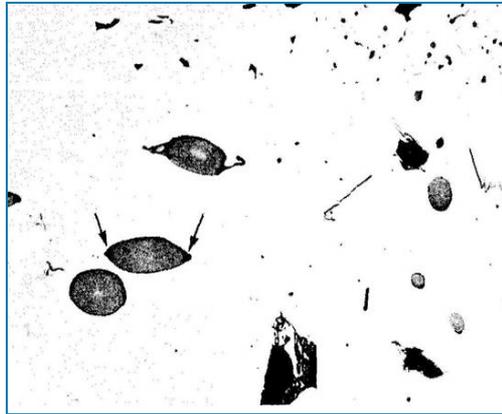
- Hay otros elementos que pueden encontrarse en diferentes formas:

Carburos



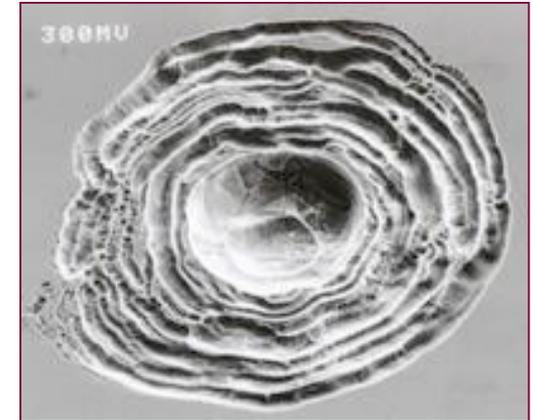
Pueden ser de Cr, Mo, W, Mn y V. Son más duros aún que la martensita

Emulsionados



El Cu y el Pb pueden formar bolsas muy pequeñas en la masa del acero

Inclusiones



(SMn, Al₂O₃, silicatos, ...) procedentes de refractarios de los hornos y las escorias

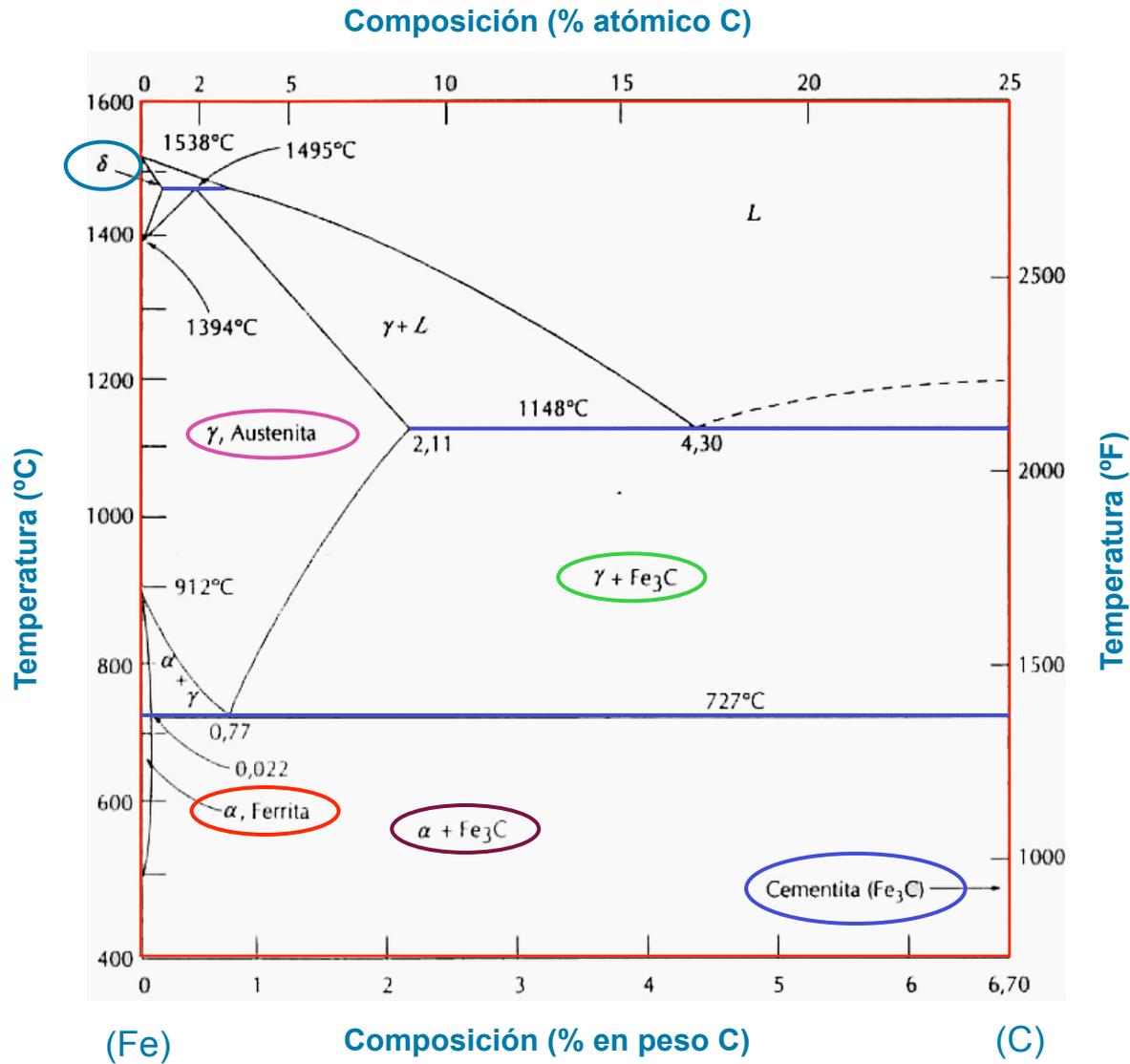
Disueltos en la ferrita

Ni, Cr, Si, Mn, Cu y P formando soluciones sólidas

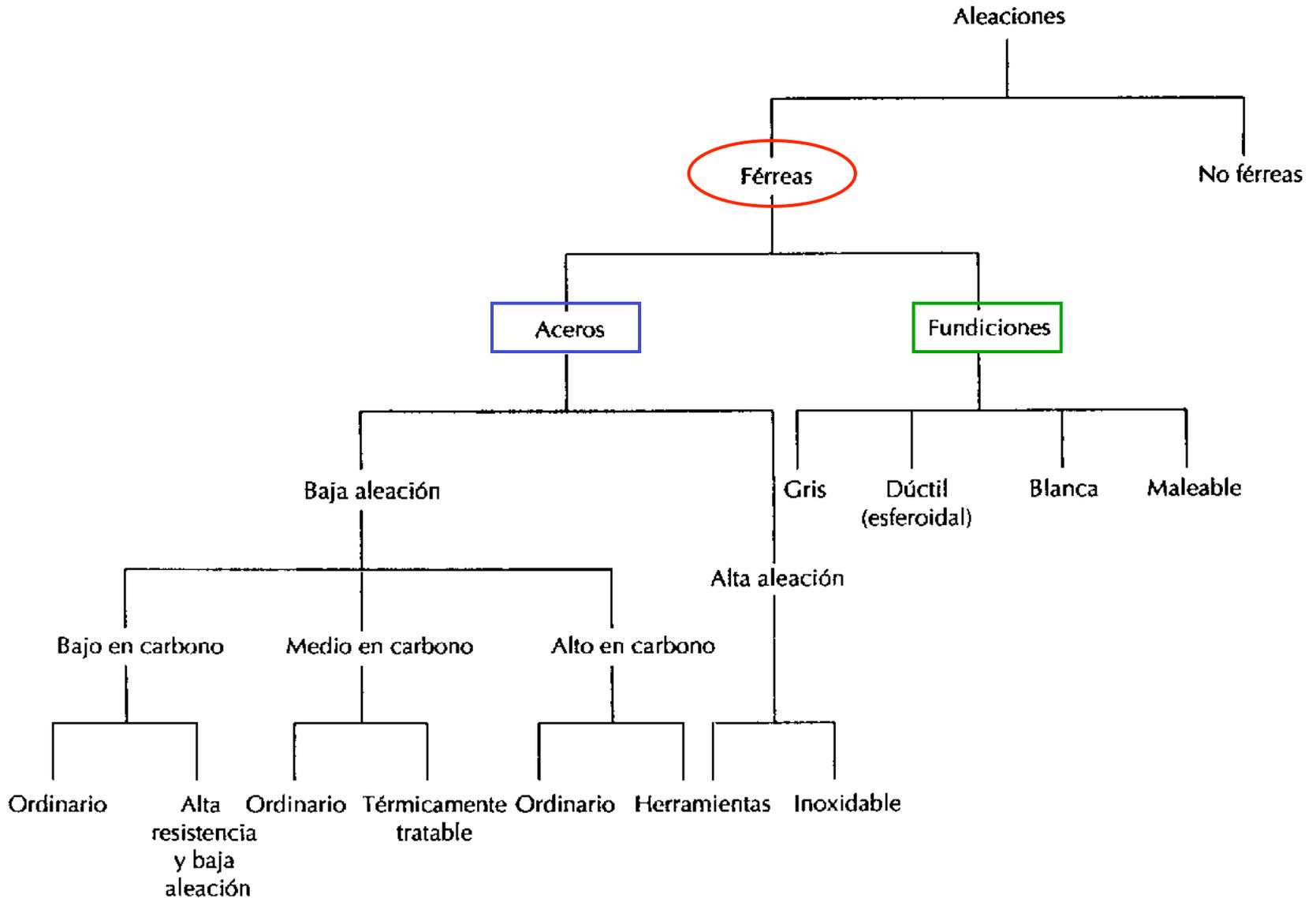
11.4 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO

Muestra los constituyentes de las aleaciones Fe – C según el contenido de carbono y la temperatura a que se encuentran, en condiciones de equilibrio





11.5 CLASIFICACIÓN DE LAS ALEACIONES FÉRREAS



11.6 ACEROS: CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

1. Aceros bajos en Carbono (%C < 0,25)

1.1 Ordinarios

Características

- Constituyen el mayor porcentaje del volumen de la producción de aceros
- No son templeables
- Son endurecibles por deformación (acritud)
- Microestructura ferrita + perlita
- Son blandos y poco resistentes ($\sigma_Y = 275$ MPa, $\sigma_R = 415 - 550$ MPa), pero muy dúctiles ($\epsilon_R = 25\%$) y tenaces
- Son de fácil mecanización, soldables y baratos

Aplicaciones

Carrocerías de automóviles

Vigas

Láminas para tuberías, edificios y puentes

Latas estañadas.



ACEROS: CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

1. Aceros bajos en Carbono (%C < 0,25)

1.2 Aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA)

Características

- Suma de elementos de aleación (Cu, V, Ni, Mo, ...) en torno al 10% peso
- Alta resistencia ($\sigma_Y > 480$ MPa)
- Son dúctiles, hechurables y mecanizables
- En ambiente atmosférico son más resistentes a la corrosión

Aplicaciones

Puentes

Torres

Recipientes a presión

Columnas de soporte para altos edificios



ACEROS: CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

2. Aceros medios en Carbono ($0,25 < \%C < 0,60$)

Características

- Admiten tratamientos térmicos (temple y revenido) en piezas de delgada sección
- Microestructura de martensita revenida
- Las adiciones de Cu, Mo y Ni mejoran la templabilidad
- Son más resistentes ($\sigma_Y = 430 - 830$ MPa, $\sigma_R = 600 - 1300$ MPa), pero menos dúctiles ($\epsilon_R = 10 - 25$ %) y menos tenaces

Aplicaciones

Ruedas y carriles para trenes

Engranajes

Cigüeñales

Pernos

Ejes

Pistones



ACEROS: CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

3. Aceros altos en Carbono ($0,60 < \%C < 1,40$)

Características

- Son aún más duros y resistentes pero de baja ductilidad
- Se usan en la condición de templado y revenido, mostrando alta resistencia al desgaste
- Microestructura de martensita revenida
- Los elementos de aleación (Cr, V, W y Mo) se combinan con el C para formar carburos muy duros y resistentes a la abrasión (Cr_{23}C_6 , V_4C_3 , WC, ...)

Aplicaciones

Herramientas de corte

Matrices y troqueles

Brocas

Cuchillos, navajas, hojas de sierra



ACEROS: CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

4. Aceros Inoxidables (usualmente %C < 0,20 ; 11 < %Cr < 20)

Características

- Resisten la corrosión en muchos ambientes, especialmente el atmosférico
- La resistencia a la corrosión se mejora con Ni (< 12%) y Mo
- Microestructura martensítica. Son magnéticos

Propiedades mecánicas:

$$\sigma_Y = 275 - 1650 \text{ MPa}, \sigma_R = 500 - 1800 \text{ MPa}, \varepsilon_R = 5 - 25 \%$$

- Microestructura ferrítica. Endurecen por acritud ya que no son templables. Son magnéticos.

Propiedades mecánicas:

$$\sigma_Y = 250 - 350 \text{ MPa}, \sigma_R = 450 - 550 \text{ MPa}, \varepsilon_R = 20 - 25 \%$$

- Microestructura austenítica. Endurecen por acritud (no son templables). No son magnéticos.

Propiedades mecánicas:

$$\sigma_Y = 240 \text{ MPa}, \sigma_R = 550 - 600 \text{ MPa}, \varepsilon_R = 50 - 55 \%$$

- Microestructura dúplex (austeno-ferríticos). Propiedades intermedias.

Aplicaciones

Tubos de escape, válvulas, turbinas de gas
Instrumental quirúrgico, cubertería, aviones, ...



11.7 FUNDICIONES: CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

Características

- Aleaciones Fe – C con un contenido en carbono superior al 2% (típicamente $3 < \%C < 4.5$)
- Funden a temperaturas más bajas que los aceros (1150 – 1300°C) → moldeo
- No trabajables por deformación en caliente
- Baja ductilidad y poco tenaces
- Resistentes a la vibración y al desgaste
- En general no son soldables

Tipos

- Fundición **gris**
- Fundición **dúctil**
- Fundición **blanca**
- Fundición **maleable**



Fundición gris

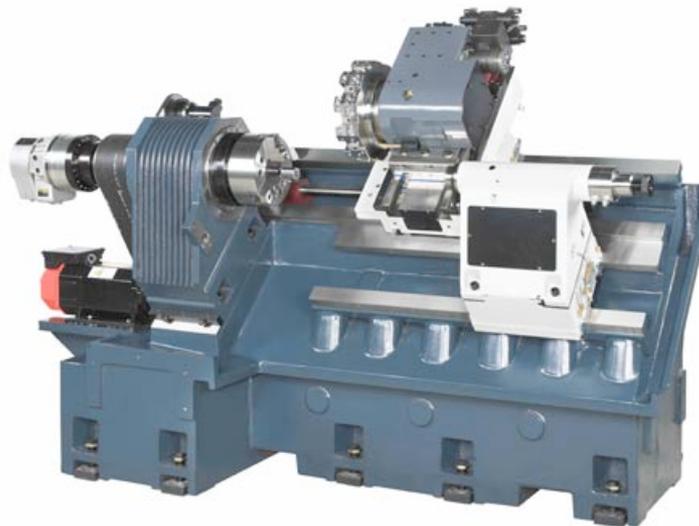
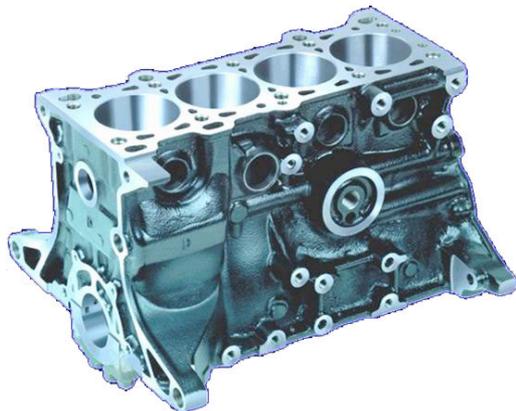
$2.5 < \%C < 4$; $1 < \%Si < 3$

El Carbono libre aparece en forma de láminas de grafito en matriz de ferrita o perlita.

Son frágiles y poco resistentes a la tracción ($\sigma_R = 175 - 275$ MPa)

Amortiguación, alta resistencia al desgaste, elevada fluidez en la colada y bajo coste

Aplicaciones: Bloques de motores, tambores de freno, bancadas para máquinas y equipos



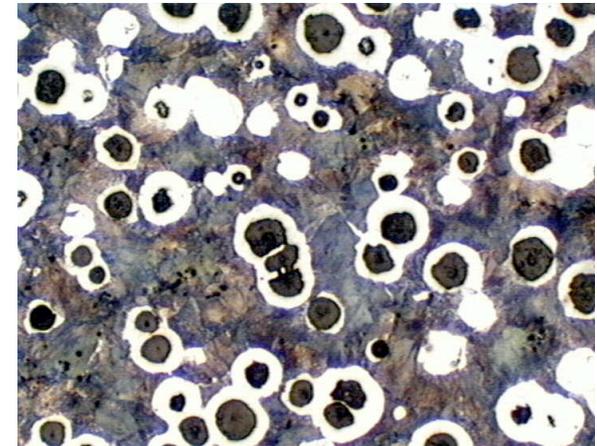
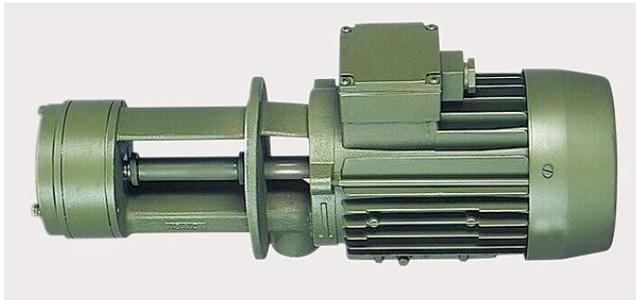
Fundición dúctil (nodular o esferoidal)

Se añaden pequeñas cantidades de elementos nodulizadores (Magnesio y/o Cerio) a la fundición gris.

El grafito forma esferoides en una matriz de ferrita o perlita

Es más resistente ($\sigma_R = 150 - 825 \text{ MPa}$) y más dúctil ($\epsilon_R = 18 - 2 \%$) que la fundición gris

Aplicaciones: Válvulas, cuerpos de bombas, cigüeñales y otros componentes de automóvil y maquinaria



Fundición Blanca

Bajo contenido en carbono: $2.3 < \%C < 3$

$\%Si < 1\%$

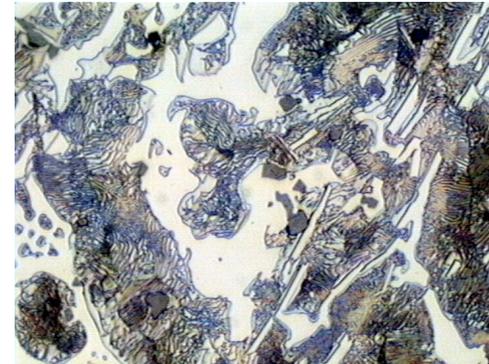
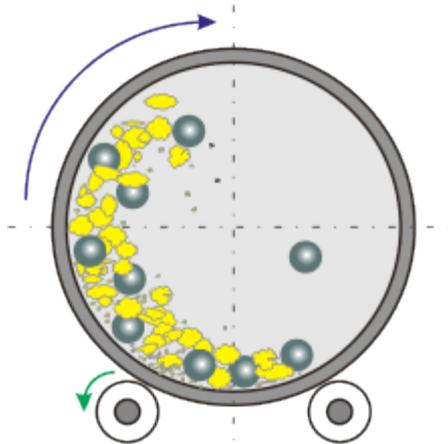
Velocidad de enfriamiento rápida

C aparece como cementita (Fe_3C) en lugar de grafito

Es extremadamente dura y muy frágil, hasta llegar a ser inmecanizable.

Es el producto de partida para fabricar fundición maleable.

Aplicaciones: cilindros de trenes de laminación, bolas de molinos, mandíbulas para trituradoras de mineral.



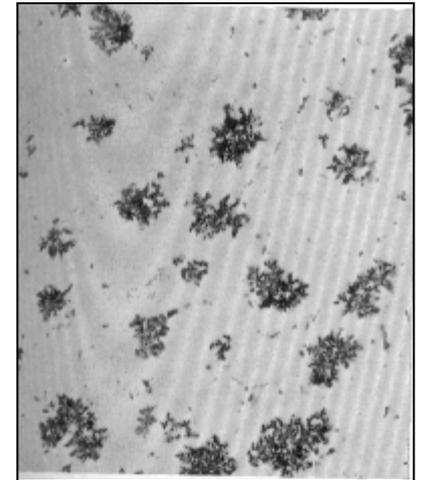
Fundición Maleable

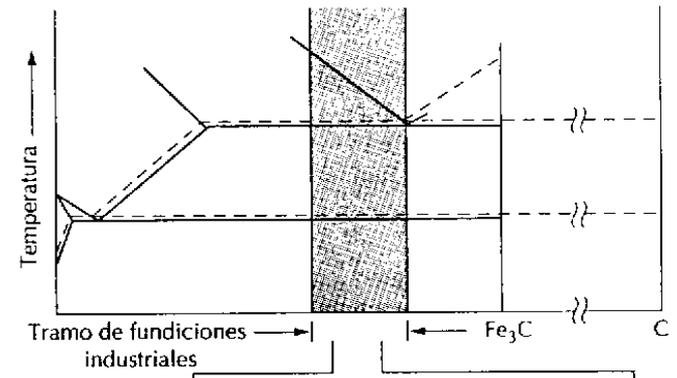
Calentando la fundición blanca entre 800 y 900 °C durante largo tiempo (recocido) se obtiene la fundición maleable.

La cementita (Fe_3C) se descompone y forma grafito en forma de racimos o rosetas dentro de una matriz ferrítica o perlítica.

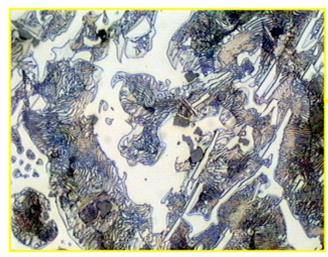
Presenta propiedades mecánicas comparables a las de la fundición dúctil.

Aplicaciones: tubos de dirección, engranajes de transmisión, cajas de diferencial, ...

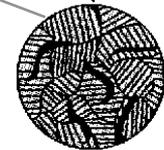




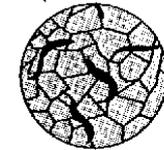
Enfriamiento rápido	Moderado	Enfriamiento lento	Mg/Ce	
$P + Fe_3C$	$P + G_f$	$\alpha + G_f$	Moderado	Enfriamiento lento
			$P + G_n$	$\alpha + G_n$



Fundición blanca



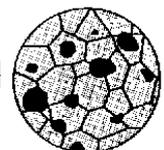
Fundición gris perlítica



Fundición gris ferrítica

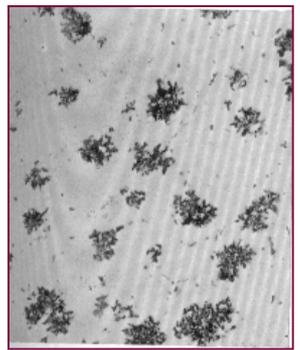


Fundición dúctil perlítica

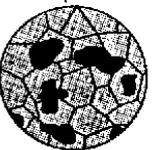


Fundición dúctil ferrítica

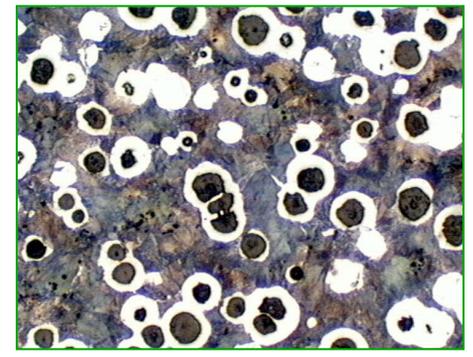
Vuelta a calentar a 700°C durante + de 30 h



Maleable perlítica



Maleable ferrítica

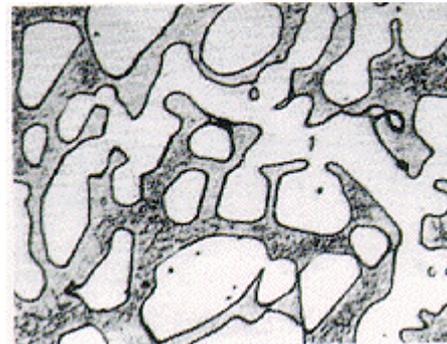
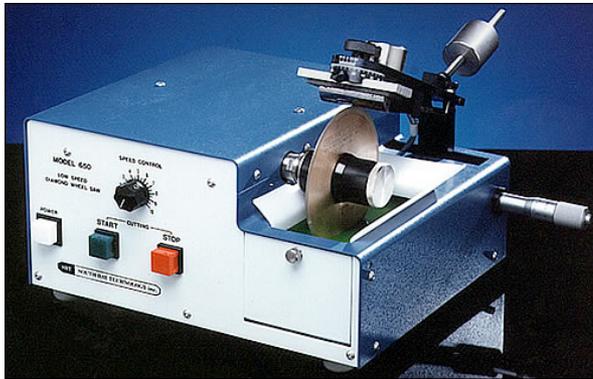


11.8 METALOGRAFÍA

Las distintas regiones de la microestructura de los metales y aleaciones originan diferencias en la reflexión de la luz y permiten obtener imágenes contrastadas

Preparación de las superficies: corte, encapsulado, desbaste, pulido y ataque para revelar los detalles de la microestructura (fases, granos, ...)

Observación: técnicas de microscopía óptica



11.9 TAMAÑO DE GRANO

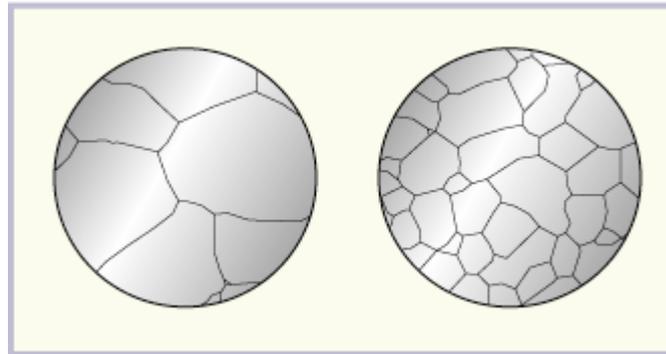
La mayoría de los sólidos cristalinos están constituidos por un conjunto de muchos cristales pequeños o **granos** (materiales policristalinos)

El **tamaño de grano** condiciona las propiedades de los metales y aleaciones

Existen distintos métodos de determinación de este parámetro:

Método ASTM

$$n = 2^{N-1}$$



Método UNE

$$m = 8 \times 2^G$$

- **N = índice de tamaño de grano ASTM**
- **n = número de granos en una pulgada cuadrada a 100x**
- **G = índice de tamaño de grano UNE**
- **m = número de granos en 1 mm²**

Ambos índices son prácticamente equivalentes:

$$N - G = 0.0458$$

11.9 ACTIVIDADES DE SEGUIMIENTO