

Ciencia de Materiales



Grado en Diseño de Producto

Guillermo Filippone

Metales

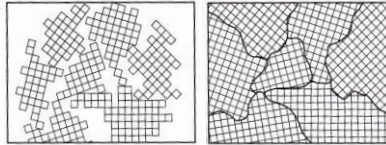
Metales

Características: dúctiles, maleables, tenaces, conductores, resistencia considerable, opacos, elevada densidad...

Estructura cristalina

Red de átomos → celda **unitaria**:
monocristal
policristalino

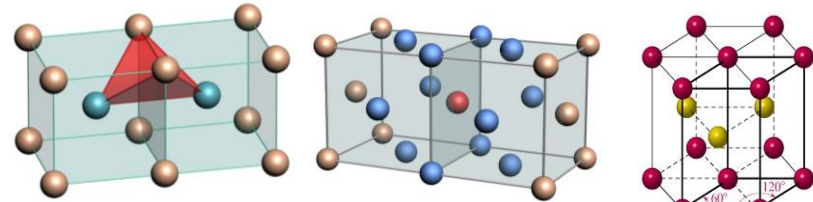
Granos: Orientación → **Isotropía**
Tamaño → **Fragilidad**



Solidificación Sólido

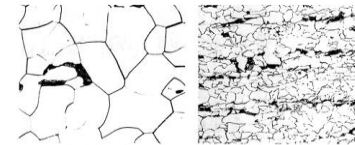
(Fuente: Kalpakjian, Schmid)

Deformaciones: Elásticas + plásticas → **Fibras**
Acritud: Fragilización por deformación



(Fuente: <http://mim-us.es>)

Cúbica centrada (CC): metales alcalinos (litio, sodio o potasio), hierro alfa, bario, radio, vanadio, cromo, molibdeno o wolframio.
Cúbica centrada en las caras (CCC): buenos conductores (aluminio, oro, plata, cobre)
Hexagonal compacta (EXC): cadmio, zinc, titanio



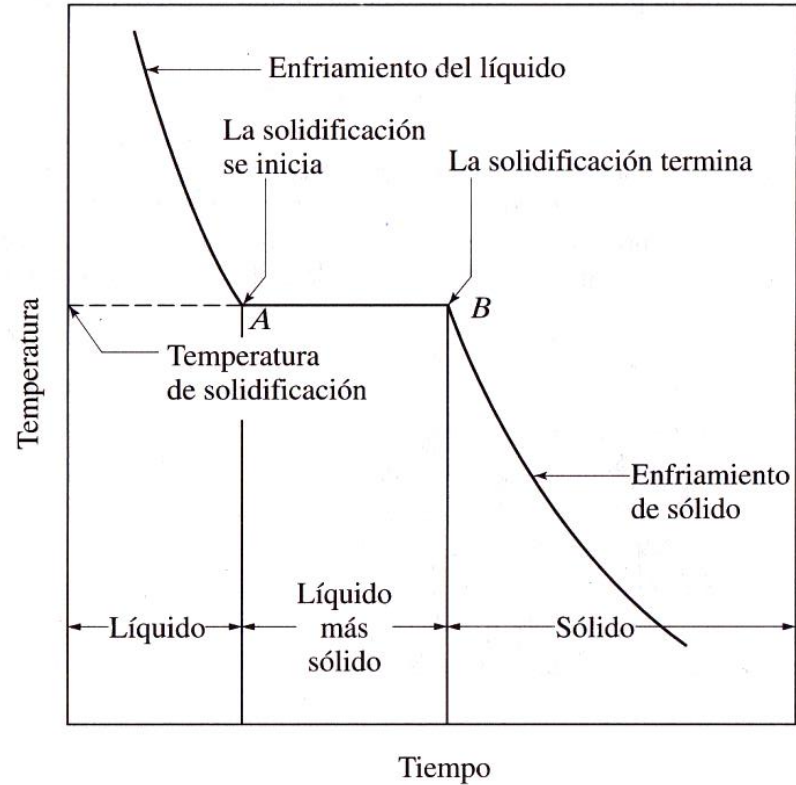
(Fuente: Kalpakjian, Schmid)

Solidificación

Metales puros

A temperatura constante

Curva de enfriamiento
metales puros



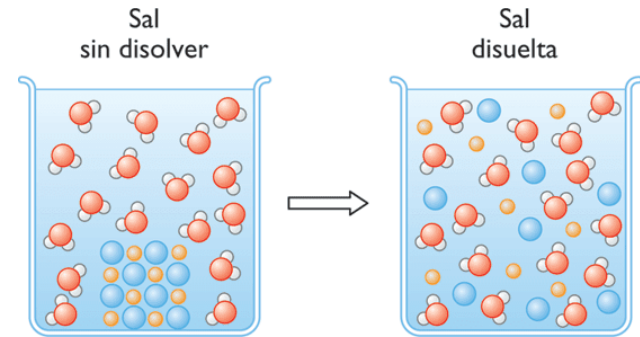
(Fuente: Kalpakjian)

Solidificación

Aleaciones metálicas

Componente en mayor proporción: **solvente**
menor proporción: **solute**

- componentes totalmente solubles,
- solubles estado líquido e insolubles en sólido
- pueden reaccionar químicamente

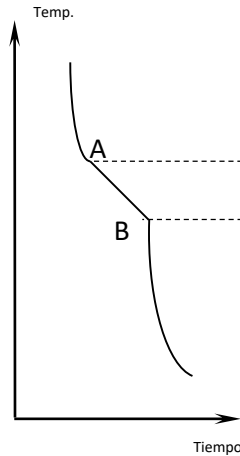


Metales

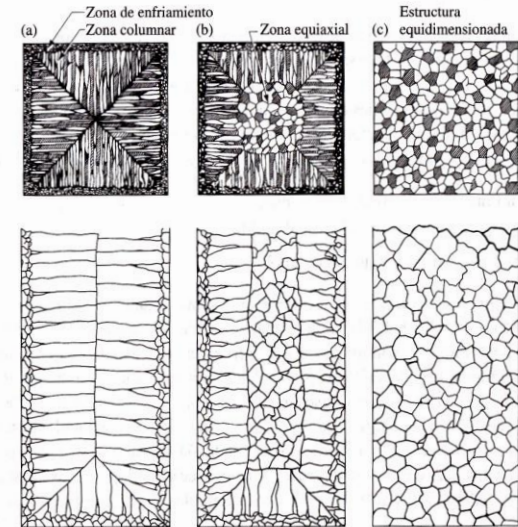
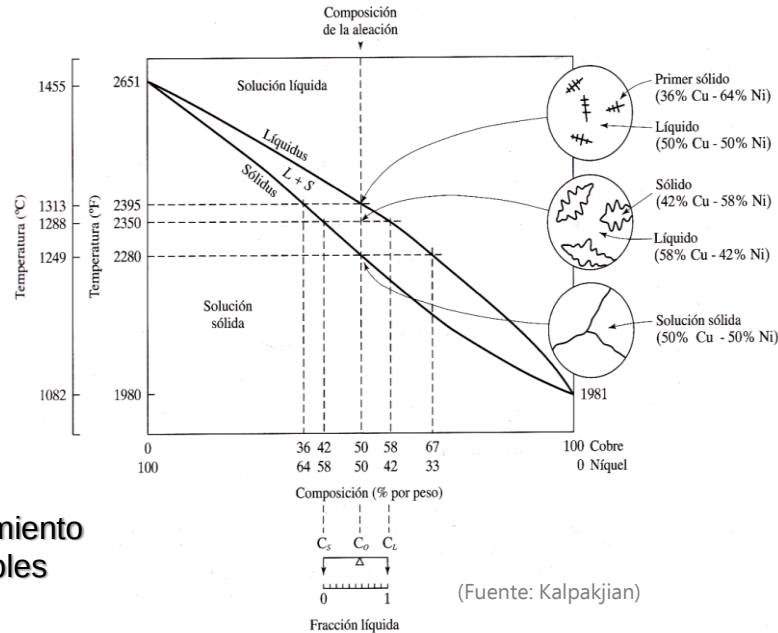
Solidificación

Aleaciones metálicas

Solubles



Curva de enfriamiento
aleaciones solubles



Patrón de solidificación:
a) Metal puro. b) Aleación.
c) Agentes nucleantes

Aleaciones

Productos siderúrgicos

Aleaciones Fe-C

Productos **siderúrgicos**

Aleación: **eutéctica**

Solidificación:

Fe: metal *alotrópico*

Hierro α . $< 768\text{ }^{\circ}\text{C}$, cúbica centrada (BCC).

Poca solubilidad del C ($< 0,008\%$).

Magnético.

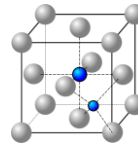
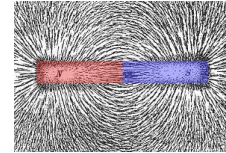
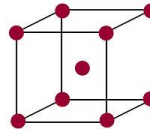
Hierro β . Entre 768 y $910\text{ }^{\circ}\text{C}$, (BCC).

Hierro γ . Entre 910 y $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$,
cúbica centrada en caras (FCC).

Paramagnético.

Hierro δ . $> 1400\text{ }^{\circ}\text{C}$, (BCC).

Paramagnético.



Aleaciones

Productos siderúrgicos

Aleaciones Fe-C

Estructuras:

Hierro α . < 768 °C, (BCC).

Hierro β . Entre 768 y 910 °C, (BCC).

Hierro γ . Entre 910 y 1400 °C, (FCC).

Hierro δ . > 1400 °C, (BCC).

Ferrita: Solución sólida Fe- α con C.

Blanda y dúctil.

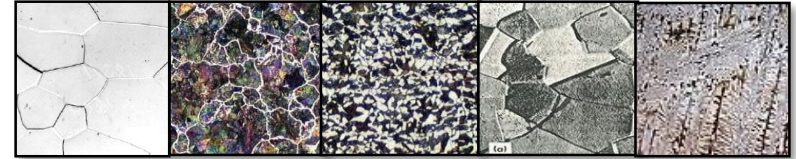
Cementita. Fe₃C (6,67%C). El más duro y frágil. Ortorrómico.

Perlita. Eutectoide, 86,5% ferrita, 13,5% cementita. Dureza y resistencia.

Austenita. Soluc. sólida de C en Fe- γ (0,88 a 2,8% C). No magnética. Sólo estable a T superior a T_{cr}.

Ledeburita. Mezcla eutética de austenita (2,11%C) + cementita. Muy dura y frágil.

Otros metales de aleación (Cr, Ni, Co, Al, W, Ti...): drásticos cambios diagrama equilibrio.



Ferrita (α / β)
Dúctil
Fe+C (sustit.)

Cementita
Duro y frágil
Fe₃C

Perlita
Ferrita+
Cementita

Austenita (γ)
 γ Fe + C

Ledeburita
Fundiciones



Aleaciones

Aceros

Carbono

Dúctil.	0,25 %, Sut < 400MPa AISI/SAE 1020
Semidúctiles.	0,25 < C < 0,35 %, Sut < 600MPa AISI/SAE 1030
Semiduro.	0,35 < C < 0,45 % C Sut > 600 Mpa SAE 1053
Duro.	0,45 < C < 0,55 % C Sut > 700 MPa AISI/SAE 1095



Normas.
Españolas (AENOR). UNE-36001 (2001)
Europeas. UNE-EN 10020/10027
AISI/SAE. ZYXX (AISI 4140)

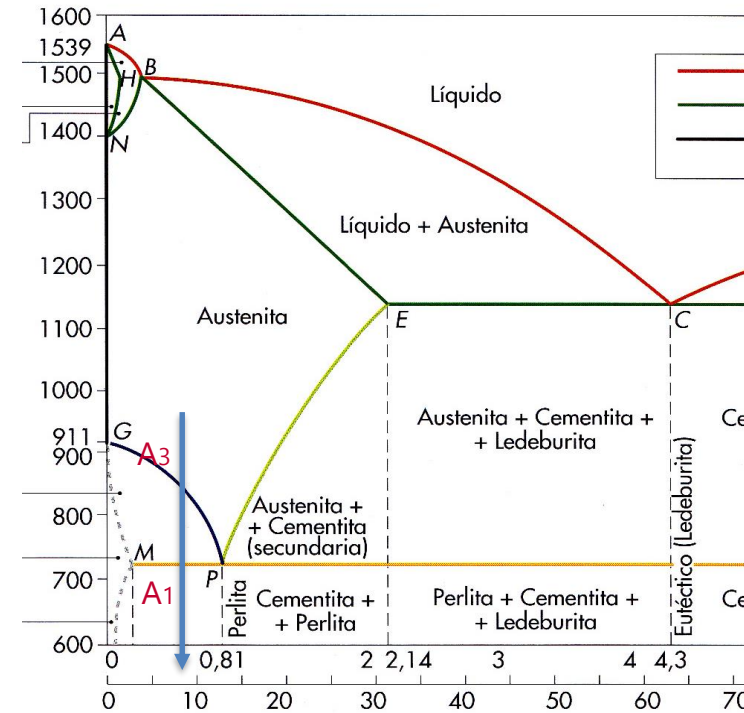
Aleaciones

Aceros

Carbono

Dúctil. Enfriamiento lento:
más austenita se transforma
en perlita → material más dúctil

Duro. Enfriamiento rápido:
menos austenita se transforma
en perlita → material más duro



A1: Temp. Crítica inferior

A3: Temp. Crítica superior

Guillermo Filippone

Aceros

Aleados

Elementos de aleación →

mejorar resistencia, dureza, tenacidad, resistencia al desgaste, templabilidad o resistencia en caliente.

Baja aleación, 4 - 8 %

Alta aleación, 8 – 50 %

manganeso: aumenta templabilidad; con *azufre* y *fósforo* reduce la fragilidad

níquel, cromo, molibdeno, vanadio, silicio : mejoran tenacidad y resistencia

boro: aumenta la dureza.

cobalto, titanio, tungsteno: aumentan la resistencia

cobre: aumenta resistencia a la corrosión

aluminio: aleante para la nitruración del acero,

plomo: mejora la maquinabilidad

azufre: mejora las propiedades para el mecanizado.

Aleaciones

Aceros

Inoxidables: mín. 10 % - 12 % Cr

Martensíticos. 0,2 - 1,2 C, Cr <18 %. SAE 400.

Endurecen, poco soldables, magnéticos

Ferríticos, Cr + Ni < 8 %. SAE 400.

Baja dureza pero endurecibles por temple , poco soldables, magnéticos

Austeníticos. C < 0.08 %. SAE 300.

Duros, excelente resist. corrosión, soldabilidad y conformabilidad.

Austeníticos refractarios.

Soportan temperaturas muy altas, corrosión por picaduras y buen comportamiento bajo tensión: acero SAE 310 (25 % Cr – 20 % Ni), puede trabajar hasta 1150 °C.



(Fuente: redimac.com.mx)



(Fuente: diytrade.com)

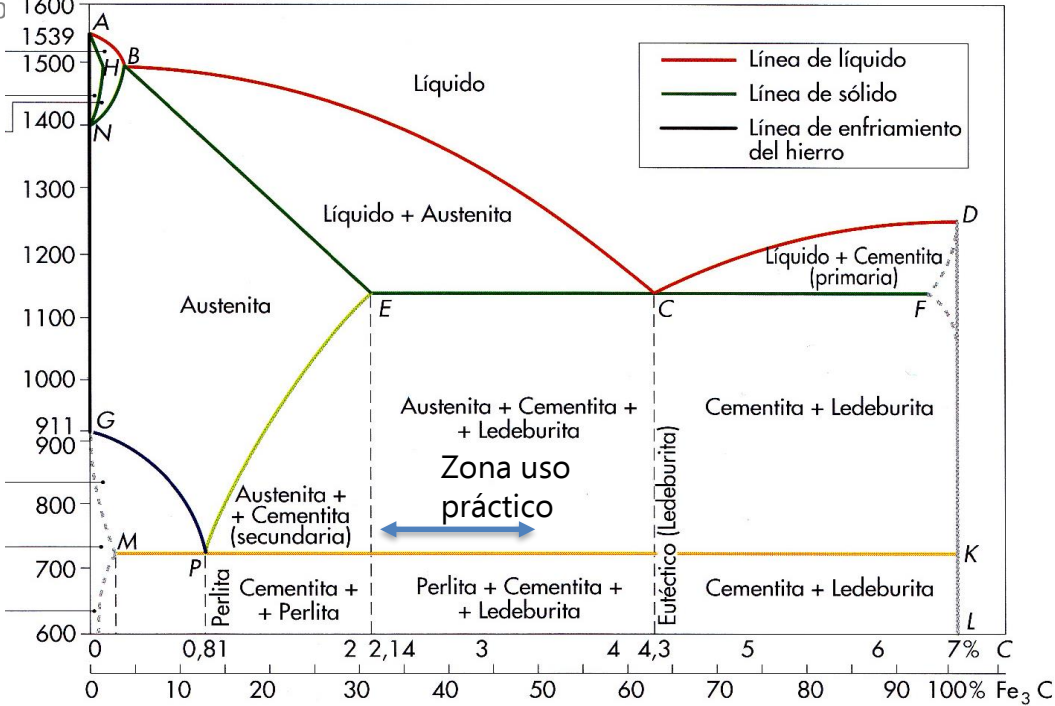


(Fuente: ebay.it)

Aleaciones

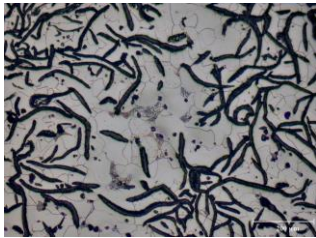
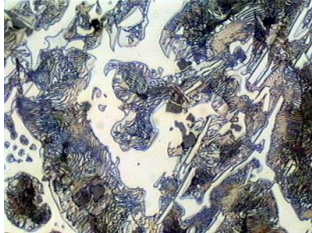
Fundiciones

C: 2,11 a 4,5 %



Aleaciones

Fundiciones



(Fuente: Kalpakjian)

Blanca: C: 1,8 - 3,6 % / Si : 0,5 - 2 %

Materiales muy duros, elevada resistencia al desgaste y rotura frágil.

No mecanizable.

Gris: C: 2,5 - 4 % / Si : 1 - 3 %

Tiempo solidificación largo, C precipita en forma de grafito y acero en ferrita.

Frágil, baja resistencia ($S < 140$ MPa), buena colabilidad y maquinabilidad, económicas.

C/ tratamientos térmicos:

perlítica (ferrita + cementita), menos frágil y mejor resistencia.

martensítica, materiales duros.

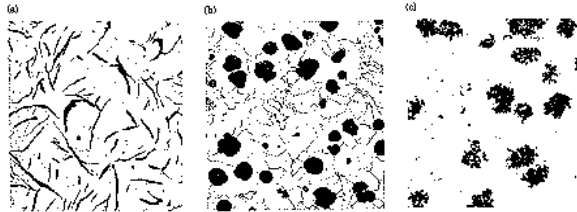


Aleaciones

Fundiciones

Nodular: aditivos grafitizantes (Mg o Ce) , S y P < 0,03 %.
Resistencia trac. 550 Mpa, límite elástico 380 Mpa

Maleable: fundición blanca recocida en atm.CO₂ a 800 / 900 °C
p/ dissociar cementita en Fe y grafito. Dúctiles, S < 240 MPa



(a) Gris ferrítica. (b) Nodular. (c) Maleable ferrítica

Aleaciones

Hornos

Altos hornos

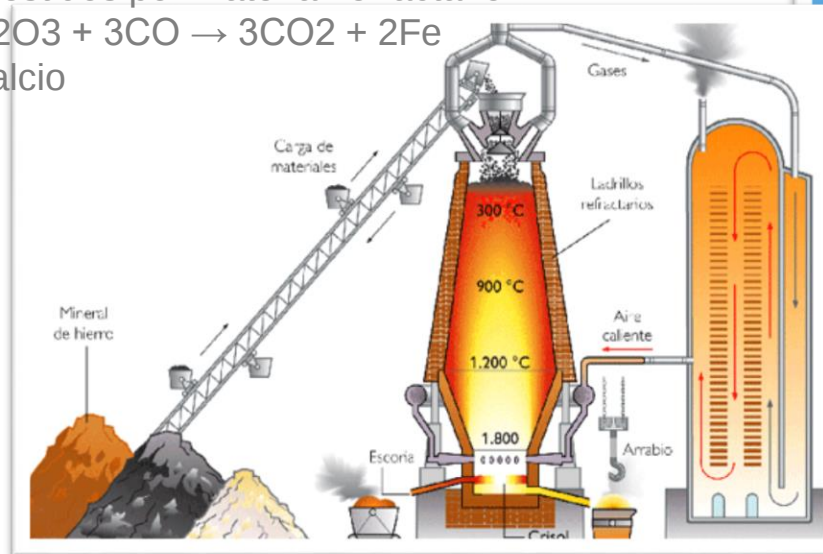
Fusión y reducción del mineral de hierro y obtener **arrabio** (3,6 a 4,5 % C).

Carga: capas de mineral de hierro, coque y caliza

Hornos: metálicos revestidos por material refractario

Reacción química: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 3\text{CO}_2 + 2\text{Fe}$

Escorias: silicato de calcio



Aleaciones

Hornos

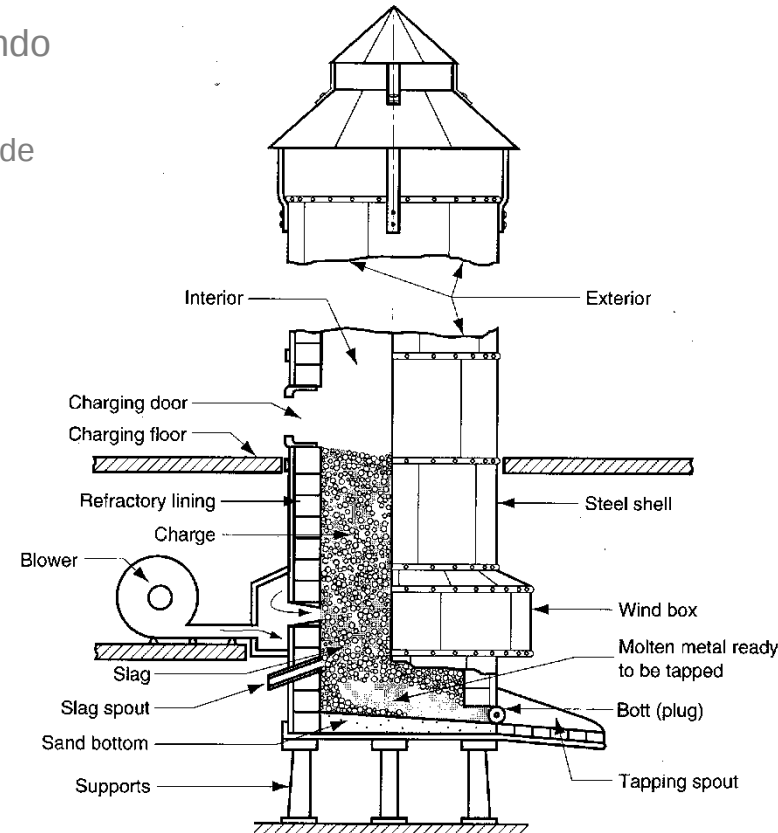
Fundición: cubilote

Hornos utilizados para obtener fundición gris, utilizando como materia prima el arrabio de los altos hornos.

Carga: capas alternadas de 50 - 60 cm de carga metálica y de coque con caliza.
arrabio ($\cong 60 \%$)
coque (13 % de la carga metálica)
caliza (4 % de la c. metálica)
chatarra de fundición y acero ($< 40 \%$)



Pinchado del tapón



Aleaciones

Hornos

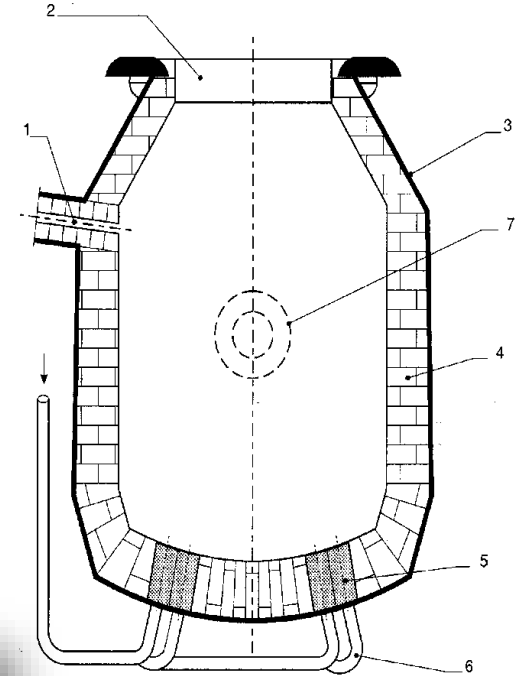
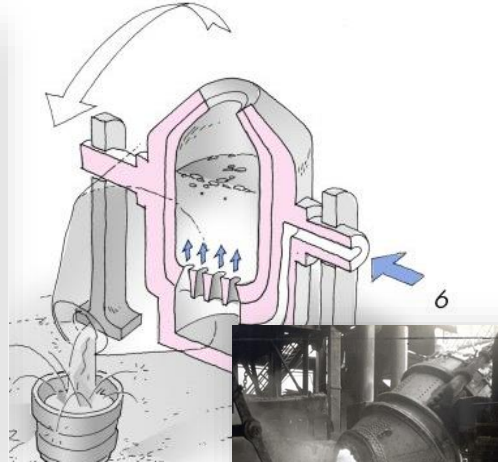
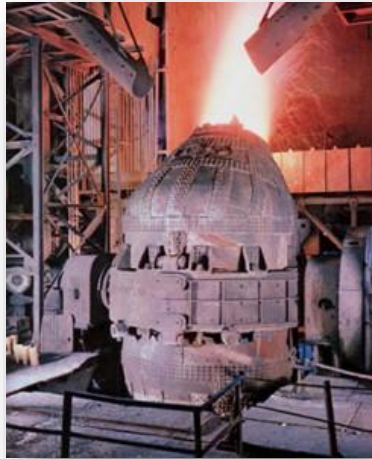
Aceros

Hornos convertidores / oxiconvertidores

Afinamiento del arrabio para obtener acero

Refractario ácido (Bessemer) o básico (Thomas)

Energía: oxidación parte del C del Mn, Si, P, S



- | | |
|------------------------------------|--------------------|
| 1. Canal colada | 2. Boca de llenado |
| 3. Recipiente | 4. Refractario |
| 5. Entradas de aire/O ₂ | 6. Soplado |
| 7. Basculante | |

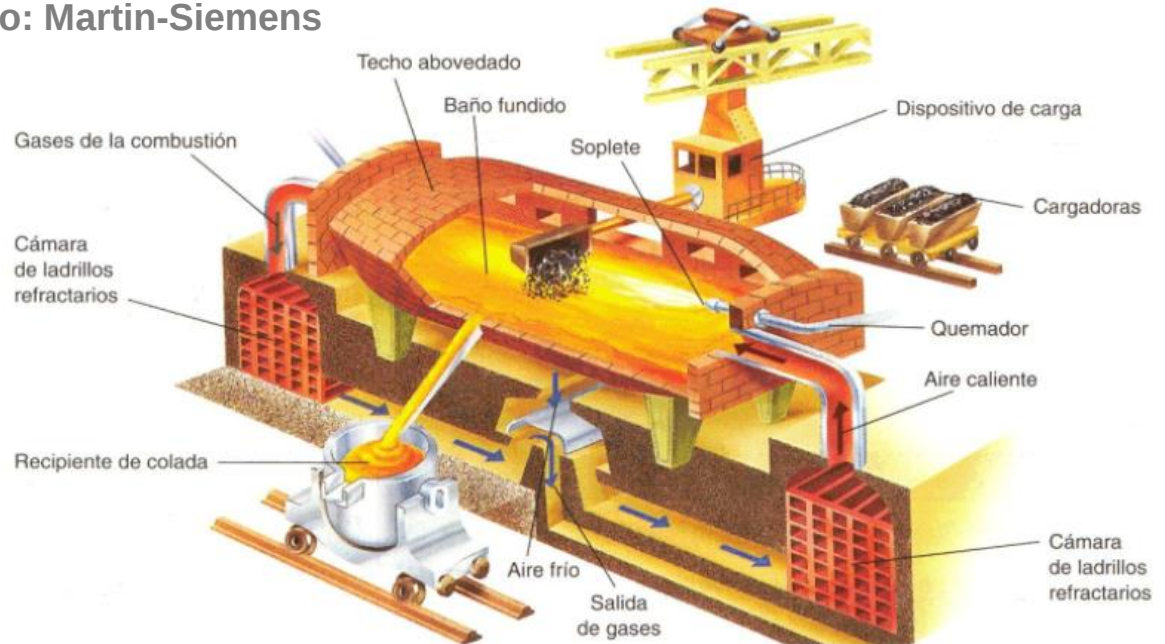
Aleaciones

Hornos

Aceros

Hornos de afinado

Hornos de reverbero: Martin-Siemens



Aleaciones

Hornos

Aceros

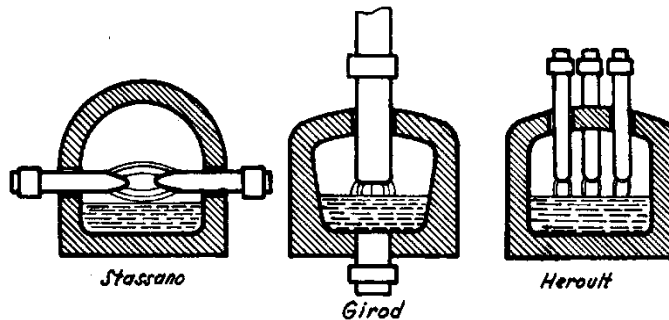
Hornos de afinado

Eléctricos

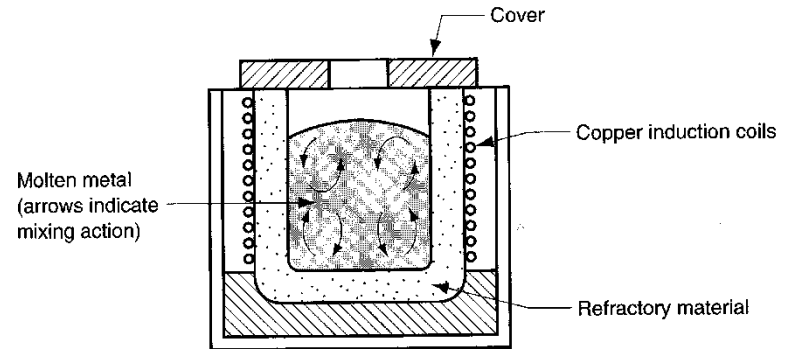
Permiten las mayores temperaturas de fusión (hasta 3500 °C)

Fino control de la regulación y de la atmósfera (pueden trabajar con vacío)

Dosificación muy precisa de elementos de aleación



Hornos de arco



Hornos de inducción

Aleaciones

Aleaciones no férreas

Ligeras

Aluminio

Aleaciones AISI/SAE 1xxx: aluminio técnicamente puro (99,9%). Laminados en frío.

Endurecibles

Aleaciones AISI/SAE 2xxx: aleaciones con Cu. Alta resistencia ($\cong 450$ MPa) y tenacidad. Estructuras aeroespaciales.

Aleaciones AISI/SAE 3xxx: aleaciones con Mn. Buena maquinabilidad.

Aleaciones AISI/SAE 5xxx: aleaciones con Mg. Resist. Moderada ($\cong 200$ MPa).

Aleaciones AISI/SAE 6xxx: aleaciones con Mg y Si. Buena ductilidad ($\cong 290$ MPa), utilizada para perfiles y estructuras en general.

Aleaciones AISI/SAE 7xxx: aleaciones con Cu, Mg y Zn. Alta resist. ($\cong 510$ MPa). Alas aviones. Elem. mecs. bajo peso.

Duraluminio: Cu (3-5%), Mg (0,5-2%), Mn (0,25-1%) y Zn (3,5-5%).



Aleaciones no férreas

Ligeras

Magnesio

Menor densidad que Al ($1,74 \text{ kg/dm}^3$).

Precio doble que Al.

Alta reactividad (baja resist. a corrosión, arde en estado líquido)

Difícil colabilidad

Frágil en frío.

Aleaciones fundición Al y Zn. Endurecimiento por solución sólida.



Aleaciones

Aleaciones no férrreas

Ligeras

Titanio

Densidad $4,5 \text{ kg/dm}^3$.

Precio muy alto.

Alta reactividad fundido (con O, N, H, C y Fe), pero muy resist. corrosión en sólido.

Ti puro (99.0%): $S_{ut} = 200 \text{ MPa}$. Alta resist. Corrosión (cloro líquido, ácido acético, ácido nítrico, hipocloritos y salmuera).

Endurecimiento por solución sólida: $S_{ut} = 1290 \text{ Mpa}$ (aleado con V, Cr, Al).



Aleaciones

Aleaciones no férreas

Cobre

Más pesadas que el Fe. Densidad $8,96 \text{ kg/dm}^3$.
Mejor resistencia a la fatiga, a la termofluencia y al desgaste que aleaciones ligeras.
Excelente ductilidad, resistencia a la corrosión.
Muy buena conductividad eléctrica y electrónica.
Endurecimiento por deformación.

Cu comercialmente puro (99%): elevada conductividad, blando pero endurecibles por deformación.



Aleaciones

Aleaciones no férreas

Cobre

Latones (Cu-Zn):

< 35 % Zn → soluciones sólidas monofásicas que admiten endurecimiento por deformación.

Fácil de mecanizar, troquelar y fundir.

Resistente a la oxidación y corrosión.

Maleable en frío (no en caliente).

Valvulería y hélices de barco (resist. a la cavitación)

No produce chispas por impacto mecánico.

+ Mn: elevada resistencia (se le llama *bronce al Mn*)

+ Pb: facilita el mecanizado.



Aleaciones no férreas

Cobre

Bronces (Cu-Sn):

< 10% Sn monofásicos.

Elevada conductividad.

Endurecibles por deformación.

Piezas mecánicas resistentes al roce y a la corrosión.

Principalmente para fundición.

Material para campanas: 78 % Cu - 22 % Sn

+ < 10% Pb. Cojinetes de fricción.



Aleaciones

Aleaciones no férreas

Cobre

Alpaca (Cu 45-70 %, Zn 8-45 %, Ni 8-20 %):

Color y brillo parecidos a la plata.

Elevada ductilidad, fácil para ser trabajadas a temperatura ambiente.

Buena resistencia a los medios corrosivos.

Uso extendido en cubertería.



Aleaciones

Aleaciones no férreas

Cobre

Cuproníquel (Cu 75 %, Ni 25 %):

Resistencia a la corrosión (tuberías, uso marino, condensadores...)

Color similar a la plata (numismática).

Termopares y resistores (55% Cu – 45 % Ni).



Monel (63 % Ni)

Extremadamente resistente a la corrosión (ácido sulfúrico, salmuera...).

Elevada resistencia al impacto.

Buena conductividad térmica (intercambiadores de calor)



Aleaciones no férrreas

Aleaciones con memoria de forma

Nitinol: aleación Ni / Ti

Propiedades debidas a la transición de fase entre una estructura *austenítica* y otra *martensítica*.

Recuperación de la forma por calentamiento:

Se da forma al material a temp. de *austenita*. Al enfriar se transforma en *martensita* (*a. maclada*), que se deforma fácilmente. Cuando se vuelve a calentar, se transforma en *austenita* y recupera su forma inicial.

Superelasticidad:

Se deforma en fase *austenita* a una temp. adecuada hasta que se transforma en *martensita bajo tensión*. Al quitar la fuerza se recupera la forma inicial.

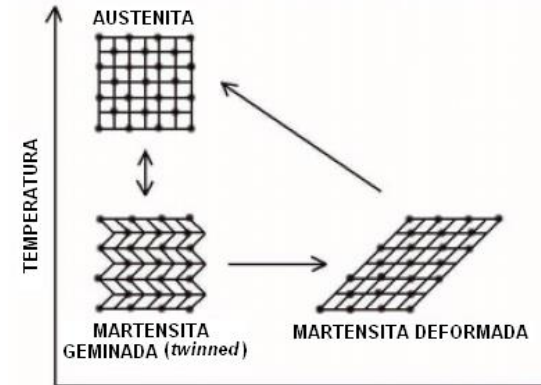
Aplicaciones:

Traumatología: grapas

Estomatología: arcos de ortodoncia

Cardiología: Stents

Gafas para niños



Aleaciones

Aleaciones térmicas

Inoxidables

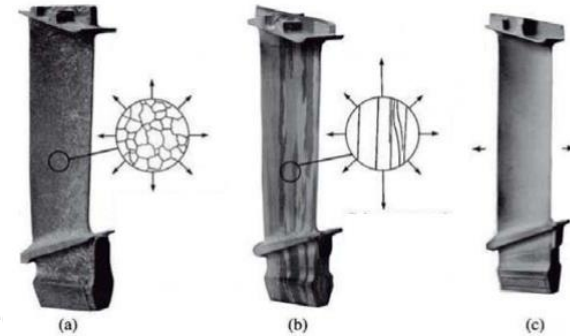
Aleaciones inox. Fe-C especialmente dosificadas para favorecer menor tamaño de grano (favorece la resistencia a la fluencia y la fatiga a A.T.)

Refractarias

Molibdeno, Niobio, Tungsteno, Tántalo.
Alta temp. fusión: 2468°C (Ni), 3410°C (W)
Alto módulo elástico, dureza y resistencia, también a A.T.
Pueden usarse como elem. de aleación en aceros.
Industria química, componentes de motores de reacción.
Obtenidos por fusión o pulvimetalurgia.

Superalaciones

Combinaciones superlativas de propiedades (resist. A.T., resist. me ligereza...)
Generalmente base de aleación Níquel, Cobalto o Níquel-Hierro.
Estructuras monocristalinas o policristalinas.
Hastelloy, Inconel, Nimonic...
Aeronáutica, ind. química...



Álabes de compresor:

- a) Policristalina.
- b) Grano columnar.
- c) Monocristal.

Tratamientos térmicos

Modifican las propiedades mecánicas sin modificar la composición química

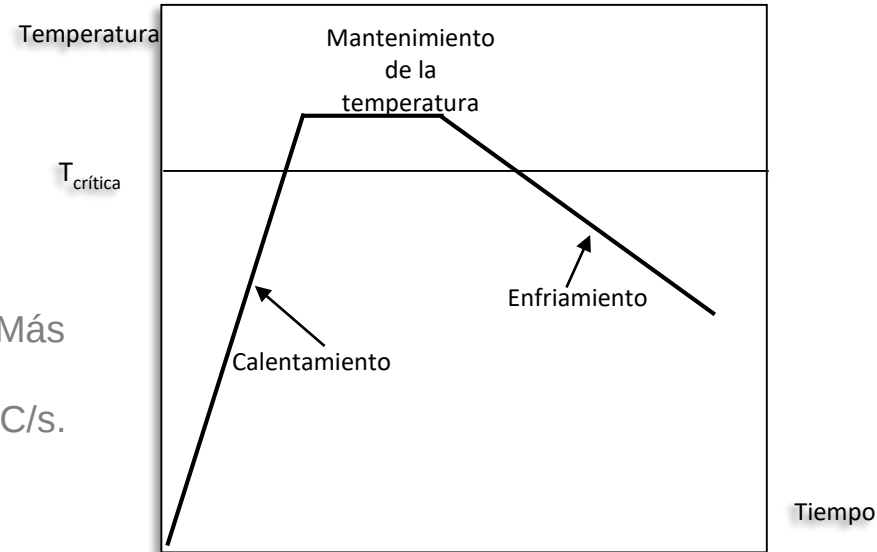
Endurecimiento



Temple

Martensita. Endurecimiento. Transformación de austenita en martensita (enfriamientos a velocidades $\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C/s}$)

Bainita. Difusión de ferrita y cementita. Más duros que perlíticos, más dúctiles que martensíticos, a veloc. entre 275 y $500\text{ }^{\circ}\text{C/s}$.



Aleaciones

Control dureza

Revenido

Se realiza después del temple, para disminuir fragilidad y tensiones internas (transforma en parte la martensita y la austenita).

Recocido

Elimina acritud y recupera la estructura de un material:

Eliminación de tensiones

Contra acritud

Globular

Ablandamiento

Homogeneización

ESTADO DEL METAL	R (Bar)		Re (Bar)		ε (%)	
	A 5	Cu	A 5	Cu	A 5	Cu
Recocido	8,5	23	3,5	7	38	45
Semiendurecido por acritud	13	30	11	25	8	14
Endurecido por acritud	17	35	15.5	32	6	6

Normalizado

Recupera la austenita de una pieza previamente forjada o laminada.



Tratamientos termoquímicos

Además de cambios en la estructura del material, producen cambios en la composición química de la capa superficial.

Endurecimiento superficial

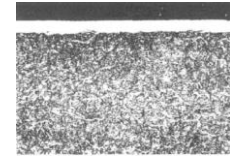
Mejora la resistencia al desgaste, corrosión o fatiga, conservando el núcleo del material dúctil y tenaz.

Mecanismos: difusión,
 formación de compuestos
 adsorción.

Cementación. Endurecer por aportación de carbono

Nitruración. Aportación de nitrógeno y carbono para formar nitruros

Cianuración. Intermedio entre la cementación y la nitruración



Mejorar mecanizado

Sulfinización. Fragiliza superficialmente aceros bajos en carbono para favorecer salida de viruta.

FIN
Muchas gracias

ESNE

Escuela Universitaria
de Diseño, Innovación
y Tecnología