

BLOQUE IV.- Materiales metálicos

Tema 9.- Sistema Fe-C. Aceros

* William F. Smith
"Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales".
Tercera Edición. Ed. Mc-Graw Hill

* James F. Shackelford
"Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros".
Cuarta edición. Ed. Prentice Hall (1998)



Ejemplos de piezas comunes de metal, que incluyen diversos muelles, pinzas y abrazaderas.



Distintas piezas de aluminio fabricadas mediante deformación superplástica (\Rightarrow empleando aire a presión para estirar una chapa metálica sobre una preforma metálica)

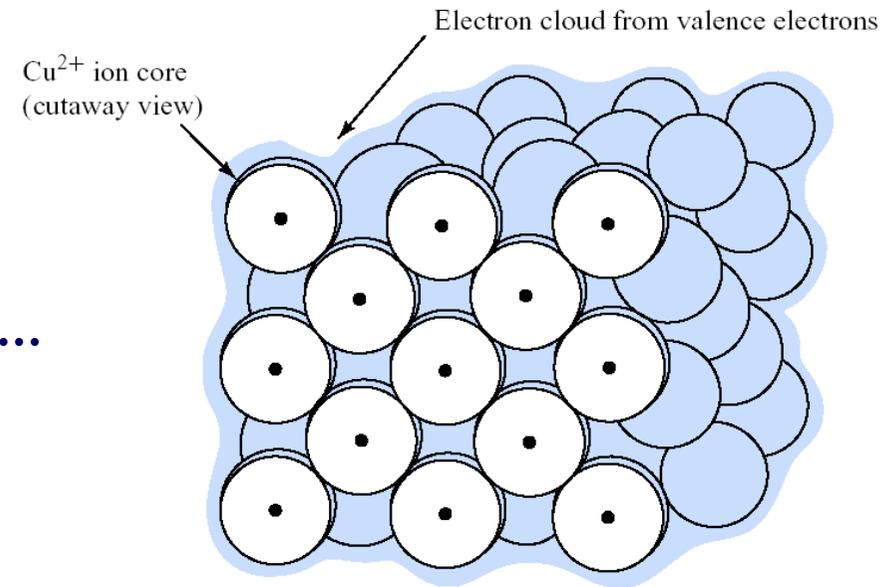
Materiales tradicionalmente fundamentales para ingeniería (acero, aleaciones de aluminio, aleaciones de Ti, aleaciones de Cu, etc)

Enlace metálico:

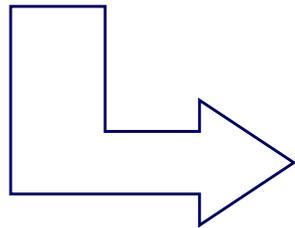
e^- externos compartidos y deslocalizados

No direccional

Metales: Fe, Ni, Co, aceros, aleaciones, etc...

**Características de átomos metálicos:**

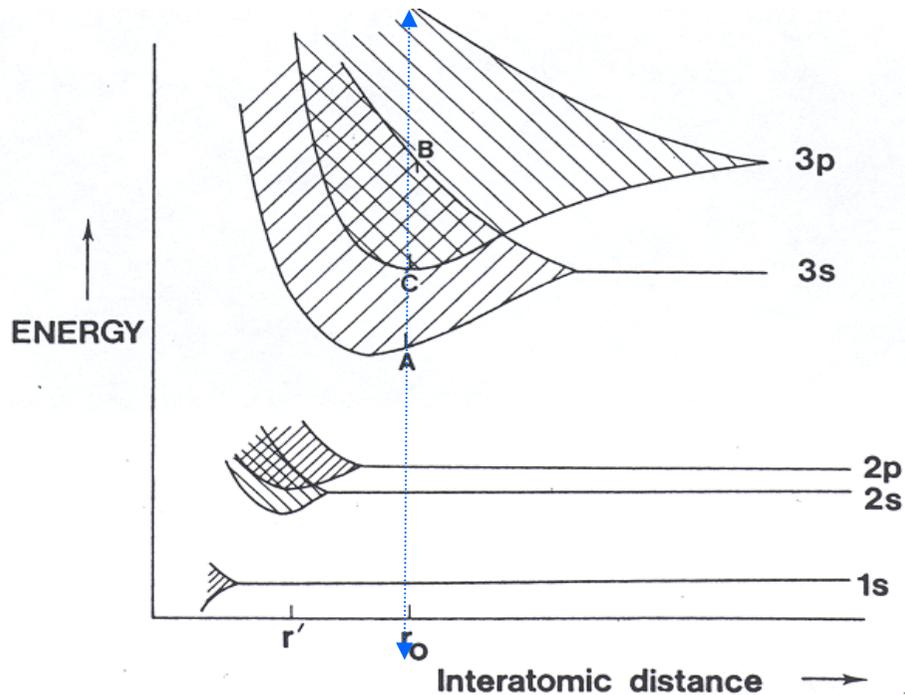
1. Energías de ionización bajas
2. N° de electrones de valencia < el n° de orbitales de valencia \Rightarrow hace posible el movimiento de e^- de valencia en el metal cristalino



Conductor eléctrico
Conductor térmico
Dúctil y maleable

Teoría de Bandas

Estructura de bandas de Na metal: Depende de la Distancia Interatómica \Rightarrow Solapamiento de los OA.



Cumple el principio de exclusión de Pauli (2 e⁻ para cada nivel de energía)

[Na]: [Ne] 3 s¹ \Rightarrow banda 3s semillena

[Mg]: [Ne] 3 s² \Rightarrow banda 3s llena

Explica conductividad eléctrica en metales

Ej.: Mg: banda OM(3s) llena
banda OM(3p) vacía



Solapamiento \Rightarrow **Conductividad**



Aleaciones Férricas
(Base Fe)

90% en peso de materiales metálicos

Aceros

($0.05 < C < 2$ % en peso)

Fundiciones

($2 < C < 4.5$ % en peso)

- Fundición blanca
- Fundición gris
- Fundición dúctil
- Fundición maleable
- Fundición atruchada

(aleantes > 5% en peso)

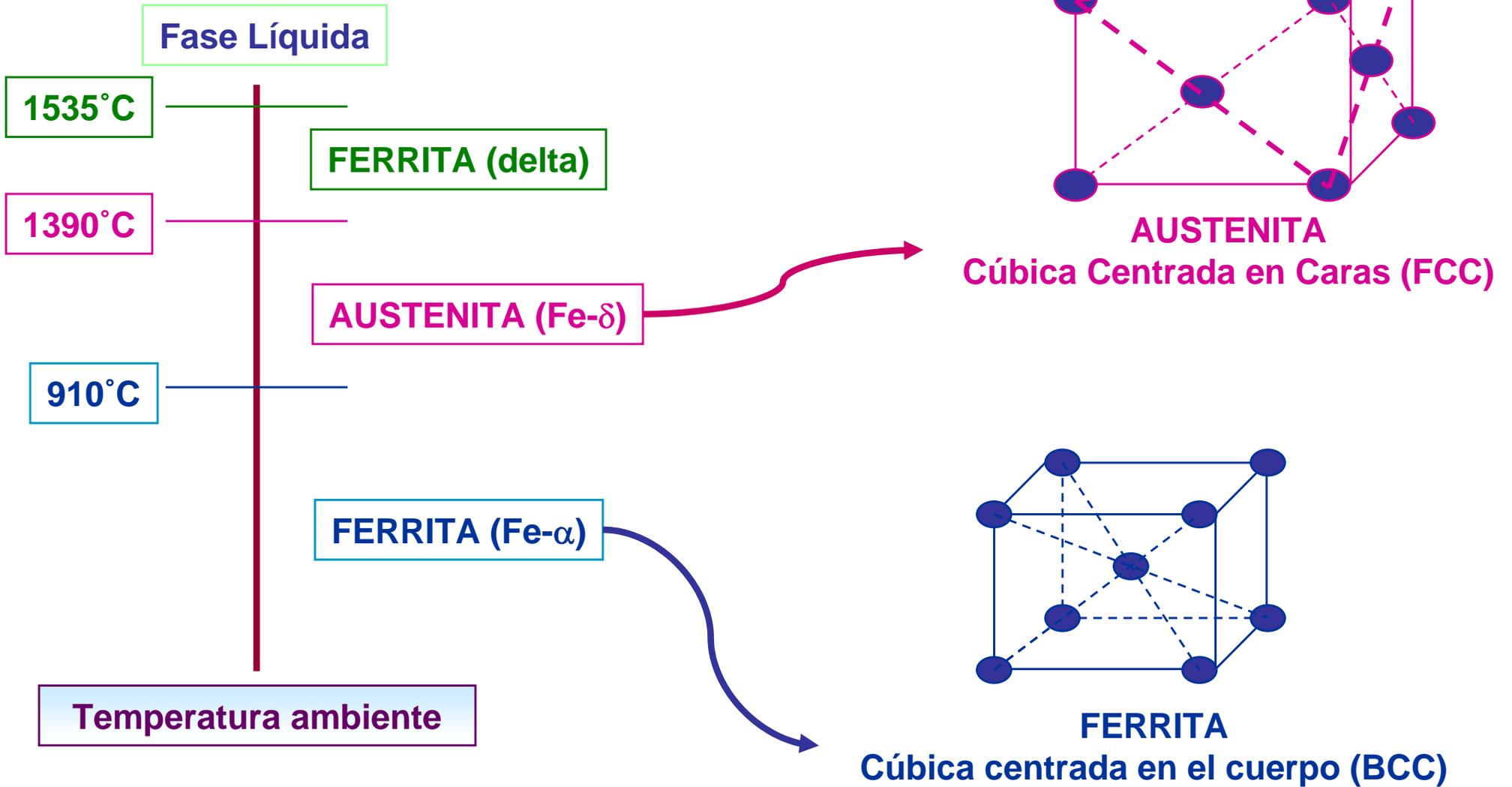
Aceros de Alta Aleación (aceros inoxidables,
aceros de herramientas, **superaleaciones**)

Aceros al C

Aceros de Baja Aleación

Aceros de Baja Aleación y Alta Resistencia (HSLA)

Aleaciones férreas: principal componente es el Fe



- **Puntos Invariantes:** eutéctico, eutectoide, peritético, solubilidades máximas.
- **Áreas:**
 - **Fases:** ferrita (Fe- α), austenita (Fe- γ), ferrita- δ , cementita-carburo de Fe (Fe₃C) y fase líquida.

Reacciones Invariantes Fe-Fe₃C

Reacción eutéctica: a 1148°C



Reacción eutectoide: a 727°C



Reacción peritética: a 1495°C



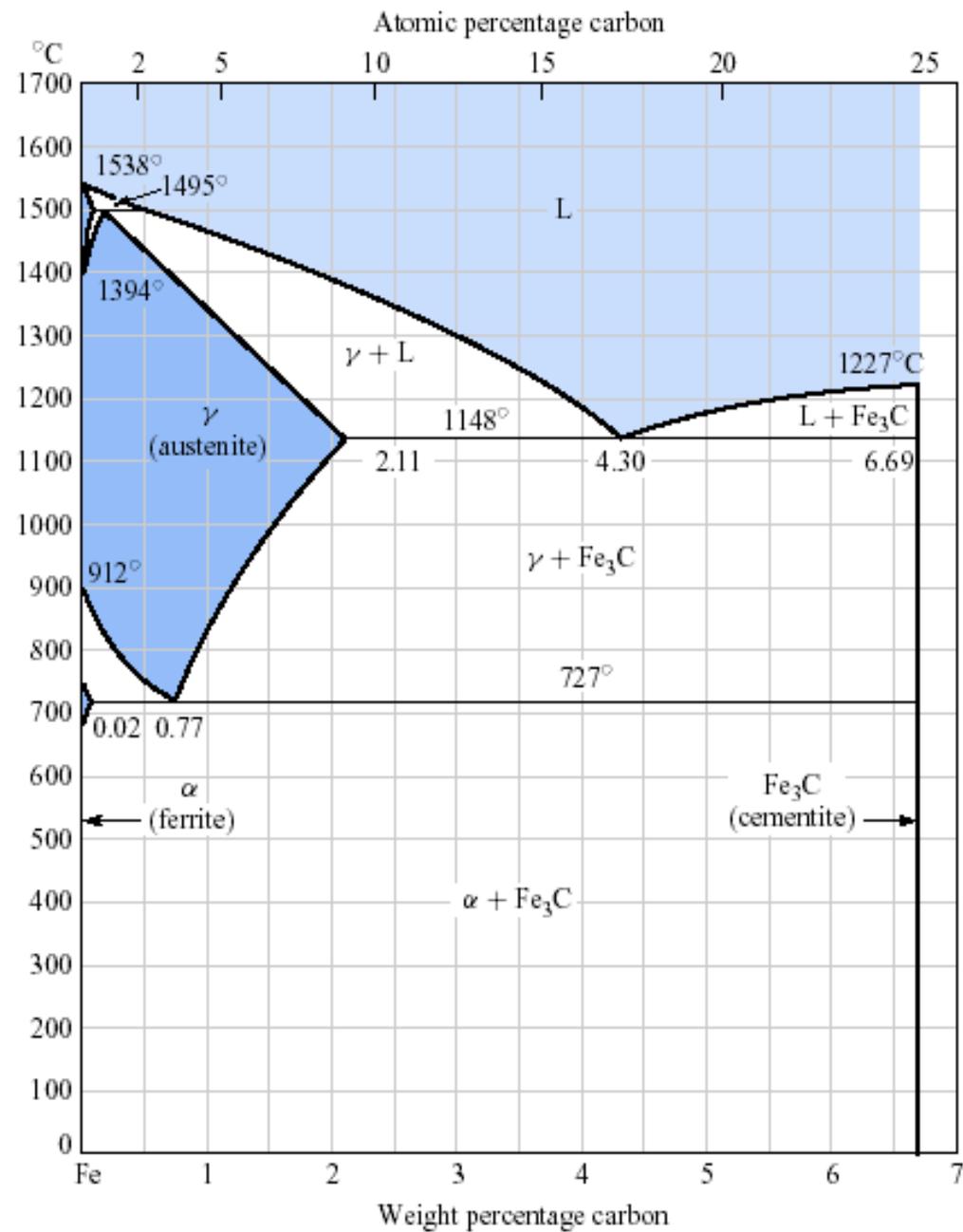
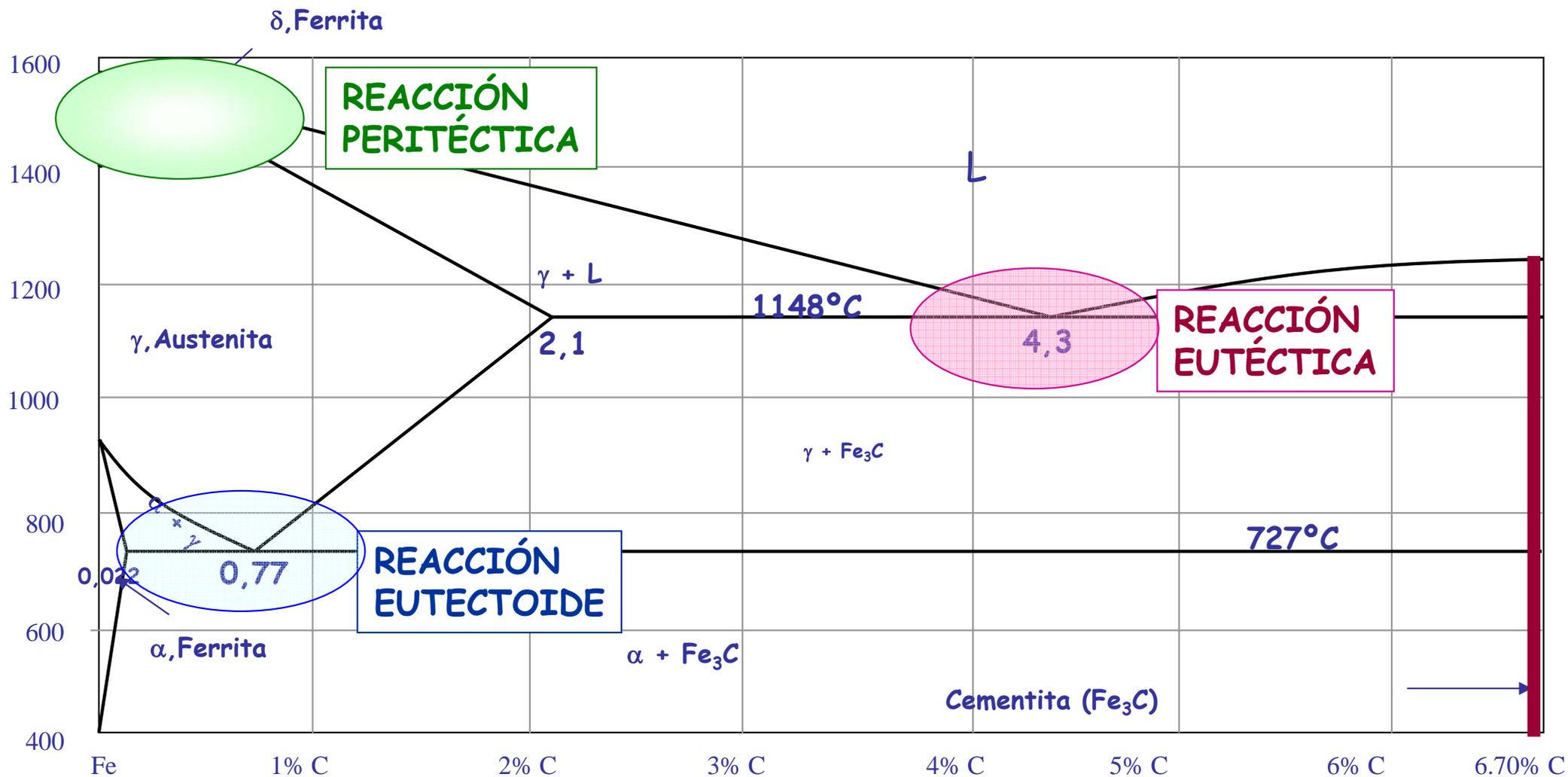


Diagrama Fe-Fe₃C
(metaestable)



Ferrita- α : S.S. de C en matriz de Fe BCC

- Forma estable del Fe a temperatura ambiente
- Máxima solubilidad de C es 0.022% en peso
- Transformación a Austenita- γ (FCC) a 912°C

Austenita- γ : S.S. de C en matriz de Fe FCC

- Máxima solubilidad de C es 2.14% en peso
- Transformación a ferrita- δ (BCC) a 1395°C
- No es estable por debajo de la temp. eutéctica (727°C) a menos que sea enfriada rápidamente

Ferrita- δ : S.S de C en matriz de Fe BCC

- La misma estructura que la ferrita- α .
- Estable sólo a altas temp., por encima de 1394°C
- Funde a 1538°C

Fe₃C

- Compuesto intermetálico metaestable, que permanece indefinidamente como un compuesto a temperatura ambiente, pero que se descompone (muy lentamente, en años...) en Fe- α y C (grafito) a 650-700°C.

- C es una impureza intersticial. Forma S.S. con las fases de Fe: α , γ , δ

- Ferrita- α (BCC): max. Solubilidad es 0.022% en peso a 727°C \Rightarrow BCC tiene pocas posiciones intersticiales.

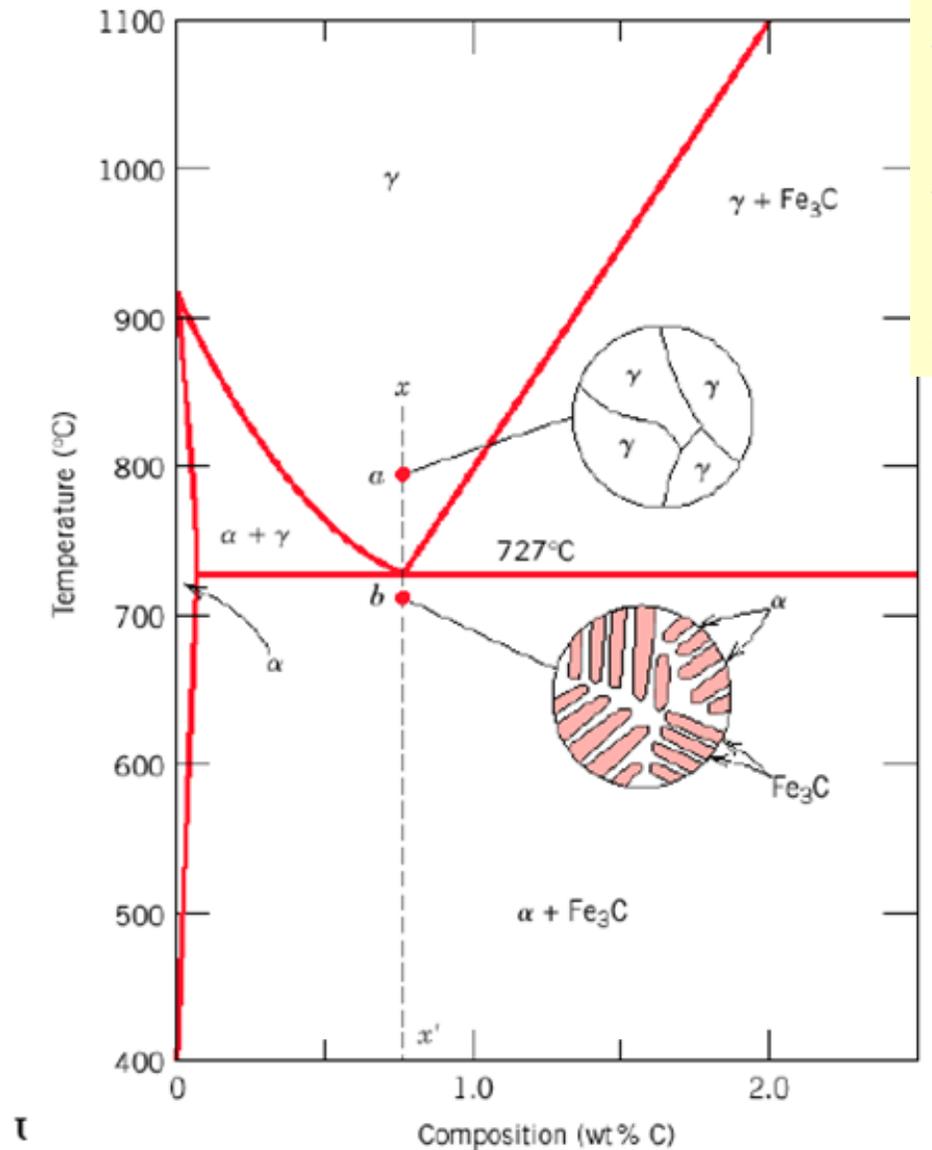
- Austenita- γ (FCC): max. Solubilidad es 2.14% en peso a 1147°C \Rightarrow FCC tiene numerosas posiciones intersticiales.

Propiedades Mecánicas

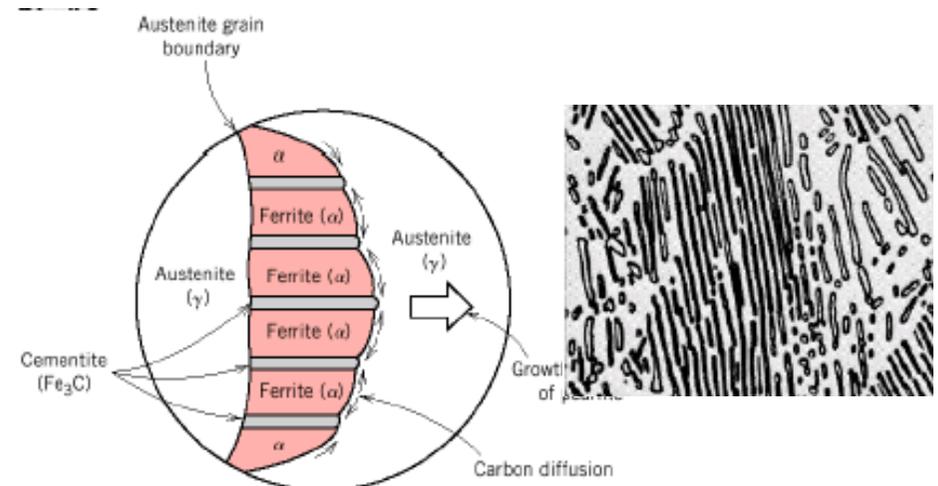
- Ferrita: es la fase más blanda
- Cementita (Fe₃C): es muy dura y frágil. Endurece a los aceros.

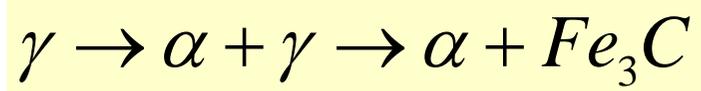
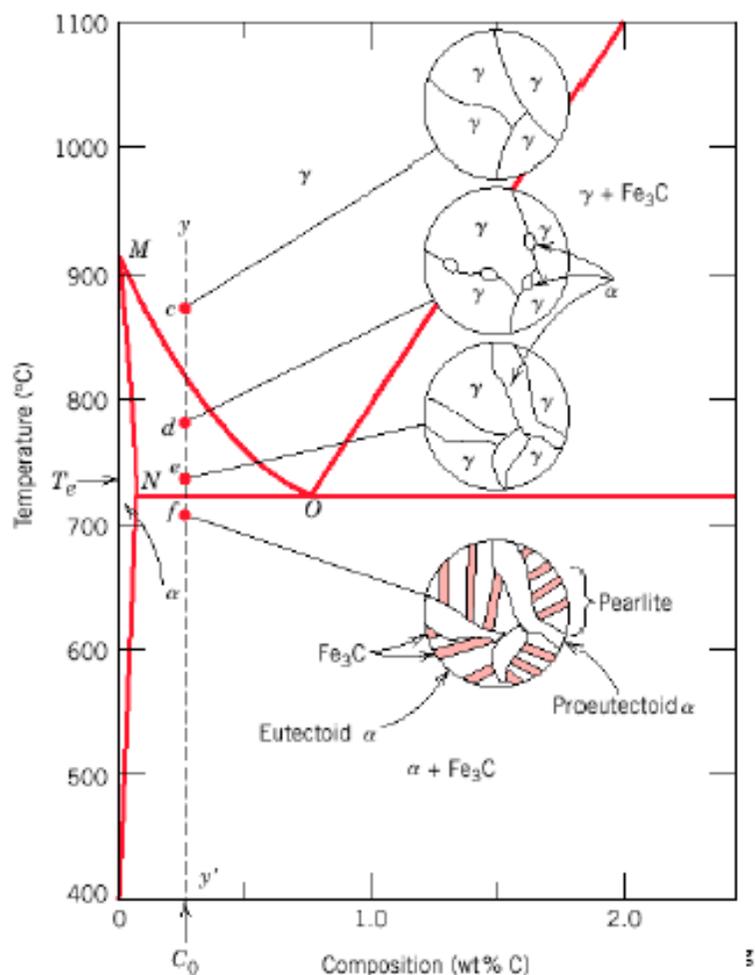
Propiedades Magnéticas

- Ferrita: es magnética por debajo de 768°C (temperatura de Curie)
- Austenita: no es magnética.

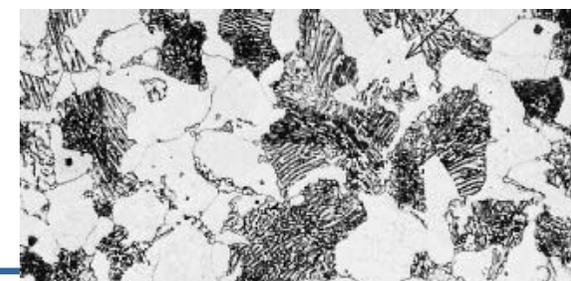
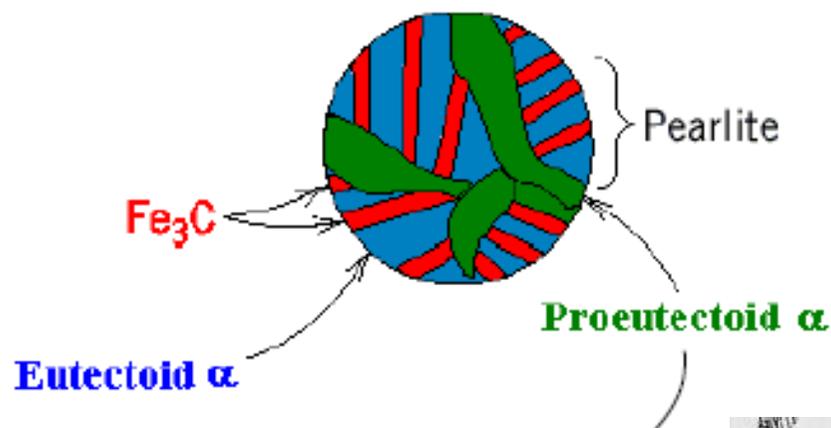


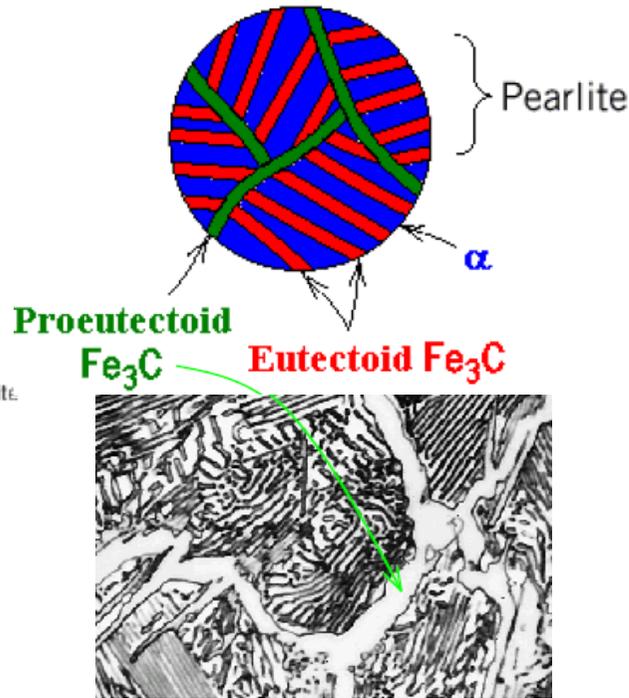
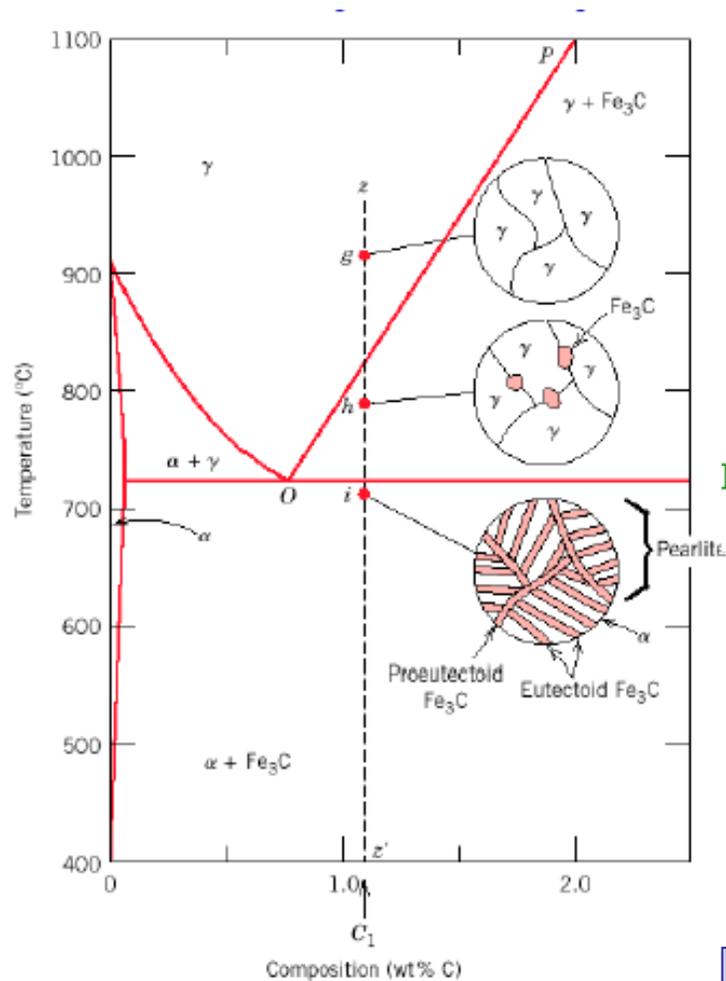
- Enfriamiento lento \Rightarrow perlita (estr. Laminar): ferrita- α + Fe₃C
- Las capas de fases alternantes es consecuencia de la redistribución de átomos de C entre la ferrita (0.02% en peso) y Fe₃C (6.7% en peso) por la difusión atómica.
- Propiedades intermedias entre ferrita (blanda y dúctil) y cementita (dura y frágil).





Las aleaciones hipoeutectoides: ferrita proeutectoide (formada antes de la temp. Eutectoide), más perlita eutectoide (ferrita eutectoide + Fe_3C)



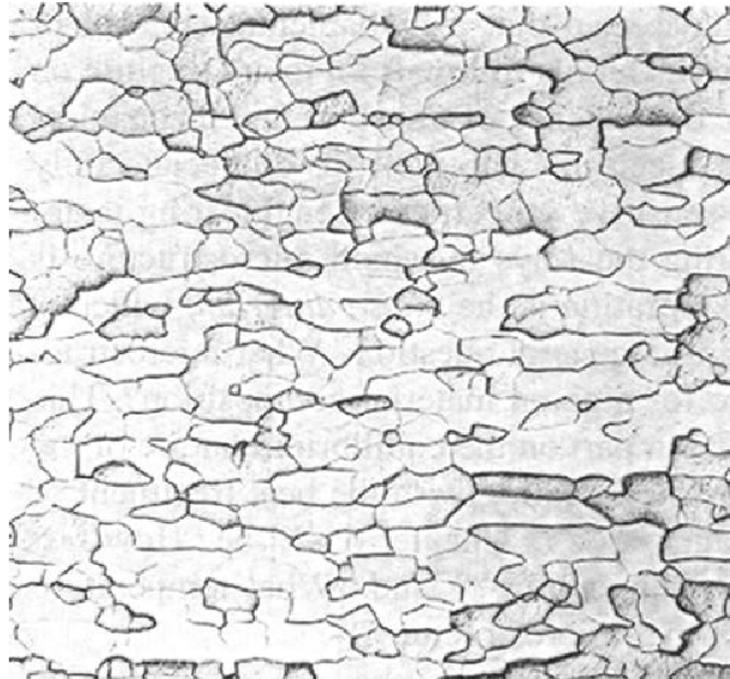


⇒ Cementita proeutectoide (formada antes de la temp. eutectoide), más perlita que contiene ferrita y cementita

Tienen una excesiva fragilidad y son muy duros, debido al elevado porcentaje de cementita (Fe_3C)

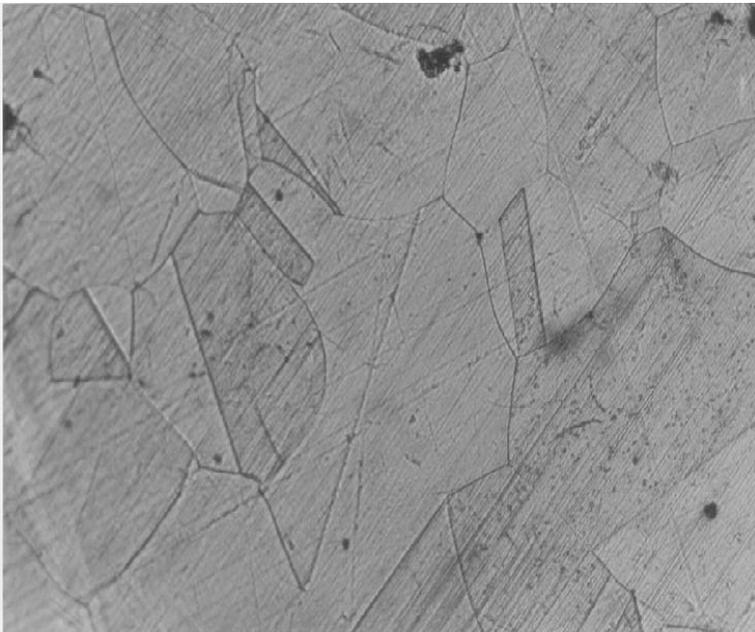
ferrita

Con este nombre se designa a la solución sólida alfa, la cual es una solución sólida intersticial de carbono en Fe- α (BCC). La máxima solubilidad del carbono la presenta a 727°C y es del 0,022%, disminuyendo hasta el 0,008% a temperatura ambiente. Esta estructura es la más blanda de todas las que aparecen en el diagrama binario.



Austenita, A

La austenita es una fase dúctil y blanda compuesta por Fe- γ (fcc) que tiene disuelto en posiciones intersticiales carbono. La solubilidad máxima del carbono en la austenita es del 2,03% a 1129°C. La austenita al microscopio presenta una estructura de granos poligonales con unas bandas típicas en algunos granos (maclas).



Cementita, C

Responde a la fórmula Fe_3C y contiene un 6,70% de C. Es un compuesto intermetálico de red ortorrómbica. Es duro y frágil, cuya resistencia a la tracción es pequeña, pero presenta una resistencia a la compresión elevada. De todas las estructuras que aparecen en el diagrama Fe-C es la que presenta mayor dureza.

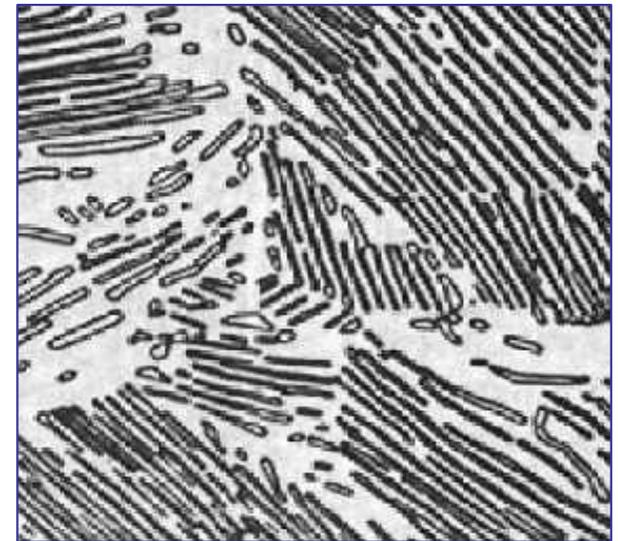
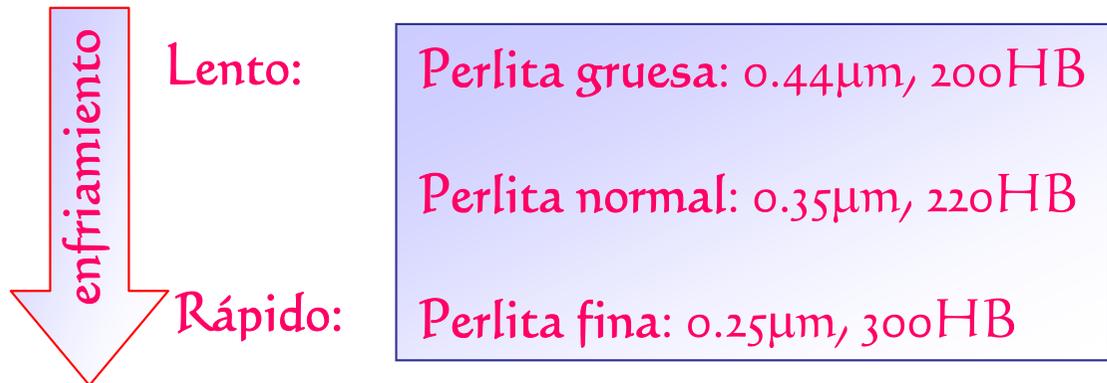
Perlita

La perlita es un compuesto laminar formado por láminas alternadas de ferrita y de cementita, que tiene propiedades mecánicas intermedias entre las dos fases que las constituyen. Es más blanda y más dúctil que la cementita, pero más dura y resistente que la ferrita.

Reacción eutectoide: a 727°C



La separación de las láminas = f (velocidad de enfriamiento)



Aceros al Carbono

Composición: Base: Fe
C: 0.003-1.2%
Mn: 0.25-1.0%

- Altas Resistencias (690 MPa), pero Baja ductilidad y tenacidad
- Poca resistencia a la corrosión
- Poca templabilidad \Rightarrow Poca tendencia a la formación de Martensita

Aceros de Baja Aleación

Composición: C: 0.003-1.2%
Mn: 0.25-1.0%
otros (max. 5% en peso): Ni, Cr, Mo, V, Si, Cu, Al, W, Ti, Co, Zr, Pb, B

- Mejorada ductilidad y tenacidad,
- Resistentes y duros

Aceros de Alta resistencia y baja Aleación (HSLA)

Composición: C: 0.003-0.2%
otros (max. 1% en peso): Mn, P, Si, Ni, Cr, Mo, y poco de Nb, V y Ti

- Baja densidad \Rightarrow "reducción de peso"
- Elevados E
- Elevada resistencia a la tracción
- Baja temperatura de transición dúctil-fragil

1.- Cambios en el diagrama de fases binario hierro-carburo de hierro.

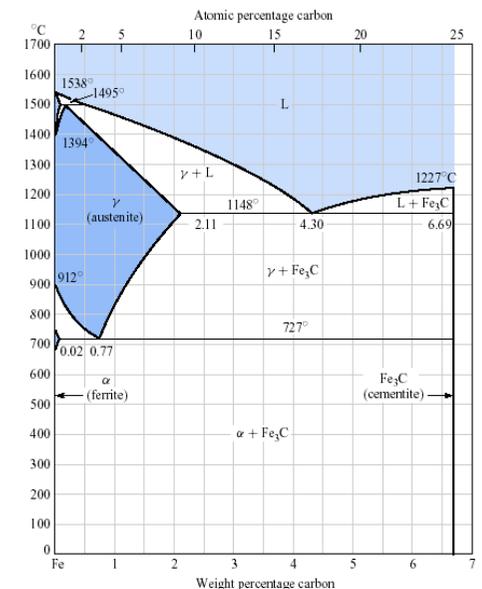
2.- Cambios en la temperatura y composición eutectoide

Alfágenos: estabilizan la fase Fe- α
(elevan la temp. Eutectoide)
Mo, Cr, V, W, Nb, Si, Al, P, Be, Sc, etc..

Gammágenos: estabilizan la fase Fe- γ
(disminuyen la temp. Eutectoide)
Ni, Cu, Co, Mn, Zn etc..

Carburígenos: aumentan la templabilidad del acero
(elevan la temp. Eutectoide)
Alfágenos + Ti, ligeramente el Mn.

↑ La templabilidad de los aceros mas duros (se obtiene Martensita con enfriamientos más lentos)



Aceros de alta aleación

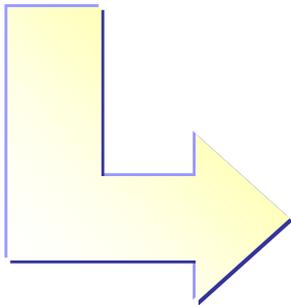
Aleaciones Fe-C-más otros elementos: > 5% en peso

- **Son inoxidables si % en peso de Cr > 12%** (ACEROS INOXIDABLES)
(>al 20%: excelente resistencia a la oxidación a alta temperatura: ACEROS REFRACTARIOS)

Resistentes a la corrosión: Cr presenta ↑↑ afinidad por el O₂ ⇒ capa protectora de Cr₂O₃ impermeable al aire

- **Elevadas propiedades mecánicas: ↑↑ dureza** (ACEROS DE HERRAMIENTAS)

Tipos de aceros inoxidables:



Aceros inoxidables AUSTENÍTICOS
Aceros inoxidables FERRÍTICOS
Aceros inoxidables MARTENSÍTICOS

- Microestructura final : **austenita** (Fe- γ , FCC) retenida a t. a. \Rightarrow Estabilización \Rightarrow adición de **Ni** (Elmto. **gammágeno**)
- Aleaciones **Fe-Cr-Ni-C** (C: <0.25%) (**Cr-Ni: 18-8 y 25-20**)
- **Mo: 2%**, (evita corrosión por picaduras en caliente)

Propiedades

- Baja resistencia y gran capacidad de deformación
- No son ferromagnéticos
- \uparrow tenacidad, \downarrow σ térmica
- \uparrow **Rcorrosión** (los más resistentes)
- Alto precio

USOS: Industria petroquímica, plataformas marinas, etc

- Microestructura final: **ferrítica** (BCC)
- Aleaciones Fe-Cr-C ($\downarrow\%$ C: 0.1-0.2 para no disminuir la plasticidad)
- ($\%$ Cr: **12-30%**)

Propiedades

- \downarrow Rmecánica, \downarrow dureza
- $\uparrow\downarrow$ Rcorrosión ($>$ que martensíticos y $<$ que austeníticos)
- Menos aleados \leftrightarrow Bajo precio
- Son ferromagnéticos

USOS: Vehículos, alimentación, refinerías, fábricas alimentarias, etc

- Aleaciones Fe-Cr-C
- (C: 0.15-0.7%) (Cr: 12-17%)
- Microestructura: martensíticas \Rightarrow posteriores trat. Térmicos similares a los aceros al carbono

Propiedades

- \uparrow Rmecánica, \uparrow dureza, \uparrow Rdesgaste
- $\uparrow\downarrow$ Rcorrosión (hasta 750°C)
- Menos aleados \leftrightarrow Bajo precio

USOS: Cuchillería, herramientas quirúrgicas, válvulas, etc

Steel	% C	% Cr	% Ni	Others	Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	% Elongation	Condition
Austenitic:								
201	0.15	17	5	6.5% Mn	95,000	45,000	40	Annealed
304	0.08	19	10		75,000	30,000	30	Annealed
					185,000	140,000	9	Cold-worked
304L	0.03	19	10		75,000	30,000	30	Annealed
316	0.08	17	12	2.5% Mo	75,000	30,000	30	Annealed
321	0.08	18	10	0.4% Ti	85,000	35,000	55	Annealed
347	0.08	18	11	0.8% Nb	90,000	35,000	50	Annealed
Ferritic:								
430	0.12	17			65,000	30,000	22	Annealed
442	0.12	20			75,000	40,000	20	Annealed
Martensitic:								
416	0.15	13		0.6% Mo	180,000	140,000	18	Quenched and tempered
431	0.20	16	2		200,000	150,000	16	Quenched and tempered
440C	1.10	17		0.7% Mo	285,000	275,000	2	Quenched and tempered
Precipitation hardening:								
17-4	0.07	17	4	0.4% Nb	190,000	170,000	10	Age-hardened
17-7	0.09	17	7	1.0% Al	240,000	230,000	6	Age-hardened

- Aceros al C o aleados (Si, W, Mo, Cr, V, Mn, etc...) con \uparrow **dureza** y R_{desgaste}
- Herramienta: \Rightarrow Conformar otros materiales \Rightarrow arranque de virutas
- Principales características:
 - **Dureza en caliente y en frío:** evitar deformaciones durante el trabajo
 - **Tenacidad:** ya que las herramientas sufren golpes
 - **Resistencia al choque térmico**
- Clasificación:
 - Aceros al carbono
 - Aceros para trabajo en frío
 - Aceros indeformables
 - Aceros de elevada ductilidad
 - Aceros resistentes al desgaste
 - Aceros para trabajo en caliente