

Aceros al Carbono (y de Baja Aleación)

Clase Jueves 11 de junio

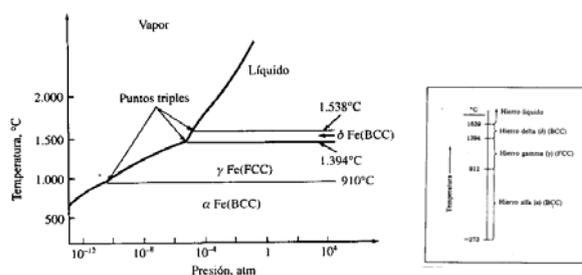
Aceros al Carbono

- Importante familia de aleaciones de ingeniería.
- (Hay varias otras familias)
- Estos aceros están basados en Fe y C. (Más otros elementos, ya sea como aleantes o como impurezas).
- Con contenidos de C entre 0,1 y 2%p.C,
- Es raro %pC mayor que 1%.

Aceros al Carbono

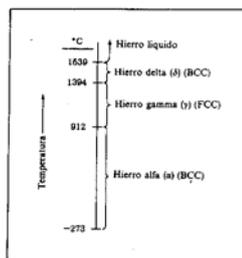
- Aquí consideraremos sólo el principal elemento aleante, el C , y haremos abstracción de los otros elementos.
- Primero veremos las estructuras más estables, obtenidas por enfriamiento lento.
- Después veremos las estructuras metaestables obtenidas por enfriamiento rápido.
- Ambos tipos de estructuras son de interés industrial.

Transformaciones del Fe puro

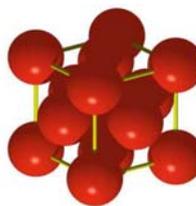


Transformaciones del Fe puro

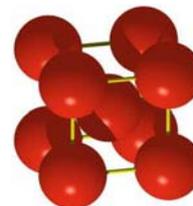
Fase	Temperatura de transformación, °C
Líquido	1539 δ-L
Fe-δ (CC)	1394 γ-δ
Fe-γ (CCC)	912°C α-γ
Fe-α (CC)	



Estructuras de cristales cúbicos



CCC
Fe_γ,
Al, Cu, Pb, Au,
Ni, Ag, etc.



CC
Fe_α,
Cr, W, Mo, etc.

Diagramas binarios de fases (ya sabemos interpretarlos)

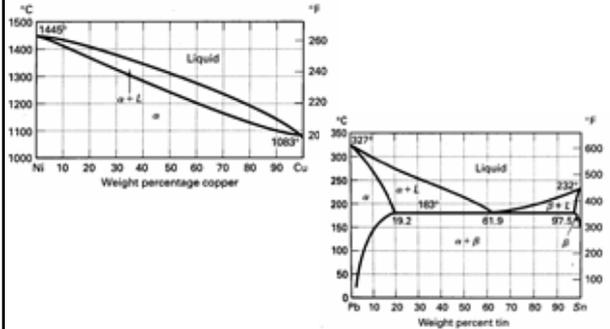
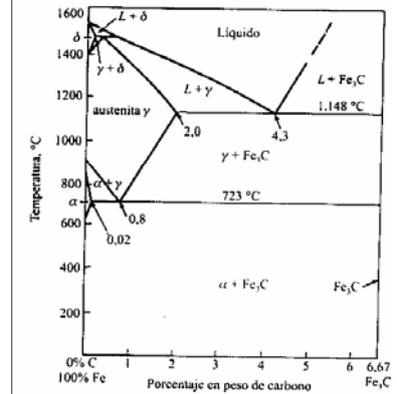


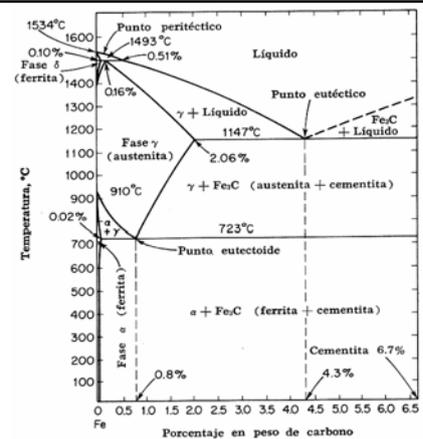
Diagrama de fases al equilibrio del sistema Fe-C, extremo rico en C: diagrama Fe-Fe₃C



Fases Sólidas del Sistema Fe-Fe₃C

Fase	Símbolo	Estructura	Características
Ferrita δ	δ	CC (C. cuerpo)	Solución sólida de C disuelto intersticialmente en Fe (CC). Fase de alta temperatura.
Austenita γ	γ	CCC (C. caras)	Solución sólida de C disuelto intersticialmente en Fe (CCC). Acepta máximo 2% p C, a 1148°C. Dúctil y tenaz.
Ferrita α	α	CC (C. cuerpo)	Solución sólida de C disuelto intersticialmente en Fe (CC). Acepta máximo 0,02% p C, a 723°C. Blanda (120 Hardness Vickers, HV) y dúctil
Cementita Fe ₃ C	Fe ₃ C	Ortorrómica c>b>a	Una fase sólida no metálica, de carácter cerámico. Dura y frágil (1250, HV). Contiene 6,7% p C (25% a. C)

• Diagrama de fases del sistema Fe-Fe₃C



Transformaciones de Fases isotérmicas en el sistema Fe-Fe₃C. Caso enfriamiento.

Nombre transformación	Temperatura, °C	Fases originales	Fases productos
Peritéctica	1493	L + δ	γ (0,16% p C)
Eutéctica	1148	L (4,3% p C)	γ (2% p C) + Fe ₃ C
Eutectoide	723	γ (0,8% p C)	α (0,02% p C) + Fe ₃ C

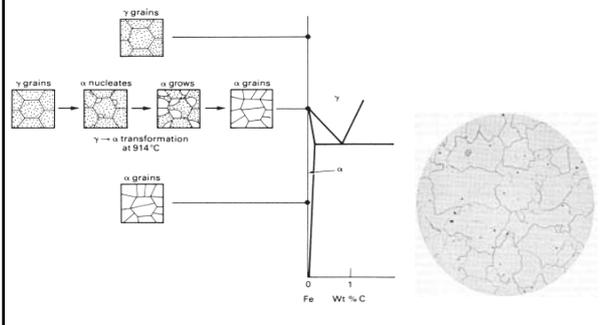
SOLO NOS INTERESARÁ LA TRANSFORMACIÓN EUTECTOIDE

Trabajaremos con aceros al C: %p.C < 2%. (Así, no nos interesará la Transform. Eutéctica).

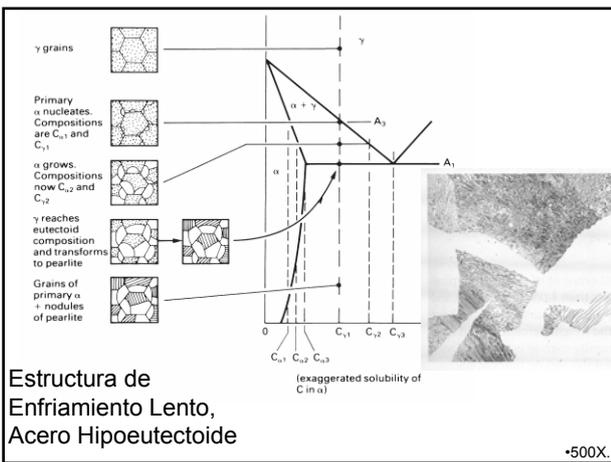
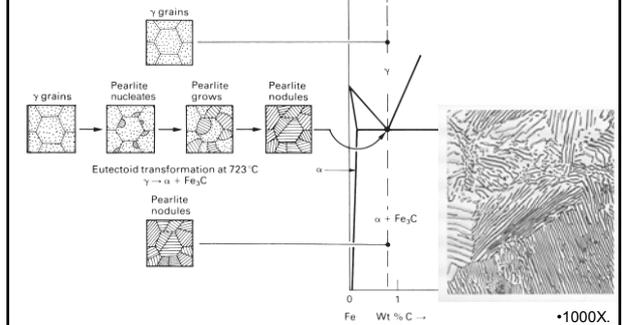
Nos limitaremos a Tratamientos Térmicos. No fundiremos ni soldaremos. Por lo tanto, no consideraremos la fase L.

(Aquí tampoco nos interesará la Transform. Peritéctica).

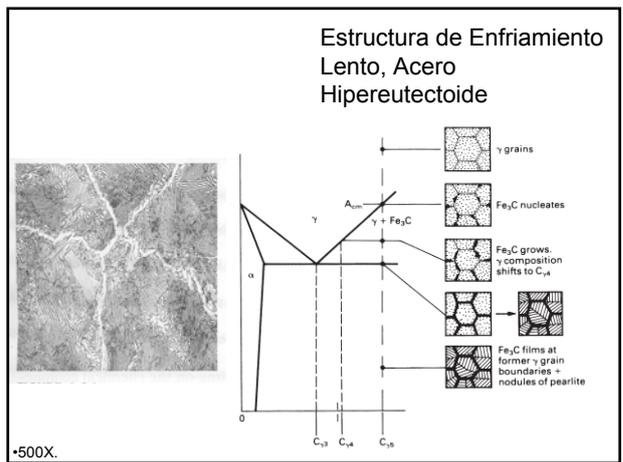
Evolución microestructural al enfriar Fe puro, desde γ . (Policristales)



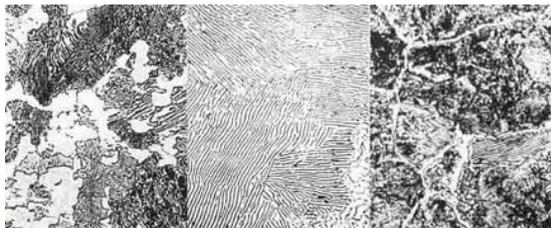
Estructura de Enfriamiento Lento Acero Eutectoide



Estructura de Enfriamiento Lento, Acero Hipereutectoide



Estructuras de aceros enfriados lentamente Hipo - Eutectoide - Hiper



Dureza de las dos fases de equilibrio de bajas temperaturas.

- A baja temperatura hay dos fases de equilibrio:
 - α , metálica, blanda y dúctil.
Dureza Vickers: $H_{\alpha} = 120 \text{ HV}$
 - Fe_3C , cerámica, dura y frágil.
Dureza Vickers: $H_{\alpha} = 1250 \text{ HV}$

(La Dureza es aproximadamente proporcional al Límite Elástico de tracción)

Al crecer %p.C, crece la Dureza

- **Al aumentar el contenido de C en el acero,, enfriado lentamente:**
- Habrá menos ferrita y más cementita.
- Habrá menos de la fase blanda y más de la fase dura.
- **El acero será más duro.**

Regla de mezclas de mezclas, lineal con Fv. (Estructuras de equilibrio)

Supongamos* que la dureza H de los aceros al C enfriados lentamente sólo depende:

- de la dureza de las fases presentes.

$H_{\alpha} = 120 \text{ HV}$ y $H_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1250 \text{ HV}$.

- y de la fracción en volumen, Fv, de las fases presentes.

Entonces:

$$H = H_{\alpha} F_{\alpha} + H_{\text{Fe}_3\text{C}} F_{\text{Fe}_3\text{C}}$$

*: (H también depende de la morfología de la fase. Para simplificar, se ha supuesto que esta morfología es constante.

Resistencia y Ductilidad de Aceros con fases de equilibrio, en función de %p.C

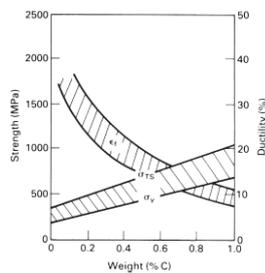


Fig. 11.7. Mechanical properties of normalised carbon steels.

Transformación de la austenita por enfriam. rápido. Producto metaestable

- Supongamos que se enfría un acero al C (p.e., con 0,4%p.C)
- Si se enfría lento, ¿qué fases habrá presentes y cuál será su composición?
- ídem a la pregunta anterior, pero enfriando rápido (templando).

Acero Hipoeutectoide, p.e. Fe-0,4%p.C

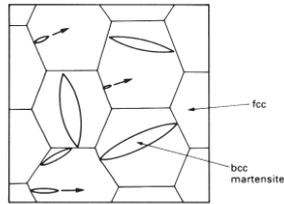


- Izquierda: Estructura de enfriamiento lento.
- Derecha: **Estructura de enfriamiento rápido.**
Martensita (Una fase)
Dura y frágil

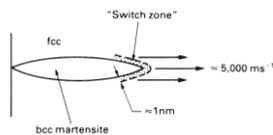
Transformación martensítica

- No alcanza a haber difusión durante el enfriamiento rápido. En consecuencia, no hay cambios de composición.
- Pero sí hay un cambio en la estructura cristalina (transformación martensítica).
- Este cambio es muy rápido y corresponde a una deformación de corte.
- Mientras más se enfría, más avanza la transformación, hasta completarse.
- Resulta una fase muy dura e inaceptablemente frágil, la martensita.

- La martensita nuclea en límites de grano de la austenita y crece rápidamente hasta interceptar otro límite de grano u otra aguja de martensita.



- Mientras más se enfría, más avanza la transformación



Martensita: en las celdas de cada aguja, el C se ubica en unos solo de los tres ejes. Cada aguja es como un monocristal. La celda queda como una CC alargada. Mas C, más distorsión y más Dureza.

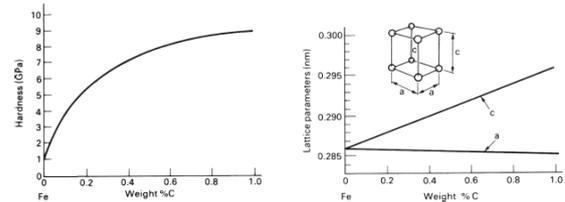
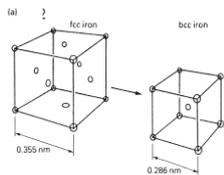
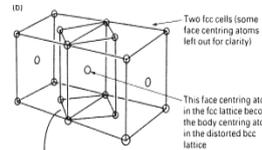


Fig. 11.9. The hardness of martensite increases with carbon content because of the increasing distortion of the lattice.

Martensita



- La estructura de la martensita tiene similitudes con la de la ferrita.
- Por enfriamiento rápido, la martensita se obtiene fácilmente de la austenita.
- (No se muestran los átomos de C en solución sólida de inserción)



TEMPLE Y REVENIDO

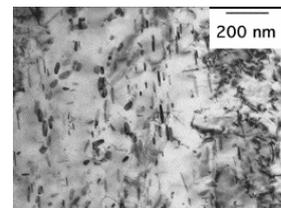
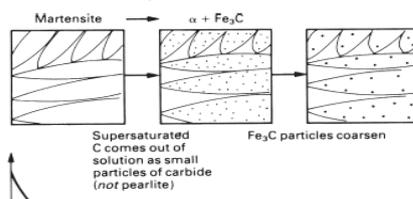
- LA MARTENSITA ES UNA FASE MUY DURA E INACEPTABLEMENTE FRÁGIL.
- LOS ACEROS QUE TEMPLAN MARTENSITICAMENTE, NO SE USAN DIRECTAMENTE.
- CON MÁS DE 0,3%p.C, LOS ACEROS SE USAN PREFERENTEMENTE EN LA CONDICIÓN DE **TEMPLE Y REVENIDO**

REVENIDO DE LA MARTENSITA.

El Revenido es un tratamiento térmico en el campo bifásico alfa + Fe₃C.

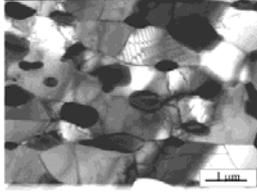
Se busca una estructura solo algo menos dura, pero mucho más tenaz; también es muy resistente a la fatiga.

Los aceros con más de 0,3%p.C, templados y revenidos, son muy importantes en ingeniería.



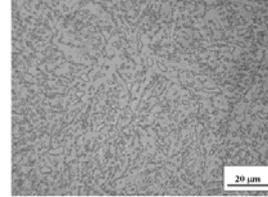
Fe-0.1C-1.99Mn-1.6Mo wt% quenched to martensite and then tempered at 600°C. The precipitates are needles of Mo₂C particles. The needles precipitate with their long directions along <100>_α.

- Muy revenida, 730°C por 7 días



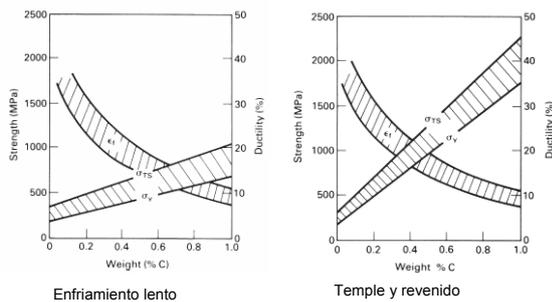
Fe-0.98C-1.46Si-1.89Mn-0.26Mo-1.26Cr-0.09V wt% tempered at 730°C for 7 days (photograph courtesy of Carlos Garcia Mateo). This transmission electron micrograph shows large cementite particles and a recovered dislocation substructure. There are sub-grain boundaries due to polygonisation and otherwise clean ferrite almost free from dislocations

- Ferrita y carburos proveniente del revenido de la martensita a 730°C por 21 días



Fe-0.98C-1.46Si-1.89Mn-0.26Mo-1.26Cr-0.09V wt% tempered at 730°C for 21 days (photograph courtesy of Carlos Garcia Mateo). The optical micrograph shows some very large spheroidised cementite particles. The ferrite has completely recrystallised into equiaxed grains.

Comparación de propiedades: resistencia y ductilidad



Usos y tratamientos típicos

Ejemplos Acero y TT	Uso
Bajo en C: Fe-0,1 a 0,2%p.C (Enfriamiento lento)	Constituidos principalmente por ferrita (blanda). Se usa en carrocerías de antiguos automóviles, perfiles para fabricar estanterías, acero de construcción civil, etc.
Medio en C: 0,4%p.C. (Templados y revenidos)	Se trata de aceros con un compromiso entre buena resistencia a la deformación (dureza) y a los golpes (tenacidad). Se emplean para elementos mecánicos que deben resistir golpes y no deformarse. Ejemplos: engranajes, ejes, martillos, etc.
Fe-0,8%p.C. (Templados y revenidos)	Son aceros con una dureza elevada y, por ende, con una baja tenacidad. La elevada dureza es importante por ejemplo, en cuchillas de tijeras y de guillotinas industriales. Una alta dureza implica una alta resistencia al desgaste, propiedad necesaria para estas aplicaciones.

Velocidad de Enfriamiento para el Temple Martensítico

- Para obtener martensita es necesario enfriar suficientemente rápido como para evitar la transformación eutectoide (fases α y Fe_3C).

Factores que dificultan lograr lo anterior:

- Mientras mayor es el %p.C, más rápida es la transformación eutectoide.
- Mientras más grande es la pieza, es más difícil enfriarla rápido.
- Además, si se enfría muy rápido, la pieza se puede distorsionar e incluso fracturar.

Aceros de Baja Aleación, más templables

- Para facilitar la obtención de la martensita, hay que retrasar la transformación eutectoide.
- Así es como surgen los Aceros de Baja Aleación (ABA). Por ejemplo, con Cr, Mo, Ni, etc. Normalmente, Σ %p. menor que 5%.
- En estos aceros, la adición de elementos aleantes permite tal retraso.
- Los aceros de Baja Aleación tiene una mejor **TEMPLABILIDAD** que los Aceros al Carbonos, y son bastante más caros.

TEMPLABILIDAD y DUREZA

- La Templabilidad es la propiedad consistente en la facilidad de obtener martensita por temple.
- La Dureza máxima de los ABA, así como la de los aceros al C, depende principalmente (no exclusivamente) del %p.C en la aleación.
- Que un acero sea más templable que otro permite: obtener martensita en piezas más gruesas o bien en espesores superficiales mayores, o enfriando más lento.
- Enfriar más lento permite bajar los riesgos de distorsión geométrica y fractura.

Nomenclatura AISI-SAE

- Ejemplo: aceros 1040 y 4340.
-1040: acero de la familia de los aceros al C, con un 0,40%p.C
-4340, acero templable de la familia 43, con 0,40%p.C.

Contenido típico de elementos de aleación, en un acero de la familia 43:

1,8%p.Ni; 0,5%p.Cr y 0,25%p.Mo.

La dureza máxima de estos dos aceros es similar; ella depende principalmente del %p.C.

Temple y Temple Martensítico

- Todo material se puede Templar, en el sentido de enfriarlo rápido.
- Distinto es un **Temple Martensítico**, donde el objetivo de enfriar es **obtener martensita**.
- Los aceros de bajo C, menor que el 0,25%p. se consideran no templables (martensíticamente). Por ejemplo, son los aceros de construcción civil.

%p.C y Templabilidad

- Si se tiene poco C, también se requiere poca difusión de C para llegar al equilibrio, y la transformación eutectoide será muy rápida: será difícil obtener martensita.
- En la práctica industrial, en los aceros con menos de 0,3%p.C no se obtiene martensita por temple, sino que las fases de equilibrio.
- **Los aceros con menos de 0,3%p.C en la práctica industrial usual se consideran no templables.**

» FIN

- Transformación de Austenita a Martensita, al templar.

