

TEMA I. ENSAYO DE MATERIALES

Los ensayos tienen como finalidad determinar las características de los materiales.

Clasificación de los ensayos:

1.1 Ensayos de características

Químico: Determinar la composición de los materiales.

Estructuras:

Cristales: Determinar la cristalización, se realiza mediante un microscopio electrónico.

Microscópicos: Determinar el grano.

Macroscópicos: Determinar la fibra

Térmicos:

Puntos de fusión.

Puntos críticos.

Constituyentes: (Ej. Carburo de ...)

1.2 Ensayos destructivos: (E.D.)

Ensayos de propiedades mecánicas:

Estáticos:

Durezas

Tracción

Compresión

Cizalladura

Flexión

Pandeo

Fluencia

Dinámicos:

Resistencia al choque

Desgaste

Fatiga

1.3 Ensayos tecnológicos: Determ. el comportamiento de los mat. ante operaciones industriales

Doblado, Plegado, Forja, Embutición, Soldadura, Laminación,...

1.4 Ensayos No destructivos: (Por orden de importancia)

Rayos X.

Rayos Gamma: Se usa un isótopo reactivo, uso de radiografías.

Ultrasonidos.

Partículas magnéticas.

Líquidos penetrantes.

Corrientes Inducidas.

Magnéticos.

Sónicos: Es el más utilizado, un mat. sin grietas tiene un sonido agudo; si el mat. tiene grietas el sonido es más grave.

CAPITULO 13: Ensayos Destructivos E.D.

1. Ensayos Estáticos: DE DUREZA

1 - Propiedades mecánicas de los materiales:

Las tres propiedades fundamentales son:

COHESION: Resistencia de los átomos a separarse unos de otros.

ELASTICIDAD: Capacidad de un material de recobrar su forma primitiva cuando cesa la causa que los deformara.

PLASTICIDAD: Capacidad de un material a deformarse. Se clasifica en:

MALEABILIDAD: Facilidad a deformarse en láminas.

DUCTILIDAD: Facilidad a deformarse en hilos.

Para determinar la cohesión se realizan ensayos de DUREZA y tamaño del grano.

Para determinar la elasticidad y la plasticidad se realizan ensayos de TRACCION y COMPRESION.

2 - Definiciones de Dureza.

a) Dureza al rayado: Resistencia que opone un material a dejarse rayar por otro.

Dureza Mohs (mineralógica).

Dureza Lima.

Dureza Martens.

Dureza Turner.

b) Dureza a la penetración: Resistencia que opone un material a dejarse penetrar por otro más duro.

HBS y HBW.

HR.

HV.

HK.

POLDI (Brinell dinámico).

Herziana.

Monotrón.

c) Dureza elástica: Reacción elástica del material cuando se deja caer sobre él un cuerpo más duro.

SHORE.

Método Dinámico.

d) Dureza Pendular: Resistencia que opone un material a que oscile un péndulo sobre él.

a) **Dureza al Rayado.**

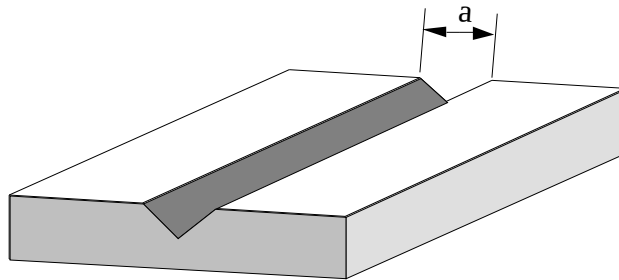
* **Dureza MOHS:** Se usa para determinar la dureza de los minerales. Se basa en que un cuerpo es rayado por otro más duro. Esta es la escala de Mohs:

1 - Talco	6 - Feldespato (Ortosa)
2 - Yeso	7 - Cuarzo
3 - Calcita	8 - Topacio
4 - Fluorita	9 - Corindón
5 - Apatita	10 - Diamante

La fundición gris esta entre 8 y 9; el hierro dulce en el 5; y los aceros entre 6,7 y 8.

* **Dureza MARTENS:** Se basa en la medida de la anchura de la raya que produce en el material una punta de diamante de forma piramidal y de ángulo en el vértice de 90°, con una carga constante y determinada. Se aplica sobre superficies nitruradas. Se mide “a” en micras y la dureza Martens viene dada por:

$$\Delta m = \frac{10^4}{a^2}$$



* **Dureza TURNER:** Es una variante de la dureza Martens. La dureza viene dada en función de los gramos necesarios (carga necesaria, P) para conseguir una deformación tal que **a = 10 micras**. El valor de la carga será el valor de la dureza Turner.

* **Dureza a la lima:** Se usa en industria. En todo material templado la lima no “entra”. Dependiendo de si la lima entra o no entra sabremos:

No entra, el material raya a la lima; Dureza mayor de 60 HRC

Entra, la lima raya al material; Dureza menor de 60 HRC

b) **Dureza a la penetración:**

* **Dureza HERZIANA:** Viene determinada por la menor carga que hay que aplicar a un material (con bolas de 1,5 a 4 mm. de acero extraduro) para que deje huella.

* **Dureza MONOTRON:** Es una variante de la dureza Herziana. Viene expresada por la carga que hay que aplicar para producir una penetración de 0,0018 pulgadas. El penetrador es una semiesfera de diamante de $\varnothing 0,75$ mm. Tiene dos dispositivos, uno que da la carga aplicada y un sensor que para el ensayo cuando la penetración es de 0,0018”.

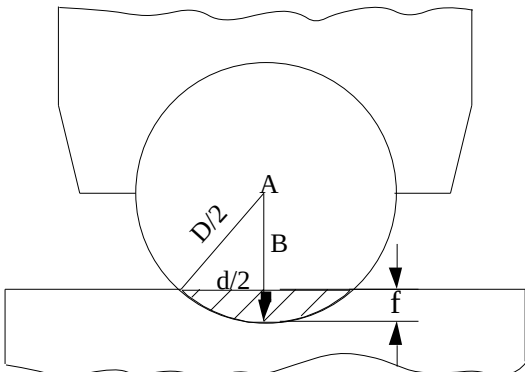
* **Dureza BRINELL (HBS y HBW):** UNE 7-422-85

Este método consiste en comprimir una bola de acero templado, de un diámetro determinado, sobre un material a ensayar, por medio de una carga y durante un tiempo también conocido.

HB viene dado por:

$$HB = \frac{P}{S} \left[\frac{Kg}{mm^2} \right]$$

Carga efectuada
Superficie de la huella



D ==> diámetro de la bola
d ==> diámetro de la huella

- ponemos todo en función del dato mayor para tener menor error

$$\left. \begin{aligned} S &= \pi D f \\ f &= \frac{D}{2} - \overline{AB} \\ \overline{AB} &= \sqrt{\frac{D^2}{2} - \frac{d^2}{2}} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} S &= \pi D f \\ f &= \frac{1}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2}) \end{aligned} \right\} S = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

Impronta

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$HBS = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

El valor de la carga P viene dado por : $P = K D^2$, donde K=cte. de ensayo. El tiempo de ensayo es t=10 - 15 seg. según normas UNE. Los valores de K para algunos materiales son:

Aceros y elementos siderúrgicos: K=30 ;

Cobres, Bronces, Latones: K=10 ;

Aluminio y aleaciones: K=5 ;

Materiales blandos (Sn, Pb): K=2,5 ;

No se utilizan los ensayos Brinell para durezas superiores a 500 (aceros templados), porque se deforman las bolas.

Nomenclatura: XXX HBS (D/P/t) Ej. 156 HBS 10/3000/15

Generalmente se usan bolas de ø10 mm; cuando t = 15 seg. no hace falta indicarlo.

Condiciones de ensayo:

- 1 - La superficie de la probeta debe ser plana, estar limpia, homogénea y perpendicular a la bola, libre de óxido y lubricantes.
- 2 - El espesor de la probeta (s), debe ser al menos ocho veces la flecha de la impronta. ($s = 8f$)
- 3 - La distancia entre 2 huellas = (4:6) d; la distancia del centro de la huella al borde = (2,5:3) d.
- 4 - Temperatura de ensayo = 23° C ±5

Uso de HBS:

- a) Determinar el %C de un acero. Solo valido para aceros al carbono.

$$\%C = \frac{HBS - 80}{141}$$

- b) Cálculo de la resistencia a la tracción.

$$\sigma_r = 0,36 HBS \simeq \frac{HBS}{3}$$

* **Dureza Meyer (HBW):**

Es igual que la Brinell excepto que S es la superficie proyectada de la huella: $Dureza = \frac{P}{\pi r^2} = \frac{4 P}{\pi d^2}$

* **Dureza ROCKWELL (HRx)**: UNE 7-424/89/1 (Normal) UNE 7-424/89/2 (Superficial)

El método Rockwell se basa en la resistencia que oponen los materiales a ser penetrados, se determina la dureza en función de la profundidad de la huella. Permite medir durezas en aceros templados.

Da directamente la dureza en el durómetro:

- escala de bolas de 130 divisiones (rojo)
- escala de conos de 100 divisiones (negro)

Los ensayos se pueden realizar con 2 tipos de penetradores:

Bolas de 1/8" y 1/16"

Conos de 120° ángulo en el vértice.

Las cargas vienen dadas por el tipo de dureza Rockwell a realizar (en Kg.). Los tipos de dureza Rockwell y sus respectivas cargas y penetradores son las siguientes:

CONO		BOLAS	
Carga	Tipo	Diámetro	Carga
10+50	HRA	1/16"	10+90
	HRB		
	HRC		
10+140	HRD	1/8"	10+90
10+90	HRE		
	HRF		
	HRG	1/16"	10+50
	HRH	1/16"	10+140
	HRK	1/8"	10+50
			10+140

Las cargas se aplican en dos tiempos; primero se aplica la carga previa (10 ó 3 Kp); y posteriormente se mete el resto de la carga. A partir de introducir la carga adicional se mide la dureza.

La carga previa en HR normal es de 10 Kp y en HR superficial es de 3 Kp.

HR Superficial: (P)

Bolas 1/16" { 15 T
30 T
45 T

Conos 120° { 15 N
30 N
45 N

Realización de la práctica:

1. Seleccionar carga en el selector
2. Subir probeta hasta el punto rojo
3. Meter carga previa (HR de 10 Kp; HRS de 3 Kp)
4. Poner la escala en C0 o B30 según corresponda.
5. Aplicar carga adicional.
6. Esperar a que se estabiliza la aguja, esperar "t".
7. Quitar la carga adicional, y medir la dureza.

Nomenclatura:

XXX HRx t

XXX HRS P/t

Condiciones de ensayo:

- 1 - La superficie de la probeta debe ser plana, estar limpia, homogénea y perpendicular a la bola, libre de óxido y lubricantes.
2. El espesor de la probeta debe ser 10 veces la penetración del cono ó de la bola. **s = 10 f**
- 3 - La distancia entre 2 huellas = 3d; la distancia del centro de la huella al borde = 2,5 d.
- 4 - Temperatura de ensayo = 23° C ±5
5. Si las piezas son cilíndricas y ø<30 mm. debemos introducir un factor de corrección que se da en gráficas.

Ventajas del método Rockwell:

- Método rápido y preciso, no necesita de operarios especializados.
- Huellas más pequeñas que el método Brinell.
- Inconveniente tiene que si el material no asienta perfectamente, las medidas resultan falseadas.

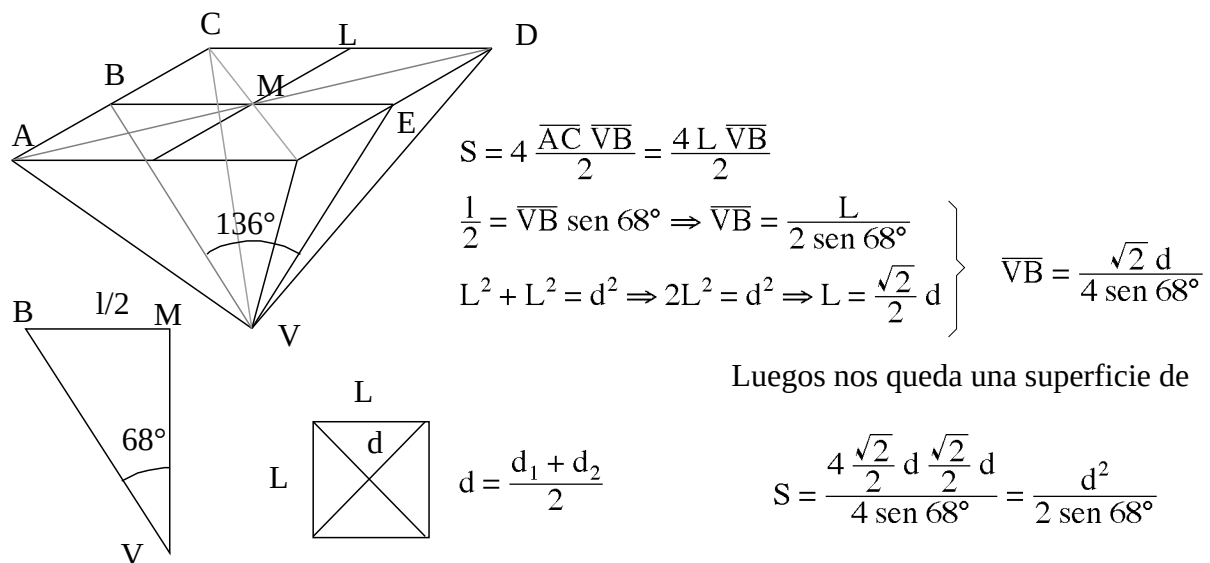
* **Dureza VICKERS (HV)**: UNE 7-423/84/1 (HV 5 a HV 100) UNE 7-423/86/2 (HV 5 a HV 100)

El método Vickers se deriva directamente del método Brinell. Se emplea mucho en laboratorio y en particular para piezas delgadas y templadas, con espesores mínimos hasta de 0,2 mm.

Se utiliza como penetrador una punta piramidal de base cuadrangular y ángulo en el vértice entre caras de 136°. Este ángulo se eligió para que la bola Brinell quedase circunscrita al cono en el borde de la huella.

La dureza Vickers viene dada por: $HV = P/S$ [Kg/mm]
donde S es la superficie de la impronta y P la carga aplicada.

Ponemos la fórmula en función de la diagonal “d”:



Así queda pues la expresión para la dureza Vickers:

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \right]$$

donde P es generalmente 30 Kp (entre 5 y 100 Kp), pero si es dureza Vickers superficial es 1,3 ó 5 Kp.

Nomenclatura: XXX HV P/t

Condiciones de ensayo:

- 1 - La superficie de la probeta debe ser pulida, plana; estar limpia, homogénea y perpendicular a la bola, libre de óxido y lubricantes.
 - 2 - $s = 1,5 d$ (s= espesor de la probeta).
 - 3 - Distancia entre centros de 2 huellas = (3:6) d; Distancia del centro de la huella al borde = (2,5:3) d.
 - 4 - Temperatura de ensayo = 23° C ±5
 - 5 - En probetas cilíndricas, P debe ser tan pequeña que $f < 0,01 \text{ mm}$.
 $d \pm 0,001 \text{ mm.} ; \quad d > 0,5 \text{ mm.} \Rightarrow \quad d \pm 0,01 \text{ mm.}$
- HV<25 ==> se redondea a la décima.
 HV>25 ++> se redondea a la unidad.

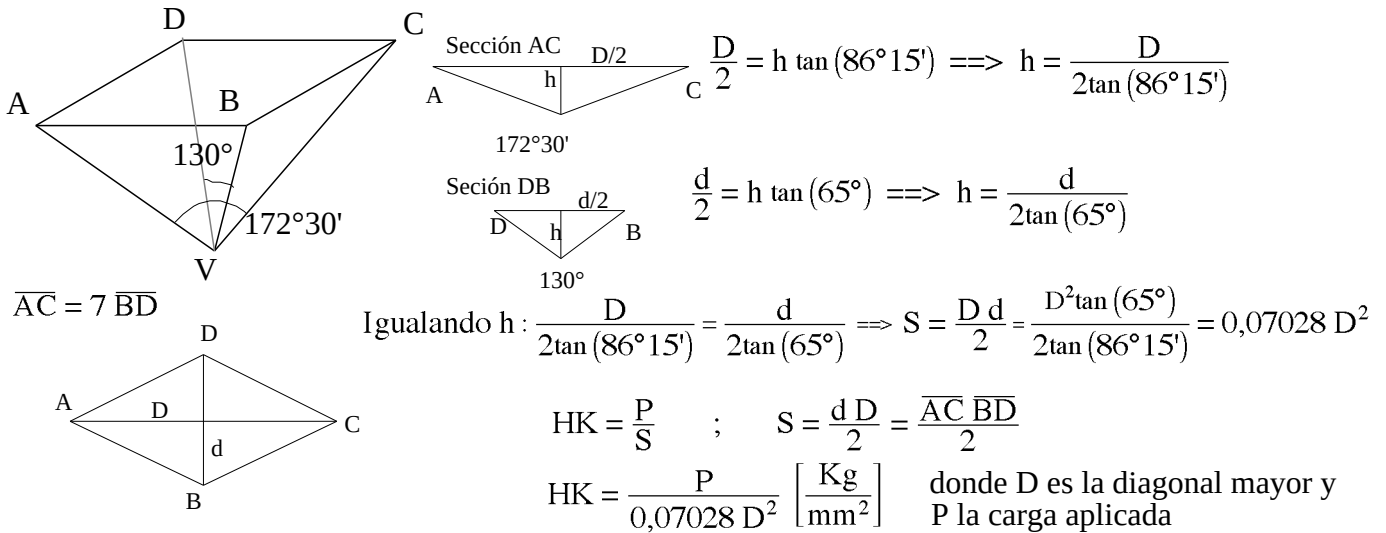
Ventajas del método Vickers:

1. Las huellas Vickers son comparables entre sí; independientes de las cargas.
2. Pueden medirse una amplia gama de materiales, desde muy blandos hasta muy duros, llegándose hasta 1.150 HV.
3. Se pueden medir piezas muy delgadas con cargas pequeñas, hasta espesores de orden de 0,05 mm.
4. Puede medirse dureza superficial. (para determinar recubrimientos de los materiales)
5. La escala Vickers es más detallada que la Rockwell; 32 unidades Vickers = 1 unidad Rockwell
6. Como es preciso examinar la huella puede comprobarse el estado del penetrador.

*** Dureza KNOOP (HK):**

Se usa para durezas normales (P=1-5 Kp), superficiales (P=1/2-1 Kp) y microdurezas (P=10 gr-500 gr.)

El penetrador esta hecho con una pirámide rómbica con relación entre diagonales de 1:7. Sus ángulos entre aristas son $a = 130^\circ$ y $b = 172^\circ 30'$; de donde obtenemos:



El método Knoop se emplea sólo en laboratorio, para medir la dureza de láminas muy delgadas, incluso de depósitos electrolíticos.

Nomenclatura: XXX HK P/t

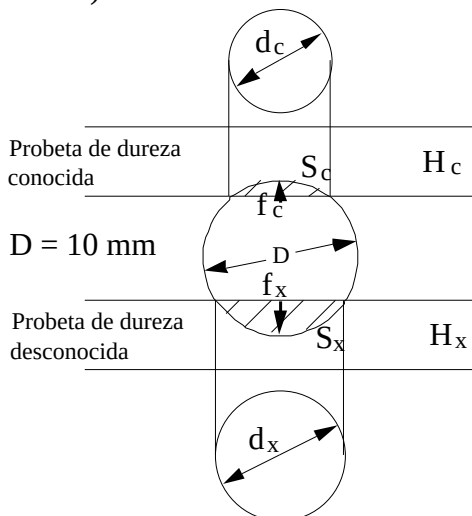
Condiciones de Ensayo:

1. **D E 3e** (e= espesor de la probeta)

*** Dureza POLDI :**

Es una variable de la dureza Brinell. Es portátil. Es independiente del tiempo de carga.

Se basa en ejercer una carga P sobre el durómetro que nos producirá 2 huellas en dos probetas, una de dureza conocida y otra de dureza desconocida. La dureza esta en razón inversa del tipo del material (duro, blando).



$$\frac{H_c}{H_x} = \frac{S_x}{S_c} \Rightarrow H_x = H_c \frac{S_c}{S_x}$$

$$S_c = \pi D f_c = \pi D \left(\frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{d_c^2}{4}} \right) = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d_c^2})$$

$$S_x = \pi D f_x = \pi D \left(\frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{d_x^2}{4}} \right) = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d_x^2})$$

Sustituyendo estos valores

$$H_x = H_c \frac{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d_c^2})}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d_x^2})} \Rightarrow H_x = H_c \frac{D - \sqrt{D^2 - d_c^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_x^2}}$$

Nomenclatura: XXX HBS D POLDI

b) Dureza elástica:

* Dureza SHORE (HS):

Se basa en la reacción elástica del material cuando dejamos caer sobre él un material más duro.

Si el material es blando absorbe la energía del choque, si el material es duro produce un rebote cuya altura se mide.

La práctica se realiza en un ESCLEROMETRO, aparato formado por un tubo de cristal de 300 mm. de altura, por cuyo interior cae un martillo con punta de diamante redondeada de 2,36 gr. La altura de la caída es de 254 mm. y la escala esta dividida en 140 divisiones

Nomenclatura: XXX HS

Condiciones de ensayo:

1. Superficie plana, limpia, pulida y perpendicular al esclerómetro.
2. Hacer 3 ensayos y cada vez en sitios diferentes (endurecimiento de la superficie por el choque).

Ventajas del método Shore:

1. No produce prácticamente ninguna huella en el material ensayado.
2. Permite medir dureza superficial de piezas terminadas.
3. Es el único ensayo NO destructivo para medir durezas.

* Método Dinámico para ensayo de la dureza al rebote (L):

Este método se basa en las medidas de las velocidades de impulsión y rebote de un cuerpo móvil impulsado por un resorte contra la superficie del material metálico a ensayar. La dureza viene definida por:

$$L = 10^3 \frac{v_B}{v_B} \rightarrow \text{velocidad de impulsión}$$
$$\rightarrow \text{velocidad de rebote}$$

Existen curvas de relación de L con HB y HRC.

El tiempo de ensayo es de 2 seg. y el durómetro puede estar en cualquier posición (horizontal, vertical, inclinado...), basta con luego restar al resultado 10 si estaba horizontal, y diferentes valores(18...26) si estaba invertido.

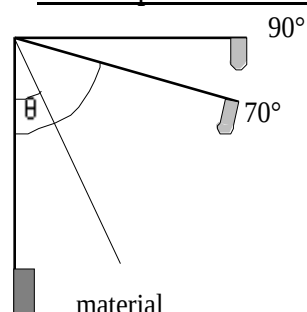
Uso industrial:

- Piezas de gran tamaño.
- Mapas de dureza de una misma pieza.

Ventajas:

- Operario No cualificado
- Resultados independientes del operario

* Dureza por rebote ó DUROSCOPIO:



Se basa en la reacción elástica que se produce al dejar caer un penetrador con forma de casquete esférico sobre el material a ensayar.

Según la dureza del material se produce una reacción elástica en forma de ángulo θ que se traduce luego en unas tablas.

A mayor dureza mayor ángulo y viceversa.

El ángulo inicial será de 70°, se deja caer y luego se mide al ángulo de rebote.

b) Dureza pendular:

Se basa en la resistencia que opone un material a que oscile un péndulo sobre él. Sirve para materiales con reacción elástica muy alta.

Consiste en 2 péndulos, uno se apoya sobre un eje de cuarzo y el otro sobre el material a ensayar. Se dejan caer y empiezan a oscilar, como son diferentes materiales tienen diferentes durezas, luego hay una descompensación de oscilaciones, cuando las oscilaciones coinciden de nuevo se mide el tiempo que han tardado en coincidir y luego con ese tiempo se traduce a la dureza correspondiente.

* Método UCI:

Es un aparato portátil, con un penetrador piramidal de 136° entre caras de diamante. Se coloca el penetrador que vibra con una frecuencia y una carga de 5 Kp. Según la huella que produce se genera una frecuencia de resonancia, que es traducida por el aparato al dato numérico de la dureza que se halla seleccionado, puesto que nos puede dar cualquiera (HBS, HRx, HV,...). Existe una relación directa entre la frecuencia de resonancia y la dureza del material.

* Relación de HBS con HRb y HRc.

Fórmulas empíricas de tolerancia $\pm 10\%$:

$$HB = \frac{7.300}{130 - HRb}$$

?

$$HB = \frac{1.420.000}{(100 - HRc)^2}$$

para $20 \leq HRc \leq 40$

$$HB = \frac{25.000}{100 - HRc}$$

para $40 \geq HRc$

CAPITULO 13: Ensayos de Propiedades Mecánicas(Destructivos)

2. Ensayos Estáticos: DE TRACCION Y OTROS.

1 - Ensayo de Tracción. EN 10 002-1

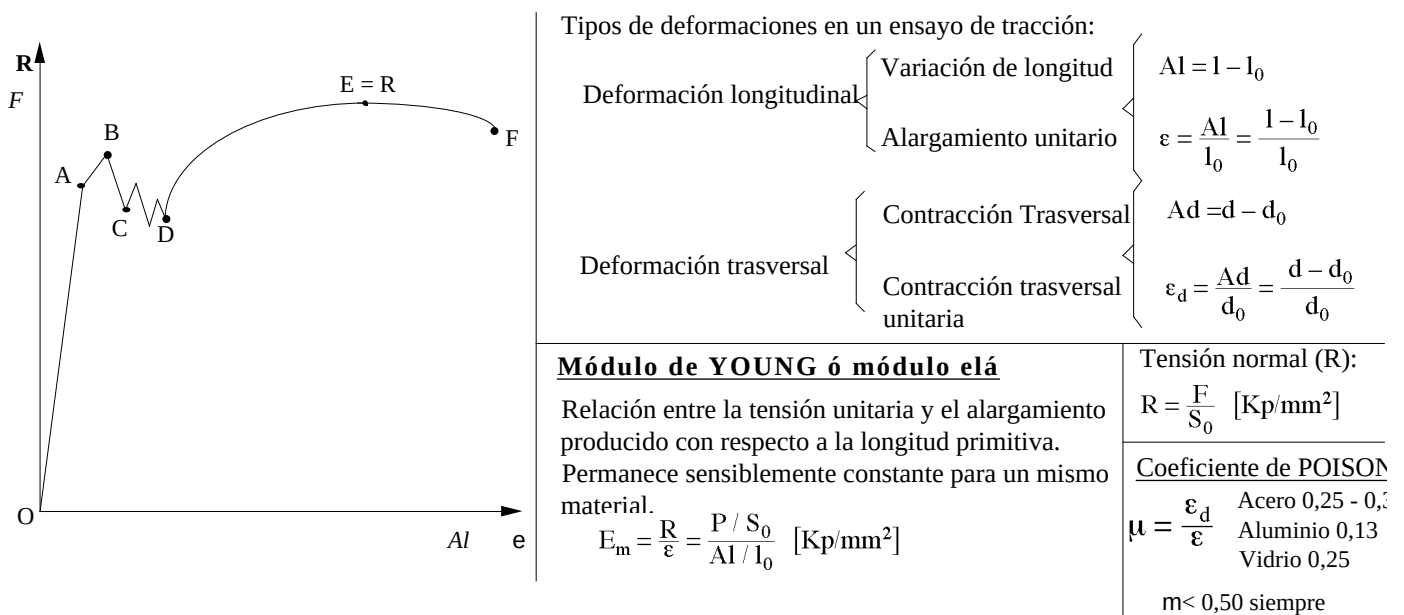
Es uno de los ensayos más empleados. Consiste en someter una probeta normalizada a esfuerzos progresivos y crecientes de tracción en la dirección de su eje hasta que llegue a la deformación y a la rotura correspondiente.

*** Probeta:**

- Son generalmente barras de sección regular y cte., casi siempre circulares.
- Sus extremidades son de mayor sección, para facilitar la fijación de la probeta a la maquina de tracción.
- En las probetas se hacen dos marcas entre las cuales se mide la longitud **l** (puntos calibrados).
- Para que los resultados sean comparables, las probetas deben ser geoméricamente semejantes, así bajo mismas cargas, obtendremos deformaciones proporcionales.
- Es decir existirá la siguiente relación: $l_0 = K \sqrt{S_0}$
- Según norma K = 5,65; pero utilizaremos en laboratorio K = 8,16; $l_0 = 100 \text{ mm.}$; $S_0 = 150 \text{ mm}^2$.

2 - Realización del los Ensayos de Tracción.

Los ensayos de tracción, compresión y flexión pueden realizarse con una máquina Universal Amster o similar, cuyo émbolo produce tracciones, compresiones y flexiones a voluntad, aplicando las cargas deseadas a la probeta colocada y sujeta en la máquina por medio de mordazas adecuadas.



FASE OA: Periodo de proporcionalidad.

Se cumple la Ley de HOOKE: Alargamientos proporcionales a los esfuerzos. Si cesa el esfuerzo la deformación desaparece (teóricamente); en la realidad recupera casi todo. A partir del **punto A** no se cumple la Ley de HOOKE, recupera bastante pero hay una deformación permanente hasta el **punto B**. Del punto B al Punto D NO recupera nada el material.

El modulo de elasticidad se mide en este periodo de proporcionalidad. según la expresión:

$$E_m = \frac{R}{\epsilon} = \frac{P / S_0}{\Delta l / l_0} \quad [\text{Kp/mm}^2]$$

Límite Real Elástico:

Esfuerzo que es necesario para producir una deformación de un 0,003% de la longitud inicial. Sin uso industrial.

Límite de Proporcionalidad: Punto A.

Esfuerzo a partir del cual no se cumple la Ley de HOOKE. $R_A = F_A / S_0$ [Kp/mm²]

FASE AD: Fase de deformación permanente. Periodo Plástico

En el periodo AB recupera algo, pero en el periodo BD no recupera nada (periodo plástico).

Límite Elástico Aparente ó Límite Elástico: Punto B.

Esfuerzo a partir del cual las deformaciones se hacen permanentes: $R_b = F_b / S_0$ [Kp/mm²]
Coincide en más del 90% con el límite superior de cedencia.

- Límite superior de cedencia: Dentro del periodo plástico el que tiene mayor tensión (ó esfuerzo).

- Límite inferior de cedencia: Dentro del periodo plástico el que tiene menor tensión (ó esfuerzo)

Entre el límite superior de cedencia y el límite inferior de cedencia los alargamientos aumentan rápidamente sin necesidad de aumentar la tensión.

De este punto hasta el límite de rotura vuelve a ser necesario aumentar la carga durante el Periodo de Fortalecimiento.

La rotura propiamente dicha no se produce en el **Punto R**, sino después de un periodo durante el cual la probeta se estira rápidamente, reduciéndose sensiblemente su sección hasta que se produce la rotura bajo un esfuerzo menor que la tensión de rotura (R_m).

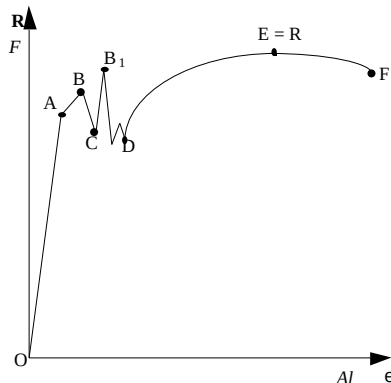
FASE DE: Periodo de Estricción y Rotura.

A partir del punto D se va produciendo estricción (Z), en el **punto E=R** la estricción es máxima.

$$\text{Tensión de Rotura: } R_{\text{máx}} = R_m = \frac{F_R}{S_0} \quad [\text{Kp/mm}^2]$$

$$\text{Tensión última: } R_u = F_F / S_0 \quad [\text{Kp/mm}^2]$$

RESUMEN:



A => Límite de Proporcionalidad $R_A = \frac{F_A}{S_0}$ [Kp/mm²]

B => Límite elástico aparente $R_B = \frac{F_B}{S_0}$ [Kp/mm²]

B1 => Límite superior de Cedencia $R_{B1} = \frac{F_{B1}}{S_0}$ [Kp/mm²]

D => Límite inferior de Cedencia $R_D = \frac{F_D}{S_0}$ [Kp/mm²]

R=> Resistencia a la Tracción $R_m = \frac{F_R}{S_0}$ [Kp/mm²]

F => Tensión última $R_F = \frac{F_u}{S_0}$ [Kp/mm²]

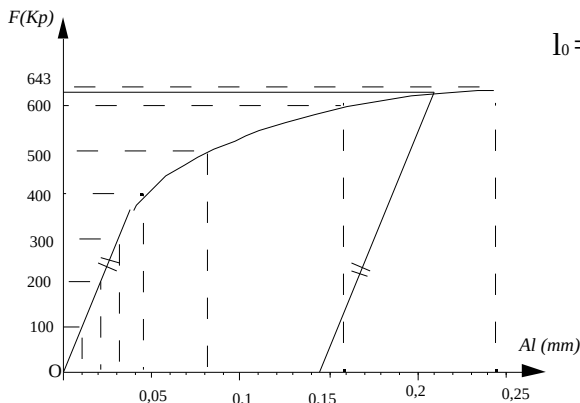
Límite Elástico Convencional al 0,2%: ($R_{p0,2}$)

Es el esfuerzo que es necesario aplicar a una probeta para que en un tiempo de 10 segundos se obtenga una deformación del 0,2% de la longitud inicial (l_0).

Realizamos el ensayo:

- Cada vez metemos una carga, se mide el alargamiento y se cesa la carga.
- La vez siguiente meto una carga mayor.
- Dibujamos el Diagrama con los resultados obtenidos.

F (Kp)	100	200	300	400	500	600	643
Al (mm)	0,011	0,022	0,033	0,048	0,082	0,158	0,244



$$\left. \begin{array}{l} l_0 = 72 \text{ mm} \text{ ————— } 100\% \\ X \text{ ————— } 0,2\% \end{array} \right\} X = \frac{72 \cdot 0,2}{100} = 0,144 \text{ mm}$$

- Necesitaremos un alargamiento tal que $A=0,144 \text{ mm}$
- Lo colocamos en abcisas y buscamos su valor en ordenadas (trazar paralela al periodo de proporcionalidad)
- Con el esfuerzo obtenido podemos calcular $R_{p0,2}$

$$F_{0,2} = 631 \text{ Kp}$$

$$R_{p0,2} = \frac{F_{0,2}}{S_0}$$

Límite remanente para producir un alargamiento de 0,02% : ($R_{R0,02}$)

Es el mismo ensayo pero las cargas se aplican progresivamente y si cesar el esfuerzo. Si cuando paro se me queda el valor deseado el valor del esfuerzo el dato que busco.

3 - Alargamiento.

El ensayo de tracción para la determinación del alargamiento se realiza aumentando progresivamente la tensión en 1 Kp/mm^2 por segundo. Es decir, alargamientos máximos del 0,3% por minuto.

* Caso de rotura en el tercio central de la probeta. El alargamiento se define:

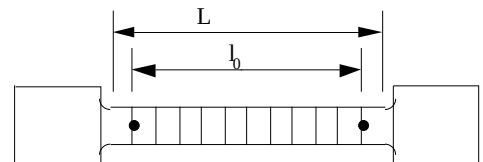
$$Al = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100$$

* Caso de rotura fuera del tercio central de la probeta:

- 1 - Dividimos la probeta en N partes. Por ser más fácil se hace en 10 divisiones ó múltiplos de 10.

$$l_0 = K\sqrt{S_0} = 8,16\sqrt{S_0}$$

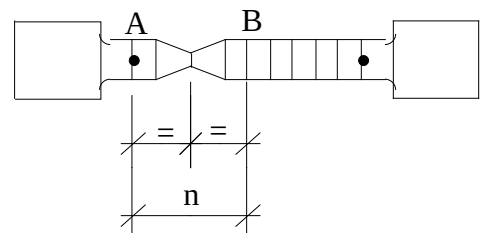
$$L = l_0 + 2d$$



- 2 - Desde donde ha roto se coge la mínima distancia al punto de calibración (A).

* Llevamos esa distancia al otro lado.

* Contamos el n° de divisiones en ese sentido -n- (en nuestro caso seis)



3 - Según sea N-n se nos presentan dos casos:

a) N-n es impar. $A = \frac{\overline{AB} + \overline{BC} + \overline{BD} - 10}{10} \cdot 100$

$\overline{AB} = n$

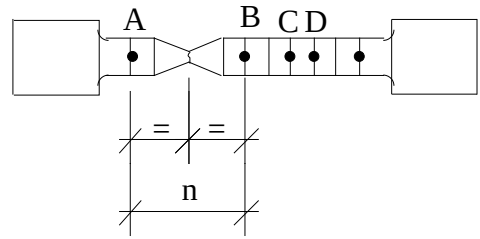
$\overline{BC} = n^\circ \text{ de divisiones} = \frac{N-n-1}{2}$

* Marcamos el punto C

$\overline{BD} = \overline{BC} + 1 \text{ división}$

* Marcamos el punto D

Medimos con el calibre: AB, BC, y BD; y los llevamos a la formula del Alargamiento. (en mm)



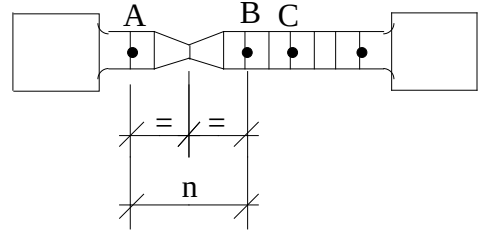
b) N-n es par. $A = \frac{\overline{AB} + 2\overline{BC} - 10}{10} \cdot 100$

$\overline{AB} = n$

$\overline{BC} = n^\circ \text{ de divisiones} = \frac{N-n}{2}$

* Marcamos el punto C

Medimos con el calibre: AB, y BC; y los llevamos a la formula del Alargamiento. (en mm)



4 - Estricción.

Definición: Disminución de la sección en la fractura de una probeta rota por alargamiento. Se expresa en porcentajes, según la siguiente expresión:

$$Z = \frac{S_0 - S_f}{S_0} \cdot 100\% = \frac{D_0^2 - D_f^2}{D_0^2} \cdot 100\%$$

donde S_0 es la sección inicial y S_f la sección de rotura.

5 - Tipos de Rotura.

- La resistencia a la rotura no es una propiedad, sino el resultado de un ensayo que da la tensión o carga necesaria por unidad de sección para producir la rotura del metal ensayado.
- Como la rotura de un metal puede producirse por tracción, por compresión, por torsión o por cizallamiento. Habrá una resistencia a la rotura por tracción, otra por compresión, otra por torsión y otra por cizallamiento.
- Las roturas pueden ser de dos tipos:

a) Dúctiles:

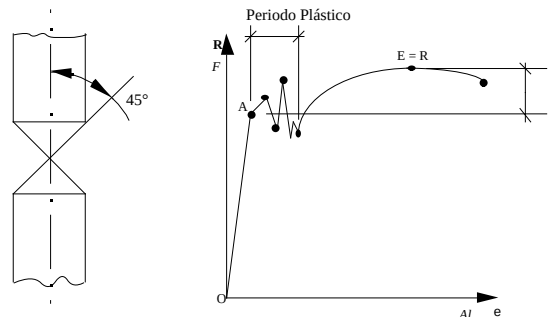
* La rotura produce un cono a 45°.

* Observando el gráfico tenemos:

- Tiene un gran alargamiento en el periodo de estricción y rotura.

- La diferencia entre el límite de proporcionalidad y tensión de rotura es muy grande.

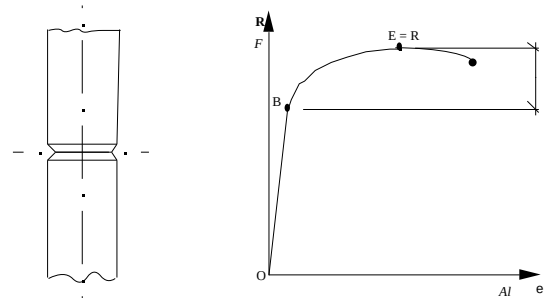
- Tiene un gran periodo plástico.



b) Frágiles:

- * Prácticamente no tiene cono de rotura. No hay apenas estricción.
- * La rotura es de 90° respecto al eje.
- * Observando el gráfico tenemos:

- Desaparece el periodo plástico. El alargamiento es muy corto.
- El periodo de estricción y rotura es muy corto.
- La diferencia entre el punto A y el punto B es muy corta.



Estos dos casos son los casos extremos, los demás casos se comprenden entre estos dos.

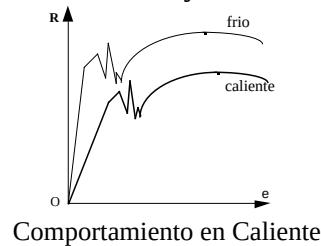
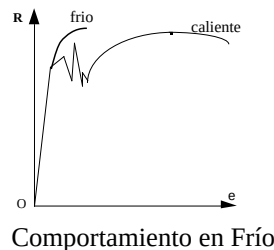
6 - Factores de los que dependen las roturas:

a) Temperatura:

Actualmente se realizan ensayos en diferentes T^a (horno y aparato que produce frío-gas)

* Comportamiento en frío: A medida que se enfría el periodo plástico va desapareciendo, se convierte de material dúctil a frágil. El límite elástico se aproxima a la tensión de rotura.

* Comportamiento en caliente: Aumenta el periodo plástico, disminuye la tensión de rotura.



b) Velocidad:

Al aumentar la velocidad disminuimos el periodo plástico. No cambia la Tensión de Rotura.

c) Distribución de tensiones:

Hacen que el material se convierta en frágil. Hay cambios de tensiones en:

- Disminución de secciones.
- Ángulos.
- Roturas internas.
- Tratamientos: cementaciones, templados, ...
- Soldaduras.
- Mecanizados.

d) Estructura Cristalina:

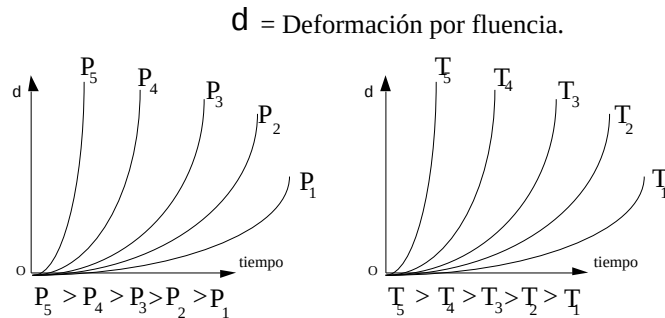
- Grano grande y abierto. El material rompe antes, NO hay periodo plástico.
- Grano pequeño y cerrado. Hay periodo plástico, el material rompe más tarde.

e) Composición del material:

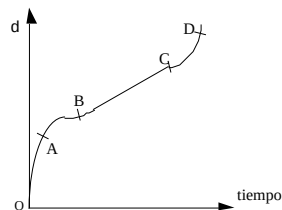
- Hay elementos que tienden a hacer frágil el material como son : C, Si, S, P, Sb, Arsénico, y gases (N, H, O)
- Hay elementos que eliminan los anteriores, por lo que beneficia al material al hacerlo más dúctil. Mn (cierra la estructura), Ni y Al (disminuyen el tamaño del grano), elementos desgasificantes...

7 - Fluencia.

- Actualmente se ha comprobado que todos los metales se deforman más o menos lentamente aplicándoles cargas muy pequeñas e inferiores a límite de fluencia.
- La fluencia aumenta con la carga y la T^a . Son menos sensibles a la cedencia los metales cuanto más elevada es su T^a de fusión.
- Con arreglo a la T^a de fusión se clasifican en tres grupos:
 - a) T^a fusión $< 400^\circ \text{C}$; fluencia a T^a ambiente aumenta con pequeñas cargas.
 - b) T^a fusión $400^\circ \text{C} - 650^\circ \text{C}$; fluencia a poca T^a ($70^\circ - 80^\circ \text{C}$).
 - c) T^a fusión $> 1200^\circ \text{C}$; fluencia a T^a elevada
- Este ensayo se denomina también CREEP.
- Diagramas:



- Desarrollo de la fluencia:



OA -> Zona de deformación elástica instantanea

AB -> Alargamiento decrece respecto del tiempo

BC -> Alargamiento proporcional al tiempo. Zona de fluencia verdadera

CD -> Alargamiento crece con el tiempo.

Límite de fluencia es la carga que puede resistir un metal en un intervalo de T^a determinado, sin que se rompa en un tiempo indefinido. No tiene uso industrial.

Límite de fluencia restringido es la carga que puede soportar un material en un intervalo de temperatura en un tiempo definido sufriendo el material una deformación de XX%.

8 - Comprobación del error de la máquina universal.

Hay dos maneras: Con varillas calibradoras y con células de tarado.

Célula AMSLER: Se puede usar a tracción y a compresión. La célula Amsler para ciertas cargas tiene sus características. Realizamos con la máquina esas cargas y con los valores obtenidos calculamos el error porcentual que pueda tener la máquina.

Valores tarados para sus cargas respectivas:

0,61 ----- 2000 Kg
1,54 ----- 5000 Kg
3,08 ----- 10000 Kg

Valores obtenidos despues de aplicar una carga de 2000 Kg

0 Kg ---- 3,64
2000 Kg ---- 4,08

$$0,61 - 0,44 = 0,17$$

$$0,61 \text{ ---- } 100\%$$

$$0,17 \text{ ---- } X$$

$$X = 28,87 \%$$

$$4,08 - 3,64 = 0,44$$

9 - Ensayos de Compresión.

- Se usa poco en industria. Se usa en piezas y mecanismos sometidos a compresión (pilares, fundición cojinetes).

Def: Ensayo consistente en someter la probeta a esfuerzos constantes y crecientes hasta llegar a la rotura (mat. frágiles) o al aplastamiento (mat. dúctiles).

- La resistencia a la compresión es mayor que la resistencia a la tracción. Se obtiene de la expresión:

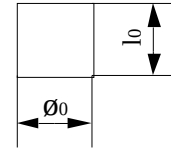
$$\sigma = \frac{-F}{S_0} [\text{Kp/mm}^2]$$

- Condiciones de ensayo:

$$\frac{\sqrt{S_0}}{l_0} \approx 0,9 \text{ a } 1$$

;

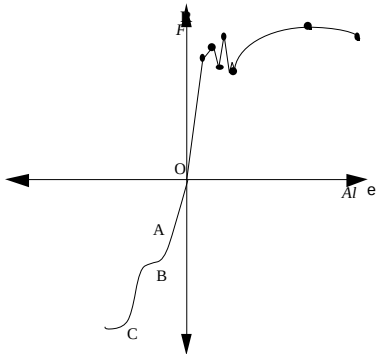
en industria se usa $l_0 = \varnothing_0$



- La probeta se deforma --> hay una variación de longitud y diámetro.

Contracción total: $\Delta S = S_f - S_0$; Contracción total unitaria: $\Delta S\% = \frac{S_f - S_0}{S_0} \times 100\%$

Diagrama de esfuerzos y deformaciones a compresión en un acero extrasuave.



OA --> Periodo de proporcionalidad. Ley de HOOKE.

Límite de proporcionalidad: $\sigma_A = \frac{-F_A}{S_0} \text{ [Kp/mm}^2\text{]}$

AB --> Límite de fluencia al aplastamiento --> esfuerzo a partir del cual las deformaciones son permanentes. $\sigma_B = \frac{-F_B}{S_0} \text{ [Kp/mm}^2\text{]}$

Tensión de rotura o aplastamiento: $\sigma_R = \frac{-F_{\max}}{S_0} \text{ [Kp/mm}^2\text{]}$

Clases de materiales. Clasificación en función del comportamiento a la compresión.

*** Dúctiles y Maleables:** Metales, Aceros bajos %C, Bronces de bajo nivel de Cobre.

Hay aplastamiento, no hay rotura. Son FORJABLES.

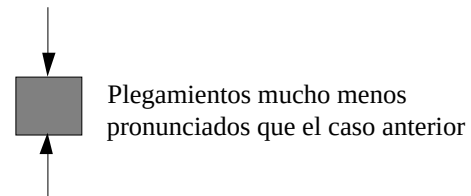
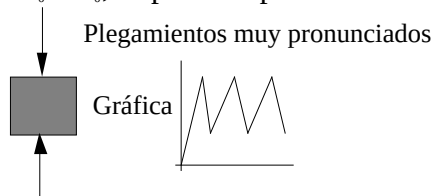
*** Frágiles:** Se rompen a 45°. NO son forjables. Fundiciones, bronce de alto nivel de cobre, Acero de alto %C(>0,9%)



*** Fibrosos:** Todo tipo de maderas. Según la orientación de la fibra se comportan de distinta manera.

En piezas de gran precisión: $l_0 = 2,5 \text{ a } 3 d_0$.

Si $l_0 > d_0$, se produce pandeo.



10 - Ensayos de pandeo.

- En las piezas $l_0 \gg d_0$, sometidas a esfuerzos de compresión en la dirección del eje, no se rompen por aplastamiento, sino que se doblan lateralmente y se rompen con cargas muy inferiores a las que les correspondería por su sección y resistencia a la compresión la fórmula utilizada para el cálculo de la resistencia al pandeo es la siguiente.

$l_0 > 3d_0$

$$R_p = \frac{\pi^2 E_m I}{(l_p)^2}$$

E_m -> módulo de elasticidad.

l_p -> longitud de pandeo: Distancia entre 2 puntos consecutivos de inflexión de la curva producida por la pieza al deformarse.

I -> momento de inercia mínimo de la sección de la pieza.

- Los ensayos se realizan en la máquina universal AMSLER.

- Los ensayos de pandeo tienen poca utilidad en la construcción de máquinas.

11 - Ensayos de torsión.

- Los ensayos de torsión resultan útiles para probar la resistencia de ejes y otras piezas que deben trabajar a torsión.

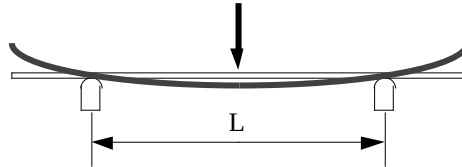
- No existen normas ni para probetas ni para los ensayos.

- La resistencia a la torsión se admite que es del 0,6 al 0,8 de la resistencia a la tracción.

$\sigma_T = 0,6 \text{ a } 0,8 \sigma_R$

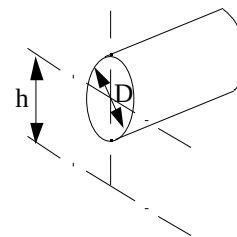
12 - Ensayos de Flexión Estática.

- Este ensayo es complementario del ensayo de tracción.
- No se hace siempre. Se hacen en piezas y materiales que van a estar sometidas a flexión.
- Se realiza igual sobre piezas cilíndricas, cuadradas que rectangulares.
- Consistente en someter las probetas, apoyadas libremente por los extremos, a un esfuerzo aplicado en el centro o dos iguales aplicados a la misma distancia de los apoyos.
- El ensayo se realiza colocando dos rodillos con la separación $L=20d$, siendo d el diámetro de la probeta



La tensión máxima soportada por la probeta es.

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_f}{W} \quad \begin{array}{l} \longrightarrow \text{Momento flector máximo} \\ \longrightarrow \text{Momento resistente} \end{array}$$

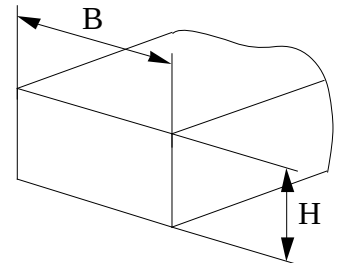


- Para una probeta cilíndrica tenemos:

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{\text{máx}} = \frac{M_f}{W} = \frac{\frac{P}{2} \frac{l}{2}}{\frac{I_x}{h}} \\ I_x = \frac{\pi d^4}{64} ; h = \frac{d}{2} \end{array} \right\} \Rightarrow \sigma_{\text{máx}} = \frac{\frac{P}{4}}{\frac{\frac{\pi d^4}{64}}{\frac{d}{2}}} = \frac{\frac{P}{4}}{\frac{\pi d^3}{32}} \Rightarrow \boxed{\sigma_{\text{máx}} = \frac{8 P l}{\pi d^3}}$$

- Para una probeta de sección rectangular:

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{\text{máx}} = \frac{M_f}{W} \\ I_x = \frac{B H^3}{12} \end{array} \right\} \Rightarrow \sigma_{\text{máx}} = \frac{\frac{P}{2} \frac{l}{2}}{\frac{\frac{B H^3}{12}}{\frac{H}{2}}} = \frac{\frac{P}{4}}{\frac{B H^2}{6}} \Rightarrow \boxed{\sigma_{\text{máx}} = \frac{3 P l}{2 B H^2}}$$



donde l es la longitud del rodillo ($l = 20 d$).

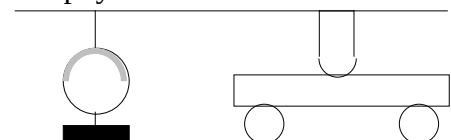
- El valor del módulo de elasticidad se calcula por la fórmula:

$$E = \frac{P l^3}{48 I_x f_1}$$

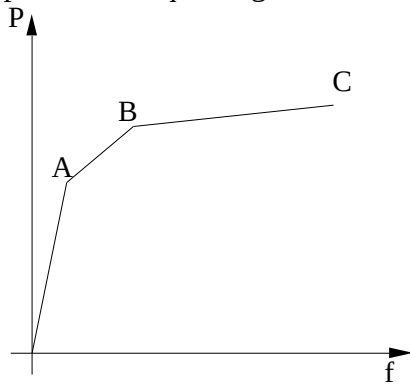
I_x --> Momento de inercia
 f_1 --> flecha
 P --> carga del límite de proporcionalidad
 l --> distancia entre centros de apoyo

Para hallar el valor de la flecha colocamos un extensómetro

El ensayo se realiza en la máquina universal Amsler



- Se puede obtener un diagrama similar al de tracción, apareciendo también un periodo elástico y otro plástico, aunque en general no suele llegar a producirse la rotura.



Las deformaciones son flechas.

Límite proporcionalidad----->

$$\sigma_A = \frac{P_A}{S_0} \quad [\text{Kp/mm}^2]$$

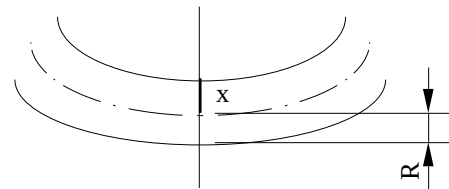
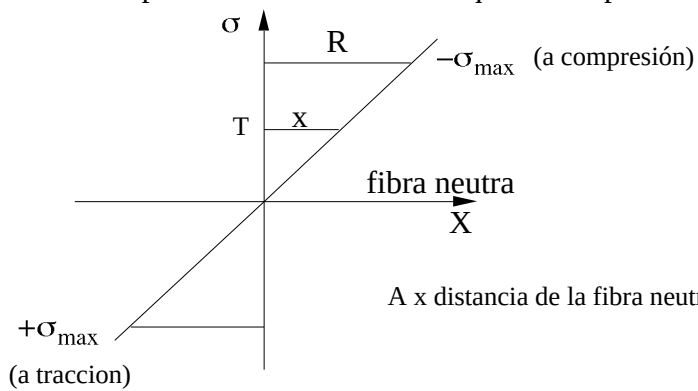
Límite fluencia ----->

$$\sigma_B = \frac{P_B}{S_0} \quad [\text{Kp/mm}^2]$$

Límite rotura ----->

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\max}}{S_0} \quad [\text{Kp/mm}^2]$$

- También podemos saber la tensión que esta soportando una fibra.



A x distancia de la fibra neutra se corresponde una tensión T.

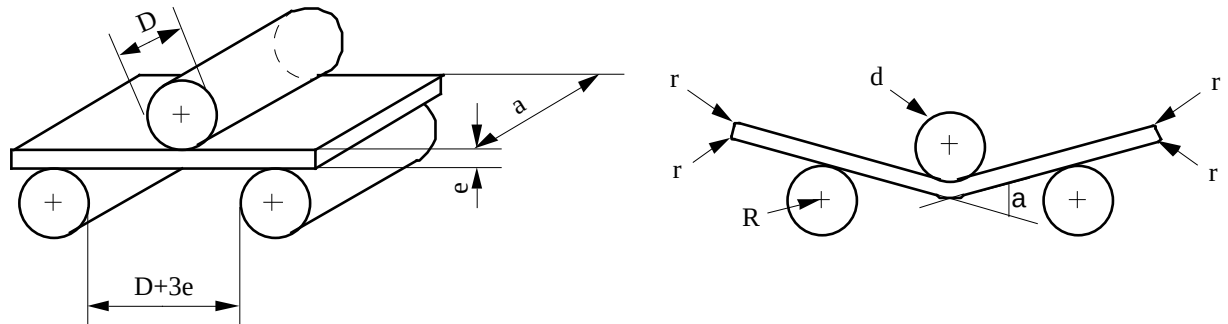
CAPITULO 16: Ensayos de Conformación (Tecnológicos)

2. Ensayos de Plegado:

1 - Ensayo de Plegado .

Ensayo de tipo tecnológico consistente en someter el material a un plegado simple, doble o alternativo, y observar la aparición de grietas. Se emplea para láminas, tubos y alambres.

* **Ensayos de Plegado Simple:** Se realiza este ensayo apoyando las probetas sobre 2 puntos fijos, generalmente rodillos, y ejerciendo una presión mediante un mandril curvo u otro rodillo, hasta que la probeta se doble el ángulo deseado (α).



- Las probetas suelen ser barras con una anchura: $a > 1,5e$.
- Las aristas de la cara estirada se redondearán con un radio aproximadamente: $r = e/10$
- Si $e > 30$ mm. se mecaniza por una de sus caras hasta que $e = 30$ mm. Las piezas forjadas $e = 20$ mm.
- La distancia entre rodillos de apoyo debe ser $L = D + 3e$; siendo D el diámetro del rodillo o mandril que ejerce la presión.

$e = 20$ mm => materiales forjados	Rodillos: $\varnothing = 25$ mm => si $e \leq 12$ mm
------------------------------------	--

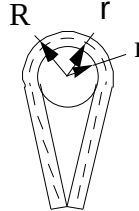
- La longitud del mandril deberá ser mayor que la anchura de las probetas.
- Si el plegado ha de ser a 180° , se aplica la máquina hasta 140° , y luego se comprimen directamente las 2 ramas hasta conseguir el contacto de las dos caras o hasta que queden paralelas, intercalando entre ellas una cuña.
- Si la pieza a ensayar es de sección circular o poligonal, se puede usar sin preparación previa, si su diámetro o el círculo inscrito es $\varnothing \geq 30$ mm. Cuando sea $\varnothing < 30$ mm, se mecaniza una barra cuadrada o rectangular de $a = 30$ mm.
- Ensayo de plegado simple de tubos.
Se tapa el tubo por un lado, introducimos arena seca hasta llenarlo, lo tapamos por el otro lado y ya podemos introducirlo en la máquina ($140^\circ, 180^\circ$)

* **Índice de calidad según TETMAJER:** La calidad de un material metálico puede valorarse según Tetmajer, por medio del ensayo de doblado realizado en las siguientes condiciones:

- Se usan tiras de chapas de dimensiones **a=3e** y **l=18e**. (También pueden ser redondas)
- Las probetas se doblan sobre mandriles cilíndricos de diámetros decrecientes hasta que los extremos se toquen. El ensayo se da por terminado en cuanto aparezcan las primeras grietas en la superficie de la probeta.
- El índice de calidad viene dado por la siguiente expresión:

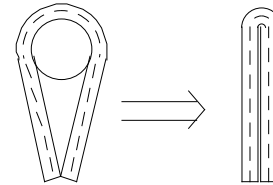
$$I = \frac{50e}{\rho}$$

donde $r \rightarrow$ radio de curvatura de fibra neutra



- También puede realizarse este ensayo usando siempre un mandril de radio **r=e**, sobre el que se inicia el doblado de ésta. A continuación, y ya sin mandril, se continua doblando la probeta aproximando sus extremos hasta que aparecen las 1^{as} grietas.

$$\rho = R_{\text{ext}} - \frac{e}{2} \quad \Rightarrow \quad I = \frac{50e}{R_{\text{ext}} - \frac{e}{2}}$$



* **Ensayos de Plegado Doble;** o ensayo del pañuelo:

- Se realiza generalmente con láminas de 200x200 mm, a las que se somete a dos plegados sucesivos en dos direcciones perpendiculares.
- Después se examina en los dobles la aparición de grietas.
- Si es posible, además de especificar el plegado en que aparecen las grietas se especifica el ángulo.

* **Ensayos de Plegado Alternativo:**

- Las probetas no llegan a plegarse, sino a doblarse 90° a un lado y a otro.
- Se anota el número de alternancias (ciclos completos) que ha resistido.
- Se aplica este ensayo a pletinas delgadas y alambres.

* **Ensayos de Aplastamiento de tubos:**

Consiste en someter un tubo (generalmente de 500mm) a un ensayo de compresión:

- a) Se mete el tubo a determinadas cargas y se observa la aparición de grietas.
- b) Aplastamiento debido a un alternador. Nos interesa saber la sección final (Tubos con cables).
- c) Aplastamiento Total: Carga que es necesario aplicar a un tubo para llegar al aplastamiento total.

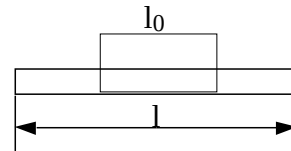
3 - Ensayos de Embutición .

- Es uno de los ensayos más utilizados y tiene por objeto conocer la aptitud de las chapas para ser conformadas por embutición.
- Para realizar el ensayo se usa generalmente la máquina Erichsen, que mide el avance de una cabeza desde que toca la chapa hasta que se rompe ésta chapa.
- Se practican 3 modalidades:
 - embutición simple.
 - embutición profunda por vasito.
 - embutición con ensanchamiento del agujereo.
- Las chapas deben tener como mínimo una superficie de 70x70 mm.

4 - Ensayo de Forja .

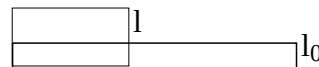
- Los ensayos más utilizados son los de platinado, recalcado, mandrilado, y soldadura por forja.
- Σ Ensayos de Platinado: - Consisten en ensanchar a golpes de plana (martillo de forja) una pletina puesta a temperatura de forja, hasta que aparecen grietas en las aristas. Se valoran la forjabilidad mediante el **Índice de Platinado**:

$$Pt = \frac{l_0}{l} \times 100$$



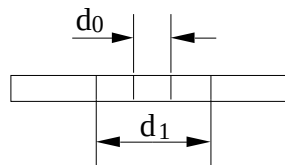
- Σ Ensayos de Recalcado: - Se realizan estos ensayos sometiendo probetas cilíndricas de doble longitud que de diámetro a una operación de recalcado (acortamiento) a golpes de martillo, puesta la probeta a temperatura de forja.

$$Re = \frac{l_0}{l} \times 100$$



- Σ Ensayos de Mandrilado: - Se utiliza este ensayo para determinar la capacidad de perforación de láminas. Para realizarlo se calienta a la temperatura de forja la chapa que se desea ensayar, y después se perfora con un punzón troncocónico hasta que aparezcan grietas. El resultado del ensayo se valora en función del diámetro d_1 alcanzado en el orificio antes de la aparición de las grietas.

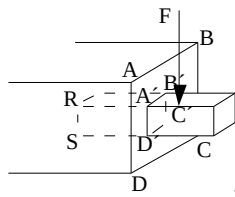
$$Ma = \frac{d_0}{d_1} \times 100$$



5 - Ensayo de Cizalladura .

- Ensayo de tipo tecnológico consistente en someter un material a esfuerzos crecientes y progresivos hasta llegar a la rotura.
- Se realiza sobre materiales que van a estar sometidos a fuerzas de corte (chavetas, lengüetas, espárragos, tornillos, pernos).

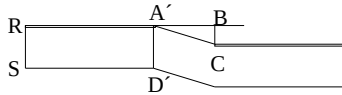
- Definimos el esfuerzo cortante τ :



$$\tau = \frac{F}{S_0} \text{ [Kp/mm}^2\text{]}$$

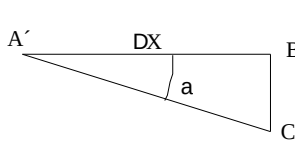
A', B', C', y D' --> Sección de cizalladura
F --> Esfuerzo de corte

- En la industria el ensayo se suele realizar sobre probetas cilíndricas.



- Módulo de elasticidad Transversal. G

En un primer periodo hay una deformación dentro del periodo de proporcionalidad



BC --> desplazamiento producido.

$$\tan(\alpha) = \frac{BC}{\Delta X} \approx \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{1}{G} \frac{F}{S_0}$$

G -> módulo de elasticidad transversal, depende del material.

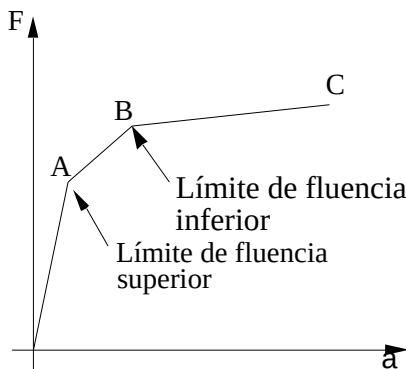
- Relación entre G, m y E:

$$E = 2G(1+\mu)$$

donde : μ = coeficiente de Poisson, aceros $\mu = 0,25$
E = 21000

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

* Diagrama de esfuerzos-deformaciones en un ensayo de cizalladura.



- No hay periodo plástico

- Vemos siempre el punto C. (Tensión de rotura) $\tau_R = \frac{F_{\max}}{S_0} \text{ [Kp/m}^2\text{]}$

- Aplicación de la gráfica, igual que en la tracción.

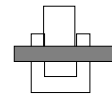
- La probeta tiene el mismo $\phi \pm 1\%$ que el agujero.

* Tipos de cizalladura:

SIMPLE: $\tau_R = \frac{F_{\max}}{S_0} \text{ [Kp/mm}^2\text{]}$



DOBLE: $\tau_R = \frac{F_{\max}}{2 S_0} \text{ [Kp/mm}^2\text{]}$



* Relaciones entre cizalladura y tracción:

ACERO NORMAL

$$\tau_R = 0,7 \sigma_R \quad <0,5\%C$$

$$\tau_R = 0,7 \sigma_R \quad 0,5-0,89\%C$$

$$\tau_R = 0,7 \sigma_R \quad >0,89\%C$$

FUNDICIONES

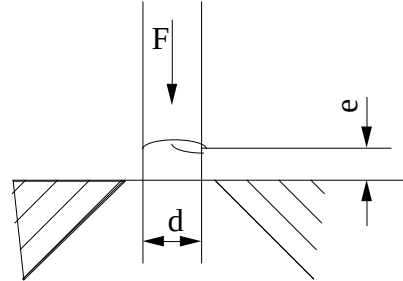
$$\tau_R \approx \sigma_R$$

6 - Ensayo de Punzonado .

- Ensayo de tipo tecnológico usado para determinar el comportamiento al ejercer una fuerza con un punzón.
- Se realiza con esfuerzos crecientes y progresivos hasta que se produce el corte.
- El punzón tiene forma curvada y filos cortantes, suelen ser de acero templado:

$$\tau_{\max} = \frac{F}{S_0} \text{ [Kp/mm}^2\text{]} \longrightarrow \tau_{\max} = \frac{F}{\pi d e} \text{ [Kp/mm}^2\text{]}$$

$$S_0 = \pi d e \text{ (sección del punzón)}$$



- El ensayo del punzonado se utiliza para la recepción de materiales que deben emplearse en construcciones roblonadas, como calderas de vapor, etc...

7 - Ensayo de Soldadura.

Soldabilidad: Aptitud de los materiales para ser unidos por soldadura, debe cumplirse 3 condiciones:

1. Soldabilidad operativa: Que se pueda hacer la soldadura.
2. Soldabilidad metalúrgica: Que sean aceptables modificaciones fisico-químicas.
3. Soldabilidad constructiva: Soldadura sensible a la deformación y resistencia mecánica igual a las del material base.

- Para determinar la homologación de un procedimiento de soldadura se realizan los siguientes ensayos:

Σ Doblado, si $\alpha = 140^\circ$ sin grietas ==> soldadura.

Σ Radiografía de la soldadura

Σ Ultrasonidos de la soldadura:

- parte externa: líquidos penetrantes ó partículas magnéticas.
- parte interna: radiografías o ultrasonidos.

Todos los dispositivos que vayan a estar sometidos a presión menor de 0,5 atmósferas deben llevar ensayos obligatorios de radiografía y ultrasonidos.

*Ensayo de Aborcado.

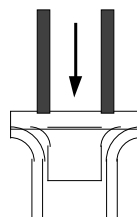
- Consiste en ensanchar un tubo o parte de él introduciendo un elemento trococónico.

- Realización del ensayo:

- Σ El mandril debe estar lubricado. $l = 2d$; $\alpha = 30^\circ$.
- Σ Velocidad pequeña. $v < 50 \text{ cm/m}$
- Σ Temperatura superior a 10 grados. Idónea de 18° a 23° .
- Σ Tubo perpendicular al eje.

Se considera bueno el ensayo cuando no hay grietas.

Aborcado plano: ($\varnothing \text{ £ } 150 \text{ cm}$; $e \text{ £ } 9 \text{ cm}$).



CAPITULO 15: Ensayos de Propiedades Mecánicas

3. Ensayos Dinámicos:

1 - Fatiga .

- Cuando un metal se somete a esfuerzos de magnitud y de sentido variables, se rompe con cargas muy inferiores a su resistencia a la rotura normal para un esfuerzo de tensión constante. A ese “desfallecimiento” de los materiales se le conoce como Fatiga de los metales.

- Teoría de WÖHLER:

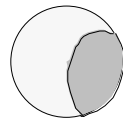
1. Los materiales sometidos a esfuerzos variables rompen antes que la tensión de rotura, incluso antes del límite elástico.
2. La rotura no tiene lugar cualquiera que sea el número de sollicitaciones (nº de veces que se realiza el ensayo) siempre cuando la carga este entre unos valores. Límite de Fatiga

FATIGA: Desfallecimiento que sufre el material cuando esta sometido a esfuerzos variables que hace que se rompa antes de la tensión de rotura e incluso a veces antes del límite elástico.

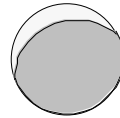
En toda fatiga hay tres fases:

- * INCUBACIÓN: se produce una distorsión atómica creada por la deformación plástica que finalmente produce microfisuras.
- * FISURACIÓN PROGRESIVA: la microfisura va alargándose en la dirección de la estructura cristalina. La sección va disminuyendo. Aparecen círculos concéntricos de grano fino.
- * ROTURA: finalmente el metal se rompe bruscamente (grano grueso).

- Tipos de Rotura por Fatiga.



La pieza a roto rápidamente



Pieza sobredimensionada a roto más lentamente

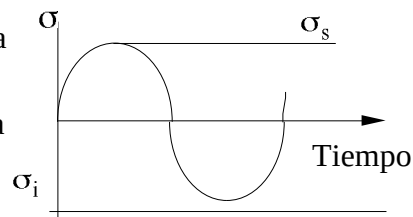
- Tipos de Sollicitaciones.

a) Alternativo Simétrico:

$$\sigma_s = \sigma_i$$

σ_s --> valor máximo de la tensión en la fibra más sollicitada (fibra exterior)

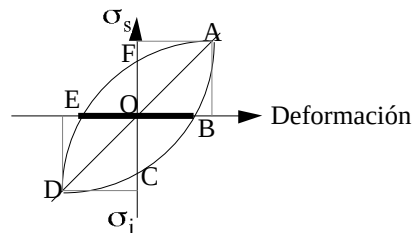
σ_i --> valor mínimo de la tensión en la fibra más sollicitada (fibra exterior)



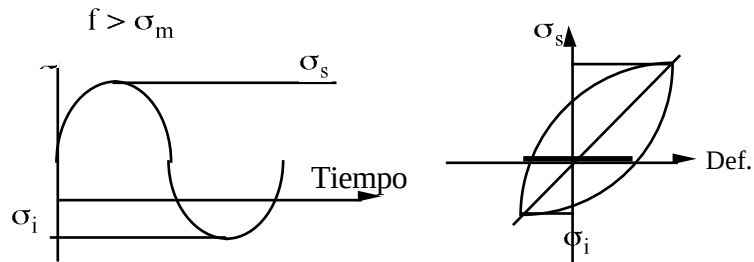
Amplitud $2f = \sigma_s - \sigma_i$
--

Tensión Media $\sigma_m = \frac{\sigma_s - \sigma_i}{2}$

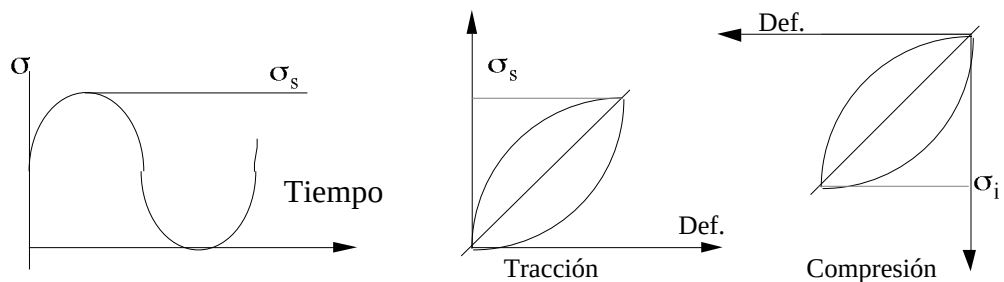
Diagrama de deformaciones. Hay siempre una deformación remanente. —



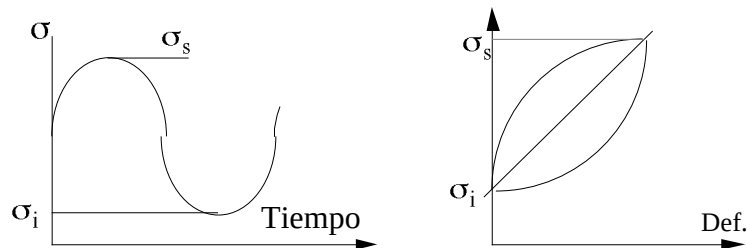
b) Alternativo Disimétricas (ó Asimétricas). -> esfuerzos de sentido contrario y diferentes. Hay deformación remanente (aunque cese el esfuerzo queda una deformación).



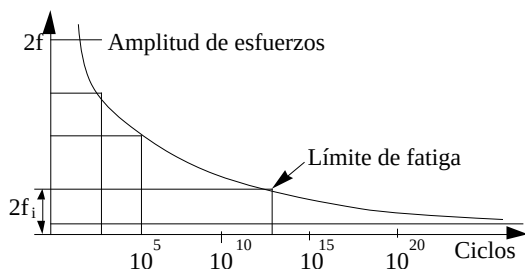
c) Intermitentes : Aquellas que varían entre un máximo y cero. No hay deformación remanente.



d) Pulsatorio: Actúan los dos valores en el mismo sentido pero con valores diferentes. No hay deformación remanente.



- Diagrama de WÖHLER.



- Fijamos los valores máximos y mínimos para una sección, hallamos la amplitud. ($2f$)
- Si nos mantenemos entre el valor de la amplitud del material no romperá nunca.
- Si sobrepasamos el valor de la amplitud se romperá para un determinado número de ciclos.

Esta asíntota se denomina **Límite de Fatiga**: Amplitud máxima de un determinado esfuerzo que sometido a un número indeterminado de ciclos no rompe nunca. No ocurre nunca en la vida real

- **Límite de Fatiga Restringido**: mayor amplitud de un determinado esfuerzo que puede soportar un material para que rompa en un determinado número de ciclos.

- Diagramas de resistencia a la fatiga. Efecto del esfuerzo medio en la fatiga.

- Los diagramas de resistencia a la fatiga fueron ideados por SMITH.
- En la vida real trabajamos por debajo del límite elástico, cortamos el diagrama por el límite elástico (E).
- El diagrama puede trazarse para los esfuerzos de flexión, tracción, compresión y torsión.

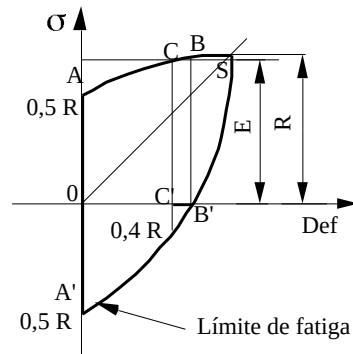
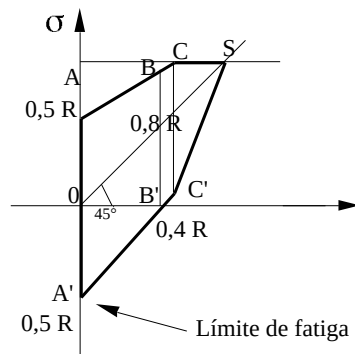


Diagrama de resistencia a la fatiga

- Diagrama de FISCHER.

- Fischer ideó un diagrama simplificado de fatiga, sustituyendo las curvas por rectas, cuyo trazado es muy sencillo.



- Hallar 0.5R; 0.4R; 0.8R. Colocarlos según dibujo.
- Colocar recta paralela al eje abcisas con el valor del límite elástico B
- Colocar la recta a 45°.
- Delimitar poligono ABCSC'B'A'
- A partir del diagrama de tracción hallar diagrama de Fischer (hallar el límite elástico y la tensión de rotura)

- Interpretación: Dándonos S_s y S_t saber si se va a romper por fatiga.

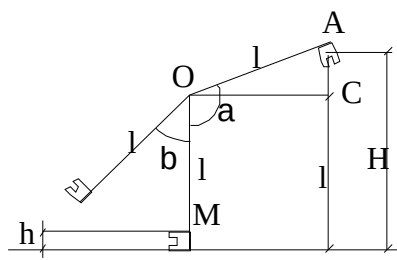
Para lo cual hallamos la tensión media y lo colocamos sobre el diagrama. Ponemos S_s y S_t , si están fuera del diagrama rompen por fatiga.

- Ensayos de resistencia al choque. Resilencia(t).

- Ensayo de flexión por choque, ensayo de tipo dinámico. Se considera una actitud que tienen los materiales para soportar sollicitaciones por choque.
- Los ensayos de resistencia al choque valoran aproximadamente la tenacidad (capacidad de resistencia al choque)
- La unidad del ensayo es la RESILENCIA: energía que absorbe un material en un choque determinado.

$$\rho = \frac{T_{ab}}{S_0} \quad [Kp/cm^2]$$

T_{ab} = energía absorbida; $T_{ab} = P (H - h) = P (\cos b - \cos a)$



$$E_c = PH ; E_v = Ph \rightarrow \text{energía residual}$$

$$T_{ab} = E_c - E_v = PH - Ph = P(H-h)$$

$$H = L + AC = L + L \sin(\alpha - 90) = \boxed{L - L \cos \alpha = H}$$

$$h = L - OM = \boxed{L - L \cos \beta = h}$$

$$T_{ab} = P(L - L \cos \alpha - L + L \cos \beta)$$

$$T_{ab} = PL(\cos \beta - \cos \alpha)$$

- En general, las máquinas llevan un índice que se mueve proporcionalmente al ángulo β rebasado por el péndulo, y como el ángulo α y S son constantes, se lee directamente el resultado de la resilencia en Kp/cm^2 .

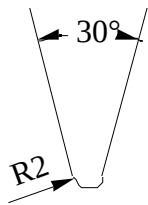
- Hay dos tipos de ensayo de resistencia al choque según el péndulo y la probeta empleada:

Σ Método de Charpy.

Σ Método de Izod.

- Método de Charpy.

- El péndulo de Charpy está construido por un martillo que pesa 22 kg que desarrolla 30 Kg en el momento del choque. Su arista de choque la forman dos caras inclinadas 30° , unidas por un radio de 2 mm.



- Nomenclatura:

$\rho \Rightarrow$ si se realiza con 30 Kg.

$\rho_{15} \Rightarrow$ si se realiza con 15 Kg.

$\rho_X \Rightarrow$ si se realiza con X Kg

- Resultados:

Lectura en la máquina de T_{ab} directamente

$$\rho = \frac{T_{ab}}{S_0} \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\rho = \frac{X + T_{ab} - 30}{S_0}$$

$$\rho = K$$

Tipos de resultados:

1. Rompe la probeta $\Rightarrow r$; hacemos tres ensayos.

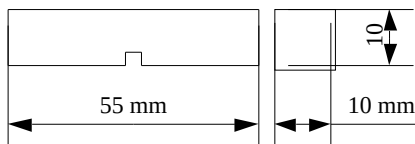
2. Dobla, no rompe, no pasa el péndulo, $r > 30 \text{ Kg/cm}^2$. <<superior al máximo de la máquina>>.

3. Dobla, no rompe, pasa, $r >$ no rompió, dobló sin romper.

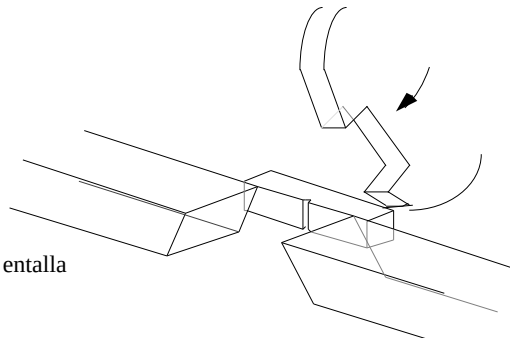
Probetas:

- Están normalizadas.

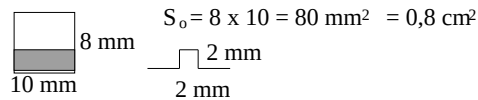
- Tienen una entalla. El péndulo golpea en la cara opuesta a la entalla.



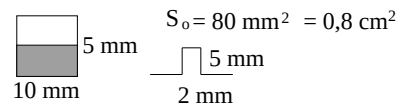
$S_0 =$ sección de la entalla



Tipos de entallas y secciones



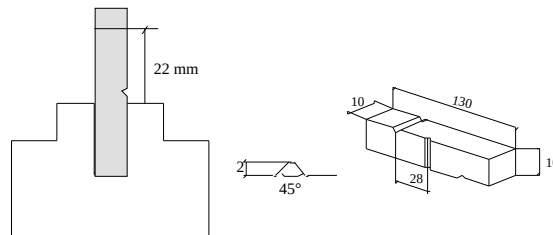
- La ranura debe ser perpendicular a la pieza, no se debe calentar. No se usarán taladros. (Se usan fresas o esmeriladoras)



- La distancia entre soportes es de 40 mm.

- Método de Izod.

- Se usa un martillo de 60 libras (25,25)
- Las probetas son de longitud 130 mm y de 10x10 mm.
- Llevan 3 entallas en 3 caras diferentes de 45° y 2 mm de profundidad.
- La distancia entre cada una de las entallas es 28 mm.
- Se colocan las probetas en posición vertical, sujetas por un lado a un soporte y libras por el otro.
- El golpe se da a 22 mm de la entalla.
- Se realizan 3 veces el choque, una en cada entalla en posición correcta. Se hace la media de los tres ensayos.

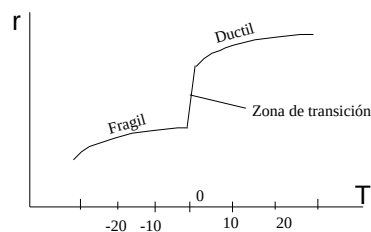


Aplicaciones de los ensayos de resistencia al choque. Entre 100° y 180° tenemos una mezcla de materiales.

- Determinar si un material es Frágil, Dúctil. Observando la rotura de la probeta tenemos:
 - * Fundición, Rompe a 180°; rotura por descohesión, grano GRUESO, es un material frágil.
 - * Rotura Dúctil. La rotura es por deslizamiento de un grano sobre otro. Grano FINO.

Variación de la resiliencia con la Temperatura.

- A temperaturas normales r disminuye notablemente -> se vuelven frágiles.



- Zona de Transición.--> Zona en la que el material pasa directamente de ductil a frágil. Es un intervalo de temperaturas

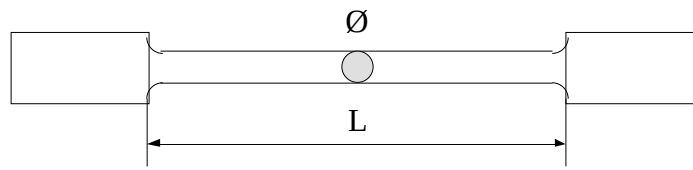
- Influencia de los elementos en la zona de transición.

$\%C \downarrow \Rightarrow \downarrow$ Zona de transición

$\uparrow \%P, \uparrow \%N \Rightarrow \downarrow$ Zona de transición

$\uparrow Ni, \uparrow Ti, \uparrow Al$

- **Ensayo de Tracción al Choque.** por el método de Charpy.



$$V = \frac{\pi}{4} \varnothing^2 L$$

Se sujeta esta probeta al péndulo, se colocan los soportes necesarios y se deja caer el péndulo.

Se mide r a partir de la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{T_{ab}}{V} \text{ [Kp/mm}^3\text{] ó [Kp/cm}^3\text{]}$$

- **Ensayo de Desgaste.**

- Tienen por objeto determinar el desgaste por rozamiento de metales.
- Se preparan probetas con $\varnothing=30$ a 50 mm y $e=10$ mm.
- Estos discos se montan sobre ejes paralelos, pudiendo aplicarse sobre el disco superior cargas de 25 a 300 Kg.
- $w = 20$ r.p.m.. pudiéndose hacer tres tipos de ensayo:

a) Deslizamiento puro; un disco inmovilizado.

b) Rodamiento puro



c) Deslizamiento Doble



CAPITULO 25: Aleaciones Hierro-Carbono.

1. Composición, Constitución y Estructura

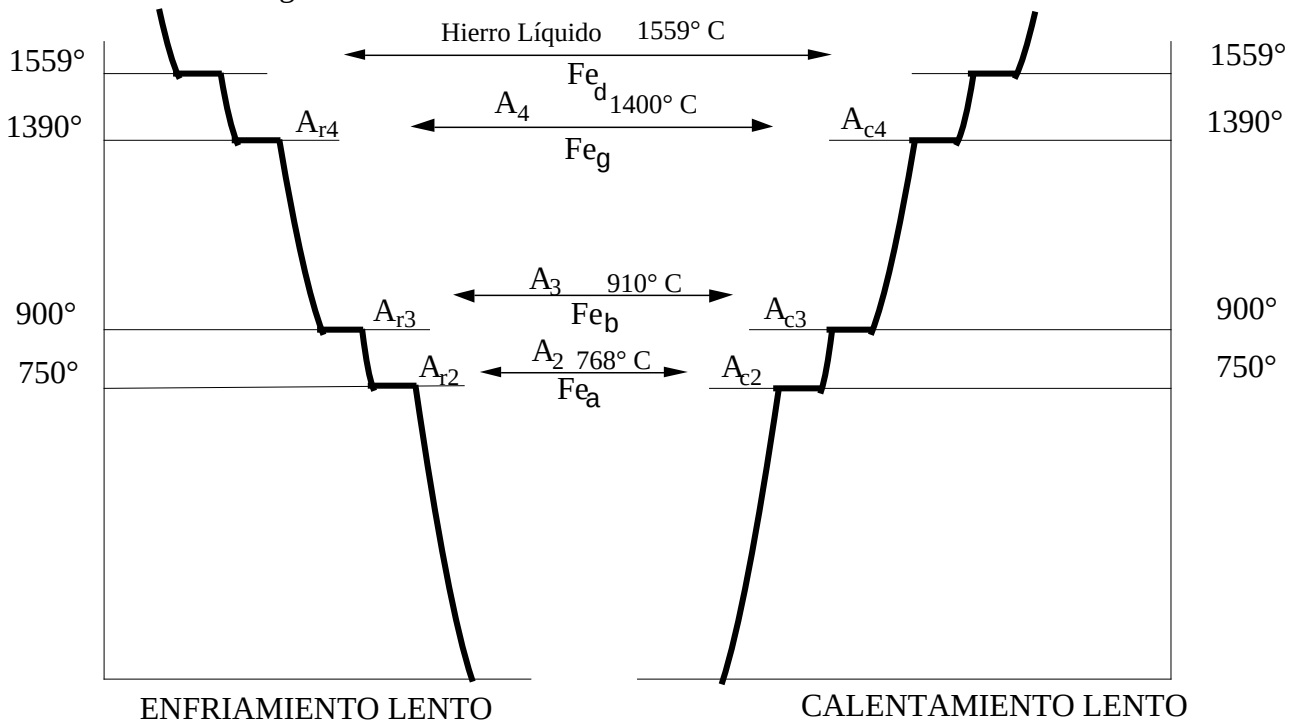
1 - Propiedades del Hierro:

2 - Estructura cristalina del hierro puro.

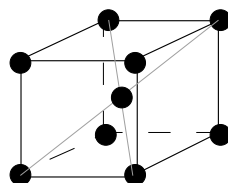
* Variedades alotrópicas (distinta estructura cristalina) para el hierro puro:
 $A_2=768^{\circ}\text{C}$; $A_3=910^{\circ}\text{C}$; $A_4=1400^{\circ}\text{C}$

3 - Variedades alotrópicas de hierro puro:

Hacemos un diagrama de enfriamiento:



Hierro a: (Ferrita) Cristaliza en un sistema cúbico centrado. Cada cubo o redícula lleva un átomo en los vértices y en el centro. Es magnético, por eso todas las máquinas serán de hierro a, cada hierro a lleva 2 átomos, uno en el centro y otro en el vértice, cada vértice es común a otros 8 cubos; por tanto, la parte del átomo de vértice correspondiente a cada cubo es $1/8$, y en total de los 8 vértices, le corresponden a cada cubo $8 \times 1/8 = 1$. Con esta variedad es difícil hacer tratamientos térmicos, pues están muy juntos los vértices, por lo que no entra nada.

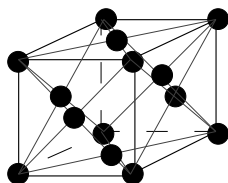


Sistema Cúbico Centrado

Estructura cristalina del Fe_a

Hierro b: Es cristalográficamente igual al hierro a, únicamente que la distancia entre átomos es algo mayor: $2,9\text{\AA}$. No es magnético.

Hierro γ (Austenita) La red cristalina ha cambiado al pasar de los 910°C . Hay un átomo en cada vértice y otro en cada cara. Sistema cúbico de caras centradas. Luego tenemos un átomo de vértices ($8 \times 1/8 = 1$) y tres átomos de caras ($6 \times 1/2 = 3$) puesto que cada cara es común a dos cristales. La distancia entre átomos es de $3,60 \text{ \AA}$. No es magnético. Se le pueden hacer tratamientos térmicos ya que disminuye de volumen (ΔV).



Sistema Cúbico de Caras Centradas

Estructura cristalina del Fe_{γ}

Hierro δ : Pertenece al sistema cúbico de caras centrado como el Fe_{γ} . Es débilmente magnético.

4 - Aleaciones de hierro - carbono:

Es el material que más se usa en la actualidad. Hay una gran gama de aleaciones.

5 - Composición de las aleaciones de hierro - carbono: (elementos químicos)

A T° ambiente salvo una pequeña parte disuelto en ferrita, todo el Carbono (C) que contienen las aleaciones Fe-C está en forma de Carburo de Hierro (C Fe_3). Tenemos la siguiente clasificación según %C.

0,008 % C ----- 0,03 % C ==> Hierro Dulce

0,03 % C ----- 1,76 % C ==> Aceros { 0,03 % C ----- 0,89 % C ==> Acero Hipoeutectoide
0,89 % C ----- 1,76 % C ==> Acero Hipereutectoide

1,76 % C ----- 6,67 % C ==> Fundiciones { 1,76 % C ----- 4,36 % C ==> Fundición HIPOEUTECTICA
4,36 % C =====> Fundición EUTECTICA
4,36 % C ----- 6,67 % C ==> Fundición HIPEREUTECTICA

La fundición Eutéctica se caracteriza por que funde a más baja temperatura y pasa directamente de sólido a líquido.

6 - Constitución de las aleaciones de hierro - carbono: (unión de elementos químicos)

Las aleaciones como vimos anteriormente, están formadas por constituyentes cuya naturaleza varía según las proporciones de la aleación y la temperatura.

FERRITA: (Fe_α) Solución sólida de Carbono con Fe_α , con resistencia a la tracción de 28 Kp/mm^2 y alargamiento del 35 al 40 %. Dureza de 90 HBS. Es magnética, de color blanco y es el constituyente más blando de todos los aceros. (**D90, A40, R28**)

CEMENTITA: Es Carburo de Hierro (C Fe_3); es el constituyente más duro y frágil de los aceros. Es la base de todas las fundiciones. NO tiene alargamiento, resistencia a la tracción de 3 Kp/mm^2 , dureza de 700 HBS y magnética hasta los 210°C . (**D700, A0, R3**)

AUSTENITA: Es el constituyente más denso de los aceros; esta formado por una solución sólida en Fe_{γ} . Es estable a partir de 723°C y el máximo de C que puede absorber es en el "punto E". La estructura es blanca. u dureza es de unos 200 HBS, su alargamiento de 15%, y su resistencia a la tracción de 28 Kp/mm^2 . Los materiales austeníticos son estables a T° ambiente (estructura austenítica); son aceros aleados al Cr-Ni. No son magnéticos. (**D200, A15, R28**)

MARTENSITA: Es el constituyente más duro después de la cementita. Es un solución sólida sobresaturada de C en Fe_α . Se obtiene enfriando rápidamente en la zona Austenítica. Cristaliza en red tetragonal. Se ve en forma de agujeros negros. Su dureza es de 50-68 HRC; su alargamiento es menor del 2% y resistencia a la tracción de 200 Kp/mm^2 . Es magnética. (**50-68 HRC, A<2%, R200**)

7 - Estructura de las aleaciones de hierro - carbono:

Distinguimos tres tipos de estructuras:

- 1 - Estructura cristalina en la aleaciones Fe-C: No es uniforme, varía según los constituyentes y estos a su vez según la composición y T^a .
- 2 - Estructura Micrográfica: El elemento fundamental es el grano, de gran importancia en los aceros. El grano aumenta con el aumento de la T^a . Las propiedades de los aceros son en general peores cuanto mayor es el tamaño del grano, excepto la maquinabilidad.
- 3 - Estructura Macrográfica: Formada por la fibra, depende de las impurezas que contenga el acero y de la forja a que fue sometido.

8 - Inclusiones metálicas:

Además de los constituyentes, hay otros elementos que pueden encontrarse en forma de :

- Carburos
- Disueltos en la ferrita
- Emulsionados

9 - Impurezas:

Cuando las concentraciones de carbono son inferiores al 6,67% el carbono cristaliza como Carburo de Hierro (C Fe_3); y si son superiores al 6,67% cristaliza como gráfita.

CAPITULO 26: Aleaciones Hierro-Carbono.

2. Diagramas de Equilibrio y de transformaciones

1 - Generalidades:

Una vez conocidos los constituyentes vamos a determinar las proporciones según la t^a a la que se encuentren. Para esto, lo más claro y sencillo es el trazado y estudio del diagrama de equilibrio de las aleaciones Fe-C.

2 - Diagrama de equilibrio de las aleaciones Fe-C.

En abscisas tenemos el % de carbono (%C), y en ordenadas la temperatura (T^a). En el diagrama encontramos diferentes puntos y líneas:

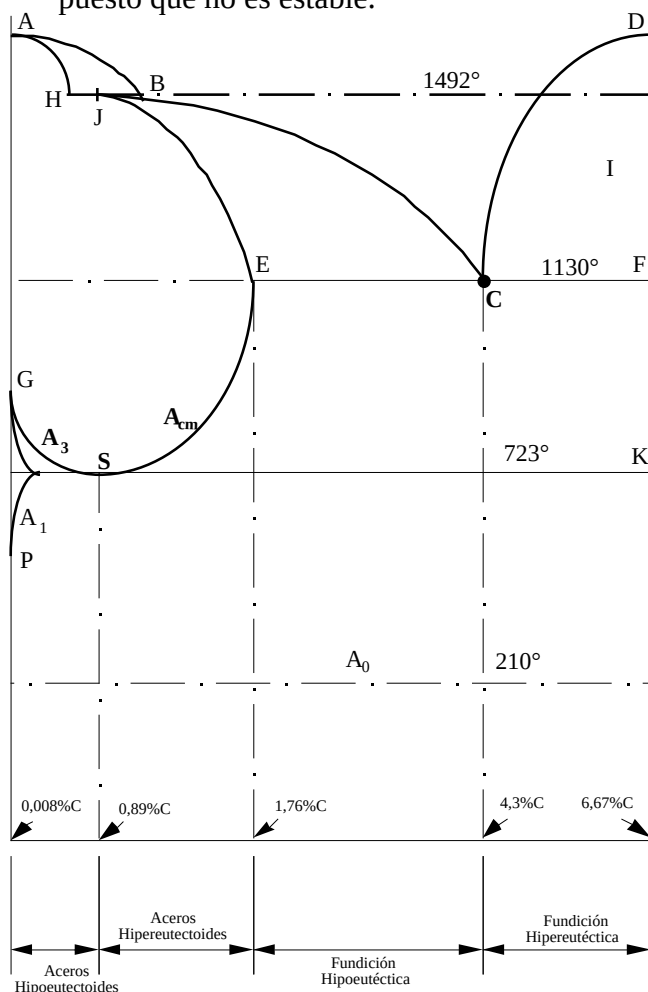
Curva ABCD: Línea del líquido. De ahí hacia arriba es todo líquido.

Curva AHJECF: Línea del sólido, de ahí hacia abajo es todo sólido.

Entre estas dos curvas esta la fase sólido-líquido.

Línea G-S: Denominada A_3 . A partir de esta línea hacia arriba no es estable la *ferrita*.

Línea S-E: Denominada A_{cm} . A partir de esta línea hacia abajo hay *cementita* y hacia arriba no la hay puesto que no es estable.



Línea P-K: (723°C) Es la primera línea de T^a crítica. A partir de esta línea hacia abajo hay *perlita* y hacia arriba no la hay puesto que no es estable.

Línea A₀: (210°C) Es la línea del cambio magnético de la *cementita*. A partir de esta línea hacia abajo es *magnética*. De ahí arriba deja de ser magnética. (Dejan de funcionar los motores eléctricos, transformadores,...)

Punto C: (1130°C) Denominado *PUNTO EUTECTICO*; es la T^a más baja a la que funde una aleación Fe-C (4,3%C). También se puede definir como el punto en que se pasa directamente de sólido a líquido.

Punto E: (723°C y 0,89%C) *PUNTO EUTECTOIDE*; es el punto más bajo en el que es estable la *austenita*. También se puede definir como el punto en el que se pasa de un constituyente a otro.

Punto J: (1492°C y 0,18%C) *PTO. PERITECTICO*; es el punto donde es estable la *austenita* a mayor T^a .

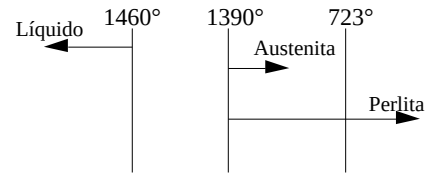
Punto H: (1492°C y 0,08%C) Máximo porcentaje que puede contener en solución sólida el Fe_d .

Punto P: (723°C y 0,025%C) Máximo porcentaje de *carbono* que puede disolver la *ferrita*; máximo de solubilidad que puede tener el Fe_a .

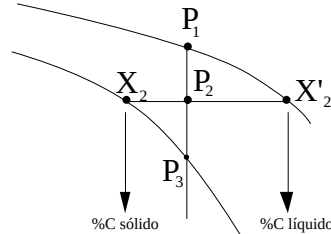
3 - Procesos de solidificación de algunas aleaciones Fe-C.

3.1 - 0,89 % C: Acero Eutectoide.

- 1 - Trazamos vertical por 0,89 % C:
 - Punto de corte a la curva de líquido en 1460° C
 - Punto de corte a la curva de sólido en 1390° C



- 2 - Determinar %: Regla de la Palanca.



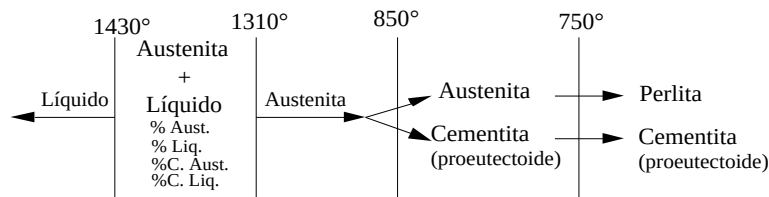
$$P_2 \left\{ \begin{array}{l} \% \text{ AUSTENITA (sólido)} = \frac{P_2 X'_2}{X_2 X'_2} \times 100\% \\ \% \text{ Líquido} = \frac{P_2 X_2}{X_2 X'_2} \times 100\% \end{array} \right.$$

- 3 - Estamos en los 1390° C, hasta 723° C; tenemos Austenita.
- 4 - Siempre que la Austenita tenga 0,89% C al llegar a los 723° C se transforma en Perlita. Se mantiene como Perlita hasta la Tª ambiente.
- 5 - Estamos ahora a Tª ambiente, determinaremos el %C de Ferrita y Cementita que componen la Perlita.

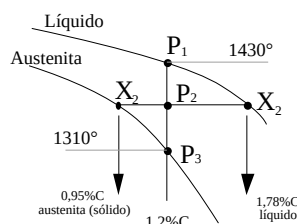


$$\begin{aligned} \% \text{ Ferrita} &= \frac{6,67 - 0,89}{6,67 - 0} 100 = 86,5\% \\ \% \text{ Cementita} &= \frac{0,89 - 0}{6,67 - 0} 100 = 13,5\% \end{aligned}$$

3.2 - 1,2 % C: Acero Hipereutectoide.

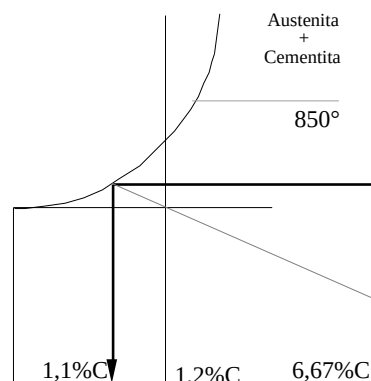


Ejemplo: A Tª = 1350° C tenemos Austenita y líquido. Determinar %Austenita, %Líquido, %C. Austenita, y %C. Líquido.



$$\begin{aligned} \% \text{ C Austenita} &= X_2 = 0,95\% \text{ C} \\ \% \text{ C Líquido} &= X'_2 = 1,78\% \text{ C} \\ \% \text{ Austenita} &= \frac{1,78 - 1,2}{1,78 - 0,95} 100 = 69,88\% \\ \% \text{ Líquido} &= \frac{1,2 - 0,95}{1,78 - 0,95} 100 = 30,12\% \\ 0,89\% \text{ Austenita} &= \text{Perlita} \end{aligned}$$

Tenemos Austenita hasta 850°C. Ejemplo: Calcular la resistencia y el alargamiento de este material:



A Tª=850° C tenemos:

$$\begin{aligned} \% \text{ C Austenita} &= 1,1\% \text{ C} \\ \% \text{ C Cementita} &= 6,67\% \text{ C} \\ \% \text{ Austenita} &= \frac{6,67 - 1,2}{6,67 - 1,1} 100 = 98,20\% \\ \% \text{ Cementita} &= \frac{1,2 - 1,1}{6,67 - 1,1} 100 = 1,80\% \end{aligned}$$

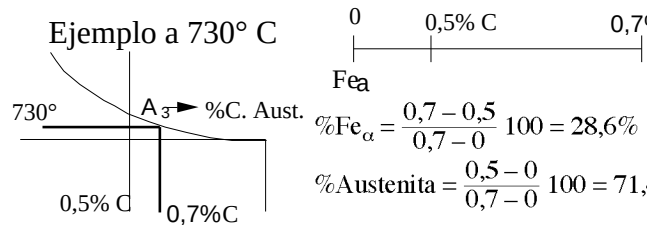
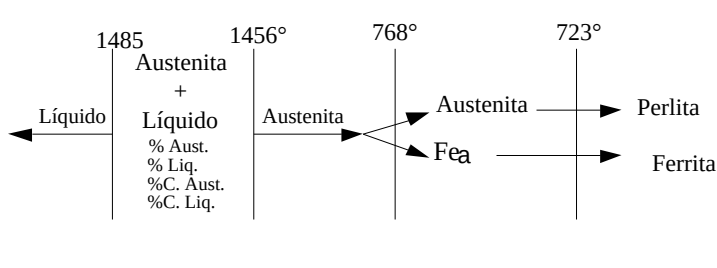
Resistencia (R_A) del material a cierta Tª=A

$$R_A = \frac{R_x \%x + R_y \%y + \dots}{100}$$

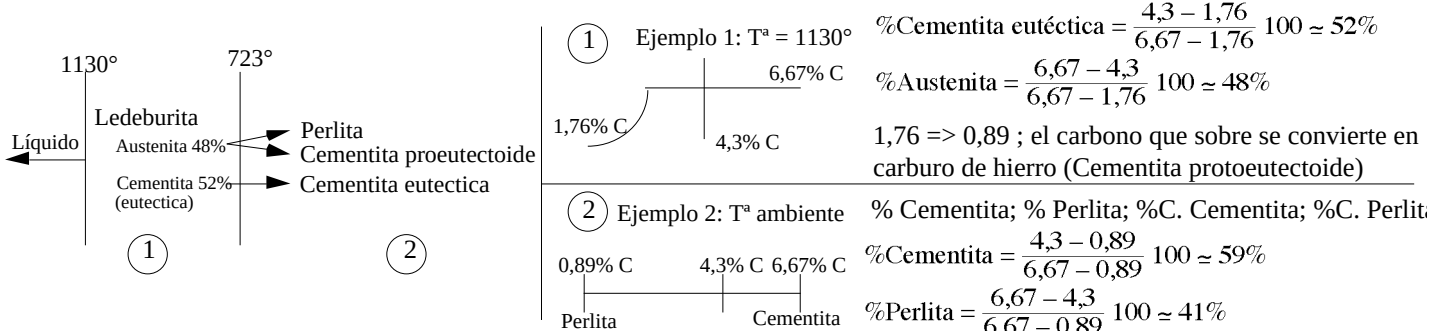
Alargamiento (A_A) del material a cierta Tª=A

$$A_A = \frac{A_x \%x + A_y \%y + \dots}{100}$$

3.3 - 0,5 % C: Acero Hipoeutectoide.



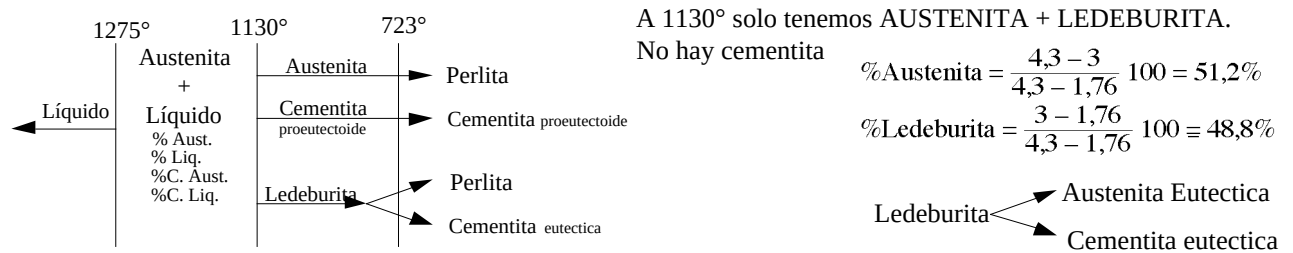
3.4 - 4,3 % C: Fundición Eutética.



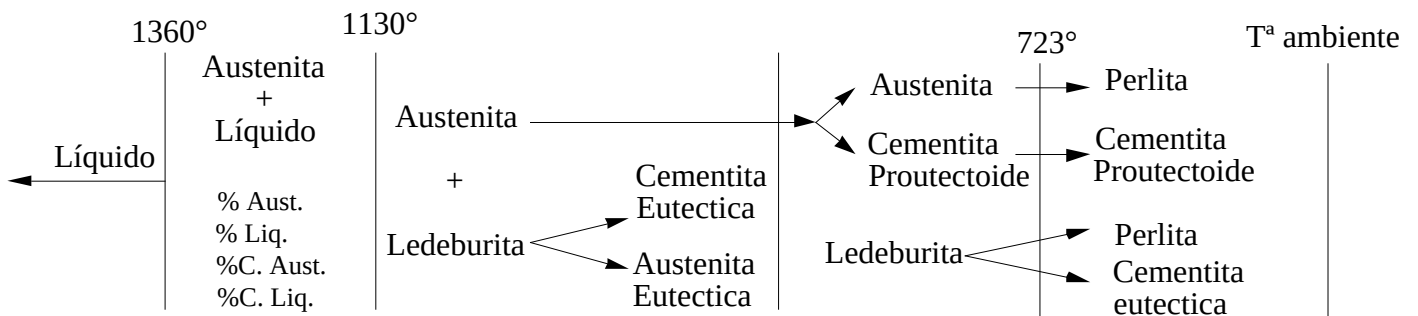
Ahora a T^a ambiente sabemos que tenemos un %Cementita = 59%; por lo que nos queda:

$$\text{Cem. TOTAL} = \text{Cem. proeutectoide} + \text{Cem. eutética}; \text{Cem. proeutectoide} = 7\% \text{ Cem. TOTAL}$$

3.5 - 3 % C: Fundición Hipoeutética.



3.6 - 2 % C: Fundición.



$$\text{A } T^a \text{ ambiente tenemos } \text{Cem. TOTAL} = \text{Cem. proeutectoide} + \text{Cem. proeutectica} + \text{Cem. eutética}.$$

4 - Histéresis de los puntos críticos. (Puntos donde cambia la estructura cristalina)

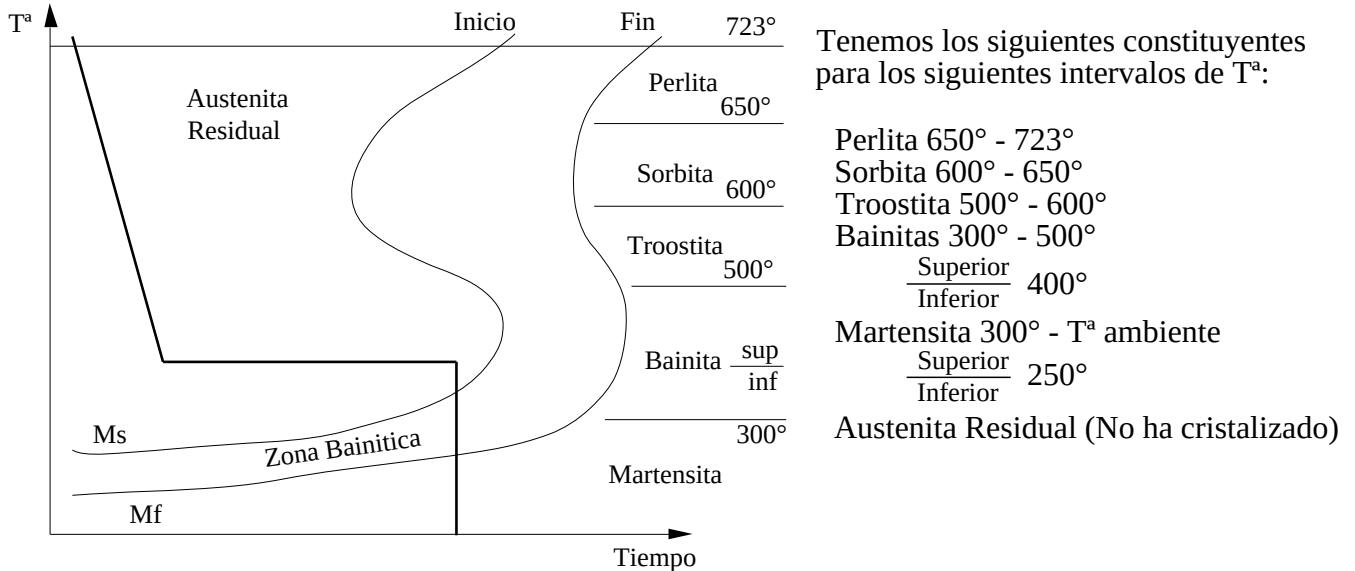
Variación de las T^a críticas por el cambio de velocidad del enfriamiento y calentamiento; $A_c > A > A_r$; las diferencias son mayores cuanto mayores son las velocidades de calentamiento o enfriamiento.

5- Diagramas de transformaciones isotérmicas de la Austenita.

Diagrama de enfriamiento rápido. Diagrama TTT. Diagrama de las curvas en S.

Estudia la transformación de la Austenita a T^a constante. En el eje de ordenadas llevamos las temperaturas de transformación y en el eje de abscisas los tiempos de duración de la transformación.

Las curvas son los puntos de inicio y final de la transformación de la Austenita. Después de las curvas encontramos los constituyentes para unas determinadas temperaturas tiempos donde comienza y finaliza la transformación de la Austenita.



Este diagrama se usa para dar baños con las características deseadas y para usarlo en los enfriamientos.

6- Líneas de transformación de la Austenita en Martensita.

Se ha comprobado que la T^a a que comienza la transformación de la Austenita en Martensita no depende de la velocidad de enfriamiento, sino únicamente de la composición del acero. Esta T^a puede calcularse con bastante aproximación con la siguiente fórmula:

$$Ms = 500 - 350 \cdot (\%C) - 40 \cdot (\%Mn) - 35 \cdot (\%V) - 20 \cdot (\%Cr) - 17 \cdot (\%Ni) - 10 \cdot (\%Cu) - 10 \cdot (\%Mo) - 5 \cdot (\%W) + 15 \cdot (\%Co) + 30 \cdot (\%Al)$$

Las T^a a que termina la transformación de la Austenita a Martensita también son constantes para cada tipo de acero, y suelen ser unos 250°C más bajas que las T^a de inicialización.

El diagrama se completa con una línea horizontal A_{e1} , que marca el límite de estabilidad de la austenita. Es decir, a T^a superiores a la indicada por esta línea, la austenita permanece estable indefinidamente.

7- Productos de Transformación de la Austenita.

... además, la estructura de los constituyentes varía también según la temperatura.

8- Tipos de Diagramas TTT (Tiempo Temperatura Transformación) Pag 351

Los elementos aleantes generalmente desplazan las curvas hacia la derecha.

CAPITULO 27: Tratamiento de los Aceros

1. Normalizado y Recocido:

1 - Generalidades.

- Los tratamientos térmicos se efectúan para mejorar las características de un determinado material y obtener así el máximo rendimiento. Tenemos los siguientes tratamientos:

a) Sin cambio de composición. Los componentes son los mismos.

ΣRecocido. Ablandar el material para luego trabajarlo.

ΣTemple. Aumentar la dureza y resistencia mecánica.

ΣRevenido. Eliminar aspectos negativos del temple.

ΣNormalizado. Dar las características del principio al material.

b) Con cambio de composición. Cambio de componentes generalmente en la superficie.

ΣNitruración.

ΣCarbonitración.

ΣCianuración.

ΣCementación.

ΣSulfunización.

- Normalizado.

- Consistente en calentar el acero a una temperatura 40° ó 50° superior a la temperatura crítica (A_{c_3}) y una vez pasado todo el material al estado austenístico, se deja enfriar al aire.
- El objeto del normalizado es volver el acero al estado que se supone normal después de los tratamientos defectuosos, se consigue así afinar su estructura y eliminar tensiones internas.
- Se emplea generalmente para aceros al carbono de baja aleación. El resultado de este tratamiento depende del espesor de la pieza.

- Recocidos.

- El objetivo que se intenta alcanzar es ablandar el material para poder trabajarlo mejor. Hay diversos tipos de recocidos que se diferencian en la temperatura máxima a que debe calentarse el acero y en las condiciones y velocidades de enfriamiento.

- Recocidos de regeneración. (Austenización completa)

- Se calienta el acero a temperaturas ligeramente superiores a las críticas (A_{c_3}) ó (A_{cm}), para transformar todo el material en Austenita y enfriando luego muy lentamente a una temperatura inferior a A_{r_1} ($\pm 500^\circ$), a partir de esta temperatura puede continuarse el enfriamiento en el aire.

- Recocidos globular de Austenización completa.

- Consiste este tratamiento en un calentamiento del acero a temperaturas comprendidas entre $A_{c_{321}}$ y A_{cm} , para conseguir solo la transformación de la ferrita en Austenita (la cementita no se transforma) se hace luego un enfriamiento lento en el horno a una temperatura inferior a A_{r_1} ($\pm 500^\circ$). A partir de esta temperatura puede continuarse enfriando el acero al aire.
- Se realiza en aceros al carbono de 0,89% - 1,76% de carbono, generalmente aceros aleados de herramientas.

- Recocidos globular subcrítico.

- Consiste en calentar el acero a una temperatura inferior y muy próxima a la crítica inferior A_{c1} y enfriando después muy lentamente hasta 500° y después al aire.
- Se consigue cementita de estructura globular más perfecta.

- Recocidos de ablandamiento subcrítico. (recocido de ablandamiento).

- Consiste en calentar a una temperatura algo inferior a la crítica y dejando luego enfriar al aire. Se emplea en aceros después de la forja ó laminación, generalmente en aceros aleados de gran resistencia. Las temperaturas más apropiadas oscilan entre 700° y 725° .

- Recocidos contra acritud.

- Se realiza para mejorar la ductilidad y maleabilidad del acero y poder someterlo a nuevos estirados ó laminados. Consiste en un calentamiento a temperatura de 600° - 700° seguido de un enfriamiento al aire. Genralmente acero al 0,30% de carbono.

- Recocidos de estabilización.

- Tienen por objeto eliminar las tensiones internas que quedan frecuentemente en las piezas. Se realiza calentando el material de 100° a 200° durante un tiempo muy prolongando, de 100 horas o más.

- Recocidos Isotérmico.

- Consiste en calentar a temperaturas superior a A_{c1} para después enfriarlo lentamente hasta una temperatura ligeramente inferior a A_n , manteniendo el acero a esta temperatura hasta que se verifica la transformación de Austenita en perlita.
- Después se enfria al aire. Este tratamiento se emplea mucho para el recocido de herramientas de alta aleación.

CAPITULO 28: Tratamiento de los Aceros

2. Temple:

1 - Generalidades.

Definición: Tratamiento térmico sin cambio de composición, tiene como finalidad aumentar la dureza, la resistencia mecánica y el límite elástico. Por lo tanto disminuyen la estricción y el alargamiento, y generalmente desaparece el periodo plástico.

- Consiste en un calentamiento a temperatura elevada para transformar toda la masa en Austenita, seguido de un enfriamiento rápido para transformar la Austenita en Martensita.

2 - Primera fase del temple: el calentamiento.

- Esta definido por tres variables: velocidad de elevación de temperatura, permanencia a la temperatura límite.

- Tenemos:

Acero al carbono.--> Por cada milímetro de espesor tardamos 1 minuto en subir la T^a .

Acero rápido .-----> Por cada milímetro de espesor tardamos 2 minuto en subir la T^a .

Si estan bruñidos:

Acero al carbono.--> 1 mm -- 2'

Acero rápido .-----> 1 mm -- 4'

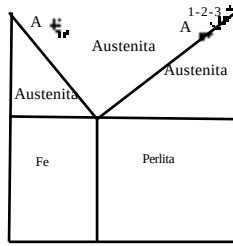
Estos datos son los mínimos, podemos mantenerlos más tiempo, pero nunca menos.

Temperatura Límite de Temple: Temperatura mínima que debe alcanzar un acero de una composición determinada, para que toda su masa pueda transformarse en cristales de Austenita.

Nos basamos en el diagrama Fe-C. En la Práctica se usa:

$$T_T = A_3 + 50^\circ \quad \text{Aceros Hipoeutectoides}$$

* Inconvenientes de sobrepasar T_T :



- A medida que aumenta la temperatura aumenta el tamaño del grano por lo que empeoran las características mecánicas.
- Al pasar de los 1000°C las impurezas que hay se colocan alrededor del grano y suelen vitrificarse, el grano está separado. Es más frágil. Se denomina Acero Sobrecalentado.
- Si se hace por encima de 1200°C , las impurezas rodean totalmente el grano. Se denomina Acero Quemado.

En aceros hipereutectoides en la práctica tenemos que: $T_T = A_{1-2-3} + 50^\circ$

Entre 0.89% y 1.76% debemos tener cuidado con los temple

Tiempo de permanencia a T_T :

Tipo de Calentamiento	Tipo de Enfriamiento
1 mm - 1'	1 mm - 2'
1 mm - 2'	1 mm - 1'
Acero Bruñido	
1 mm - 2' }	1 mm - 1'
1 mm - 4' }	

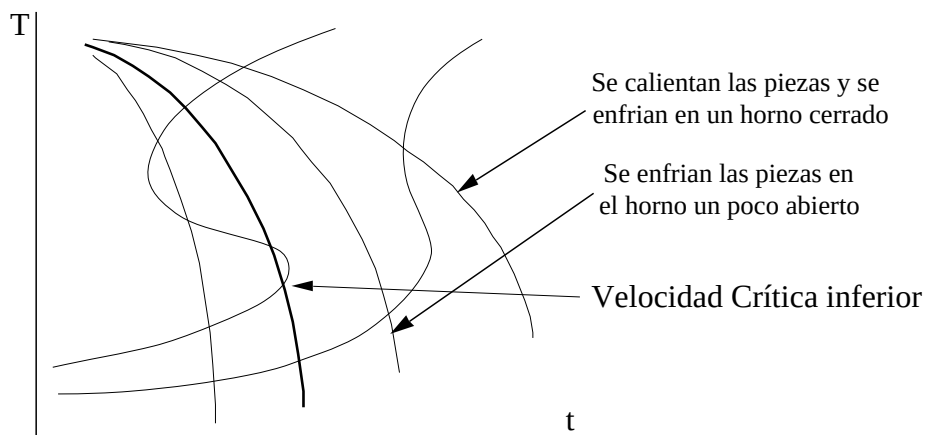
3 - Segunda fase del temple: el enfriamiento.

- Tiene por objeto, transformar la totalidad de la Austenita formada en Martensita, aunque en alguna variedad del temple el constituyente final deseado es la Bainita.
- El factor que caracteriza a la fase de enfriamiento es la velocidad crítica de temple.
- Velocidad crítica inferior: velocidad en que parte de la curva corta en la zona Martensita.

4 - Velocidad Crítica del Temple.

- Definición: Menor velocidad que debe tener un acero de una composición determinada para que se transforme la Austenita en Martensita.
- En aceros al carbono varía de 200° y 600°C por minuto.
- A mayor tiempo le corresponde un mayor tiempo de penetración del temple. A menor velocidad, tendremos menos tensiones, mayor dureza y mejores características mecánicas.
- Los elementos de aleación hacen en general, disminuir la velocidad crítica del temple, pudiendo algunos aceros aleados templarse al aire.

5 - Representación del temple en los diagramas TTT.



6 - Factores que influyen en el temple.

- Tamaño de las piezas.
- Composición.
- Tamaño del grano.
- Temperatura y medio de enfriamiento.

7 - Influencia del tamaño de las piezas.

- La Temperatura Límite de Temple (T_T) no cambia, solo cambia el tiempo. NO influye en el calentamiento más que en la duración del proceso. SI influye notablemente en el enfriamiento, en el interior el enfriamiento es más lento que en la periferia, el temple exige un enfriamiento rápido, y por lo tanto puede quedar parte de la pieza (del interior) sin templar.
- Cuando el radio de la pieza sea aproximadamente igual a la profundidad de temple, la totalidad de la masa del acero quedará templada.
- También se puede diferenciar la parte templada de la que no se temple gracias al tamaño del grano.

Zona SI Templada ==> Grano Fino

Zona NO Templada ==> Grano Grueso

- Se puede comprobar también con Ácido Nítrico rebajado. Se colorea la zona templada.

8 - Influencia de la composición del acero.

Aceros al Carbono: Si aumenta la proporción de carbono, disminuye la Temperatura Límite de Temple (T_T). Las curvas se desplazan hacia la derecha.

- Esto se ve en aceros de 0.1% - 2% C, no se templan debido a que las dos curvas (SS) de la gráfica coinciden casi con el eje de ordenadas. A partir de 0.2% C pueden templarse, por lo que tenemos menores tensiones, mayor dureza, mayor penetración, mejoran las características mecánicas.
- Si baja el tanto por cien de carbono la Temperatura Límite de Temple (T_T) sube, es el caso contrario.

Aceros aleados: Hay elementos aleantes que hacen que se desplace la curva A_3 del diagrama Fe-C hacia la derecha (sube T_T) o izquierda (baja T_T).

- Debemos hacer un nuevo diagrama Fe-C calculando la nueva temperatura crítica (N_{tc}) y el nuevo punto eutectoide (N_{enc}) teniendo que:

$$N_{tc} = T_c + (\%Componentes \times Desplazamiento) \quad \text{donde } T_c = 723$$

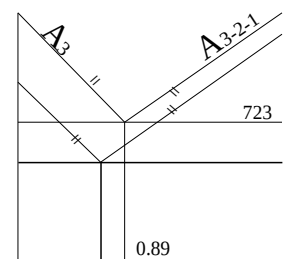
$$N_{euc} = euc + (\%Componentes \times Desplazamiento) \quad \text{donde } euc = 0.89$$

- Procedimiento:

1) Colocamos N_{tc} y N_{enc} en el diagrama.

2) Trazamos paralelas a A_3 y A_{3-2-1} .

- El Molibdeno y Manganeso desplazan considerablemente la curva a la derecha.
- Además, los elementos aleantes aminoran la velocidad crítica, lo que nos dará una mayor profundidad de temple.



9 - Influencia del tamaño del grano.

- Si el tamaño del grano aumenta, las curvas SS se desplazan a la derecha, por lo que la velocidad crítica de temple baja, y bajan las tensiones. Si embargo aumentan la zona de penetración del temple.

10 - Influencia del medio ambiente.

- Las propiedades de los líquidos que más influyen en el enfriamiento de los aceros son.

T^a inicial

T^a de ebullición

Calor de vaporización.

Grado de agitación.

Conductividad calorífica

Masa del baño

VISCOSIDAD.

- VISCOSIDAD, generalmente de 2 a 9. Al irse calentando más los aceites van aumentando su viscosidad. Con el uso van perdiendo sus características y hay que renovarlos o reciclarlos.

11 - Elección del medio de enfriamiento más adecuado.

- El medio de enfriamiento más adecuado es el que consiga una velocidad de temple ligeramente superior a la crítica. La velocidad de enfriamiento no debe ser excesivamente grande, pues podría producir grieta y tensiones internas muy grandes.

- Los medios de enfriamiento más empleados son:

AGUA: Aceros al Carbono de más de 10 mm, o baja aleación.

ACEITE: Aceros al Carbono de menos de 10 mm, o alta aleación.

PLOMO: Muelles, alambres, herramientas de aceros especiales.

MERCURIO: Instrumentos de cirugía, piezas delicadas. Tiene un elevado precio.

SALES FUNDIDAS: En casi todos los casos, y se usan para otros tratamientos.

12 - Deformaciones producidas por el temple.

- Cambios de volumen, producen tensiones internas debidas a la contracción del material en el enfriamiento y cambio de constitución de Austenita en Martensita.

13 - Defectos y accidentes en el temple.

- Dureza insuficiente.
- Fragilidad Excesiva.
- Deformaciones.
- Grietas y Roturas.

CAPITULO 29: Tratamiento de los Aceros

III. Templabilidad:

1 - Generalidades.

- **Templabilidad:** Aptitud de los aceros para dejarse penetrar por el temple. Solo se refiere a las cualidades del acero que facilitan la penetración del temple. A consecuencia de esta facilidad se obtienen mejoras en otras características.

2 - Factores que influyen en la Templabilidad.

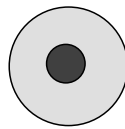
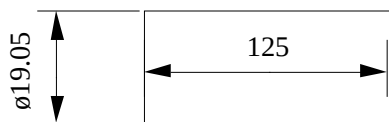
- Elementos aleados: Todos aquellos que se desplacen la curva de las SS a la derecha (hay menor velocidad crítica ==> mayor penetración). Son elementos tales como Mn, Cr, Ni y Mo.
- Tamaño del grano: Al aumentar el tamaño del grano las curvas se desplazan a la derecha se desplacen la curva de las SS a la derecha (hay menor velocidad crítica ==> mayor penetración).

3 - Medidas de la Templabilidad.

- Fracturas, Curvas en U, Diámetro Crítico Ideal, Ensayo de Jominy.

4 - Determinación de la templabilidad por el examen de las fracturas.

- Se realiza sobre probetas de $\varnothing 19.05 \times 125$ mm. Se templan enfriando en agua.
- Se fracturan por el método del péndulo de Charpy. En la rotura observamos 2 zonas, se atacan con ácido nítrico.



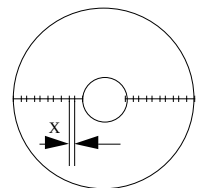
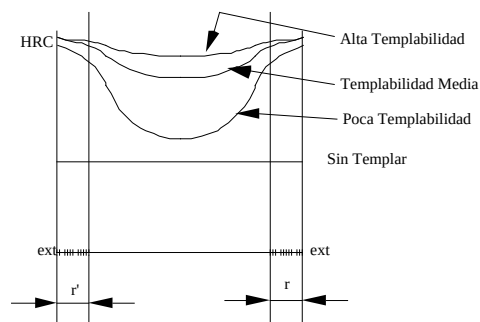
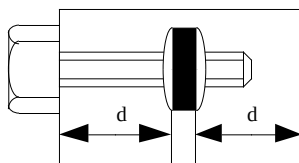
La parte templada es menos atacada.

La parte central (sin templan) se oscurece.

Este ensayo es el más utilizado en la industria.

5 - Determinación de la templabilidad por las curvas en U.

- Realizamos 2 piezas del último material en donde realizamos 2 concavidades, en una de ellas realizamos un agujero ciego y en la otra un agujero pasante. Hallamos T_T , lo mantendremos como mínimo 30 minutos a esa temperatura. Realizamos un enfriamiento rápido en agua. Una vez templado lo desarmamos y medimos la dureza del disco (HRC) y en abscisas la distancia al centro. Levamos las medidas de dureza (cada 1.5 mm) a la gráfica y obtenemos una curva de dureza denominada Curva en U.



6 - Diámetro crítico ideal.

- Def. Mayor diámetro que podemos tener en una pieza de acero con elementos aleados y tamaño de grano dados para que después de templarla en un medio de enfriamiento infinito en el centro de la pieza halla más del 50% de Martensita.
- En las curvas en U el 50% de Martensita está en los puntos de inflexión. El Diámetro Crítico Práctico (D_{cp}) es $r+r'$; en este caso para enfriamiento en agua.
- Medio de enfriamiento infinito: Def: Aquel en el que al introducir la pieza se considera enfriada totalmente. Es una Utopía.
- Severidad del Temple (H): Def: Valor dado en pulgadas, proporcional a la energía de enfriamiento de cada medio. Para que el enfriamiento sea más rápido, el coeficiente de Grossman debe ser lo más alto posible.

7 -Aplicaciones del diámetro crítico ideal.

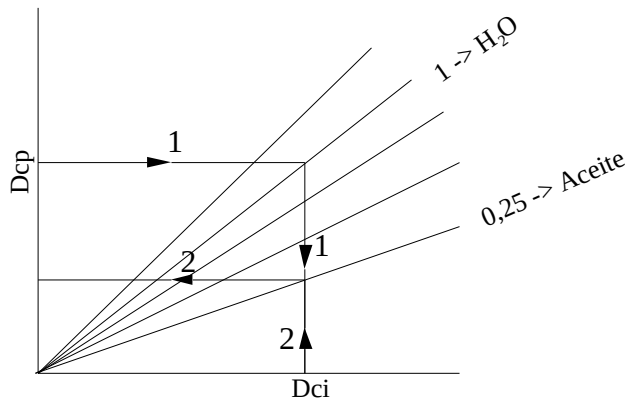
8 - Determinación práctica del diámetro crítico ideal.

- Diámetro Crítico Práctico: Diámetro templado con más del 50% de Martensita que podemos obtener con elementos aleados y tamaño de grano que podemos obtener en un medio de enfriamiento dado. A partir de graficas Dcp contra Dci podemos obtener el Dci a partir del Dcp y de la severidad del medio.

Ejemplos:

(En los graficos de la pagina 391 del libro)

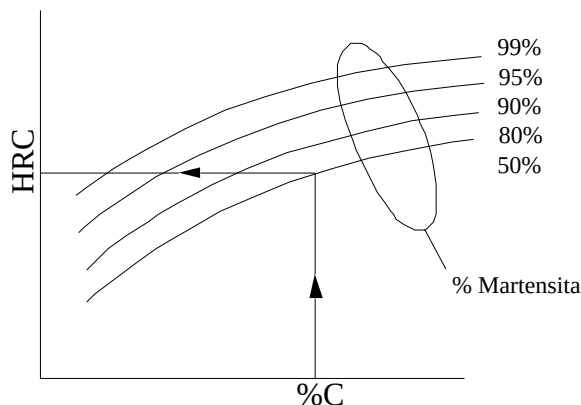
Ej: Realizamos un enfriamiento en agua con $D_{cp} H_2O = r+r'$. Calcular el Dci.



Ayudandonos de las graficas de la página 391 del libro, primero obtenemos el Dci para el enfriamiento que hemos tenido.

A posteriori podremos calcular el Dcp para cualquier tipo de severidad de enfriamiento que nos den

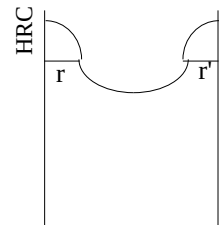
Ej: Calcular el Dcp en aceros con x% de Martensita. (Fig 10, pag 390)



Datos: %C y %Martensita

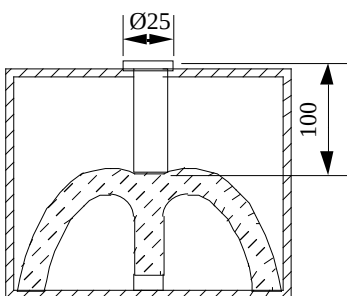
1.- Calculamos HRC entrando con el %C hasta %Martensita.

2.- En la curva en U hallamos el $D_{cp}=r+r'$

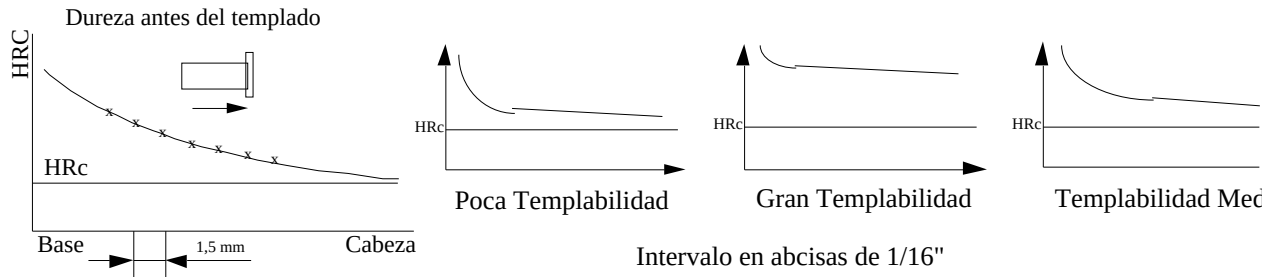


9 -Ensayo de Jominy.

- Consiste en templar una probeta de $\varnothing 25 \times 100$ mm. Nos sirve para poder determinar el Dcp y el Dci y la templabilidad de un material.

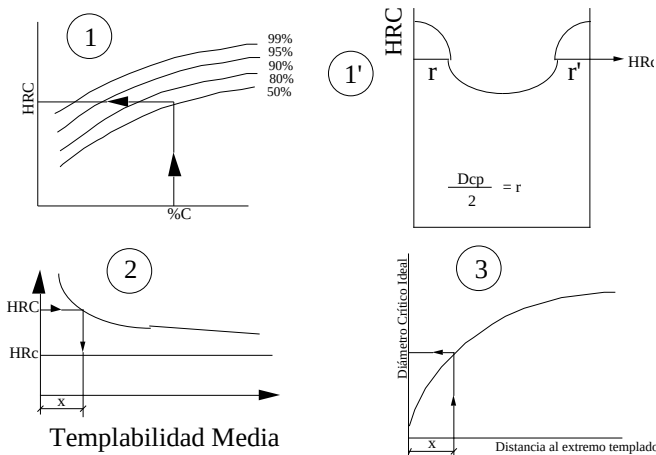


- 1.- Determinaremos si es un Acero al Carbono o un Acero Aleado. Usaremos el diagrama Hierro Carbono, o haremos un nuevo diagrama si es aleado.
- 2.- Determinaremos T_T . Lo tendremos 25 minutos para calentar y 50 minutos para mantenerlo.
- 3.- Procedemos al enfriamiento con el aparato especial (ver figura), donde realizaremos un enfriamiento de abajo a hacia arriba; hay un caudal idoneo, que es el que cuando el chorro llega a tocar en la pared de la parte inferior del recipiente.
- 4.- Trazamos la curva Jominy donde observamos a primera vista la poca o gran templabilidad por la inclinacion de esta curva.



Cálculo del Dcp y Dci:

Ej: Cual es el Dci al 50% de Martensita si se temple en Agua y en cualquier otro medio.



1.- Vamos a la fig. 10, pag 390 y con %C hallamos HRC.

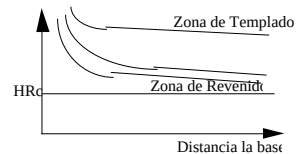
1'.- Dado el Dcp con la curva en U sacamos HRC también.

2.- Con HRC vamos a la curva de Jominy y hallamos la distancia al extremo templado X.

3.- Vamos a la fig. 18, pag 396 y hallamos el diámetro crítico ideal para X (distancia al extremo templado).

10 -Curvas de Jominy para aceros revenidos.

- Se pueden completar las curvas de Jominy de los aceros templados con la curva de los aceros revenidos a distintas temperaturas.
- Para ello determinamos primero la curva de Jominy, para el acero templado, después llevamos la misma probeta al horno y la calentamos a 360°, la sacamos y la enfriamos en el aire. Realizamos un diagrama semejante al anterior, lo volvemos a calentar en el horno a distintas temperaturas y obtenemos nuevas líneas.



11 -Determinación de las durezas en el interior de redondos de acero templado y revenido, por medio de las curvas de Jominy.

12 -Determinación del diámetro drítico por medio del ensayo de Jominy.

13 -Bandas de templabilidad.

- Son curvas que plasman la máxima y mínima templabilidad, entre las cuales deben estar situadas las curvas de Jominy.

CAPITULO 30: Tratamiento de los Aceros

IV. Clases de Temple:

1 - Generalidades.

- Tenemos los siguientes 8 tipos de temple:

* Temples Normales: Austenización Completa
Austenización Incompleta.

* Temples Interrumpidos: Agua y Aire
Aceite y Aire
Agua y Aceite

* Temples Isotérmicos: Austempering
Martempering
Maquenching
Sub-Cero

* Temples Superficiales: Oxidación
Inducción
Plasma
Fricción

2 - Temple Normal de Austenización Completa. (Austenita --> Martensita)

- Se aplica generalmente a los aceros hipoeutectoides ($< 0.89\% \text{ C}$), y a los aceros aleados con un tanto por ciento de carbono menor al que le corresponde al eutectoide. Nos basamos en el diagrama Fe-C o en el nuevo diagrama en el caso de acero aleado.
- Se calienta durante 20 minutos a T_T , se mantiene durante 40 minutos y después procedemos a enfriarlo en el medio de enfriamiento adecuado de tal manera que la velocidad de enfriamiento sea superior a la velocidad crítica. El constituyente final del acero es MARTENSITA, si el temple es perfecto.

3 - Temple Normal de Austenización Incompleta. (Perlita --> Austenita --> Martensita)

- Se aplica generalmente a los aceros hipereutectoides ($> 0.89\% \text{ C}$), basados en el diagrama Fe-C o en el nuevo diagrama en el caso de acero aleado, calentamos a T_T , mantenemos y enfriamos en H_2O o en aceite. Nos quedan finalmente como componentes MARTENSITA y CEMENTITA. En este tipo de temple es obligatorio realizar luego un revenido.

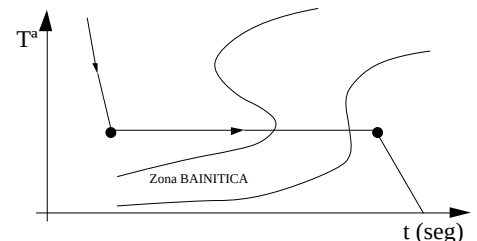
4 - Temple Interrumpido en agua y en aceite.

- Es un temple normal con la diferencia que en la primera se realiza un enfriamiento rápido en H_2O ($>$ velocidad crítica) y luego en aceite (cambio de Austenita a Martensita) Se consigue evitar formar tensiones, deformaciones y grietas.

5 - Temple Interrumpido en agua y aire. (Usado en el temple de limas)

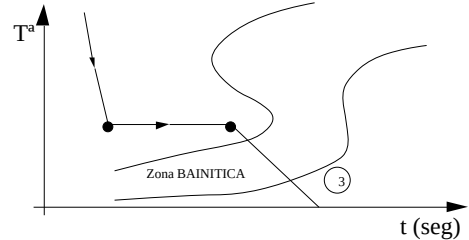
6 - Austempering.

- Tratamiento isotérmico en el que se transforma la Austenita en un constituyente Bainítico a t^a constante con la finalidad de eliminar las tensiones internas, grietas, deformaciones ... La dureza suele ser homogénea. Se realiza a piezas con dimensiones no uniformes, tenemos la ventaja económica de que no hacemos revenido posteriormente.
- Se suele realizar en aceros cuyas Curvas en SS tienen la entrada en la zona de Martensita bastante pronunciada. Se realiza en Aceros hipoeutectoides ($\approx 1,1\% \text{ C}$) La curva NO está muy rota, hay zona bainítica con la curva desplazada. El constituyente final es la BAINITA. NO hace falta revenido.
- Se realiza calentando a T_T , se prepara un baño de sales, realizamos un enfriamiento rápido hasta el baño de sales, la hemos mantenido en la zona Bainítica, el enfriamiento no ha sido brusco (T^a ambiente), luego no hay deformaciones, ni grietas ==> no hace falta el revenido.
- La cantidad de Austenita Residual prácticamente desaparece, las piezas tienen mayor tenacidad que en piezas revenidas. En piezas cementadas esta la descarbonización y grietas correspondientes. Se suele usar en la industria.



7 - Martempering.

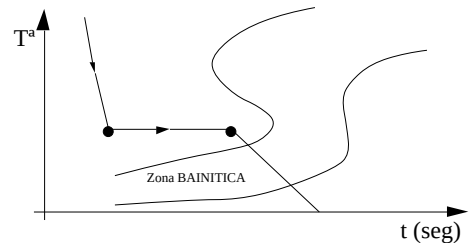
- Es otro tratamiento isotérmico. El constituyente final es la Martensita revenida. Se realiza siempre después del revenido. Se realiza en aceros hipoeutectoides (también ac. hipereutectoides pequeños $^a 1,1\% C$)
- Se realiza calentando a T_T , se prepara un baño de sales a T^a superior a la de la Martensita Superior; se enfría rápidamente en el baño de sales hasta que empieza la zona Bainítica, luego se enfría rápidamente en aceite (se puede realizar en aire), obtenemos finalmente Martensita Revenida con algo de Austenita Residual, se realiza a baja T^a (paso 3 de la figura) para evitar grandes deformaciones. Se usa en piezas con gran resistencia al desgaste.



* - Maqueching.

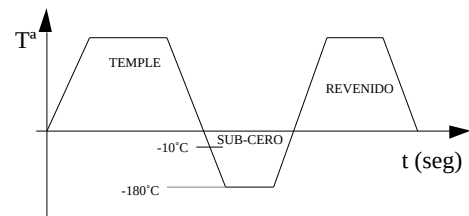
- Se realiza en piezas de gran importancia (automóviles y aviación). Es una mezcla del Austempering y del Martempering. Se realiza generalmente en aceros hipoeutectoides.
- El proceso consiste en un calentamiento a T_T , manteniendo y enfriando en sales en la zona bainítica y se permanece a esta T^a hasta la mitad de la curva, se realiza luego un enfriamiento rápido y un posterior revenido. Se obtienen los constituyentes finales:

BAINITA + MARTENSITA REVENIDO + AUSTENITA RESIDUAL.



* - SUB-CERO.

- Tratamiento térmico que se realiza después del temple para eliminar la Austenita Residual.
- Proceso Americano- Consiste en una vez realizado el temple, enfriar desde $-10^\circ C$ a $-180^\circ C$, con N_2 líquido, y se mantiene a esta T^a tres horas, se obliga a la Austenita Residual a transformarse completamente. Se vuelve a la T^a ambiente muy lentamente, desaparece la Austenita Residual y gran parte de las tensiones. Aún así para eliminar totalmente las tensiones se realiza un pequeño revenido.



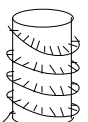
- Proceso Japonés: Es un sistema parecido, pero realizan Temple --> Revenido --> Sub-cero.

8 - Temple Oxidilénico.

- Consiste en templar solamente la zona superficial del acero calentándolo con una llama oxidilénica neutra y enfriando después a una velocidad superior a la crítica, generalmente en agua. Se realiza en aceros de 0.30 a 0.60 % de carbono. La profundidad del temple suele ser de 1 a 6 mm.

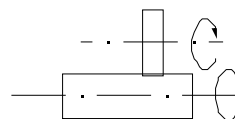
9 - Temple or Inducción.

- Mismo fundamento que el temple oxidilénico pero donde las piezas se calientan por generadores de alta frecuencia ($f=500.000 Hz$) Se enrollan dos ó tres bobinas huecas y por el efecto corona se transmite la energía a la pieza, luego se enfría rápidamente en agua a través de las bobinas huecas.



* - Temple por fricción.

Se obtiene por la fricción de dos piezas en contacto.

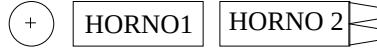


* - Temple por plasma.

- Se realiza con gas Argón ionizado, se pasa a través del electrodo de Wolframio, se proyecta el gas sobre la pieza y se eleva rápidamente la pieza a $1000^\circ C$.

*** - Temple “patenting” del alambre de muelles.**

- Se relealiza en el estirado de alambre. La finalidad es obtener gran elasticidad, se realiza en aceros de 0.30 a 0.85 %C. Primero se realiza un temple, se mantiene y luego se realiza un enfriamiento en sales por encima de la Martensita hasta que corta a las curvas SS, luego se somete el acero a trefilado cuando empieza a haber acritud se vuelve a realizar el proceso - recocido de regeneración. Al final se obtiene un alambre de gran elasticidad.



- Se tiende actualmente a realizar calentamiento eléctrico, pero las características son peores.

CAPITULO 31: Tratamiento de los Aceros

V. Revenido:

1 - Generalidades.

- Es un tratamiento complementario del temple, que generalmente es posterior a este. Antigüamente se denominaba *bonificación* al conjunto de los dos tratamientos.
- La finalidad del revenido es eliminar las tensiones internas, frente a una disminución de la resistencia mecánica, el límite elástico, la dureza y aumenta la tenacidad, la estricción y alargamiento.

2 - Modificación de la constitución de los aceros templados por revenido.

- *Primera Etapa:* de 100°C, a 200°C; disminuye el %C de la Martensita.
- *Segunda Etapa:* de 250°C, a 400°C; Austenita retenida --> Bainita.
- *Tercera Etapa:* de 250°C, a 600°C; disminuye el %C de la Martensita.
- *Cuarta Etapa:* >600°C en aceros de alta aleación; precipitan carburos complejos.
- En los aceros aleados aumenta la dureza debido a la formación de carburos. El revenido se realiza a T^{as} inferiores a A_1 , desde $^{\text{a}}$ 300 °C a 600 °C y el enfriamiento debe ser lento (al aire, en el horno).

3 - Factores que influyen en el revenido. (A continuación)

4 - Influencia del estado inicial de la pieza.

- Efecto nivelador del revenido: Con revenido la dureza prácticamente es homogénea. No hay diferencias bruscas de dureza. A mayor tamaño de la pieza, mayor es el efecto nivelador . A peor templabilidad, mayor efecto nivelador.
- * Aceros al %C. Martensita + Austenita Residual; el revenido depende de la cantidad de Austenita Residual que a su vez depende del %C. A mayor %C, mas Austenita Residual.
- * Aceros Aleados. %C
% elementos aleados. Tiene más aleantes que Aust. Residual --> mayor HB.
 T^{a} en el temple --> a mayor T_T --> mayor % Austenita Residual --> mayor HB

5 - Influencia de la Temperatura.

- A medida que aumenta la temperatura, disminuye HB. Se ha comprobado también que ha mayor temperatura disminuye el tiempo de permanencia.

6 - Influencia de la duración del calentamiento.

- Al aumentar la temperatura, disminuye HB. En general no interesa prolongar la duración del revenido más de una hora, pues no se obtienen beneficios apreciables que compensen el coste.
- T^{a} , HB (T,t) ----> $HB = T(20 + \text{Log}(t))$

7 - Influencia del tamaño de las piezas.

A mayor tamaño de la pieza mayor efecto nivelador.

8 - Doble Revenido.

- A los aceros rápidos e indeformables, con un % elevado de Cr, empleados para la construcción de herramientas, se acostumbra a dar 2 revenidos sucesivos después del temple.

9 - Importancia del Revenido.

10 - Colores del revenido

*** - Oxidación Negra de las piezas - PAVONADO-**

- Se realizan en hornos de atmósfera controlada. Se calienta hasta T_T , permanece constante, se enfría en baños de sales a 450°C-550°C, se enfría luego en taladrina (aceite).
- Se evita la corrosión y oxidación de las piezas.

CAPITULO 32: Tratamiento de los Aceros

VI. Cementación:

1 - Generalidades.

- Tratamientos Termoquímicos: Tienen como finalidad cambiar las características externas de los materiales. Son todos con cambio de composición en los elementos exteriores que son los que no van a determinar las características.

2 - Cementación.

- Consiste en carburar una capa superficial del acero, rodeandola de un producto carburante y calantandola a temperatura adecuada. Una vez terminada la operación, se temple y reviene la pieza, quedando con gran dureza superficial y buena tenacidad en el núcleo.
- Se realiza en aceros con bajo %C, entre 0.30 - 0.40 %C, sin llegar nunca al 0.9%C, para evitar que se forme carcarilla (Carburo de Hierro). También en aceros aleados de baja aleación.
- Se realiza rodeando la pieza de sustancias cementantes y según el tiempo la cementación sera mayor o menor, hay un límite en el que ya no absorbe más carbono (material sobresaturado).
- La penetración se realiza de afuera hacia adentro, se consigue de 0.3 a 4 mm (chapas blindadas). Se realiza un enfriamiento rápido, luego se hace como mínimo un revenido. Generalmente se realizan un temple y un revenido.
- Hay tres tipos de Cementaciones: SOLIDAS, LIQUIDAS y GASEOSAS.

3 - Cementación Sólidas.

- Son todas a base de carbono vegetal, se suele usar cementantes preparados (carbon vegetal + Carbonato Alcalino ó Carbonato Alcalinoterreo). No se usa nunca líquido ni turba (contienen Azufre que proporciona fragilidad).
- El carbono que absorbe es el proveniente del carbón naciente. El poder de penetración de estos cementantes sólidos es de 0.5-1.5 mm/h. Se emplean en piezas grandes. Es economico, barato y el menos peligroso-

4 - Cementación Líquidos.

- Se realiza en piezas de gran precisión, son tóxicos y peligrosos. Se usan cianuros y cloruros, con cloruro potásico se obtiene la mayor penetración. A mayor Tª y menor proporción de cianuro sódico mayor es el poder de penetración.
- Los cementantes líquidos penetran menos que los cementantes sólidos. Hay que estar continuamente observando los baños, pues llega un momento en que en vez de cementar, se nitrura, por lo que se van agotando.

5 - Cementación Gaseosa.

- Son los más baratos. Hay dos tipos de Gases:
 - a) Gas Activo. Hidrocarburos (metano)
 - b) Gases Portadores. Aquellos que llevan algo de Carbono (CO₂, CO...), nunca van solos (H₂, O₂, H₂O), se obtienen por combustión incompleta de combustibles sólidos, se deben pasar por catalizadores.
- Se realiza metiendo primero el gas portador, se eliminan las impurezas del horno, se cierra y se mete gas activo. Hay una mezcla, se introduce la pieza. El poder de penetración de los gases es parecido al de los sólidos: 8 horas --> 1.5 mm

6 - Ventajas é inconvenientes de los distintos cementantes.

- Industrialmente son mejores los gaseosos, y más baratos tambien. Se usan en grandes piezas.
- Para piezas de gran precisión se usan cementantes líquidos. Pero son tóxicos y peligrosos.
- Para piezas grandes de taller se usan cementantes sólidos.

7 - Tratamientos térmicos de las piezas cementadas.

Son complicados. Hay los siguientes tratamientos.

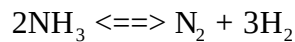
- a) Temple directo desde la T^a de cementación y revenido.
- b) Temple a $T^a > A_3$ y revenido.
- c) Temple a $T^a < A_3$ y revenido.
- d) Dos temples a $T^a > A_3$ y revenido.
- e) Revenidos.
- f) Austempering y Martempering.

CAPITULO 33: Tratamiento de los Aceros

VII. Nitruración, Cianuración, Carbononitruración y Sulfinización:

1 - Nitruración.

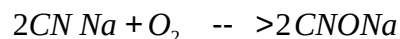
- Tratamiento térmico con cambio de composición. Su finalidad es absorber N_2 , es el tratamiento con que más dureza se obtiene, se emplea cuando la dureza es de 65 HRC y se puede llegar hasta 78 HRC. Es obligatorio en los aceros aleados. Se realiza haciendo pasar las piezas a través de amoníaco a una temperatura de unos 500°C.



- Son penetraciones pequeñas, 0.7 mm tras 4 días. La capa que se forma son nitruros de los elementos aleantes, es una capa frágil. Se usa sobre piezas que están en contacto con elementos corrosivos y oxidantes.
- Siempre antes de una nitruración se realiza un temple y un revenido. No hay deformaciones, por lo que se puede considerar acabado, ya que no tendrá tratamiento térmico.

2 - Cianuración.

- Tratamiento térmico con cambio de composición. Se absorbe C y N_2 en la capa superficial. Se realiza con cianuros líquidos, son tóxicos, lo cual encarece las instalaciones.
- Se debe controlar el % mínimo de cianuro (CNNa), ya que si es menor del 3% de cianuro no llega a cementar.



- Solo se realiza en aceros al carbono o de muy baja aleación. Tiene una rápida penetración 0.3 mm/h, por lo que es ideal para pequeñas piezas. Se consigue una dureza de casi 65 HRC. Por contra se producen tensiones, por lo que se hace después de un revenido.

3 - Carbonitruración.

- Tratamiento térmico con cambio de composición. Se absorbe N_2 y C, pero se hace por medio de gases. La dureza que se obtiene es cercana a 65 HRC. Se realiza sobre aceros al carbono y aleados. La penetración es de 0.3 mm/h. Es barato y fácil de realizar. Hay gases activos (NH_3) y gases portadores (hidrocarburos como el metano, propano...)
- Se realiza en piezas grandes. A medida que se absorbe N_2 a altas temperaturas van bajando la recta A_3 (diagrama Fe-C), luego baja la temperatura de temple (T_T), ya que aparece la bainita en vez de Perlita y que es de 2.2 %C. La temperatura crítica baja 3°C hasta los 590°C. Con esto podemos bajar la T^a pero disminuye la penetración, si hemos bajado mucho la T^a no hace falta un revenido. Pero si no queremos que disminuya la penetración lo mantenemos a igual T^a y hacemos después un revenido.
- Se emplea en máquinas de taller.

4 - Sulfinización.

- Es un tratamiento térmico con cambio de composición. Se absorbe C, N_2 , y S. No aumenta para nada la dureza, pero se emplea para aumentar la resistencia al desgaste. Se realiza a T^a exacta, es decir entre 560°C y 570°C. Si pasamos de 570°C se rompe y si no llegamos no se produce la sulfinización.
- Se realiza en un baño de sales de tipo. activos + reductores + de soporte.
- El proceso dura entre 30 minutos a 3 horas, obteniéndose como máximo una penetración de 0.3 mm.
- Como resultado de la operación se advierten dos acciones principales:
 - a) Una corrosión superficial, que origina microcavidades. "Piel de Gallina".
 - b) Polidifusión C, S, N_2 . Es un efecto autopropagante, es decir, a medida que se desgasta va penetrando, por lo que siempre tendrá la misma dureza al desgaste.

Ventajas de la Sulfinización:

Misma Dureza.

Autopropagante.

Se realiza a baja T^a (no aumenta el grano).

Por tener Azufre no se produce el gripado.

Se puede hacer en todos los aceros, incluso en los aleados.

Estas características se mantienen hasta los 600°C.

CAPITULO 34: Clases de los Aceros

I. Clasificación. Aceros Comunes:

1 - Generalidades.

- Acero: Toda aleación de hierro y carbono forjable cuyo contenido de carbono esta entre 0.10 y 1.76 %.
- Fundición: Toda aleación de Fe-C, no forjable cuyo contenido de Carbono esta entre 2.5 y 4 %.
- Hierro: Metal puro con menos del 0.003 % de carbono.

2 - Clasificación de los aceros atendiendo al porcentaje de carbono.

- Aceros Hipoeutectoides --> %C inferior al del punto S (eutectoide).
- Aceros Eutectoides --> %C igual al del punto S (eutectoide).
- Aceros Hipereutectoides --> %C superior al del punto S (eutectoide).
- Punto S --> 0.89 % C, en aceros no aleados y varía en aceros aleados.

3 - Clasificación de los aceros atendiendo al grado de desoxidación.

- Aceros Colamados. Desoxidados por completo y al solidificarse no desprenden gases.
- Aceros Efervescentes. Desoxidados incompletamente. Al solidificarse desprenden abundantes gases.

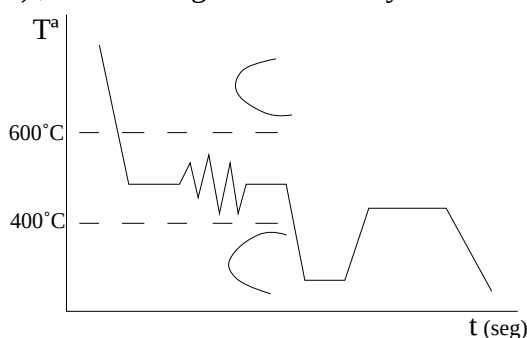
4 -Tabla de tipificación de los Aceros del Instituto del Hierro y del Acero (Ahora Centro Nacional de Inv. Metalurgicas).

- Clasificación de los materiales metalúrgicos:

F --> Aleaciones ferreas. C --> Aleaciones de cobre. S --> Productos Sintetizados.
L --> Aleaciones ligeras. V --> Aleaciones varias.

- La clase de las aleaciones ferreas se divide a su vez en 9 series:

F100 = Aceros finos de construcción.
F200 = Aceros finos de usos especiales.
F300 = Aceros resistentes a la oxidación y corrosión.
F400 = Aceros de emergencia.
F500 = Aceros para herramientas.
F600 = Aceros comunes.
F700 = Aceros para moldear.
F800 = Fundiciones.
F900 = Aleaciones ferreas especiales.



CAPITULO 22: Tratamiento Superficiales.

II Cromado Duro. Nuevas Técnicas

1 - Tratamientos mecánicos.

Def: Recubrimiento galvánico que se realiza sobre metales para mejorar algunas características del metal base. Aumenta la resistencia al desgaste, al rayado, a la penetración y a la corrosión.

2 - Aplicaciones del cromado duro.

- Se usa tanto en piezas desgastadas como nuevas. Se usa en piezas de maquinaria tales como cilindros, ejes de levas, cigüeñales y herramientas de corte.
- Se usa también para formar moldes de plásticos por su no adherencia.
- Se usa también en herramientas de precisión y en los cañones de armas.

3 - Materiales que pueden cromarse.

- El cromado se puede utilizar sobre casi todos los metales. Lo que más nos interesa cromar es : aceros fundición, Aluminio, latón y cobre.

CAPITULO 23: Oxidación y Corrosión.

I. Causas de Oxidación y Corrosión.

1 - Corrosión y Oxidación.

Corrosión. Destrucción lenta y progresiva de un material por la acción de un agente exterior por causas NO mecánicas.

Oxidación. Combinación de átomos metálicos con los de la sustancia agresiva.

2 - Tipos de Corrosión.

- Corrosión Uniforme: Ataque con H_2NO_3 .
- Corrosión Localizada. Picaduras y/o Grietas (Agua de mar sobre el hierro).
- Corrosión Intergranular. Se produce entre los granos, debilitando la resistencia del conjunto, sin que exteriormente se observe ninguna alteración de la superficie.

3 - La Pila de Corrosión.

Una pila está constituida por ánodo(-) y cátodo(+). Se desgasta el ánodo (pérdida de electrones).

Causas que producen corrosión: - Corrosión Química.

- Corrosión Galvánica. (con o sin fuerza electromotriz)
- Corrosión por Bacterias.
- Corrosión por Disolución Selectiva.

4 - Corrosión Galvánica:

- Corrosión sin f.e.m. (Metal Corroído).

Al estar dos metales en contacto en una solución, el metal con menor potencial galvánico actúa como ánodo, se desgasta.

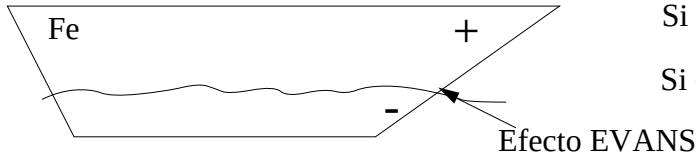
No es necesario que los metales estén en contacto, tampoco es necesario que exista una solución salina. A veces se produce la corrosión del metal sin que exista otro debido a la heterogeneidad del medio o del propio metal.

- Corrosión por heterogeneidad del metal.

Una tubería más nueva (actuará de ánodo) en contacto con otra tubería vieja (actuará de cátodo).

- Corrosión por la heterogeneidad del medio circundante.

Diferencias de temperatura y oxigenación. Este tipo de corrosión se denomina efecto EVANS. La parte más aireada actúa de cátodo(+) y la menos aireada de ánodo. Ej. Casco de un barco.



Si cátodo >> ánodo ---> corrosión grande.

Si cátodo << ánodo ---> corrosión pequeña

5 - Corrosión electroquímica con f.e.m.

Al aplicar una f.e.m. se acelera la velocidad de corrosión. Ej. tranvías.

6 - Corrosión Química.

Puede ocurrir por acción de : Ácidos No Oxidantes. Sustituir iones H_2 por iones metálicos.

7 - Ensayos de Corrosión.

Corrosión Salina. Se somete la pieza a una solución salina y luego se miden propiedades mecánicas, lo más corriente es medir la pérdida de peso por cm^2 .

CAPITULO 24: Oxidación y Corrosión.

II. Protecciones contra la Oxidación y Corrosión.

1 - Generalidades.

- Los principales factores a estudiar en las protecciones contra la oxidación y la corrosión son:
 - a) Clase y estado del metal. Composición química, constitución, estructura, tratamiento recibidos, y proceso de elaboración.
 - b) Medio en que se encuentra. La corrosión parte del medio en que se encuentra el metal, cuando mejor se conozca el medio, se podrá prever el tipo de corrosión y tomar medidas para evitarlas. (pH, p, t^a, %O₂, composición química)
 - c) Clase de contacto entre el metal y el medio.

2 - Procedimientos empleados para la protección contra la oxidación y corrosión.

- 1º Por recubrimientos metálicos (electrólisis, inmersión, metalización, cementación, chapado...)
- 2º Por recubrimientos NO metálicos.
- 3º Por inhibidores.
- 4º Por pasivadores.
- 5º Protección catódica.
- 6º Metales Autoprotectores.

3 - Protección por el empleo de inhibidores.

- Inhibidor: Sustancia que se añade, generalmente en proporción pequeña, a un medio corrosivo, ya sea sobre el ánodo o cátodo, para disminuir la velocidad de corrosión.
- Pueden ser: Inhibidores Anódicos. Compuestos de Na.
Inhibidores Catódicos. Compuestos de Mg, Ni, Zu.
Inhibidores de absorción. Compuestos de Gelatina, Tanino, Agar-agar.

4 - Protección por el empleo de pasivadores.

- Pasivador: Sustancia que se superpone en la pieza deteniendo la corrosión apenas iniciada.

- Hay algunos materiales que forman esta sustancia de manera natural. Pasividad Natural. (Aluminio)
- También podemos conseguir la pasividad tratando el metal. Pasividad Artificial.
- Los pasivadores más usados son el Minio y el Cromato de Zinc.

5 - Protección Catódica contra la Corrosión.

- La protección catódica consiste en incluir la pieza a proteger en un circuito eléctrico con f.e.m, de tal manera que el metal actúe como cátodo. Cuando dos metales de diferente potencial galvánico se sumergen en una solución salina, el metal anódico se desgasta protegiéndose el catódico.
- Los ánodos más utilizados son Zn, Al, Mg.
- Ej. En los barcos se colocan ánodos de Mg cerca de la hélice.

6 - Protección por el empleo de metales autoprotectores..

- Se usa en la fabricación de las piezas metálicas con suficiente resistencia a la oxidación y corrosión.
- Aceros inoxidables: Incluyen Cr y Ni en su composición.

7 - Decapado.

- Eliminación de la capa oxidada antes de efectuar cualquier protección.

Decapado Mecánico: Cepillos de alambre, perdigones, arena...

Decapado Químico: Por medio de ácidos...

Decapado Electrolítico: Haciendo actuar la piezas como ánodo...