

I BLOQUE: MATERIALES

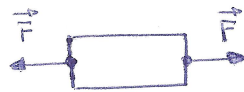
1. ENSAYO Y MEDIDA DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

1.1. TIPOS DE ENSAYOS

Se pueden clasificar atendiendo a:

- Según la rigurosidad del ensayo:
 - Científicos: permiten obtener valores numéricos precisos y reproducibles, gracias a las condiciones normalizadas.
 - Tecnológicos: comprueban las cualidades de un material para una utilidad.
- Según la naturaleza del ensayo:
 - E. Químicos: permiten conocer la composición, tipo de enlace, estabilidad, etc...
 - E. metalográficos: analizan la estructura interna.
 - E. físicos: cuantifican propiedades físicas. Ej: densidad, ρ_f , ρ_e , ...
 - E. mecánicos: determinan la resistencia del material a distintos esfuerzos.
- Según la utilidad de la pieza tras la prueba:
 - Destructivos
 - No destructivos
- Según la velocidad de aplicación de las cargas:
 - Estáticos: la velocidad de aplicación no influye. Ej: tracción
 - Dinámicos: juega un papel crucial. Ej: flexión por choque.

1.2. ENSAYO DE TRACCIÓN



El ensayo de tracción consiste en someter a una probeta normalizada, cilíndrica o prismática; a una fuerza de tracción que aumenta de forma lenta y continua en el tiempo.

Se tiene en cuenta la variación de longitud (ΔL) de dos puntos conocidos, medidos con un extensómetro. Los parámetros a tener en cuenta son:

- Fuerza: medida en N [$Kp \cdot G = N$]

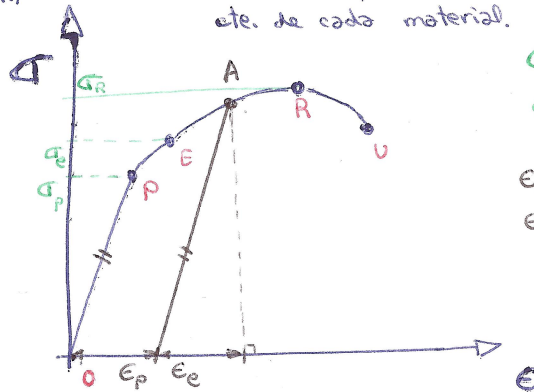
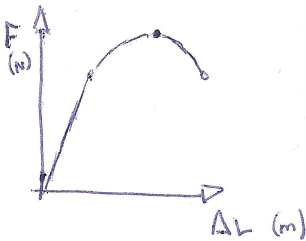
- Sección: (S_0 y S) medido en m^2

- Longitud: (l_0 y l ; ΔL) en metros

- Deformación unitaria: (ϵ) $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$ Adimensional

- Tensión: (σ) $\sigma = \frac{F}{S_0} = \frac{N}{m^2} = Pa$

- Módulo de Young: (E) medido en $\frac{N}{m^2} = Pa$
ete. de cada material.



σ_R = tensión rotura

σ_E = límite elástico

ϵ_e = deformación elástica

ϵ_p = " plástica.

En la gráfica del ensayo de tracción existen 2 zonas:

- zona elástica (\overline{OE}): en esta zona si se deja de aplicar fuerza, la probeta recupera su longitud

- zona elástica proporcional (\overline{OP}): se produce una deformación proporcional a la tensión, que cumple la ley de Hooke: $\sigma = E \cdot \epsilon$ (línea recta $y = mx$)

- zona elástica no proporcional (\overline{PE}): no existe una proporcionalidad entre tensión y deformación, aunque sigue siendo plástica.

- zona plástica (\overline{EU}): las deformaciones son permanentes, aunque si se deja de aplicar la fuerza, recupera cierta longitud elástica (gráfica)

- zona de deformación plástica uniforme (\overline{ER}): se consigue $+E$ con $-F$

- zona de deformación plástica localizada, z. de estricción o de rotura: aunque la tensión disminuya, la probeta se rompe. (\overline{RU})

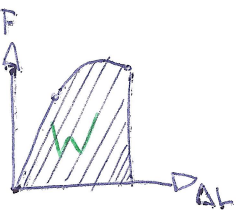
1.2.2. Resultados del ensayo:

= Alargamiento de rotura (A): mayor alargamiento plástico (probeta rota)

$$A(\%) = \frac{L_F - L_0}{L_0} \cdot 100$$

= Estricción de rotura (Z): disminución de la sección (rotura) $Z(\%) = \frac{S_0 - S_F}{S_0} \cdot 100$

= Trabajo de deformación: trabajo necesario para conseguir la rotura de la probeta



$$W = \int F \cdot dL$$

1.2.b. Curva de tracción verdadera

A medida que avanza el ensayo, la sección va disminuyendo, por lo que la tensión obtenida mediante: $\sigma = \frac{F}{S_0}$, es sólo aparente; siendo $\sigma_v = \frac{F}{S_{inst}}$, la σ real o verdadera. De esta forma varía típicamente la curva $\sigma - \epsilon$.

Ocurre lo mismo con $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$, siendo ϵ verdadera $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_{inst}}$.

1.2.c. Tensión máxima de trabajo

Al diseñar una pieza debemos valorar las fuerzas a las que estará sometida y la tensión de trabajo a la que queremos que se encuentre. Ante la dificultad de conocer las fuerzas máximas que sufrirá, existen dos modos de calibrar un margen de seguridad:

= Mayorando los cargos máximas: aplicamos un coeficiente de seguridad a las fuerzas!

$$\sigma_T = \frac{F_{max} \cdot n}{S_0} \quad n > 1$$

$$\sigma_T = \frac{\sigma_{max}}{n} \quad n > 1$$

= Minorando las tensiones máximas. \rightarrow

1.3. ENSAYOS DE DUREZA

Se entiende por dureza la oposición que ejerce un material al ser rayado o penetrado por una pieza de otro material. Como no existe una definición exacta existen 2 tipos de ensayo y varias escalas de medida.

1.3.a. Ensayos de dureza al rayado

1.3.a.I. Escala de Mohs

Es el método más antiguo de medir la dureza, establecido por Mohs en el S. XVIII. Para determinar la dureza se intenta rayar el material con unos minerales graduados en una escala de 10: Talco (1), yeso (2), calcita (3), ... topacio (8), corindón (9) y diamante (10).

Se trata de un método muy impreciso e inútil para los metales.

1.3.a.II. Dureza Martens

Se utiliza un cono de diamante que raya el material a medir, después se mide la anchura de la marca, aplicado con fuerza medida y constante, y se determina su dureza. (1)

1.3.a.III. Ensayo a la lima

Si no se poseen los medios para efectuar ensayos, se puede determinar la dureza de un material al comprobar si es rayado o no por una lima de dureza conocida.

$$DM = \frac{1000}{d^2}$$

d = anchura en micras

(1)

1.3.b. Ensayos de dureza a la penetración.

En estos ensayos se mide la resistencia que ofrece un material a ser penetrado por una pieza de otro material diferente, llamada penetrador, que es empujada a una fuerza controlada en un tiempo concreto.

Dependiendo de la velocidad a la que se aplique la fuerza, existen dos tipos:

- choque
- indentación: Brinell, Vickers, Rockwell.

En los ~~ensayos~~ ^{ensayos} por indentación la velocidad no influye (y se tiene en cuenta la fuerza aplicada entre la superficie generada por el penetrador)

1.3.b.I. ENSAYO BRINELL

Inventado a principios del s. XX por el sueco Brinell, el ensayo Brinell se realiza con: un penetrador con forma esférica de acero templado, que posee un diámetro (D) que varía entre 1 y 10 mm, que sufre una fuerza de entre 1,25 y 3000 Kp durante 15 s.

La dureza Brinell (HB) se obtiene al dividir la fuerza aplicada, entre la superficie generada (S). Como la superficie generada es un casquete polar, necesitamos saber su superficie (S), midiendo el diámetro de la huella microscópicamente. la huella tiene que cumplir que $0,25D < d < 0,5D$

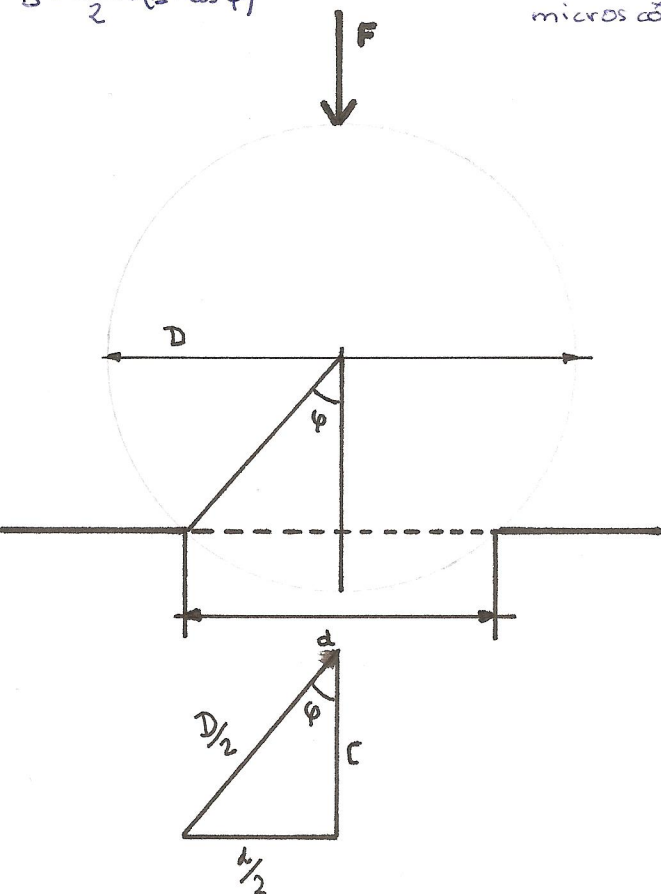
$$(1) \quad HB = \frac{F}{S} = \left[\frac{Kp}{mm^2} \right]$$

$$(2) \quad S = \frac{\pi \cdot D^2}{2} \cdot (1 - \cos \varphi)$$

$$C = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad ; \quad \cos \varphi = \frac{C}{\frac{D}{2}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}}{\frac{D}{2}} = \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{D}$$

$$S = \frac{\pi D^2}{2} \left(1 - \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{D}\right) = \frac{\pi D^2}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)$$

$$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$



El diámetro de la bola para este ensayo, ha de elegirse en función del espesor de la chapa del material a probar. Para que las huellas resultantes de estas pruebas sean comparables, han de guardar cierta proporcionalidad: $F = K D^2$, donde K es una constante que depende del tipo de materiales que manejemos. Sin embargo el tiempo de aplicación suele ser fijo, de 15 s, aunque no siempre es así.

El ensayo de dureza Brinell nos proporciona información sobre la resistencia a tracción del material, mediante una proporción. $\sigma_R = K \cdot HB$

La prueba Brinell posee los siguientes inconvenientes:

- No se puede realizar sobre superficies no planas.
- Se cometen errores en la medida cuando es muy pequeña.
- Solo es aplicable a materiales con durezas no muy altas

Expresión: (F) HB (D) (F) (t) ej: $250 \frac{Kp}{mm^2}$ HB 10mm 300 Kp 30(s)

1.3.b.II. Ensayo Vickers

Se utiliza como penetrador una pirámide cuadrada de diamante, con un ángulo de 136° , para que coincida con algunas durezas Brinell.

La dureza Vickers se mide al dividir fuerza y superficie, con forma piramidal, que será la suma de sus triángulos (2), siendo (a) la base y h su altura.

Tomando (d) como la diagonal de la base cuadrada de la pirámide:

(1)
 $HV = \frac{F}{S} = \frac{Kp}{mm^2}$

(2)
 $S = 4 \cdot \frac{a \cdot h}{2} = 2ah$



$a = d \cdot \cos 45^\circ$; $a = d \frac{\sqrt{2}}{2}$

$\sin 68^\circ = \frac{a/2}{h}$; $h = \frac{a}{2 \sin 68^\circ} \Rightarrow h = \frac{d \sqrt{2}}{4 \sin 68^\circ}$ (2)

$\psi = \frac{136}{2} = 68^\circ$

$S = 2 \cdot h \cdot 2 \rightarrow 2 \cdot d \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{d \sqrt{2}}{4 \sin 68^\circ} = \frac{d^2 (\sqrt{2})^2}{4 \sin 68^\circ} = \frac{d^2}{2 \sin 68^\circ} \approx \frac{d^2}{1,854368}$

(2)

$HV = \frac{F}{S} = \frac{F}{d^2} \cdot 1,854368$

La fuerza empleada puede variar entre 1 y 120 Kp, aunque es corriente que sean de 30 Kp.

Tiene como ventajas que siempre se usa el mismo penetrador, que se puede usar en superficies curvas y que se puede realizar sobre materiales muy duros.

4.3.b. III. Ensayo Rockwell

Es el ensayo más usado debido a su inmediatez y pequeño tamaño de las huellas, aunque es menos exacto. En este ensayo se mide la profundidad de la huella y no su superficie.

- Para materiales blandos se usa un penetrador esférico de acero de 4,54 mm de diámetro, obteniendo la escala Rockwell B

= Para materiales duros se usa un cono de diamante de 120°, redondeado con un casquete de 0,2 mm de radio, obteniendo la escala Rockwell C.

Los pasos para realizar el ensayo son:

1. Se aplica una precarga de 10 Kp, generando una profundidad h_1
2. Se incrementa la carga hasta 150 (Rockwell C)
o 100 Kp (Rockwell B) creando una profundidad h_2
3. Se reduce la carga hasta la inicial de 10 Kp, creando una $h_3 > h_1$, debido a la deformación plástica del paso 2.

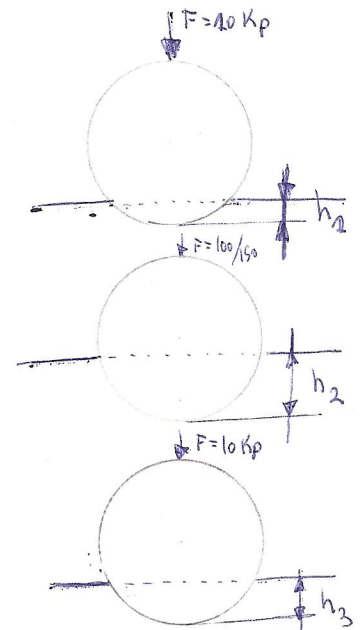
Se mide la diferencia $h_3 - h_1$ y se expresa la medida de la forma:

$$e = h_3 - h_1$$

$$\text{HRC} = 100 - e^i$$

$$\text{HRB} = 130 - e^i$$

e viene dado en medidas proporcionales de 0,002 $\rightarrow e^i = \frac{\Delta h}{0,002} = \frac{h_3 - h_1}{0,002}$



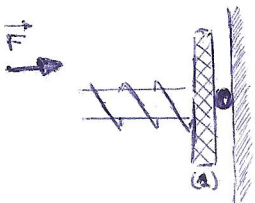
4.3.c. ENSAYOS DE DUREZA POR CHOQUE

En estos ensayos se mide la resistencia de un material a ser penetrado por otro material mediante pruebas dinámicas, donde influyen la velocidad de aplicación de las fuerzas.

4.3.c.I. método de impacto

Se hace impactar una bola de 5 mm de diámetro de un material conocido, contra el material cuya dureza queremos determinar y observamos la huella provocada.

La huella se compara con la que provoca en el material conocido (A), que sabemos su dureza, utilizado en la máquina Poldi.



$$H = \frac{S_p}{S} \cdot H_p$$

S_p = superficie producida en el material conocido

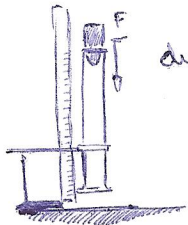
H_p = dureza del material conocido

S = superficie de la huella en el material desconocido

H = dureza a determinar.

1.3.c. II. método de retroceso

Debemos impactar un penetrador sobre el material ^{al} que queremos hallar la dureza y medimos el rebote de éste. Hay dos métodos:



(1)

- Esclerómetro: se deja caer un penetrador normalizado sobre el material a determinar desde una altura conocida y se mide su rebote (1)



(2)

- DuroscoPIO: se golpea la pieza con un martillo normalizado y se mide el ángulo alcanzado en el rebote (2).

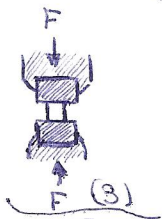
método de Shore (1)

Todos estos ensayos dinámicos de la dureza, son menos fiables que aquellos que son estáticos, pero poseen grandes ventajas como:

- Son mucho más rápidos de realizar
- No necesitan una localización fija (se puede realizar in situ)
- Podemos medir cualquier tipo de material, incluso sin zona plástica.

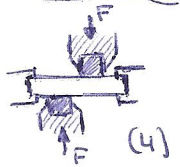
1.3.d. Ensayos de otros esfuerzos

Los ensayos de otros esfuerzos son:



(3)

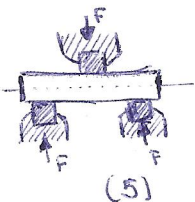
- Ensayos de compresión: son muy similares al ensayo de tracción y el resultado es muy similar. (3)



(4)

- Ensayos de cortadura: son similares a los de compresión, solo que se mide la tensión tangencial, en vez de la normal (4) $\tau = \frac{F}{S}$

- Ensayos de flexión: es un ensayo combinado de tracción y compresión, que requiere medidas puntuales y cuyos valores son semejantes a los ensayos de tr. y comp. (5)



(5)

1.4. ENSAYOS DE RESISTENCIA AL IMPACTO

Las cargas aplicadas actúan casi instantáneamente para poder medir la resistencia al choque o la tenacidad de los materiales.

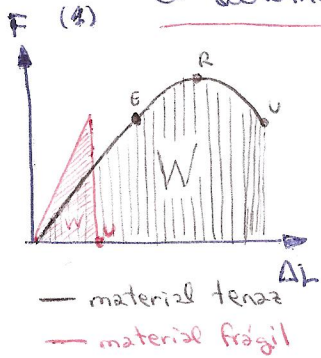
La tenacidad de un material es la capacidad de almacenar energía en forma de deformación plástica, antes de romperse. Inverso de frágil.

+ tenacidad \neq deformación ; + fragilidad \neq deformación nula,

Existen dos tipos de ensayos para determinar la tenacidad:

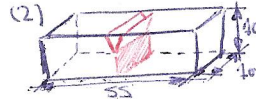
1.4.a. Ensayo de tracción por choque

Se trata de un ensayo de tracción, en el que la velocidad de aplicación de las cargas es muy alta. Se genera una curva fuerza - deformación, de la que se extrae el trabajo necesario para romper la probeta (1). Este trabajo (w) se divide entre el volumen de la probeta (v), hallando la tenacidad. Es poco utilizado por ser caro.



1.4.b. Ensayo de flexión por choque

El más conocido y utilizado es el ensayo de resiliencia o ensayo Charpy. En él se dispone de una probeta de 40x40x55 mm, que posee una entalla de 2 mm en la parte central, en forma de U o de V (2).



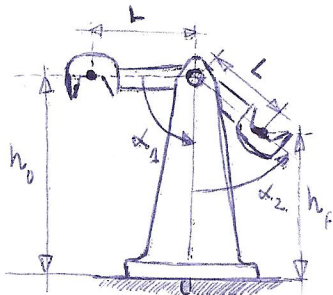
El ensayo consiste en golpear la probeta por el lado opuesto a la entalla con un péndulo que cae libremente desde una altura concreta y con un peso conocido, es decir con una energía potencial inicial determinada (que suele ser 300 J) [luego $v_{imp} = 5 m/s$]

La resiliencia se mide dividiendo el trabajo realizado por la probeta, que es la diferencia de energía potencial del péndulo. ($E_{p0} - E_{pf} = W$) (3)

(3)

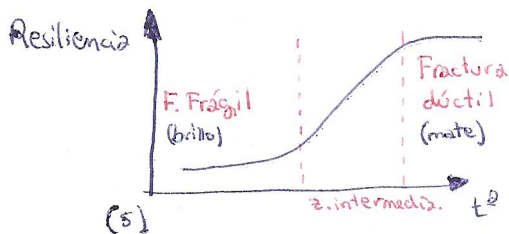
$$KCV = \frac{W}{S_0} = \frac{P \cdot L (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)}{S_0} = \left[\frac{J}{m^2} \right]$$

$$P = m \cdot g$$



* La altura está calculada con respecto al eje de movimiento. Aunque se calcula normalmente con referencia al suelo: $\frac{m \cdot g \cdot \Delta h}{S_0} = KCV$

La tenacidad de un material, así como el tipo de rotura que produzca (frágil o dúctil), varía en función de la temperatura a la que se encuentre. (5)



Cuanto mayor es la temperatura, mayor será la resiliencia de un material.

Esta curva de temperaturas es muy relevante a la hora de elegir un material u otro para trabajar en determinadas condiciones.

1.5. ENSAYOS DE FATIGA

La fatiga es el ~~(o sucesión de)~~ sometimiento de una pieza a cargas cíclicas, cuya intensidad nunca alcanza la de rotura del material.

Para determinar las cargas que sufre el material manejamos dos datos:

- Amplitud de las cargas (del ciclo): es la diferencia entre la carga máxima y la mínima, (1)

(1)

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$$

(2)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

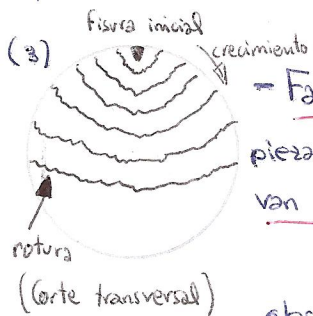
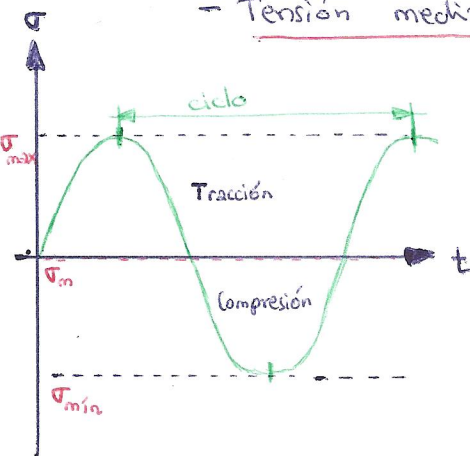
- Tensión media: es la carga media que sufre el material (2)

Existen dos tipos de fatiga:

- Fatiga en elementos sin defectos: El comportamiento a la fatiga de estos elementos posee dos etapas:

- nucleación de fisuras: como no poseen defectos estructurales debido a su construcción, se desarrolla una pequeña fisura a raíz de alguna irregularidad de la pieza.

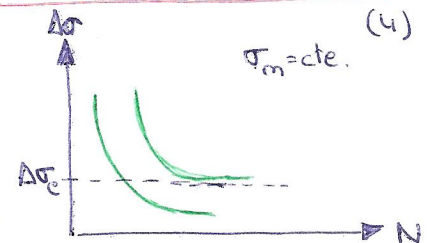
- crecimiento y rotura: una vez se nuclealiza una fisura, ésta crece hasta que provoca la rotura de la pieza.



- Fatiga en elementos con defectos: estos elementos están constituidos por varias piezas lo que facilita la presencia de fisuras en los puntos de unión. Las fisuras van aumentando de tamaño, hasta producir la rotura de la pieza (3)

El crecimiento de las fisuras no es uniforme, y se puede ver ralentizado u obstruido momentáneamente, por zonas de mayor dureza del material.

El ensayo más habitual de fatiga es el de flexión rotativa sobre una probeta normalizada. Como resultado de este ensayo se determina el número de ciclos que la probeta soporta, con diferentes magnitudes de carga (4). El diagrama obtenido se denomina diagrama de Wöhler. $+\Delta\sigma \rightarrow -N$



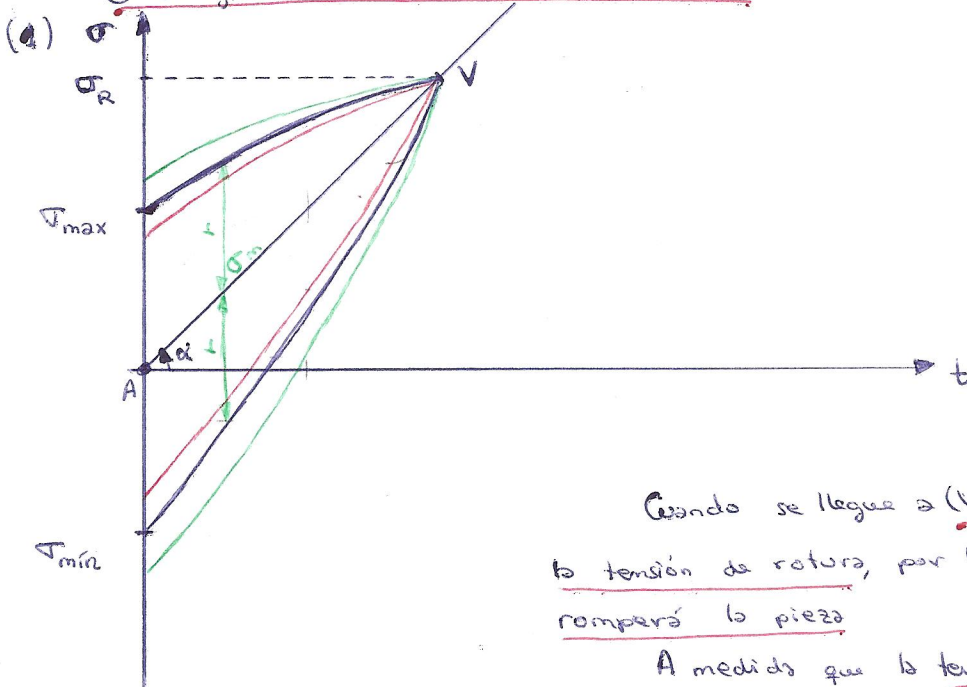
Algunos materiales, por debajo de ciertas cargas, no poseen rotura por fatiga, la tensión límite por debajo de la cual no se produce rotura ($\Delta\sigma_e$) es el límite de fatiga.

En los elementos no defectuosos la fatiga de alto número de ciclos se rige por:

a y b = ctes. del material

$$\Delta\sigma \cdot N^a = b \quad ; \quad \Delta\sigma = \frac{b}{N^a}$$

Para el mismo número de ciclos ($N = \text{cte}$), al aumentar el valor absoluto de la carga media (σ_m), la amplitud del ciclo que soporta el material ($\sigma_{\max} - \sigma_{\min} = \Delta\sigma$), será menor. Si manteniendo el número de ciclos (N) y partiendo de una amplitud inicial máxima ($\Delta\sigma_{\max}$) en la cual la tensión media es nula ($\sigma_m = 0$); vamos aumentando el valor de ésta (σ_m) gradualmente hasta alcanzar la tensión de rotura (por tracción si $\sigma_m > 0$, o de compresión si $\sigma_m < 0$), obtenemos el diagrama de Goodman - Smith (4).



A: $\Delta\sigma \rightarrow$ es máxima
 $\sigma_m \rightarrow$ es nula
 $N \rightarrow \text{cte.}$
 $\alpha = 45^\circ$

V: $\Delta\sigma \rightarrow$ mínimo
 $\sigma_m \rightarrow$ igual que σ_R
 $N \rightarrow \text{cte}$

Cuando se llegue a V, el valor medio coincide con la tensión de rotura, por lo que cualquier amplitud ($\Delta\sigma$) romperá la pieza

A medida que la tensión media (σ_m) se acerca a la de rotura (σ_R), la amplitud que podemos ejercer es menor.

Si modificamos el número de ciclos pueden ocurrir dos cosas:

- Si lo disminuimos (línea verde), se aumenta la amplitud máxima, aunque la tensión de rotura es la misma, ya que los ciclos se producen menos veces
- Si aumentamos el n° de ciclos (línea roja) la amplitud que soporta es menor, porque los ciclos se repiten más veces.

A efectos prácticos se suele aproximar el diagrama a una recta, que sirve para determinar la amplitud de cargas en función de la tensión media:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_0 \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_R} \right)$$

$\Delta\sigma_0 =$ amplitud max, es decir, cuando $\sigma_m = 0$

$\sigma_R =$ tensión de rotura

$\sigma_m =$ tensión media

$\Delta\sigma =$ amplitud.

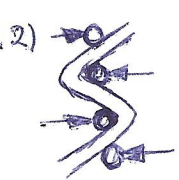
1.6. ENSAYOS TECNOLÓGICOS

Se utilizan para comprobar si un material es apropiado o no para un fin concreto, sin aportar datos numéricos, solamente determinan su utilidad. Se lloran empleando siglos y se clasifican dependiendo de la geometría de la pieza.

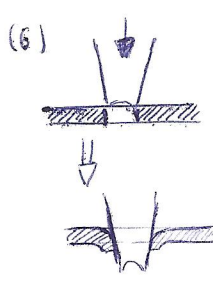
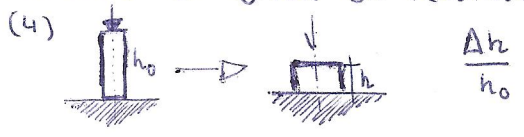
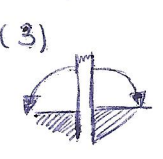
1.6.a. E. tecnológicos en barras



- Ensayo de flexión y plegado: se comprueba la flexibilidad del material. Se somete a flexión a una barra cilíndrica normalizada. Puede ser:
 - simple (1)
 - doble (2)
 - alternativo (3)

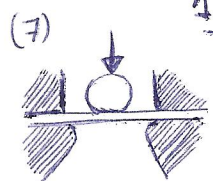


- Ensayo de recalado: se realiza para comprobar el comportamiento del material bajo compresión o choque. Se comprime una barra cilíndrica definiendo el grado de recalado en relación al cambio de altura, (4)



- Ensayo de maleabilidad: se realiza a altas temperaturas con barras planas, que se golpean hasta que aparecen fisuras o amplían en un 50% su anchura inicial. Definiendo la maleabilidad como la deformación resultante (5)
- Ensayo de maleabilidad: se usa una barra plana a altas temperaturas, la cual se agujerea y penetra con un cono. (6)

1.6.b. E. tecnológicos en chapas

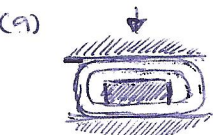


- Ensayo de flexión alternativa: se dobla 90° hasta que aparezcan fisuras (3)

- E. de butición: se estampa una bola de acero sobre una chapa sujeta, hasta que se produzcan fisuras. La profundidad determinará la aptitud del material. (7)



1.6.c. E. tecnológicos en tubos

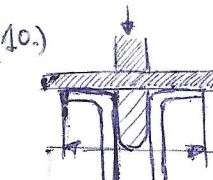


- E. de abocardado: se introduce un cono de mayor ϕ que el tubo y se mide el ensanche (8)

- E. de aplastamiento: se comprueba si el tubo se puede comprimir hasta una anchura concreta, determinada por una pieza en su interior. (9)

- E. de estanqueidad: se introduce un fluido a alta presión para comprobar escapes.

- E. de recantado: a altas t^{as} se aplasta la boca del tubo hasta el diámetro plano deseado (10), si no hay fisuras es apto.



1.6.d. E. tecnológicos en alambres



- E. de flexión alternativa: (3)

- E. de retorcido: se gira el alambre hasta que rompe determinado el grado o nº de vueltas de torsión (11)