

MATERIALES: ENSAYOS Y MEDIDAS DE PROPIEDADES.

por Aurelio Gallardo

9 de julio de 2017



Materiales: Ensayos Y Medidas De Propiedades By Aurelio Gallardo Rodríguez, 31667329D Is Licensed Under A Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Índice General

1. INTRODUCCIÓN	1
2. TIPOS DE ENSAYOS	1
3. ENSAYO DE TRACCIÓN	2
3.1. ESTUDIO DEL DIAGRAMA	3
3.2. FORMAS Y DIMENSIONES DE LA PROBETA	4
3.3. RESULTADOS DEL ENSAYO	5
3.3.1. FLUENCIA	6
3.3.2. CURVA DE TRACCIÓN VERDADERA	6
3.3.3. Tensión MÁXIMA DE TRABAJO	7
3.3.4. MÁQUINAS DE TRACCIÓN	7
4. ENSAYOS DE DUREZA	8
4.1. ENSAYOS DE DUREZA AL RAYADO	9
4.2. ENSAYOS DE DUREZA A LA PENETRACIÓN	9
4.2.1. ENSAYO BRINELL	9
4.2.2. ENSAYO VICKERS	11
4.2.3. ENSAYO ROCKWELL	12
5. ENSAYOS DE RESISTENCIA AL IMPACTO	12
5.1. ENSAYO DE TRACCIÓN POR CHOQUE	12
5.2. ENSAYO DE FLEXIÓN POR CHOQUE O PÉNDULO CHARPY	13

6. ENSAYO DE FATIGA 14

6.1. ENSAYO POR FATIGA: FLEXIÓN ROTATIVA 14

6.1.1. DIAGRAMA DE WHÖLER 14

6.1.2. DIAGRAMA DE GOODMAN-SMITH 15

7. ENSAYOS TECNOLÓGICOS 16

8. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (CONTROL DE DEFECTOS) 17

9. APÉNDICE 1 17

9.1. OTROS 17

1. Introducción

El diseño de los elementos que forman parte de estructuras y máquinas deben cumplir con una serie de requisitos; no sólo económicos, sino también cumpliendo especificaciones de seguridad. Para cumplirlas, cobra importancia el estudio de las propiedades de los materiales, las cuales se obtienen a través de diversos ensayos normalizados.

El organismo de normalización español es AENOR, y las normas que publica son las especificaciones UNE (Una Norma Española).

2. Tipos de Ensayos

Los ensayos son los procedimientos de medida de las propiedades de los materiales, simulando las condiciones de trabajo o uso a las que estarán expuestos los mismos. Hay una gran diversidad de ensayos, que pueden clasificarse según diversos criterios:

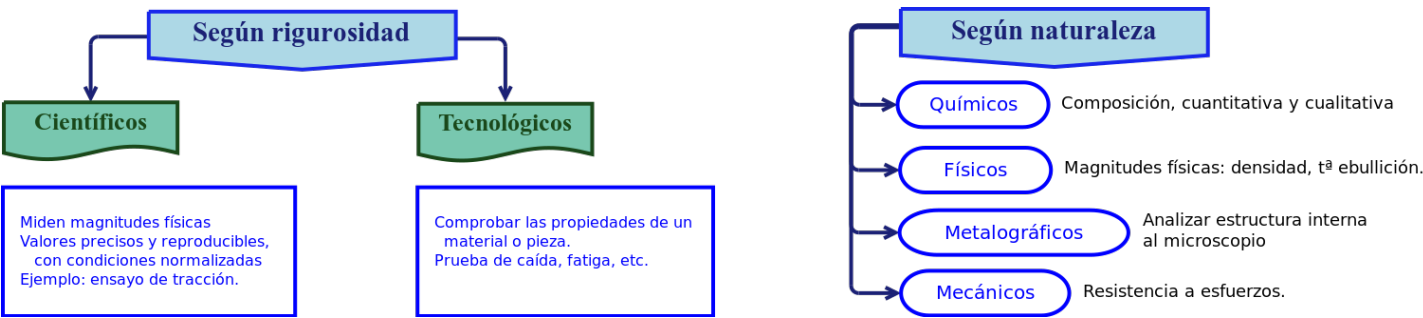


FIGURA 1: ESQUEMAS TIPOS DE ENSAYO SEGÚN RIGUROSIDAD Y NATURALEZA

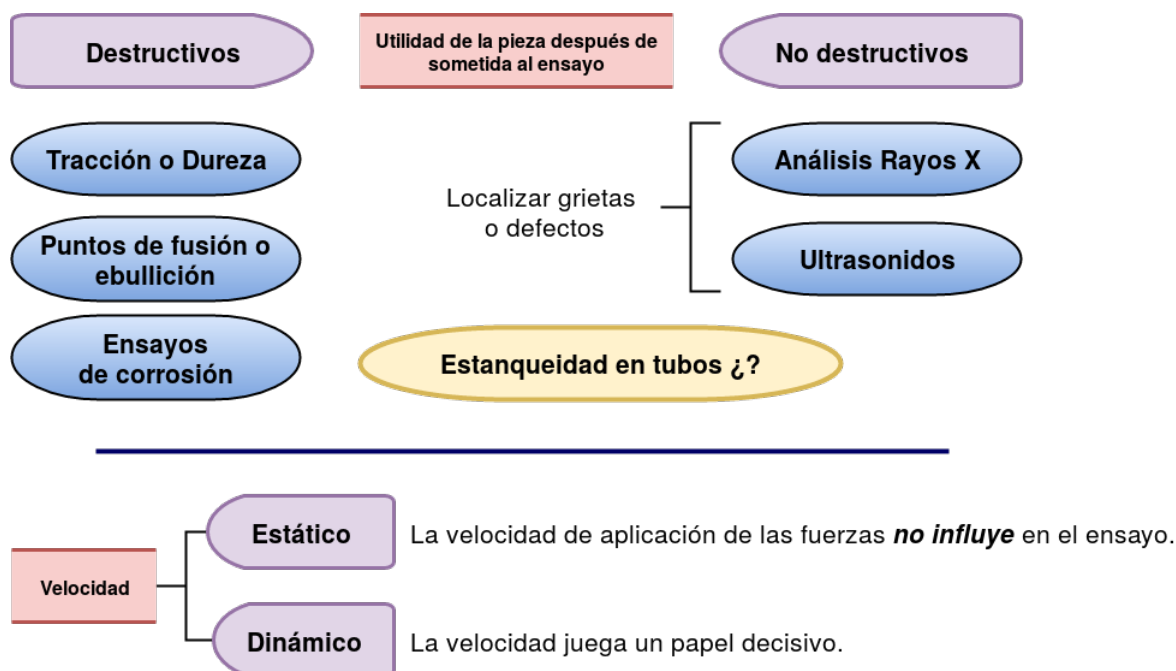


FIGURA 2: TIPOS DE ENSAYOS

3. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción es considerado como uno de los más importantes a la hora de determinar las propiedades mecánicas de cualquier material. Sirve para comparar distintos materiales y si una pieza de determinado material podrá soportar determinadas condiciones de carga.

Consiste en someter a una pieza (**probeta**), cilíndrica o prismática, a fuerzas de tracción, de forma lenta y progresiva. Se miden en el ensayo los alargamientos (ΔL) en función de la Fuerza **F** aplicada, y se hace una representación de los mismos hasta la rotura de la probeta. Aunque, para evitar que las dimensiones de la probeta influyan en las mediciones se suele representar con diagramas de tensión-deformación.

La tensión es la fuerza por unidad de superficie aplicada, siendo la superficie la sección transversal S_0 de la probeta:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \text{ y se mide en } N/m^2 = Pa \text{ (Pascuales)}$$

La deformación se calcula de forma relativa, en función de la longitud inicial L_0

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}, \text{ siendo la deformación } \varepsilon \text{ una magnitud adimensional.}$$

También puede expresarse en forma de tanto por ciento $\varepsilon(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100$

3.1. Estudio del diagrama

Diagrama tensión - deformación

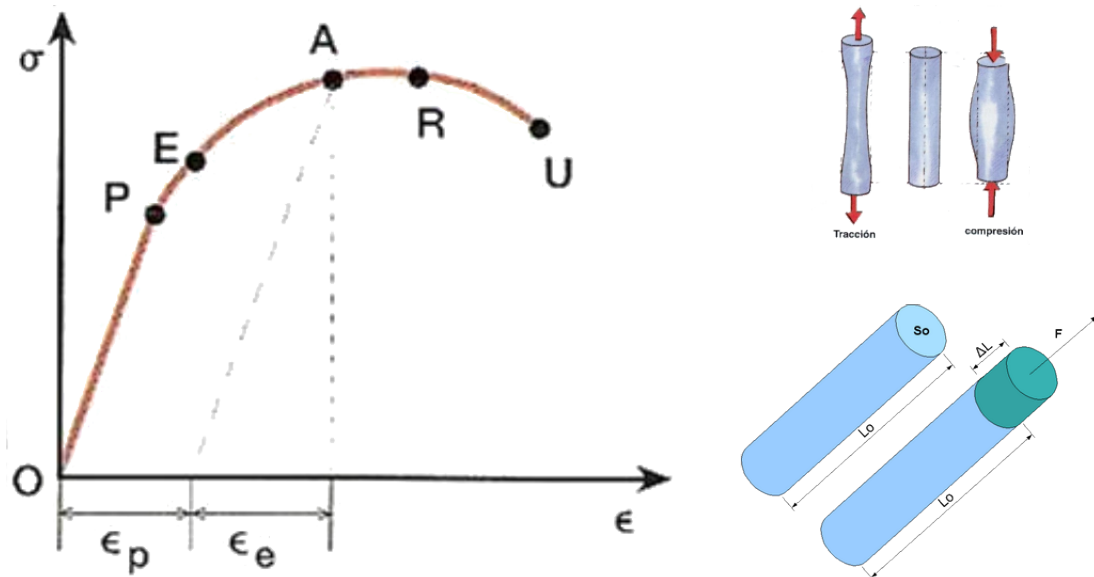


FIGURA 3: DIAGRAMA DE TENSIÓN DEFORMACIÓN

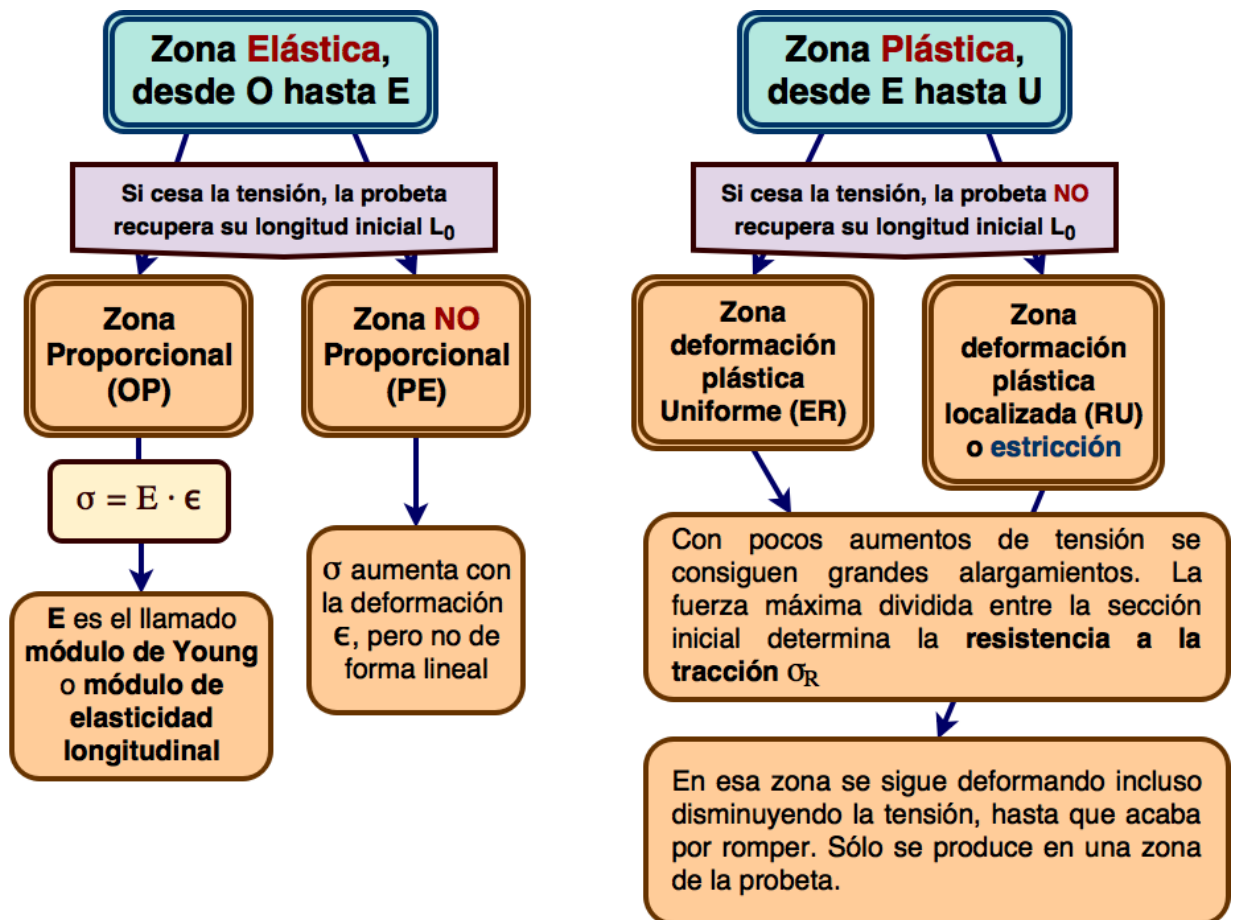


FIGURA 4: ESQUEMA DE ZONA ELÁSTICA Y PLÁSTICA

En la zona plástica, si elijo un punto cualquiera, A, y cesa el ensayo, disminuye el alargamiento provocado, pero **no recupera la probeta la longitud inicial**. En general ocurre que:

- ✓ Recupera algo de la deformación (deformación elástica), el alargamiento ε_e
- ✓ Conserva una deformación remanente o plástica, ε_p

3.2. Formas y dimensiones de la probeta

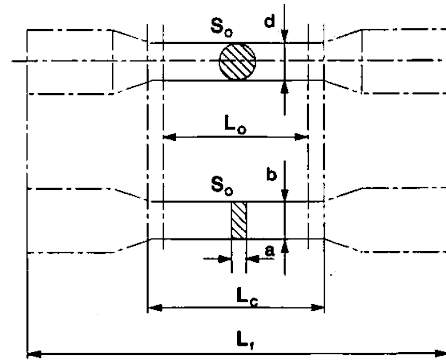


FIGURA 5: PROBETAS

Las probetas pueden ser de dos tipos: o cilíndricas o de sección rectangular. La parte central de la probeta debe mecanizarse de tal forma que esta sección sea constante.

Si la probeta es **cilíndrica**:

1. Sobre la parte de sección constante, o calibrada, se marca una longitud L_0 , o longitud inicial.
2. La longitud calibrada debe ser superior. Si ϕ es el diámetro de la probeta, la longitud de la parte calibrada debe estar en el intervalo $[L_0 + \phi/2, L_0 + 2\phi]$

Si la probeta es de **sección rectangular** S_0 :

1. Al igual que antes se marca una longitud L_0 , o longitud inicial.
2. La longitud calibrada debe estar en el intervalo $[L_0 + 1,5 \cdot \sqrt{S_0}, L_0 + 2,5 \cdot \sqrt{S_0}]$

Las probetas acaban en zonas de mayor sección (llamadas **cabezas**) para que las mordazas de la máquina de tracción sujeten mejor la probeta. Para que los ensayos con probetas de distintas longitudes sean comparables deben cumplir la relación:

$$K = \frac{L_{01}}{\sqrt{S_{01}}} = \frac{L_{02}}{\sqrt{S_{02}}} \text{ siendo K una constante.}$$

3.3. Resultados del ensayo

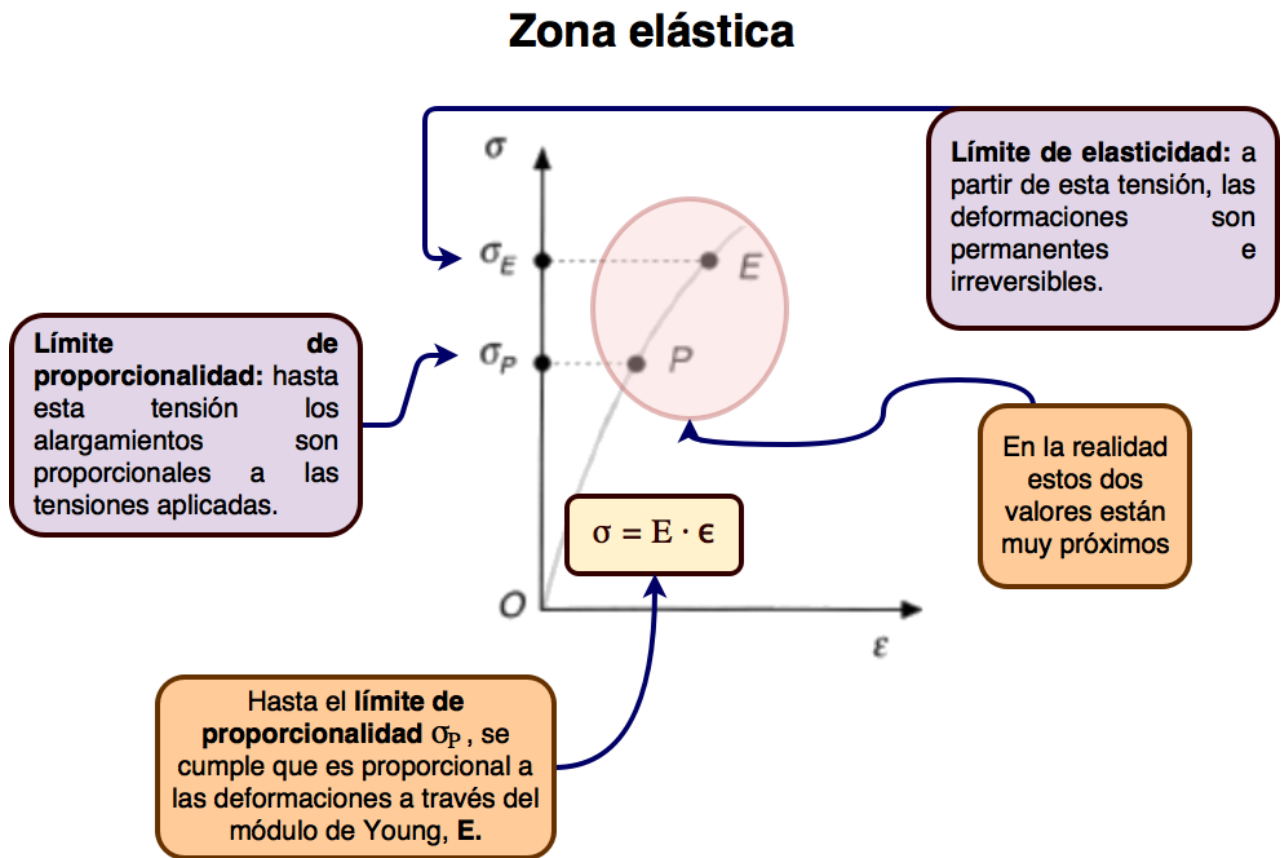


FIGURA 6: ESTUDIO DE LA ZONA ELÁSTICA.

Zona plástica y de rotura

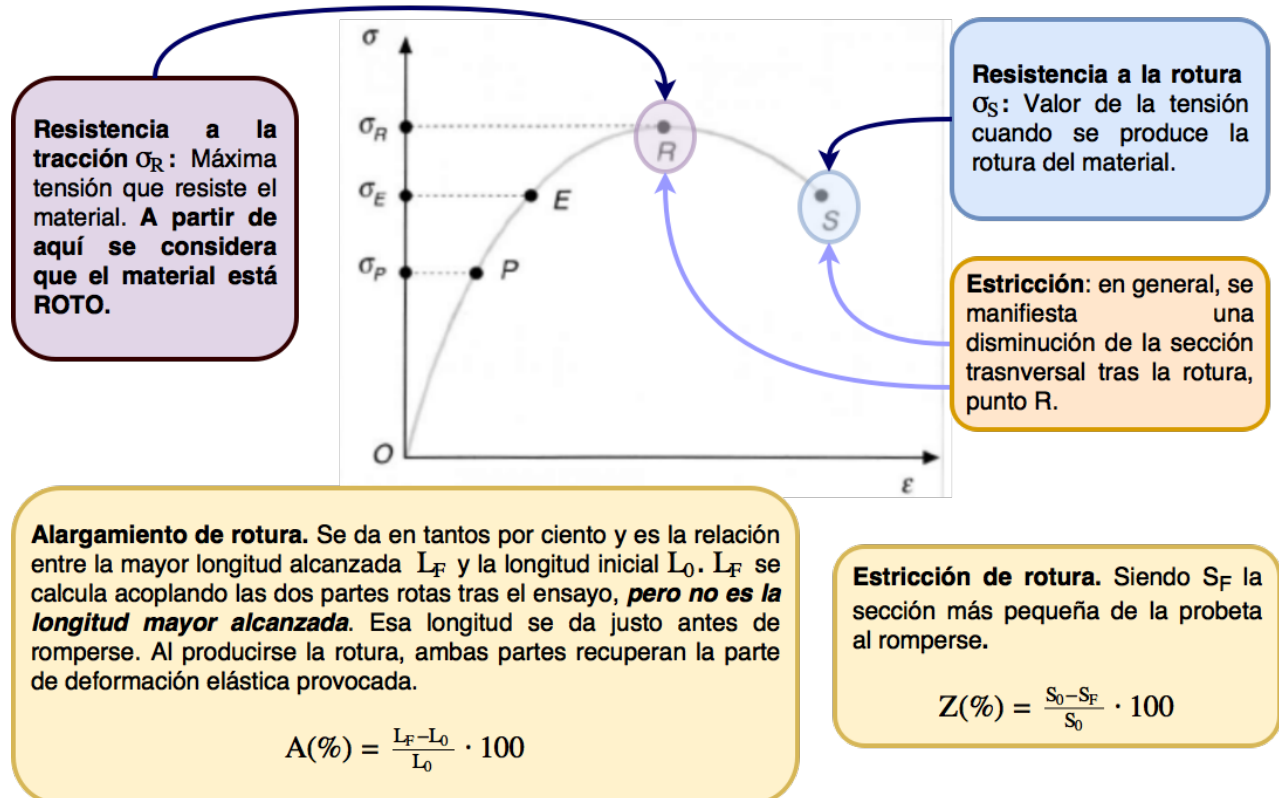


FIGURA 7: ESTUDIO DE LA ZONA PLÁSTICA.

También podemos hablar del **trabajo de deformación**, el área bajo la curva de fuerza-alargamiento $F - \Delta L$. Es el trabajo necesario para conseguir la rotura del material: $\int F \cdot dl$, o, también puede verse como la cantidad de energía que es capaz de absorber un material sin romperse, lo cual tiene interés en algunos ensayos relacionados con la industria automovilística.

3.3.1. Fluencia

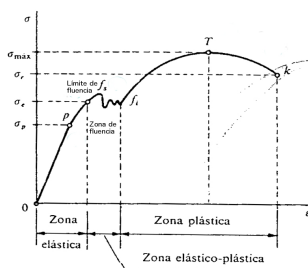


FIGURA 8: ZONA DE FLUENCIA: DE HANS TOPO1993

En algunos materiales metálicos, como el acero, al finalizar la zona elástica se produce una zona en la que se experimenta una deformación plástica considerable bajo una tensión fluctuante. Esta zona es la llamada zona de **fluencia** o **cedencia** (8), y los valores de las tensiones entre las que se produce se llaman tensiones límites de fluencia superior e inferior.

La fluencia es un fenómeno debido a la presencia, en el acero, de impurezas de nitrógeno.

3.3.2. Curva de tracción verdadera

Hasta ahora hemos considerado que la tensión que usamos en nuestro experimento viene dado por la relación $\sigma = \frac{F}{S_0}$ y que por tanto

S_0 era constante, pero sabemos que no es así, que la superficie transversal, en general, va disminuyendo al aumentarse las deformaciones y alcanzar en la estricción antes de la rotura su mínima sección.

Por lo tanto, si conociésemos en todo momento la sección S verdadera, podríamos calcular la verdadera tensión aplicada: $\sigma_v = \frac{F}{S}$; por lo tanto, a la tensión σ se le llama **tensión aparente** y a σ_v **tensión verdadera**. La curva I, corresponde a la tensión aparente frente a las deformaciones y la II a la tensión verdadera.

Pero eso no es todo. También podemos corregir la deformación. En efecto, tomamos $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$, pero en realidad es una **deformación aparente**, ya que la longitud varía con el tiempo. Si tomamos la **deformación verdadera**, L , podríamos obtener que: $\epsilon_v = \frac{L-L_0}{L} = \frac{\Delta L}{L}$.

Representamos dichas curvas con el número III ($\sigma - \epsilon_v$) y IV ($\sigma_v - \epsilon_v$). Esta última curva, se denomina **curva de tracción verdadera**, pero apenas se utiliza por la dificultad de obtenerla en la práctica (habría que conocer la sección exacta en cada punto del ensayo). Sin embargo, hay una relación exacta en muchos metales entre la tensión y deformación verdaderas: la relación de Hollomon $\sigma_v = K \cdot \epsilon_v^n$, donde K y n son constantes características de cada material.

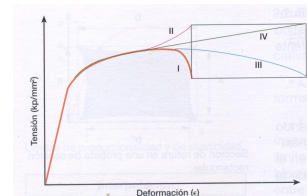


FIGURA 9: CURVAS DE TRACCIÓN VERDADERA

3.3.3. Tensión máxima de trabajo

Cuando en una estructura queremos asegurarnos que sus elementos responderán de forma segura a los esfuerzos a los que se verán sometidos cada uno, debemos asegurarnos que éstos trabajan en la zona de **deformación elástica**, para que cualquier variación pueda ser reversible (se eligen por tanto materiales con más o menos resistencia y se calculan sus secciones). A veces, estos esfuerzos son casi imposibles de ponderar; pensemos, por ejemplo, en el tirante de un puente. No sólo debemos calcular el peso de la estructura que soporta y de los vehículos que circularán por él sino otros imponderables, como nieve acumulada o la fuerza del viento.

Por lo tanto, y dependiendo de la reglamentación de cada país, se suele actuar de una de estas dos formas:

1. Maximizando las fuerzas a las que se pueda ver sometida cada pieza.
2. Minimizando la resistencia del material.

En el primer caso, las fuerzas que pensamos que actuarán sobre un elemento se multiplican por un factor mayor que la unidad (**coeficiente de seguridad**) y se realizan los cálculos de longitudes y secciones en función de este factor. En el segundo, una tensión indicativa del material (por ejemplo, el límite superior de la zona de fluencia o el límite de rotura) y **se divide por un coeficiente mayor que la unidad**, tomando como la tensión máxima que aguantará el material.

3.3.4. Máquinas de tracción



FIGURA 10: MÁQUINA DE TRACCIÓN

Suele tener estas características:

- ✓ Consta de dos dispositivos: uno productor de cargas y otro medidor de cargas y desplazamientos.

- ✓ La tracción se realiza siguiendo el eje de la probeta.
- ✓ Debe ser posible regular la velocidad tanto a la carga como a la descarga .
- ✓ Normalmente el sistema de producción de cargas es neumático.

Algunos vídeos de YouTube

1. [Ensayo de tracción de la Universidad de Almería](#)
2. [Ensayo de Tracción Universidad Nacional De Trujillo - Escuela De Ingeniería Mecánica](#)

4. Ensayos de dureza

La dureza es una propiedad mecánica importante de los materiales , pero no muy claramente definida. En algunos se obtiene por comparación con otros materiales que lo rayan y en otros por otros materiales que penetran. Por lo tanto, existe dos tipos de ensayos de dureza,y , en cada caso siempre hay que indicar el procedimiento usado:

- ✓ Ensayos de dureza al rayado.
- ✓ Ensayos de dureza a la penetración.

La dureza depende de:

- ✓ **Elasticidad del material.**
- ✓ **Estructura cristalina.**

En los **metales puros**, la dureza aumenta **proporcionalmente a la cohesión y número de átomos por unidad de volumen**.

En las **aleaciones**, la dureza puede aumentar usando **tratamientos térmicos o deformaciones**.

La dureza es una propiedad de gran importancia práctica, ya que el desgaste del material depende de ella así como su comportamiento ante la mecanización de piezas.

4.1. Ensayos de dureza al rayado

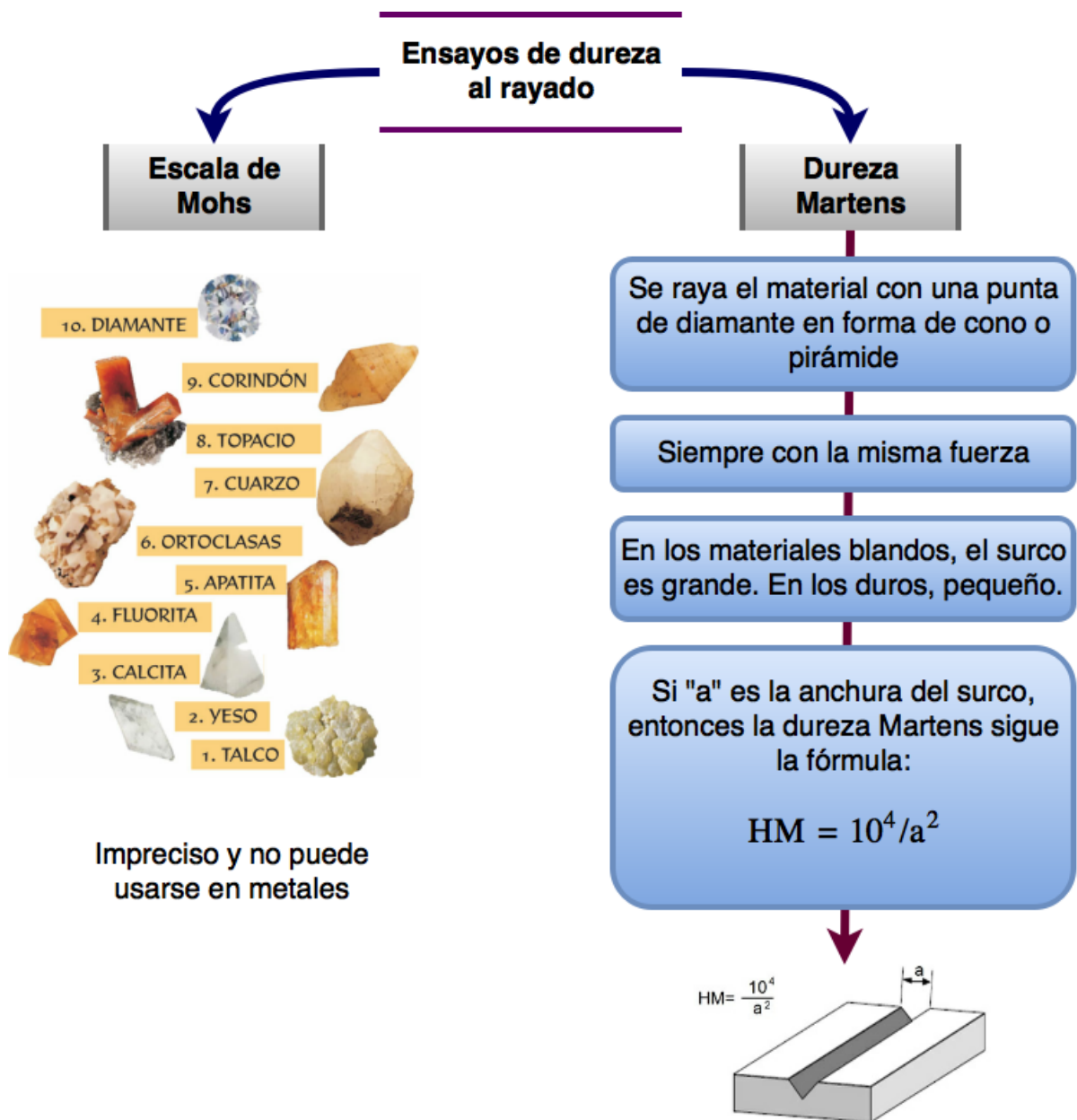


FIGURA 11: ENSAYOS DE DUREZA AL RAYADO.

4.2. Ensayos de dureza a la penetración

En estos ensayos una pieza, llamada **penetrador**, se aplica en la pieza con una fuerza controlada durante un tiempo. La velocidad de aplicación de la carga debe ser lenta para no influir en la medida. La relación entre la fuerza y la superficie de la huella nos dará la medida (a menor huella para una misma fuerza, mayor dureza).

4.2.1. Ensayo Brinell

- ✓ Propuesto por Johann August Brinell (1849-1925) en los año 1900.

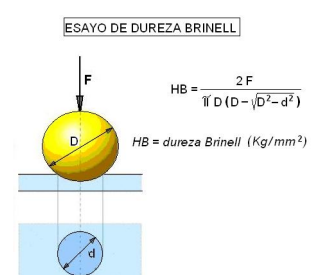


FIGURA 12: DUREZA BRINELL

- ✓ Penetrador: esfera de acero templado de gran dureza, de diámetro entre 1 y 10mm.
- ✓ Carga: entre los 3000kp y 1.25kp
- ✓ Intervalo de tiempo: suele ser de 15 s, a menos que sea un material muy blando y se necesite más.

La fórmula de la dureza BRINELL es (ver problema 1 de demostración)

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

Siendo F la fuerza ejercida en el ensayo, D el diámetro de la bola y d el diámetro de la huella. Para que el ensayo sea válido se ha demostrado que $0,25D < d < 0,5D$; así no hay ni rebajes ni realces en la huella y el ensayo es válido.

Más consideraciones

- ✓ La dureza Brinell suele expresarse en kp/mm^2 (kilopondios por milímetro cuadrado).
- ✓ El diámetro de la bola no puede ser mayor que el espesor del material. Por ejemplo, si el espesor es 5mm, la bola tiene que tener un diámetro de 2.5mm
- ✓ Según los materiales, los ensayos deben cumplir que la fuerza aplicada sea proporcional al Diámetro de la bola según una constante $F = K \cdot D^2$. Esa constante es distinta para cada material; por ejemplo, para el bronce y el latón $K=5$, pero para materiales férricos $K=30$

Constante K (medido en kp/mm^2)	Material
30	Material férrico
10	Aleaciones ligeras
5	Latón y Bronce
2.5	Metales blandos
1.25	Metales muy blandos
0.5	Metales extremadamente blandos

- ✓ Para cada material, hay una proporcionalidad entre la dureza Brinell y su resistencia a la tracción. Si tenemos un coeficiente de resistencia a la tracción de, por ejemplo, $C_{\sigma_R} = 0,4$, y una dureza Brinell de $HB = 200 \cdot kp/mm^2$, su resistencia a la tracción sería $\sigma_R = C_{\sigma_R} \cdot HB = 0,4 \cdot 200 \cdot kp/mm^2 = 80 \cdot kp/mm^2$
- ✓ La dureza Brinell se puede aplicar en materiales no muy duros, con durezas muy inferiores al penetrador.
- ✓ Si d es muy pequeña, se pueden cometer grandes errores.
- ✓ No se puede aplicar a materiales de por sí esféricos o cilíndricos.
- ✓ Ejemplo de medición y nomenclatura: **250 HB 10 500 30** indicaría que se ha obtenido una dureza de $250 \cdot kp/mm^2$, y el ensayo se ha obtenido con una bola de 10mm de diámetro, ejerciendo una carga de 500kp durante 30 segundos.

4.2.2. Ensayo Vickers

En el ensayo Vickers se usa una punta de diamante con forma de pirámide de base cuadrada, con un ángulo de 136° entre caras opuestas.¹

En realidad, la dureza Vickers usa la misma fórmula que la Brinell: $HV = \frac{F}{S}$, pero la superficie de penetración, lógicamente, no será la misma, y la expresión cambia.

Dureza Vickers	Huella cuadrada, por tanto $d = d_1 = d_2$
<p>-> De lado a, siendo $\overline{AB} = a$ y $\overline{OE} = h$. La superficie de las 4 caras sería 4 veces el área del triángulo \widehat{AOB}</p> <p>-> $S = 4 \cdot \frac{a \cdot h}{2} = 2ah$; además $h \cdot \sin(68^\circ) = a/2$</p> <p>-> Solemos medir la diagonal de la huella, por lo que</p> $d^2 = a^2 + a^2 = 2a^2$ <p>-> Luego la superficie, en función de "d" sería</p> $S = 2ah = 2 \cdot a \cdot \frac{a}{2 \cdot \sin(68^\circ)} = \frac{a^2}{\sin(68^\circ)} = \frac{d^2}{2 \cdot \sin(68^\circ)} = \frac{d^2}{1.8544}$ <p>-> Y por fin, la fórmula de la dureza Vickers</p>	

$$HV = \frac{F}{S} = 1.8544 \cdot \frac{F}{d^2}$$

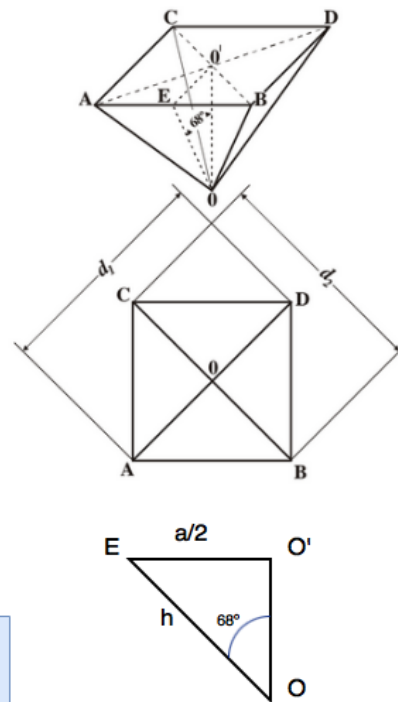


FIGURA 13: DUREZA VICKERS

1. La diagonal de la huella se mide mediante el uso de un microscopio.
2. Si la penetración no ha sido totalmente vertical, la huella tendrá dos diagonales (no será cuadrada). Se cogería el valor medio de ambas.
3. Se suele usar una carga de 30kp, aunque pueden variar entre 1 y 120 kp.
4. Debe cumplirse que el espesor de la prueba cumpla $s > 8 \cdot h \cdot \cos(68^\circ) \rightarrow s > 8 \cdot d/7$ y para mayor seguridad, $s > 1,2 \cdot d$
5. Presenta algunas ventajas: el penetrador siempre es el mismo, y no hay que cambiarlo según la carga; las superficies pueden ser curvas; el valor es independiente prácticamente del valor de la carga y se puede realizar sobre materiales muy duros.

¹El ángulo de 136° no es casual. Coincide con el ángulo $2 \cdot \phi$ del ensayo Brinell cuando se cumple que $d/D = 0,375$. Así las durezas Brinell y Vickers coinciden, hasta, aproximadamente, el valor 300. A partir de ese valor la dureza Vickers es superior a la Brinell, ya que la deformación de la bola falsea los resultados.

4.2.3. Ensayo Rockwell

El ensayo Rockwell es un ensayo más impreciso que los anteriores, y mucho más sencillo. Se efectúa de dos formas:

1. **Penetrador:** bola de acero de $\phi = 1,59\text{mm}$. Para materiales blandos (cuya dureza Vickers estaría entre 60 y 150 HV). Se obtiene la escala **Rockwell B (HRB)**.
2. **Penetrador:** cono de diamante de ángulo 120° redondeado en su punta con un casquete esférico de 0.2mm de radio. Se obtiene la escala **Rockwell C (HRC)**.

Los pasos para realizarlo son:

1. Precarga de 10kp, lo que deja una huella de altura h_1 .
2. Carga de: 90kp si medimos escala Rockwell B (HRB) o 140kp si medimos escala Rockwell C (HRC). Se produce una huella de altura h_2 .
3. Transcurridos unos segundos se disminuye la fuerza aplicada hasta llegar al valor de la precarga 10kp. Se llegará a una profundidad de h_3 .
4. Ya que en el proceso se producen deformaciones plásticas, no elásticas, y el material no se recupera, se cumple que $h_3 > h_1$.
5. Se mide la diferencia entre ambas alturas: $e = h_3 - h_1$.
 - a) En la escala $HRC = 100 - e$
 - b) En la escala $HRB = 130 - e$
6. Normalmente $e_{max} = 0,2 \cdot \text{mm}$ y la precisión de e suele ser de $\Delta e = 0,002 \cdot \text{mm}$

5. Ensayos de resistencia al impacto

Estos ensayos persiguen una medida de la **tenacidad**: **la capacidad de un material de absorber energía sin partirse (normalmente por deformación plástica)**. Lo contrario de la tenacidad es la fragilidad.

Un material tenaz se deformará en gran medida antes de producirse su rotura. Un material frágil apenas se deformará. Los metales muy dúctiles (en los que se producen alargamientos elevados antes de producirse su rotura) suelen ser los más tenaces.

5.1. Ensayo de tracción por choque

Se realiza un ensayo de tracción con una aplicación muy rápida de la fuerza. El área comprendida bajo la curva representa el trabajo necesario para partir el material. Si este trabajo es pequeño, el material es frágil. Al contrario, si es grande, el material es tenaz. La tenacidad sería ese trabajo dividido por el volumen de la probeta utilizada.

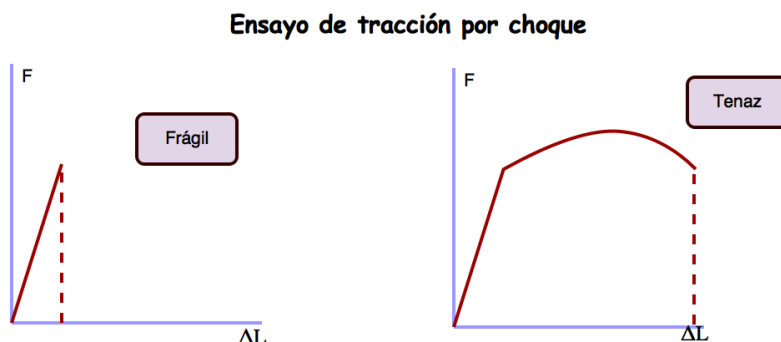


FIGURA 14: ENSAYO DE TRACCIÓN POR CHOQUE

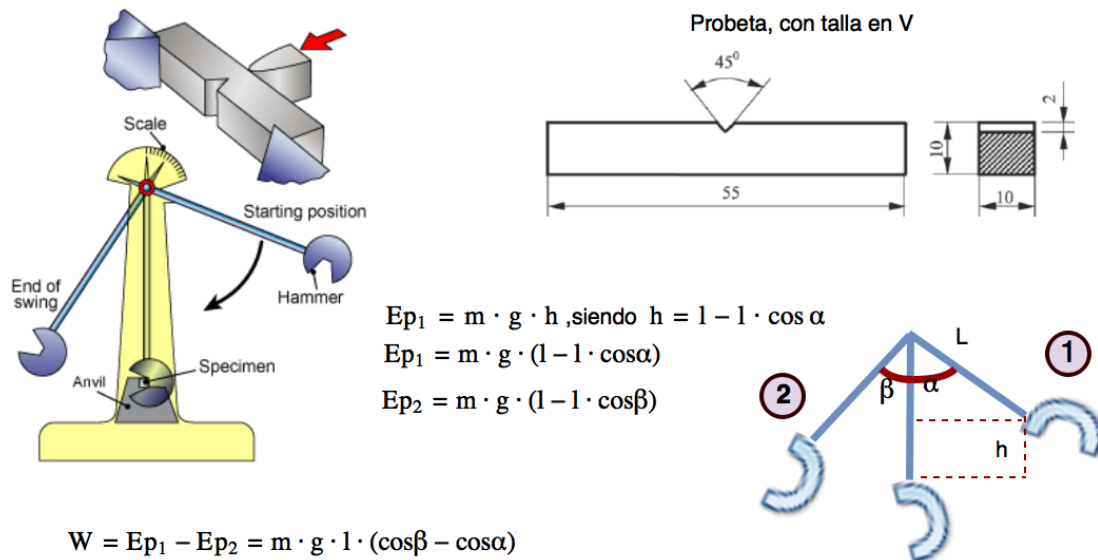
5.2. Ensayo de flexión por choque o péndulo Charpy

El más usado es el ensayo de resiliencia o ensayo Charpy. Consiste en golpear una probeta por el lado opuesto a su entallado con un péndulo que se deja caer desde una altura determinada. La diferencia entre las energías potenciales inicial y final del péndulo es la energía consumida por el material al romperse, y viene dada por la expresión:

$$KCV = \frac{W}{S_0} = \frac{P \cdot L \cdot (\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1)}{S_0}$$

Siendo S_0 la sección de la probeta por la parte del entallado, usualmente $80 \cdot \text{mm}^2$. La unidad de resiliencia en el S.I. es el J/m^2

Péndulo de Charpy



$$W = E_{p1} - E_{p2} = m \cdot g \cdot l \cdot (\cos\beta - \cos\alpha)$$

La medida de la resiliencia (KCU o KCV, según la forma de la entalla)

$$\tau = KCV = \frac{W}{S_0} = \frac{m \cdot g \cdot l \cdot (\cos\beta - \cos\alpha)}{S_0} \quad \text{siendo típicamente } S_0 = 80\text{mm}^2$$

FIGURA 15: PÉNDULO DE CHARPY

Normalmente los péndulos Charpy están normalizados. Su energía inicial suele ser de 300J y en el momento del choque la velocidad es de 5 m/s. Si la probeta no llega a romperse hay que indicar esta circunstancia en los resultados de ensayo.

Hay que recordar que este ensayo es distinto al de tracción. *En este se produce una flexión*, la velocidad es más rápida que en el ensayo de tracción, y, por tanto, hay materiales que se rompen de forma dúctil (con gran deformación) frente a una tracción y de forma frágil en el ensayo de resiliencia.

La tenacidad o resiliencia depende de la temperatura. Un material tenaz, de alta resiliencia, puede, en un intervalo de temperatura pequeño convertirse en un material frágil al disminuir la temperatura. Esto hay que tenerlo en cuenta cuando usamos materiales. El intervalo de temperaturas en el que el material pierde su tenacidad se denomina **zona de transición**.

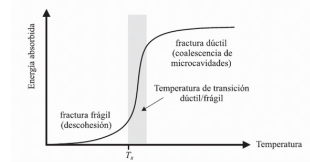


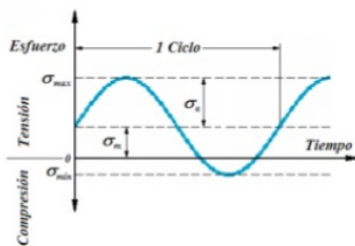
FIGURA 16: DIAGRAMA DE RESILIENCIA FRENTE A TEMPERATURA

6. Ensayo de Fatiga

Ensayos de Fatiga

Esfuerzos cíclicos:

Al estar variando la carga los esfuerzos se pueden analizar como esfuerzos cíclicos, los cuales son esfuerzo alternante y esfuerzo medio.



$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

Amplitud del ciclo

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

Tensión media

Fatiga en elementos sin defectos

Piezas como ejes, bielas manivelas

Dos etapas: aparición de fisuras (nucleación) y crecimiento de fisuras hasta un tamaño crítico que provoca la rotura

Fatiga en elementos con defectos

Puentes, barcos, aviones: estructuras por unión de elementos más simples

La duración de la fisura (normalmente por la unión) depende de la velocidad de crecimiento de las mismas. Hay que controlarlas con análisis no destructivos: radiografías, ultrasonidos, etc.

FIGURA 17: ENSAYOS POR FATIGA

6.1. Ensayo por fatiga: flexión rotativa

Consiste en aplicar a una probeta un esfuerzo de flexión constante provocado por dos pesos P. Mediante un motor eléctrico se hace girar la probeta, de forma que su parte superior, que estaba sometida a un esfuerzo de compresión, al girar media vuelta se somete a uno de tracción. Se determina el número de ciclos que es capaz de soportar para distintas amplitudes de carga (variando los pesos) antes de producirse la rotura, manteniendo constante la tensión media o la tensión mínima.

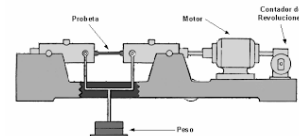


FIGURA 18: MÁQUINA DE FLEXIÓN ROTATIVA

6.1.1. Diagrama de Whöler

- ✓ Escojo una amplitud de carga $\Delta\sigma$ amplia, como unos 2/3 de la tensión de rotura por tracción del material.

- ✓ Con una probeta, mido el número de ciclos necesarios para que, por fatiga con flexión rotativa, el material se rompa.
- ✓ Escojo otras probetas y voy disminuyendo la amplitud de carga; el número de ciclos aumenta.
- ✓ Represento las amplitudes de carga frente a N , o frente al $\log N$.

Como se puede ver en la figura (19), para el acero 1045, por debajo de una amplitud de carga $\Delta\sigma_e = 300 \text{ MN/m}^2$, el número N de ciclos de rotura tiende a infinito. Por debajo de ese valor $\Delta\sigma_e$ no se produce rotura por fatiga del material, por lo que se denomina **límite de fatiga**. Suele ser de 0.4 ó 0.5 veces la carga de rotura del material. Muchos aceros y aleaciones de titanio presentan este comportamiento.

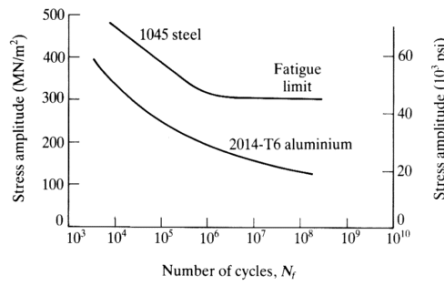


FIGURA 19: DIAGRAMA DE WHÓLER

Para otras aleaciones no férreas, como el 2014-T6 aluminio de la figura, no hay un valor límite de fatiga definido. Con el número suficiente de ciclos, el material se parte. Se suele tomar como límite de fatiga en estos casos el que se alcanza tras 10 ó 100 millones de ciclos.

Para saber más: [diagramas de Whóler en Wikipedia \(curvas S-N\)](#)

En componentes que no se agrieten, la fatiga de alto número de ciclos suele seguir la ecuación: $\Delta\sigma \cdot N^a = b$, siendo a y b constantes del material.

6.1.2. Diagrama de Goodman-Smith

Los diagramas de Goodman-Smith representan las tensiones superior e inferior a las que se somete un material en función de la tensión media (eje x). Observa bien la gráfica:

- ✓ En el punto O, las tensiones superior e inferior son iguales, luego $\sigma_m = 0 \cdot \text{MPa}$
- ✓ En el punto F, la tensión inferior $\sigma_i = 0 \cdot \text{MPa}$ luego $\sigma_m = \frac{\sigma_s}{2} \approx 300 \cdot \text{MPa}$. En este punto la oscilación es máxima, cualquiera que sea N .
- ✓ Evidentemente, si el valor de la tensión media se aproxima al de rotura teórica, R_m , las amplitudes (diferencias entre el valor mínimo y máximo) deben ser pequeñas, ya que si no se alcanzaría la rotura del material. Desde el punto F la amplitud de la oscilación se reduce.
- ✓ En la curva de la figura, la rotura se alcanza antes en la práctica: punto G, a R_{eL} .

La curva de Goodman-Smith se representa para un número de ciclos N . Si represento la misma curva para un número de ciclos inferior $N_2 < N$, la curva se ensancha y para un número superior, se estrecha: $N_1 > N$

Si aproximo la curva de Goodman-Smith a una recta, en la que $\Delta\sigma_0$ es la amplitud de carga para $\sigma_m = 0 \cdot \text{MPa}$ y sabiendo que σ_R es la resistencia a la rotura por tracción, tenemos que la recta cumple que:

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

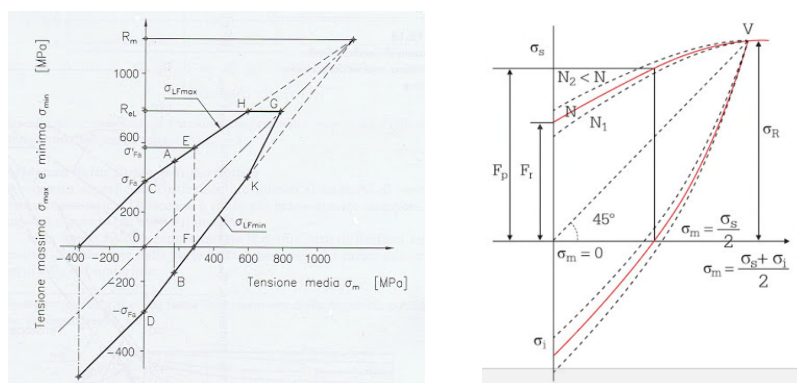


FIGURA 20: DIAGRAMAS DE GOODMAN-SMITH

7. Ensayos Tecnológicos

Un ensayo tecnológico no es un ensayo que pretende comprobar o medir una magnitud física como los anteriores (ensayos «científicos»), sino que es un ensayo que permite comprobar, bien porque los procedimientos anteriores sean más caros o más inaccesibles, si un material es o no útil a un determinado propósito.

Este tipo de ensayo es muy variado, y pretende emular las condiciones a las que un material se verá sometido en la práctica. En muchos casos, el ensayo depende de la forma geométrica del material.

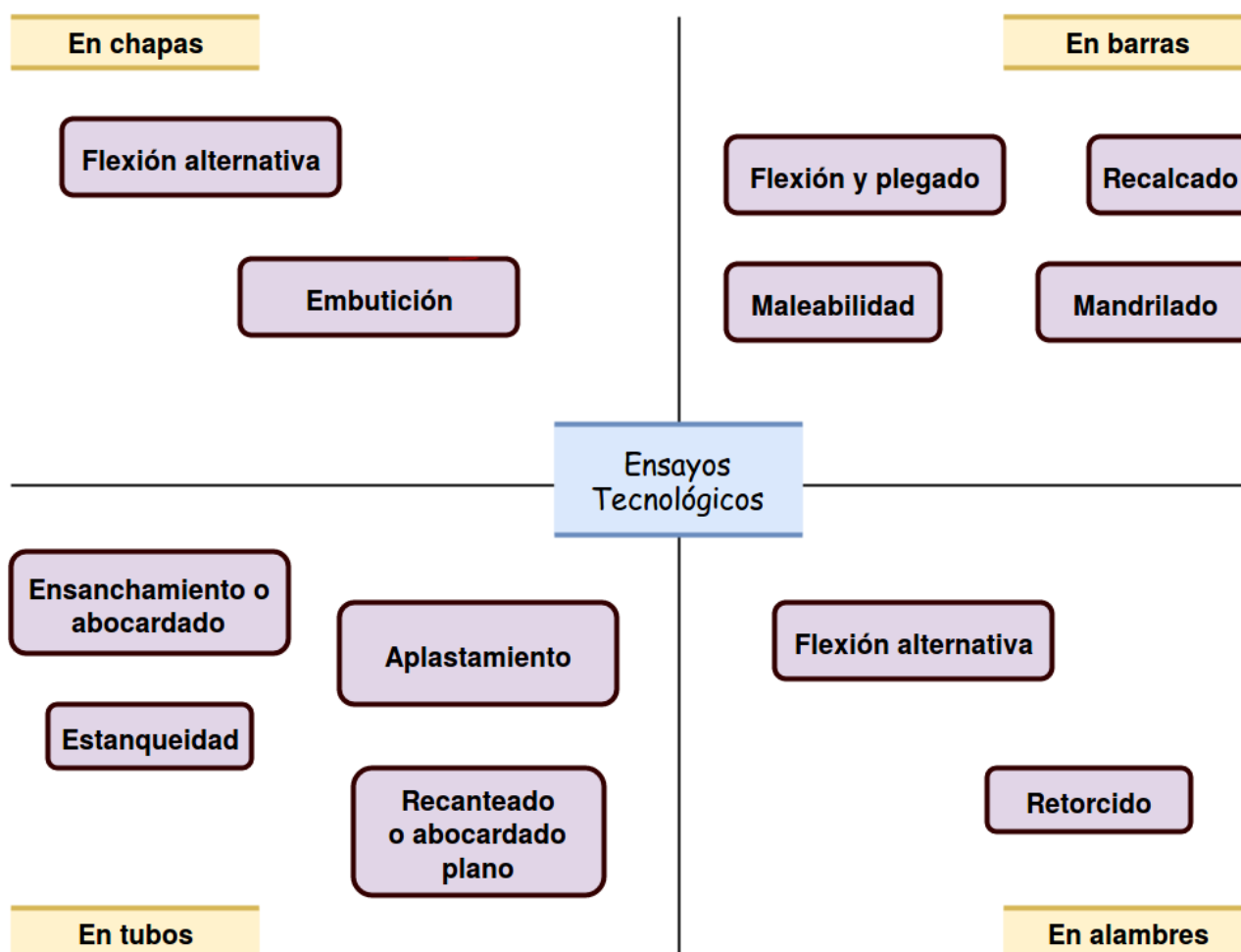


FIGURA 21: ENSAYOS TECNOLÓGICOS

Hacer ejercicio sobre ensayos tecnológicos de la hoja de ejercicios.

8. Ensayos no destructivos (control de defectos)

Se utilizan para comprobar, de piezas ya manufacturadas, que no poseen defectos o que los posibles defectos no afectarán a la calidad de la construcción al usarlos. No pueden dejar huella o malformación en la pieza comprobada. Por eso también se denominan **no destructivos**. No sólo se somete a estos ensayos a una pieza comercializada para comprobar su idoneidad sino que también se usan para comprobar, estando ya en servicio, si mantiene los parámetros de dicha idoneidad. Por ejemplo, el tubo de un gaseoducto no debe presentar grietas al montarse pero también se comprueba ya en servicio.

Entre los métodos destacamos:

- ✓ **Ensayos macroscópicos:** líquidos penetrantes para localizar poros o grietas.
- ✓ **Ensayos ópticos:** microscopios metalográficos → localización de grietas, poros, tamaño y forma de grano, etc.
- ✓ **Ensayos magnéticos:** defectos de continuidad (grietas, sopladuras², etc.) así como estado superficial.
- ✓ **Ensayos eléctricos:** variación de la resistencia eléctrica por presencia de poros, impurezas, grietas (especialmente en vías de ferrocarril).
- ✓ **Ensayos con ultrasonidos** (105 a 107 KHz): detectan discontinuidad en los materiales como la profundidad de los defectos.
- ✓ **Ensayos con rayos X (espesores de hasta 10cm) y rayos gamma γ (espesores de hasta 25cm):** radiografías y gammagrafías que ponen de manifiesto cualquier irregularidad.

9. Apéndice 1

Ciencia de los materiales. <https://www.youtube.com/playlist?list=PLB82228356728B994>

Ensayo de tracción. <https://www.youtube.com/watch?v=I7hTLXsQc6U&list=PLB82228356728B994>

Diagrama tensión-deformación. <https://www.youtube.com/watch?v=jIxwVfTuK6Q&list=PLB82228356728B994>

Ensayo de rotura por impacto. <https://www.youtube.com/watch?v=HqoTZWB3Q5I&list=PLB82228356728B994>

Ensayos de dureza. <https://www.youtube.com/watch?v=66pznO3EjRU&list=PLB82228356728B994>

Ensayo de fatiga: https://www.youtube.com/watch?v=dZLExvQ_7Rg&NR=1&feature=endscreen

Clasificación de los ensayos: <http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1H034YQRJ-16MN382-V5J/Ensayos%20de%20materiales.c16MN382-V5J&partName=htmljpeg>

9.1. Otros

Ensayo de fluencia. <https://www.youtube.com/watch?v=HbgUu-NGWOc&list=PLB82228356728B994>

²burujas en el interior de materiales fundidos, atrapadas al solidificarse éste