

LABORATORIO DE ANÁLISIS Y CONTROL DE CALIDAD
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y TURISMO

TEMARIOS PARA OPOSICIONES

Tema 4 Ensayos de materiales:
Ensayos físicos. Ensayos fisicoquímicos.
Ensayos metalográficos.

ENSAYOS DE MATERIALES: ENSAYOS FÍSICOS. ENSAYOS FISICOQUÍMICOS. ENSAYOS METALOGRAFICOS

Los ensayos de materiales son fundamentales para evaluar las propiedades y el comportamiento de los materiales en diversas condiciones. Estos ensayos se dividen en varias categorías según las características que se desean analizar. En este texto, abordaremos tres tipos principales de ensayos: físicos, fisicoquímicos y metalográficos.

Ensayos Físicos

Definición

Los ensayos físicos se enfocan en determinar las propiedades mecánicas y físicas de los materiales sin alterar su composición química. Estos ensayos son esenciales para conocer cómo se comportarán los materiales bajo diferentes tipos de esfuerzos y condiciones ambientales.

Tipos de Ensayos Físicos

1. **Ensayo de Tracción:** Evalúa la resistencia de un material al ser estirado. Se mide la tensión máxima que puede soportar antes de romperse.
2. **Ensayo de Compresión:** Determina la resistencia de un material a la compresión. Es útil para materiales que estarán sometidos a cargas de compresión en su uso final.
3. **Ensayo de Dureza:** Mide la resistencia de un material a la penetración. Existen varios métodos, como el ensayo Rockwell, Vickers y Brinell.
4. **Ensayo de Impacto:** Analiza la capacidad de un material para absorber energía antes de fracturarse. Los métodos más comunes son Charpy y Izod.
5. **Ensayo de Fatiga:** Examina cómo un material resiste la aplicación de cargas cíclicas repetidas a lo largo del tiempo.
6. **Ensayo de Fluencia:** Determina la deformación lenta y progresiva de un material sometido a una carga constante a lo largo del tiempo.

Ensayos Fisicoquímicos

Definición

Los ensayos fisicoquímicos combinan métodos físicos y químicos para analizar la composición y las propiedades químicas de los materiales. Estos ensayos son cruciales para comprender la interacción entre la estructura y las propiedades de los materiales.

Tipos de Ensayos Fisicoquímicos

1. **Análisis Térmico:** Incluye técnicas como la calorimetría diferencial de barrido (DSC) y el análisis termogravimétrico (TGA), que estudian las propiedades térmicas de los materiales.
2. **Análisis de Espectroscopia:** Utiliza la interacción de la radiación electromagnética con los materiales para determinar su composición química. Ejemplos incluyen la espectroscopia infrarroja (IR) y la espectroscopia de absorción atómica (AAS).
3. **Ensayo de Corrosión:** Evalúa la resistencia de un material a la degradación química en ambientes específicos. Los métodos comunes incluyen la inmersión en soluciones corrosivas y el ensayo de niebla salina.
4. **Ensayo de Conductividad Eléctrica y Térmica:** Mide la capacidad de un material para conducir electricidad o calor, lo cual es fundamental para aplicaciones en electrónica y construcción.

Ensayos Metalográficos

Definición

Los ensayos metalográficos se centran en el estudio de la microestructura de los materiales metálicos mediante técnicas de observación y análisis. Estos ensayos son esenciales para entender las propiedades mecánicas y físicas de los metales y aleaciones.

Tipos de Ensayos Metalográficos

1. **Microscopía Óptica:** Utiliza microscopios ópticos para observar la microestructura de los metales. Permite analizar granos, fases y defectos.
2. **Microscopía Electrónica:** Incluye técnicas como la microscopía electrónica de barrido (SEM) y la microscopía electrónica de transmisión (TEM), que proporcionan imágenes de alta resolución de la microestructura.
3. **Difracción de Rayos X (XRD):** Determina la estructura cristalina de los materiales metálicos, esencial para comprender sus propiedades mecánicas y físicas.
4. **Análisis Químico por Microsonda Electrónica:** Permite la determinación de la composición química en áreas muy pequeñas del material.
5. **Preparación de Muestras:** Involucra corte, montaje, pulido y ataque químico de muestras metálicas para su observación y análisis. La calidad de la preparación es crucial para obtener resultados precisos.

1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Los materiales se diferencian entre sí por sus propiedades. Estas propiedades pueden agruparse de maneras diferentes. No obstante, desde el punto de vista técnico resulta útil la siguiente clasificación:

Las propiedades fisicoquímicas Son aquellas propiedades que nos informan sobre el comportamiento del material ante diferentes acciones externas, tales como el calentamiento, las deformaciones o el ataque de productos químicos.

Entre las mismas podemos citar la densidad, relación entre la masa y el volumen, la conductividad térmica de un material está relacionada con la mayor o menor dificultad que tiene el material para conducir el calor; la dilatación térmica indica el aumento de volumen que experimenta un material cuando se calienta; la transparencia es la facilidad con la que un material permite que lo atraviese la luz; la conductividad eléctrica indica si un material es buen o mal conductor de la corriente eléctrica, etc.

Propiedades ecológicas Son aquellas propiedades relacionadas con la mayor o menor nocividad del material para el medio ambiente: toxicidad, volatilidad, facilidad de reciclado, etc.

En tecnología las propiedades más importantes son las mecánicas, hacen referencia al comportamiento del material ante la aplicación de diferentes tipos de esfuerzos.

Ductilidad: capacidad de los materiales para deformarse cuando se les aplica un esfuerzo de tracción. Mide la capacidad de un material para deformarse en forma de hilos.

Maleabilidad: capacidad de los materiales de deformarse plásticamente frente a esfuerzos de compresión. Mide la capacidad de un material para deformarse en forma de láminas.

Tenacidad: es la capacidad de un material para soportar esfuerzos de rotura aplicados de manera lenta. Un esfuerzo puede ser de tracción, de compresión, de flexión, de torsión y de cizalladura.

Elasticidad: capacidad de un material de recobrar su forma primitiva cuando cesa la causa que lo deformó.

Resiliencia: capacidad de un material de absorber energía en la zona elástica al someterlo a un esfuerzo de rotura. Mide la capacidad para resistir golpes sin romperse.

Dureza: resistencia que opone un material a ser penetrado o rayado por otro.

Fatiga: resistencia a la rotura de un material sometido a esfuerzos variables tanto en magnitud como en sentido.

Plasticidad: capacidad de algunos materiales sólidos de adquirir deformaciones permanentes sin llegar a romperse.

2.- ENSAYOS TECNOLÓGICOS

Son procedimientos normalizados con los que se cuantifican las diferentes propiedades de los materiales.

Clasificación de los ensayos

Con los ensayos se intenta simular las condiciones de trabajo para determinar la idoneidad del material o pieza en cuestión. Debido a la diversidad de propiedades y a las diferentes formas de determinarlas, los ensayos se pueden clasificar en:

- Según la rigurosidad del ensayo

Ensayos científicos: son ensayos que se hacen en laboratorios especializados y permiten obtener valores precisos y reproducibles de las propiedades ensayadas, ya que las condiciones a las que se somete el material están convenientemente normalizadas.

Ensayos tecnológicos: se hacen en fábrica e indican calidades de material.

- Según la naturaleza del ensayo

Ensayos químicos: permiten conocer la composición cualitativa y cuantitativa del material, así como la naturaleza del enlace químico o la estabilidad del material en presencia de compuestos corrosivos.

Ensayos metalográficos: con el uso de microscopios, permiten conocer la estructura interna del material.

Ensayos físicos: tienen por objeto cuantificar ciertas propiedades físicas tales como: densidad, punto de ebullición, punto de fusión, conductividad eléctrica, conductividad térmica, etc.

Ensayos mecánicos: con ellos se determina la resistencia del material a ciertos esfuerzos. Los ensayos de este tipo más importantes son: dureza, fatiga, choque, tracción, etc.

- Según la utilidad de la pieza después de ser sometida al ensayo

Ensayos destructivos: son aquellos que producen un daño o rotura de la pieza sometida al ensayo.

Ensayos no destructivos: se analizan los defectos externos e internos de una pieza mediante procedimientos de observación directa empleando microscopios, rayos X, ultrasonidos, campos magnéticos, etc.

2.1.- ENSAYOS DE DUREZA

Los más empleados son los ensayos de dureza estáticos, donde se emplea un elemento “penetrador” y se mide la huella que produce en el material a medir. La dureza viene dada por la relación entre fuerza y superficie de la huella.

- Método Brinell (HB)

Emplea como penetrador una bola de acero muy duro de diámetro conocido. Al someter la bola a una carga determinada, se produce en el material una huella en forma de casquete esférico. La dureza Brinell queda determinada por;

$$HB = \frac{F}{A}$$

Este ensayo se utiliza en materiales blandos (de baja dureza) y muestras delgadas. El penetrador usado es una bola de acero templado de diferentes diámetros. Para los materiales más duros se usan bolas de carburo de tungsteno. En el ensayo típico se suele utilizar una bola de acero de 10 a 12 milímetros de diámetro, con una fuerza de 3.000 kilopondios. El valor medido es el diámetro del casquete en la superficie del material.

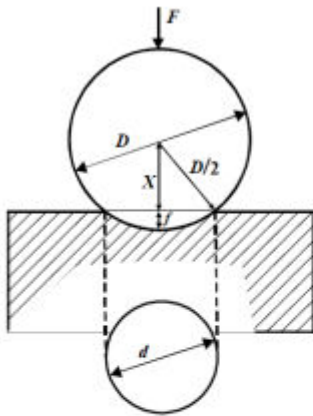
La carga a aplicar viene dada por la siguiente expresión $F = KD^2$

K es una constante que depende del material, 5 (aluminio, magnesio y sus aleaciones), 10 (cobre y sus aleaciones), y 30 (aceros).

D es el diámetro de la bola.

F la fuerza en Kg a aplicar.

La determinación de superficie de la huella se realiza por $A = \pi \cdot D \cdot f$



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

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

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

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

HB = Dureza Brinell en **kg/mm²**

F = Carga en **kg**

A = Superficie de la huella en **mm²**

D = Diámetro de la bola en **mm**

f = Flecha (profundidad de la huella) en **mm**

d = Diámetro de la huella en **mm**

Este ensayo sólo es válido para valores menores de 600 HB en el caso de utilizar la bola de acero, pues para valores superiores la bola se deforma y el ensayo no es válido. Se pasa entonces al ensayo de dureza Vickers.

Algunos valores típicos de dureza serían: Acero (blando): 120 HB, Acero de herramientas: 500 HB, Acero inoxidable: 250 HB, Aluminio: 15 HB, Cobre: 35 HB, Madera: entre 1 HB y 7 HB, Vidrio: 482 HB

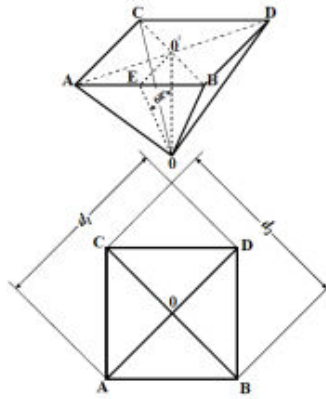
La denominación del resultado del ensayo se describe de la siguiente manera:
340 HB 10/3000/30

Siendo el primer número el resultado del ensayo en Kp/mm².

Y los valores que siguen a las siglas representan: 10 (diámetro de la bola en mm), 3000 (carga en Kp) y 30 (duración de la carga en segundos)

Método Vickers HV

Este método se emplea para durezas superiores a 400 HB. El método es igual al caso anterior, con la salvedad del penetrador que es una pirámide regular de base cuadrada cuyas caras forman un ángulo de 136°. Sus cargas van de 5 a 125 kilopondios (de cinco en cinco). El tiempo que dura el ensayo es de unos 20 s.



$$HV = \frac{F}{A} \quad A = 4 \cdot \text{area}(OAB)$$

donde A es el área de la huella que el penetrador produce en el material.

$$A = 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \overline{AB} \cdot \overline{OE} = 2 \cdot \overline{AB} \cdot \overline{OE}$$

$$\text{sen } 68^\circ = \frac{\overline{OE}}{\overline{AB}} \Rightarrow \overline{OE} = \frac{\overline{AB}}{\text{sen } 68^\circ}$$

$$\overline{OE} = \frac{\overline{AB}}{2}$$

$$A = 2 \cdot \overline{AB} \cdot \frac{\overline{AB}}{\text{sen } 68^\circ} = \frac{\overline{AB}^2}{\text{sen } 68^\circ}$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \text{ como } \overline{AB} = \overline{AC}$$

$$d^2 = 2 \cdot \overline{AB}^2 \Rightarrow A = \frac{d^2}{2 \cdot \text{sen } 68^\circ} = \frac{d^2}{1.854}$$

$$HV = 1.854 \frac{F}{d^2}$$

HV = Dureza Vickers en kg/mm²

d = Diagonal de la huella en mm

F = Carga en kilogramos kg

El resultado de la medición viene dado por: 315 HV 30

Donde el 315 es el valor obtenido en Kp/mm² y 30 la carga aplicada en Kp

Método Rockwell

Este método, a diferencia de los anteriores, permite determinar la dureza de un material, no a partir de la superficie de la huella sino de su profundidad. El penetrador empleado depende del material a ensayar, para los materiales blandos empleamos una bola de acero y para los duros un cono de diamante con 120° de ángulo, denominándose el ensayo según el penetrador con una letra que sigue a las siglas HR, los ensayos más comunes son **Rockwell B y C, HRB o HRC**.

Denominación del ensayo	BOLA					CONO		
	B	E	F	G	K	A	C	D
Diámetro de la bola (mm)	1.590	3.175	1.590	1.590	3.175	-	-	-
Carga (kg)	100	100	80	150	150	60	150	100

Forma de realizar el ensayo

1º Se aplica al penetrador una carga de 10 Kg durante un tiempo determinado. Esta carga provoca una huella de profundidad h1.

2º Después, dependiendo de la dureza del material, se añade la carga adicional que puede ser de 60, 100 ó 150 kg. La profundidad de la huella alcanza entonces el valor h2.

3º Al retirar la carga adicional, el penetrador retrocede por la recuperación elástica del material, hasta una profundidad h3.

Siendo $e = \frac{h_3 - h_1}{0,002}$ h_3, h_1 en mm

La dureza Rockwell queda determinada por

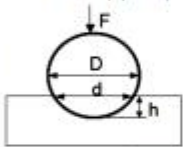
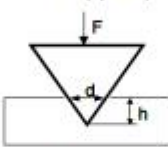
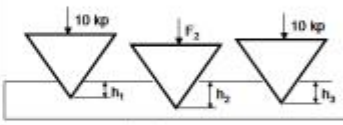
$HRC = 100 - e$ $HRB = 130 - e$

Cuanto mayor es la profundidad e, menor es la dureza del material.

El durómetro para Rockwell está provisto de una escala graduada que permite realizar una medida instantánea de la profundidad de la huella. En los anteriores casos hay que utilizar una lupa graduada o un microscopio para medir el diámetro de la huella o diagonales de la pirámide.

Símbolo de la escala	Penetrador	Carga mayor (kg)	Aplicaciones
A	Diamante	60	Aceros tratados y sin tratar. Materiales muy duros. Chapas duras y delgadas.
B	Esfera de 1/16 pulgada	100	Aceros recocidos y normalizados.
C	Diamante	150	Aceros tratados térmicamente.
D	Diamante	100	Aceros cementados.
E	Esfera de 1/8 pulgada	100	Metales blandos y antifricción.
F	Esfera de 1/16 pulgada	60	Bronce recocido.
G	Esfera de 1/16 pulgada	150	Bronce fosforoso y otros materiales.
H	Esfera de 1/8 pulgada	60	Metales blandos con poca homogeneidad, fundiciones con base hierro.
K	Esfera de 1/8 pulgada	150	Aplicaciones análogas al tipo anterior.

Comparativo de ensayos de dureza

TIPO DE ENSAYO	BRINELL HB	VICKERS HV	ROCKWELL	
			HRB	HRC
Tipo de material	no muy duros	muy duros	blandos	duros
Penetrador	Bola de acero templado	pirámide regular de diamante	bola de acero	cono de acero con punta de diamante
Medida	superficie de la huella	superficie de la huella	profundidad de la huella	
Valor de dureza (resultado del ensayo)	$HB = F/S$ (Kp/mm ²)  $S = \pi D h = \pi D \frac{1}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$ Valor dureza igual sólo si $F = K \cdot D^2$	$HV = F/S$ (Kp/mm ²)  $S = 4 \cdot \frac{d \cos 45^\circ \cdot h}{2} = \frac{d^2}{2 \sin 68^\circ}$	$HRB = 130 - e$ $HRC = 100 - e$  $e = \frac{h_3 - h_1}{0,002}$ (h_3 y h_1 en mm)	
Ventajas e inconvenientes	Válido para la mayoría de los aceros. Si las deformaciones son pequeñas el margen de error es grande. Hay que medir con un microscopio la diagonal de la huella	Es más exacto que Brinell pero más caro.	es el ensayo más rápido y sencillo pero también el menos preciso (no mide superficie de la huella, sólo su profundidad). El aparato de medida suele dar ya el resultado (no hace falta medir profundidades)	





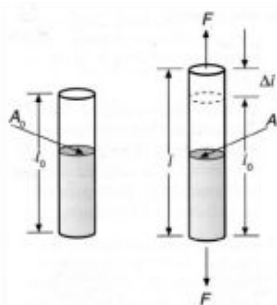
- Determinación de la dureza Rockwell A, B ó C de metales ferrosos y no ferrosos tales como aceros al carbono, aleaciones de acero, hierro fundido, etc.
- Utilizados en la industria, institutos de investigación, laboratorios, etc.
- Diseño moderno, simpleza de uso, lectura estable, simple de mantener.
- Cumple con normas BSEN 10109-96 e ISO6508.2

2.2.- ENSAYO DE TRACCIÓN

Cuando un material es sometido a una fuerza de tensión se produce una deformación del mismo. Si al cesar la fuerza el material vuelve a sus dimensiones primitivas diremos que ha experimentado una deformación elástica.

Si el material se deforma hasta el extremo de no poder recuperar por completo sus medidas originales, se dice que ha experimentado una deformación plástica.

Dado un elemento cilíndrico sometido a una fuerza F de tracción, se define tensión o esfuerzo σ como el coeficiente entre la fuerza y la sección transversal A_0 del elemento.



$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Se acostumbra a utilizar como unidad de esfuerzo Kp/cm^2 , Kp/mm^2 ó en N/m^2 (Pascuales).

Recordar $1 \text{ Pascal} (1 \text{ N/m}^2) = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Kp/cm}^2$.

Alargamiento unitario

Al aplicar la tensión al elemento se producirá un alargamiento $\Delta l = l - l_0$

Esta **deformación** se suele dar en tanto por ciento de la longitud inicial:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

- Módulo de elasticidad (E)

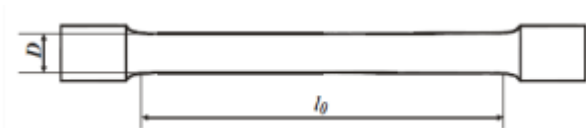
Todo material se comporta de manera elástica hasta un límite de tensión. El módulo de Young es la relación entre tensión y alargamiento característico de cada material hasta ese límite.

$\sigma = E \cdot \varepsilon$ (como ε es adimensional se mide en las mismas unidades que la tensión?)

El ensayo de tracción consiste en someter a una “probeta” del material a ensayar de unas dimensiones determinadas a un esfuerzo de tracción hasta romperla. A través del mismo se obtienen datos acerca de la elasticidad del material, su plasticidad y su resistencia a la rotura.

- Probetas

La norma que regula el ensayo indica con exactitud las dimensiones que debe de tener la probeta a ensayar, pueden ser cilíndricas o prismáticas



- Máquina de tracción

Son dispositivos mecánicos o hidráulicos que someten a las probetas a un esfuerzo o tensión de tracción creciente. Esto provoca un desplazamiento de las mordazas que sujetan la probeta, que comienza a alargarse. La máquina detecta, cuantifica y relaciona las tensiones aplicadas y las deformaciones (alargamientos producidos).

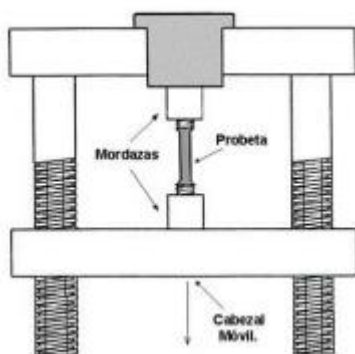
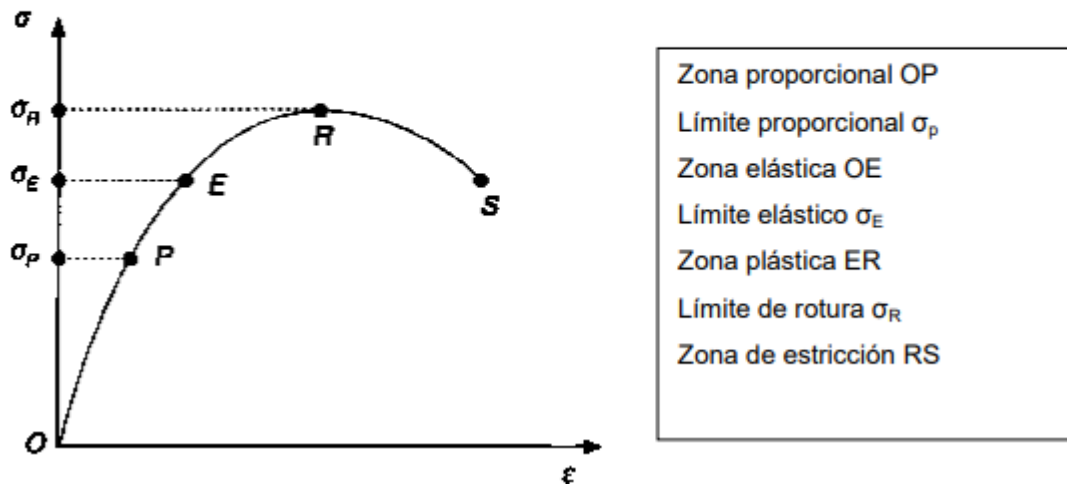


Diagrama de esfuerzos y deformaciones

Relaciona en una gráfica las tensiones aplicadas y las elongaciones producidas. Todo material tiene un diagrama como el siguiente.



Al comienzo de aplicar cargas el material responde de una manera elástica siendo carga y alargamiento proporcionales, es la denominada zona proporcional donde el módulo de Young E es característico de cada material $\sigma = E \cdot \epsilon$, el límite en que tensión y deformación dejan de ser proporcionales se llama límite proporcional y es un dato importante que se obtiene del ensayo σ_p .

Si se continúa aumentando la tensión el material sigue comportándose de manera elástica pero tensión y deformación ya no son proporcionales. Cuando se llega a un valor de tensión límite elástico σ_E el material deja de comportarse de forma elástica y al dejar de aplicar la tensión el alargamiento permanece.

A partir del límite elástico el material tiene un comportamiento plástico, en la gráfica se está en la zona plástica. Si se sigue aumentando la tensión llega un momento que el material no resiste y se rompe es el llamado límite de rotura o tensión de rotura σ_R . Aunque la probeta no esté visiblemente rota, se considera como límite el valor de tensión a partir del cual se rompe la probeta aunque se siga aplicando una tensión menor.

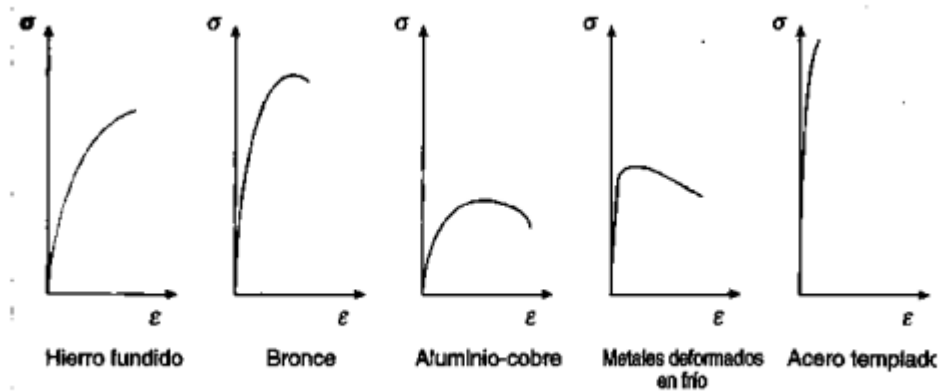
Zona de estricción, llegado un punto del ensayo, las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta apreciándose una acusada reducción de la sección de la probeta, momento a partir del cual las deformaciones continuarán acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona. La estricción es la responsable del descenso de la curva tensión-deformación; realmente las tensiones no disminuyen hasta la rotura, sucede que lo que se representa es el cociente de la fuerza aplicada (creciente) entre la sección inicial y cuando se produce la estricción la sección disminuye, efecto que no se tiene en cuenta en la representación gráfica. Los materiales

frágiles no sufren estricción ni deformaciones plásticas significativas, rompiéndose la probeta de forma brusca.

El coeficiente de estricción es la relación entre la diferencia de secciones de rotura e inicial y la sección inicial.

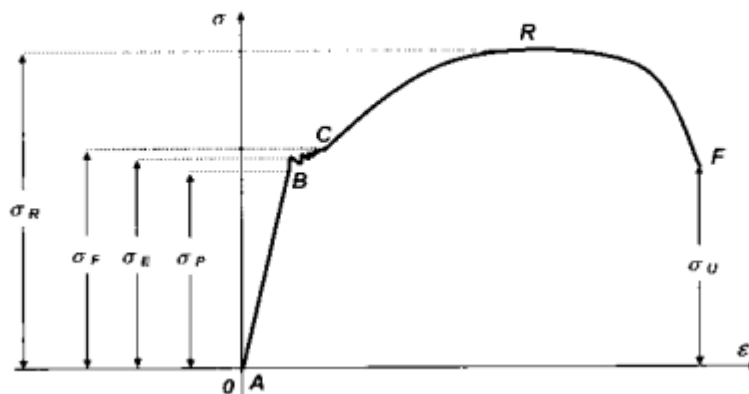
Siendo A_0 la sección inicial, A_S la sección en el momento de la rotura. El coeficiente de estricción será:

$$Z = \frac{A_0 - A_S}{A_0}$$



Dependiendo de las propiedades del material de elasticidad, plasticidad y resistencia se obtendrá un tipo u otro de gráfica.

Como en Ingeniería los aceros son los principales materiales el ensayo de tracción de los aceros es el más estudiado, en el mismo se obtiene una gráfica de este tipo:



En el diagrama de muchos aceros aparece una zona a continuación del límite elástico donde el material se alarga de una manera muy rápida sin incrementar la tensión, a este fenómeno se le llama fluencia ya que el material fluye sin causa aparente. El punto donde desaparece este fenómeno se llama límite de fluencia o tensión de fluencia σ_F .

- Tensión de trabajo σ_T

Cuando se diseña una pieza que ha de estar sometida a esfuerzos hay que asegurarse de que esa pieza va a resistir. Además el diseñador tiene que asegurarse de que la pieza no tiene una gran deformación. Podríamos pensar que para cumplir estas condiciones la tensión de trabajo debería de ser inferior a la que marca el límite elástico o el límite proporcional. Pero para asegurarse de que con el tiempo o con la aplicación de esfuerzos imprevistos la pieza sigue resistiendo se emplea un coeficiente de seguridad N, de manera que una pieza se someterá a una tensión σ_T que cumpla la siguiente expresión.

$$\sigma_T = \frac{\sigma_E}{N}$$

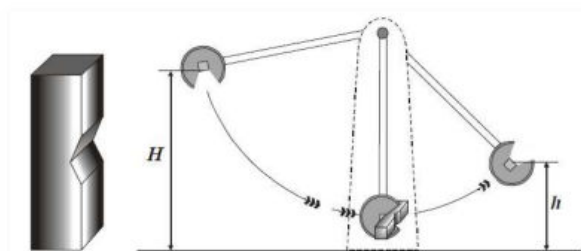
Pudiéndose emplear en la expresión el límite proporcional o incluso el límite

de rotura.

Materiales	Módulo de elasticidad E (kp/mm ²)	Tensión de rotura σ_r (kp/mm ²)	Tensión del límite elástico σ_e (kp/mm ²)	Tensión máx. de trabajo para elementos de máquinas σ_t (kp/mm ²)
Hierro soldado	$2 \cdot 10^4$	30 : 36	16 : 20	9
Hierro homogéneo	$2 \cdot 10^4$	35 : 45	18 : 24	9 : 12
Acero	$2,2 \cdot 10^4$	40 : 60	25 : 35	12 : 15
Aceros especiales	–	90 : 180	60 : 120	15 : 30
Alambre de acero	$2,4 \cdot 10^4$	75 : 200	40 : 50	18 : 30
Fundición	$1 \cdot 10^4$	10 : 15	6	3

2.3.- ENSAYO DE RESILIENCIA

El más característico es el ensayo Charpy. En este ensayo se utiliza una probeta de sección cuadrada provista de una entalladura que es sometida a la acción de una carga de ruptura por medio de un martillo que se desplaza en una trayectoria circular.



La energía absorbida por la rotura se llama resiliencia ρ y su unidad en el sistema internacional es el J/m²

$$\rho = \frac{E_p}{A_0} = \frac{m \cdot g \cdot (H - h)}{A_0}$$

E_p = Energía potencial absorbida en la ruptura en Julios.

m = masa del martillo en Kg.

g = Gravedad terrestre 9,8 m/s²

H = Altura desde la que cae el martillo en metros

h = Altura que alcanza el martillo tras la rotura en metros.

ρ = Resiliencia en Julios por metro cuadrado

A_0 = Sección de la probeta por la parte de la entalladura en metros cuadrados.

Como en la probeta que se utiliza para el ensayo se practica una entaya la sección a tener en cuenta vendrá dada por las medidas de la misma.

