



VNIVERSITAT  
DE VALÈNCIA



# Curso de Introducción a la Ciencia de Materiales y Nanomateriales

**Caracterización III. Propiedades térmicas y mecánicas**

Prof Clara M Gómez Clari  
Grupo de Investigación Materiales Polímeros  
[clara.gomez@uv.es](mailto:clara.gomez@uv.es)

# PROPIEDADES TÉRMICAS

Un análisis térmico comprende el estudio de la evolución de las propiedades de una muestra o compuesto cuando es sometida a un calentamiento variando la temperatura.

Principales técnicas de análisis térmico:

<i>Propiedad</i>	<i>Técnica</i>	<i>Abreviación</i>
<i>Masa</i>	Termogravimetría	TG
<i>Temperatura</i>	Análisis Térmico Diferencial	DTA
<i>Entalpía</i>	Calorimetría Diferencial de Barrido	DSC
<i>Dimensiones</i>	Termodilatometría	
<i>Propiedades mecánicas</i>	Análisis Termomecánico	TMA
<i>Propiedades ópticas</i>	Termomicroscopía	
<i>Propiedades magnéticas</i>	Termomagnetometría	TM
<i>Propiedades eléctricas</i>	Termoelectrometría	
<i>Propiedades acústicas</i>	Termosonometría	TS
<i>Evolución de gas radioactivo</i>	Análisis Térmico de Emanación	ETA
<i>Evolución de partículas</i>	Análisis de Termopartículas	TPA

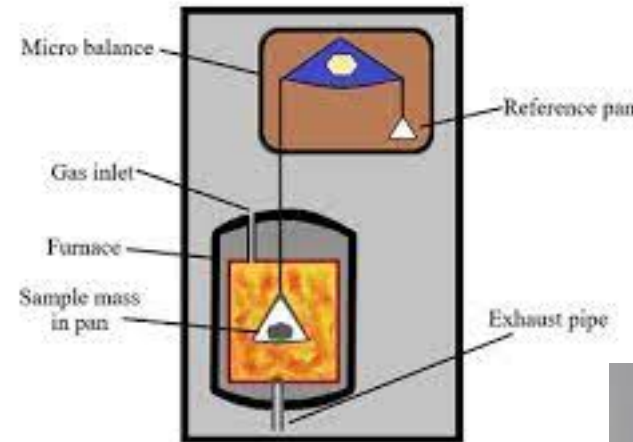
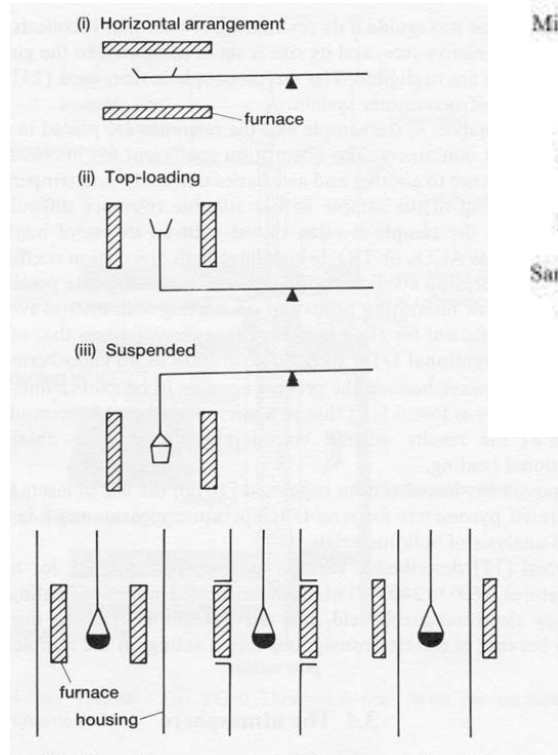
# Fenómenos térmicos:

$A(s_1)$	$\longrightarrow$	$A(s_2)$	phase transition
	$\searrow$	$A(l)$	melting
	$\searrow$	$A(g)$	sublimation
	$\searrow$	$B(s) + \text{gases}$	decomposition { thermal radiolytic
	$\searrow$	gases	
$A(\text{glass}) \rightarrow A(\text{rubber})$			glass transition
$A(s) + B(g) \rightarrow C(s)$	{		oxidation tarnishing
$A(s) + B(g) \rightarrow \text{gases}$	{		combustion volatilization
$A(s) + (\text{gases})_1 \rightarrow A(s) + (\text{gases})_2$			heterogeneous catalysis
$A(s) + B(s) \rightarrow AB(s)$			addition
$AB(s) + CD(s) \rightarrow AD(s) + CB(s)$			double decomposition

# TERMOGRAVIMETRIA

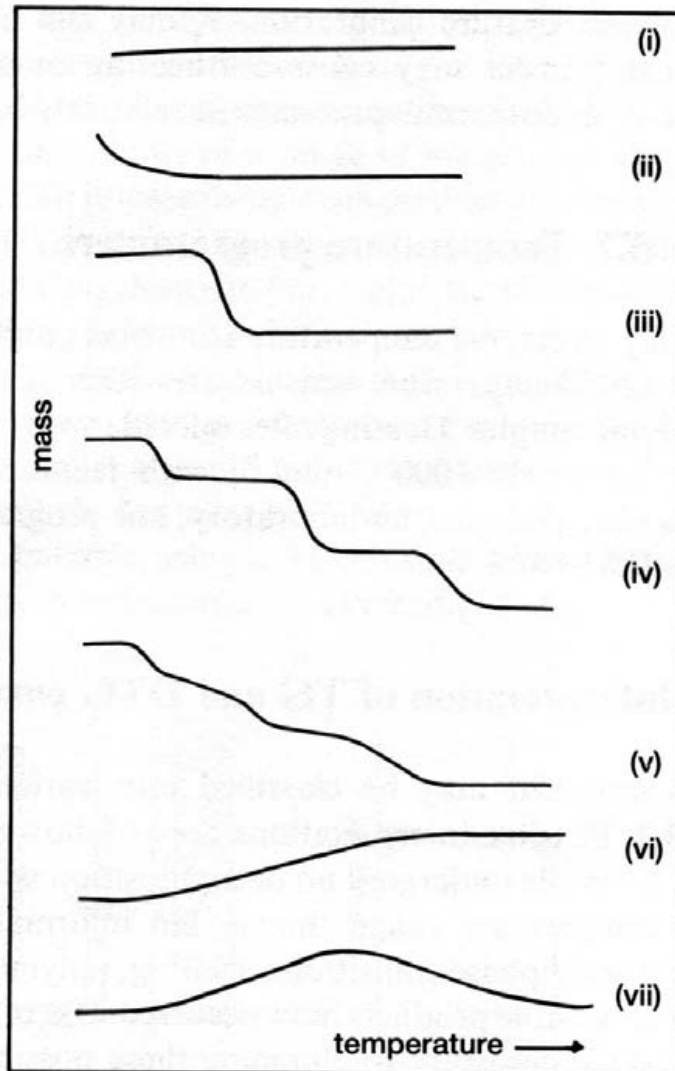
La medida del cambio de masa en una muestra con la temperatura se realiza en una termobalanza. El horno debe cumplir:

- Ser capaz de alcanzar una temperatura superior en 100 o 200 °C a la deseada de trabajo.
- Disponer de una amplia zona de calentamiento homogéneo
- Alcanzar la temperatura deseada de inicio tan rápido como sea
- No afectar al mecanismo de la balanza por radiación o convección.



# TERMOGRAVIMETRIA

## Principales tipos de curvas termogravimétricas



**Tipo(i).** La muestra no sufre descomposición con pérdida de productos volátiles en el rango de temperatura mostrado. Pudiera ocurrir reacciones tipo: transición de fase, fundido, polimerización.

**Tipo(ii).** Una rápida pérdida de masa inicial es característica de procesos de desorción o secado.

**Tipo(iii).** Esta curva representa la descomposición de la muestra en un proceso simple. La curva se puede utilizar para definir los límites de estabilidad del reactante, determinar la estequiometría e investigar la cinética de las reacciones.

**Tipo(iv).** Se indica una descomposición multietapa con intermedios relativamente estables. Se puede definir los límites de estabilidad del reactante e intermedios, y de forma más compleja la estequiometría la reacción.

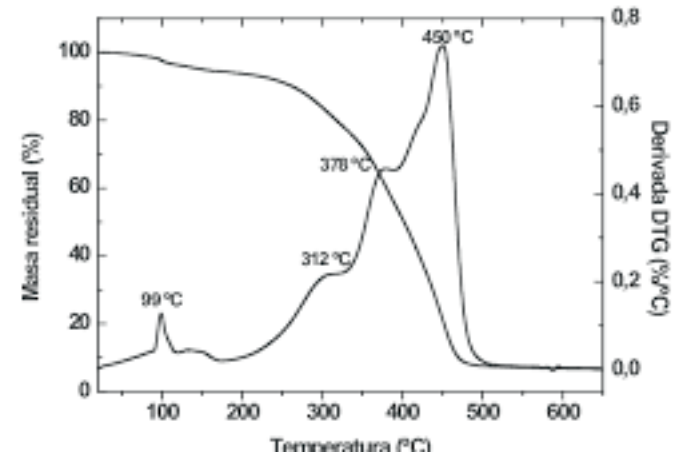
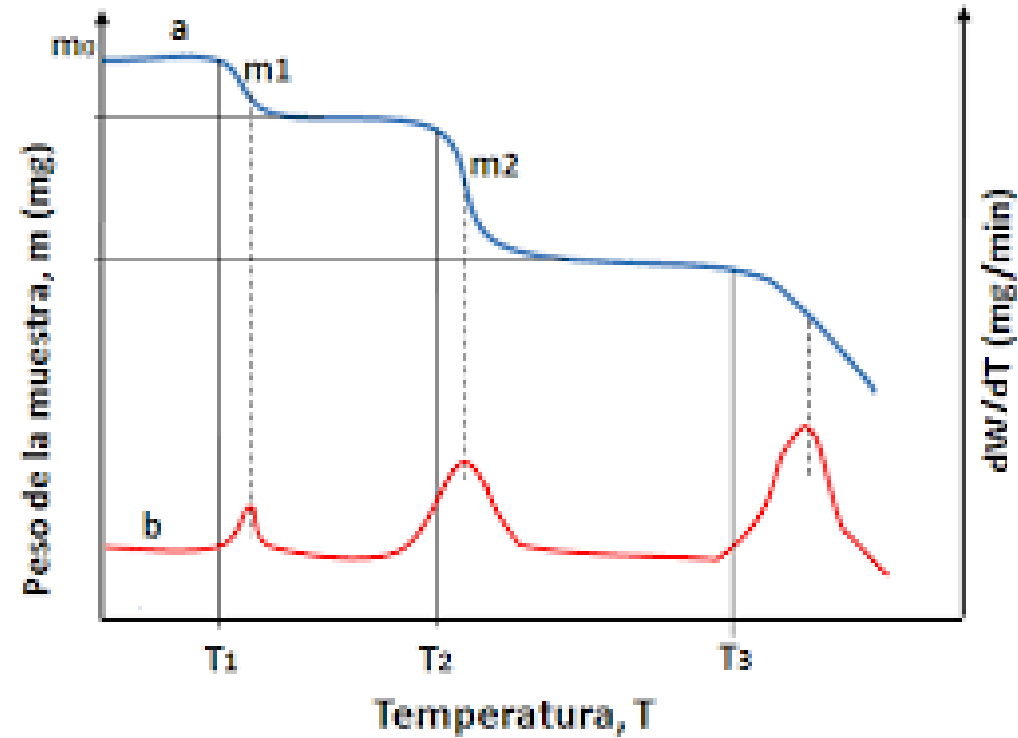
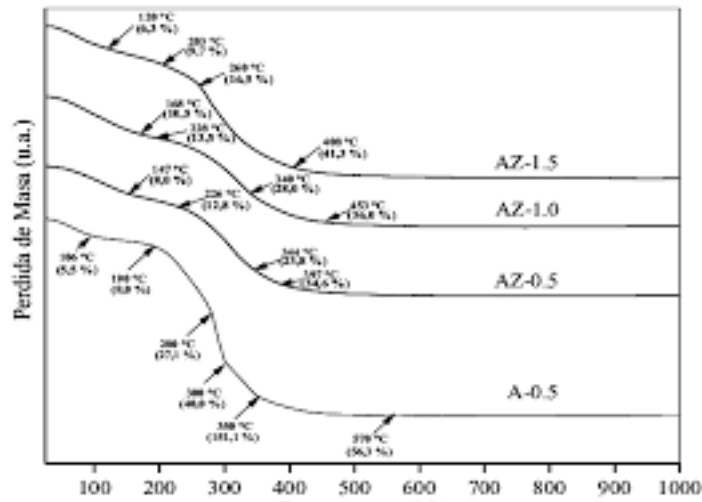
**Tipo(v).** También indica una descomposición multietapa, pero los productos intermedios no son estables, y poca información se obtiene de la estequiometría de la reacción.

**Tipo(vi).** Se observa una ganancia de masa como consecuencia de la reacción de la muestra con la atmósfera que la rodea.

**Tipo(vii).** El producto de una reacción de oxidación se descompone a temperaturas más elevadas:  $2 \text{ Ag} + \frac{1}{2} \text{ O}_2 \rightarrow \text{Ag}_2\text{O}$   
 $\text{Ag}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ Ag} + \frac{1}{2} \text{ O}_2$

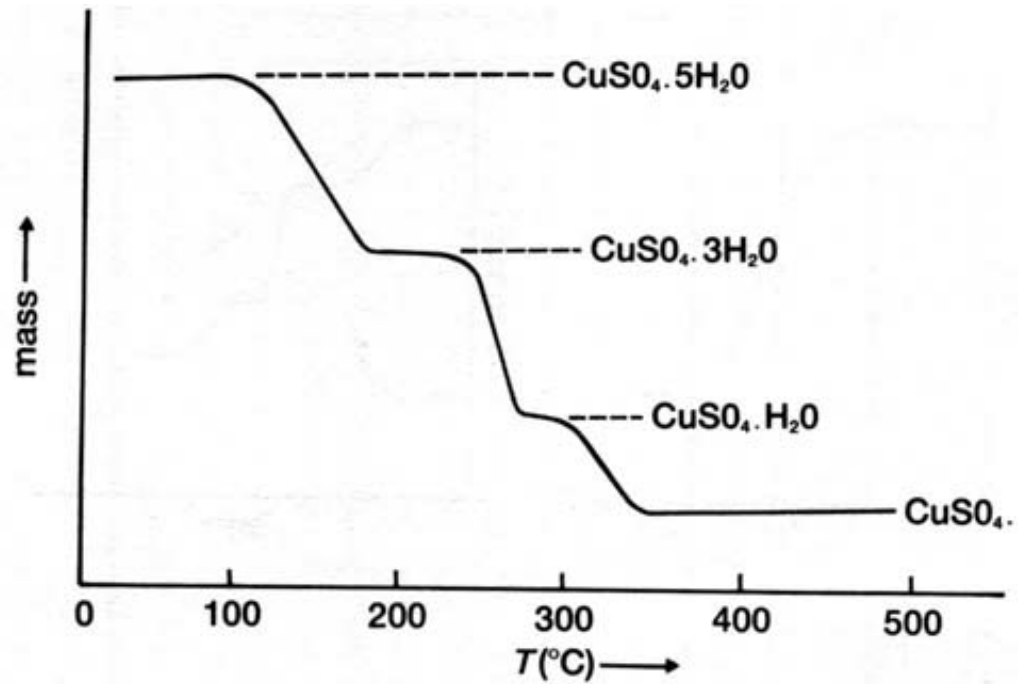
# TERMOGRAVIMETRIA

Para la resolución de las curvas complejas de TG se registran las curvas DTG.

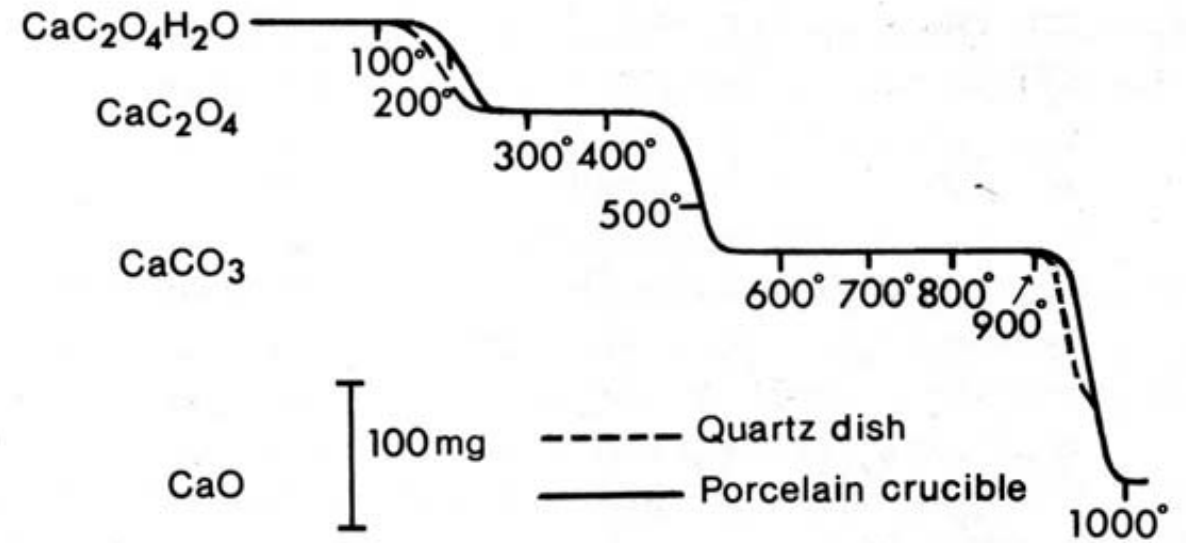


# TERMOGRAVIMETRIA

## APLICACIONES Y EJEMPLOS



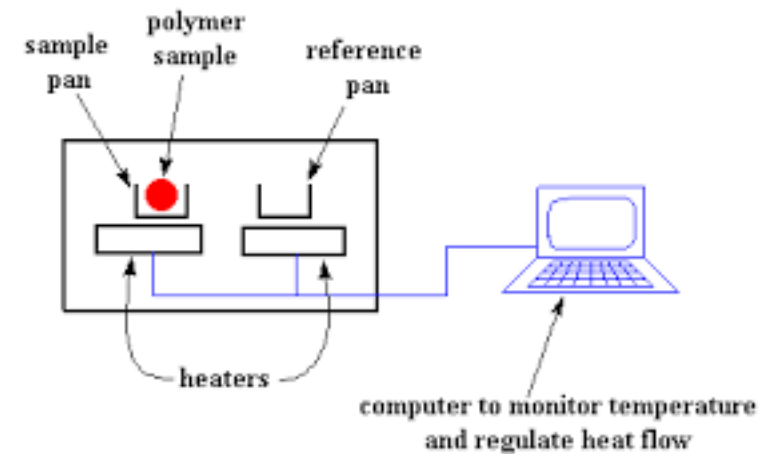
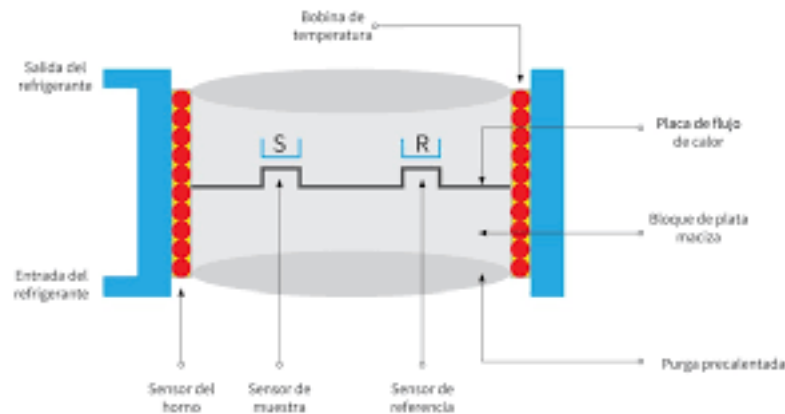
Curva TG del compuesto  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .



Curva TG del compuesto  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

# CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE BARRIDO

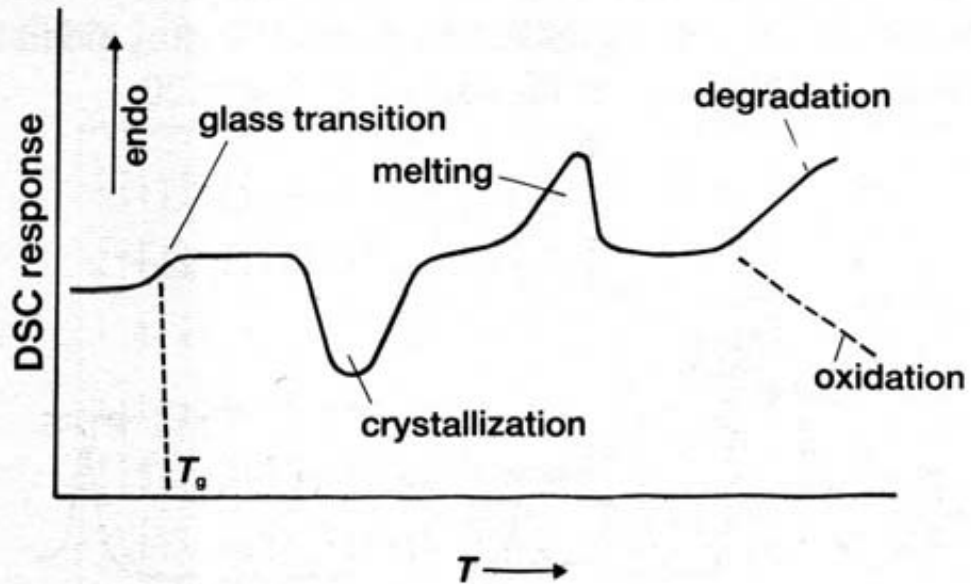
En esta técnica se mantienen a la misma temperatura la muestra y la referencia,  $\Delta T = T_r - T_s$ , mediante un controlador de temperatura.



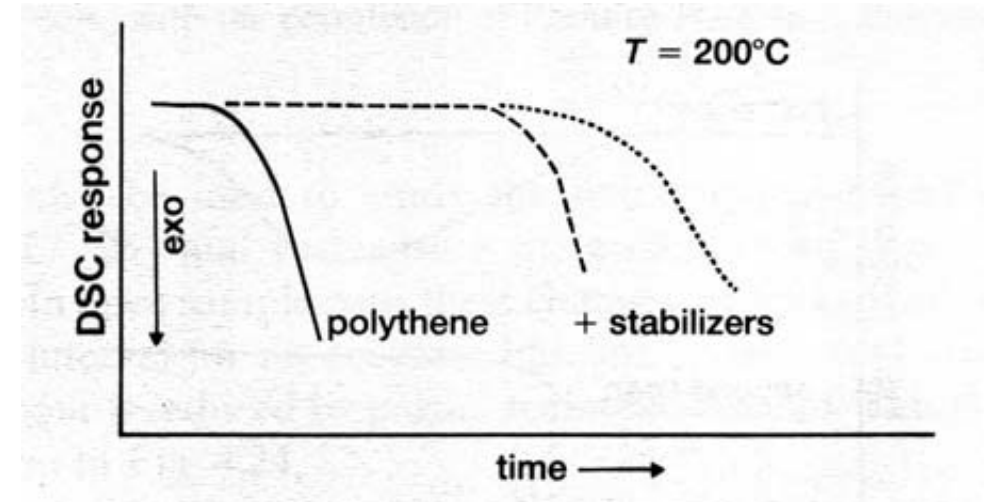


## Aplicaciones

1- Aplicación al estudio de polímeros.



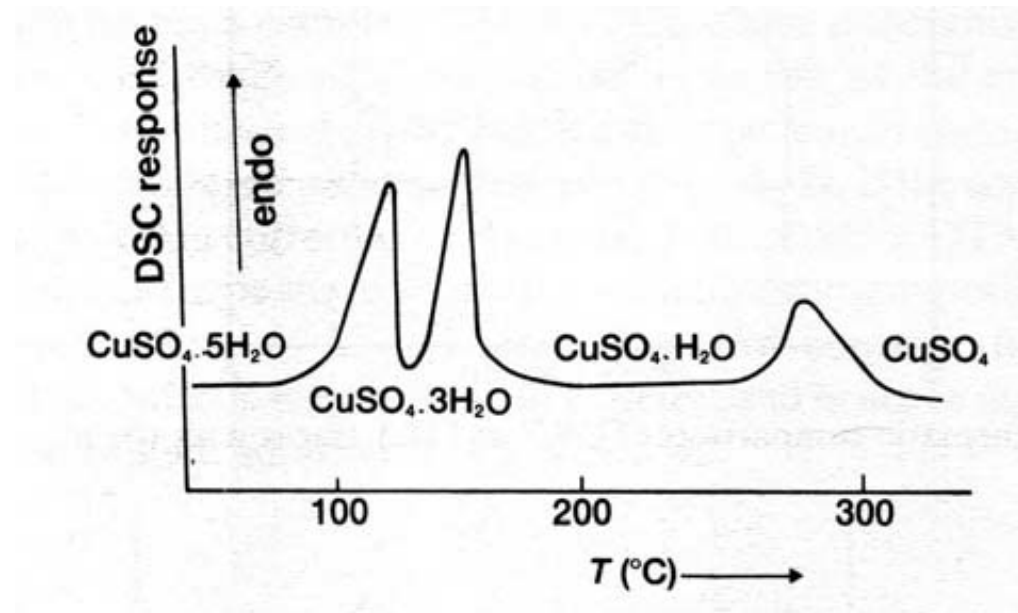
Curva DSC de un polímero orgánico típico.



Efecto de los estabilizadores en la oxidación de polietileno, empleando DSC en modo isotérmico.

## Aplicaciones

2- Se puede obtener información relacionada con las temperaturas y cambios de entalpia a los que ocurren los fenómenos térmicos.



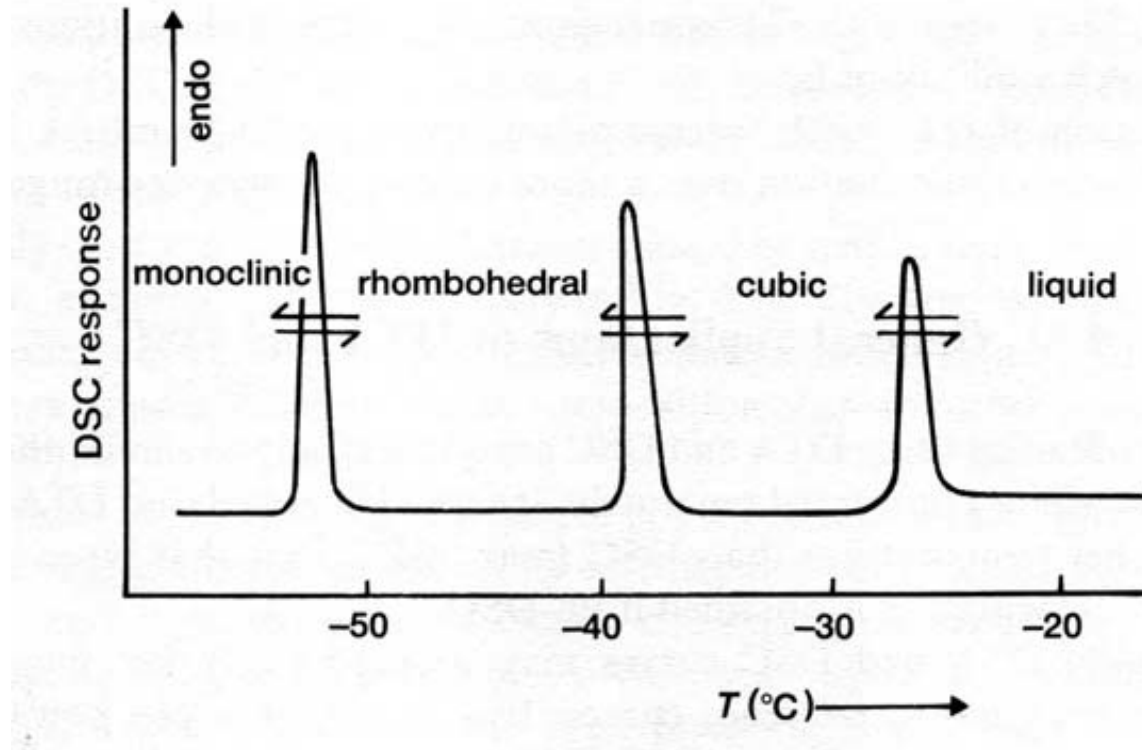
Curva DSC del compuesto  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

La forma del pico endotérmico de fusión se puede utilizar para estimar la pureza de la muestra.

# CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE BARRIDO

## Aplicaciones

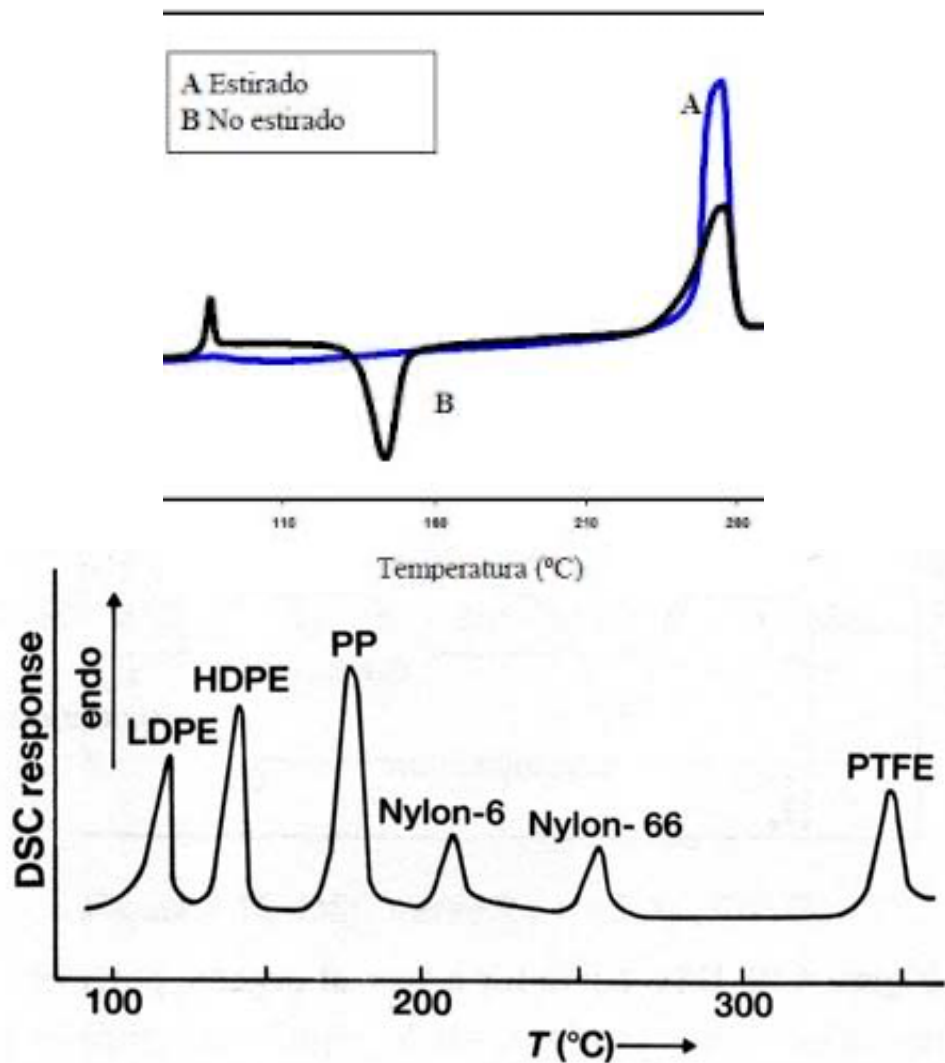
3- Se puede detectar las transiciones sólido-sólido y la medida de  $\Delta H$  de las mismas.



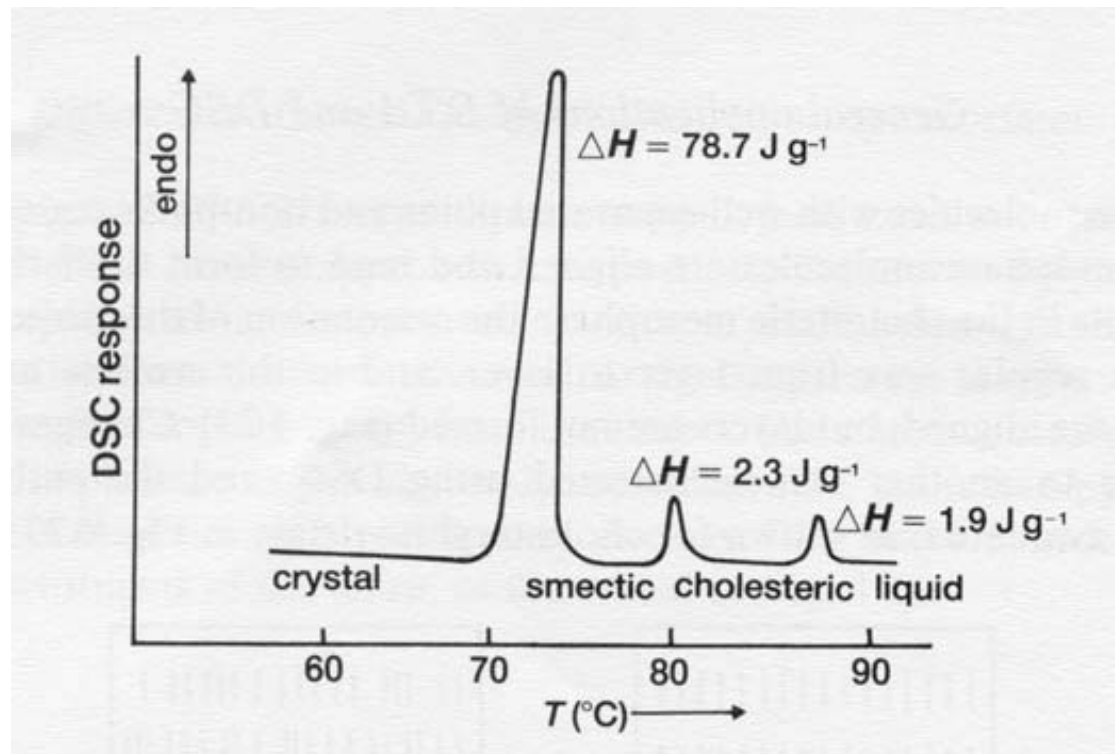
Curva DSC del compuesto CCl<sub>4</sub> .

## Aplicaciones

4- Aplicación al estudio de polímeros.



DSC de un plástico reutilizado.



Curva DSC de un cristal líquido (miristato de cloroestirilo)

# PROPIEDADES MECANICAS

- La propiedades mecánicas son características que determinan el comportamiento del material cuando se sujeta a ***esfuerzos mecánicos***.
- En ***diseño*** el objetivo general es que el producto resista esfuerzos sin un cambio significativo o sustancial en su geometría y por consiguiente no falle

# PROPIEDADES MECANICAS

- **¿Cómo medir las propiedades de los materiales que se utilizan para el diseño de elementos individuales o componentes de estructuras?**

***Una respuesta es mediante los ensayos mecánicos***

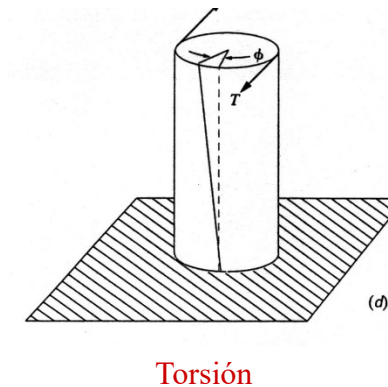
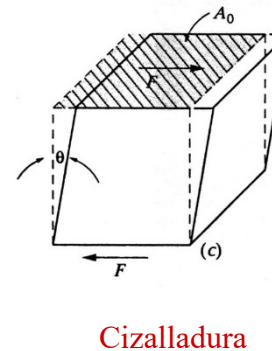
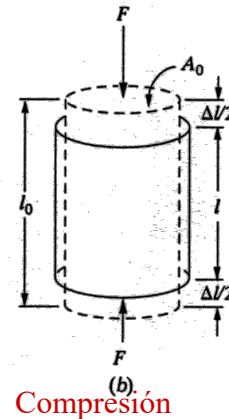
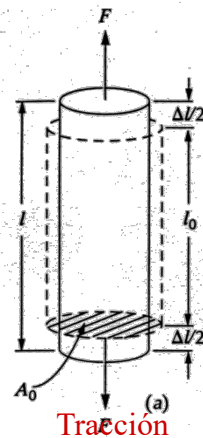
# Propiedades Mecánicas

En general los materiales prestan servicio sometidos a la acción de distintas fuerzas. P.ej las aleaciones de aluminio con las que se construyen parte de los automóviles o las alas de un avión han de ser capaces de soportar distintas tensiones.

Es necesario conocer las características del material frente a todo tipo de acciones antes de darle una aplicación. Se definen para ello una serie de propiedades que reflejan el comportamiento mecánico del material como son la dureza, ductilidad, rigidez etc.

## Concepto de esfuerzo-deformación:

Al aplicar una carga estática sobre la superficie de una pieza y se produce una deformación. Según el modo en que se aplica la carga podemos producir varios ensayos diferentes:



# PROPIEDADES MECANICAS

**1. Resistencia a tensión**

**2. Elasticidad**

**3. Plasticidad**

**4. Tenacidad**

**5. Ductilidad y fragilidad**

**6. Dureza**

**7. Resistencia a compresión, flexión, doblez y torsión.**

**8. Resistencia a la termofluencia**

**9. Tenacidad a la fractura.**

**10. Límite de fatiga**

Ensayo de tracción o tensión

## Propiedades Mecánicas

- Estáticas
  - Resistencia a la Tracción
  - Esfuerzo de Fluencia
  - Esfuerzo real a Carga Máxima
  - Ductilidad
  - Rigidez
  - Fragilidad
  - Tenacidad
  - Resiliencia
- Dinámicas
  - Fatiga
  - Tenacidad de Fractura

Comportamiento elastoplástico

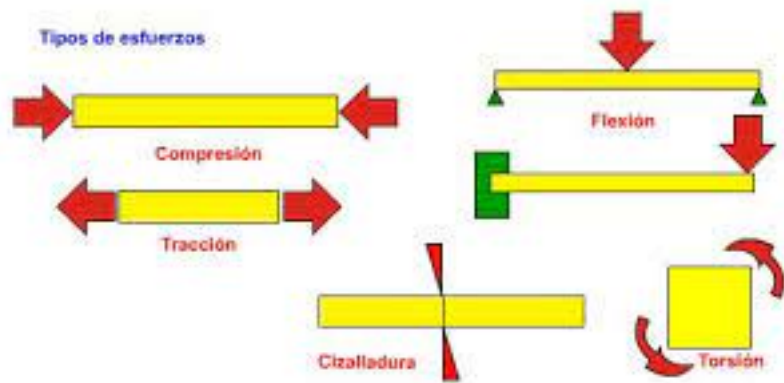
Leyes de Endurecimiento por deformación y Trabajo en frío

Mecánica de Fractura, Daño Acumulado, Curvas S-N, Análisis Fractográfico.

infomeca.wordpress.com

Dr. Crisanto Villalobos





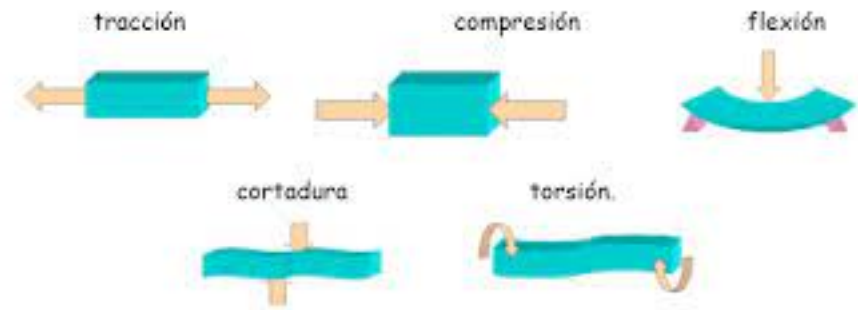
### Ciencia de los materiales

## Esfuerzos producidos en los materiales. **TRACCIÓN**

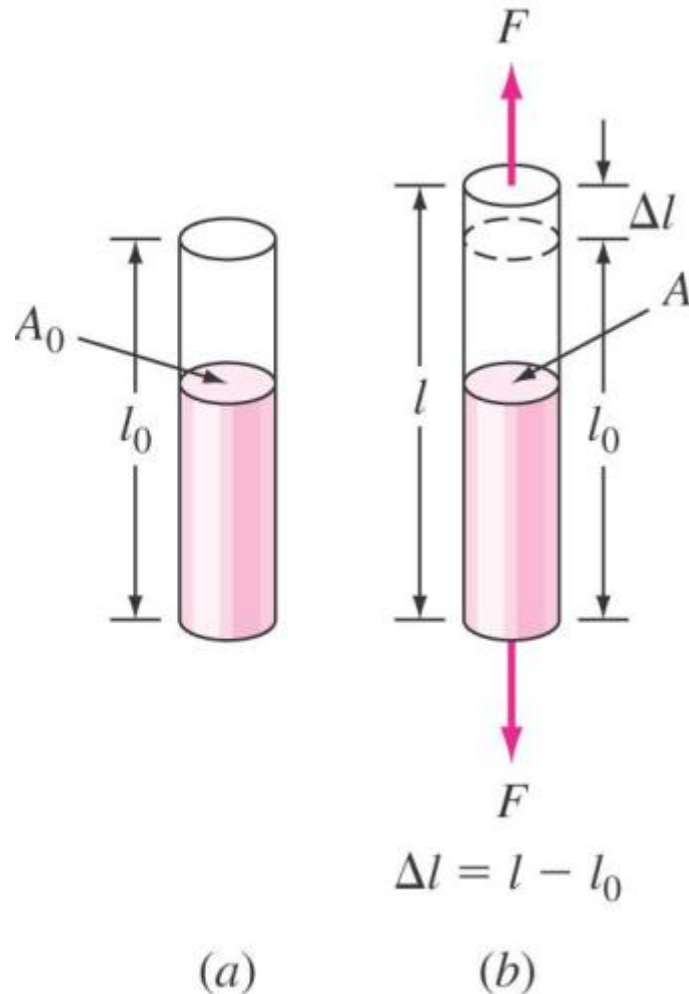
- Es el esfuerzo al que se ve sometido un material cuando se le aplican dos fuerzas en la misma dirección y en sentido contrario, provocando su alargamiento. *Más resiste a tracción menos alargamiento*

$d_2$  es mayor que  $d_1$ , debido al esfuerzo de tracción provocado por las fuerzas

Profesor: César Melo Rojas



# ENSAYO DE TENSIÓN



- Esfuerzo axial ( $\sigma$ )

$$\sigma = \frac{F \text{ (Fuerza uniaxial)}}{A_0 \text{ (área original sección transversal)}}$$

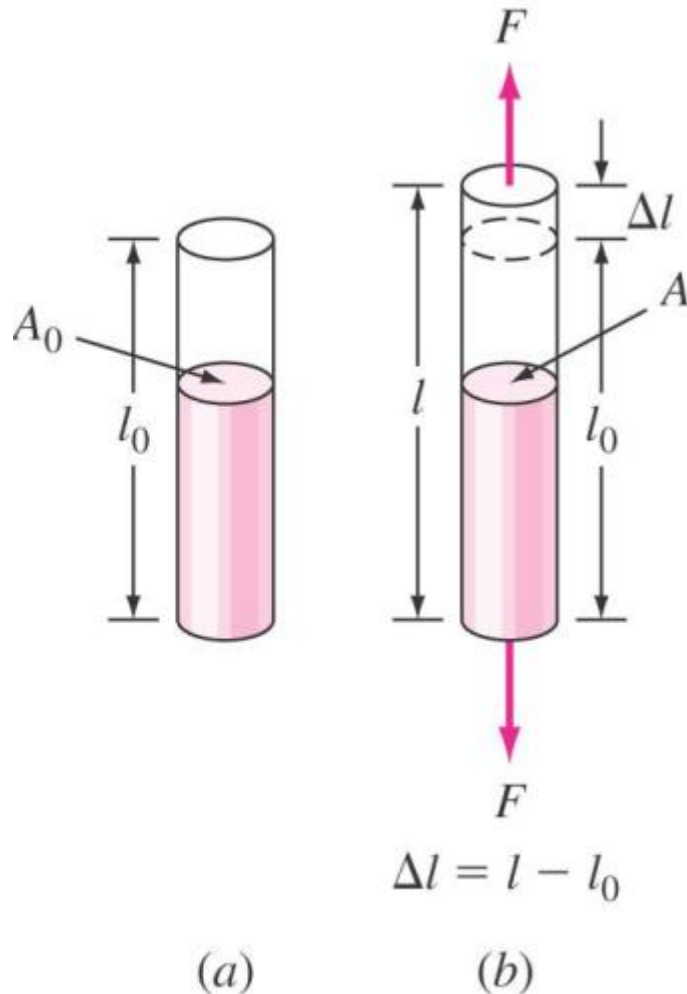
*Sistema Internacional*

$$\sigma = \frac{N}{m^2} \text{ [Pascal :1 Pa]}$$

*Sistema U.S.*

$$\sigma = \frac{\text{libra fuerza}}{\text{in}^2} \text{ [1 Psi]}$$

# ENSAYO DE TENSIÓN



- Deformación ( $\varepsilon$ )

$$\varepsilon = \frac{\Delta l (\text{Variación longitud muestra})}{l_0 (\text{longitud inicial muestra})}$$

*Sistema Internacional*

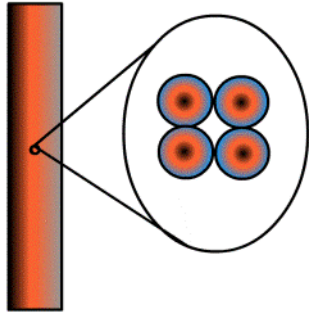
$$\varepsilon = \frac{mm}{mm}$$

*Sistema U.S.*

$$\varepsilon = \frac{in}{in}$$

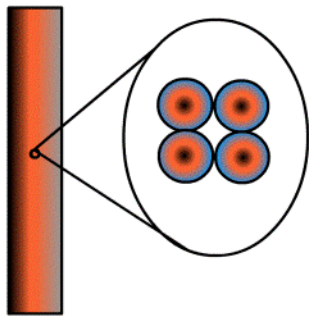
# ENSAYO DE TENSIÓN

- Comportamiento del material cuando es sometido a carga axial.



## Comportamiento Elastico:

**Material regresa a sus dimensiones originales una vez se suprime la fuerza.**

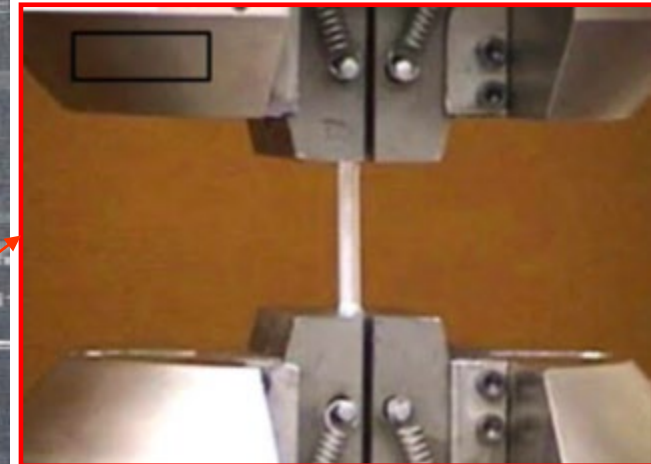
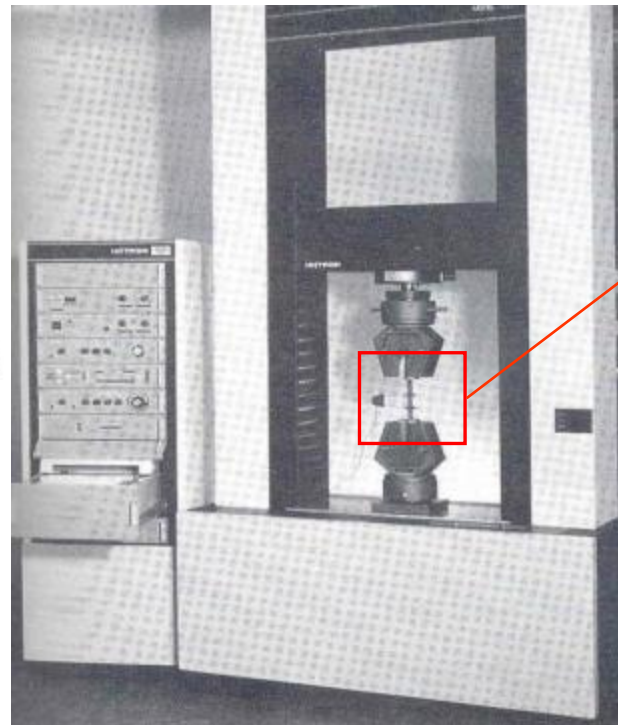
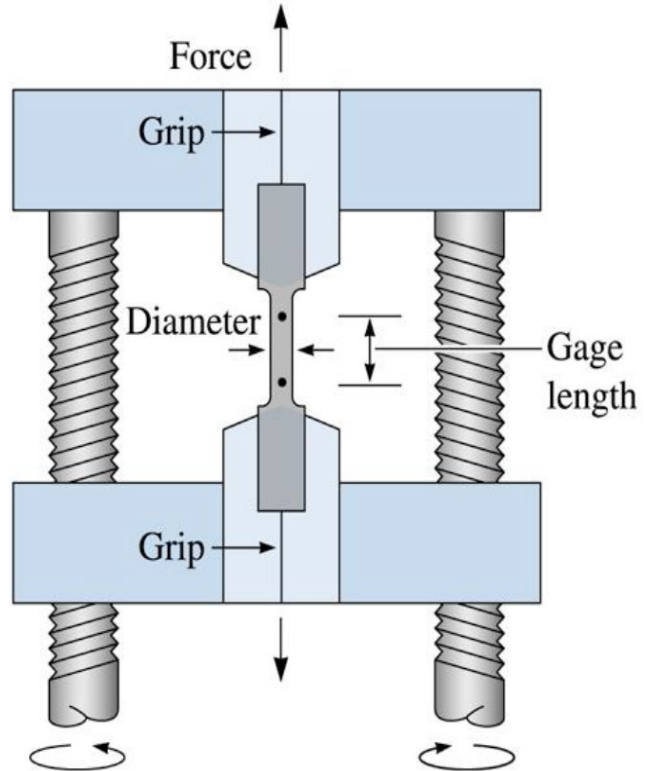


## Comportamiento Plastico:

**Material se deforma y no puede regresar a su dimensión inicial una vez se suprime la fuerza.**

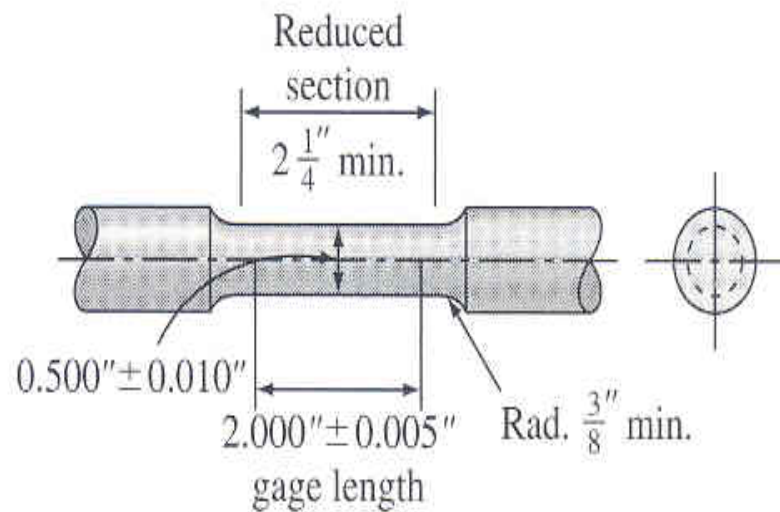
# ENSAYO DE TENSIÓN

- Máquina Universal de Ensayo donde el material se somete a una carga axial.

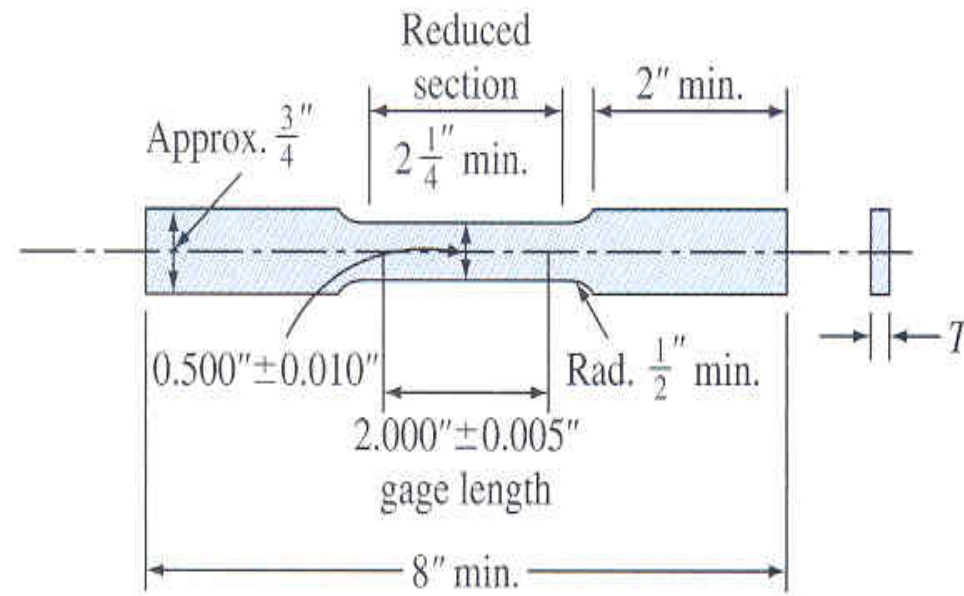


# ENSAYO DE TENSIÓN

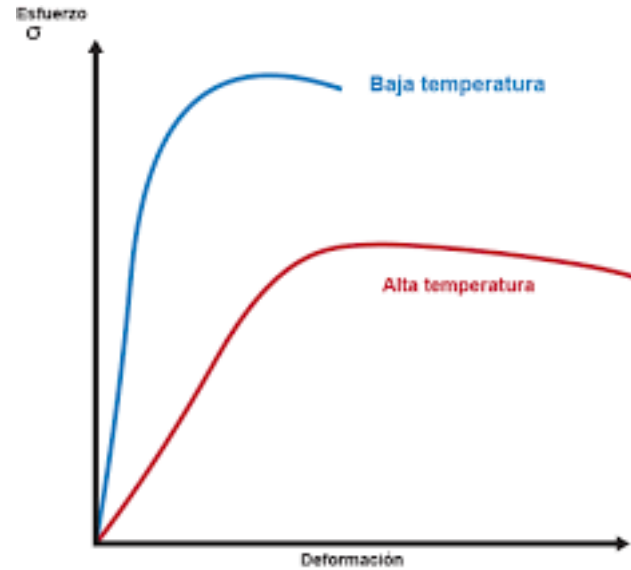
- Tipos de probetas según norma ASTM E 8-79



**Probeta cilíndrica**



**Probeta Plana**



### Tensión y Deformación

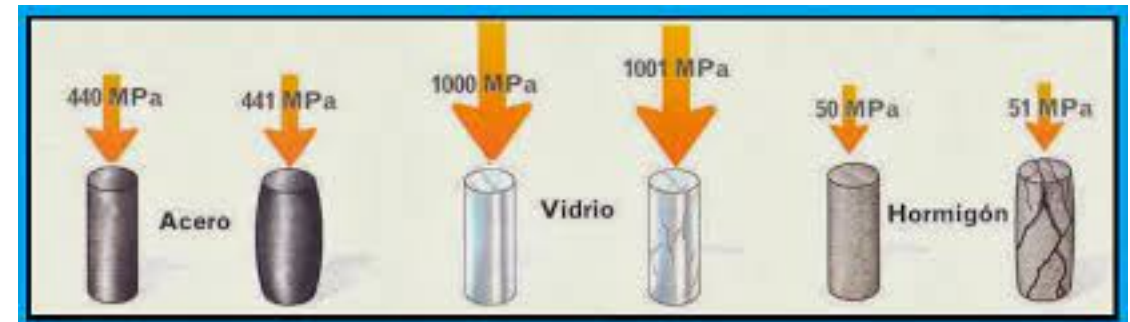
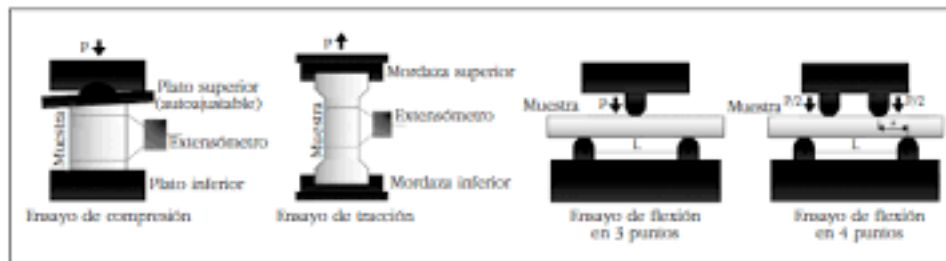
Sometiendo una pieza de metal a una fuerza de tracción uniaxial, al eliminar la fuerza pueden ocurrir dos situaciones con la pieza:

- Deformación Elástica
  - Recupera su forma original
  - Los átomos vuelven a su posición original
- Deformación Plástica
  - No recupera forma original
  - Los átomos quedan en otra posición

El diagrama ilustra un ensayo de tracción uniaxial. Muestra una pieza de metal siendo sometida a una fuerza de tracción. Se muestran dos estados: uno donde la deformación es elástica (la pieza recupera su forma original al eliminar la fuerza) y otro donde la deformación es plástica (la pieza no recupera su forma original al eliminar la fuerza).



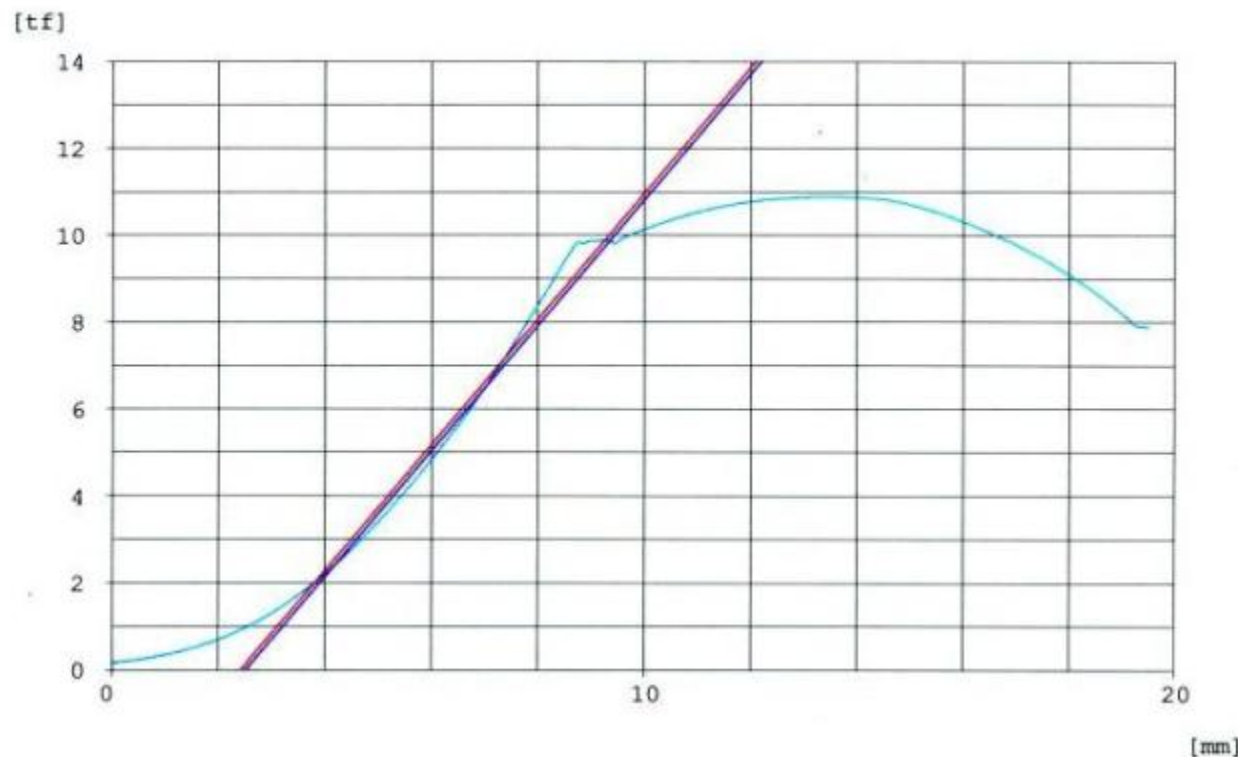
Figura 5. Representación esquemática de los principales ensayos mecánicos clásicos





# ENSAYO DE TENSIÓN

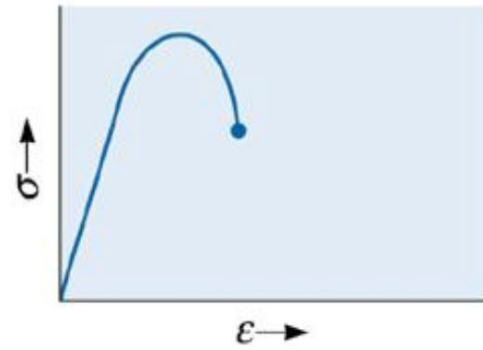
- Grafica *Fuerza-Desplazamiento* entregada por la Máquina Universal de Ensayo, para obtener la grafica *Esfuerzo-Deformación* y así obtener las Propiedades Mecánicas del material.



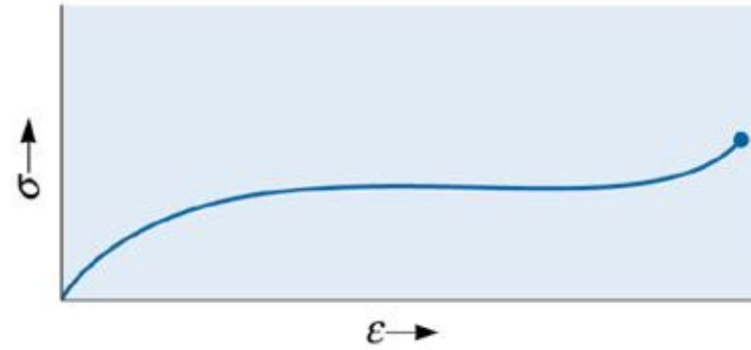
- **Esfuerzo de fluencia**
- **Rigidez**
- **Resiliencia**
- **Resistencia a la tensión**
- **Ductilidad**
- **Tenacidad**

# ENSAYO DE TENSIÓN

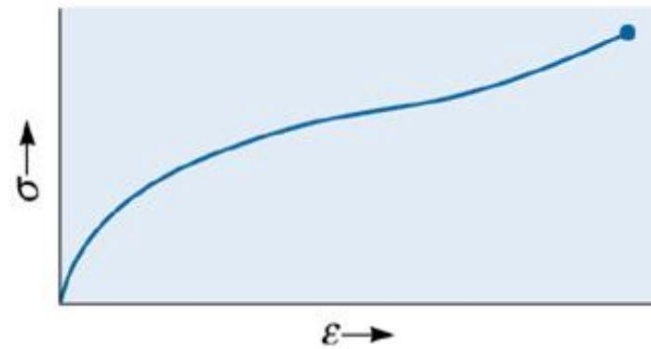
(a) Metal



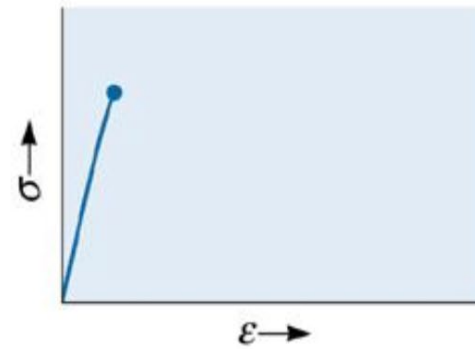
(b) Thermoplastic material above  $T_g$



(c) Elastomer



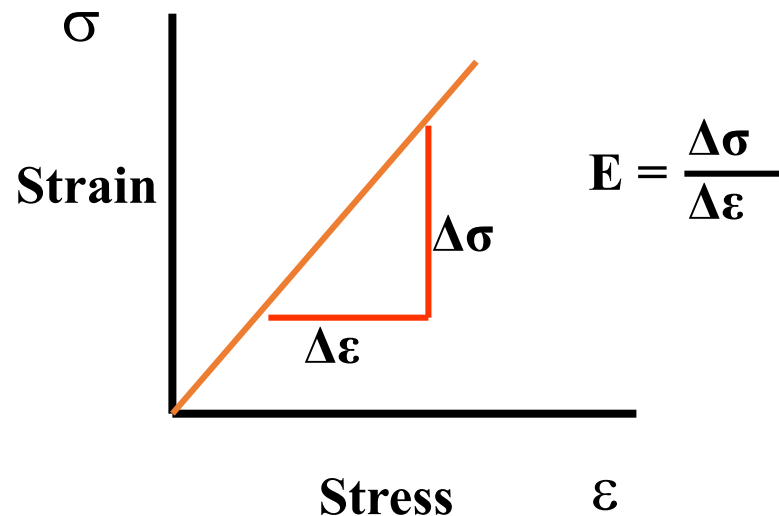
(d) Ceramics, glasses, and concrete



# ENSAYO DE TENSIÓN

Propiedades obtenidas de la Zona Elastica

- Modulo de elasticidad o modulo de Young (E): es el producto de dividir el esfuerzo entre la deformación unitaria en el tramo elástico.

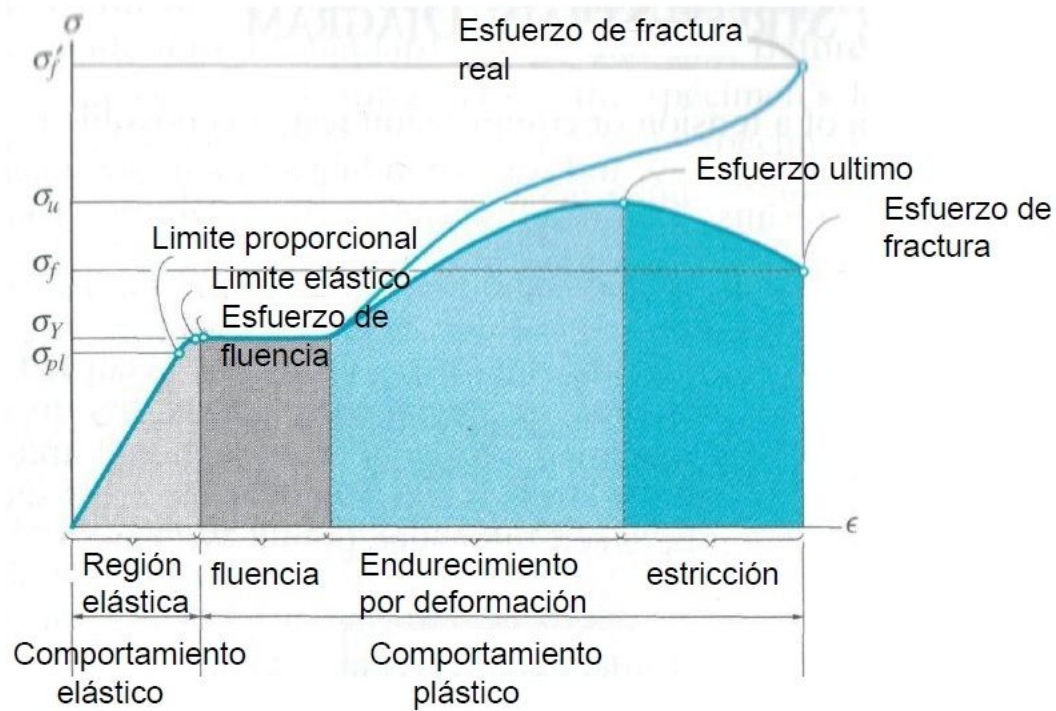
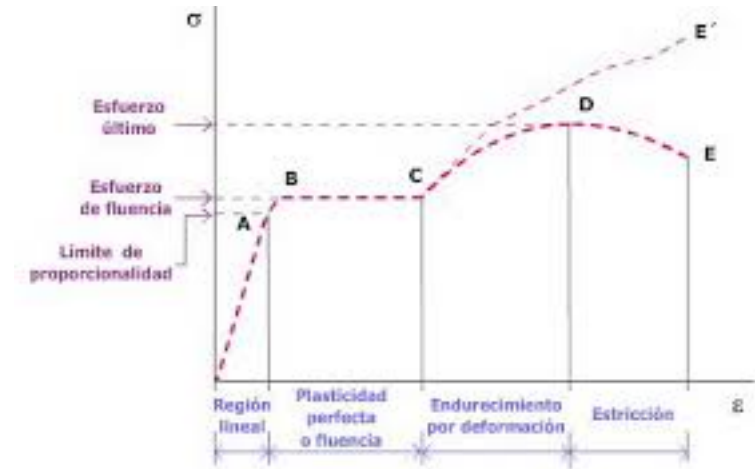


$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

$$E = \frac{\sigma(\text{Esfuerzo})}{\varepsilon(\text{Deformación})}$$

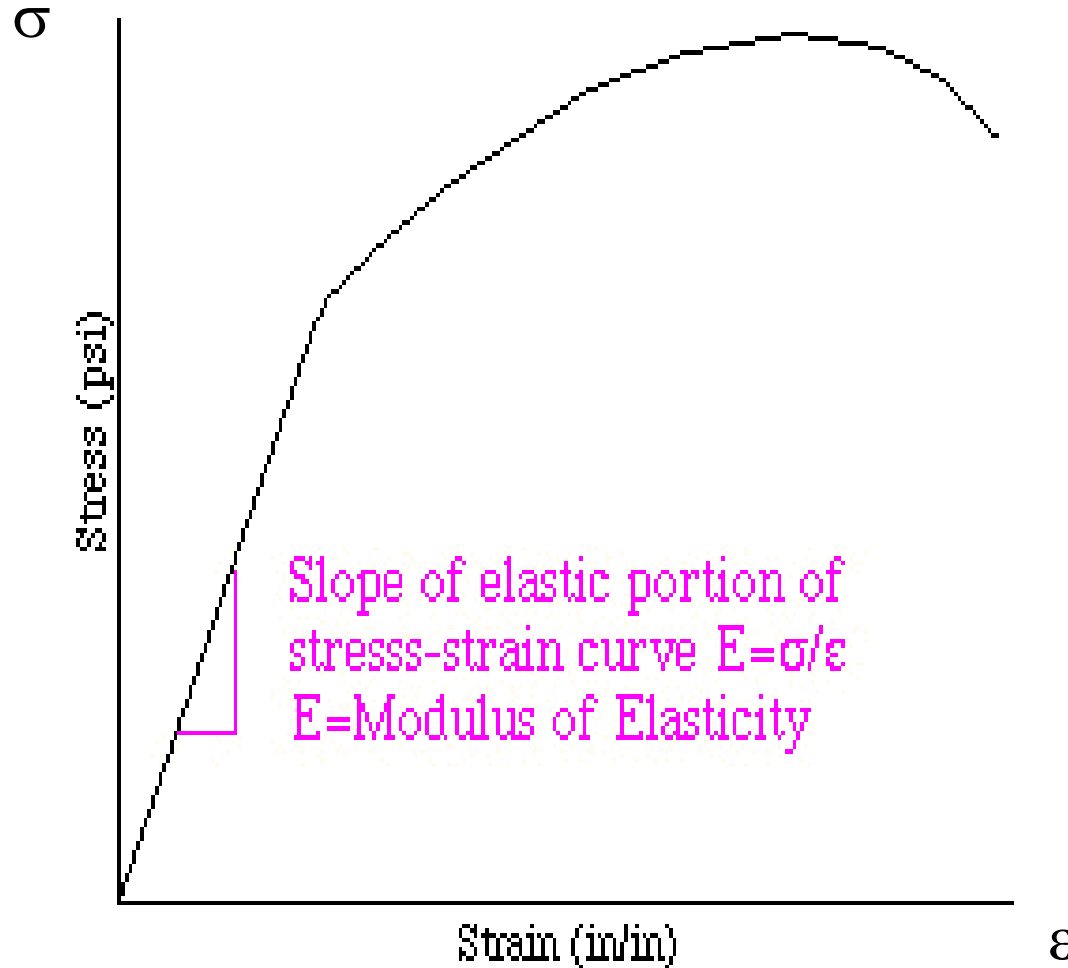
Acero 207 Gpa

Aluminio 75 Gpa



# ENSAYO DE TENSIÓN

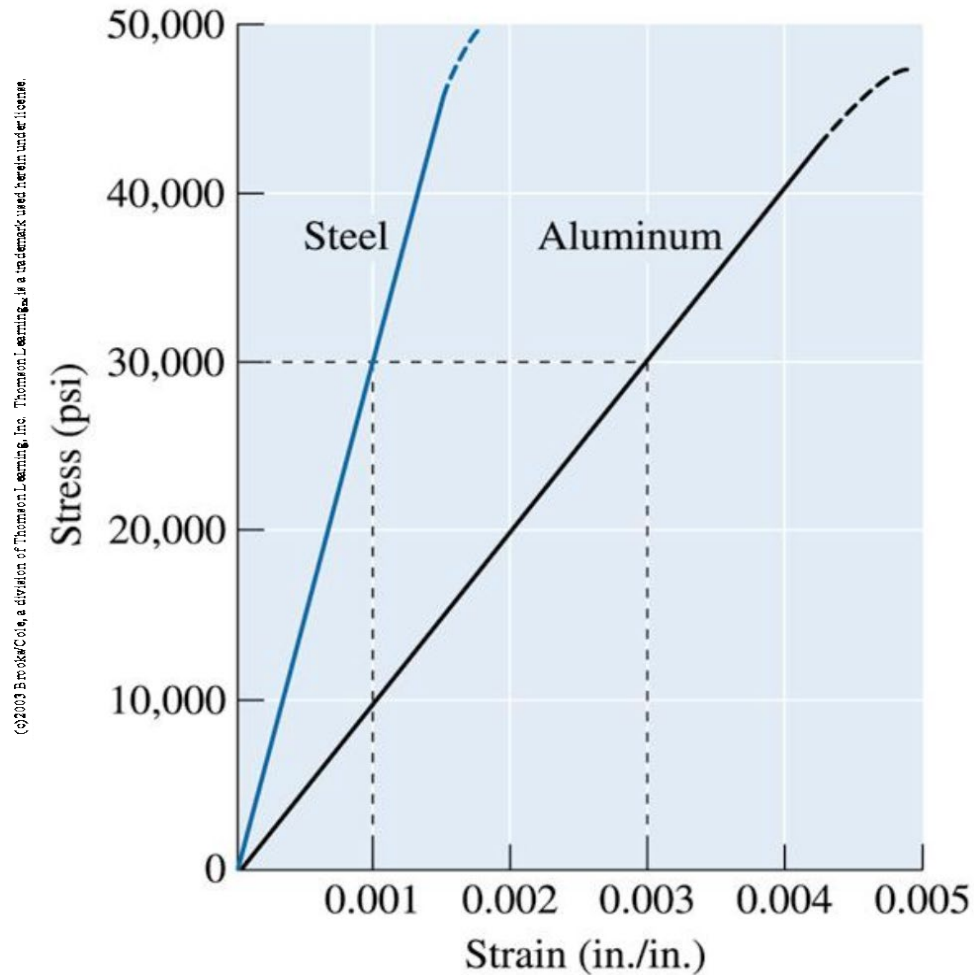
Propiedades obtenidas de la Zona Elastica



- Rigidez: es la capacidad de no deformarse en la zona elástica al aplicar un esfuerzo y está representado por la pendiente de la recta o E.

# ENSAYO DE TENSIÓN

Propiedades obtenidas de la Zona Elastica

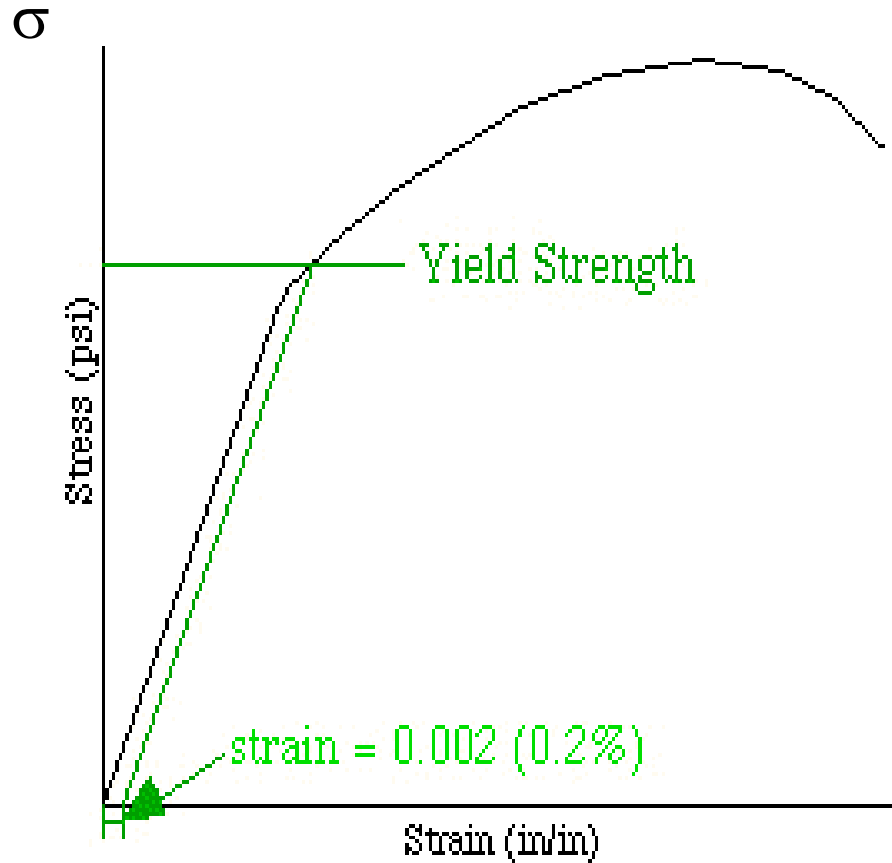


- Rigidez:
- ¿Cuál material es más rígido el acero (Steel) o el aluminio (Aluminum)?
- ¿Por qué?

El acero es más rígido, a mayor pendiente mayor rigidez y mayor Modulo de Young.

# ENSAYO DE TENSIÓN

Propiedades obtenidas de la Zona Elastica

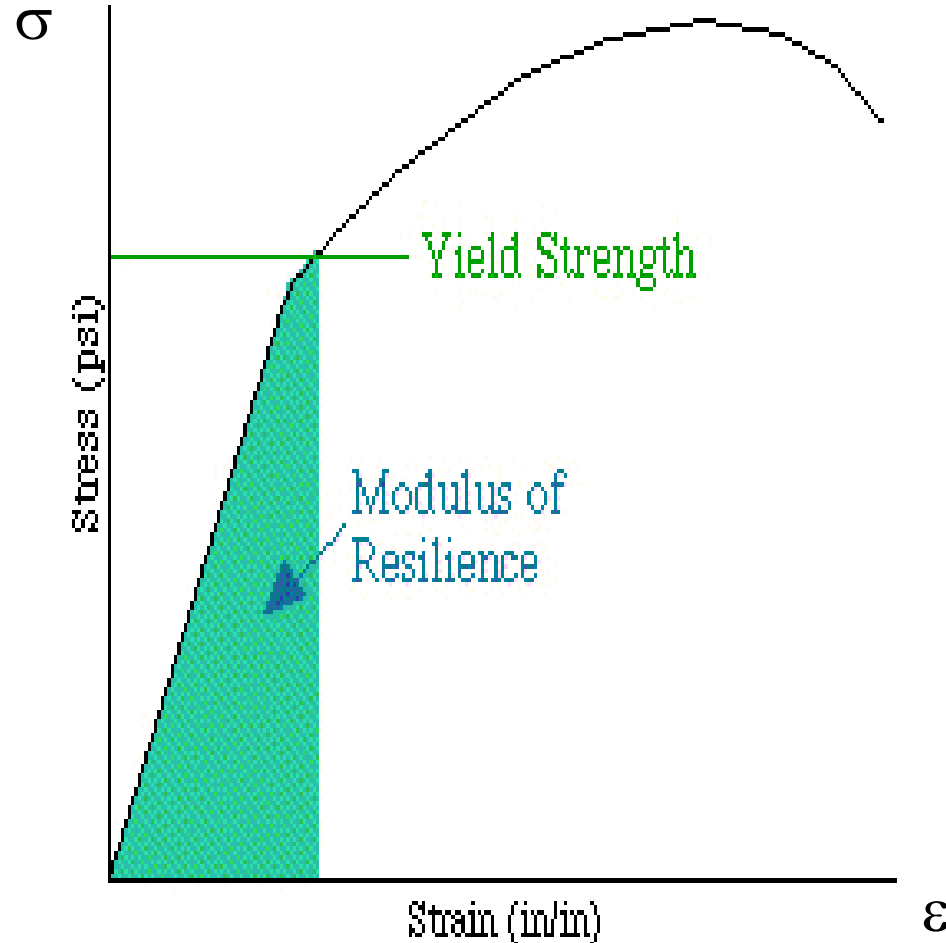


- **Limite elástico:** Punto en la grafica donde termina el modulo de elasticidad. Se pasa de la zona elástica a la zona plástica.
- **Esfuerzo de fluencia:** esfuerzo donde se genera una deformación plástica en el material de 0,2%.

$\epsilon$

# ENSAYO DE TENSIÓN

Propiedades obtenidas de la Zona Elastica

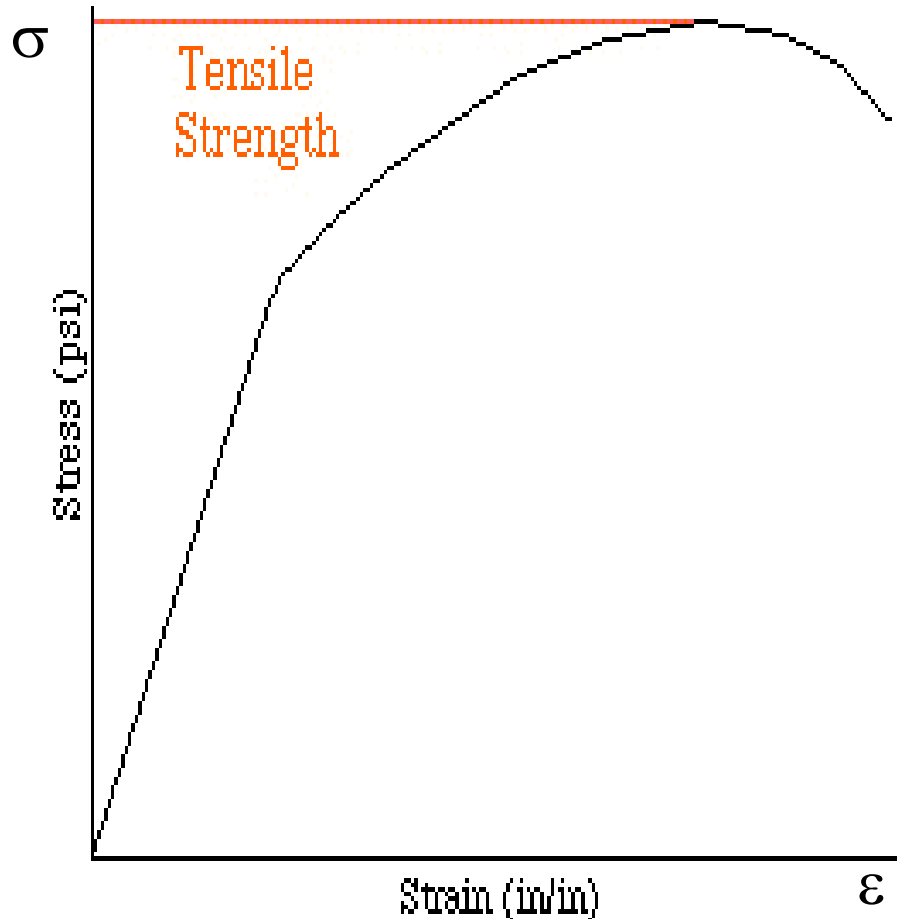


- Resiliencia: la capacidad que tiene un material de absorber energía antes de deformarse plásticamente.
- Se representa por el área bajo la curva de la zona elástica.



# ENSAYO DE TENSIÓN

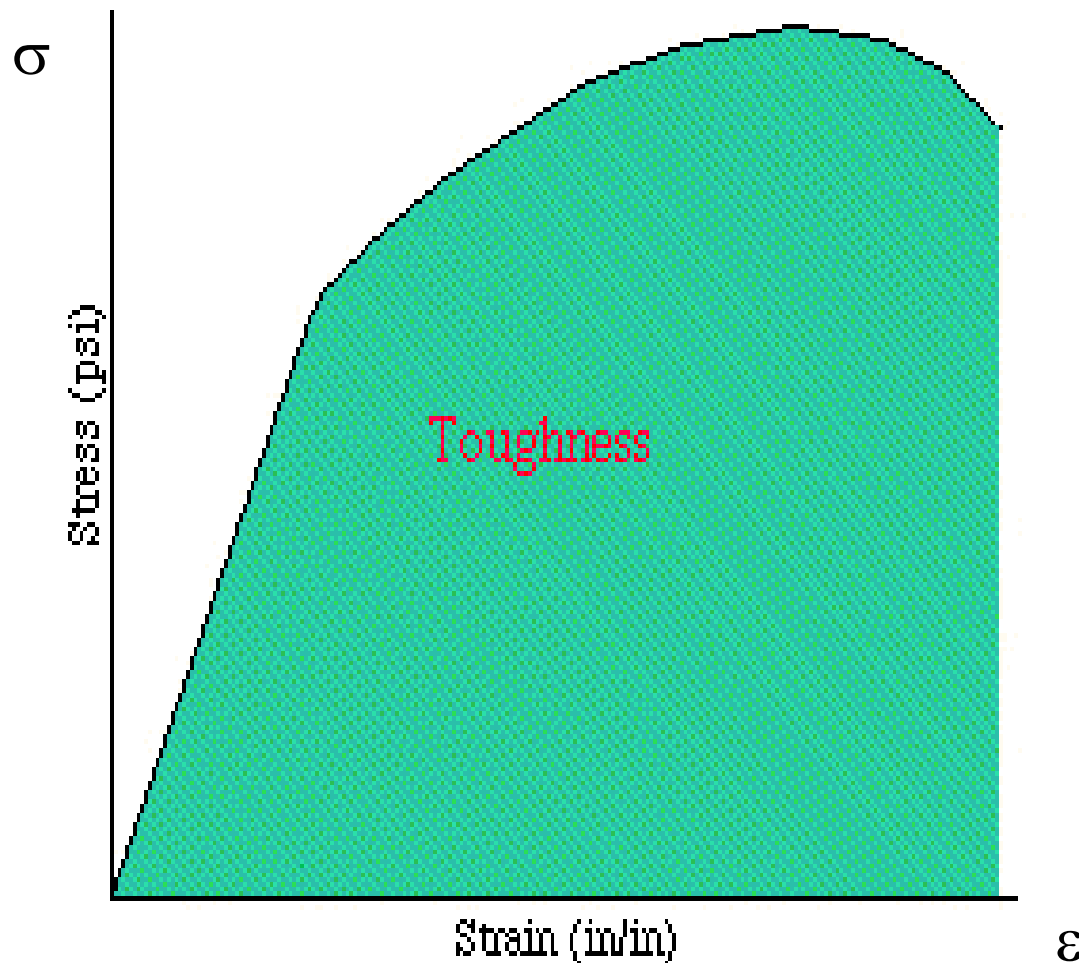
Propiedades obtenidas de la Zona Plastica



La resistencia a la tensión del material: es el esfuerzo máximo registrado en la grafica ( $\sigma$ - $\epsilon$ )

# ENSAYO DE TENSIÓN

Propiedades obtenidas de la Zona Plastica

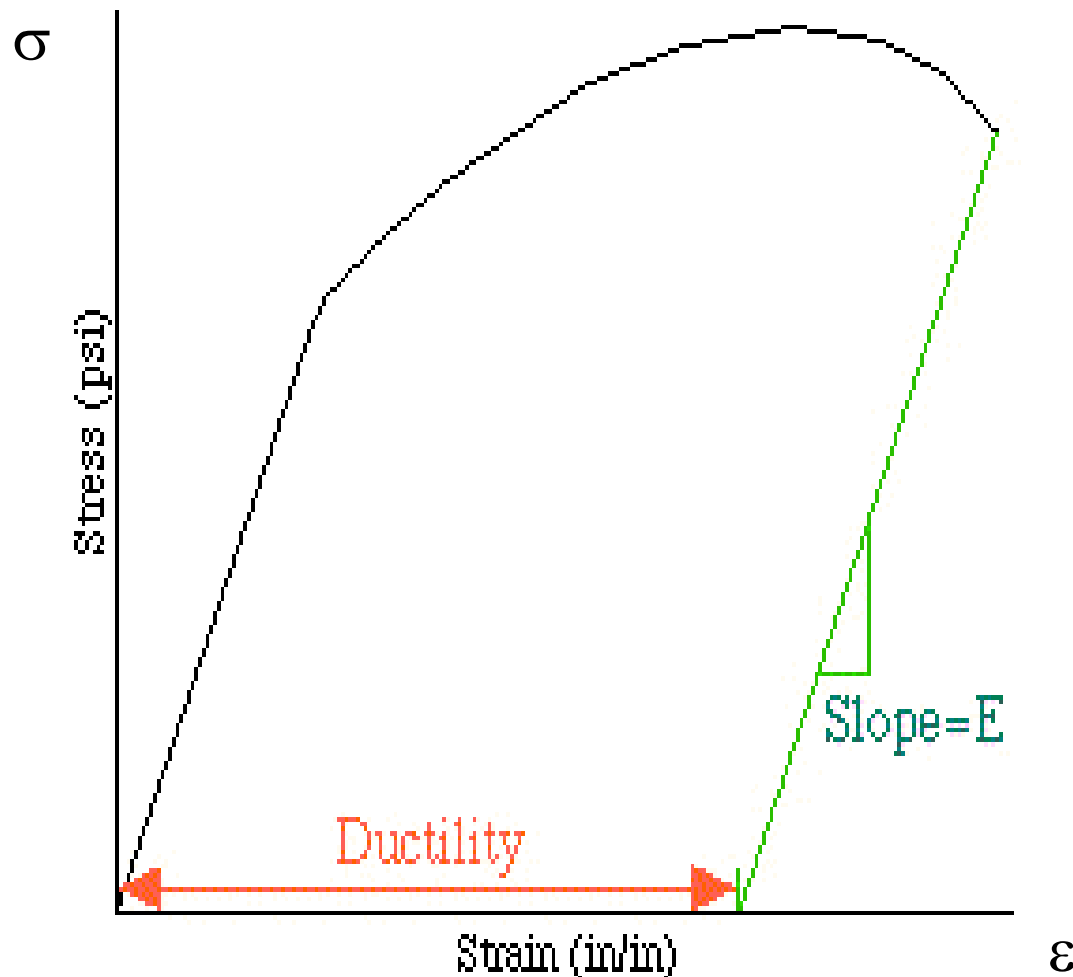


TENACIDAD:

ES LA ENERGIA POR UNIDAD DE VOLUMEN QUE PUEDE ABSORBER UN MATERIAL ANTES DE ROMPERSE, ES EQUIVALENTE AL AREA DEBAJO DE LA CURVA.

# ENSAYO DE TENSIÓN

Propiedades obtenidas de la Zona Plastica

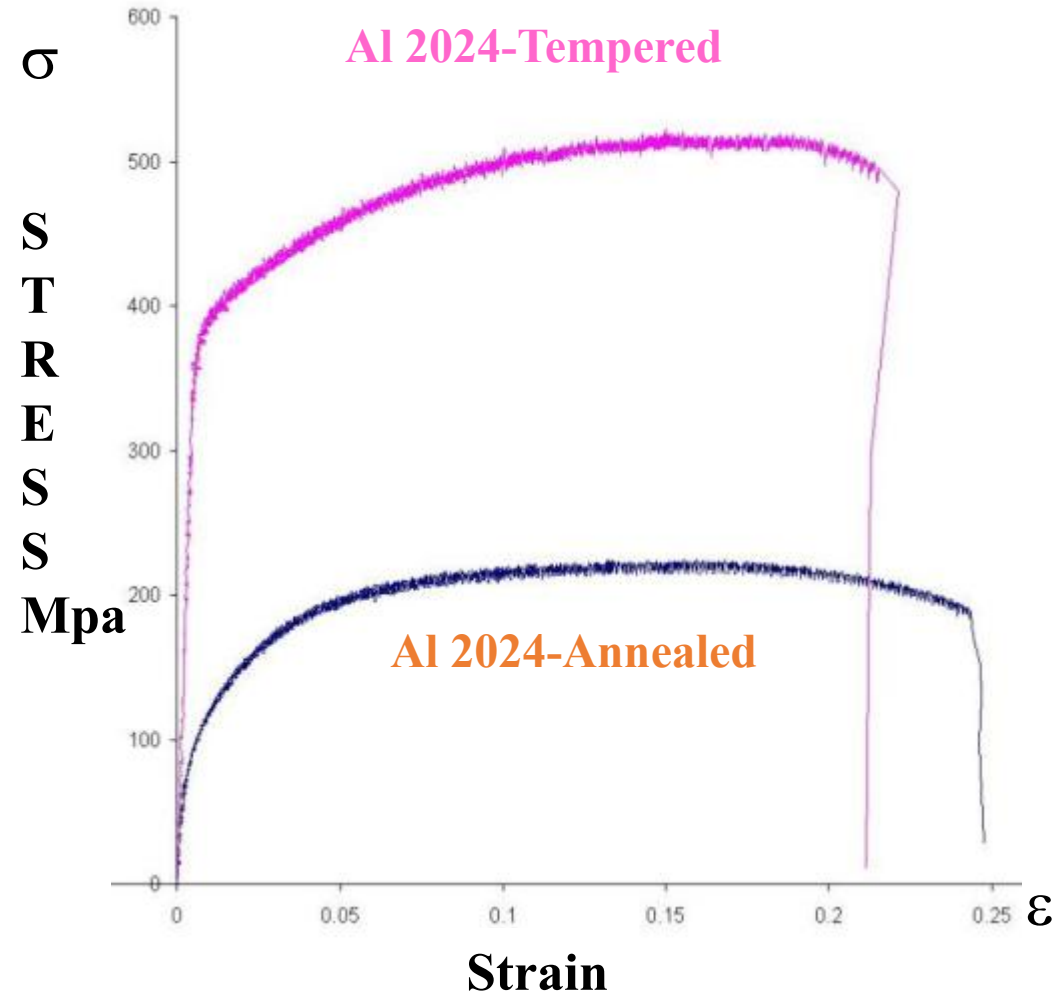


DUCTILIDAD:

ES LA CAPACIDAD QUE TIENE UN MATERIAL PARA DEFORMARSE PLASTICAMENTE ANTES DE FRACTURAR.

# ENSAYO DE TENSIÓN

Propiedades obtenidas de la Zona Plastica



¿Cuál material es más tenaz?

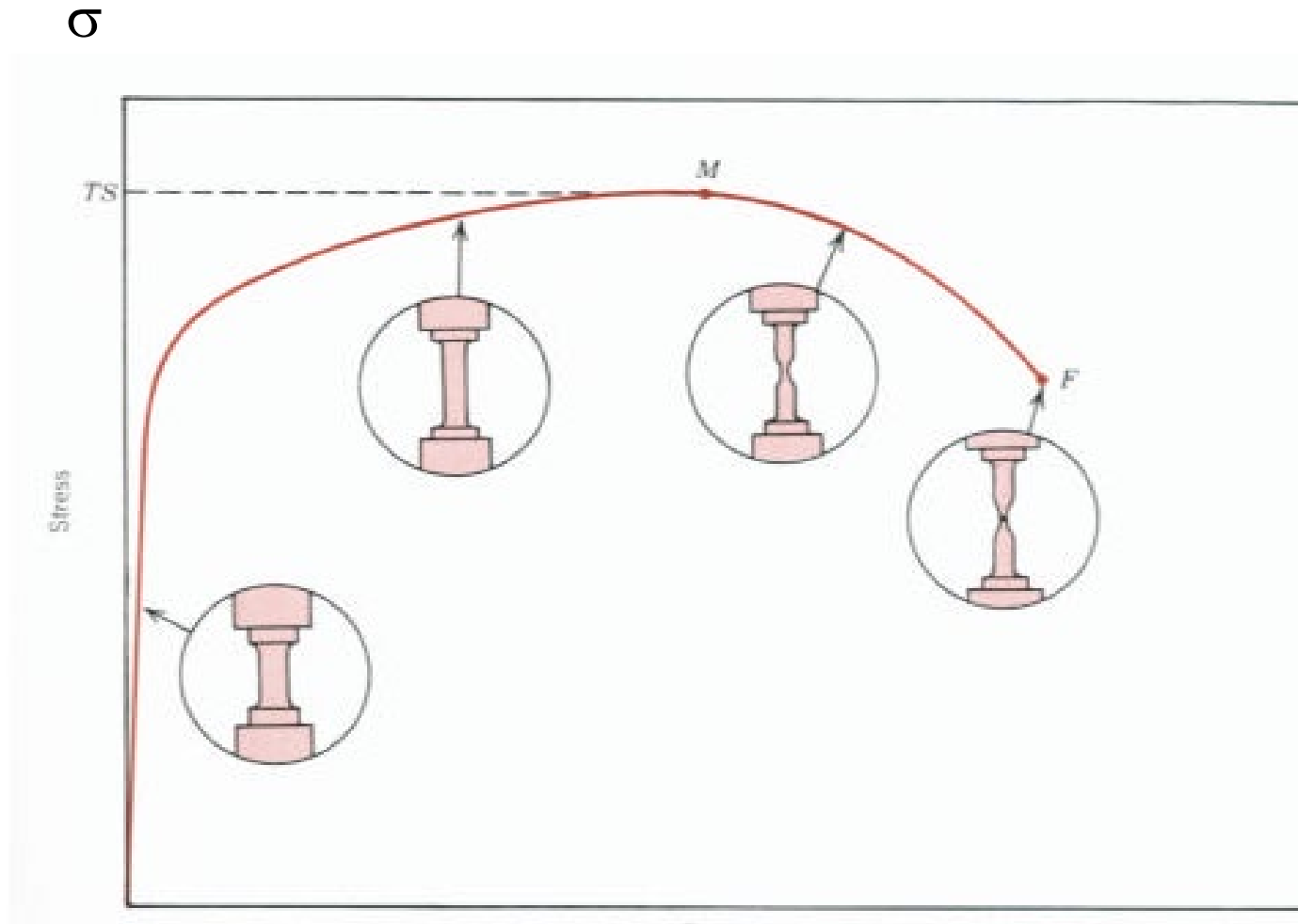
El Al 2024 Tempered tiene un mayor área sobre la curva.

¿Cuál material es más dúctil?

El Al 2024 Annealed, ambos poseen igual rigidez pero este se deforma 0.25 mientras el otro 0.22

# ENSAYO DE TENSIÓN

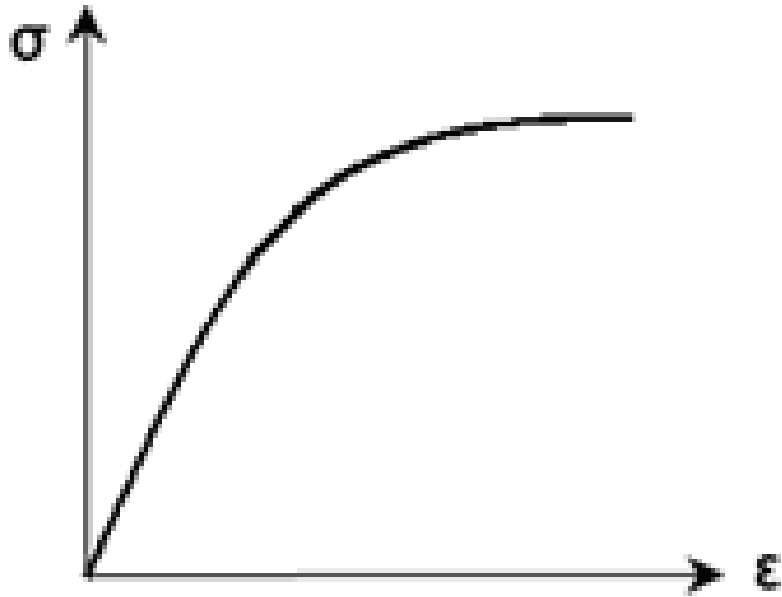
Comportamiento de una probeta sometida a un ensayo de tensión.



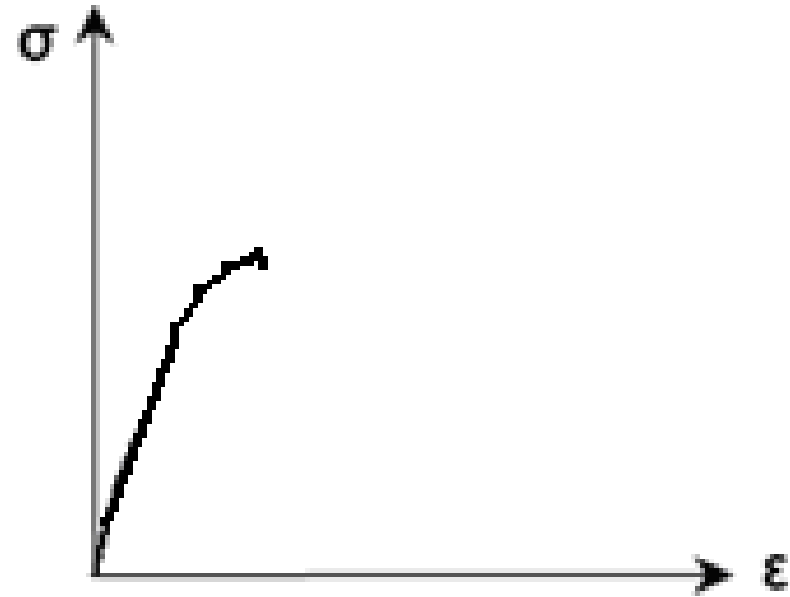
$\varepsilon$

# ENSAYO DE TENSIÓN

## TIPOS DE FRACTURA



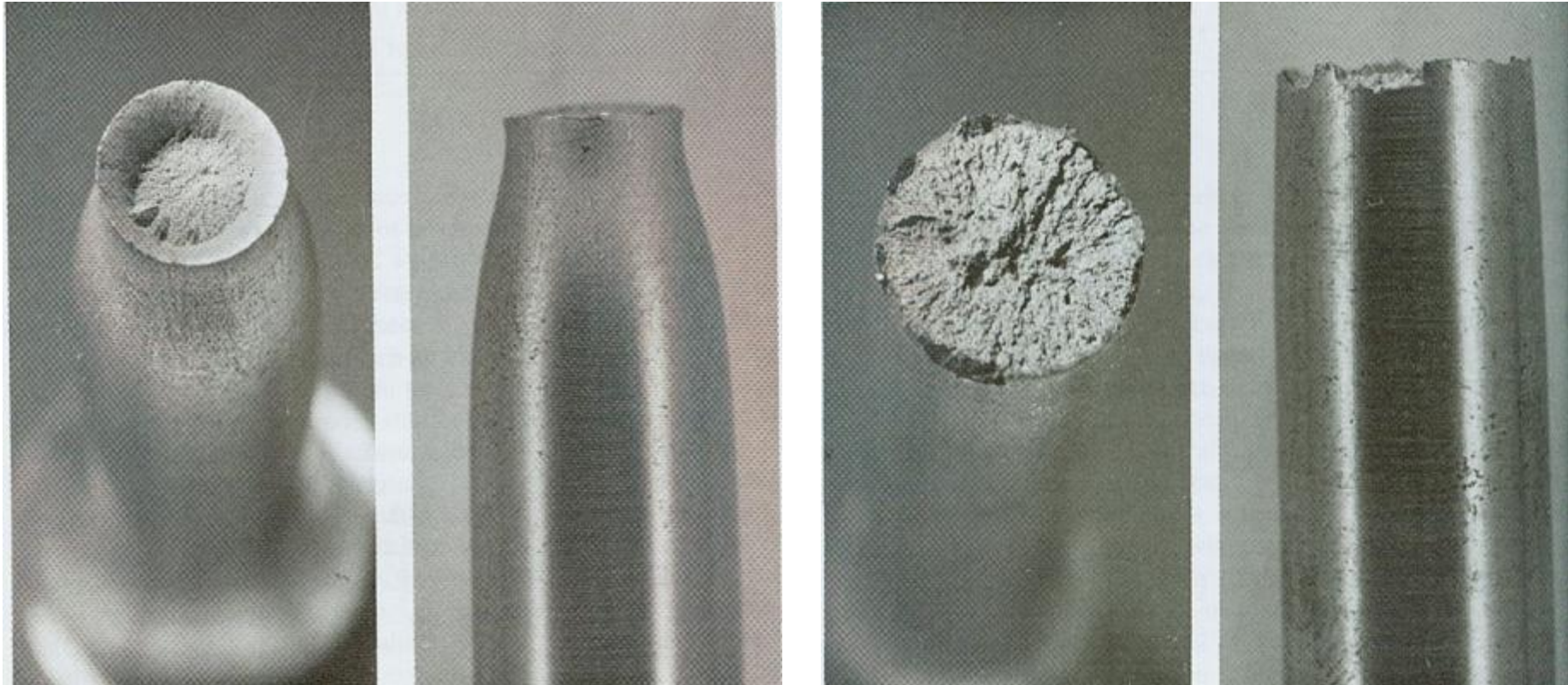
**FRACTURA DUCTIL**



**FRACTURA FRAGIL**

# ENSAYO DE TENSIÓN

## TIPOS DE FRACTURA



**FRACTURA DUCTIL**

**FRACTURA FRAGIL**

# DUREZA

- La dureza es una medida de la resistencia de un metal a la deformación permanente.(plástica).

Ensayos de dureza:

- Brinell, Vickers, Knoop, Rockwell.

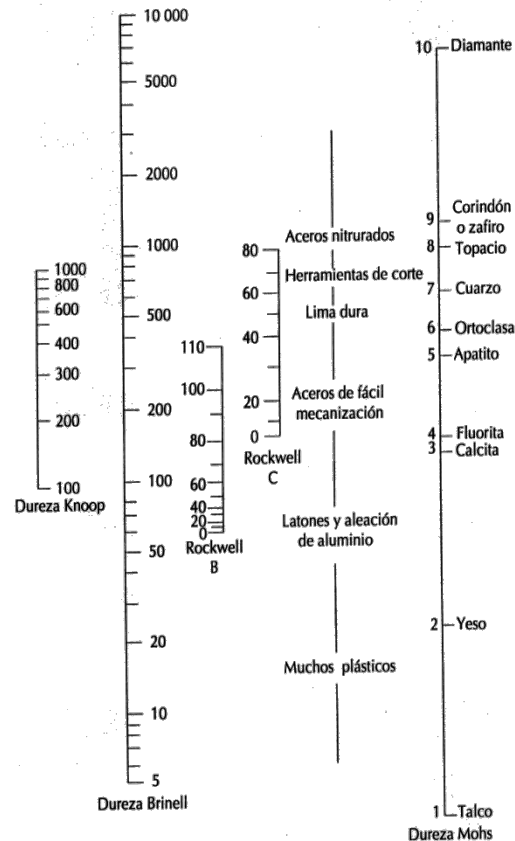
Escala de dureza de los materiales

- Macro dureza: Cuando se mide la dureza utilizando cargas mayores a 2 Newtons.
- Micro dureza: Cuando se mide la dureza utilizando cargas menores a 2 Newtons.
- Nanodureza: Dureza de materiales medidos a una escala de 10 nm de longitud utilizando cargas extremadamente pequeñas(100  $\mu$ N)



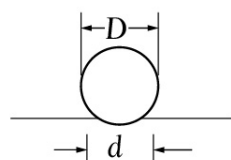
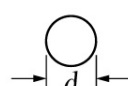
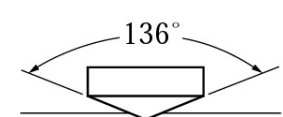
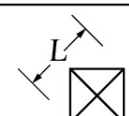
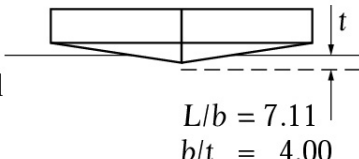
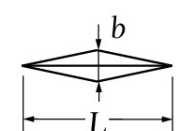
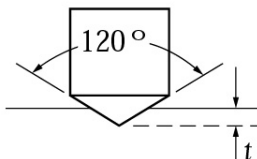

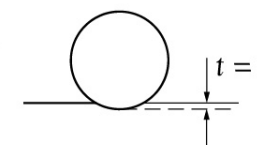

# Dureza: medida de la dureza

- Es una medida de la resistencia del material a la deformación plástica localizada.
- Los primeros ensayos estaban basados en la capacidad de un material para rayar a otro y se utilizaron para caracterizar la dureza de los minerales (escala de Mohs)
- Actualmente existen diferentes ensayos para caracterizar la dureza de un material. Estos se basan en el estudio de la deformación producida por una pieza particularmente dura (acero endurecido, carburo de wolframio o diamante) sobre un material. La tabla adjunta resume los distintos tipos de ensayos de dureza en función de las formas de las piezas deformadoras utilizadas.

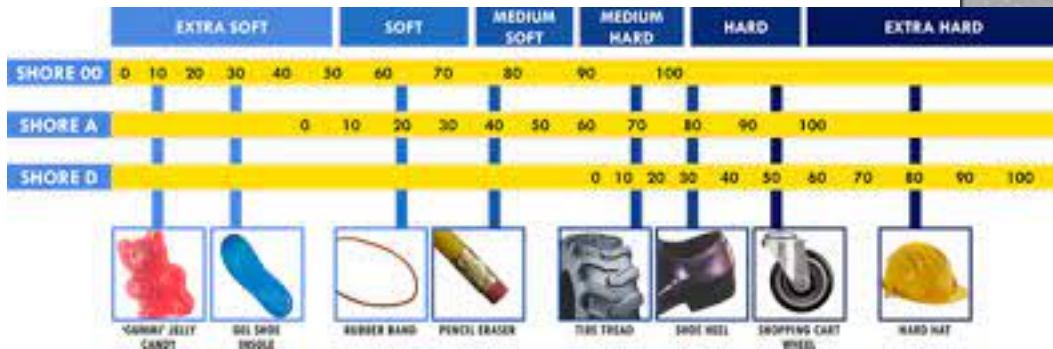


Ensayo	Penetrador	Vista lateral	Vista superior	Carga	Fórmula para el número de dureza <sup>a</sup>
Brinell	Esfera de 10mm de acero o de carburo de tungsteno			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Microdureza Vickers	Pirámide de diamante			P	$HV = 1,854P/d_1^2$
Microdureza Knoop	Pirámide de diamante			P	$HK = 14,2P/l^2$
Rockwell y Rockwell superficial	Cono de diamante Esferas de acero de 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 pulgadas de diámetro			60 kg 100 kg 150 kg	Rockwell
				15 kg 30 kg 45 kg	Rockwell superficial

# CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS DIFERENTES METODOS DE DUREZA

Test	Indenter	Shape of indentation		Load, P	Hardness number
		Side view	Top view		
Brinell	10-mm steel or tungsten carbide ball			500 kg 1500 kg 3000 kg	HB = $\frac{2P}{(\rho - D) (D\sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Diamond pyramid			1-120 kg	HV = $\frac{1.854P}{L^2}$
Knoop	Diamond pyramid			25g-5kg	HK = $\frac{14.2P}{L^2}$
Rockwell				kg	
A } C } D }	Diamond cone			60 150 100	HRA } HRC } HRD } = 100 - 500t
B } F } G }	$\frac{1}{16}$ in. diameter steel ball			100 60 150	HRB } HRF } HRG } = 130 - 500t
E	$\frac{1}{8}$ in. diameter steel ball			100	HRE

# DUROMETRO

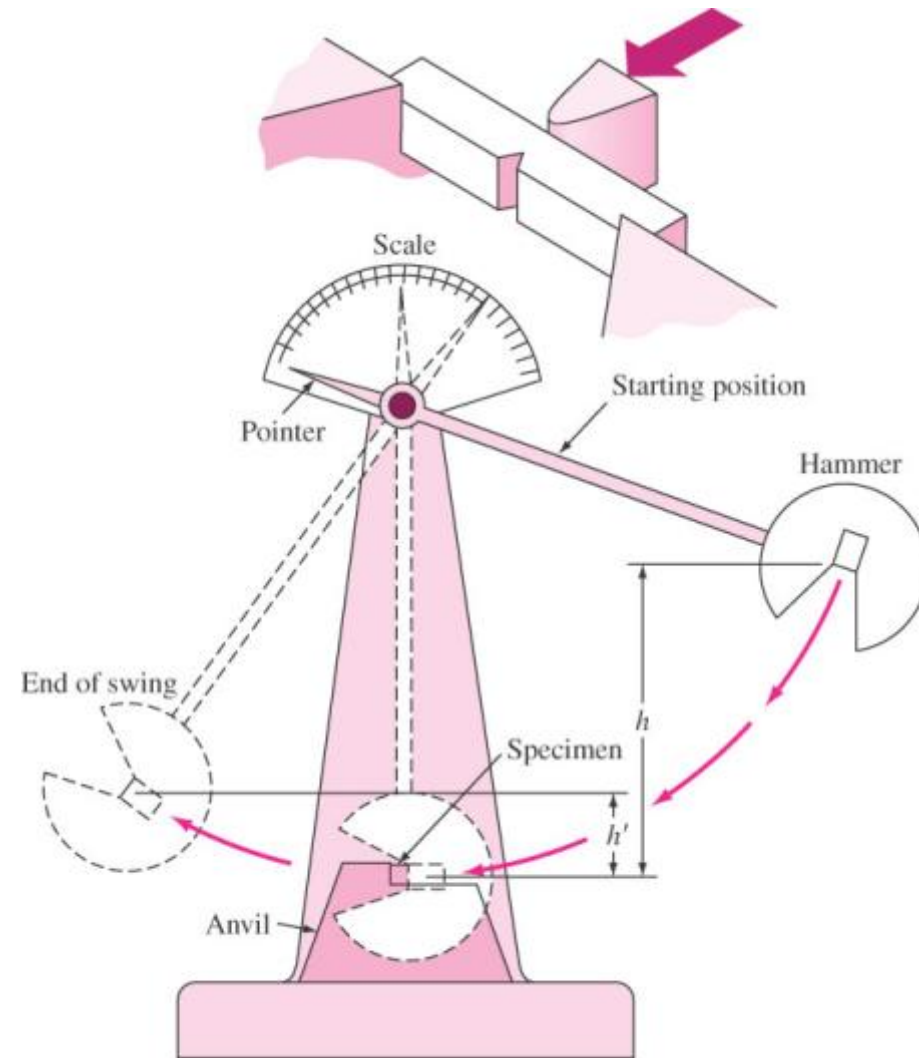


(a)

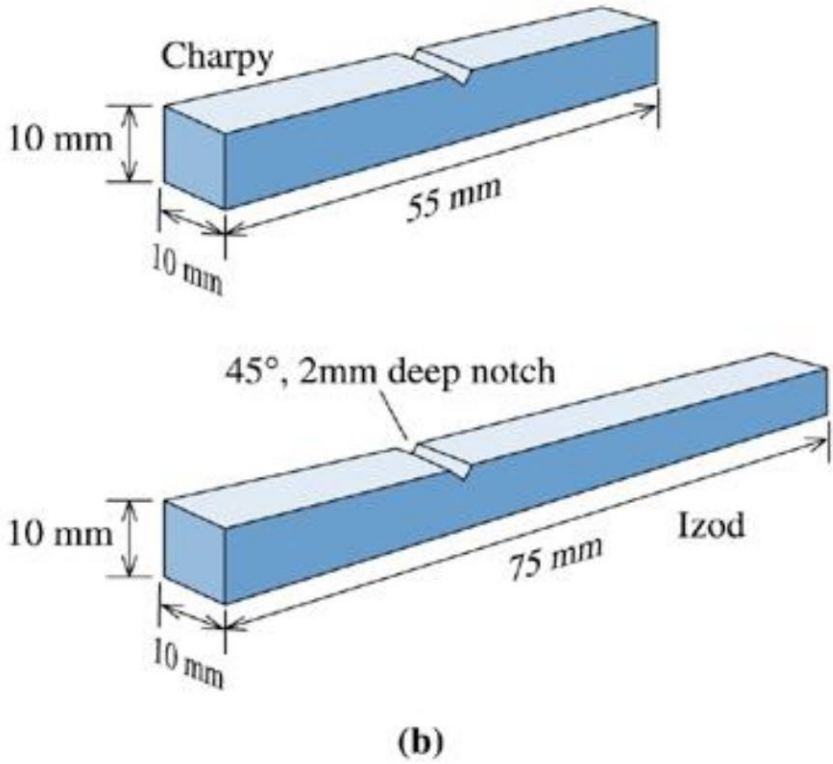
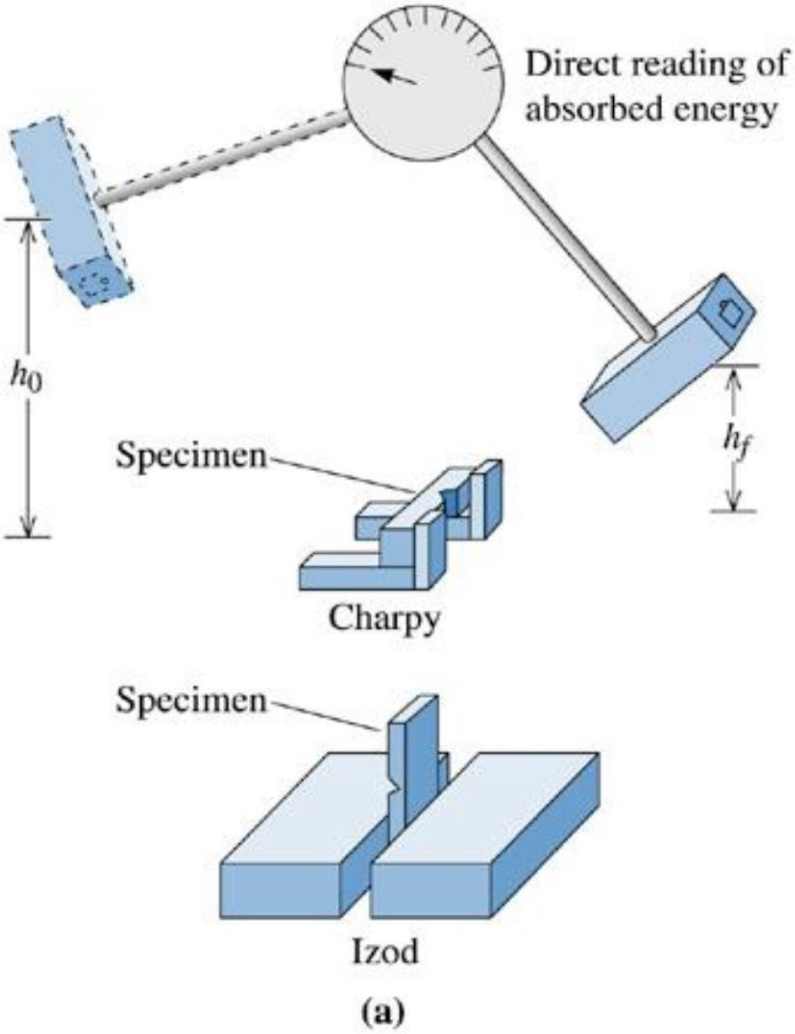
# ENSAYO DE IMPACTO

- La tenacidad es una medida de la cantidad de energía que un material puede absorber antes de fracturarse.
- Uno de los métodos más sencillos de medida de la tenacidad es utilizar un aparato de ensayo de impacto.

# ENSAYO DE IMPACTO



# ENSAYOS DE IMPACTO. CHARPY E IZOD



(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning is a trademark used herein under license.

## ENSAYOS DE IMPACTO. CHARPY

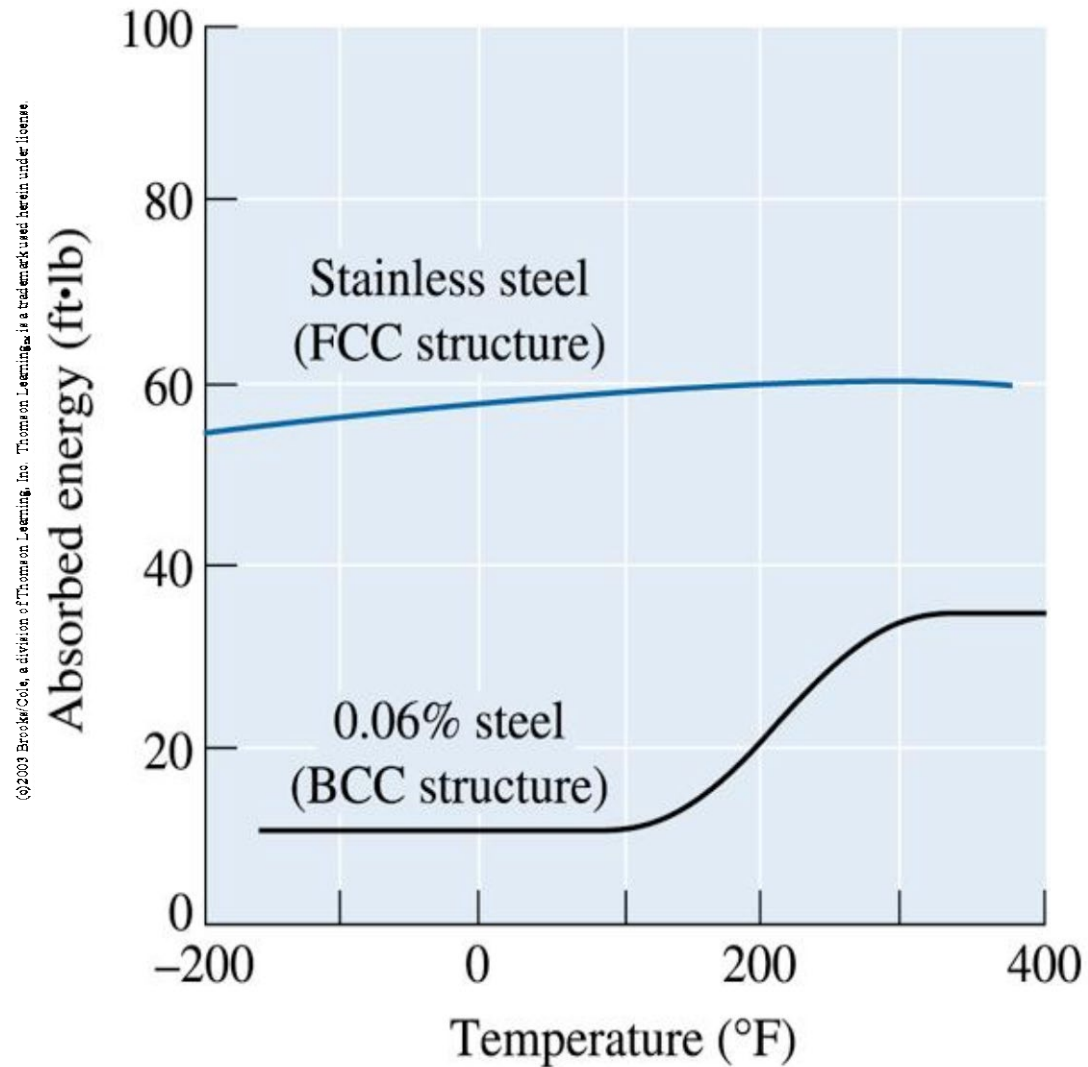
$(h_o - h_f) =$  Energía consumida por la probeta al romperse.

$$(h_o - h_f) / \text{área} = \varphi = \text{Resiliencia.}$$

•  $\varphi$  es una medida de la tenacidad que se puede definir como la capacidad que tiene un material para recibir tensiones ocasionales superiores al limite elástico sin que se produzcan fracturas.



# PROPIEDADES OBTENIDAS DEL ENSAYO DE IMPACTO.





## PROPIEDADES MECÁNICAS

- ❑ **COHESIÓN**, fuerza de atracción entre los átomos de un material.
- ❑ **ELASTICIDAD**, capacidad que presentan ciertos materiales de deformarse por acción de fuerzas externas y recobrar su forma primitiva al cesar estas fuerzas.
- ❑ **PLASTICIDAD**, capacidad de los materiales para adquirir deformaciones permanentes sin llegar a la rotura, según los esfuerzos se llama ductilidad o maleabilidad.
- ❑ **DUREZA**, resistencia que oponen los cuerpos a dejarse rayar o penetrar por otros. Es directamente proporcional a la cohesión atómica. Es el resultado de un ensayo:
  - **Dureza al rayado**, resistencia a dejarse rayar por otros. Escala de Mohs.
  - **Dureza de penetración**, ensayos Brinell, Vickers y Rockwell.
  - **Dureza al rebote**, ensayo Shore.

## PROPIEDADES MECÁNICAS (II)

❑ **RESISTENCIA A LA ROTURA**, resultado de un ensayo: carga específica (por unidad de sección) que es necesario aplicar a un material para producir su rotura. Según el esfuerzo puede ser: tracción, compresión, flexión, torsión y cortadura.

❑ **TENACIDAD**, propiedad que tienen los materiales de soportar, sin deformarse ni romperse, la acción de fuerzas externas.

❑ **FRAGILIDAD**, cuando se rompe fácilmente una vez alcanzado el límite elástico, sin adquirir deformaciones plásticas.

❑ **RESILIENCIA**, resultado de un ensayo que consiste en romper una probeta del material de un esfuerzo instantáneo. Energía absorbida por el material al ser roto de un solo golpe.

## PROPIEDADES MECÁNICAS (III)

□ **FLUENCIA**, fenómeno por el cual los cuerpos que se cargan por encima de su límite elástico adquieren deformaciones plásticas en las que influye el transcurso del tiempo.

$$\Delta d = f(\sigma \cdot T \cdot t)$$

□ **FATIGA**, al someter un material a esfuerzos variables y repetidos con una determinada frecuencia, se rompe al transcurrir un cierto número de ciclos aunque el valor máximo de los esfuerzos sea inferior a su límite elástico.