

PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MATERIALES



OBJETIVOS

- Explicar los conceptos básicos asociados con las propiedades mecánicas de los materiales.
- Evaluar los factores que afectan las propiedades mecánicas de los materiales.
- Revisar algunos de los procedimientos básicos de ensayos que se usan en ingeniería para evaluar las propiedades.

CONTENIDO

- Clasificación de las propiedades
- Propiedades Mecánicas
- Ensayo a tensión
- Ensayo de dureza
- Ensayo de impacto
- Ensayo de flexión
- Ensayo de tenacidad a la fractura
- Ensayo de fatiga
- Metalografía

CLASIFICACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES



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?

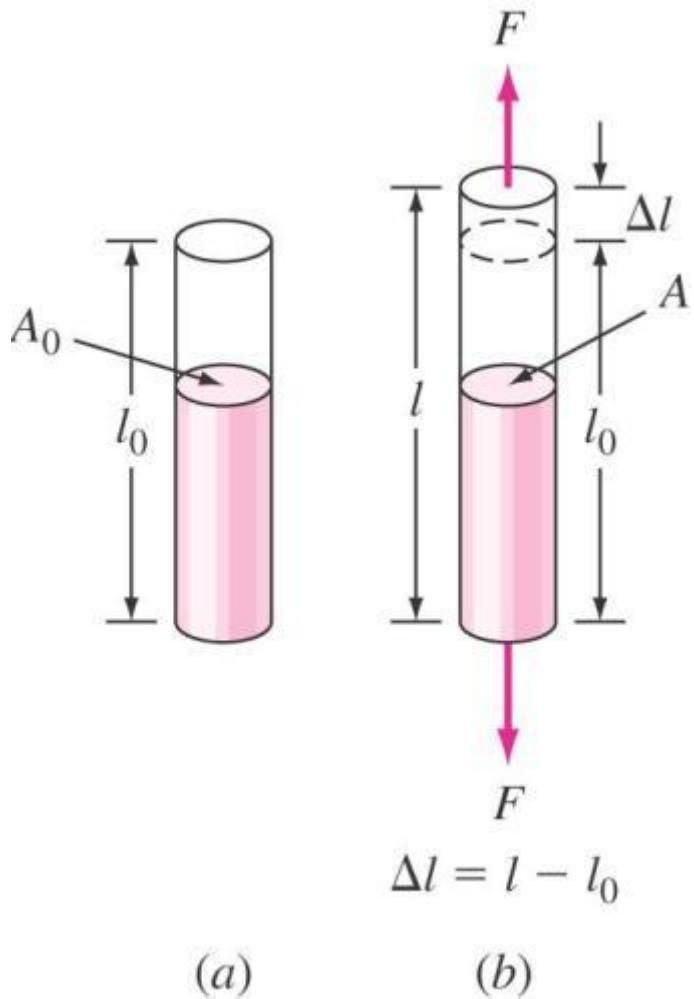
Una respuesta es mediante los ensayos mecánicos

PROPIEDADES 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

ENsayo DE TENSIÓN



- Esfuerzo axial (σ)

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

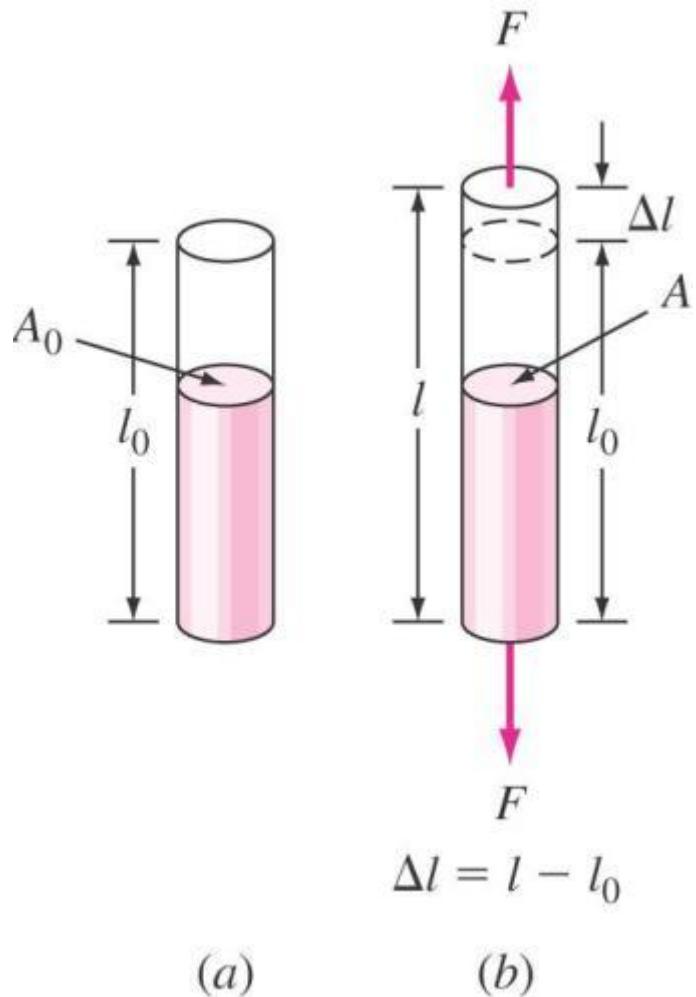
Sistema Internacional

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

Sistema U.S.

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

ENsayo DE TENSIÓN



- Deformación (ε)

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

Sistema Internacional

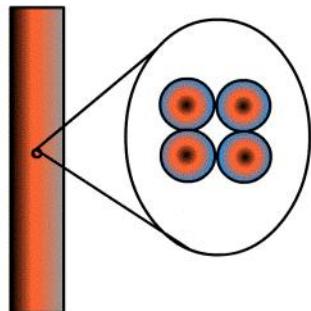
$$\varepsilon = \frac{mm}{mm}$$

Sistema U.S.

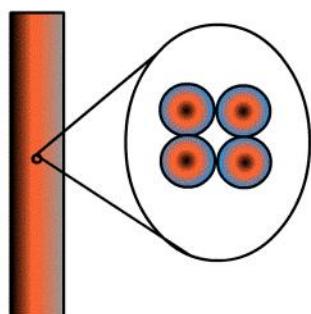
$$\varepsilon = \frac{in}{in}$$

ENSAYO DE TENSIÓN

- Comportamiento del material cuando es sometido a carga axial.



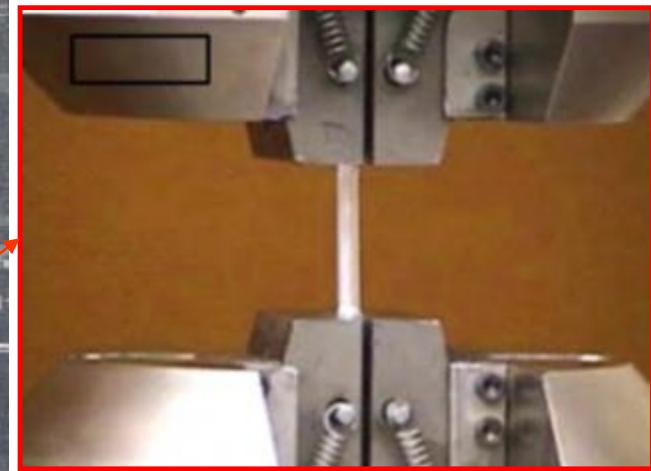
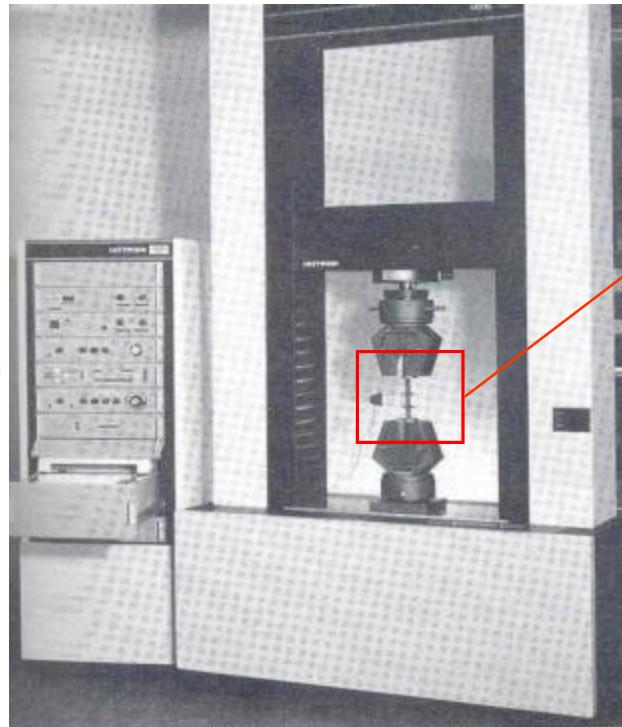
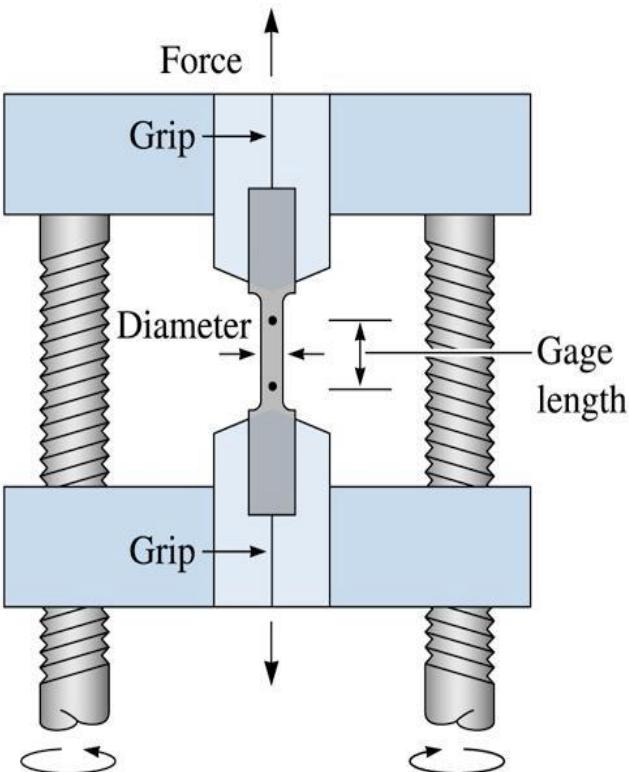
Comportamiento Elastico:
Material regresa a sus dimensiones originales una vez se suprime la fuerza.



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

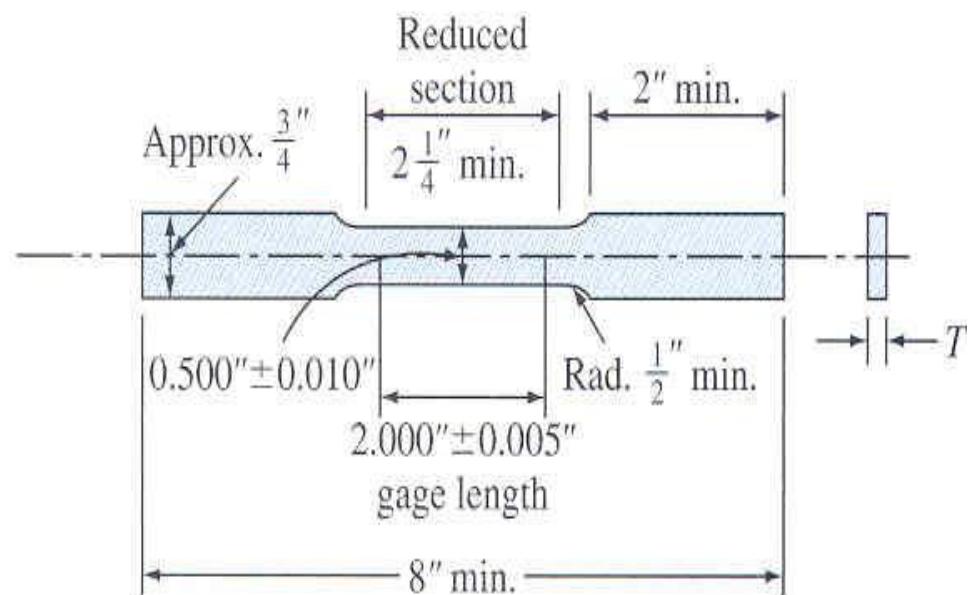
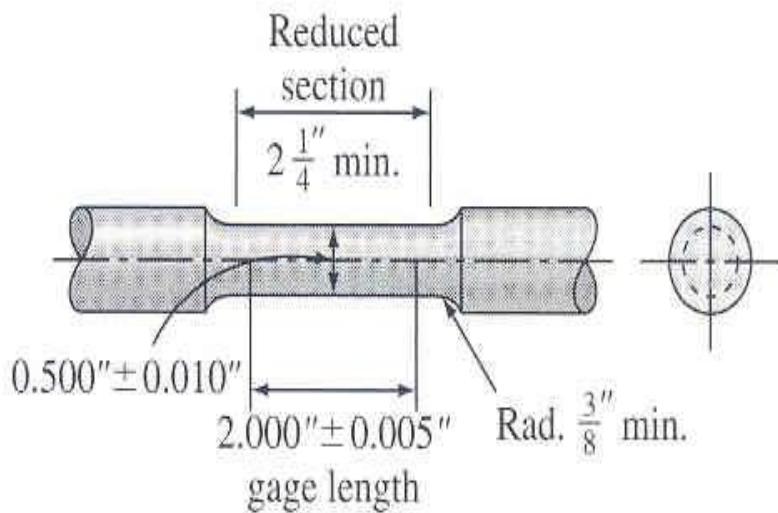
ENSAYO DE TENSIÓN

- 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

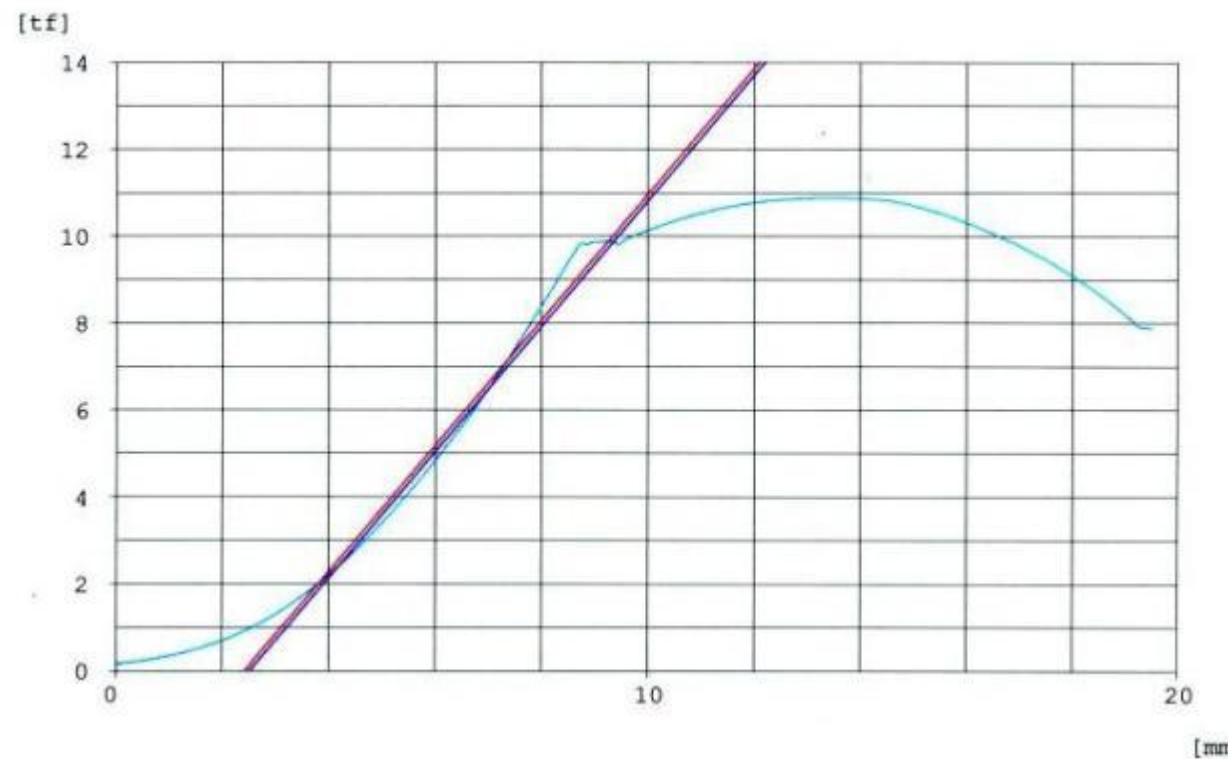


Probeta cilíndrica

Probeta Plana

ENsayo DE TENSIÓN

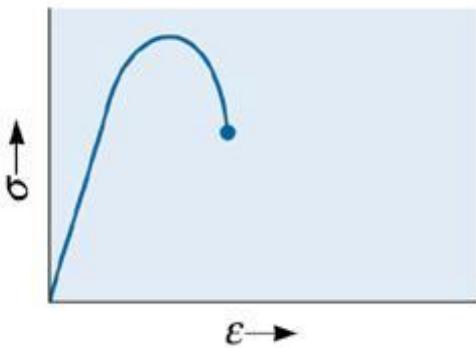
- Grafica *Fuerza-Desplazamiento* entregada por la Máquina Universal de Ensayo, para obtener la grafica *Esfuerzo-Deformación* y así obtener las Propiedades Mecánicas del material.



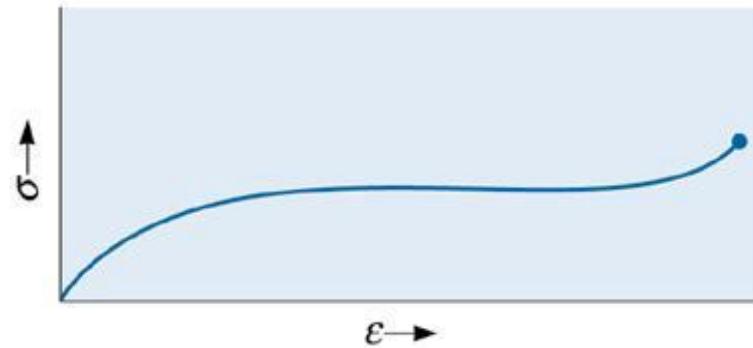
- **Esfuerzo de fluencia**
- **Rigidez**
- **Resiliencia**
- **Resistencia a la tensión**
- **Ductilidad**
- **Tenacidad**

ENsayo DE TENSIÓN

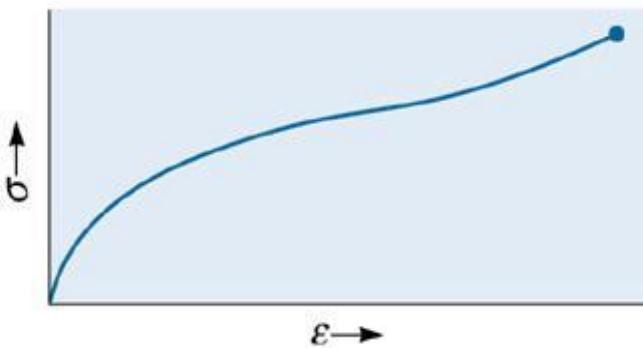
(a) Metal



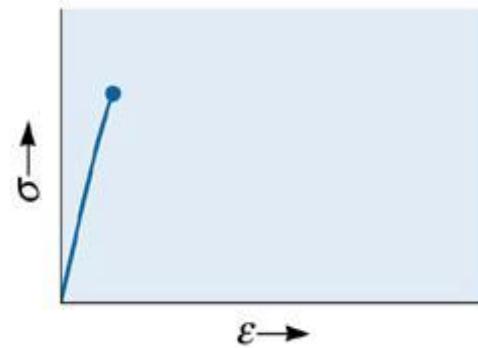
(b) Thermoplastic material above T_g



(c) Elastomer



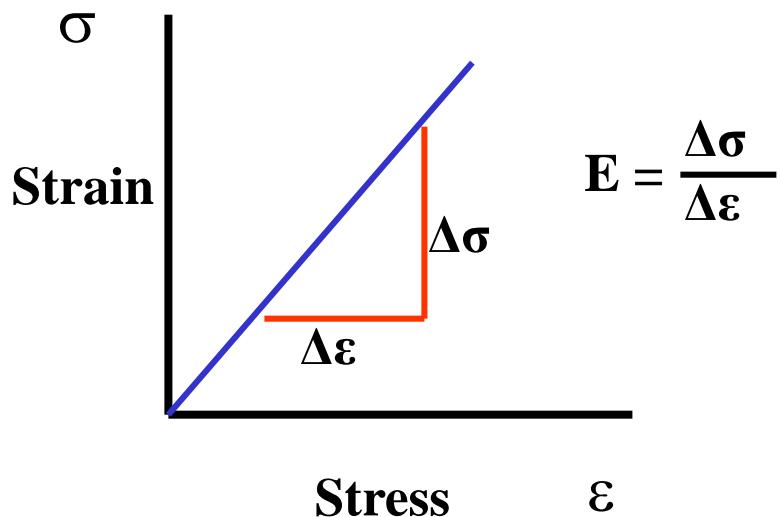
(d) Ceramics, glasses, and concrete



ENSAYO DE TENSIÓN

Propiedades obtenidas de la Zona Elástica

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



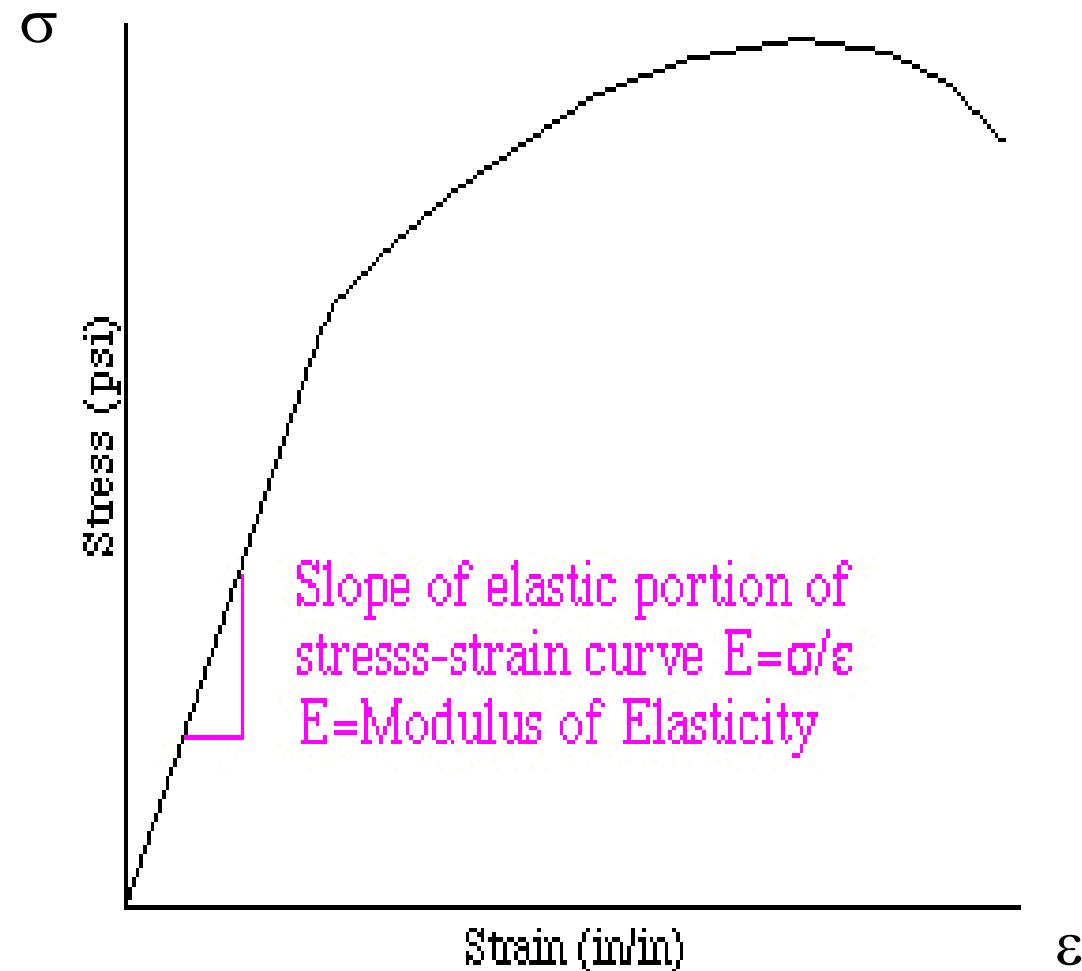
$$E = \frac{\sigma(\text{Esfuerzo})}{\epsilon(\text{Deformación})}$$

Acero 207 Gpa

Aluminio 75 Gpa

ENSAYO DE TENSIÓN

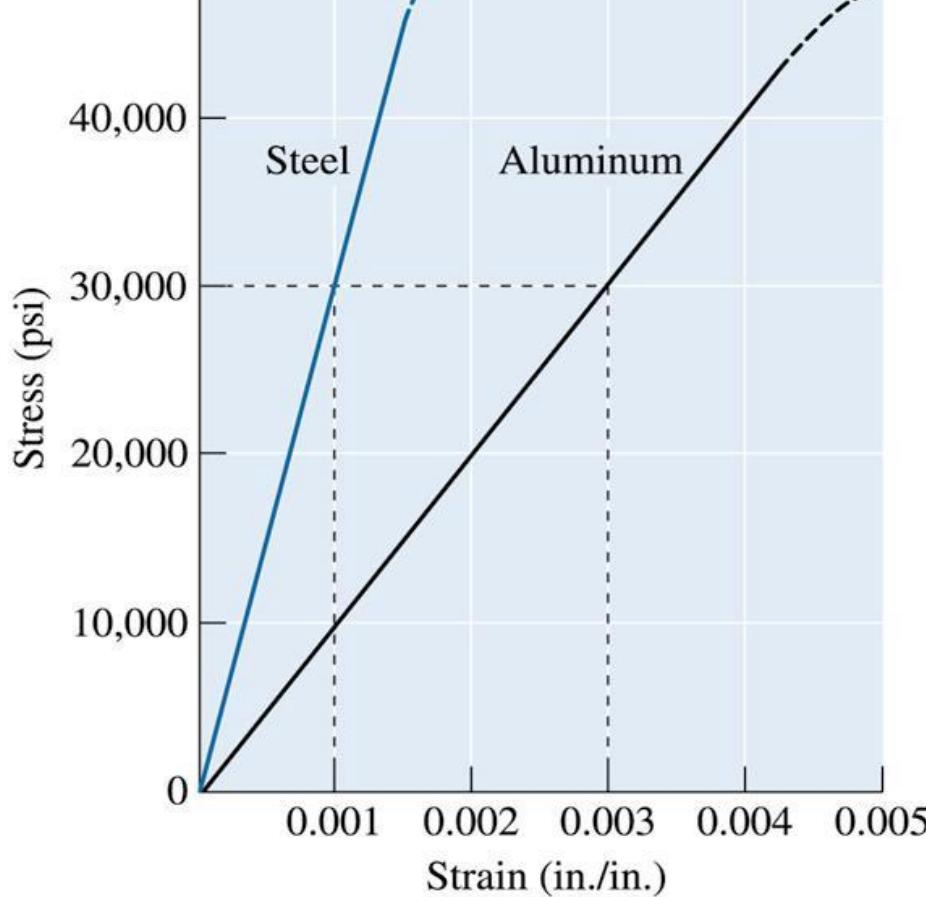
Propiedades obtenidas de la Zona Elástica



- **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



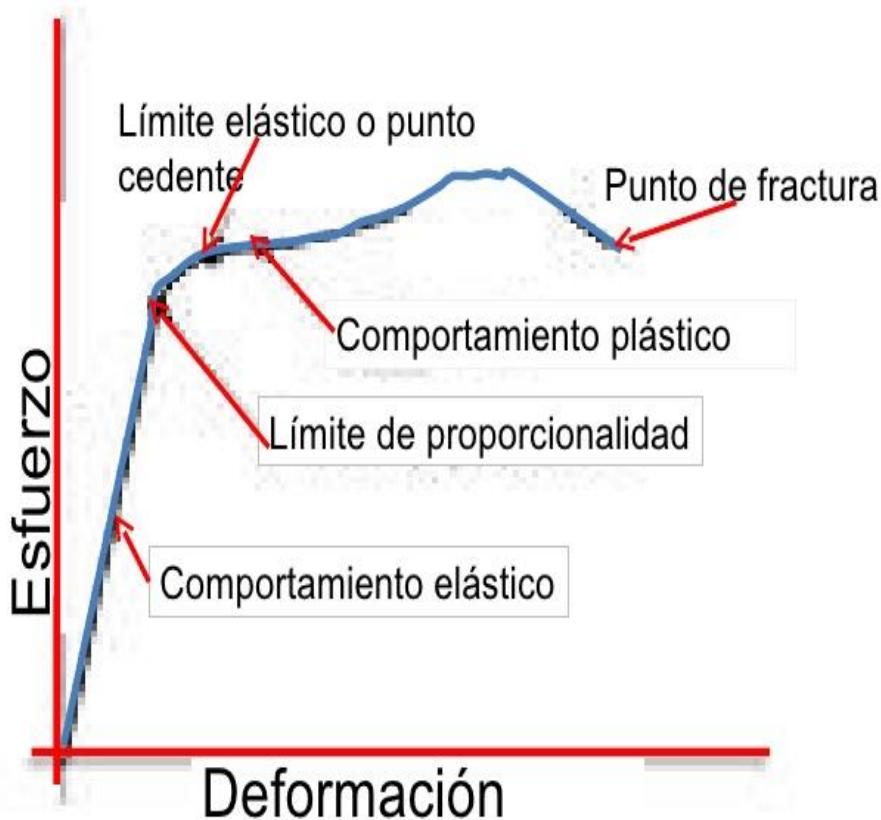
- **Rigidez:**
- ¿Cuál material es más rígido el acero (Steel) o el aluminio (Aluminum)?
- ¿Por qué?

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

ENsayo de Tensión

Propiedades obtenidas de la Zona Elástica

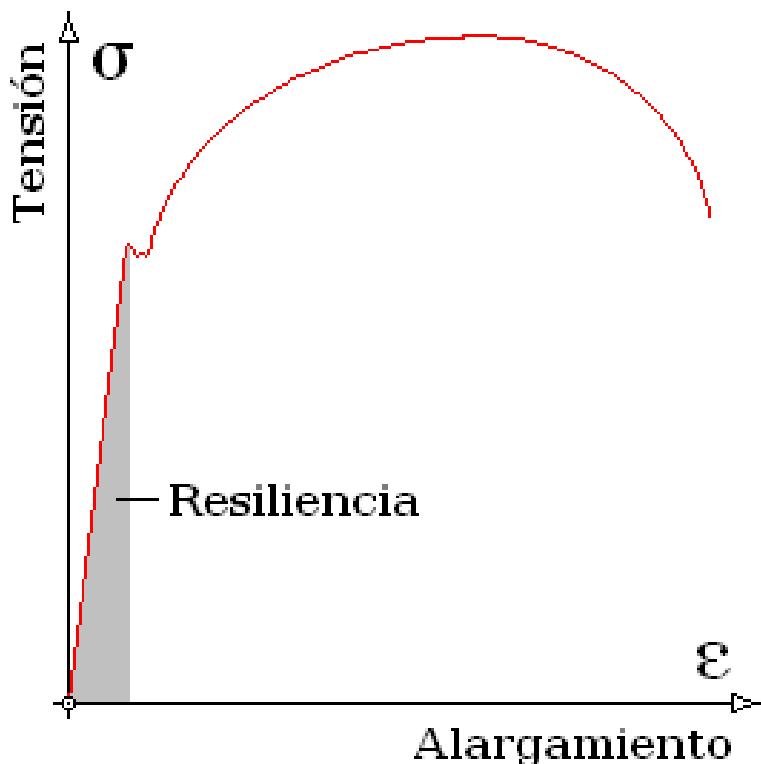
Relación entre esfuerzo y deformación



- **Límite 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%.

ENsayo de Tensión

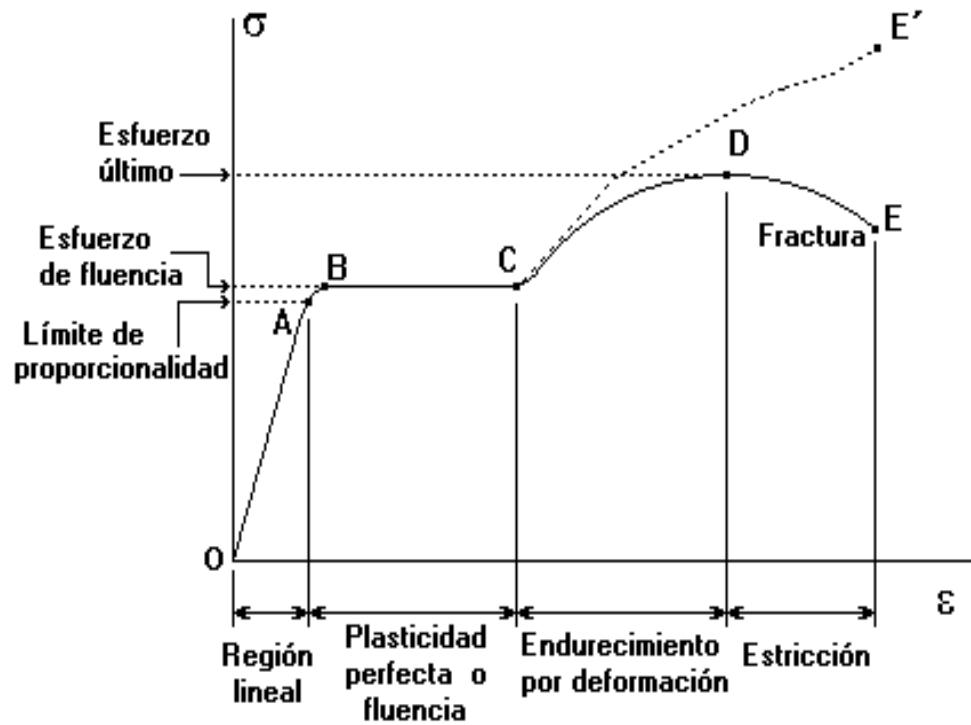
Propiedades obtenidas de la Zona Elástica



- **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

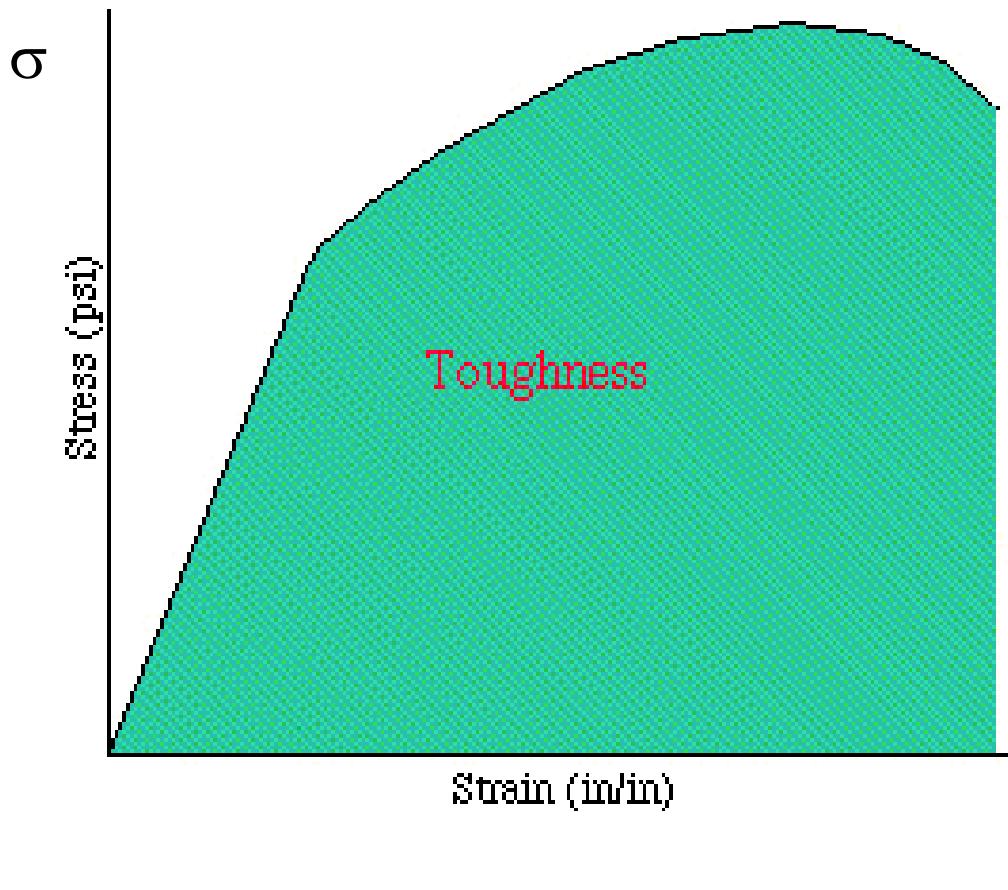
Propiedades obtenidas de la Zona Plastica



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

ENSAYO DE TENSIÓN

Propiedades obtenidas de la Zona Plastica

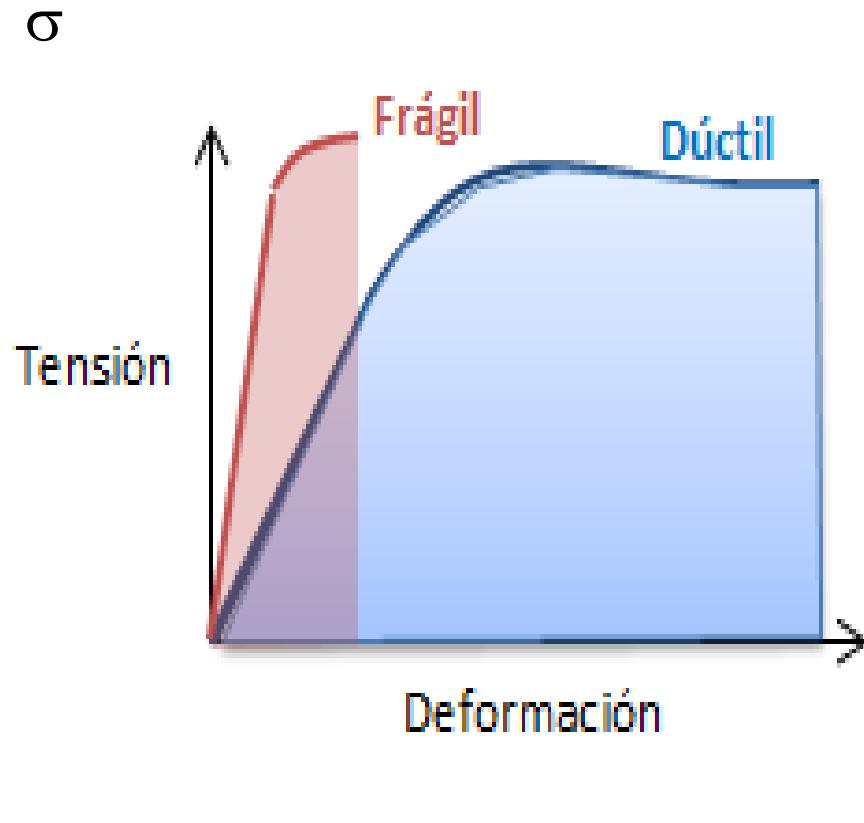


TENACIDAD:

es la energía por unidad de volumen que puede absorber un material antes de romperse, es equivalente al área debajo de la curva del diagrama esfuerzo deformación.

ENSAYO DE TENSIÓN

Propiedades obtenidas de la Zona Plastica

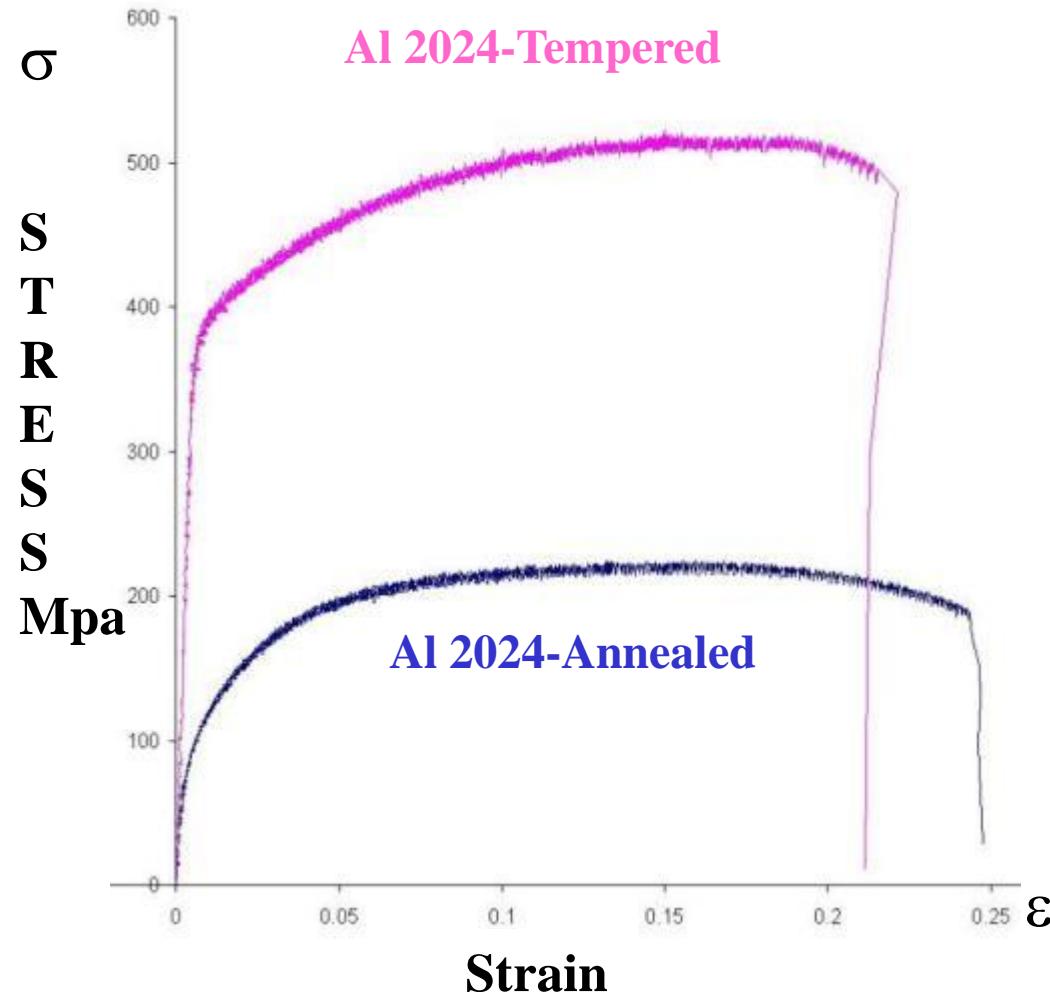


DUCTILIDAD:

es la capacidad que tiene un material para deformarse plásticamente 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 ductil?

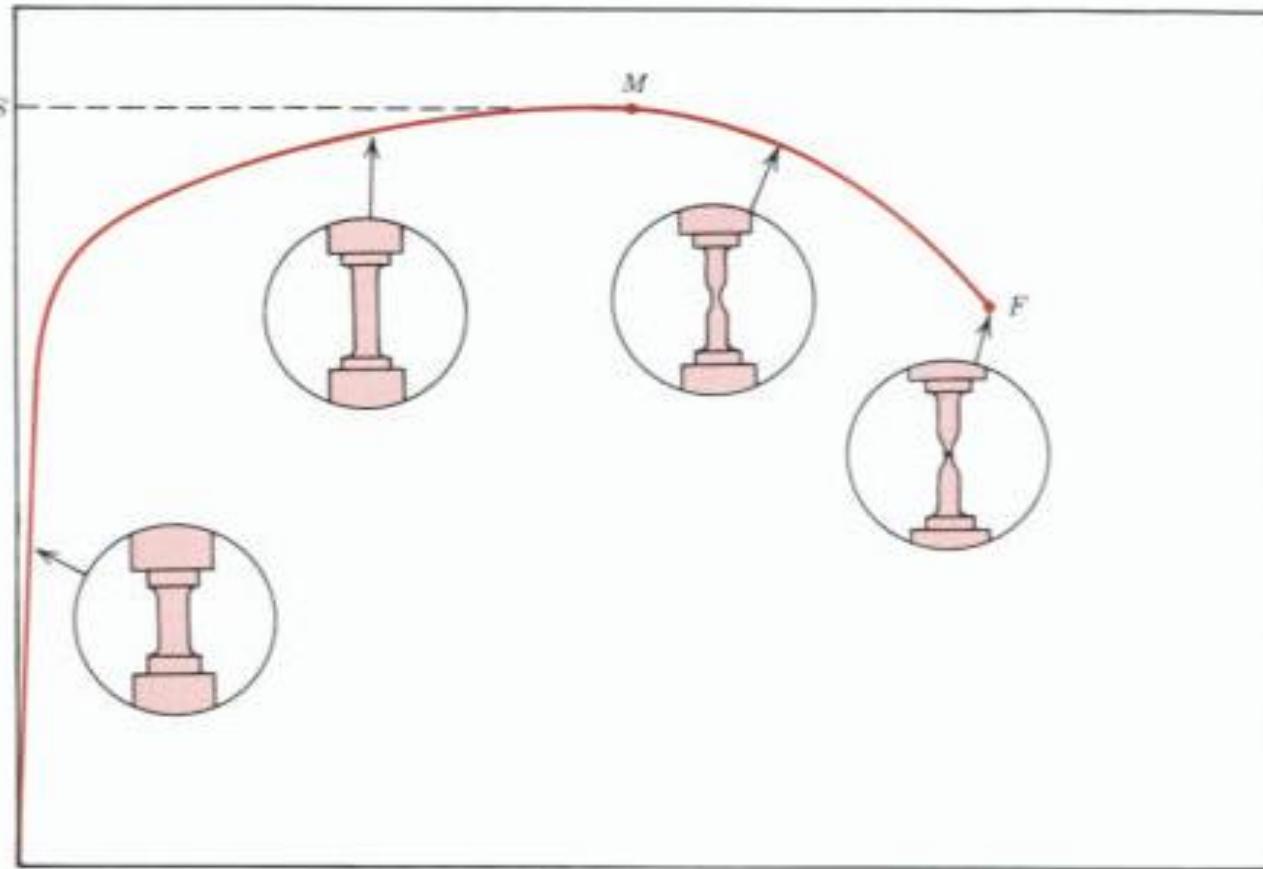
El Al 2024 Annealed, ambos poseen igual rigidez pero este se deforma 0.25 mientras el otro 0.22

ENSAYO DE TENSIÓN

Comportamiento de una probeta sometida a un ensayo de tensión.

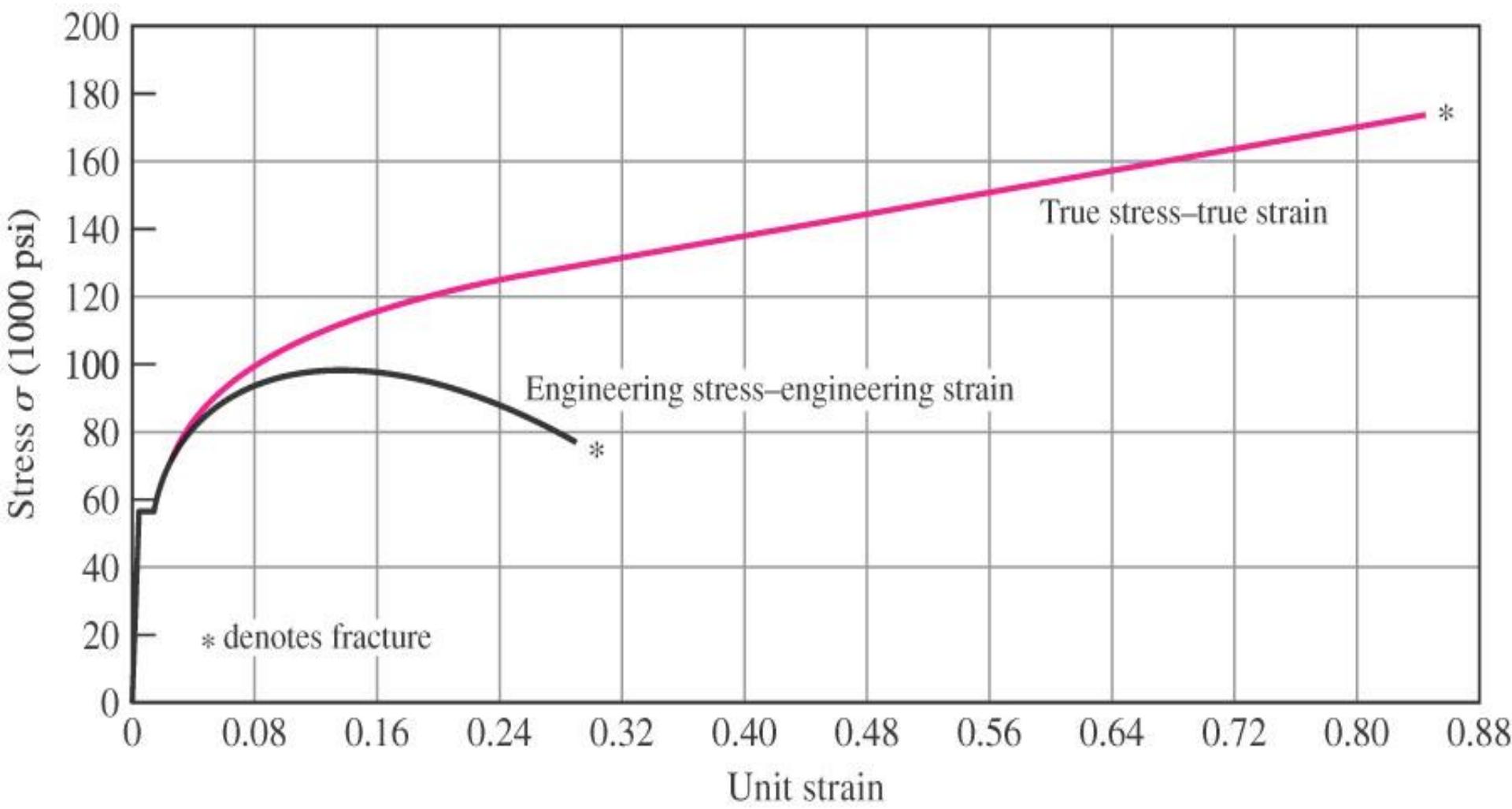
σ

Stress



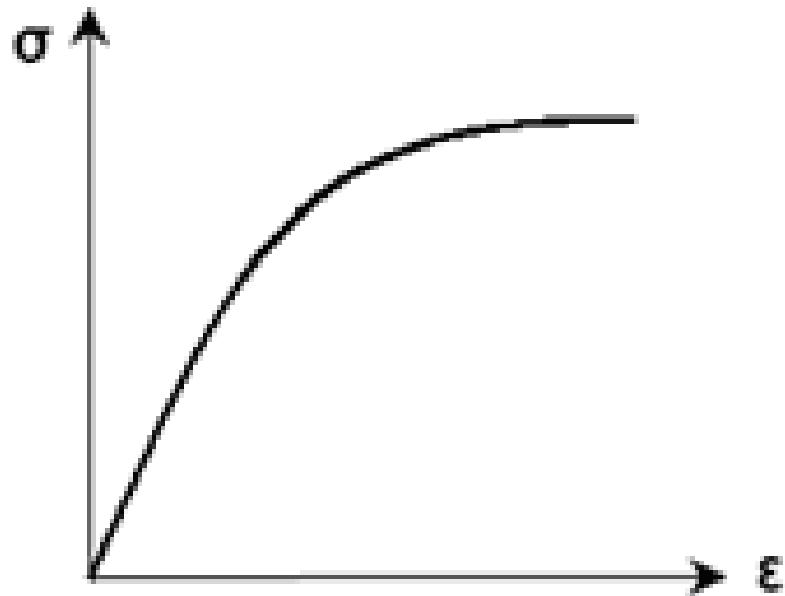
ENSAYO DE TENSIÓN

Variación entre una grafica real y una de ingeniería para el esfuerzo y la deformación de un material

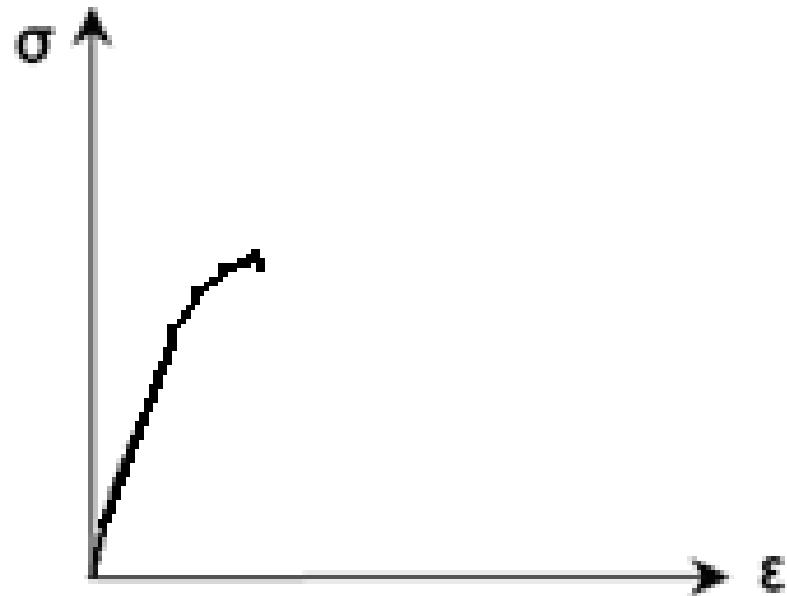


ENSAYO DE TENSIÓN

TIPOS DE FRACTURA



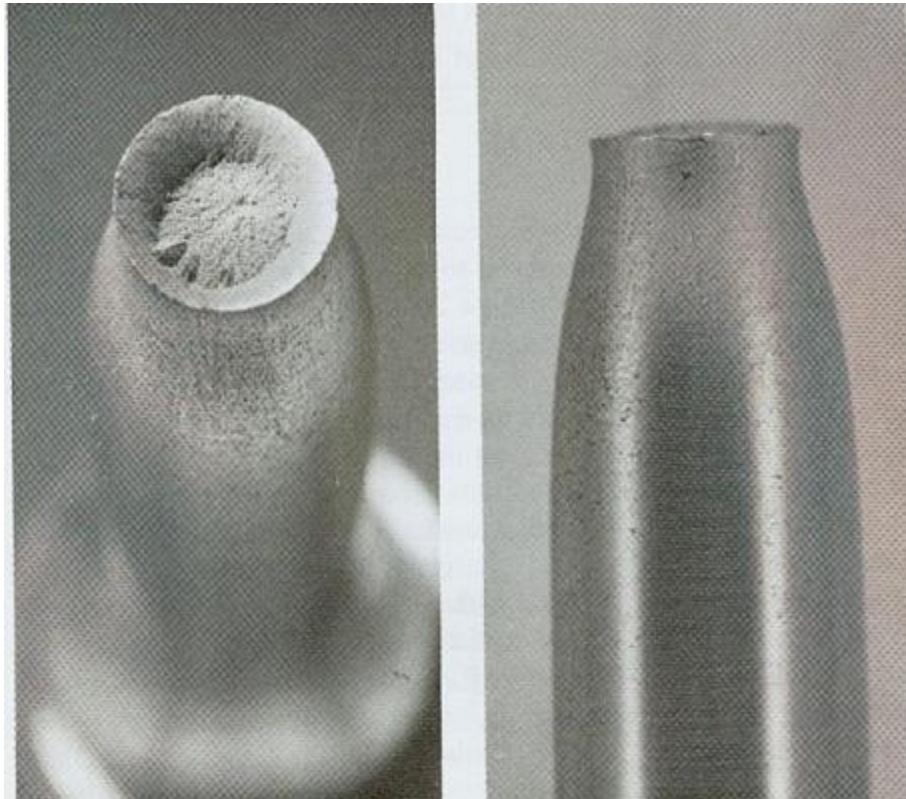
FRACTURA DUCTIL



FRACTURA FRAGIL

ENSAYO DE TENSIÓN

TIPOS DE FRACTURA



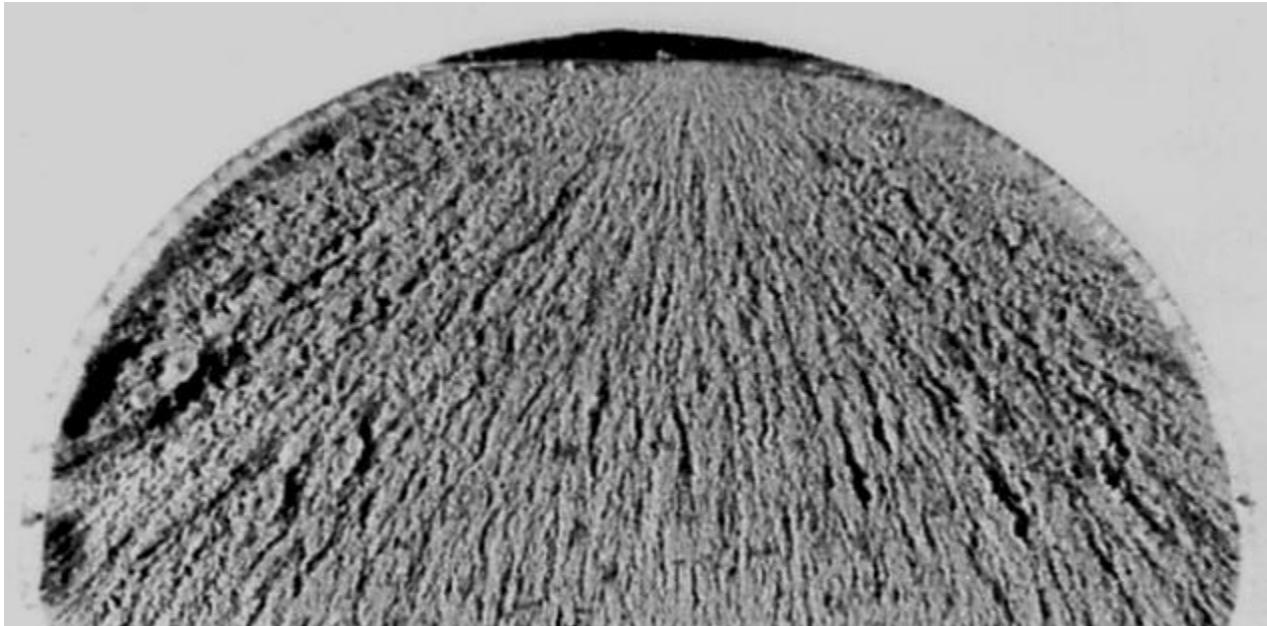
FRACTURA DUCTIL



FRACTURA FRAGIL

CARACTERISTICAS MICROESTRUCTURALES DE LA FRACTURA EN LOS MATERIALES METALICOS

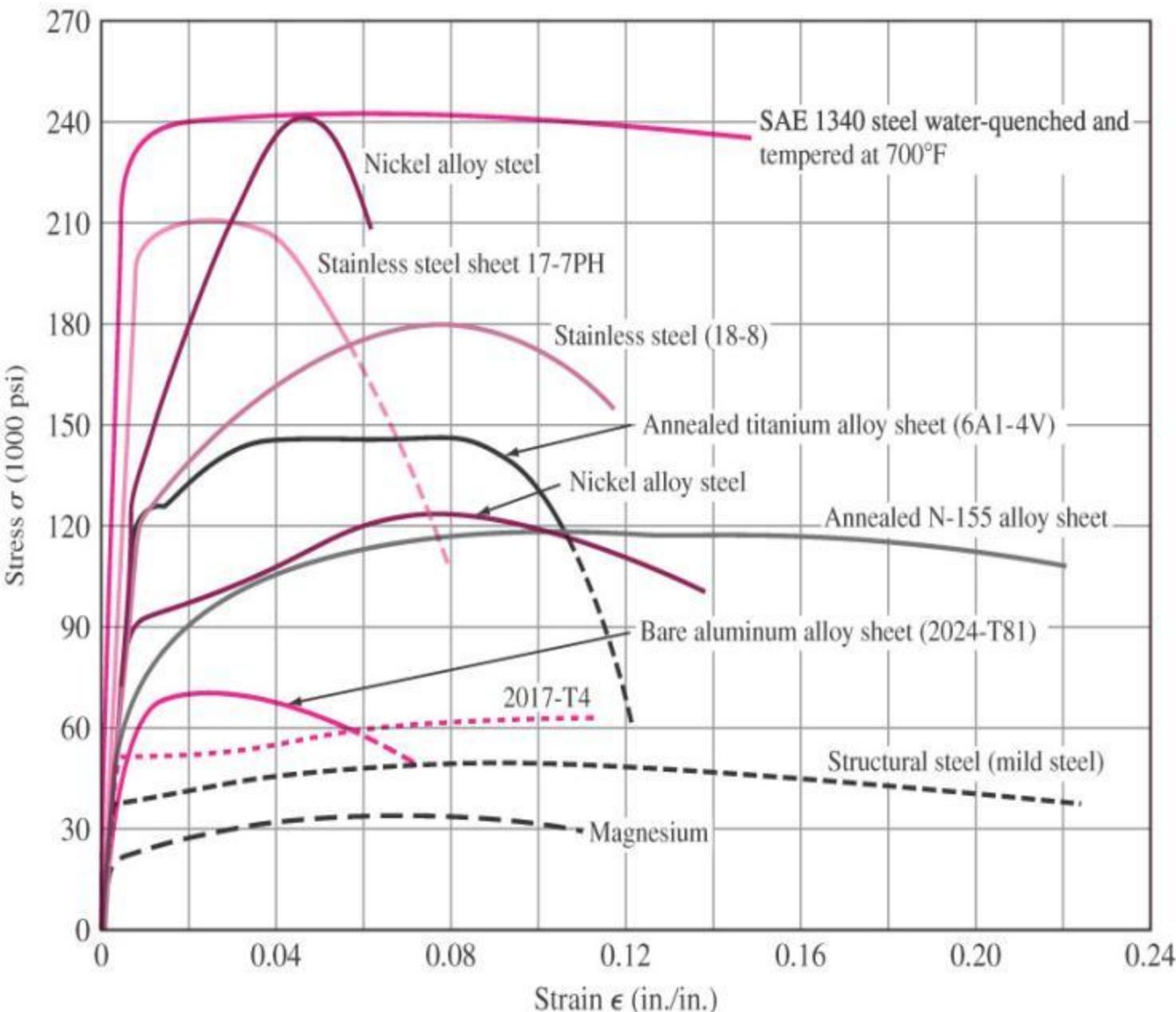
FRACTURA FRAGIL. *Normalmente la superficie de fractura es lisa y perpendicular al esfuerzo aplicado en tensión.*



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

Patrón de Chevrón producido por frentes separados de grietas que se propagan a distintos niveles en el material.

GRAFICA σ - ϵ PARA VARIOS MATERIALES



DUREZA DE UN MATERIAL

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

Ensayos de dureza:

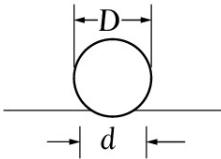
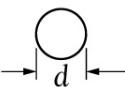
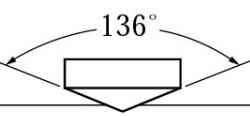
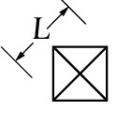
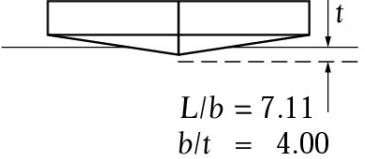
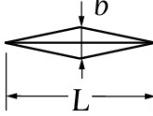
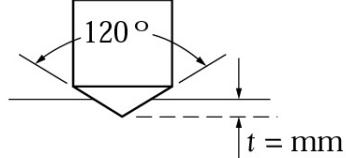
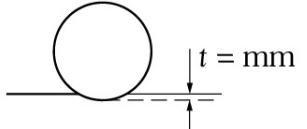
- Brinell, Vickers, Knoop, Rockwell.

Escala de dureza de los materiales

- **Macrodureza:** Cuando se mide la dureza utilizando cargas mayores a 2 Newtons.
- **Microdureza:** 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 μ N).



CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS

| Test | Indenter | Shape Side view | Shape Top view | Load, P | Hardness number |
|---------------|--|--|---|------------------------------|--|
| Brinell | 10-mm steel or tungsten carbide ball |  |  | 500 kg 1500 kg 3000 kg | $HB = \frac{2P}{(p \cdot D)(D\sqrt{D^2 - d^2})}$ |
| Vickers | Diamond pyramid |  |  | 1-120 kg | $HV = \frac{1.854P}{L^2}$ |
| Knoop | Diamond pyramid |  |  | 25g-5kg | $HK = \frac{14.2P}{L^2}$ |
| Rockwell | A C D } Diamond cone |  |  | kg 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 |

METODO BRINELL

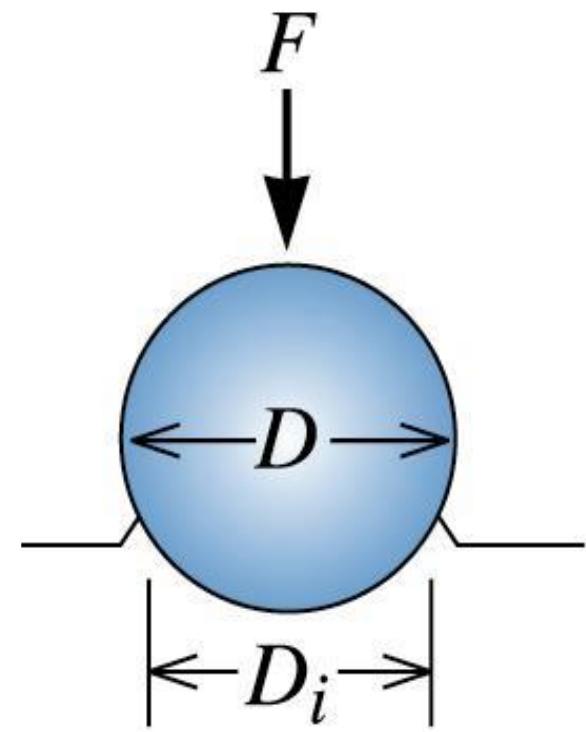
D = diámetro del penetrador en mm

D_i = diámetro de la huella dejada por el penetrador.

F = carga aplicada en kg_f.

Se utiliza mucho para materiales de dureza baja y media porque el penetrador es una esfera de Carburo cementado, con cargas de 500, 1500 y 3000 Kg_f.

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



EJERCICIO

- Una medición de la dureza Brinell, utilizando un penetrador de 10 mm de diámetro y una carga de 500 Kg, produce una huella de 4.5 mm de diámetro en una placa de aluminio. Determine el número de dureza Brinell de este material.

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

SOLUCION

Di = 4.5 mm ; D = 10 mm ; F = 500 kgf

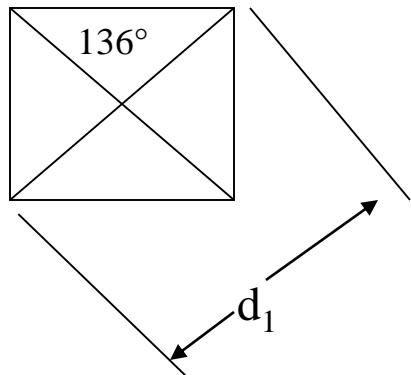
$$HB = \frac{2 \times 500 \text{Kgf}}{\pi 10 \text{mm} (10 \text{mm} - \sqrt{10^2 - 4.5^2})}$$

$$HB = 30 \text{ kg}_f/\text{mm}^2$$

METODO VICKERS

Este método se utiliza para toda clase de materiales, duros o blandos.

F es la carga aplicada (kgf)



d es el promedio de las dos diagonales en mm.

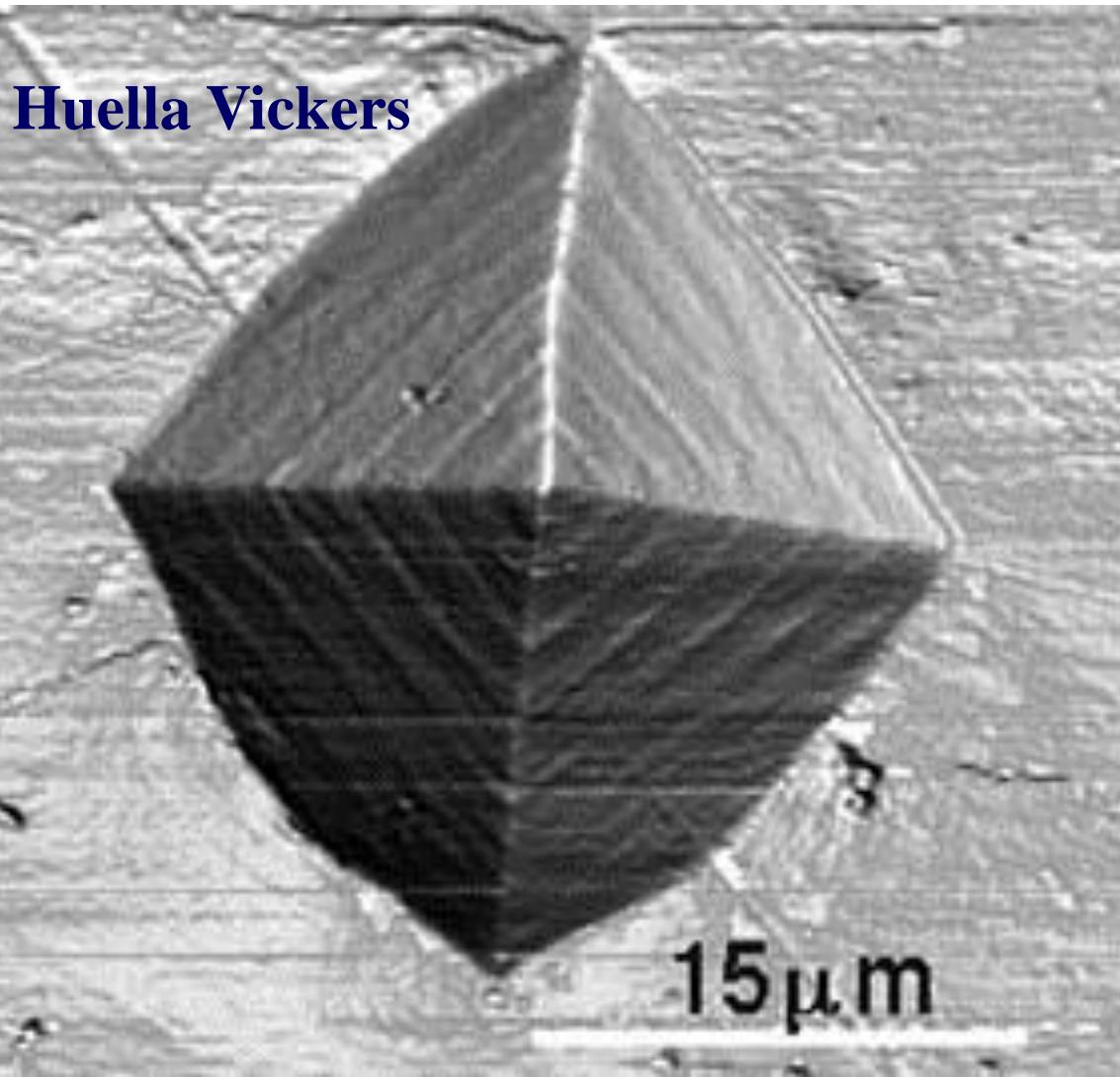
A es el área de la huella en mm^2

Entonces:

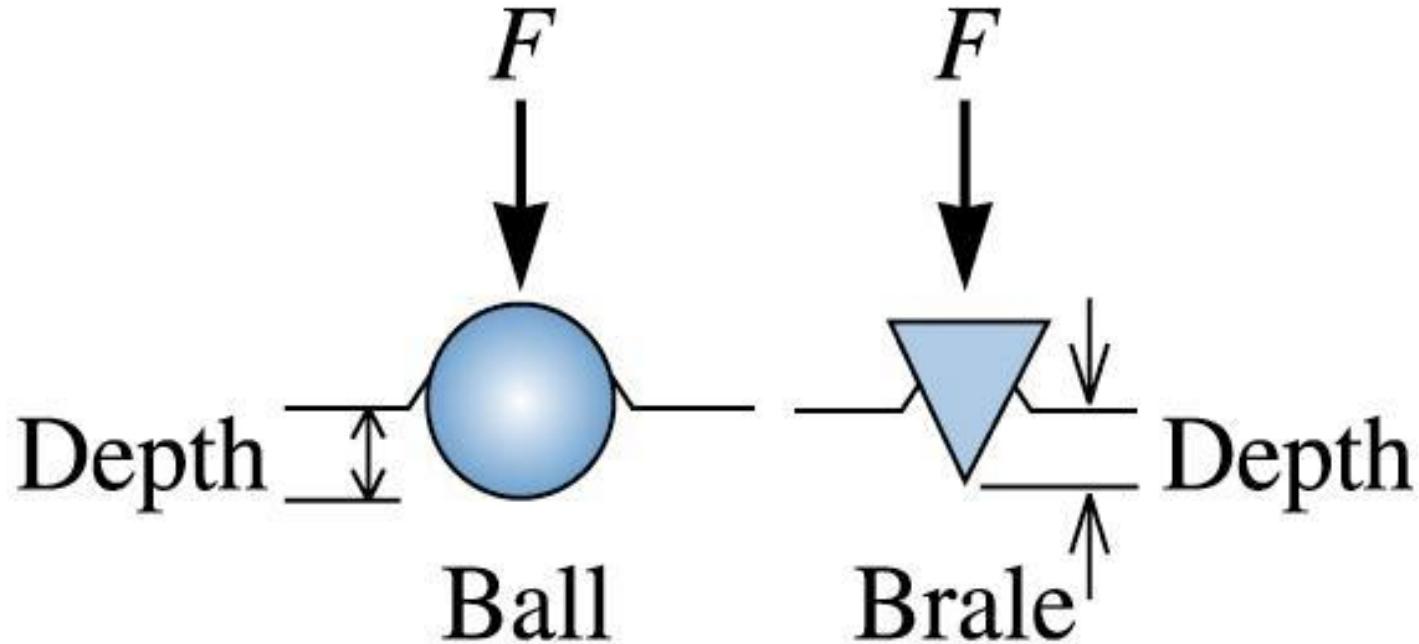
$$HV = 1.85 F / d_1^2$$

La carga **F** puede ser de 50 gramos hasta 120 kilogramos.

METODO VICKERS



ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL



Rockwell test

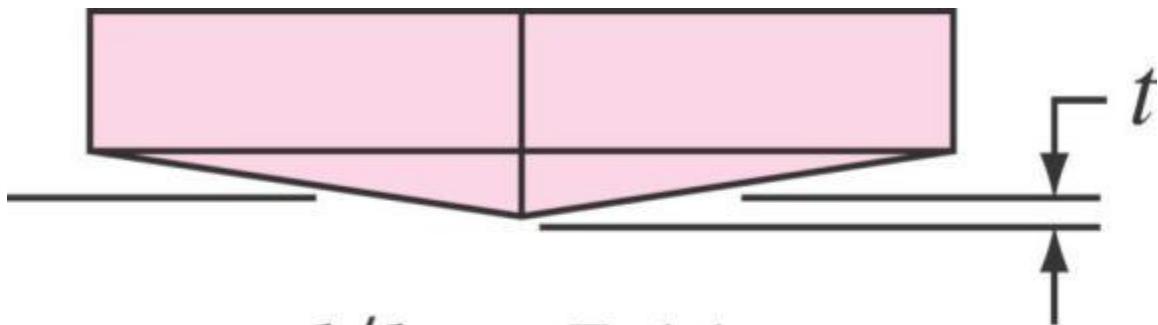
(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning™ is a trademark used herein under license.

DUROMETRO



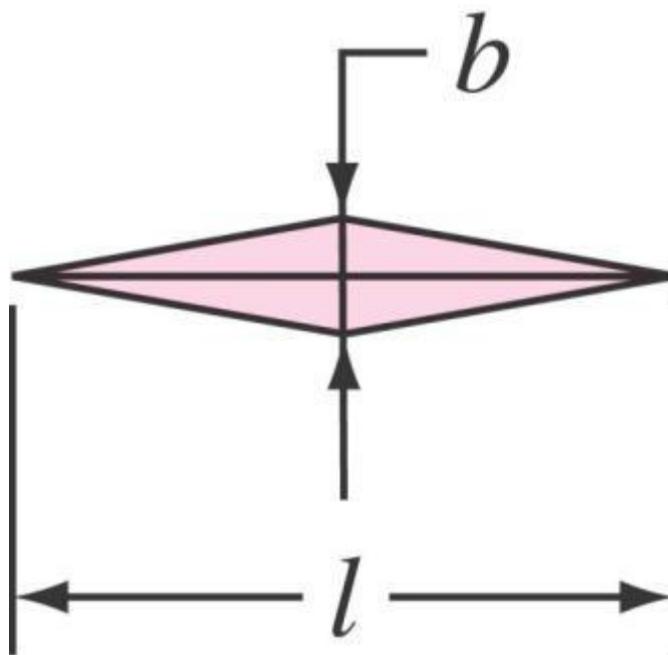
(a)

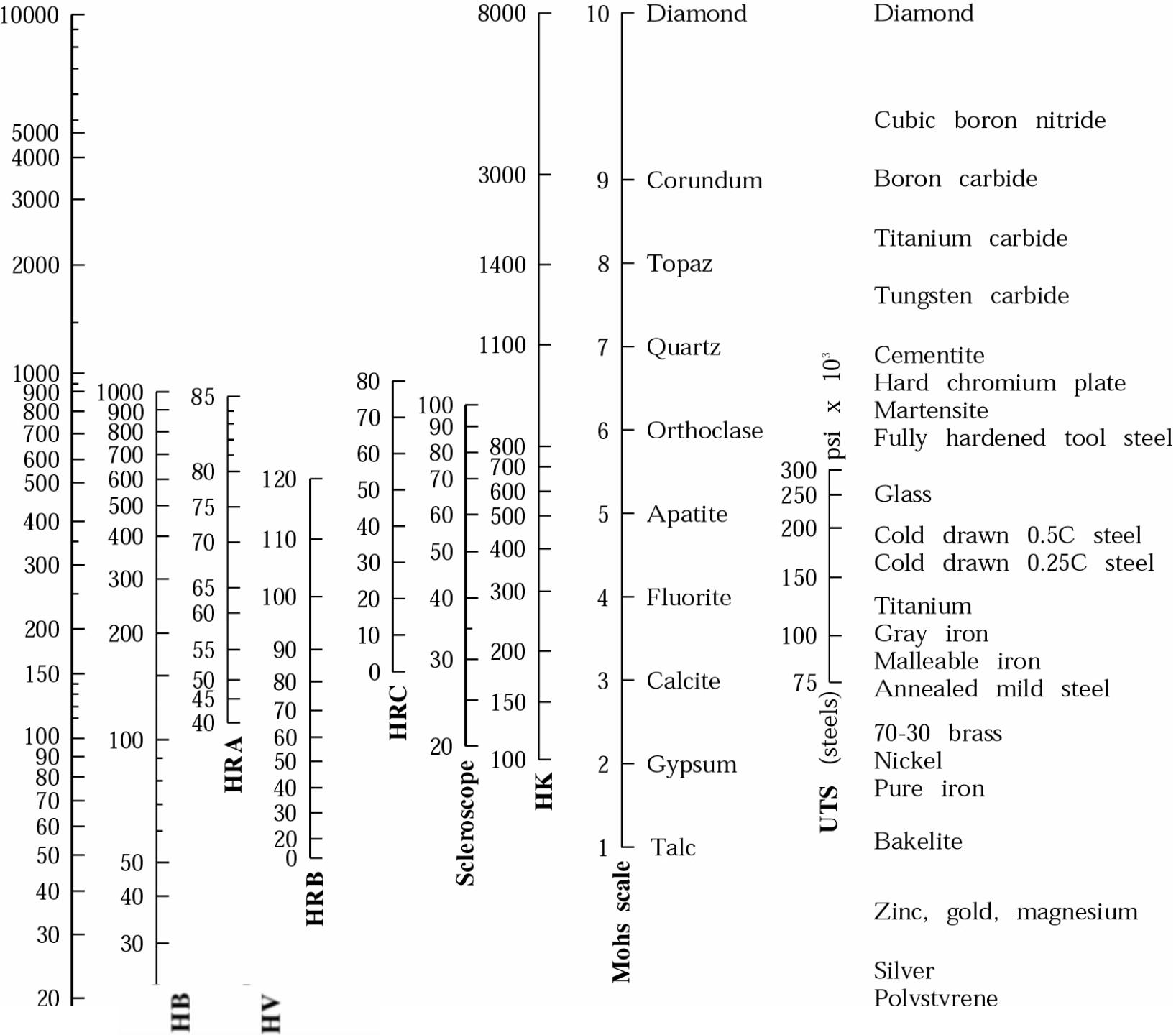
MICRODUREZA KNOOP



$$l/b = 7.11$$

$$b/t = 4.00$$





DUREZA

- ESCLEROSCOPIO
- Es un instrumento que mide la altura del rebote de un “martillo” que se deja caer desde cierta altura sobre la superficie del metal que se prueba.
- Este instrumento se basa en la energía mecánica absorbida por el material cuando el identador golpea la superficie.

COMPARACION DE ENSAYOS TIPICOS DE DUREZA

TABLE 6-5 ■ *Comparison of typical hardness tests*

| Test | Indentor | Load | Application |
|------------|-----------------|---------|---------------------------|
| Brinell | 10-mm ball | 3000 kg | Cast iron and steel |
| Brinell | 10-mm ball | 500 kg | Nonferrous alloys |
| Rockwell A | Brale | 60 kg | Very hard materials |
| Rockwell B | 1/16-in. ball | 100 kg | Brass, low-strength steel |
| Rockwell C | Brale | 150 kg | High-strength steel |
| Rockwell D | Brale | 100 kg | High-strength steel |
| Rockwell E | 1/8-in. ball | 100 kg | Very soft materials |
| Rockwell F | 1/16-in. ball | 60 kg | Aluminum, soft materials |
| Vickers | Diamond pyramid | 10 kg | All materials |
| Knoop | Diamond pyramid | 500 g | All materials |

RELACION ENTRE LA DUREZA BRINELL Y LA RESISTENCIA A LA TENSION PARA ALGUNAS ALEACIONES

TABLE 7.14

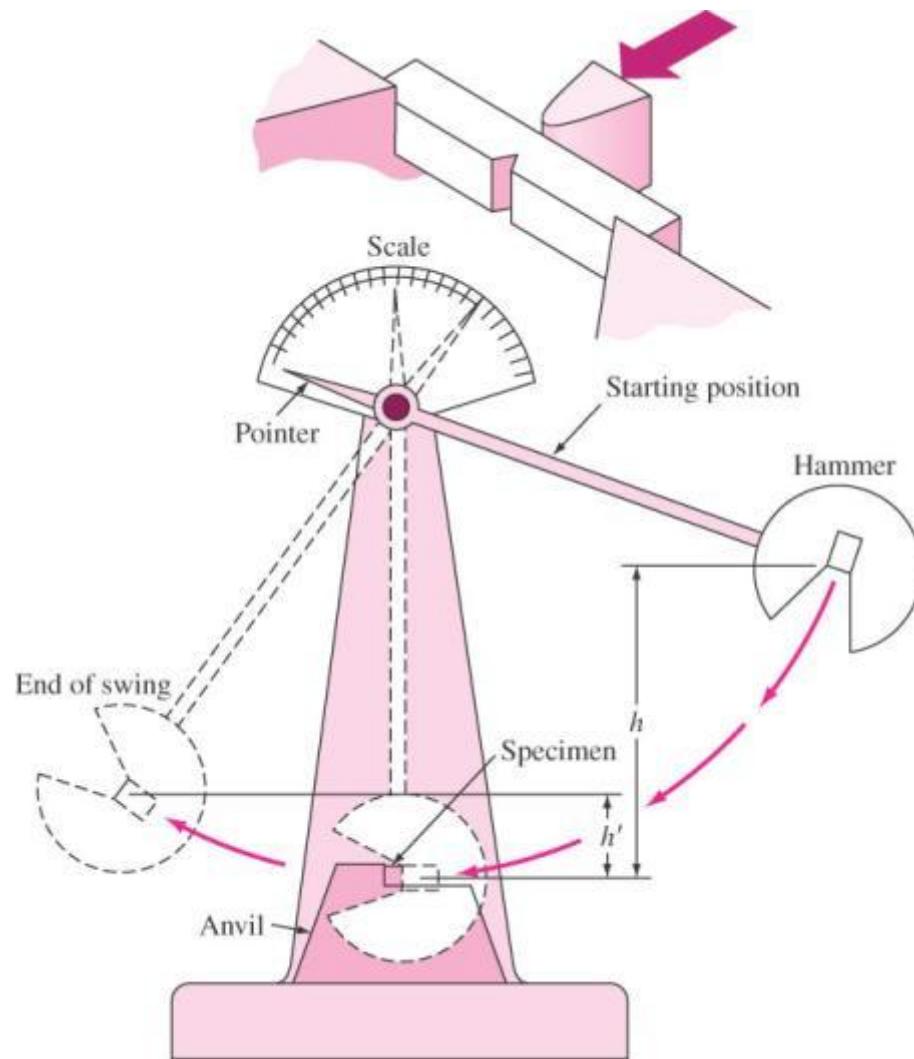
COMPARISON OF BRINELL HARDNESS NUMBERS (BHN) WITH TENSILE STRENGTH (T.S.) FOR THE ALLOYS OF TABLE 7.10

| Alloy | BHN | T.S. (MPa) |
|--|---------|---------------|
| 1. 1040 carbon steel | 235 | 750 |
| 2. 8630 low-alloy steel | 220 | 800 |
| 3. c. 410 stainless steel | 250 | 800 |
| 5. Ferrous superalloy (410) | 250 | 800 |
| 6. b. Ductile iron, 60-40-18 | 167 | 461 |
| 7. a. 3003-H14 aluminum | 40 | 150 |
| 8. a. AZ31B magnesium | 73 | 290 |
| b. AM100A casting magnesium | 53 | 150 |
| 9. a. Ti-5Al-2.5Sn | 335 | 862 |
| 10. Aluminum bronze, 9% (copper alloy) | 165 | 652 |
| 11. Monel 400 (nickel alloy) | 110–150 | 579 |
| 12. AC41A zinc | 91 | 328 |
| 13. 50:50 solder (lead alloy) | 14.5 | 42 |
| 15. Dental gold alloy (precious metal) | 80–90 | 310–380 |

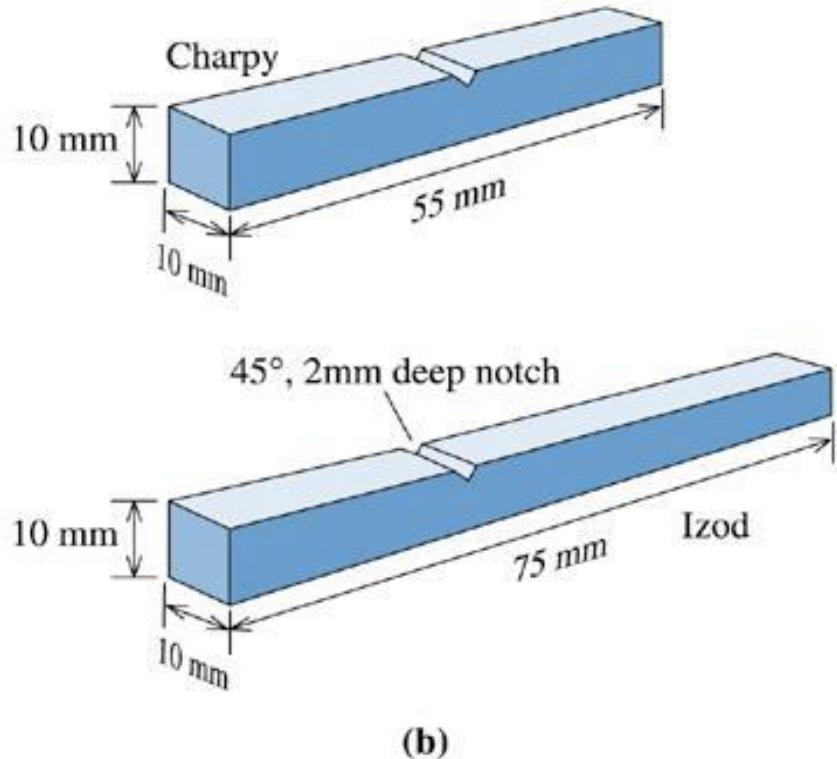
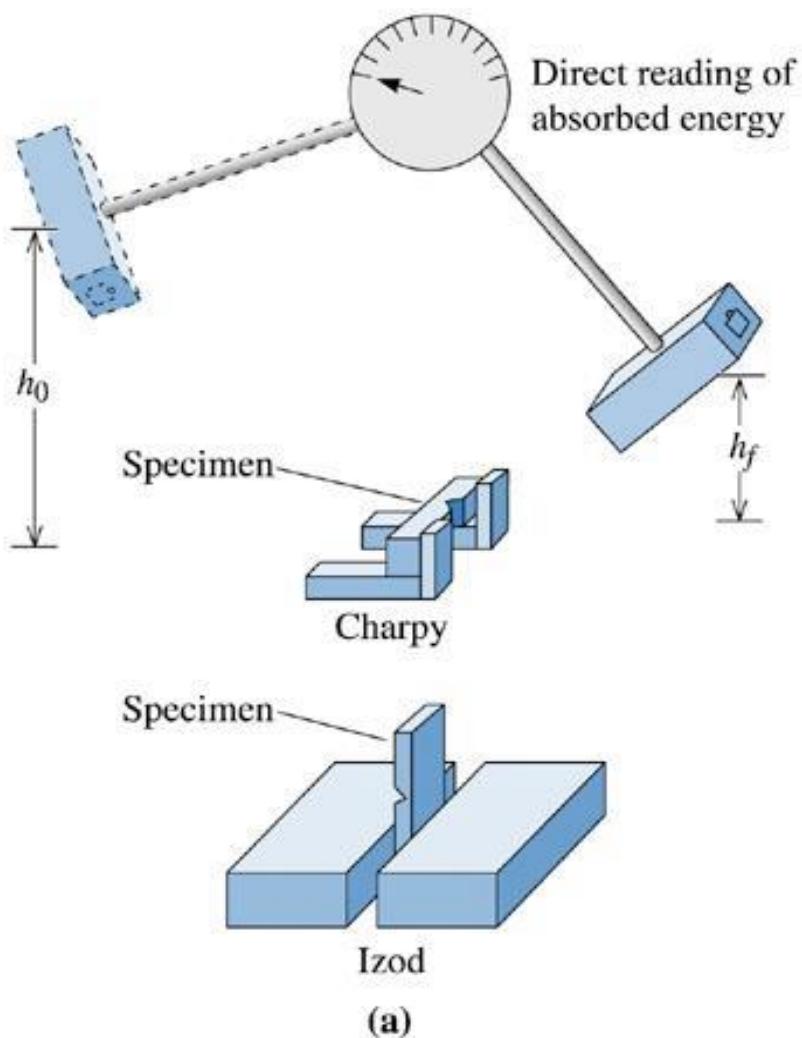
ENsayo de Impacto

- 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



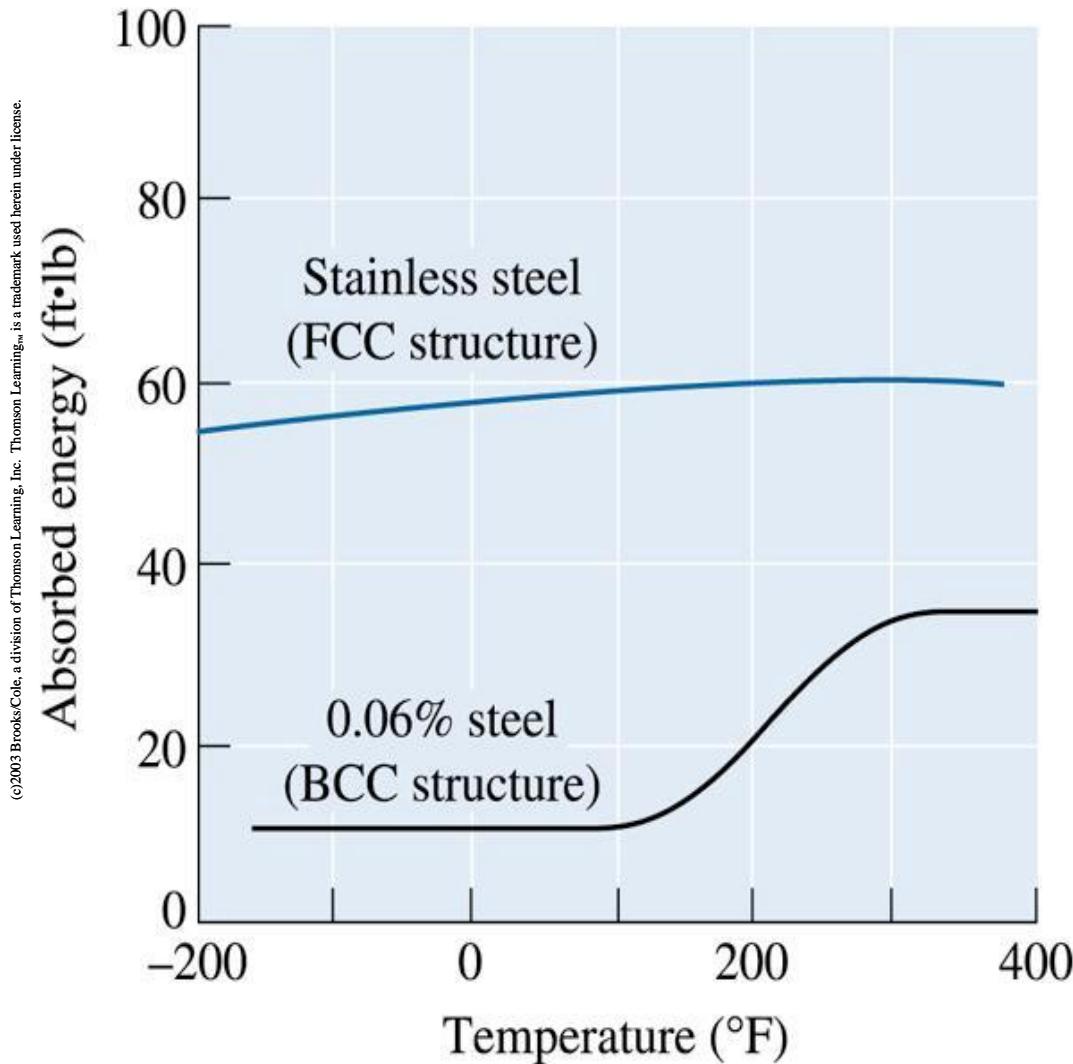
ENSAYOS DE IMPACTO. CHARPY

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

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

- **Φ** es una medida de la tenacidad que se puede definir como la capacidad que tiene un material para recibir tensiones ocasionales superiores al límite elástico sin que se produzcan fracturas.

PROPIEDADES OBTENIDAS DEL ENSAYO DE IMPACTO.

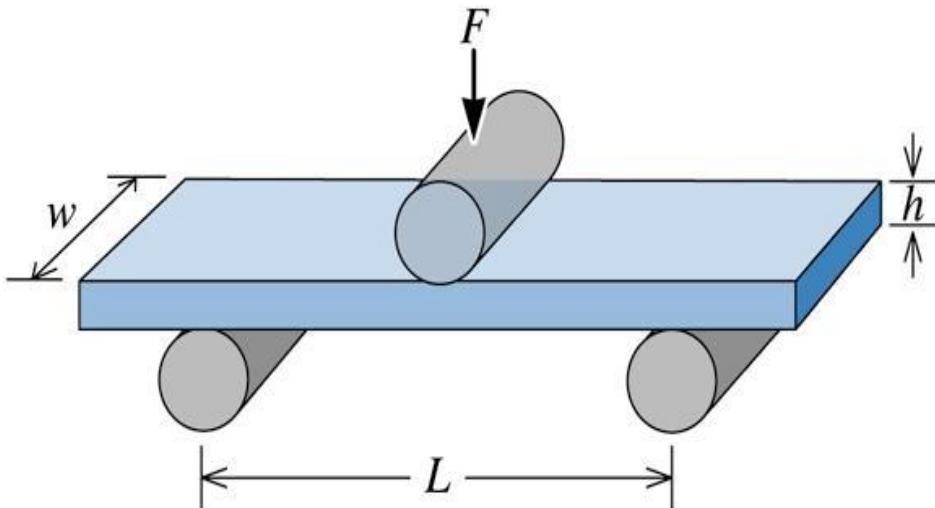


(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning is a trademark used herein under license.

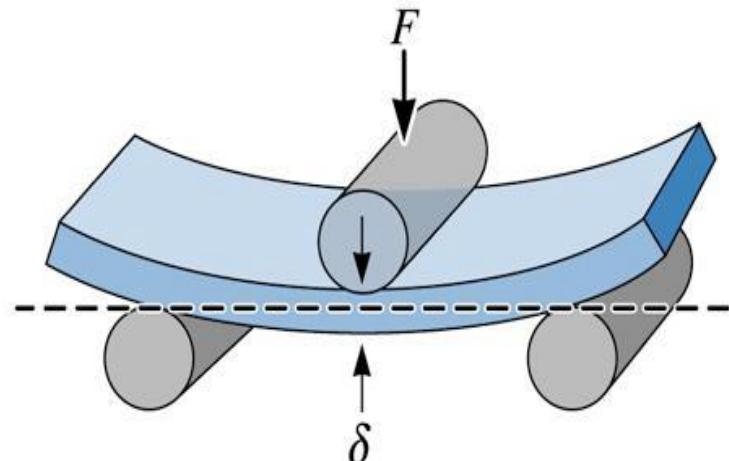
ENSAYO DE DOBLEZ

- Resistencia a la rotura transversal

$$TRS = \frac{1.5FL}{wh^2}$$



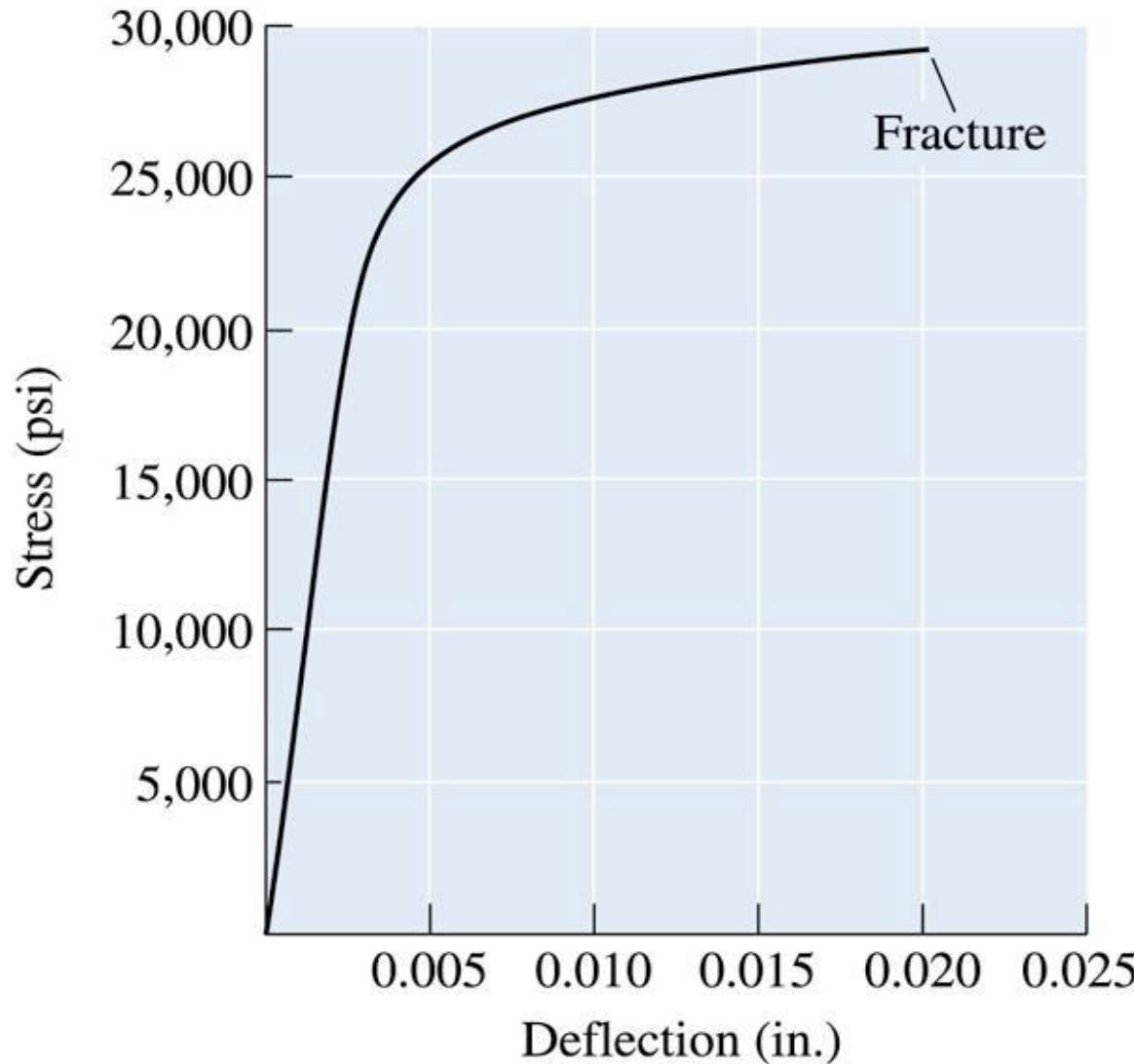
(a)



(b)

Curva esfuerzo-deflexión para el MgO obtenida con el ensayo de flexión.

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



COMPARACION DE LA RESISTENCIA A LA TENSION, A LA COMPRESION Y A LA FLEXION DE MATERIALES CERAMICOS Y COMPUESTOS

| MATERIAL | $\sigma_{\text{max.}}$ psi | σ_{comp} psi | $\sigma_{\text{flex.}}$ psi |
|--|--|--|---|
| Poliester-50% fibras de vidrio | 23,000 | 32,000 | 45,000 |
| Poliester-50% de tejido de fibra de vidrio | 37,000 | 27,000 | 46,000 |
| Al_2O_3 (99%) | 30,000 | 375,000 | 50,000 |

MECANICA DE LA FRACTURA

La ***fractura***, o **ruptura**, se presenta cuando un componente estructural se separa en dos o más fragmentos.

Dependiendo de los criterios de diseño la ***falla*** se puede presentar antes de la fractura.

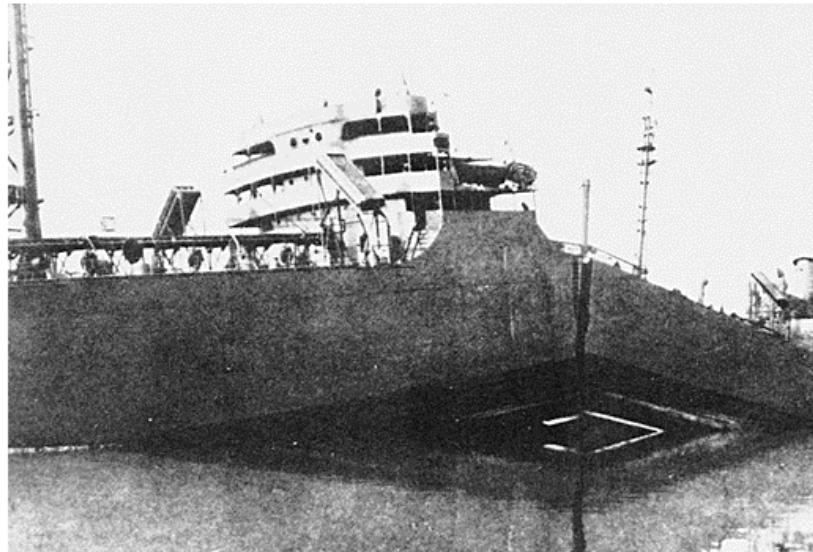


Figure 9.3.1

© The McGraw-Hill Companies, Inc., 1999 Materials in Focus CD ROM
t/a Schaffer: The Science and Design of Engineering Materials, 2/e

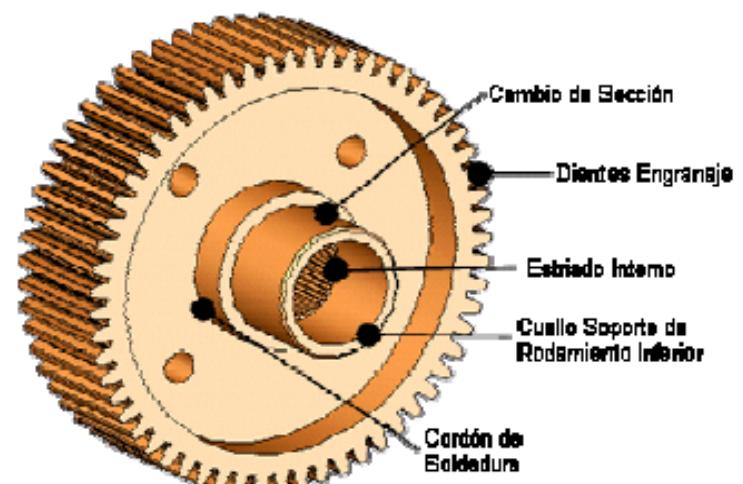
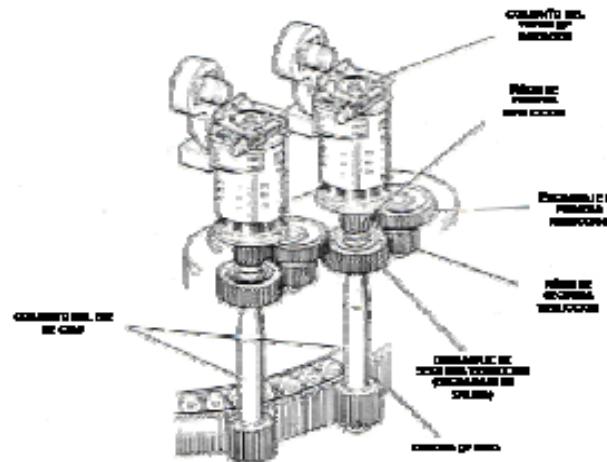
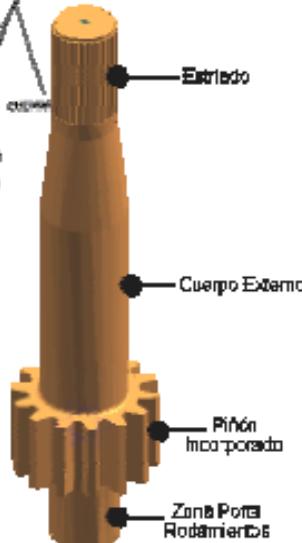
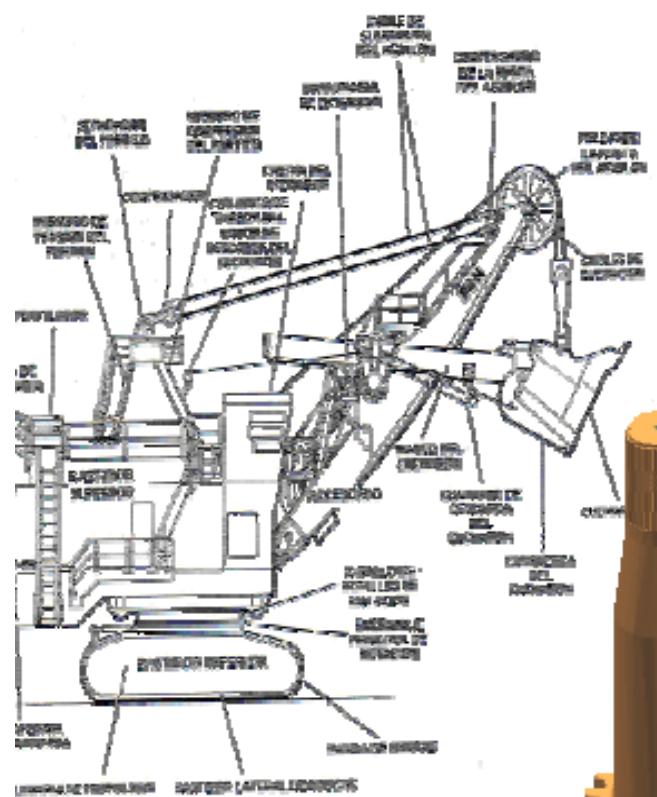
MECANICA DE LA FRACTURA

- La falla se puede definir como la incapacidad de un material o componente de 1) realizar la función prevista, 2) cumplir los criterios de desempeño, o 3) tener un desempeño seguro y confiable después de deteriorarse.
- Sin importar el extremo cuidado en el diseño, la fabricación y selección de materiales para maquina o componentes las *fallas son inevitables*.
- La fractura es la separación de un sólido en dos o más piezas bajo la acción de una fuerza.

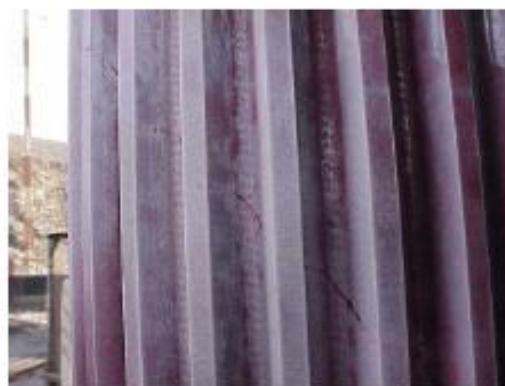
MECANICA DE LA FRACTURA

- La mecánica de la fractura es la parte de la ciencia que se encarga del estudio de la habilidad de los materiales para *resistir esfuerzos* en presencia de un *defecto*.
- **TENACIDAD A LA FRACTURA:** Es una propiedad mecánica que mide la resistencia de un material a la falla en presencia de una discontinuidad o defecto.

MECANICA DE LA FRACTURA



MECANICA DE LA FRACTURA



MECANICA DE LA FRACTURA

- En muchas aplicaciones la deformación plástica representa una *falla sin fractura*:
- Un eje de automóvil se flexiona al pasar por un hueco.
- Parte de la estructura de un avión se deforma transitoriamente por la acción de una fuerte ráfaga de viento.

ENsayo DE TENACIDAD A LA FRACTURA

- *La tenacidad a la fractura* mide la capacidad de un material, que contiene una fisura, a resistir una carga aplicada.



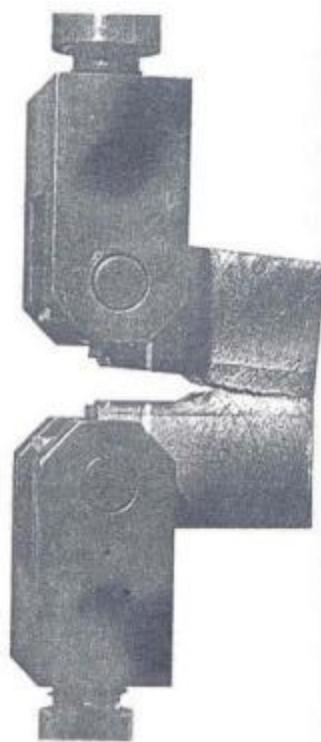
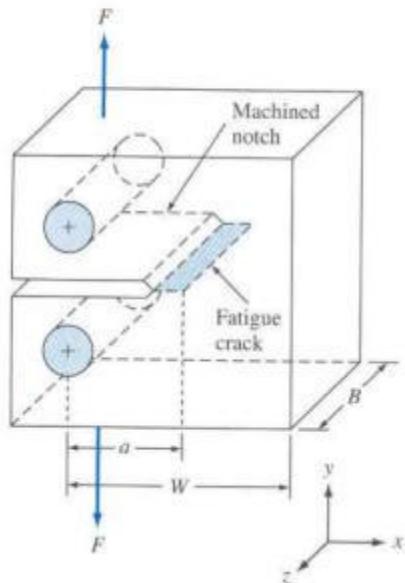
ENsayo DE TENACIDAD A LA FRACTURA

- **¿A que velocidad crece la fisura?. *imagíñese un globo con un diminuto agujero. cuando la presión interna del globo alcanza un valor crítico, se origina una falla catastrófica y el globo explota.***



ENSAYO DE TENACIDAD A LA FRACTURA

- El ensayo de tenacidad a la fractura se realiza aplicando un esfuerzo a la tensión a una probeta preparada con un defecto de tamaño y geometría conocidos.



ENSAYO DE TENACIDAD A LA FRACTURA

- El esfuerzo aplicado se intensifica por el defecto, el cual actúa como un concentrador de esfuerzos.
- Para un ensayo simple, el ***factor de intensidad de esfuerzo k*** es

$$K = f \sigma \sqrt{\pi a}$$

f factor geométrico

σ Esfuerzo aplicado

a Tamaño de la grieta

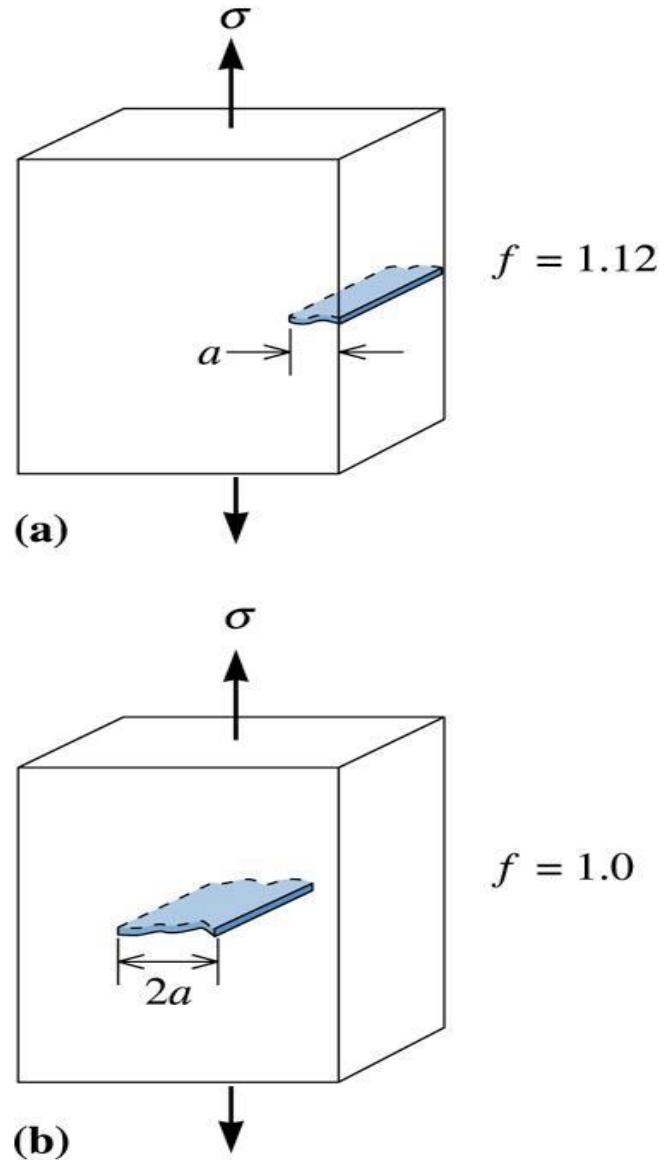
ENSAYO DE TENACIDAD A LA FRACTURA

$$\bullet K = f \sigma \sqrt{\pi a}$$

f es un factor geométrico relacionado con la probeta y con el defecto. **σ** es el esfuerzo aplicado. **a** es el tamaño de grieta.

f = 1 cuando el ancho es infinito.

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



ENSAYO DE TENACIDAD A LA FRACTURA

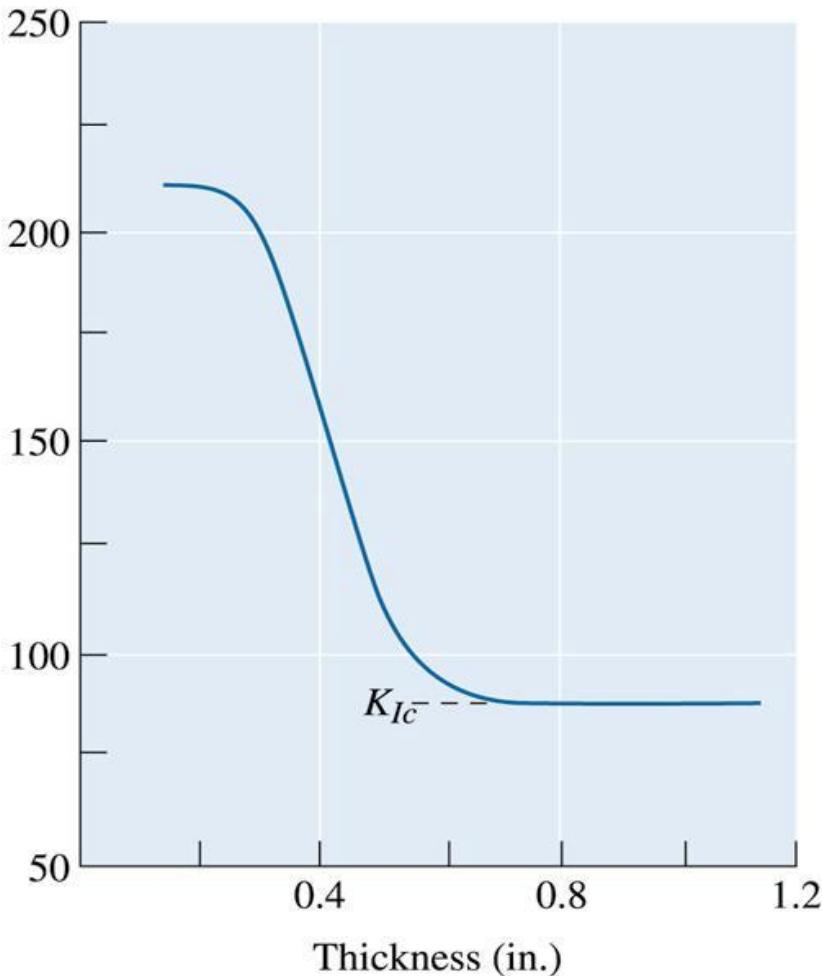
Se puede determinar el valor de k para el cual el defecto crece y se produce la falla catastrófica.

Este valor de k es lo que se conoce como *tenacidad a la fractura = K_{ic}* . este alcanza un valor constante cuando el espesor se incrementa, ver fig. 6-31

ENSAYO DE TENACIDAD A LA FRACTURA

La tenacidad a la fractura K_{IC} de 300,000psi de un acero disminuye con el aumento del espesor , finalmente se estabiliza adquiriendo un valor constante K_{IC} .

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



TENACIDAD A LA FRACTURA K_{IC} EN DEFORMACION PLANA PARA VARIOS MATERIALES

TABLE 6-6 ■ *The plane strain fracture toughness K_{IC} of selected materials*

| Material | Fracture Toughness K_{IC} (psi $\sqrt{\text{in.}}$) | Yield Strength or Ultimate Strength (for Brittle Solids) (psi) |
|---|---|--|
| Al-Cu alloy | 22,000 | 66,000 |
| | 33,000 | 47,000 |
| Ti-6% Al-4% V | 50,000 | 130,000 |
| | 90,000 | 125,000 |
| Ni-Cr steel | 45,800 | 238,000 |
| | 80,000 | 206,000 |
| Al ₂ O ₃ | 1,600 | 30,000 |
| Si ₃ N ₄ | 4,500 | 80,000 |
| Transformation toughened ZrO ₂ | 10,000 | 60,000 |
| Si ₃ N ₄ -SiC composite | 51,000 | 120,000 |
| Polymethyl methacrylate polymer | 900 | 4,000 |
| Polycarbonate polymer | 3,000 | 8,400 |

FACTORES QUE AFECTAN LA TENACIDAD A LA FRACTURA

Factores que afectan la capacidad de un material para resistir el crecimiento de una grieta:

- 1. Defectos grandes reducen el esfuerzo admisible.**
- 2. Ductilidades altas permiten redondear el extremo del defecto, por deformación, evitando así la concentración del esfuerzo.**
- 3. La tenacidad a la fractura es mayor en materiales delgados.**

FACTORES QUE AFECTAN LA TENACIDAD A LA FRACTURA

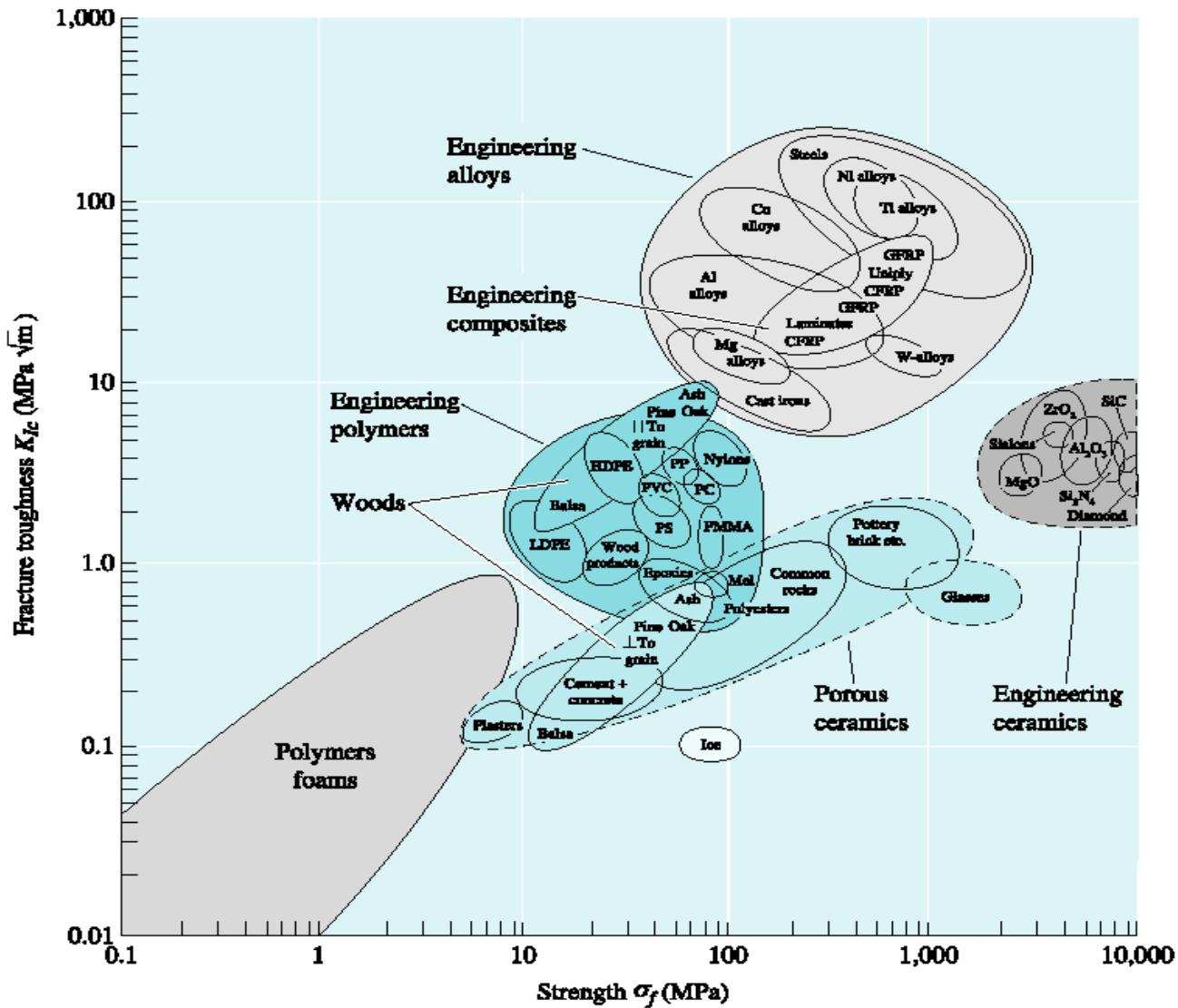
- 4. Al aumentar la temperatura, normalmente se incrementa la tenacidad a la fractura.**

- 5. Normalmente una estructura de granos pequeños mejora la tenacidad a la fractura, en tanto que mayor cantidad de defectos puntuales y dislocaciones reducen esta cualidad.**

FACTORES QUE AFECTAN LA TENACIDAD A LA FRACTURA

- 6. Al aumentar la rapidez de aplicación de la carga, como en un ensayo de impacto, se suele reducir la tenacidad a la fractura del material.**
- 7. En ciertos materiales cerámicos, también se pueden aprovechar las transformaciones inducidas por esfuerzos, que a su vez producen esfuerzos de compresión para tener mayor tenacidad a la fractura.**

K_{IC} y Resistencia de diversos materiales



¿QUE IMPORTANCIA TIENE LA MECANICA DE LA FRACTURA?

- **PERMITE SELECCIONAR MATERIALES.**- Conociendo a y la magnitud de σ se puede seleccionar un material que tenga un K_{ic} grande para que a no crezca.
- **PERMITE DISEÑAR UN COMPONENTE.**- Conociendo a y habiendo seleccionado el material se puede calcular el σ que puede resistir el componente.

ENSAYO DE FATIGA

La fatiga es el mecanismo más frecuente de falla, y se cree que es la causa total o parcial del 90% de todas las fallas estructurales.

Se conoce que este mecanismo de falla se presenta en los metales, los polímeros y las cerámicas.

Estas últimas son las menos susceptibles a las fracturas por fatiga.

ENSAYO DE FATIGA

El fenómeno de la fatiga se ilustra mejor con un experimento sencillo:

tómese un clip y dóblese en una dirección hasta que se forme una esquina aguda. El metal sufre una deformación plástica en la zona del doblez, pero no se fractura.

Si ahora se invierte la dirección del doblez y el proceso se repite varias veces, el clip se romperá con una carga menor que la necesaria si se estirara el alambre hasta su fractura.

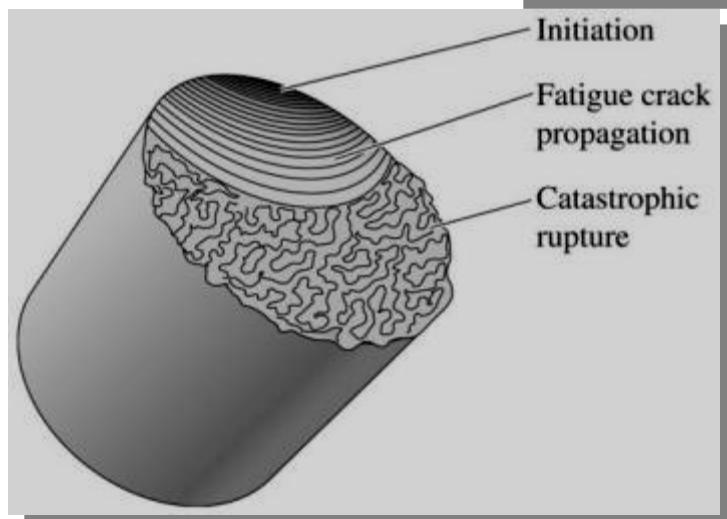
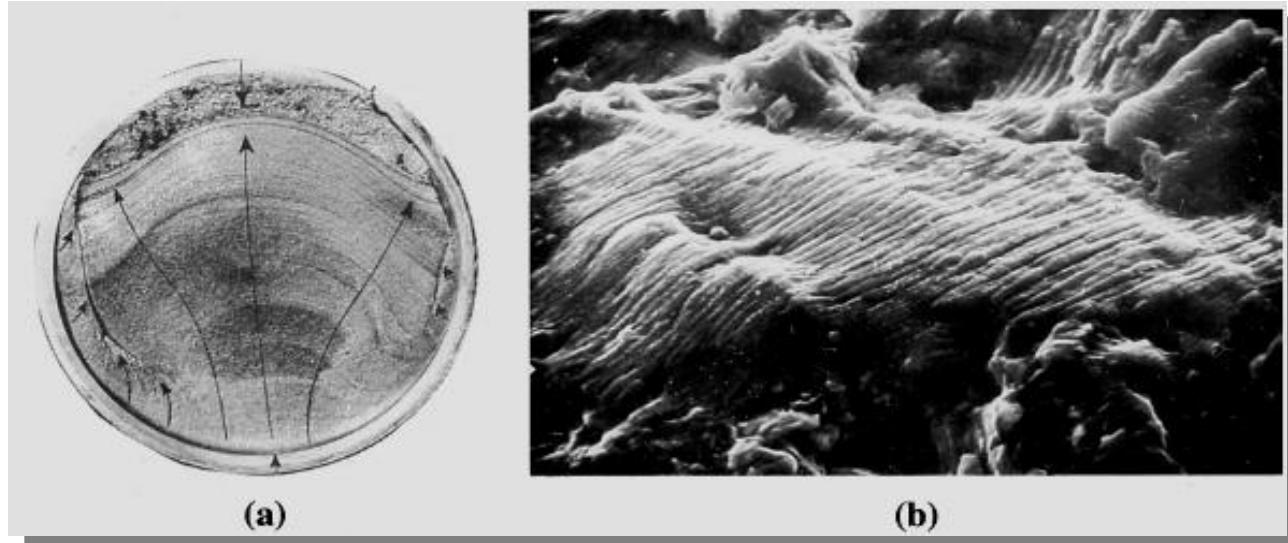
¿Cómo ocurre la falla?

ENSAYO DE FATIGA. ¿cómo se produce la fatiga?

- En una representación simplificada de este proceso, la deformación plástica hace que las dislocaciones se muevan y se crucen entre sí.
- Las intersecciones hacen disminuir la movilidad de las dislocaciones , y para que continúe la deformación se requiere la nucleación de más dislocaciones.
- La mayor densidad de dislocaciones degrada la perfección cristalográfica del material, y finalmente se forman **microgrietas** que crecen hasta un tamaño suficientemente grande como para que se produzca la falla catastrófica.

Superficie de fractura por fatiga

Patrón de marcas de playa

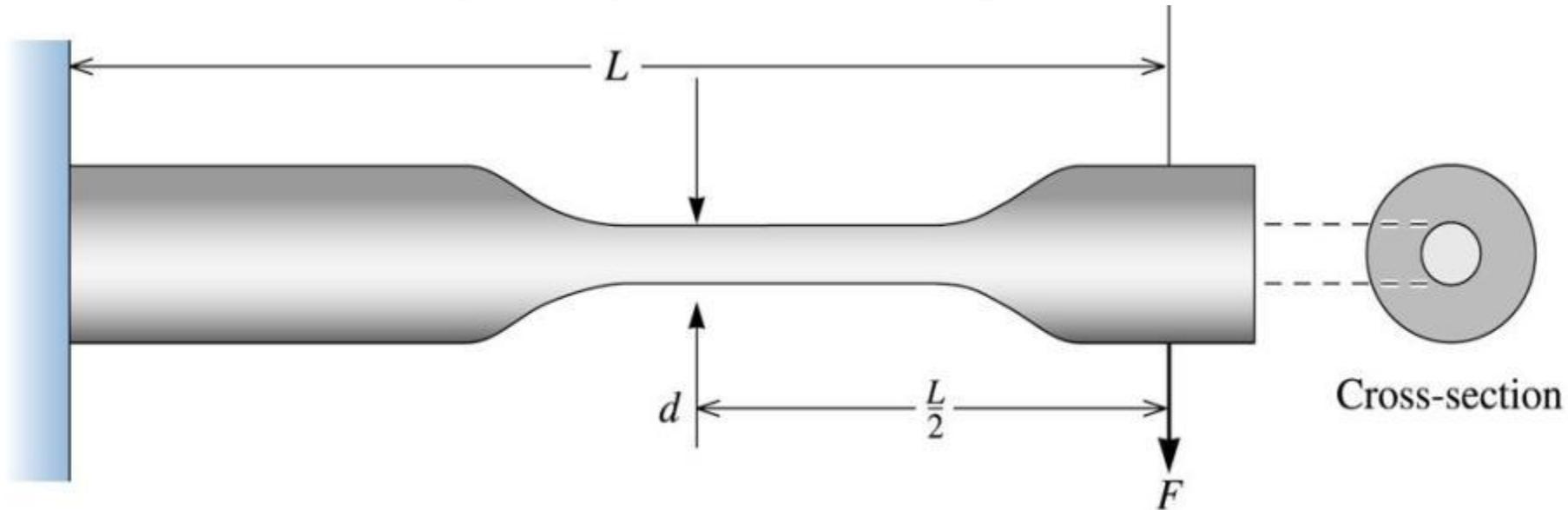


Estriaciones: muestran la posición de la punta de la grieta después de cada ciclo.

¿Cómo se realiza un ensayo de fatiga?

Hay varios métodos que permiten conocer las propiedades de fatiga de un material, uno de ellos es el ensayo de fatiga de probeta en voladizo cargada por un extremo, como se observa en la siguiente figura.

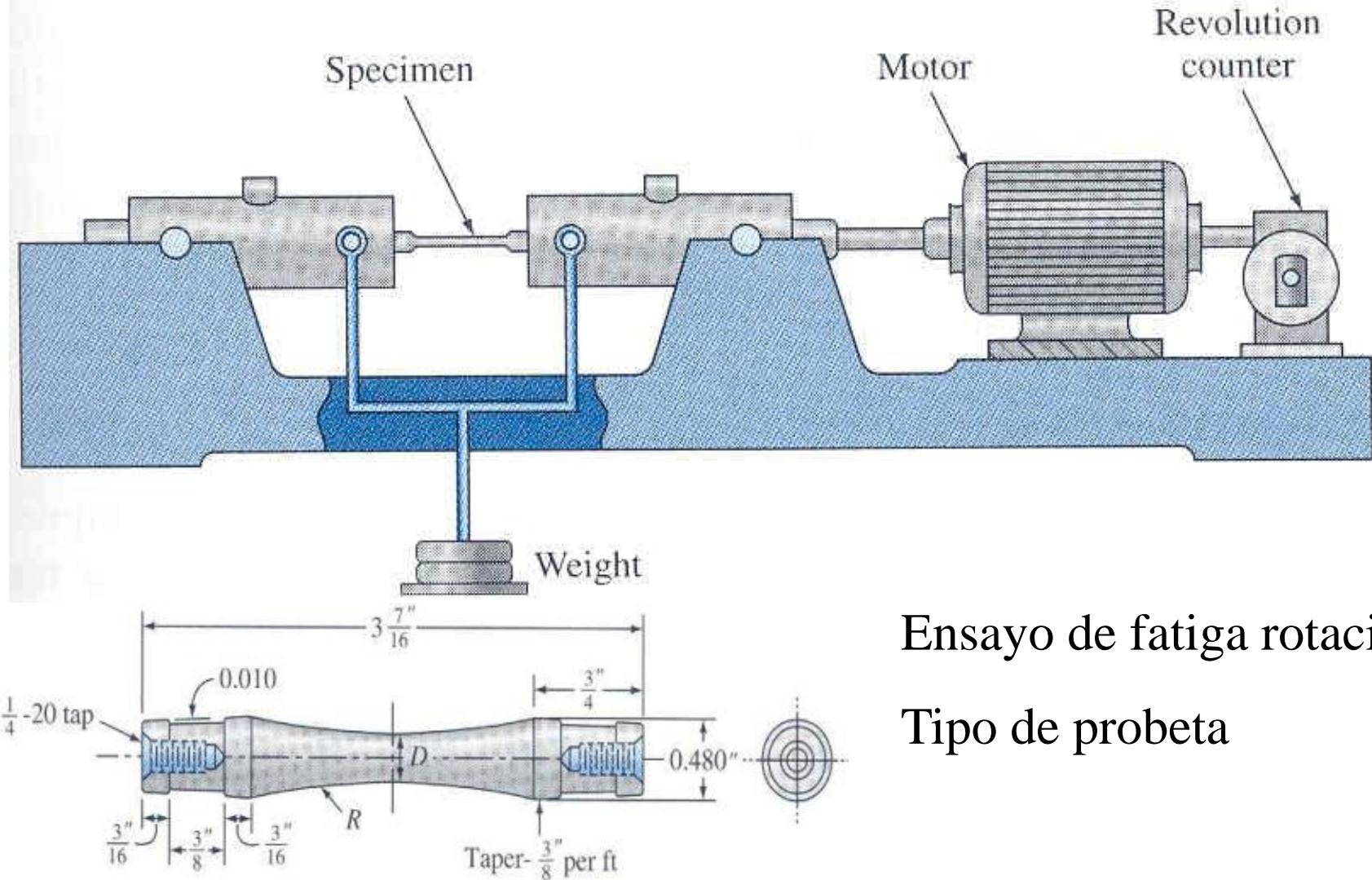
ENSAYO DE FATIGA



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

El esfuerzo máximo que actúa sobre la probeta es,
 $\pm \sigma = 32M / \pi d^3$, donde **M** es el momento de flexión,
d es el diámetro. Pero **M = F . (L/2)** por lo tanto,
 $\pm \sigma = 16FL / \pi d^3$

ENSAYO DE FATIGA

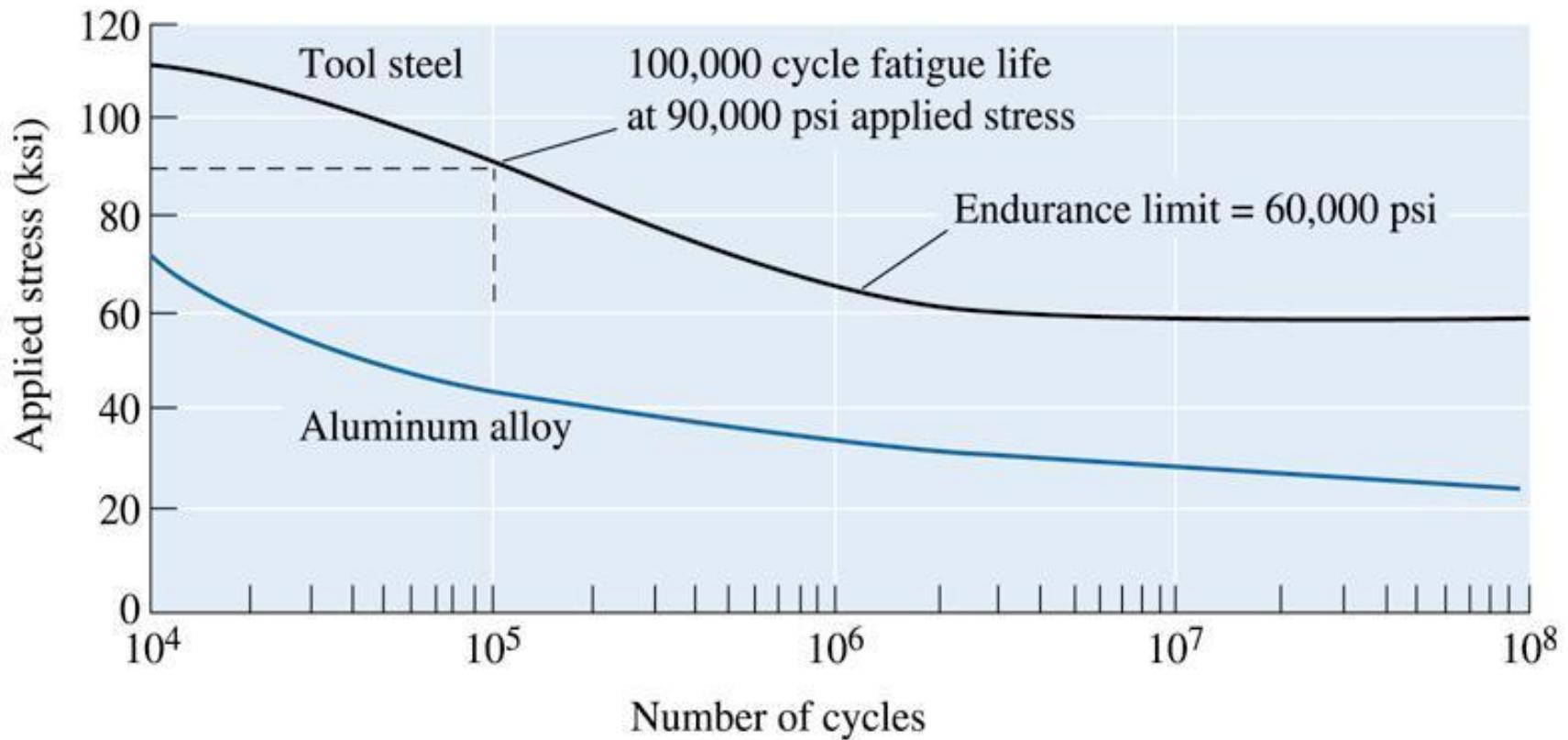


Ensayo de fatiga rotacional
Tipo de probeta

RESULTADOS DEL ENSAYO DE FATIGA

- ***El esfuerzo límite para fatiga***, definido como el esfuerzo por debajo del cual existe una probabilidad del 50% de que ocurrirá falla por fatiga. Es el criterio de diseño preferido. Este valor es de 60,000 psi para el acero de herramientas de la siguiente figura.
- ***La vida a fatiga***, indica cuánto resiste un componente a un esfuerzo en particular. Por ejemplo si al acero para herramientas de la siguiente figura se le somete en forma cíclica a un esfuerzo de 90,000 psi, la vida a fatiga será de 10^5 ciclos.
- ***La resistencia a la fatiga***, es el esfuerzo máximo con el cual no ocurrirá fatiga en un número convencional de ciclos, por ejemplo 500×10^6 . Es necesaria al diseñar con materiales como el **aluminio y los polímeros** debido a que estos dos materiales **no tienen un esfuerzo límite para fatiga**.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE FATIGA. Curva S-N



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

Curva S-N, o de esfuerzo-cantidad de ciclos a la falla para un acero de herramienta y una aleación de aluminio.

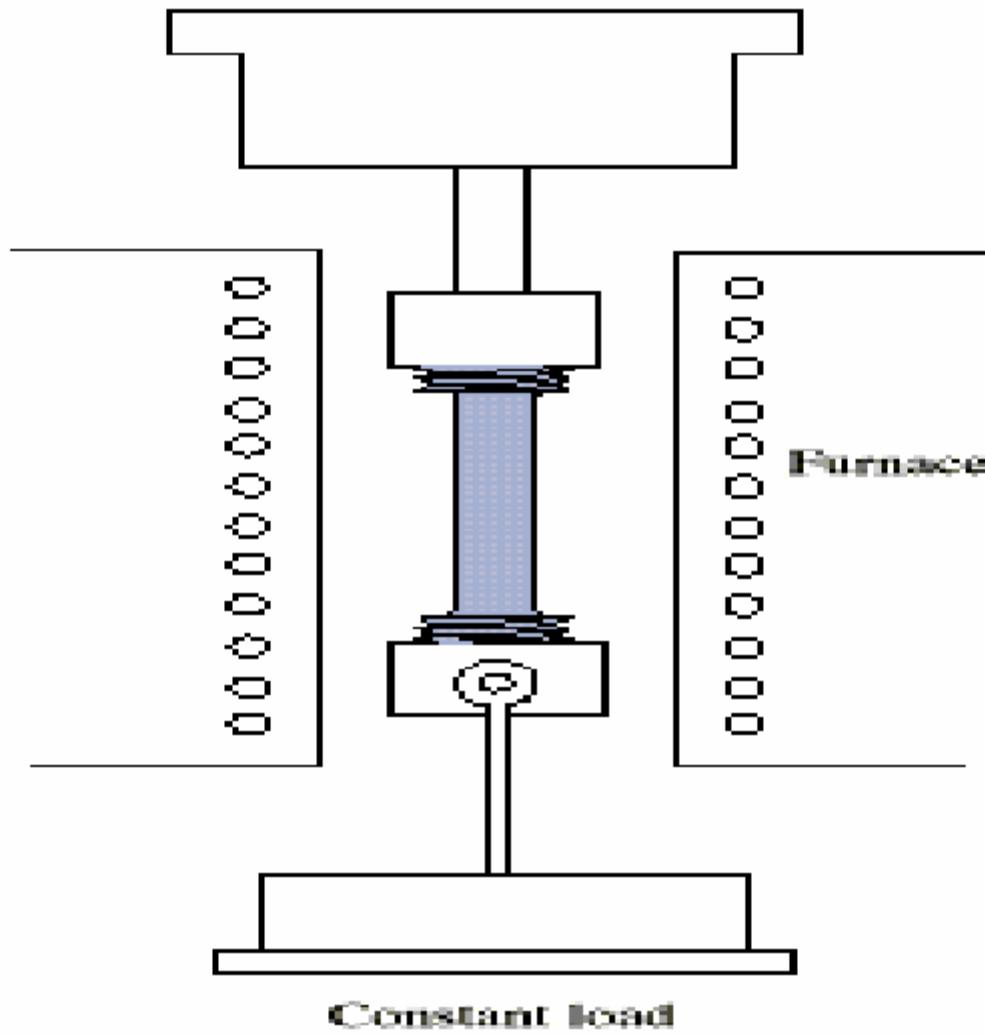
TERMOFLUENCIA

- Termofluencia o deformación gradual en los metales y en las cerámicas, es un proceso por el que un material se alarga a través del tiempo bajo una carga aplicada y condiciones de temperatura diferente a la ambiente (27°C).
- Es un proceso activado por la temperatura, y esto significa que la rapidez de alargamiento, para determinado valor de esfuerzo, aumenta mucho con la temperatura.
- *La termofluencia es en extremo sensible a la microestructura del material.*

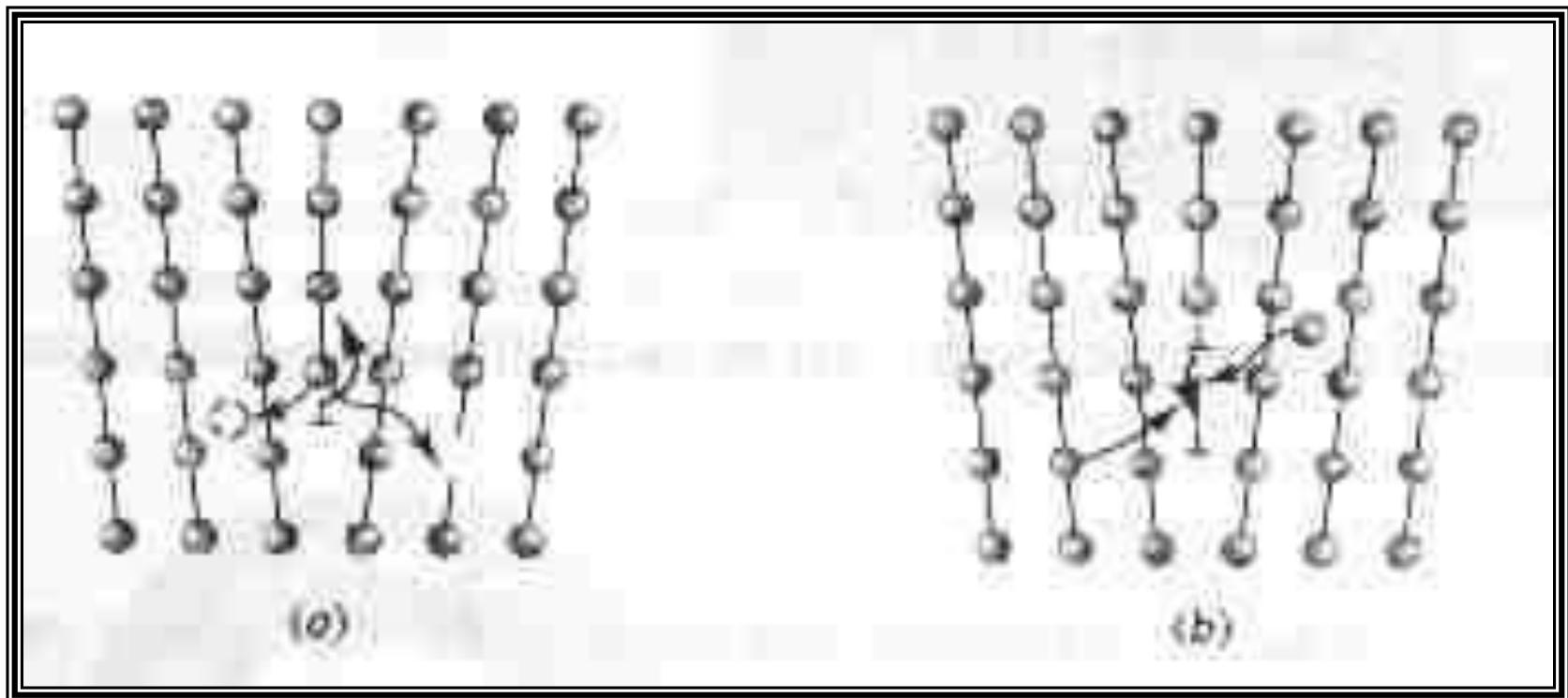
ENsayo de TERMOFLUENCIA

- Por ejemplo, los álabes de turbina en los motores de reacción pueden alcanzar una temperatura local de 1200°C, por lo que el comportamiento de termofluencia es un factor básico para seleccionar materiales y procesos adecuados para esos álabes.
- Sin embargo, se debe hacer notar que el término alta temperatura es relativo, y que depende del material que se considera. Para los materiales de motores a reacción, la alta temperatura puede ser mayor de 800°C, mientras que para los polímeros y para la soldadura de estaño, la alta temperatura puede ser 250°C.

ENSAYO DE TERMOFLUENCIA



6-14 ENSAYO DE TERMOFLUENCIA



Las dislocaciones pueden ascender y alejarse de los obstáculos, cuando los átomos se apartan de la línea de dislocación para crear interticios o para llenar vacancias (a). Cuando los átomos se fijan a la línea de dislocación creando vacancias o eliminando interticios (b).

ENsayo DE TERMOFLUENCIA

CURVA TIPICA DE TERMOFLUENCIA

