

Resistencia de Materiales 1A

Profesor Herbert Yépez Castillo

2015-1

Capítulo 3. Propiedades mecánicas

- 3.1 Ensayos de tracción
- 3.2 Diagrama esfuerzo - deformación unitaria
- 3.3 Materiales dúctiles y frágiles
- 3.4 Ley de Hooke
- 3.5 Relación de Poisson
- 3.6 Diagrama esfuerzo cortante - deformación unitaria cortante

3.1 Ensayos de tracción

- La resistencia de un material depende de su capacidad para soportar una carga sin una deformación excesiva.
- Esta capacidad es inherente al material y debe ser determinada experimentalmente (ensayos de laboratorio).
- ASTM (*American Society for Testing and Materials*) ha publicado pautas y lineamientos para realizar los ensayos experimentales.
- Entre las pruebas más representativas está el ensayo de tracción.

3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diag. Esfuerzo
– Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

3.4
Ley de
Hooke

3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esfuerzo
cortante – Def.
unit. cortante

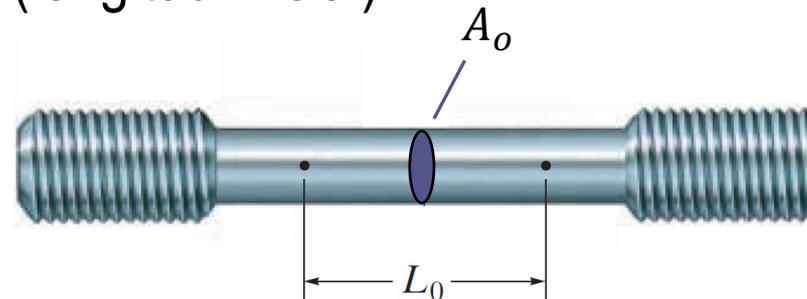
3.1 Ensayos de tracción

Ensayo de tracción

- El ensayo de tracción puede determinar muchas propiedades mecánicas del material, sin embargo se utiliza principalmente para determinar la relación entre:

Esfuerzo normal promedio - Deformación normal unitaria

- El ensayo requiere de una probeta (espécimen) de tamaño y forma normalizados de sección A_o (área original), y sobre la cual se imprimen dos marcas que determinan la longitud calibrada L_o (longitud inicial).



3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diag. Esfuerzo
– Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

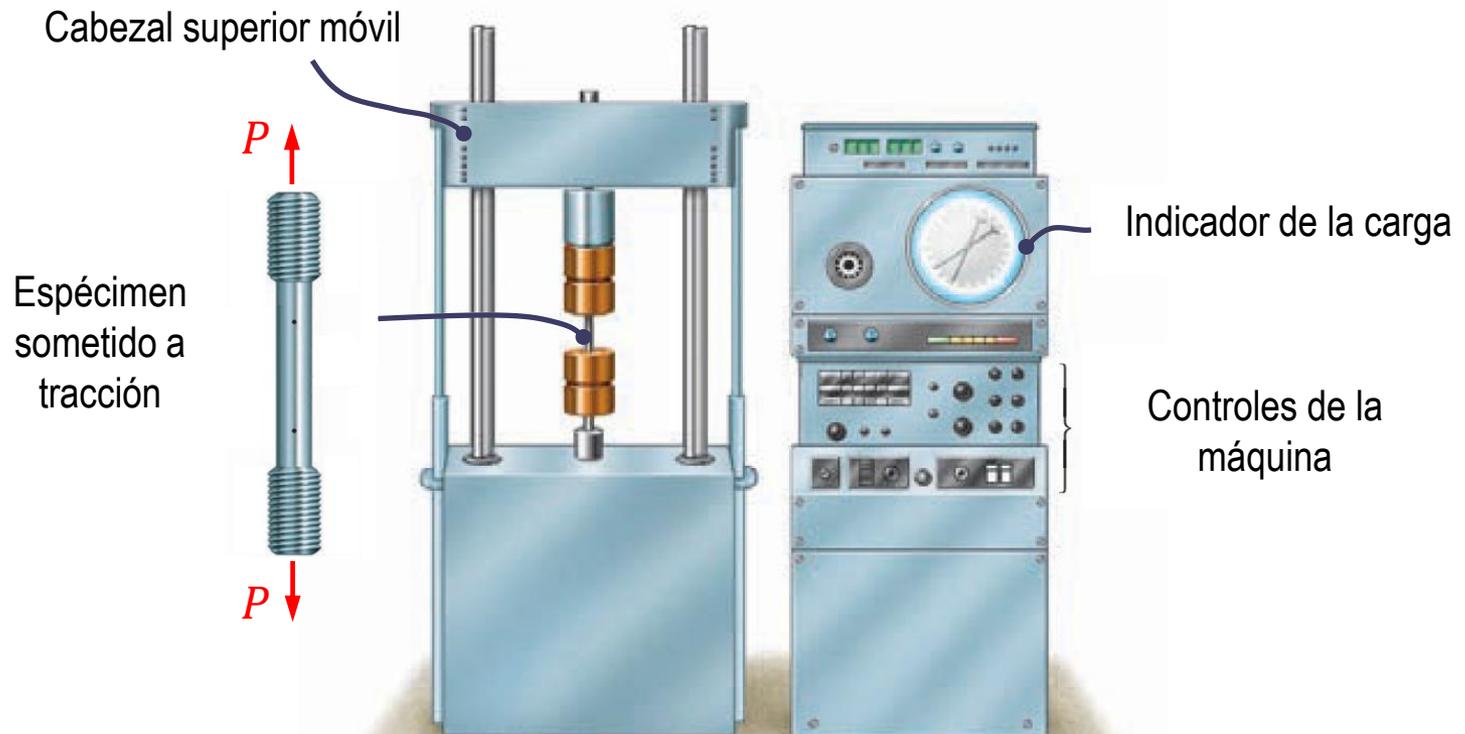
3.4
Ley de
Hooke

3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esfuerzo
cortante – Def.
unit. cortante

3.1 Ensayos de tracción

- La máquina de ensayo, con la finalidad de aplicar una carga axial P , estira el espécimen por los extremos bajo un régimen lento y constante hasta alcanzar la rotura de la probeta



3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diag. Esfuerzo
– Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

3.4
Ley de
Hooke

3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esfuerzo
cortante – Def.
unit. cortante

3.2 Diagrama de esfuerzo – deformación unitaria

- El diagrama es una curva que resulta de graficar los esfuerzos σ en la ordenada y la deformación unitaria ϵ en la abscisa.
- El esfuerzo se obtiene de la división de la carga aplicada P entre el área original A_o de la sección transversal del espécimen.

$$\sigma = \frac{P}{A_o}$$

- La deformación unitaria se determina dividiendo el cambio de longitud calibrada ΔL entre la longitud inicial calibrada L_o del espécimen.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

3.1 Ensayos de tracción

3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

3.4 Ley de Hooke

3.5 Relación de Poisson

3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante

3.2 Diagrama de esfuerzo – deformación unitaria

3.1 Ensayos de tracción

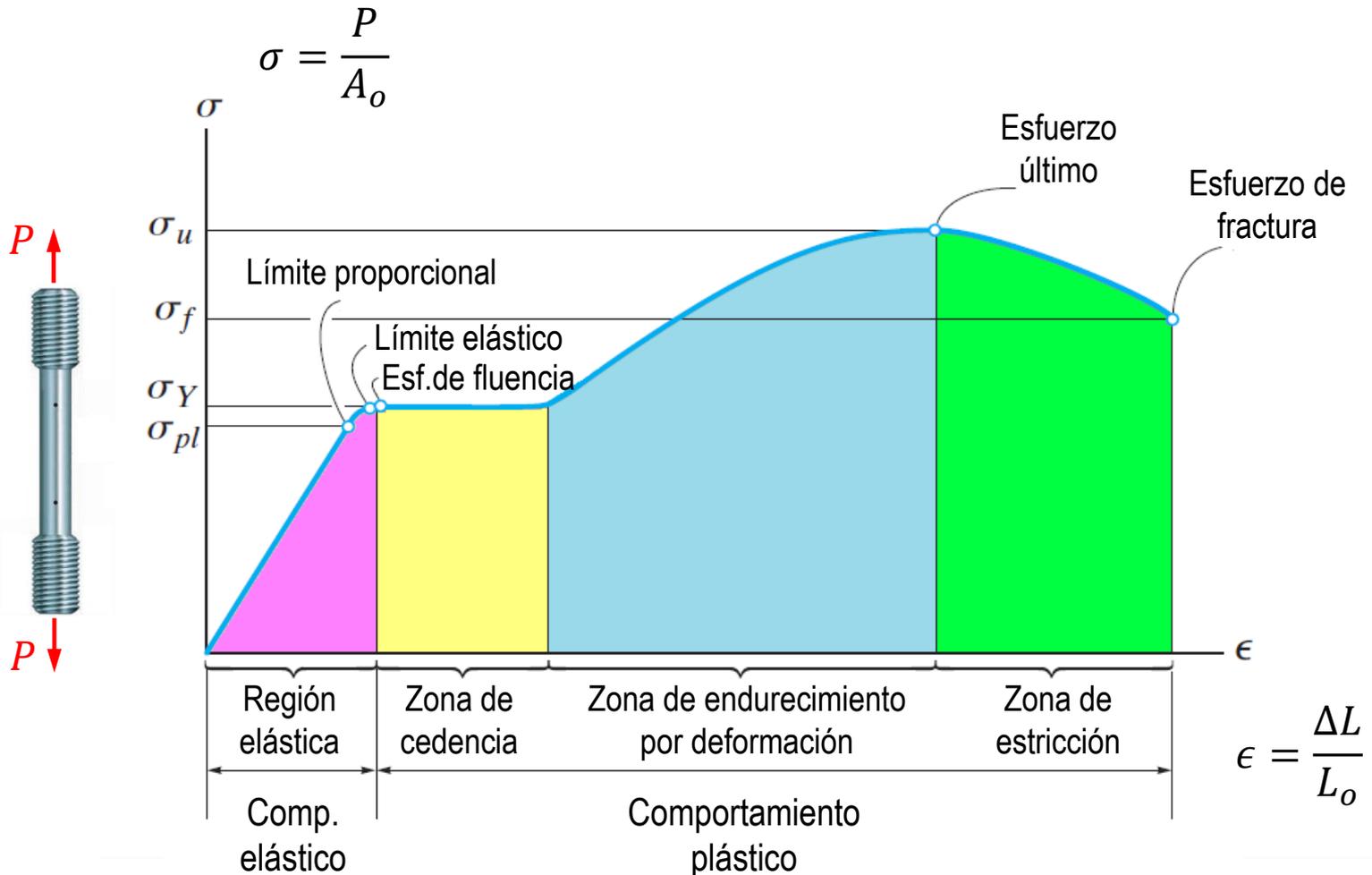
3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

3.4 Ley de Hooke

3.5 Relación de Poisson

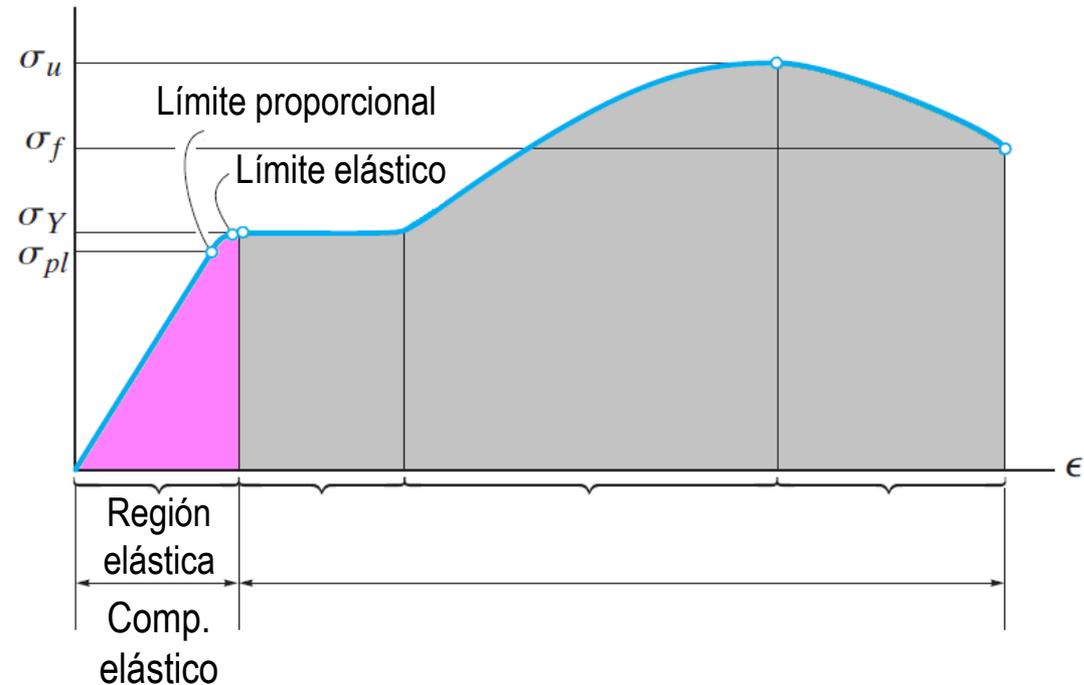
3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante



3.2 Diagrama de esfuerzo – deformación unitaria

1. Región elástica

- Si se retira la carga, la probeta responde elásticamente retornando a su forma y longitud original.



- La curva es una línea recta, el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria, hasta alcanzar un *límite proporcional* σ_{pl} .
- Si el esfuerzo excede por un poco el límite proporcional, el material puede todavía responder elásticamente hasta un *límite elástico*.

3.1 Ensayos de tracción

3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

3.4 Ley de Hooke

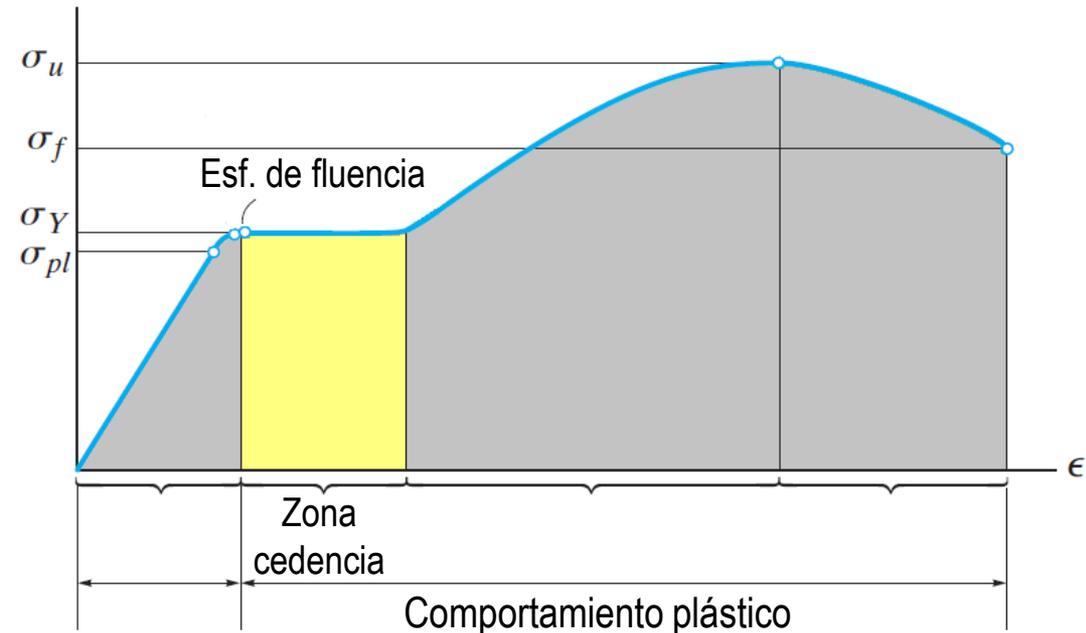
3.5 Relación de Poisson

3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante

3.2 Diagrama de esfuerzo – deformación unitaria

2. Zona de cedencia (fluencia)

- Un incremento ligero del esfuerzo, produce la deformación permanente (plástica).



- Este comportamiento se conoce como fluencia o cedencia y el esfuerzo que lo causa es llamado como *esfuerzo de fluencia* σ_Y .
- Si se retira la carga, parte de la probeta retoma sus dimensiones originales, pero ciertas partes sufren deformación permanente (plástica).

3.1 Ensayos de tracción

3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

3.4 Ley de Hooke

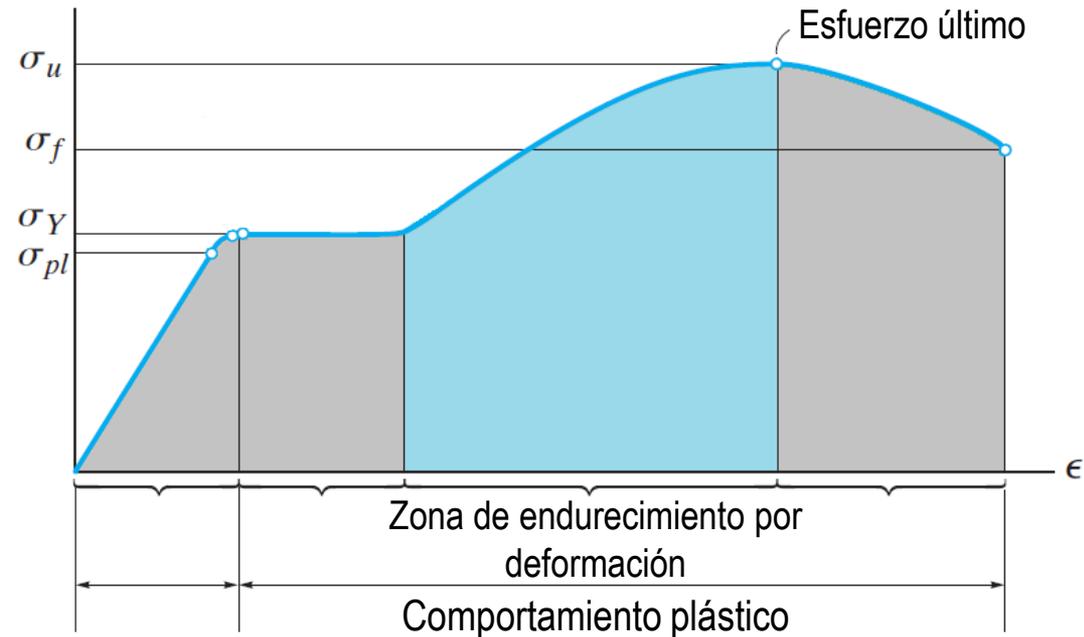
3.5 Relación de Poisson

3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante

3.2 Diagrama de esfuerzo – deformación unitaria

3. Zona de endurecimiento por deformación

- Aún con el área de la sección transversal bastante uniforme, la probeta ofrece



una última resistencia antes de la fractura, alcanzando el esfuerzo máximo llamado *esfuerzo último* σ_u .

3.1 Ensayos de tracción

3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

3.4 Ley de Hooke

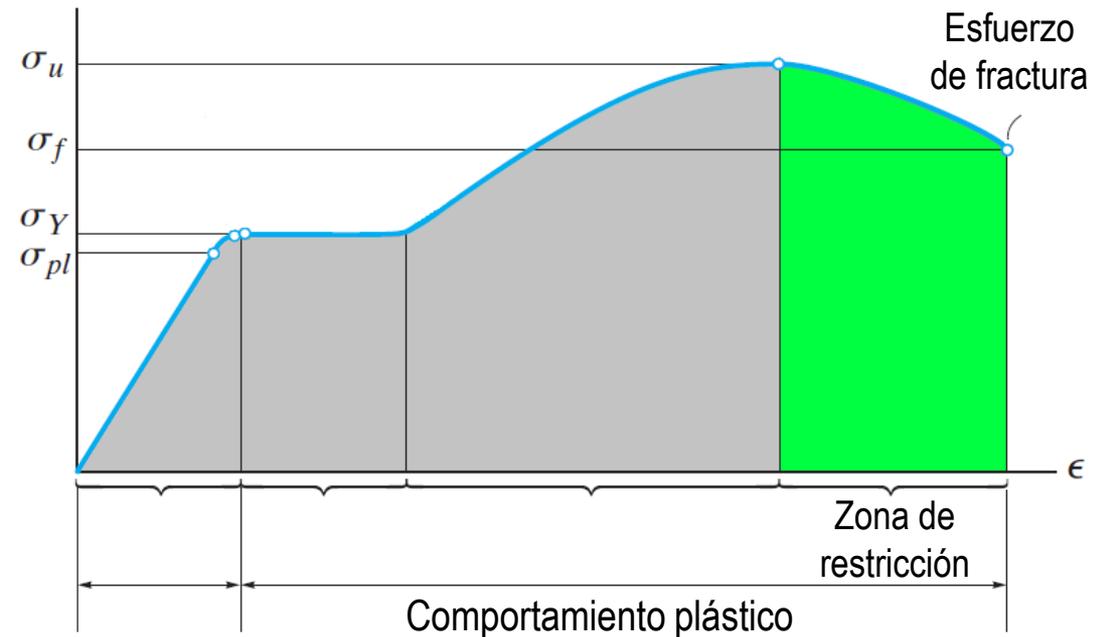
3.5 Relación de Poisson

3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante

3.2 Diagrama de esfuerzo – deformación unitaria

4. Zona de estricción

- Alcanzado el esfuerzo último, el área de la sección comienza a reducirse en una zona muy localizada.



- La probeta forma un cuello, que solo puede soportar una carga decreciente
- Por ello, la curva del diagrama tiende a bajar hasta fallar en el punto del *esfuerzo de fractura* σ_f .

3.1 Ensayos de tracción

3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

3.4 Ley de Hooke

3.5 Relación de Poisson

3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

Materiales dúctiles

- Son todos aquellos materiales que presenta grandes deformaciones antes de su rotura.
- En ingeniería a menudo se eligen aceros dúctiles (aceros de bajo carbono), ya que:
 - Absorben cargas de impacto
 - Exhiben grandes deformaciones que advierten una falla inminente.
- La ductilidad de un material puede medirse mediante:
 - Elongación [%]
 - Reducción de área (estricción) [%]

3.1 Ensayos de tracción

3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

3.4 Ley de Hooke

3.5 Relación de Poisson

3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

Materiales dúctiles

- Elongación: Deformación unitaria del espécimen fracturado.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} 100\% = \frac{L_f - L_o}{L_o} 100\%$$

L_o : Longitud calibrada inicial.

L_f : Longitud final entre las marcas.

- Estricción: Reducción del área de sección del espécimen fracturado.

$$\text{Estricción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} 100\%$$

A_o : Área de la sección transversal original.

A_f : Área de la sección transversal final de fractura.

3.1 Ensayos de tracción

3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

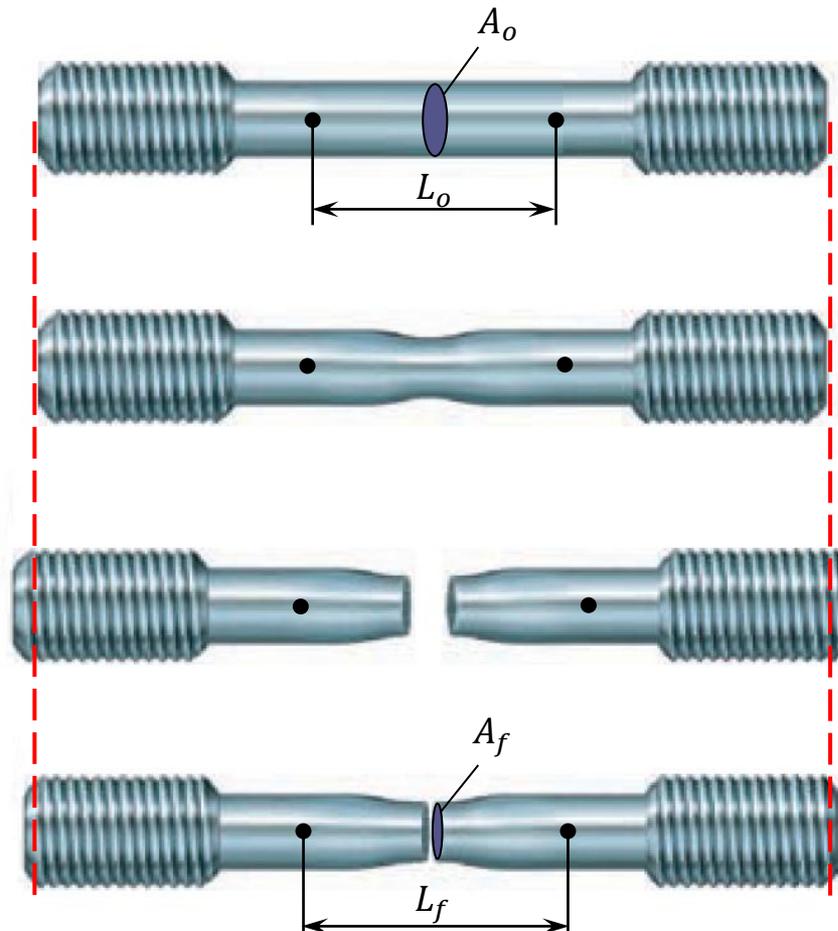
3.4 Ley de Hooke

3.5 Relación de Poisson

3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

Materiales dúctiles



$$\epsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} 100\%$$

$$Estric. = \frac{A_o - A_f}{A_o} 100\%$$

3.1 Ensayos de tracción

3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

3.4 Ley de Hooke

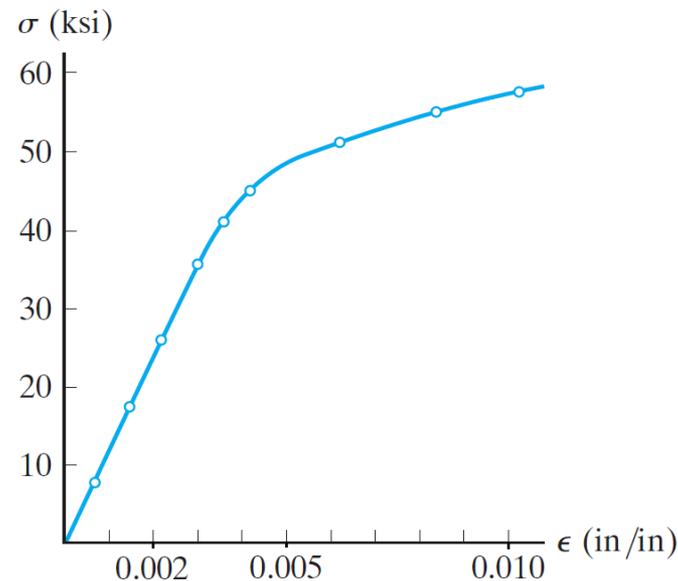
3.5 Relación de Poisson

3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

Materiales dúctiles

- La mayoría de los metales no exhibe una zona de fluencia bien definida. Por ello, una práctica difundida es utilizar el método de desviación para definir el esfuerzo de fluencia.



3.1 Ensayos de tracción

3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

3.4 Ley de Hooke

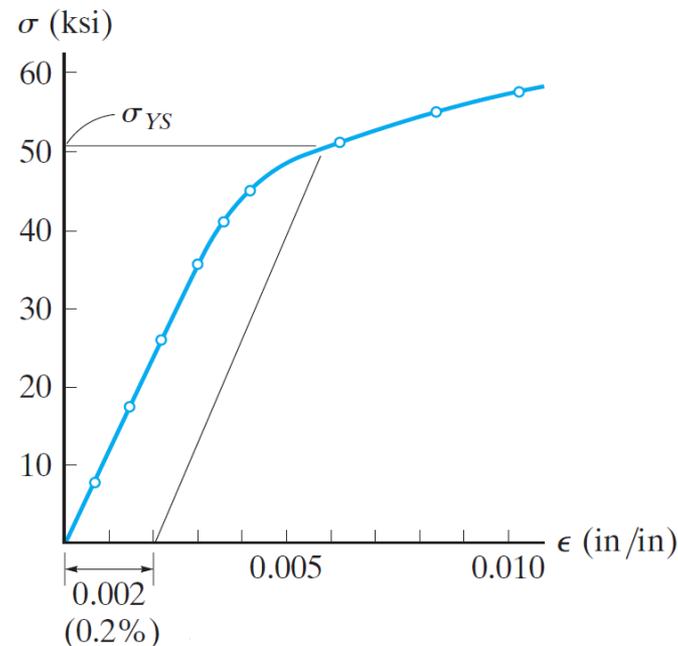
3.5 Relación de Poisson

3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

Materiales dúctiles

- El método de la desviación consiste en tomar una deformación unitaria igual a 0.002 (0.2%) y trazar una línea paralela a la recta elástica. La intersección de la línea con la curva $\sigma - \epsilon$ define el *esfuerzo de fluencia* σ_{YS} .



3.1 Ensayos de tracción

3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

3.4 Ley de Hooke

3.5 Relación de Poisson

3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

Materiales frágiles

- Son aquellos materiales que exhiben poca o ninguna fluencia antes de su rotura.
- En ingeniería se consideran materiales frágiles al:
 - Hierro fundido laminar (hierro gris)
 - Concreto.

3.1 Ensayos de tracción

3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

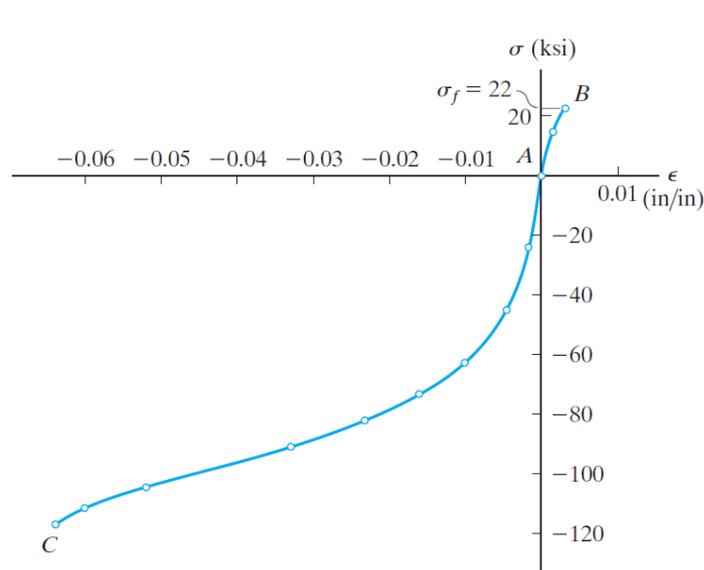
3.4 Ley de Hooke

3.5 Relación de Poisson

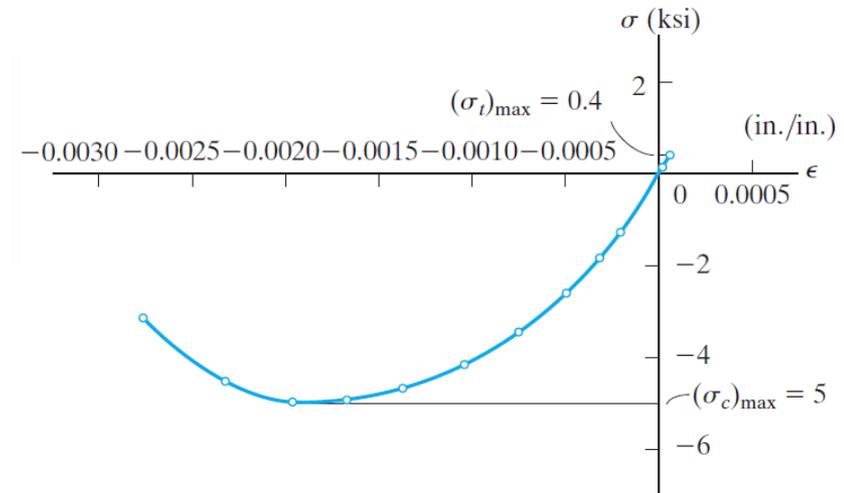
3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

Materiales frágiles



Hierro fundido laminar
(hierro gris)



Concreto

3.1 Ensayos de tracción

3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

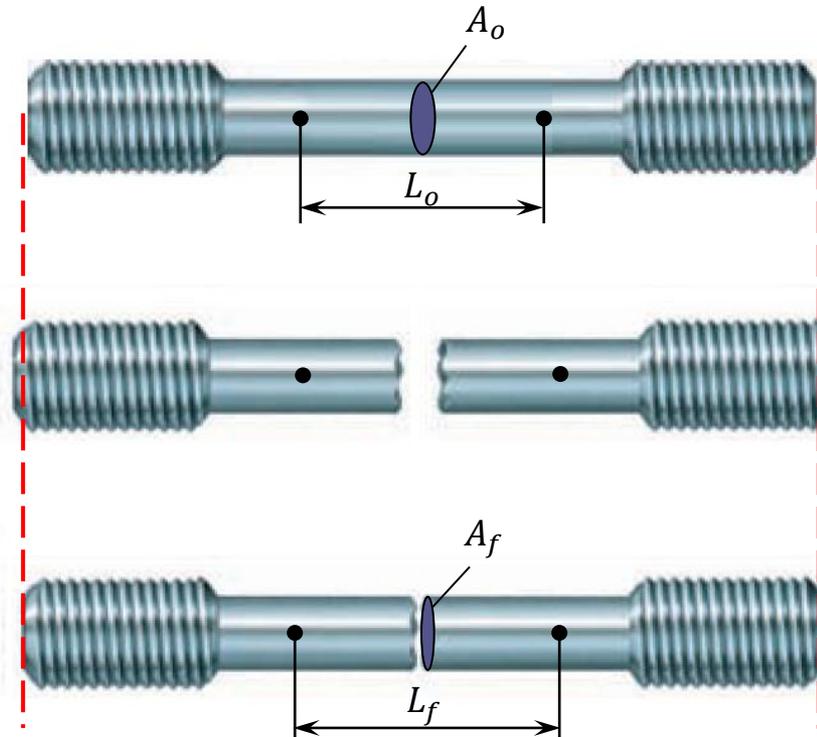
3.4 Ley de Hooke

3.5 Relación de Poisson

3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

Materiales frágiles



$$\epsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} 100\%$$

$$Estric. = \frac{A_o - A_f}{A_o} 100\%$$

3.1 Ensayos de tracción

3.2 Diagrama Esfuerzo – Def. unitaria

3.3 Materiales dúctiles y frágiles

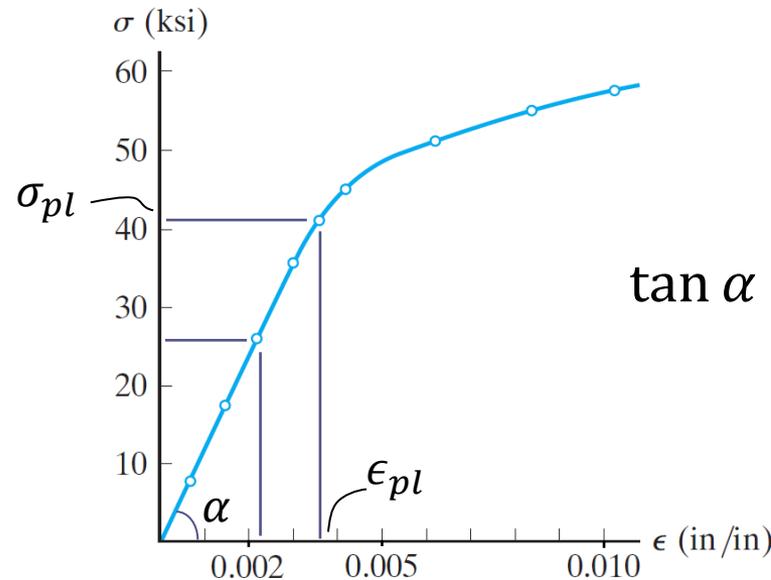
3.4 Ley de Hooke

3.5 Relación de Poisson

3.6 Diag. Esfuerzo cortante – Def. unit. cortante

3.4 Ley de Hooke

- La mayoría de materiales en ingeniería exhiben una relación lineal entre el σ y la ϵ dentro de una zona elástica hasta el límite proporcional σ_{pl} .
- Esta proporcionalidad fue descubierta por Robert Hooke (1676).



$$\tan \alpha = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diagrama
Esfuerzo –
Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

3.4
Ley de
Hooke

3.5
Relación de
Poisson

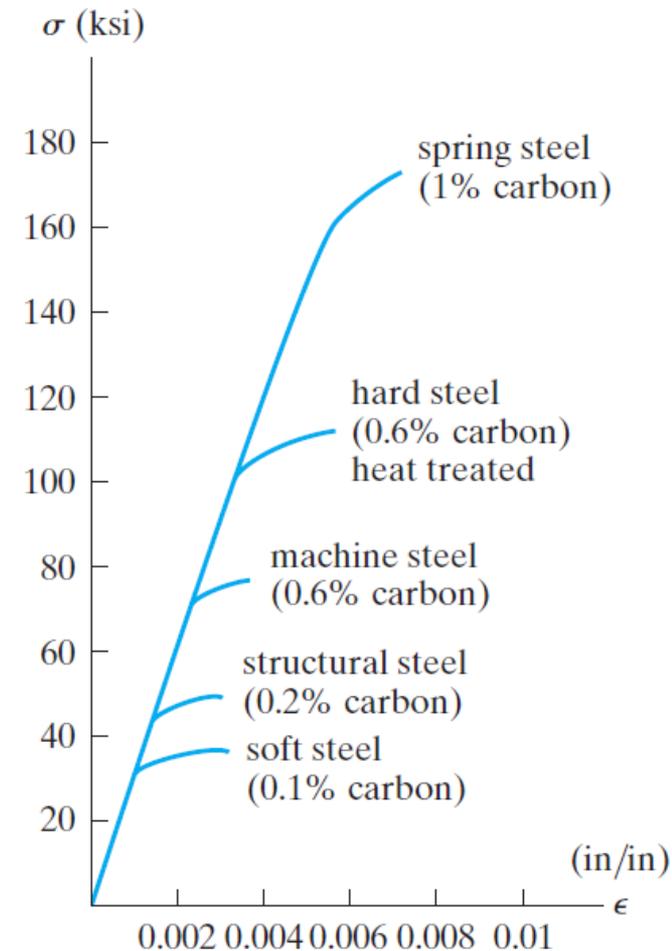
3.6
Diag. Esfuerzo
cortante – Def.
unit. cortante

3.4 Ley de Hooke

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

E : Constante de proporcionalidad, módulo de elasticidad, módulo de Young.

- Los aceros según su contenido de carbono y elementos aleantes tienen diferentes comportamientos y propiedades mecánicas, sin embargo poseen el mismo módulo de elasticidad, $E = 210 \text{ GPa}$



3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diagrama
Esfuerzo –
Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

3.4
Ley de
Hooke

3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esfuerzo
cortante – Def.
unit. cortante

3.4 Ley de Hooke

Acero estructural ASTM A36

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$\sigma_{pl} \approx 250 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{pl} = ?$$

$$E = \frac{\sigma_{pl}}{\epsilon_{pl}} \rightarrow \epsilon_{pl} = \frac{\sigma_{pl}}{E} = \frac{250 \text{ MPa}}{210 \text{ GPa}} = 0.12 \times 10^{-2} \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

$$\epsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} \quad \text{si } L_o = 1000 \text{ mm}$$

$$L_f = (1 + \epsilon)L_o = (1.0012)1000 = 1001.2 \text{ mm}$$

3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diagrama
Esfuerzo –
Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

3.4
Ley de
Hooke

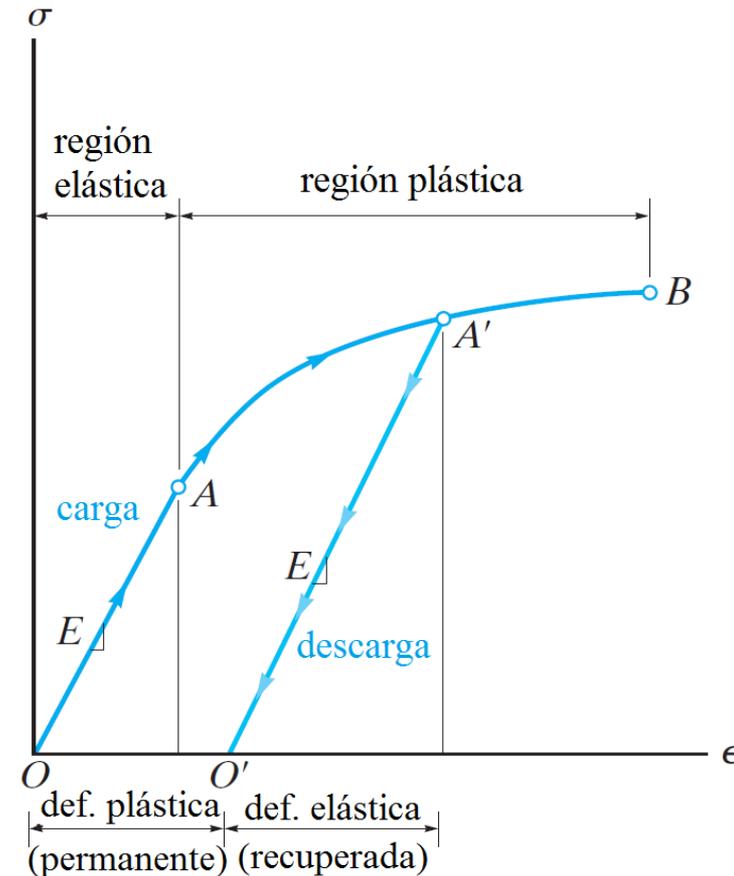
3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esfuerzo
cortante – Def.
unit. cortante

3.4 Ley de Hooke

Deformación permanente

Si el material es cargado dentro de la región plástica y luego se descarga, la deformación elástica se recupera, sin embargo la **deformación plástica es permanente**.



3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diagrama
Esfuerzo –
Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

3.4
Ley de
Hooke

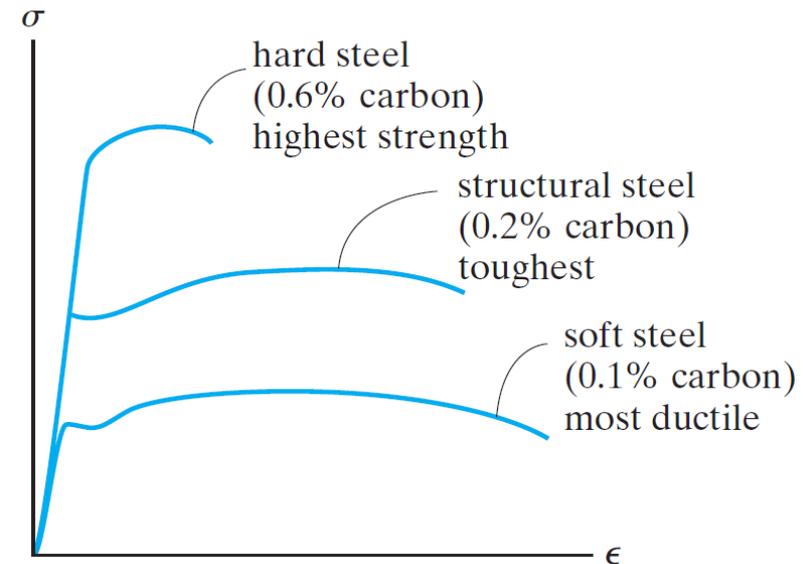
3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esfuerzo
cortante – Def.
unit. cortante

3.4 Ley de Hooke

Tenacidad

- La tenacidad es el área bajo la curva $\sigma - \epsilon$.
- En ingeniería es importante que un diseño busque con una buena combinación de ***buena resistencia y ductilidad aceptable***



3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diagrama
Esfuerzo –
Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

3.4
Ley de
Hooke

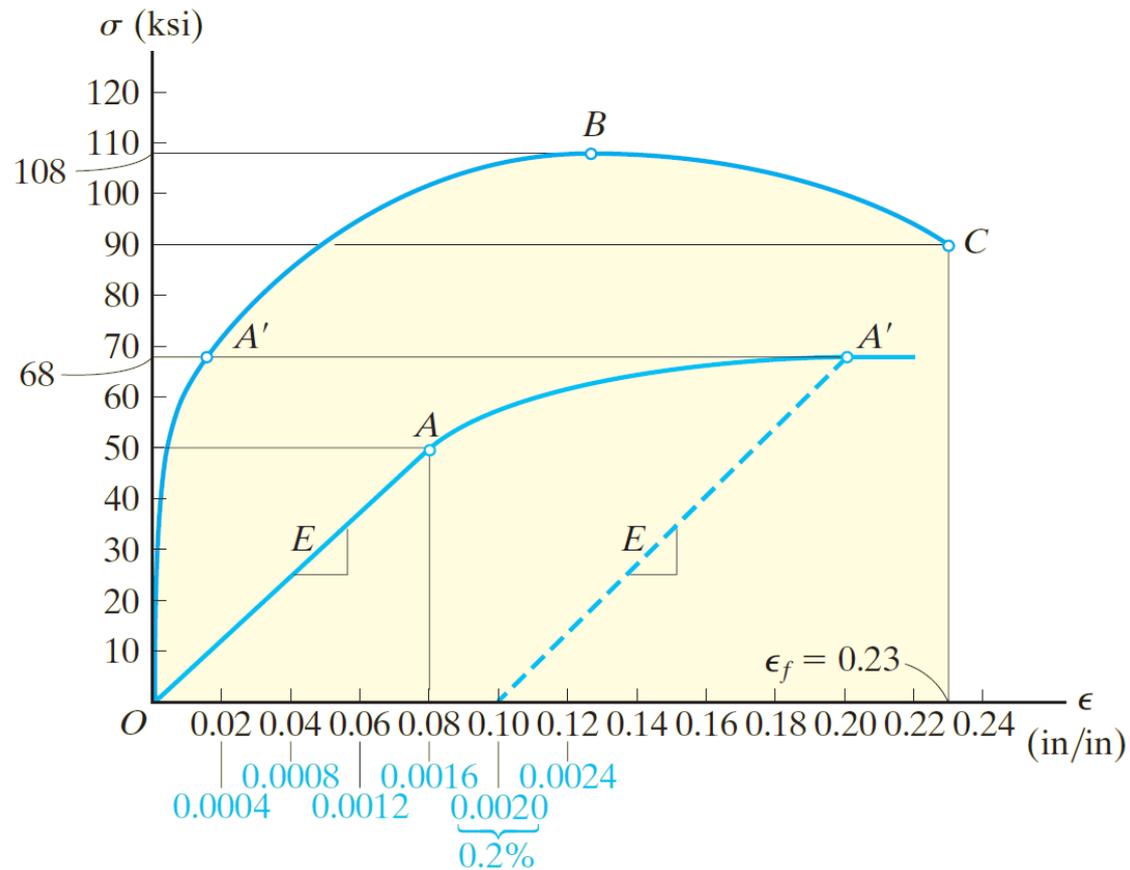
3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esfuerzo
cortante – Def.
unit. cortante

Problema 01

Ref. Hibbeler R. Mecánica de Materiales

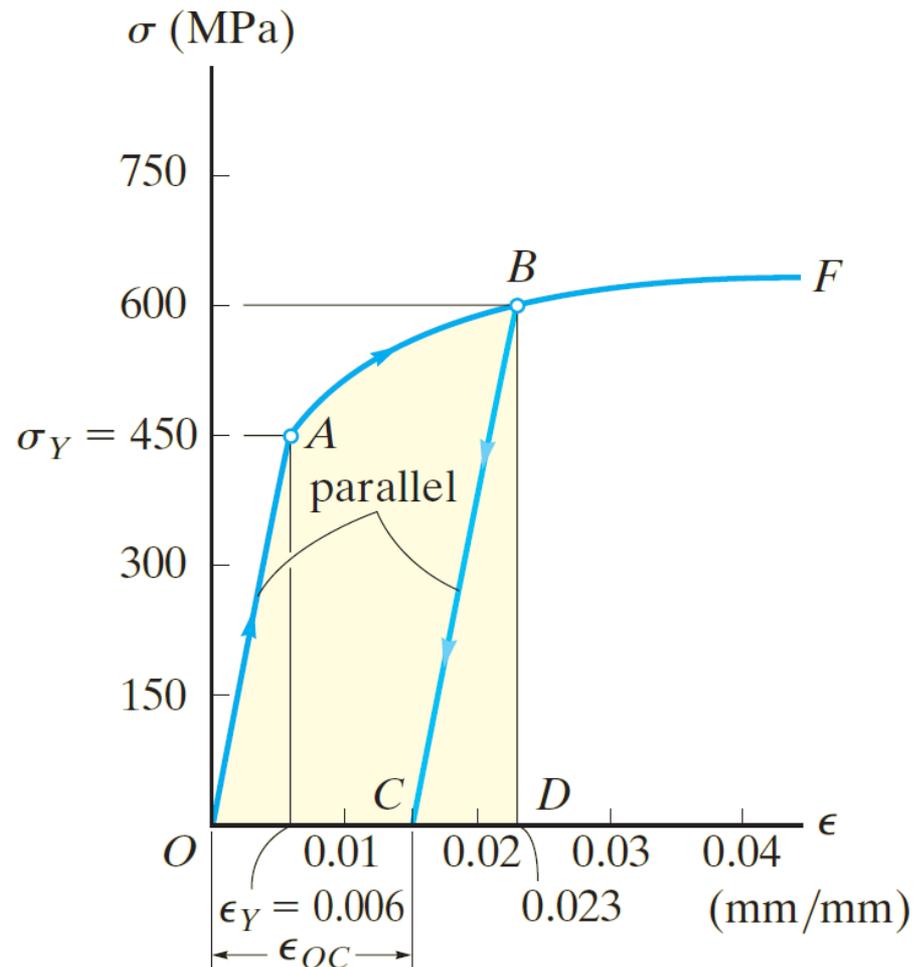
Determinar E , σ_{YS} ($\sigma_{0.2\%}$), σ_{pl} , σ_f , σ_u



Problema 02

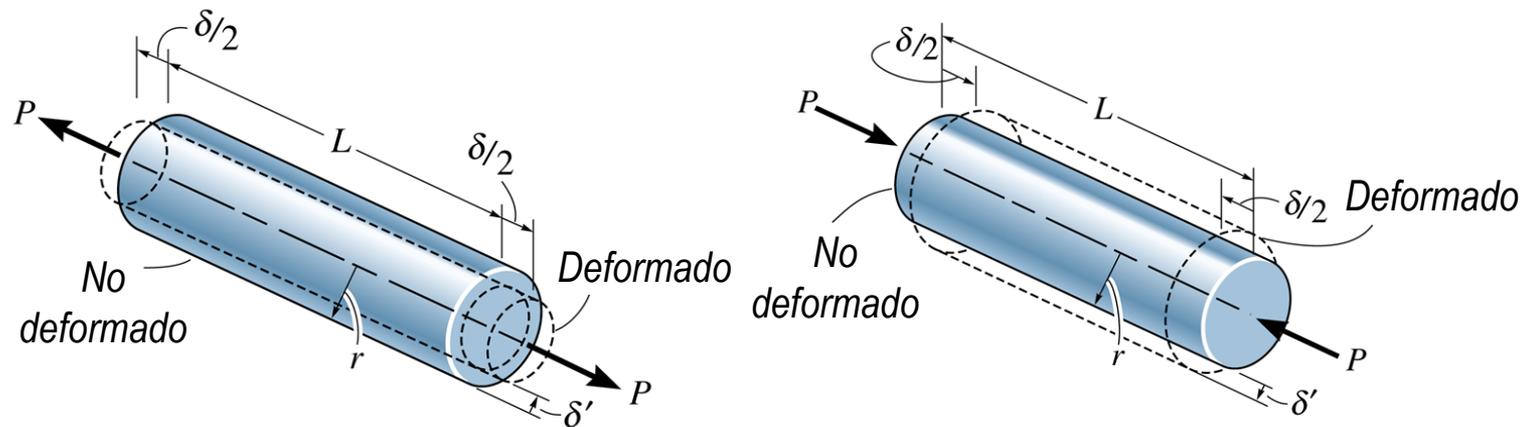
Ref. Hibbeler R. Mecánica de Materiales

Determinar la deformación unitaria permanente.



3.5 Relación de Poisson

- Un cuerpo cuando es sometido a una carga axial no solo tienen cambios de longitud en la dirección axial.
 - Si la carga es de tracción, se contrae lateralmente.
 - Si la carga es de compresión, crece lateralmente.



3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diagrama
Esfuerzo –
Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

3.4
Ley de
Hooke

3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esfuerzo
cortante – Def.
unit. cortante

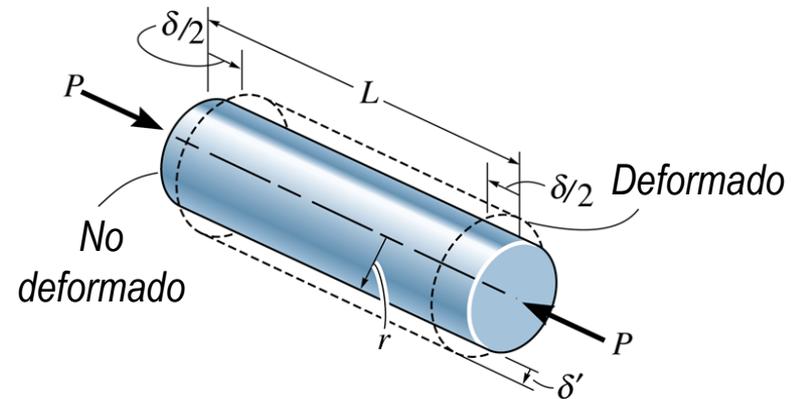
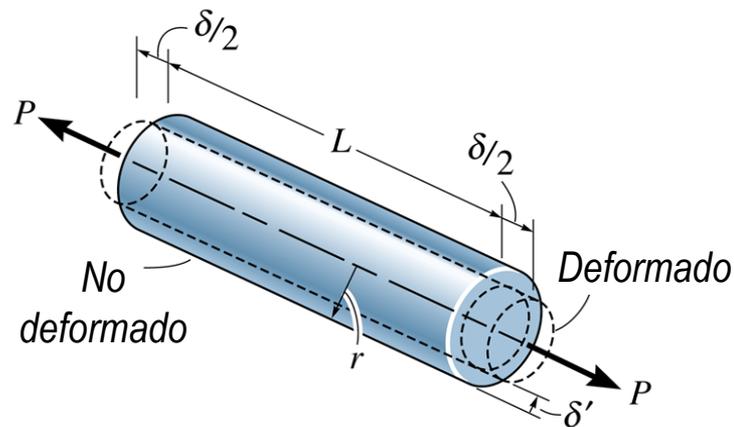
3.5 Relación de Poisson

- Poisson determinó que dentro de la zona elástica, las deformaciones son proporcionales.

$$\nu = -\frac{\epsilon_{lat}}{\epsilon_{long}}$$

$$\epsilon_{long} = \frac{\delta}{L}$$

$$\epsilon_{lat} = \frac{\delta'}{r}$$



3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diagrama
Esfuerzo –
Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

3.4
Ley de
Hooke

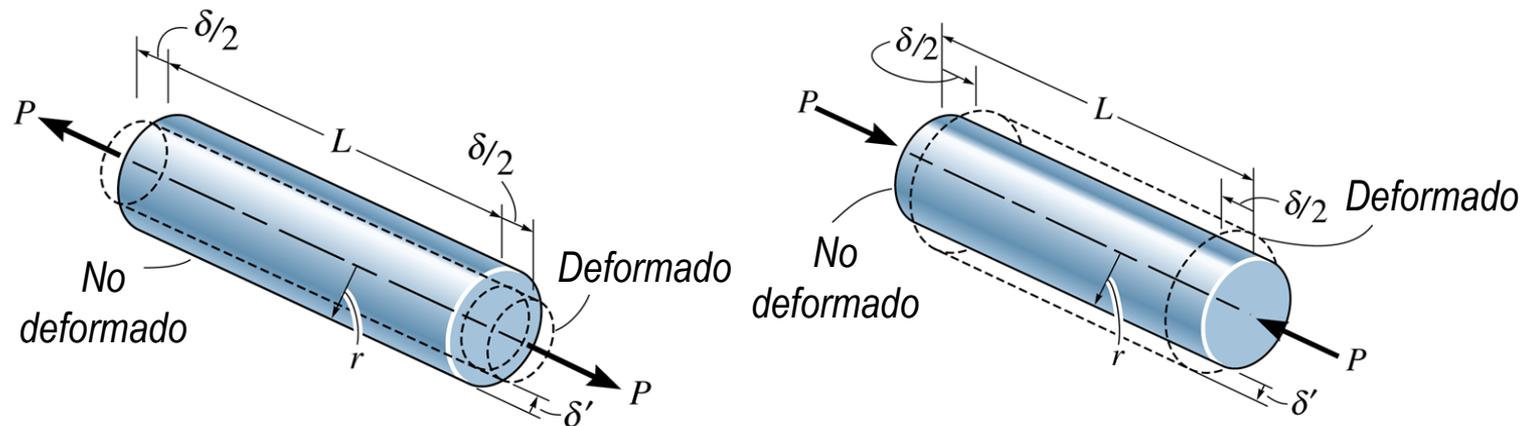
3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esfuerzo
cortante – Def.
unit. cortante

3.5 Relación de Poisson

$$\nu = - \frac{\epsilon_{lat}}{\epsilon_{long}}$$

- El signo negativo se debe a que una deformación unitaria positivas en la dirección longitudinal, ocasiona una contracción lateral (deformación unitaria negativa).
- El valor del coeficiente Poisson se encuentra entre 0.25 y 0.33



3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diagrama
Esfuerzo –
Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

3.4
Ley de
Hooke

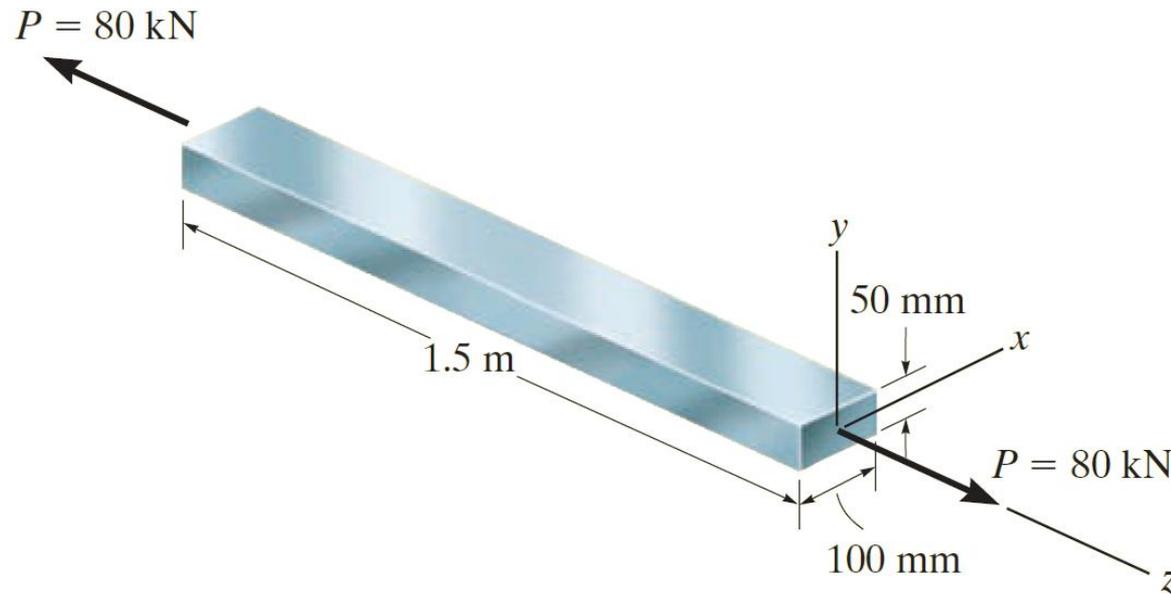
3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esfuerzo
cortante – Def.
unit. cortante

Problema 03

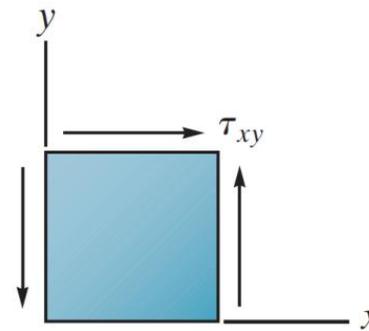
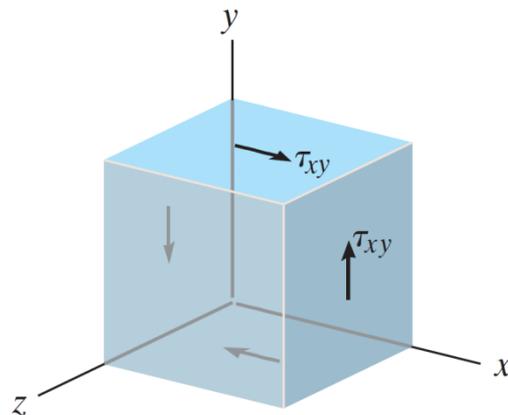
Ref. Hibbeler R. *Mecánica de Materiales*

Determinar el cambio de longitud y de las dimensiones de la sección transversal, si la barra posee un módulo de elasticidad igual a 200GPa y un coeficiente de Poisson igual a 0.3 .

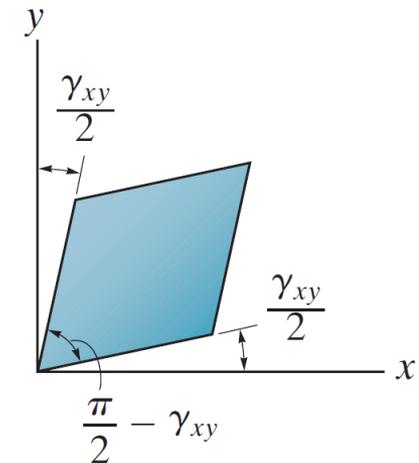


3.6 Diagrama Esfuerzo cortante – Deformación

- Un elemento sometido a corte puro requiere de esfuerzos cortantes en sus 4 caras para mantener el equilibrio (a).
- Estos esfuerzos cortantes producen la distorsión del elemento (b).



(a)



(b)

3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diagrama
Esfuerzo –
Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

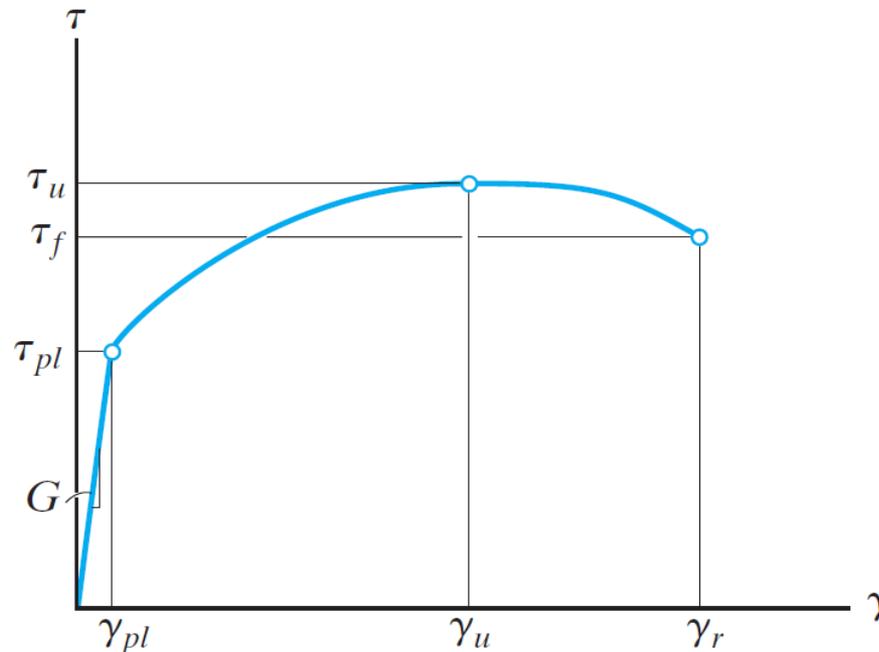
3.4
Ley de
Hooke

3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esf.
cortante –
Deformac.

3.6 Diagrama Esfuerzo cortante – Deformación

- Al igual que en la prueba de tracción, un material sometido a corte posee un diagrama esfuerzo-deformación, en el cual se exhibe un comportamiento elástico lineal hasta alcanzar un *límite proporcional* τ_{pl} . Además, el diagrama posee un *esfuerzo último* τ_u , y un *esfuerzo de fractura* τ_f .



3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diagrama
Esfuerzo –
Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

3.4
Ley de
Hooke

3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esf.
cortante –
Deformac.

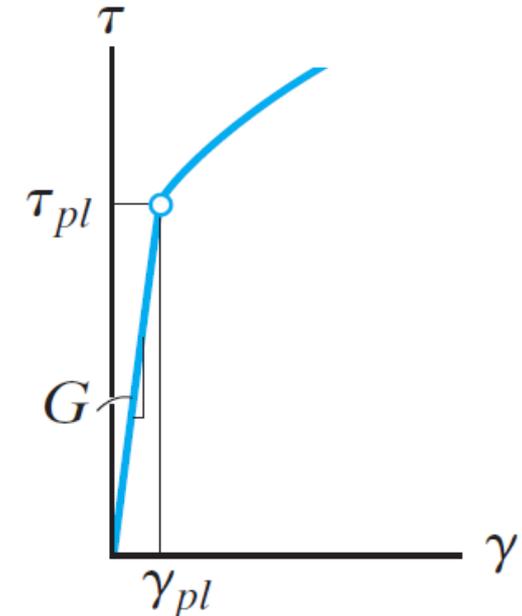
3.6 Diagrama Esfuerzo cortante – Deformación

- La ley de Hooke para el corte en la región donde se exhibe el comportamiento elástico lineal, se describe como:

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

G : Módulo de elasticidad por corte, módulo de rigidez.

- El módulo de rigidez G posee las mismas unidades que el módulo de elasticidad E , ya que la deformación unitaria cortante se expresa en radianes.



3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diagrama
Esfuerzo –
Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

3.4
Ley de
Hooke

3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esf.
cortante –
Deformac.

3.6 Diagrama Esfuerzo cortante – Deformación

- En capítulos posteriores se demostrará que las tres constantes E , G y ν están relacionadas

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

3.1
Ensayos de
tracción

3.2
Diagrama
Esfuerzo –
Def. unitaria

3.3
Materiales
dúctiles y
frágiles

3.4
Ley de
Hooke

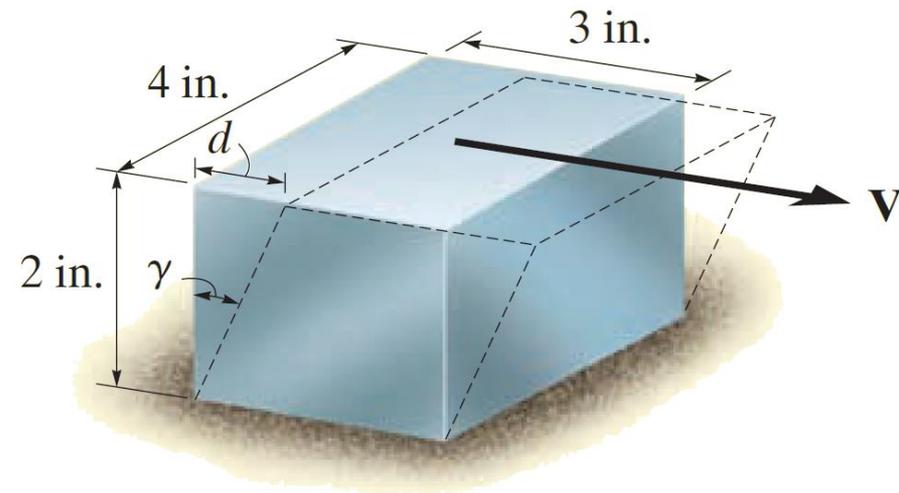
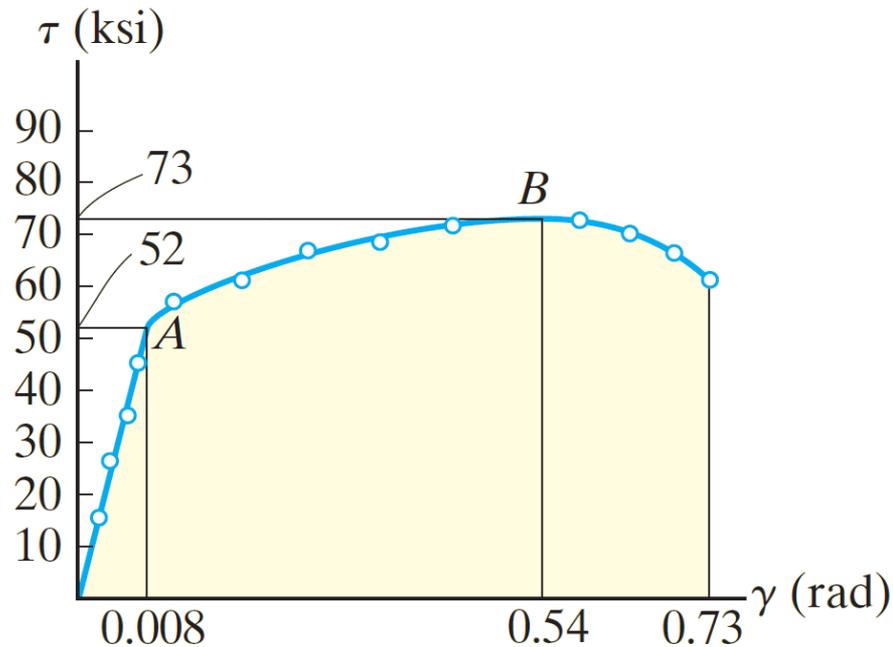
3.5
Relación de
Poisson

3.6
Diag. Esf.
cortante –
Deformac.

Problema 04

Ref. Hibbeler R. Mecánica de Materiales

A partir del diagrama esfuerzo cortante-deformación, determinar el módulo de rigidez y la distancia d máxima de un elemento volumétrico (bloque) que se desplazaría horizontalmente si el material se comporta elásticamente cuando actúa una fuerza V . Además, determinar el valor de V que produce dicho desplazamiento.



Problema 05 Ref. Hibbeler R. Mecánica de Materiales

La carga de 165 kN alarga elásticamente la longitud calibrada en 1.20 mm. Determinar el módulo de elasticidad y la contracción del diámetro de la probeta, si la probeta posee un diámetro en la zona reducida igual a 25 mm, la longitud calibrada igual a 250 mm y el módulo de rigidez igual a 26GPa.

