

INTRODUCCIÓN a la
Mecánica de Materiales

Materiales

• Se pueden llamar *materiales* aquellos que emergen para la acción humana: un material es una sustancia con una esperada aplicación presente o futura para la humanidad [1]. Ejemplos de materiales con aplicaciones actuales en estructuras:

- Madera
- Aceros estructurales y reforzados
- Cemento y Concreto
- Unidades estructurales de Arcilla y Concreto
- Betún y materiales bituminosos.
- Plásticos, suelos y aluminio.

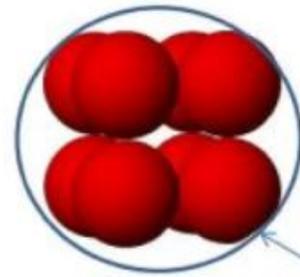
1. Eric J. Mittemeijer. (2010). Fundamentals of Materials Science: The Microstructure–Property Relationship Using Metals as Model Systems. Springer

Consideraciones

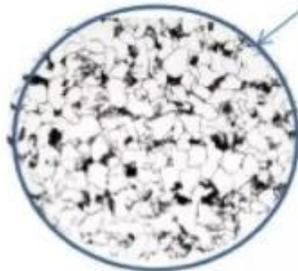
El elemento estructural deberá cumplir con las características de ser:

- a. **CONTINUO**: el elemento no tiene poros ni fisuras, etc.
- b. **LINEAL**: la deformación es directamente proporcional a la carga aplicada.
- c. **HOMOGÉNEO**: todo el elemento tiene las mismas características microestructurales
- d. **ISOTRÓPICO**: la reacción del material a una carga aplicada es la misma si se le aplica a cualquier dirección.

Sólido CLHI

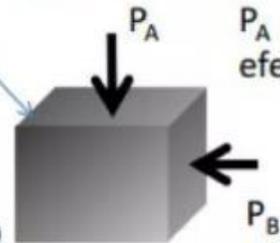
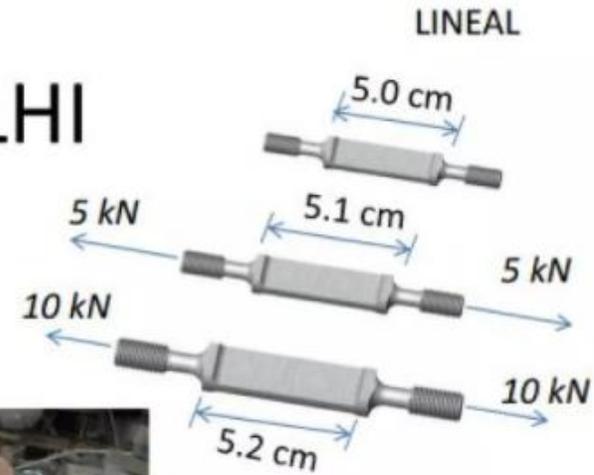


CONTINUO



HOMOGÉNEO

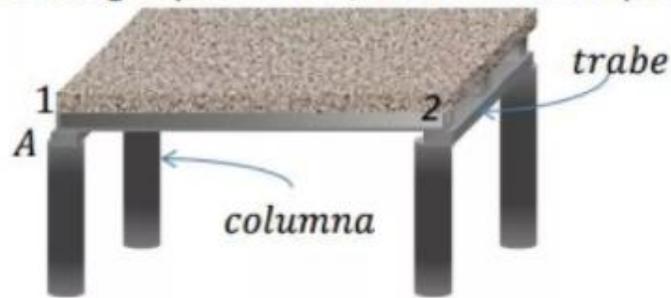
ISOTRÓPICO



P_A produce el mismo efecto que P_B

ESTRUCTURA

- Estructura: es un sistema de partes conectadas que se utiliza para soportar una carga.
 1. **Elemento estructural:** Son aquellos miembros que son largos en comparación con su sección transversal: tensores, vigas o columnas
 2. **Nudo:** son puntos de intersección de los miembros, ubica la posición (o coordenadas) donde inicia (o termina) un elemento estructural. (ejemplo 1 y 2). Pueden ser del tipo articular o rígido.
 3. **Soportes:** restringen el movimiento en el eje x y/o en y y/o *rotaciones*. En general son, articulación, rodillo o empotrado. (ejemplo: si en el punto A los elementos están unidos con un perno se le denomina soporte articulado)
 4. **Cargas:** solicitaciones externas (ejemplo, el peso de la losa de concreto). Se clasifican en cargas puntuales, distribuidas o pares.



Tipos de Estructuras

a) Estructuras Reticulares: Vigas



a) Estructuras Reticulares: Armaduras planas y en el espacio



b) Estructuras Reticulares: Parrillas



b) Estructuras Reticulares: Marcos Planos y Marcos en el espacio0



b) Cables y Arcos



a) Tensores

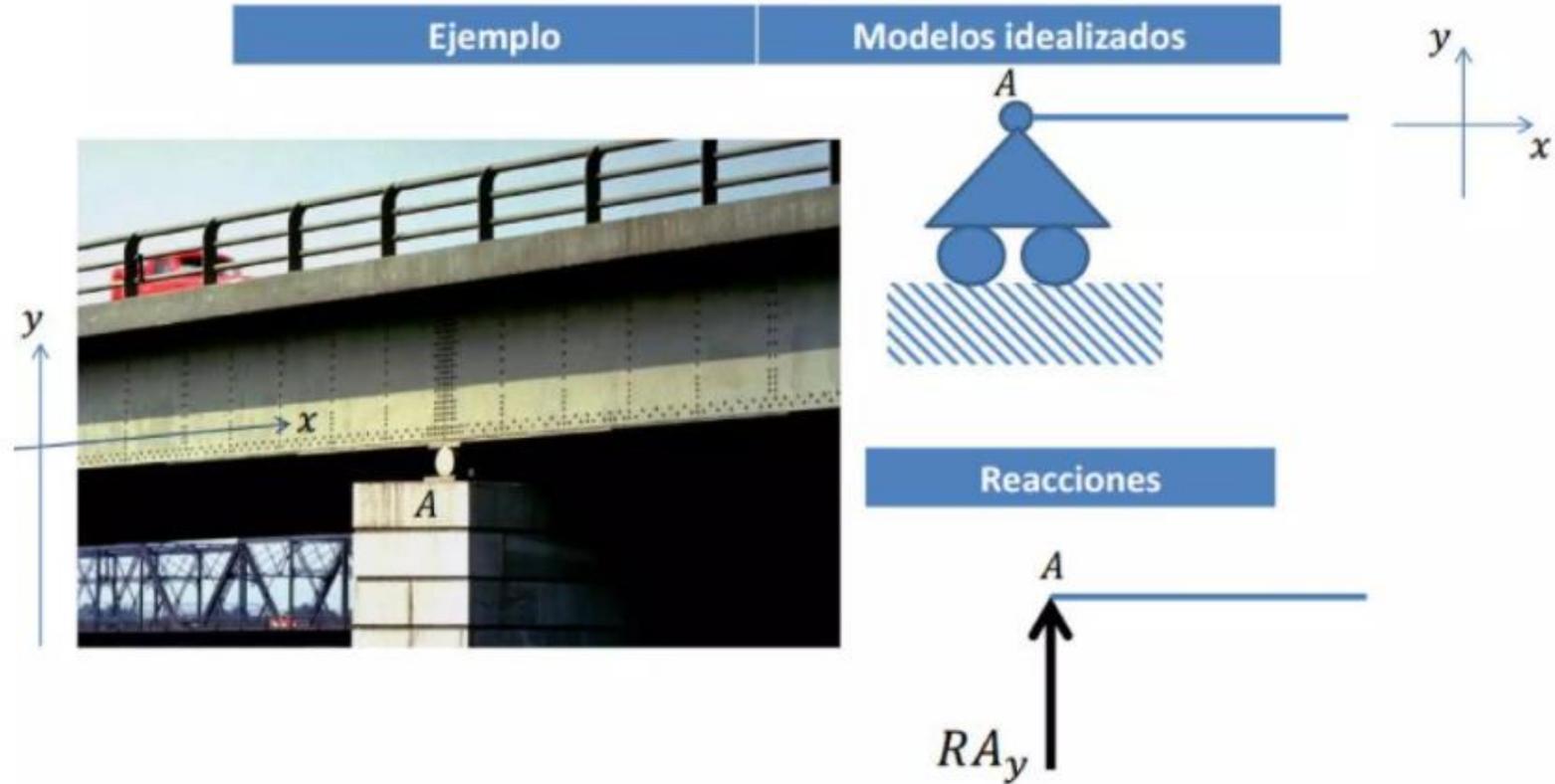
b) Vigas

a) Columnas

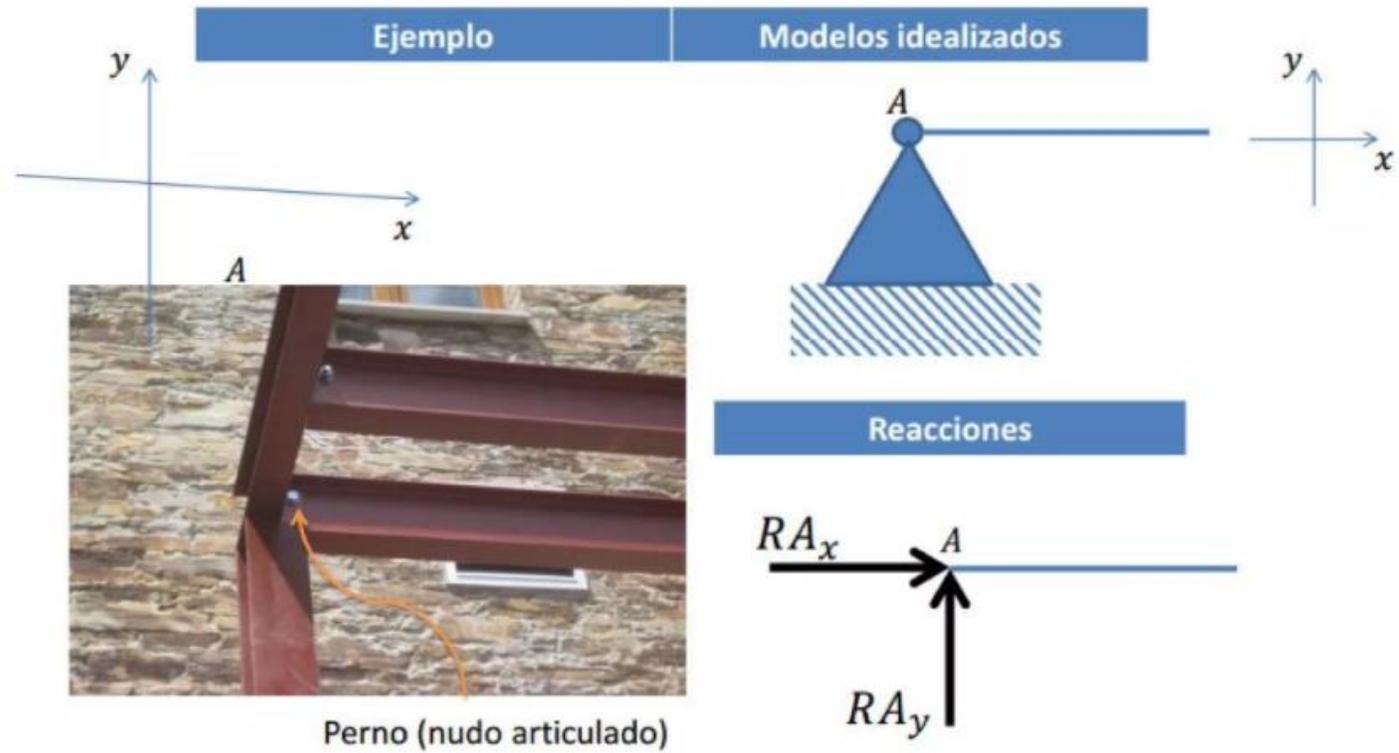


3. Soportes

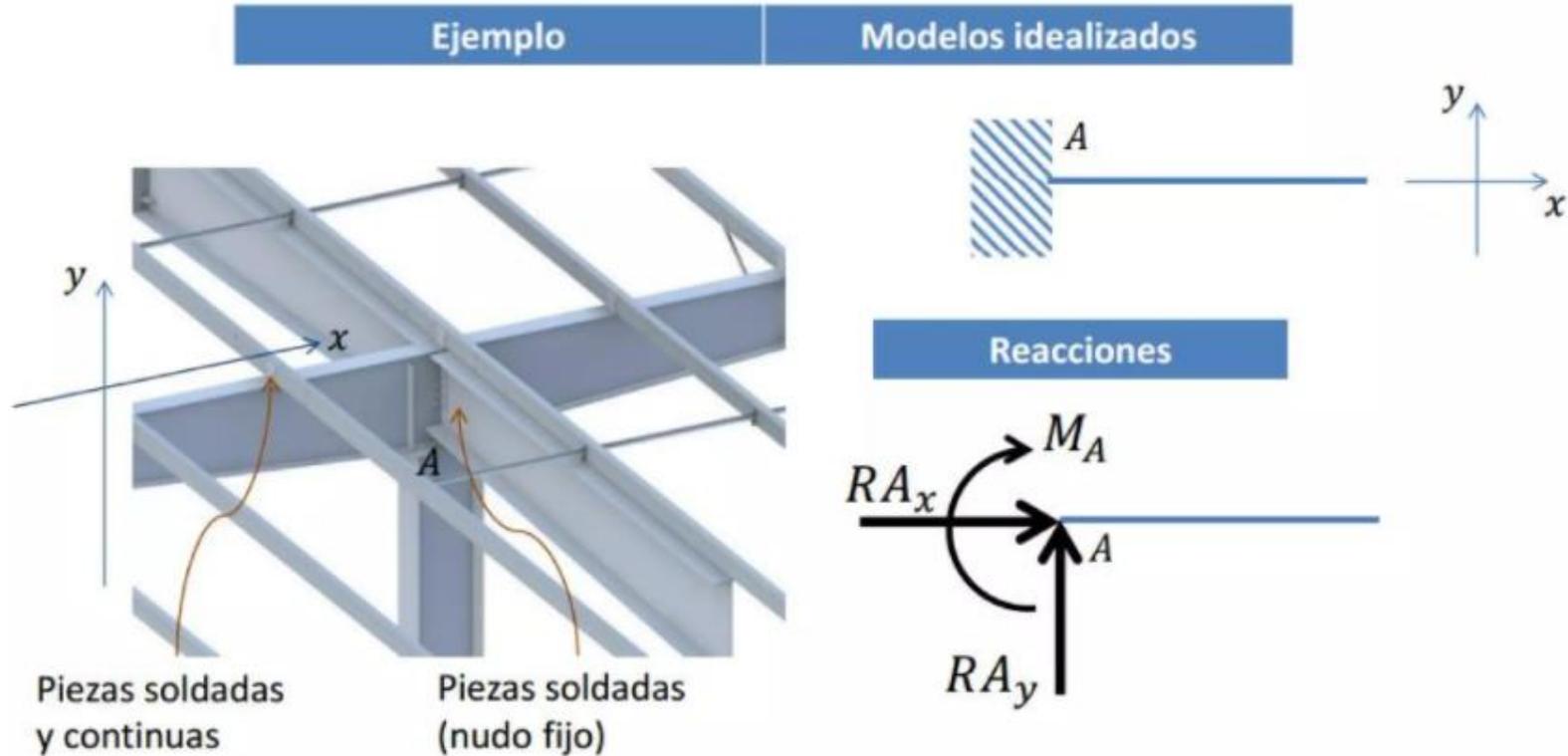
- **Soporte de rodillo:** Permite la rotación relativa de los elementos y el movimiento en un eje.



- Soporte (o junta) articulada: Permite la rotación relativa de los elementos.



- **Soporte fijo (empotrado):** No permite la rotación relativa de los elementos ni el movimiento en los dos ejes y por lo tanto su fabricación es más costosa.



4. Cargas³

- Cargas muertas: son los pesos de los diversos elementos estructurales y los pesos de todos los objetos que están unidos de manera permanente a la estructura.

a) Peso específico, $\gamma [N/m^3]$:

$$\gamma_{mat} = \frac{\text{Peso}}{\text{volumen}} = \frac{F_G}{V}$$

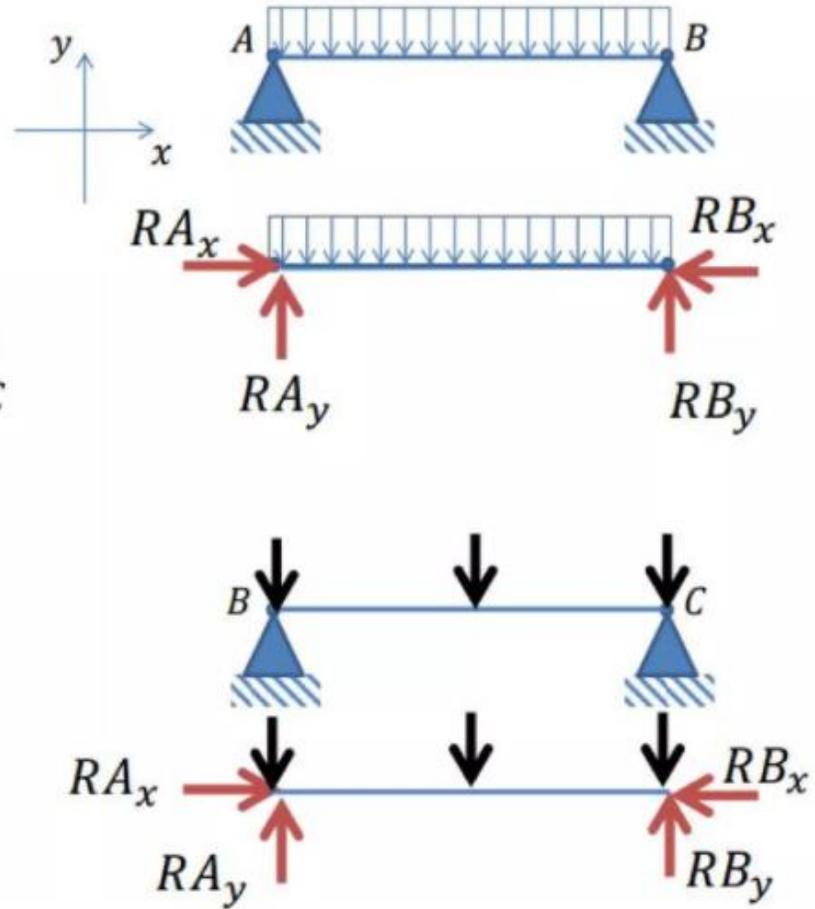
b) $\text{Peso} = \gamma_{mat} \cdot V$

- El peso también puede estar dado en N/m^2 , N/m o simplemente por N .

- Cargas vivas: pueden variar tanto en magnitud como en su ubicación. Por ejemplo,
 - a) Cargas en edificios (cargas vivas uniformes): dependerán de la finalidad con la cual se diseñó el edificio.
 - b) Cargas en puentes carreteros: depende del tráfico y tipo de carga.
 - c) Cargas en puentes ferroviarios, de impacto, del viento, nieve, terremotos, etc.
- Efectos por temperatura.

Modelos Idealizados (viga y trabe)

Represente con modelos la viga y la trabe, si los soportes están articulados, así mismo indique sus reacciones.



Análisis de Estructuras

Estructuras estáticamente determinadas (o isostáticas)

Leyes de la Estática:

$$\Sigma F_x = 0$$

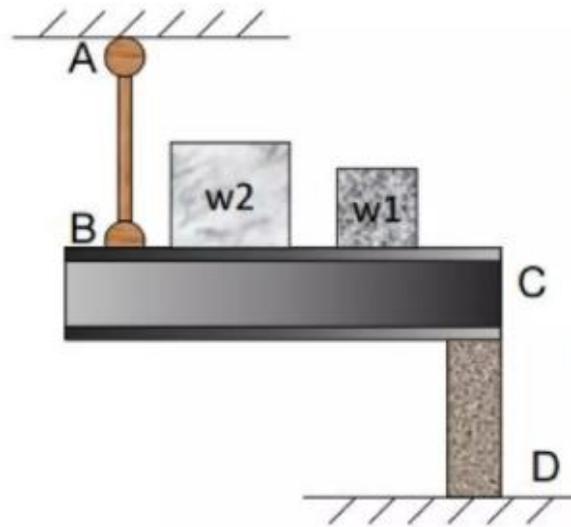
$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma M_p = 0$$

Estructuras estáticamente indeterminadas (o hiperestáticas)

Diversos métodos dependiendo el tipo de estructura:
Método de Cross
Método de rigideces y flexibilidades
Método de voladizo, etc.

Considere el esquema:

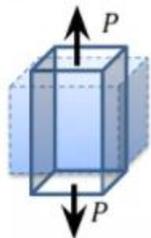


- **AB:** ¿es lo suficientemente resistente para soportar la reacción en B?
- ¿Se alargará? ¿cuánto?
- ¿Qué forma y medidas son las adecuadas?
- **BC:** ¿es lo suficientemente resistente para soportar las cargas?
- ¿Se flexionará o deformará? ¿cuánto?
- ¿Qué forma y medidas son las adecuadas?
- **CD:** ¿es lo suficientemente resistente para soportar la reacción en C?
- ¿Cuál es la máxima fuerza que puede soportar?
- ¿Qué forma y medidas son las adecuadas?

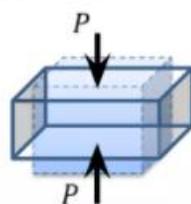
TIPOS DE DEFORMACIÓN

1. DEFORMACIÓN UNIAXIAL

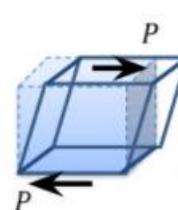
(a) Tensión



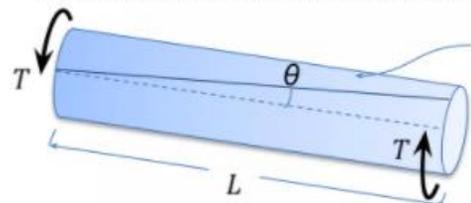
(b) Compresión



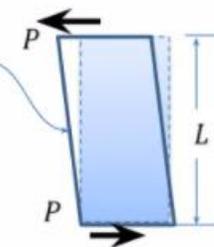
(c) Cortante



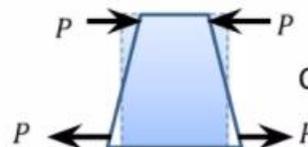
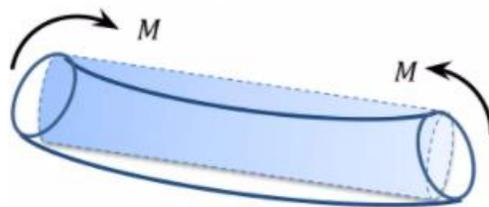
2. DEFORMACIÓN POR TORSIÓN



Angular o cortante



3. DEFORMACIÓN POR FLEXIÓN



Compresión-Tensión

Análisis de Estructuras

- El comportamiento macroscópico total y los cambios que ocurren en los materiales son inspeccionados, probados experimentalmente y descritos en términos de la fuerza actuante por unidad de área, llamado ESFUERZO (*stress*) y el desplazamiento por unidad de distancia o DEFORMACIÓN UNITARIA (*strain*)

Máquina Universal de Ensayos



Preparación de probeta

- La probeta a la que se realizará las pruebas de tracción, compresión o cortante deberá seguir con las normas establecidas por la American Society for Testing Materials (ASTM), de construcción, por mencionar algunas
- En general, las probetas para metales deberán tener un diámetro de 0.505 plg y una longitud de calibración de 2 plg

- Para probetas cilíndricas de concreto deberá tenerse una relación diámetro:altura de 1:2
- Para piedra ocurre de manera análoga al concreto con la diferencia que el radio de la probeta deberá ser 10 veces el espesor del grano mayor que esta contenga
- Es importante que la base de las probetas esté perfectamente lisa y perpendicular con la superficie de la altura de la misma
- Posteriormente se deberá seleccionar la carga a aplicar a la probeta y su respectiva velocidad a la que se irá aplicando la carga

Ensayo de tracción





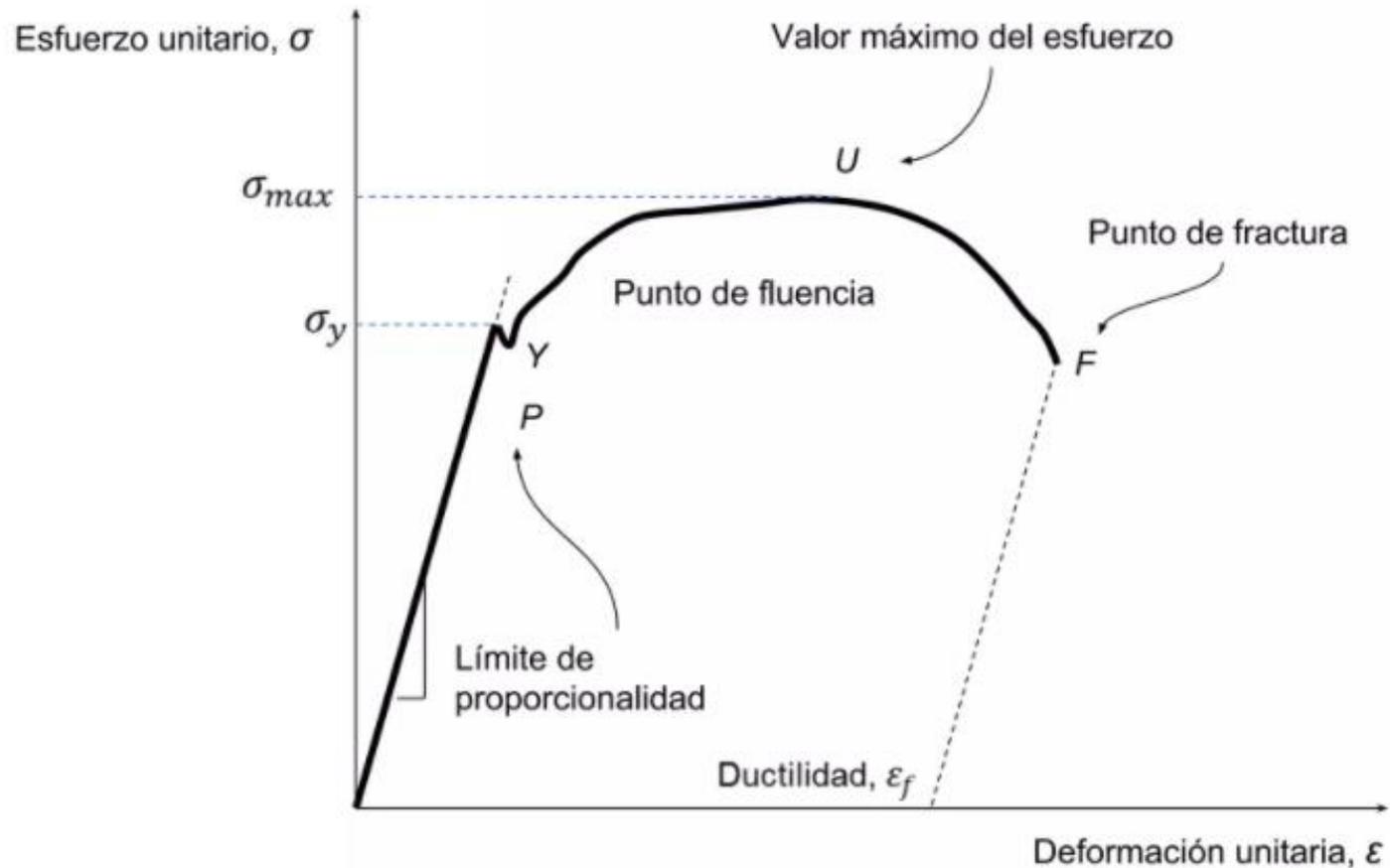
Ensayo de compresión

Ensayo de corte a compresión

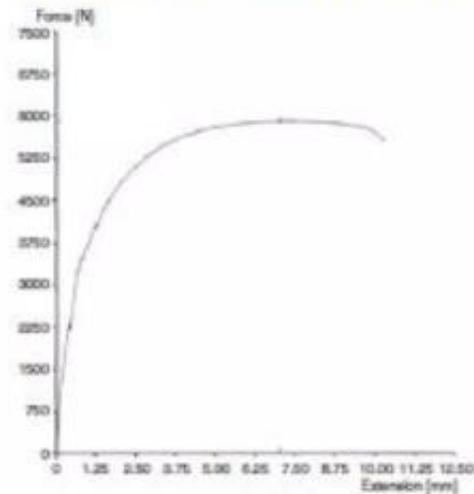


Diagramas Esfuerzo-Deformación

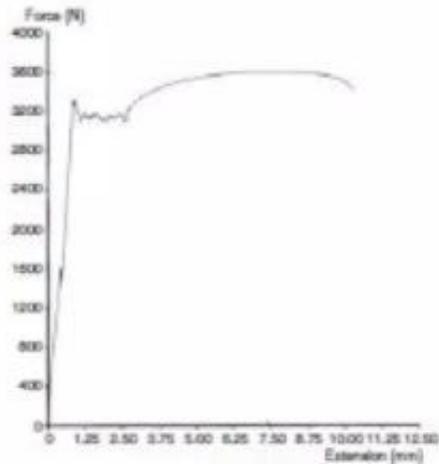
- Comportamiento típico esfuerzo vs deformación en un ensayo a tensión uniaxial.



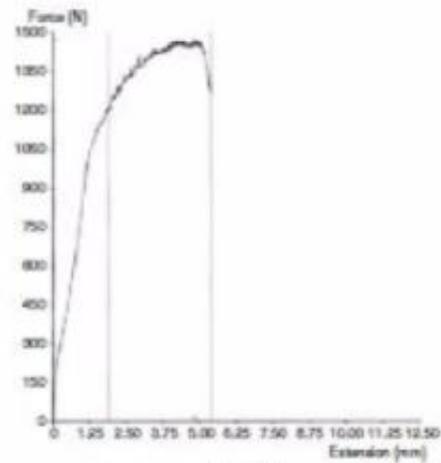
Diagramas Esfuerzo-Deformación



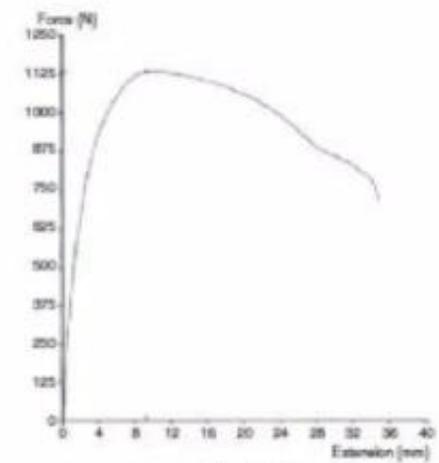
steel 1070



steel 1020



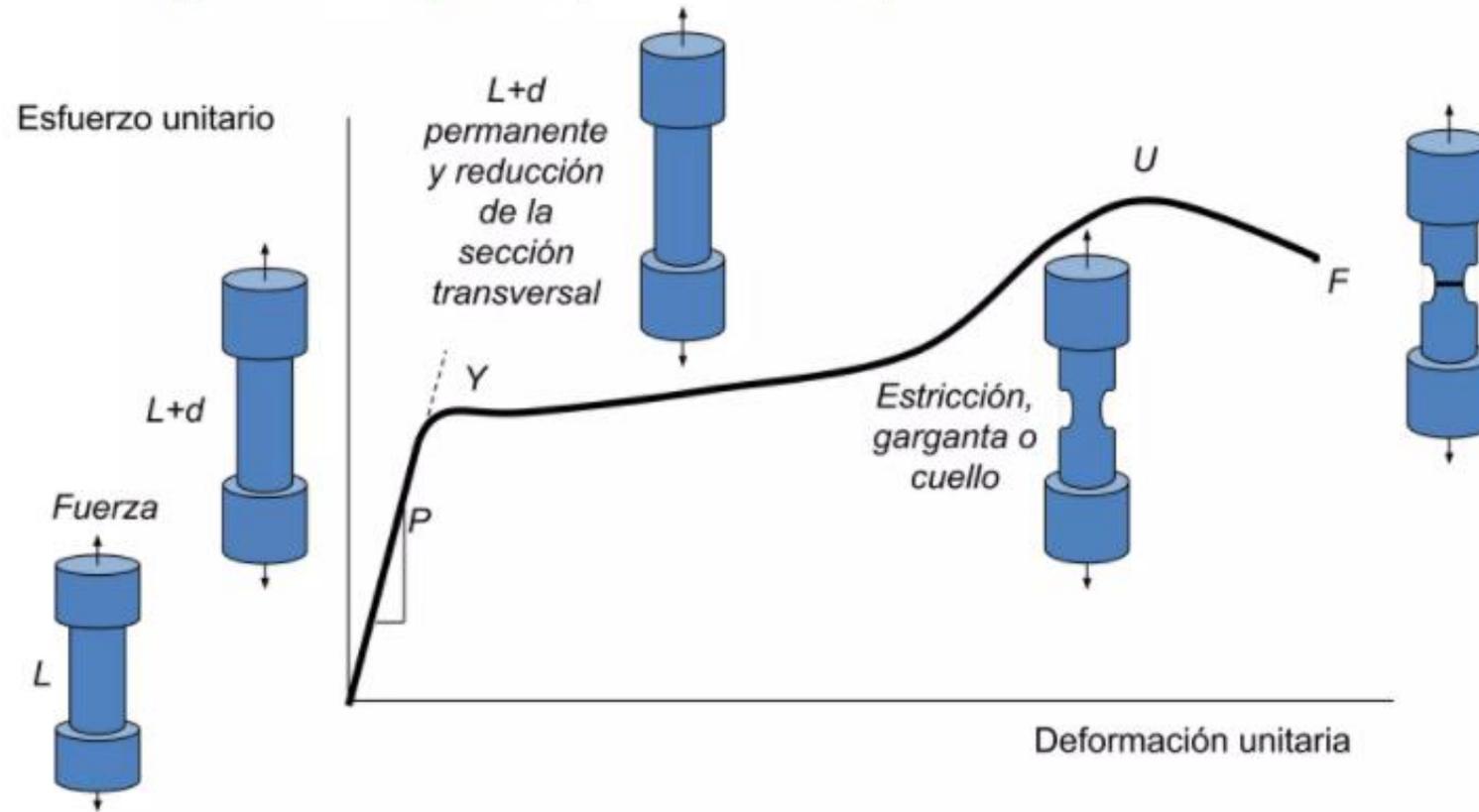
Al 2024



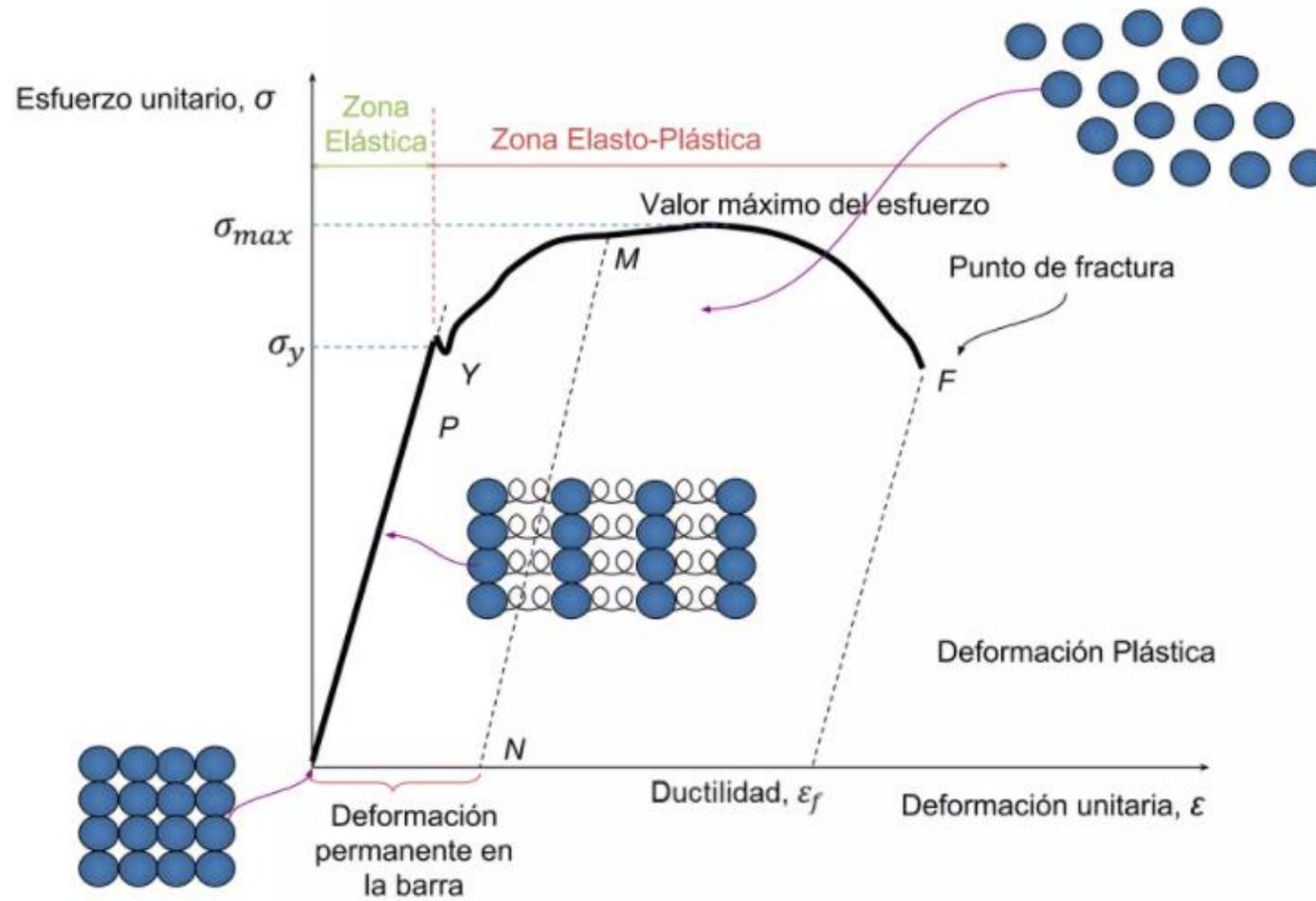
polyethylene

Diagramas Esfuerzo-Deformación

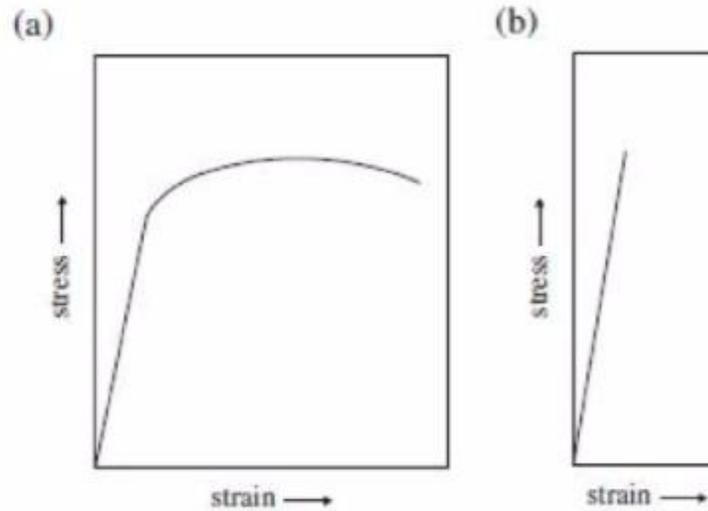
. El diagrama de abajo corresponde a un ensayo de tensión de acero dulce.



Elasticidad y Plasticidad



Diagramas Esfuerzo-Deformación

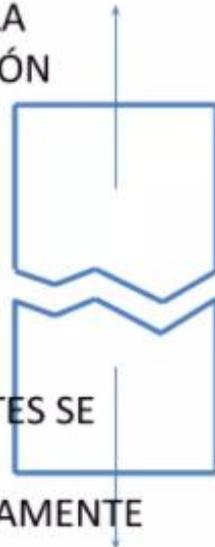


- Un material **dúctil** (e.g. un metal) experimenta deformación plástica considerable antes que la fractura ocurra, mientras que un material **frágil** (e.g. una cerámica) falla antes de que la deformación plástica ocurra.

IMAGEN DE FRACTURA FRÁGIL Y FRACTURA DÚCTIL

FRACTURA FRÁGIL

POCA O NULA
DEFORMACIÓN



LAS PARTES SE
UNEN
PERFECTAMENTE

FRACTURA DÚCTIL

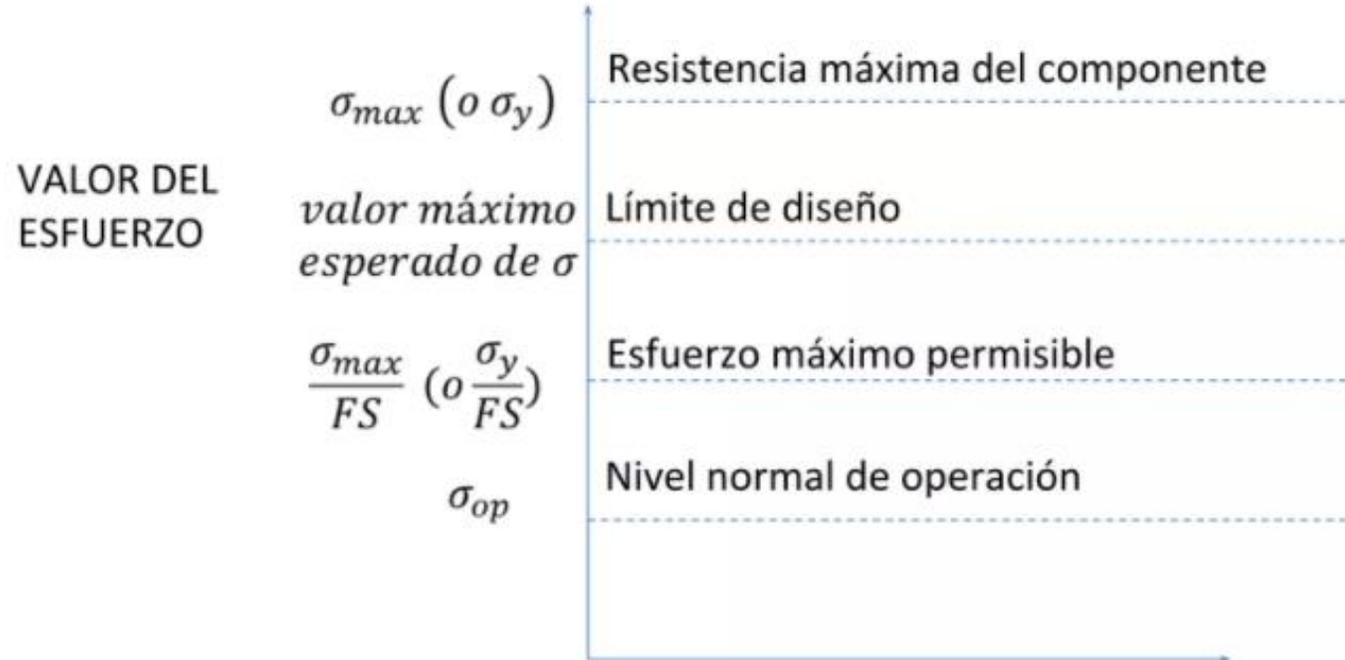
POCA O NULA
DEFORMACIÓN



GRAN
DEFORMACIÓN
PLÁSTICA

FRACTURA
FIBROSA CON
CUELLO

Definición de los niveles de esfuerzos en un componente estructural

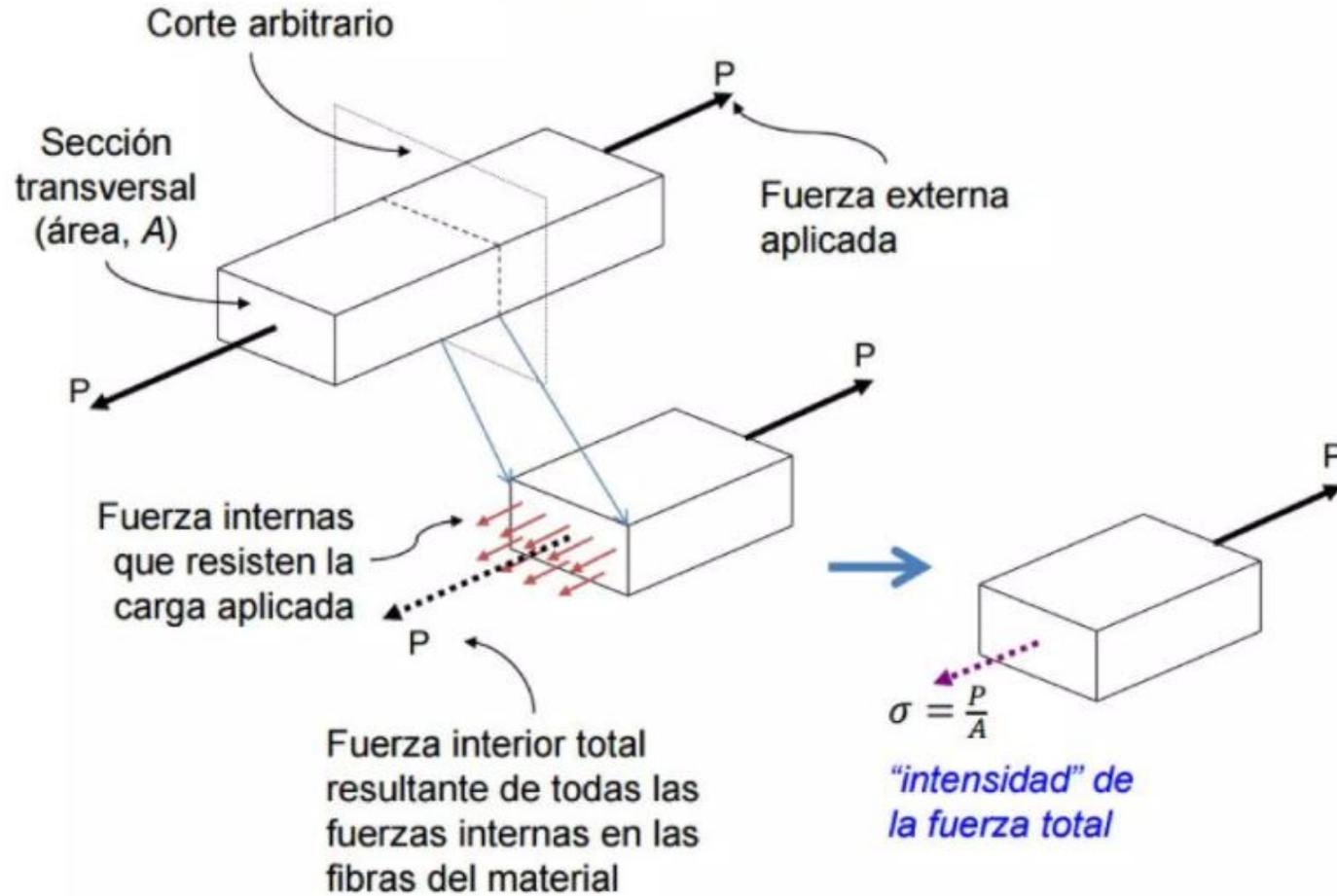


ESFUERZO (Stress)

- **Esfuerzo:** es una función de las *fuerzas internas* que actúan dentro de un cuerpo debido a fuerzas exteriores aplicadas.
- El *esfuerzo* se define como la fuerza (carga aplicada) por unidad de área (sección transversal donde actúa la carga).

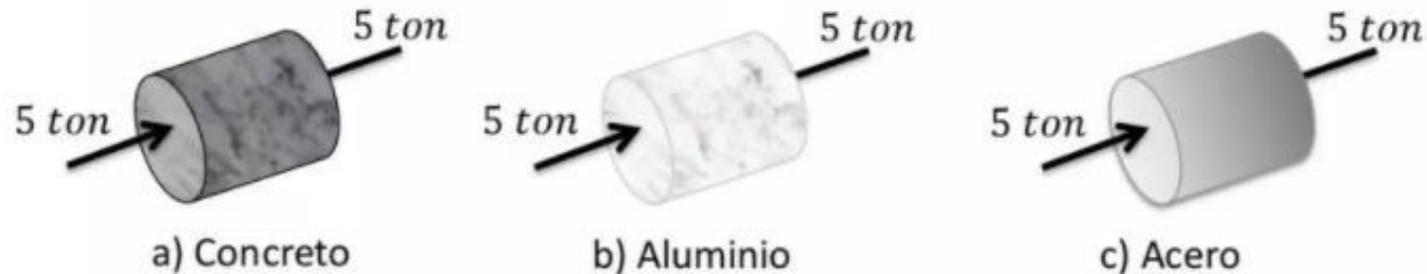
$$\sigma = \frac{P}{A} ; \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

ESFUERZO



Reacción Interna Experimental

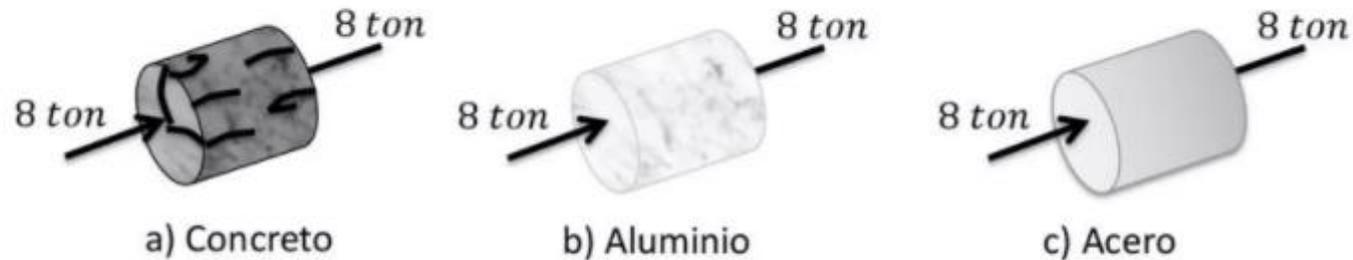
1. Se someten a fuerzas de compresión de **5 toneladas** a 3 probetas cilíndricas de:
a) concreto, b) aluminio y c) acero. Todas las probetas tienen una sección transversal de 20 cm^2 . ¿Cuál es su reacción interna?



Resp. 5 toneladas para cada probeta

Reacción Interna Experimental

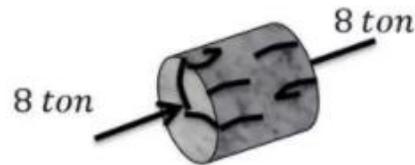
2. Se someten a fuerzas de compresión de **8 toneladas** a 3 probetas cilíndricas de:
a) concreto, b) aluminio y c) acero. Todas las probetas tienen una sección transversal de 20 cm^2 . ¿Cuál es su reacción interna?



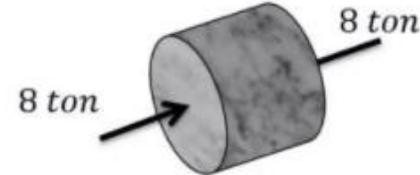
Resp. 8 toneladas para las probetas de Aluminio y Acero, pero la de concreto colapsó, ¿qué ha pasado?

Reacción Interna Experimental

3. Se someten a fuerzas de compresión de **8 toneladas** a 2 probetas cilíndricas de:
- a) concreto de sección transversal de 20 cm^2
 - y b) concreto de sección transversal de 30 cm^2 ¿Cuál es su reacción interna?



a) Concreto con $A=20 \text{ cm}^2$

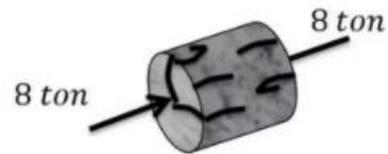


b) Concreto con $A=30 \text{ cm}^2$

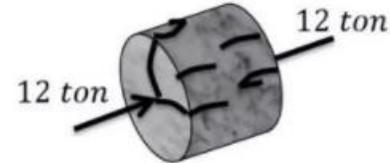
Resp. La probeta de 20 cm^2 colapsó; pero la de 30 cm^2 resistió, por lo tanto su reacción interna es de 8 toneladas para esta última probeta

Problema de la fractura

4. Se incrementa la carga en la probeta b y se observa que fractura a 12 toneladas.



a) Concreto con $A=20 \text{ cm}^2$



b) Concreto con $A=30 \text{ cm}^2$

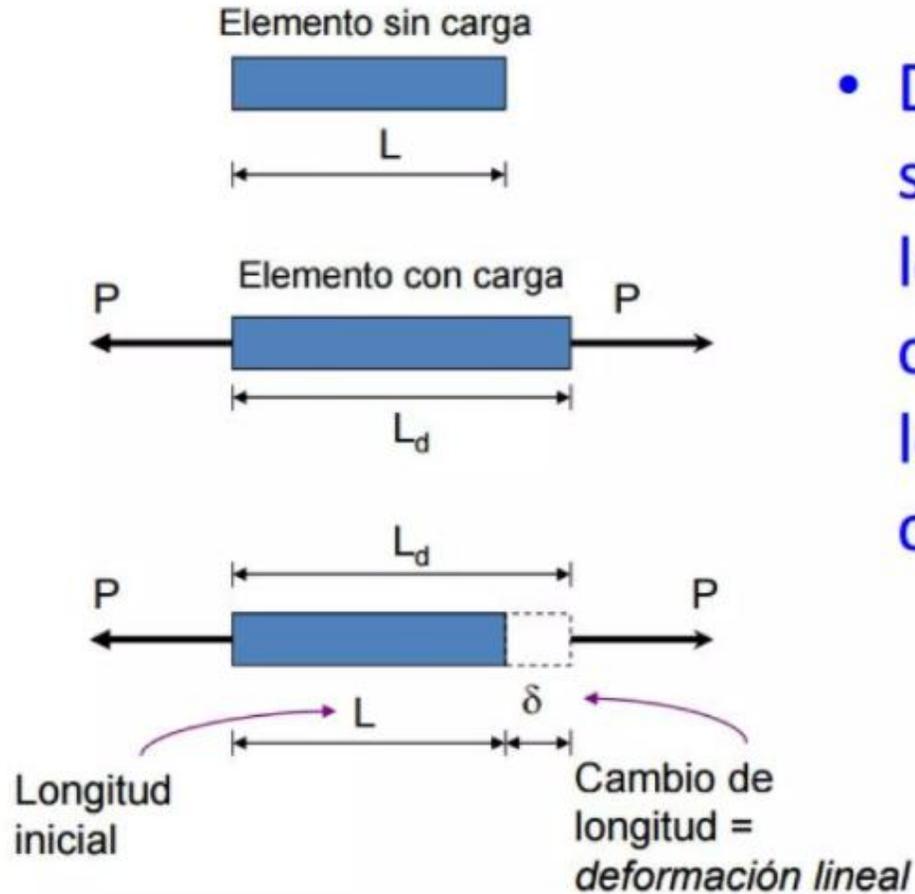
Relacionando reacción interna con área, se observa lo siguiente:

$$\text{Probeta 1} = \frac{8 \text{ ton}}{20 \text{ cm}^2} = 0.4 \text{ ton/cm}^2 \quad \text{Probeta 3} = \frac{12 \text{ ton}}{30 \text{ cm}^2} = 0.4 \text{ ton/cm}^2$$

¡¡¡Fallan al mismo valor de reacción interna/área!!!

A esta relación se le llama **ESFUERZO** que puede ser interpretado como resistencia del material

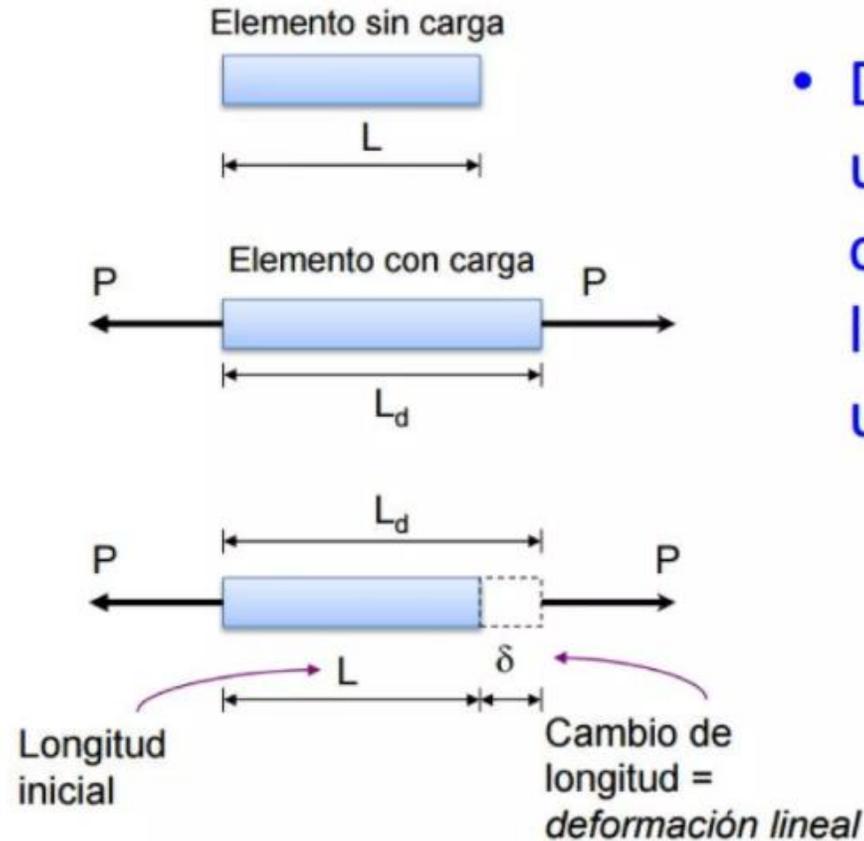
Deformación Lineal, δ



- Deformación lineal: se define como la longitud final con carga (L_d) menos la longitud inicial sin carga (L)

$$\delta = L_d - L$$

Deformación Unitaria, ε



- Deformación unitaria: se define como el cambio en la longitud por unidad de longitud.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{L_d - L}{L}$$

Propiedades Mecánicas

- **RESISTENCIA:** indica la capacidad de resistir carga y generalmente se toma como sinónimo de esfuerzo máximo que un material puede soportar antes de que ocurra una falla (para la cual se diseñó)
- **RIGIDEZ:** cuando un material soporta un gran esfuerzo con una deformación relativamente pequeña

Propiedades Mecánicas

- DUCTILIDAD Y MALEABILIDAD: cuando un material puede soportar grandes deformaciones inelásticas (plásticas) antes de la fractura.
 1. La *ductilidad* está asociada con los esfuerzos a tensión (por ejemplo un material puede ser estirado en alambres)
 2. La *maleabilidad* está asociada con esfuerzos a compresión (por ejemplo un cuerpo puede ser laminado en hojas delgadas)

Propiedades Mecánicas

- **FRAGILIDAD** (opuesta a la ductilidad): un material frágil se fracturará a deformaciones unitarias relativamente bajas. Si $\epsilon < 5\%$ el material es frágil
- **RESILENCIA Y TENACIDAD** (miembros sujetos a impactos): capacidad de un material a absorber energía.
 1. La *resilencia* lo hace en el intervalo elástico de esfuerzos,
 2. La *tenacidad* lo hace en el intervalo inelástico de esfuerzos

Ley de Hooke

- En 1658 Robert Hooke publicó un artículo en que estableció que el esfuerzo era directamente proporcional a la deformación unitaria: $\sigma \propto \varepsilon$
- Esta proporcionalidad se vuelve ecuación introduciendo una constante de proporcionalidad, obtenida experimentalmente. Esta constante fue calculada por Thomas Young en 1802. Se conoce como *módulo de elasticidad* o *módulo de Young*, E .

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

Deformación axial, δ

De la ecuación de Hooke, $E = \sigma / \epsilon$ (1)

De la ecuación de esfuerzo, $\sigma = P / A$(2)

De la ecuación de deformación unitaria,
 $\epsilon = \delta / L$...(3)

Sustituyendo ecuaciones (3) y (2) en (1):

$$E = PL / A\delta$$

Despejando la deformación axial, $\delta = PL / AE$

Donde: P=reacción interna de la barra; L=longitud de la barra; A=área de la sección, E=módulo de Young

Propiedades físicas promedio de materiales comunes a tensión

Material	Esfuerzo de fluencia, σ_y [ksi]	Esfuerzo último, σ_{max} [ksi]	Módulo de elasticidad, E [ksi]
Acero, laminado en caliente, bajo contenido de carbón	36	65	30 000
Acero, laminado en caliente, alto contenido de carbón	65	120	30 000
Hierro colado		20	15 000
aluminio, aleación 6061	35	38	10 000
latón	15	40	15 000
Bronce	20	50	15 000
Cobre estirado en frío	35	50	17 000

Propiedades físicas promedio de materiales comunes a tensión

Material	Esfuerzo de fluencia, σ_y [MPa]	Esfuerzo último, σ_{max} [MPa]	Módulo de elasticidad, E [GPa]
Acero estructural	250	400	200
Acero alta resistencia	450	550	200
Hierro fundido	230	345	165
aluminio, aleación 6061	240	260	70
latón	100	320	120
Bronce	145	310	95
Cobre recocido	100	320	105
Concreto*	-	28	25

* Valores obtenidos sólo bajo pruebas a compresión.

Referencias

- Craig, R.R. (2011). *Mechanics of materials*. USA: John Wiley & sons.
- Gere, J.M., & Timoshenko, S.P. (1998). *Mecánica de materiales*. México: Grupo Editorial Iberoamericano ITP.
- Hibbeler, R.C. (2012). *Análisis estructural*. México: Pearson
- Mittemeijer, E.J. (2010). *Fundamentals of Materials Science: The Microstructure–Property Relationship Using Metals as Model Systems*. Springer