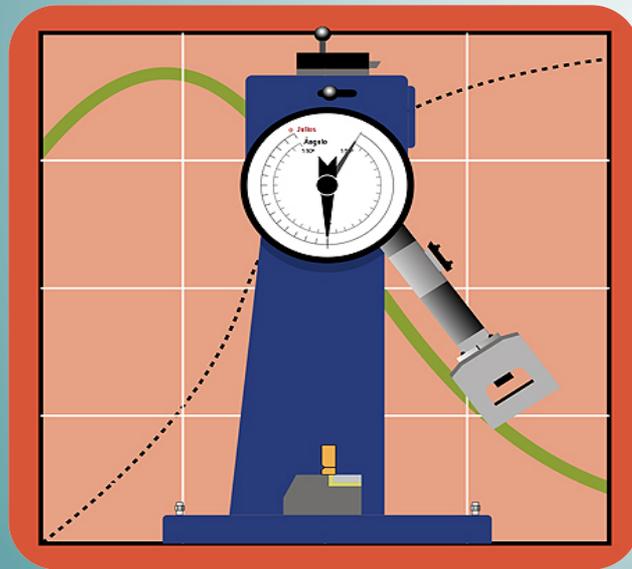


# Materiales-G704/G742

## Lección 2. Ley de Hooke



**Jesús Setién Marquínez**  
**Jose Antonio Casado del Prado**  
**Soraya Diego Cavia**  
**Carlos Thomas García**

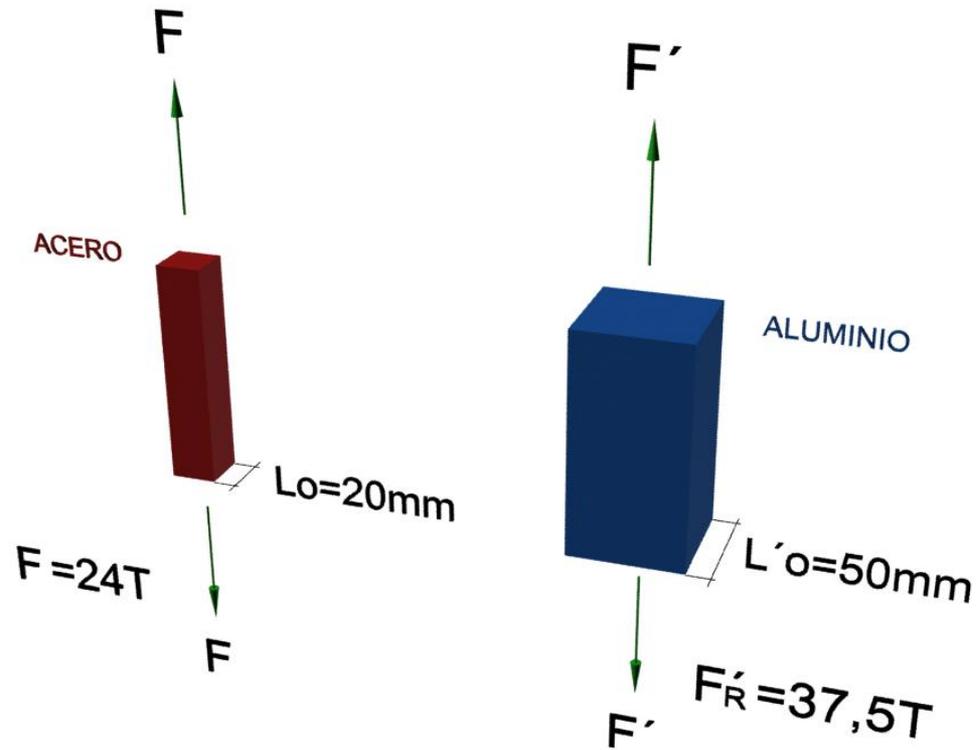
Departamento de Ciencia e Ingeniería del  
Terreno y de los Materiales

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

## 2.1 TENSIÓN

Comparación de la resistencia mecánica a tracción de dos materiales distintos:



¿Cuál de los dos materiales es más resistente?

**Tensión ingenieril** ( $\sigma$ ): cociente entre fuerza actuante y la superficie de la sección inicial sobre la que actúa.

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

F: representa la carga aplicada (N).

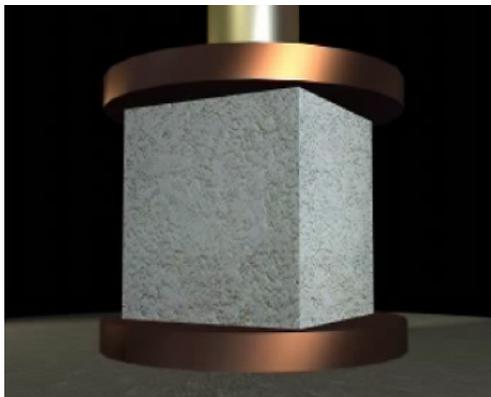
$A_0$ : representa la sección transversal inicial ( $m^2$ ).

Fórmula dimensional de la tensión:  $F L^{-2}$   Unidades SI:  $N/m^2 = Pa$

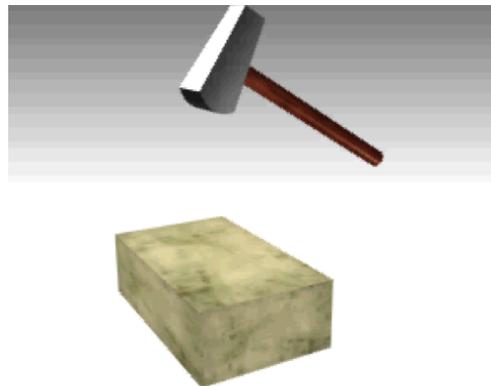
(múltiplo habitual:  $1 MPa = 10^6 Pa = 1 N/mm^2$ )

Tipo sollicitación:

**ESTÁTICA**  
*Constante o cambia lentamente*



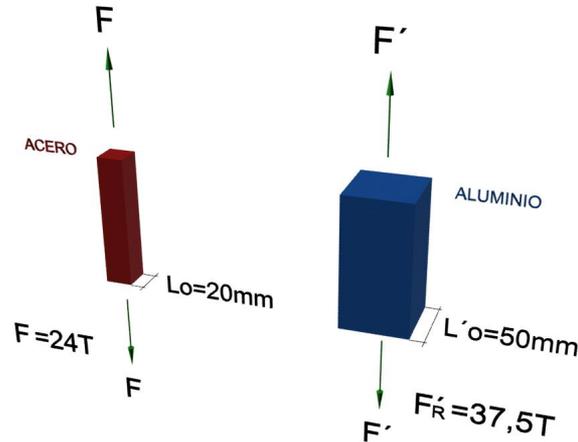
**DINÁMICA**  
**IMPACTO**  
*Choque entre dos cuerpos*



**CÍCLICA**  
*Fluctúa entre dos límites*



En el ejemplo planteado:



**ACERO**

$$A_0 = L_0 \times L_0 = 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} = 400 \text{ mm}^2$$

$$F_R = 24 \text{ T} = 24.000 \text{ kg} = 240.000 \text{ N}$$

$$\sigma_R = \frac{F_R}{A_0} = \frac{240.000 \text{ N}}{400 \text{ mm}^2} = 600 \text{ MPa}$$

**ALUMINIO**

$$A'_0 = L'_0 \times L'_0 = 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} = 2.500 \text{ mm}^2$$

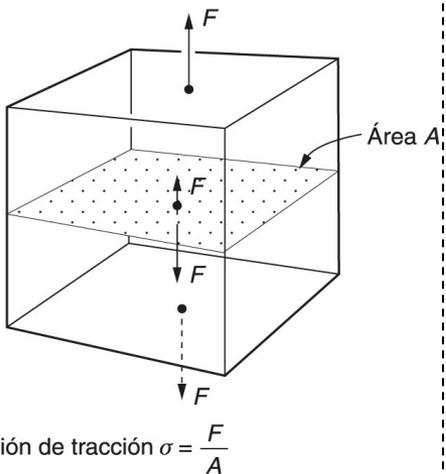
$$F'_R = 37,5 \text{ T} = 37.500 \text{ kg} = 375.000 \text{ N}$$

$$\sigma'_R = \frac{F'_R}{A'_0} = \frac{375.000 \text{ N}}{2.500 \text{ mm}^2} = 150 \text{ MPa}$$

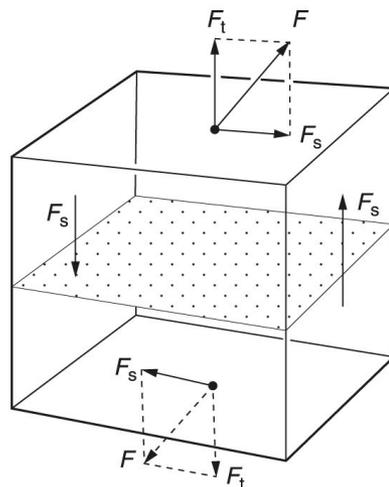
$$\sigma_R > \sigma'_R$$

**EL ACERO ES MÁS RESISTENTE QUE EL ALUMINIO**

Estados tensionales comunes:

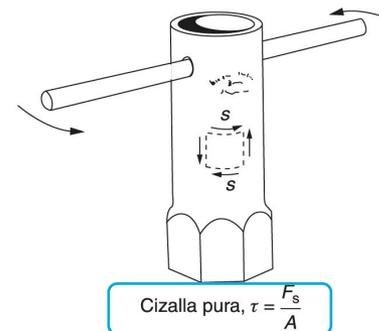
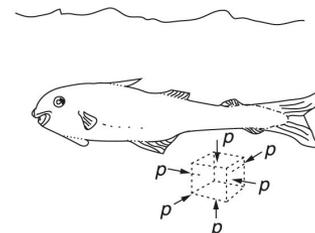
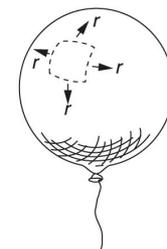
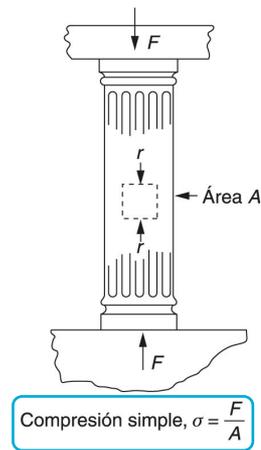
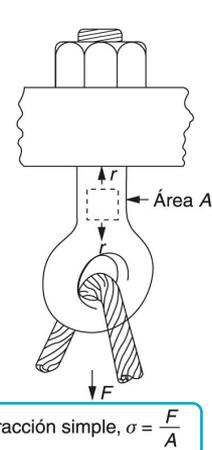


**Tensión normal**



Cizalla compensadora necesaria para el equilibrio, como se muestra

**Tensión tangencial  
cortante  
de cizalladura**



## 2.2 DEFORMACIÓN

Cambio de forma o dimensiones producido por la acción de esfuerzos.

**Deformación ingenieril** ( $\varepsilon$ ): se define como:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (\text{Adimensional})$$

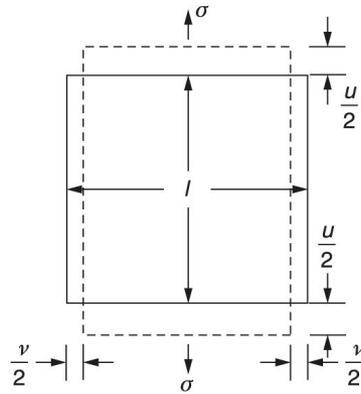
Donde  $l$  es la longitud de referencia correspondiente a una carga determinada y  $l_0$  es la longitud de referencia inicial (base de medida) correspondiente a un valor de tensión nulo.

La longitud de la base de medida bajo una carga determinada es:

$$l = l_0 + \Delta l$$

Donde  $\Delta l$  representa el alargamiento correspondiente a esa carga.

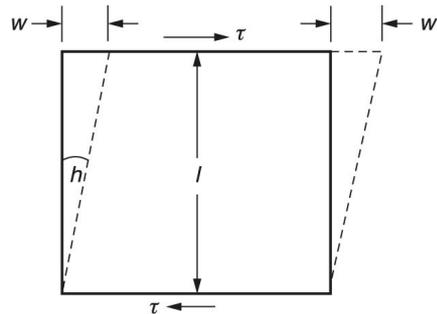
## TIPOS DE DEFORMACIONES



Deformación de tracción nominal,  $\epsilon_n = \frac{u}{l}$

Deformación lateral nominal,  $\epsilon_n = \frac{\nu}{l}$

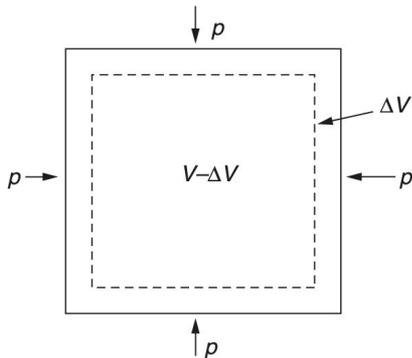
Coefficiente de Poisson,  $\nu = - \frac{\text{contracción lateral}}{\text{deformación de tracción}}$



Deformación de cizalla ingenieril

$$\gamma = \frac{w}{l} = \tan \theta$$

$\approx \theta$  para deformaciones pequeñas



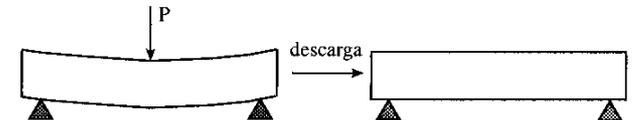
Dilatación (deformación en volumen)

$$\Delta = \frac{\Delta V}{V}$$

### Deformación elástica

Es una deformación no permanente, que se recupera completamente al retirar la carga que la provoca.

La **Elasticidad** es la propiedad que presentan los cuerpos sólidos de recuperar la forma y las dimensiones cuando cesan los esfuerzos.



### Deformación plástica

Es una deformación permanente, que no se recupera al retirar la carga que la provoca, aunque sí se recupera una pequeña componente de deformación elástica.

## 2.3 RELACIONES ENTRE TENSIONES Y DEFORMACIONES: LEY DE HOOKE

Para pequeñas deformaciones elásticas ( $\sim 0.1\%$ ), existe una proporcionalidad directa entre las tensiones aplicadas y las deformaciones producidas.

$$\sigma = E \varepsilon \quad \text{Ley de HOOKE}$$

$E$  representa el módulo de elasticidad o **módulo de YOUNG**, parámetro que mide la resistencia de un material a la deformación elástica.

Unidades SI:  $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$       (múltiplo habitual:  $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa} = 10^3 \text{ MPa}$ )

Para otros estados tensionales:

✓ esfuerzo cortante puro:  $\tau = G \cdot \gamma$        $G$  (Módulo rigidez o cizalladura).

✓ presión hidrostática:  $p = -K \cdot \Delta$        $K$  (Módulo compresibilidad).

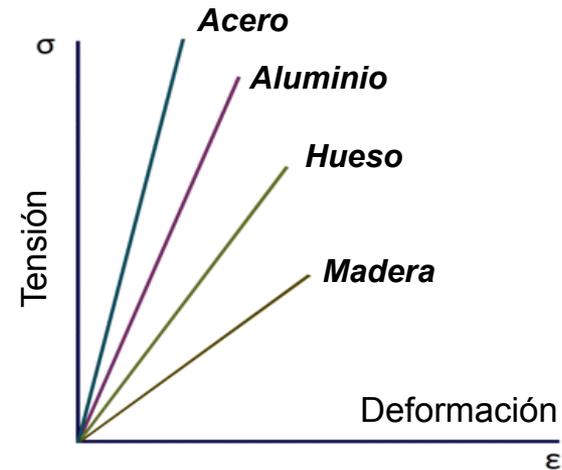
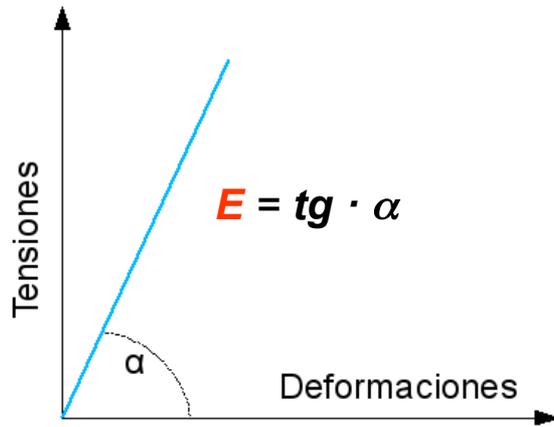
Módulos de elasticidad bajos

**FLEXIBILIDAD**

Módulos de elasticidad altos

**RIGIDEZ**

La **Ley de HOOKE** expresa la ecuación de una recta de pendiente  $E$  que pasa por el origen de coordenadas.

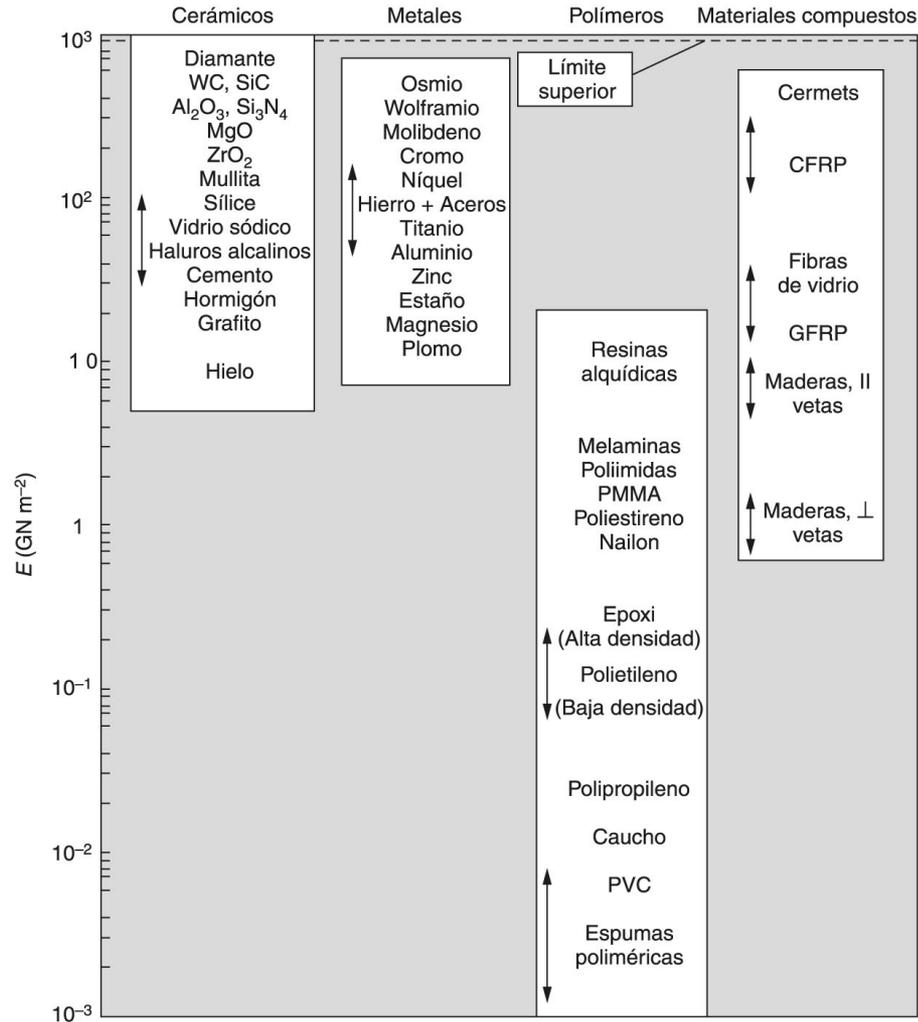


Las ramas de carga y descarga coinciden

$$E_{\text{acero}} > E_{\text{aluminio}} > E_{\text{hueso}} > E_{\text{madera}}$$

El **límite elástico**  $\sigma_y$  de un material representa la tensión máxima que soporta sin sufrir deformaciones permanentes (plásticas).

## 2.4 VALORES DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD



Fuente: Ashby vol 1. 978-84-291-7255-3 © Ed. Reverté, 2008

Datos del módulo de Young,  $E$ .

Material	$E$ (GN m <sup>-2</sup> )
Diamante	1000
Carburo de wolframio, WC	450-650
Osmio	551
Cermets de cobalto/carburo de wolframio	400-530
Boruros de Ti, Zr, Hf	450-500
Carburo de silicio, SiC	430-445
Boro	441
Wolframio y sus aleaciones	380-411
Alúmina, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	385-392
Óxido de berilio (berilia), BeO	375-385
Carburo de titanio, TiC	370-380
Carburo de tántalo, TaC	360-375
Molibdeno y sus aleaciones	320-365
Carburo de niobio, NbC	320-340
Nitruro de silicio, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	280-310
Berilio y sus aleaciones	290-318
Cromo	285-290
Magnesia, MgO	240-275
Cobalto y sus aleaciones	200-248
Circona, ZrO <sub>2</sub>	160-241
Níquel	214
Aleaciones de níquel	130-234
CFRP	70-200
Hierro	196
Superalaciones base hierro	193-214
Aceros ferríticos, aceros de baja aleación	196-207
Aceros inoxidables austeníticos	190-200
Aceros dulces	200
Fundiciones de hierro	170-190
Tántalo y sus aleaciones	150-186
Platino	172
Uranio	172
Materiales compuestos boro/epoxi	80-160
Cobre	124
Aleaciones de cobre	120-150
Mullita	145
Vanadio	130
Titanio	116
Aleaciones de titanio	80-130
Paladio	124
Latones y bronces	103-124
Niobio y sus aleaciones	80-110
Silicio	107

Datos del módulo de Young,  $E$  (continuación).

Material	$E$ (GN m <sup>-2</sup> )
Circonio y sus aleaciones	96
Vidrio de sílice, SiO <sub>2</sub> (cuarzo)	94
Zinc y sus aleaciones	43-96
Oro	82
Calcita (mármol, piedra caliza)	70-82
Aluminio	69
Aluminio y sus aleaciones	69-79
Plata	76
Vidrio sódico	69
Haluros alcalinos (NaCl, LiF, etc.)	15-68
Granito	62
Estaño y sus aleaciones	41-53
Hormigón, cemento	30-50
Fibra de vidrio (fibra de vidrio/epoxi)	35-45
Magnesio y sus aleaciones	41-45
GFRP	7-45
Grafito	27
Esquistos	18
Maderas comunes, paralelo a la veta	9-16
Plomo y sus aleaciones	16-18
Resinas alquídicas	14-17
Hielo, H <sub>2</sub> O	9,1
Melaminas	6-7
Poliimidas	3-5
Poliésteres	1,8-3,5
Acrílicos	1,6-3,4
Nailon	2-4
PMMA	3,4
Poliestireno	3-3,4
Epoxis	2,6-3
Policarbonato	2,6
Maderas comunes, perpendicular a la veta	0,6-1,0
Polipropileno	0,9
PVC	0,2-0,8
Polietileno, alta densidad	0,7
Polietileno, baja densidad	0,2
Elastómeros	0,01-0,1
Corcho	0,01-0,03
Espumas poliméricas	0,001-0,01

Valores expresados en GPa (1 GPa =  $10^9$  Pa)

### ALTOS

Diamante	1.000
Carburo de W	550
Carburo de Si	450
Alúmina	390

### MEDIOS

Cromo	290
Níquel	215
Hierro, aceros	200
Fundición	180

### BAJOS

Oro	80
Plata	75
Aluminio	70
Granito	60
Hormigón	50
Madera    fibra	15
Madera _ fibra	1

### MUY BAJOS

Nylon	3
Polietileno HD	0.7
Polietileno LD	0.2
Caucho	0.05
Espumas	0.005

**Materiales de aplicación práctica en ingeniería:**

**$E: 10^3 - 10^{-3}$  GPa**