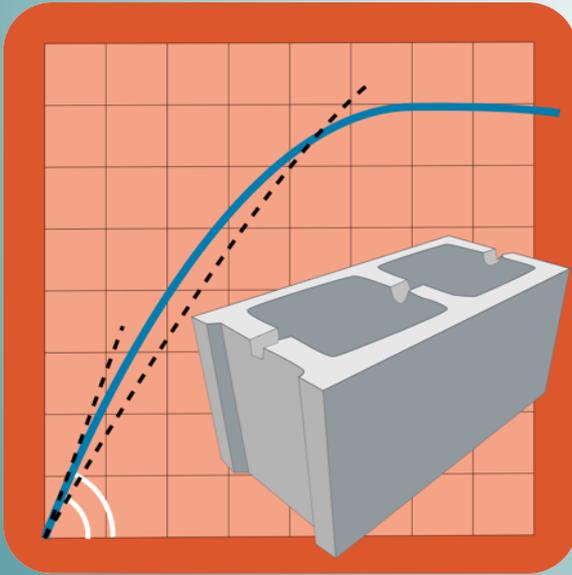


Materiales de Construcción

Lección 3. Propiedades Mecánicas



Juan Antonio Polanco Madrazo

Soraya Diego Cavia

Carlos Thomas García

DPTO. DE CIENCIA E INGENIERÍA
DEL TERRENO Y DE LOS MATERIALES

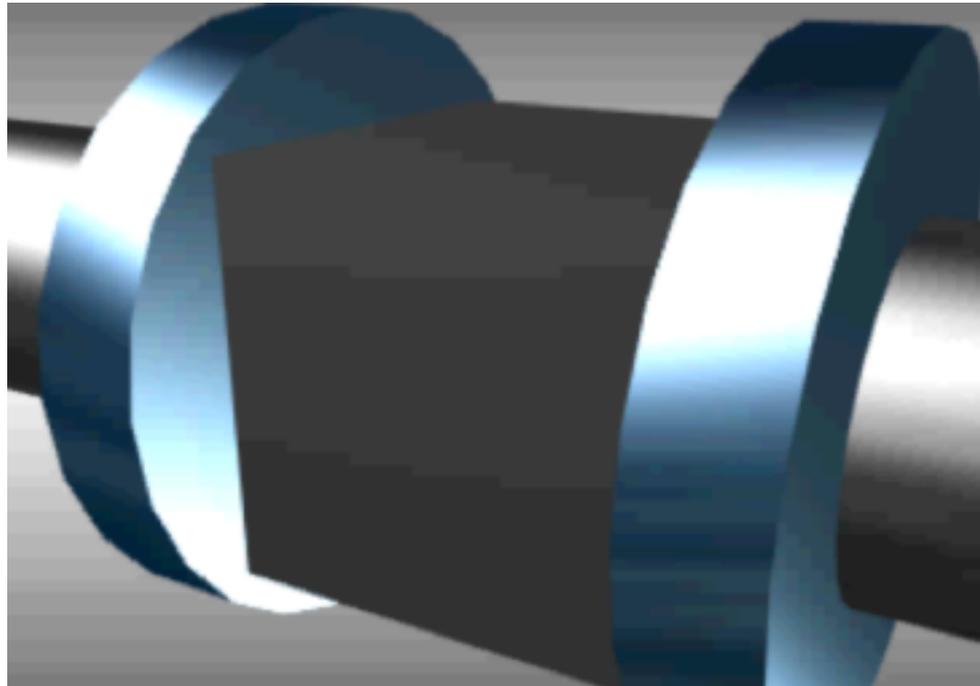
Este tema se publica bajo Licencia:

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



Propiedades mecánicas

Las **propiedades mecánicas** definen el comportamiento de los materiales ante fuerzas exteriores que tienden a alterar su equilibrio



Propiedades mecánicas

Fundamentalmente, para el ingeniero existen tres tipos de propiedades mecánicas:

Resistencia: capacidad para soportar determinados esfuerzos sin romperse

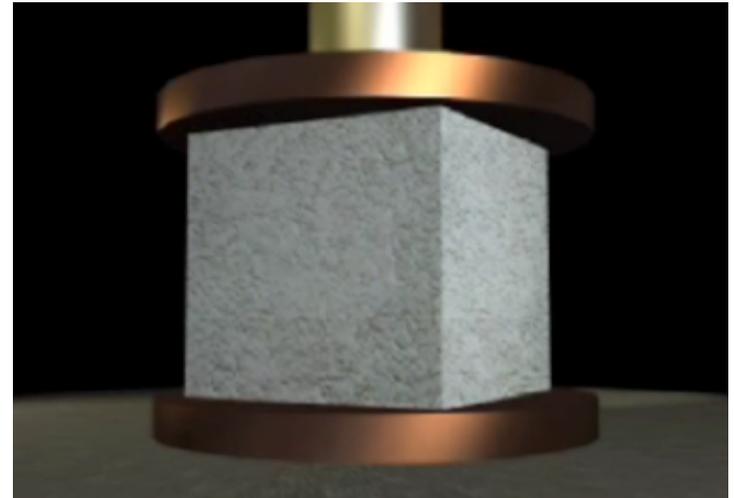
Deformabilidad: propiedad de variar su forma sin quebrarse o cambiar de estado

Dureza: Indica la cohesión del cuerpo

Propiedades mecánicas

Las fuerzas que actúan sobre un cuerpo pueden ser:

Estáticas →

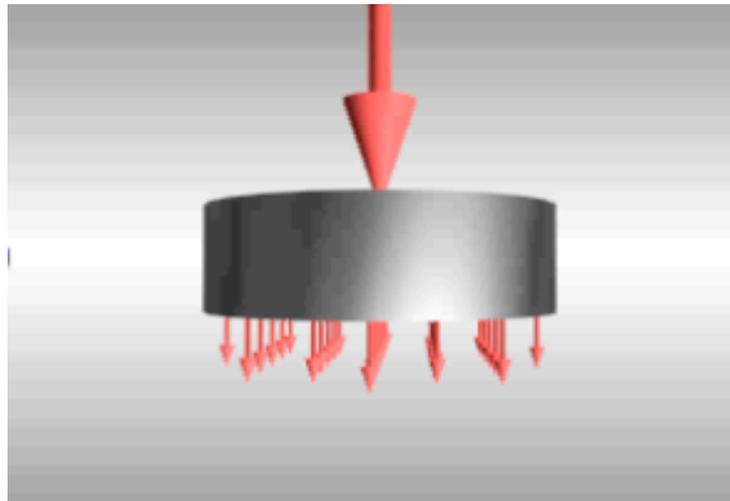


← Dinámicas

Esfuerzos, deformaciones y tensiones

ESFUERZO: toda fuerza o par de fuerzas que actúan sobre un cuerpo material tendiendo a deformarlo

TENSIÓN: fuerzas internas propias del material que tratan de equilibrar los esfuerzos externos aplicados. La **tensión** representa la intensidad de distribución de las fuerzas internas o, lo que es lo mismo, las componentes por unidad de sección de las fuerzas que se oponen a que cambie de forma el cuerpo, y se mide por el cociente entre la fuerza actuante y la superficie de la sección sobre la que actúa con unas dimensiones de FL^{-2}



DEFORMACIÓN: cambio de forma o dimensiones producido por la acción de esfuerzos

Esfuerzos, deformaciones y tensiones

Los esfuerzos y las tensiones y deformaciones asociadas que producen, pueden proceder de fuerzas que tienden a:

Alargar o estirar el material → **TRACCIÓN**



Esfuerzos, deformaciones y tensiones

Los esfuerzos y las tensiones y deformaciones asociadas que producen, pueden proceder de fuerzas que tienden a:

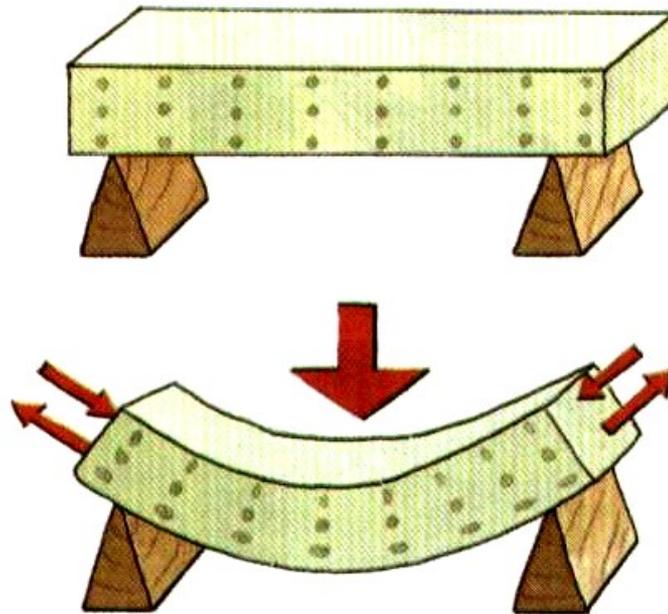
Reducir las dimensiones del material → **COMPRESIÓN**



Esfuerzos, deformaciones y tensiones

Los esfuerzos y las tensiones y deformaciones asociadas que producen, pueden proceder de fuerzas que tienden a:

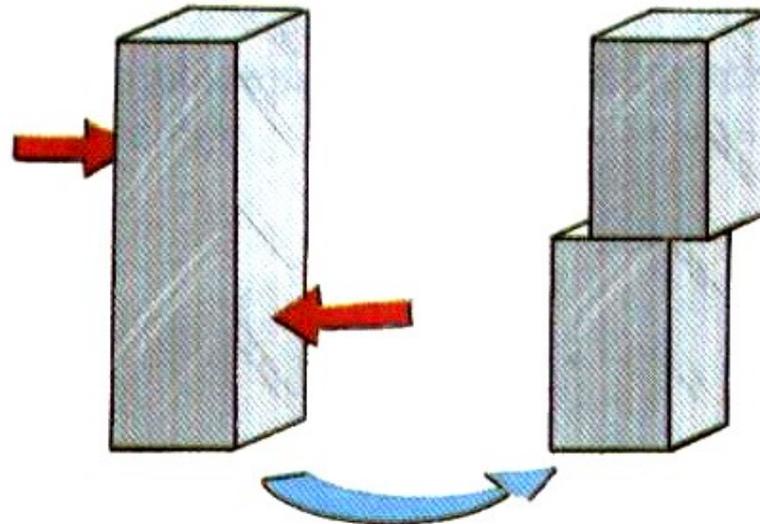
Doblar o combar el material → **FLEXIÓN**



Esfuerzos, deformaciones y tensiones

Los esfuerzos y las tensiones y deformaciones asociadas que producen, pueden proceder de fuerzas que tienden a:

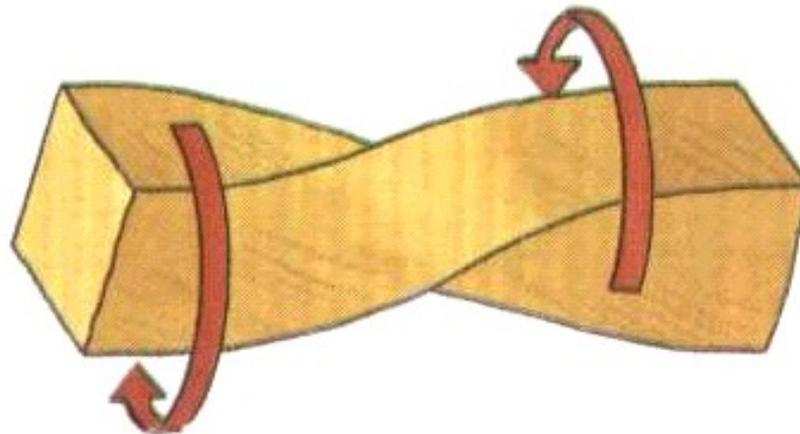
Cortar o cizallar el material → **CORTANTE**



Esfuerzos, deformaciones y tensiones

Los esfuerzos y las tensiones y deformaciones asociadas que producen, pueden proceder de fuerzas que tienden a:

Retorcer el material → **TORSIÓN**



Esfuerzos, deformaciones y tensiones

RESISTENCIA MECÁNICA DEL MATERIAL: esfuerzo que origina la rotura del material

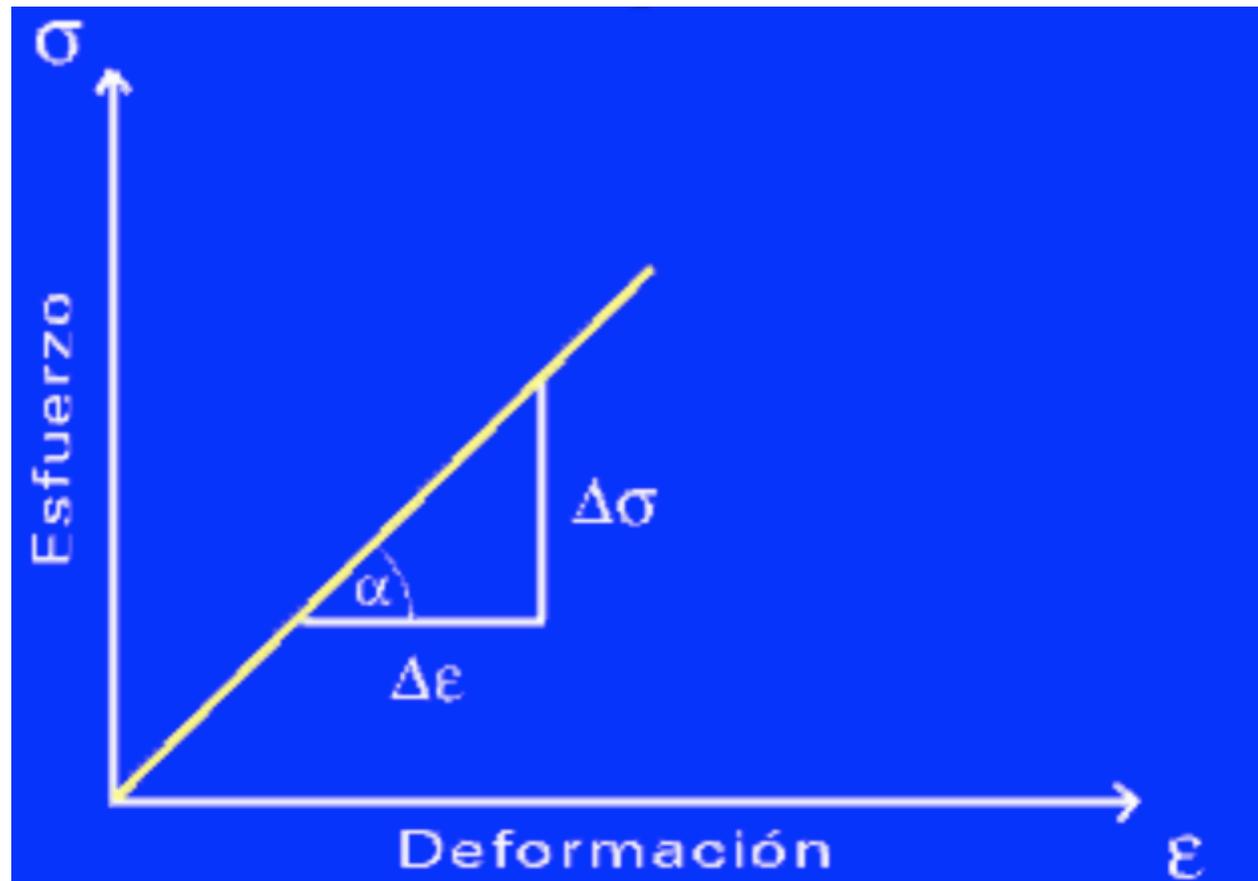
TENSIÓN ADMISIBLE: cociente entre la tensión de rotura y el coeficiente de seguridad

$$\sigma_{\text{ADMISIBLE}} = \frac{\sigma_{\text{ROTURA}}}{\text{F.S.}}$$

$$\text{F.S.} > 1$$

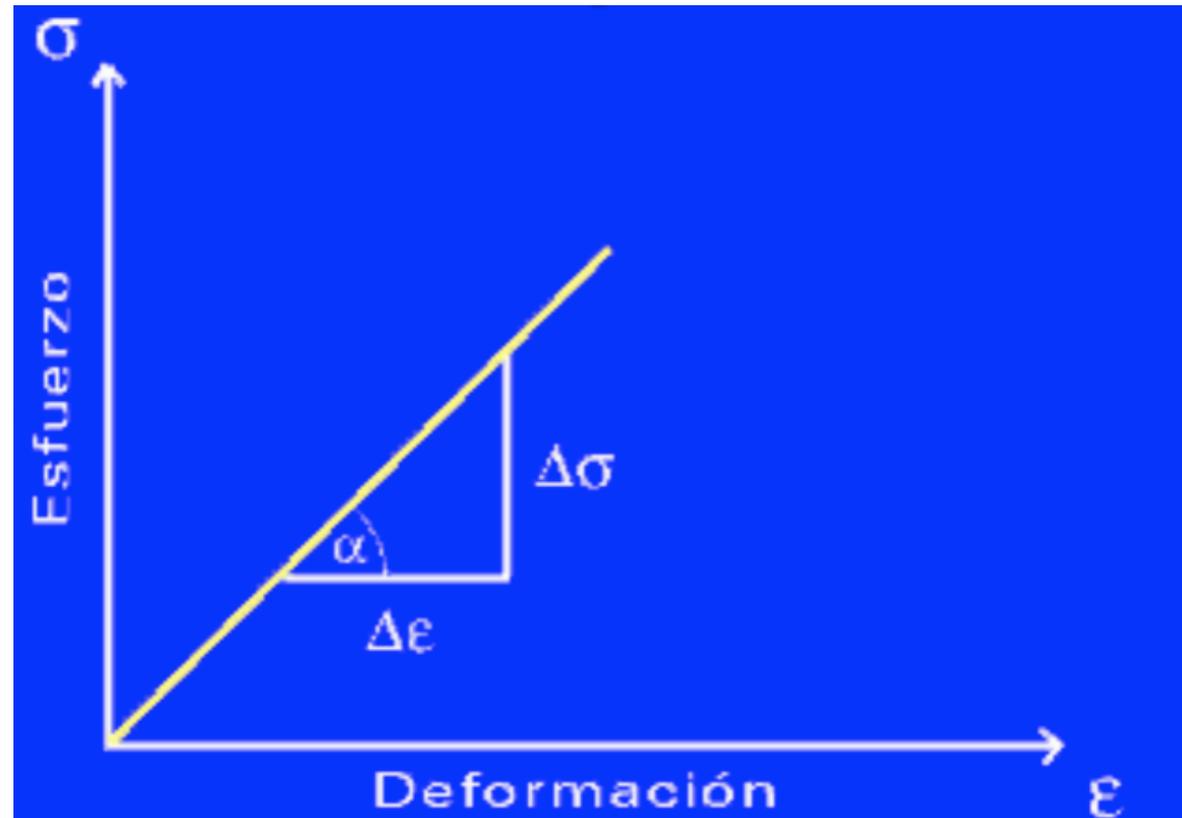
Elasticidad

Cuando la deformación es proporcional a la tensión que la produce, se dice que se trata de un material elástico que sigue la ley de Hooke, denominándose a esta relación de proporcionalidad **módulo de elasticidad**



Elasticidad

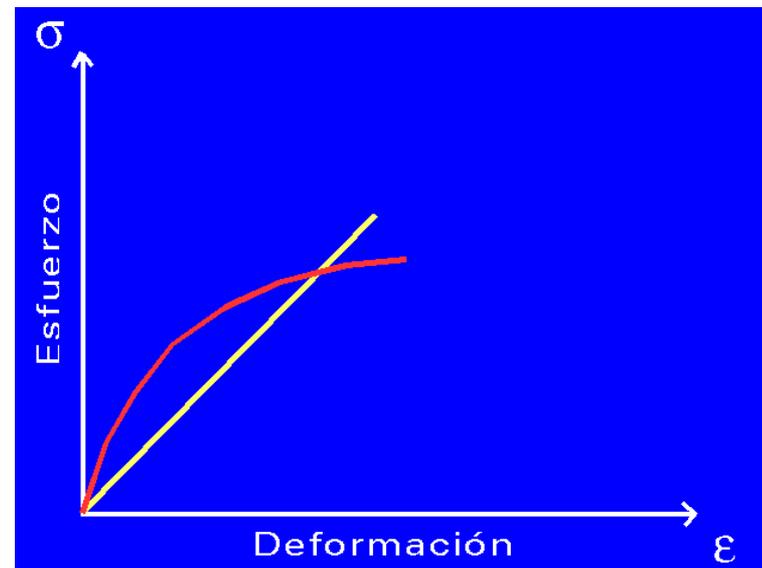
Si un material fuera perfectamente elástico, el diagrama esfuerzo-deformación tendría la forma de la figura y el valor de su módulo de elasticidad lineal vendría dado por la pendiente de la recta, es decir, la tangente del ángulo (α) que forma con el eje de deformación



Módulo de elasticidad en
materiales Hookeanos

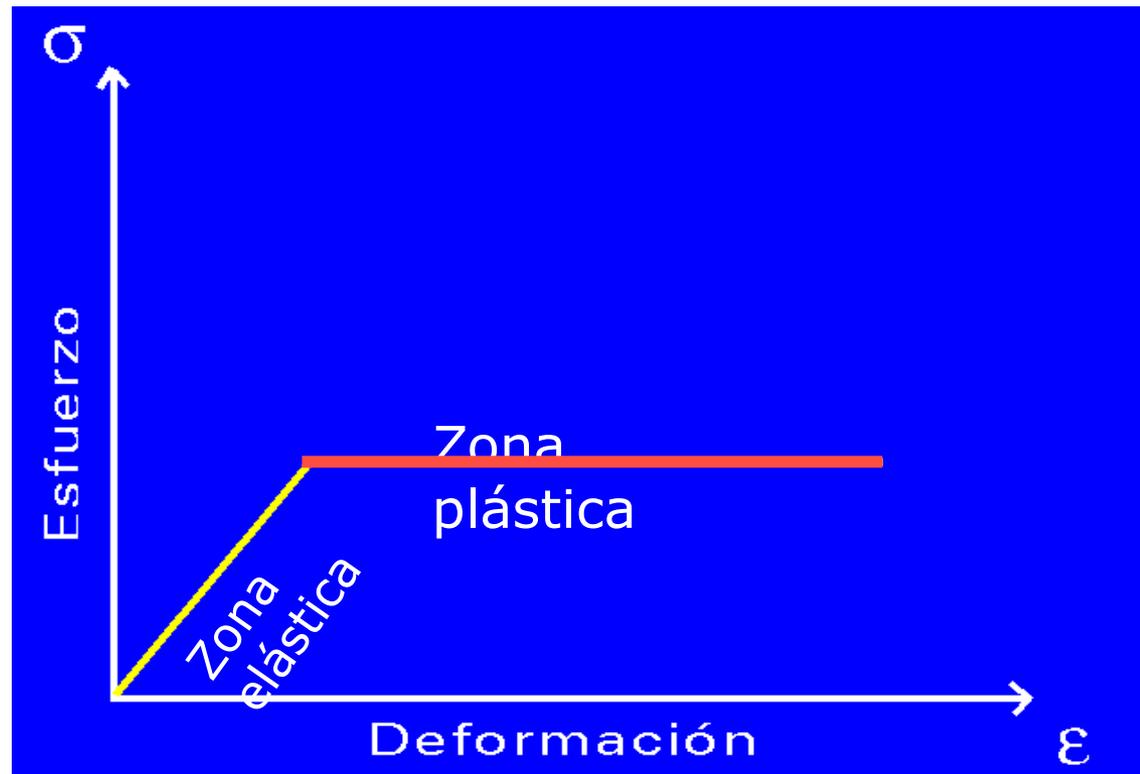
Elasticidad

Muy pocos materiales son perfectamente elásticos, puesto que solamente para pequeñas deformaciones cumplen la ley de Hooke al no existir correspondencia lineal entre la tensión y la deformación cuando alcanzan mayores valores. En este caso, el diagrama tensión-deformación será una curva, definiéndose dos módulos de elasticidad para cada punto, el **tangente**, definido por la pendiente de la tangente a la curva en dicho punto y el **secante**, definido por la pendiente de la secante desde el origen hasta el punto



Plasticidad

PLASTICIDAD: propiedad que manifiestan algunos materiales de sufrir deformaciones permanentes, no recuperando la forma primitiva al desaparecer la carga aplicada



Resistencia a tracción y a compresión

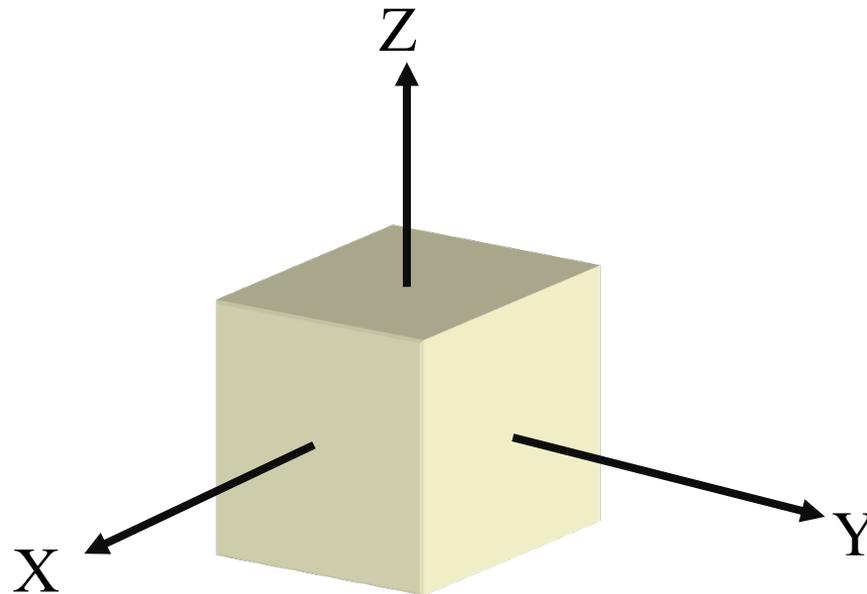
La **resistencia a tracción** y a **compresión** viene definida por la máxima tensión de tracción o de compresión, respectivamente, que puede soportar el material sin llegar a romperse



Los materiales pueden clasificarse, en cuanto a los valores de su resistencia a tracción y a compresión, en **isorresistentes** y **heterorresistentes**, según que estos valores sean iguales, como sucede en los metales, o sean diferentes, como ocurre con el hormigón, en cuyo caso suele ser más elevada la resistencia a compresión que la resistencia a tracción.

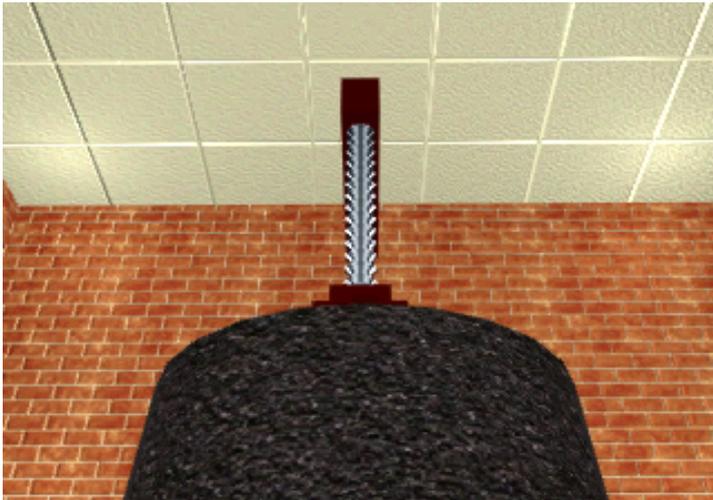
Resistencia a tracción y a compresión

Puede suceder que un material tenga el mismo valor de su resistencia a compresión o a tracción cualquiera que sea la dirección en que actúe el esfuerzo, en cuyo caso recibe el nombre de **isótropo**, o que varíen al cambiar la dirección, conociéndose entonces como materiales **anisótropos**. Los metales son un ejemplo del primer caso y la madera del segundo



Resistencia a tracción y a compresión

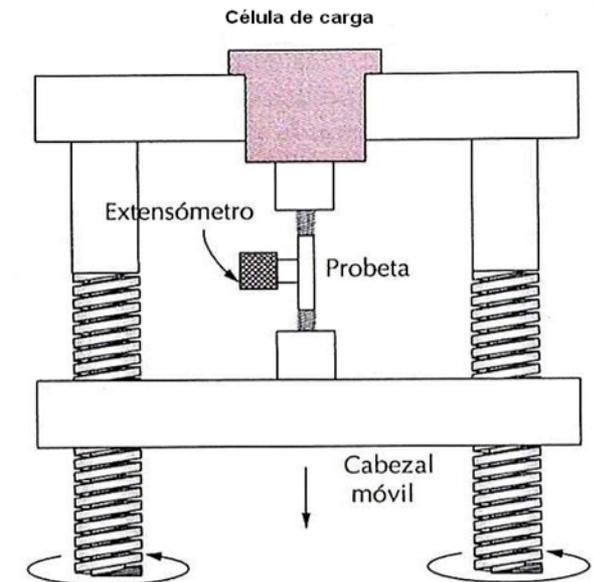
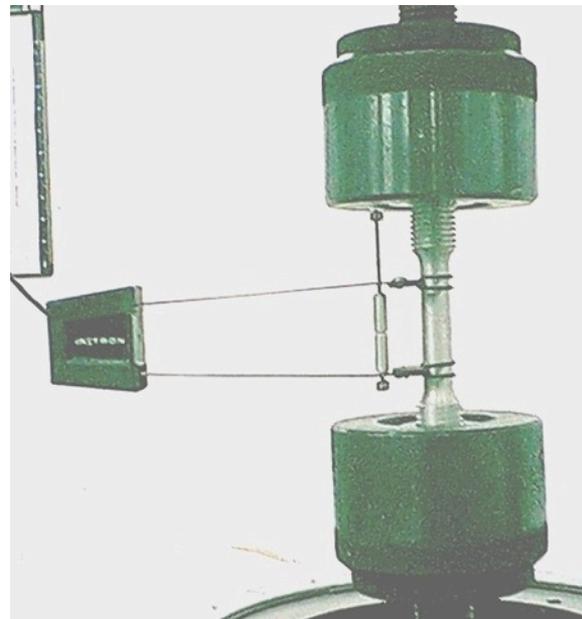
Los **ensayos de compresión** se realizan en prensas hidráulicas, colocando la probeta, con sus bases planas y paralelas, perfectamente ajustada entre dos platos, que sirven para transmitir la carga



Las máquinas para los **ensayos de tracción** en materiales que tienen su carga de rotura elevada, suelen disponer de unas mordazas donde se ajusta la probeta y, por medio de las cuales, se aplica la carga, que se mide en el controlador correspondiente

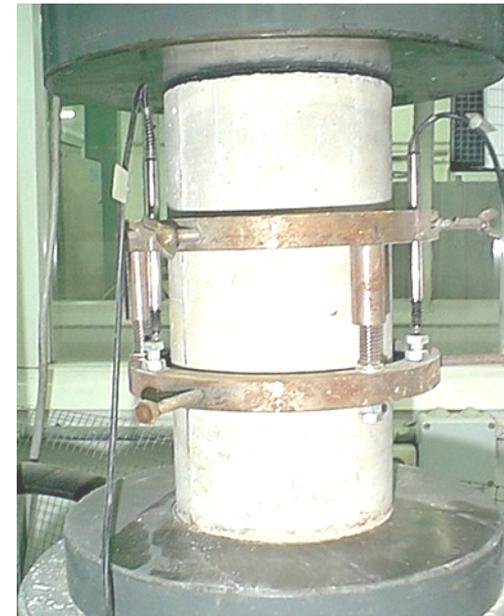
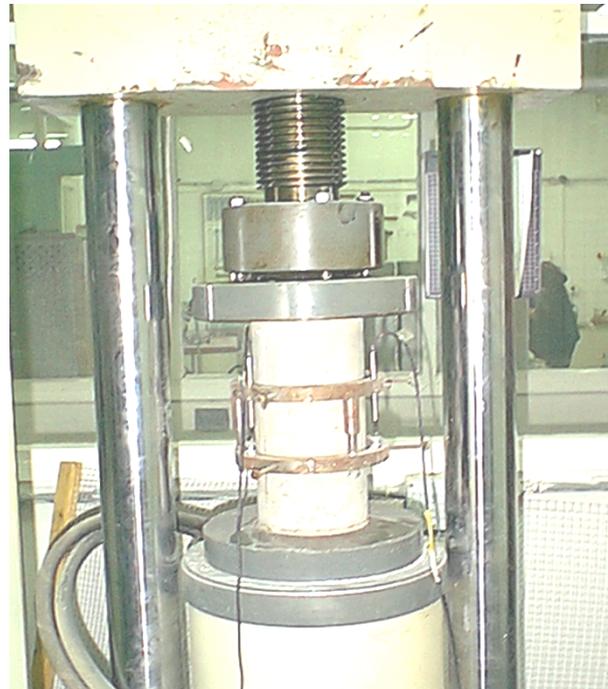
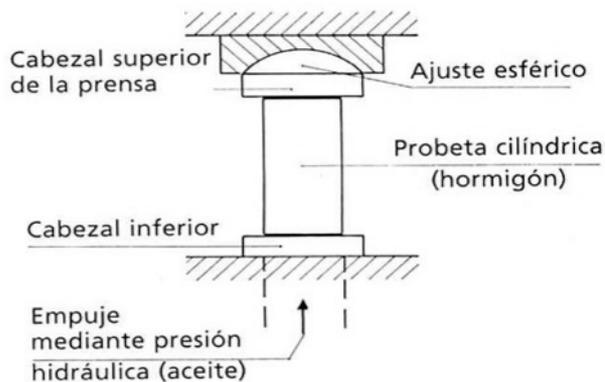
Resistencia a tracción y a compresión

La carga de rotura de los materiales se calcula mediante los ensayos de carga que se realizan en prensas o máquinas de ensayo de rotura y se ejecutan sobre probetas de formas y dimensiones muy variables según el material y el tipo de ensayo, siendo preciso, además de utilizar el tipo de probeta que fija la correspondiente Norma, regular la aplicación de las cargas según lo determinado por ella



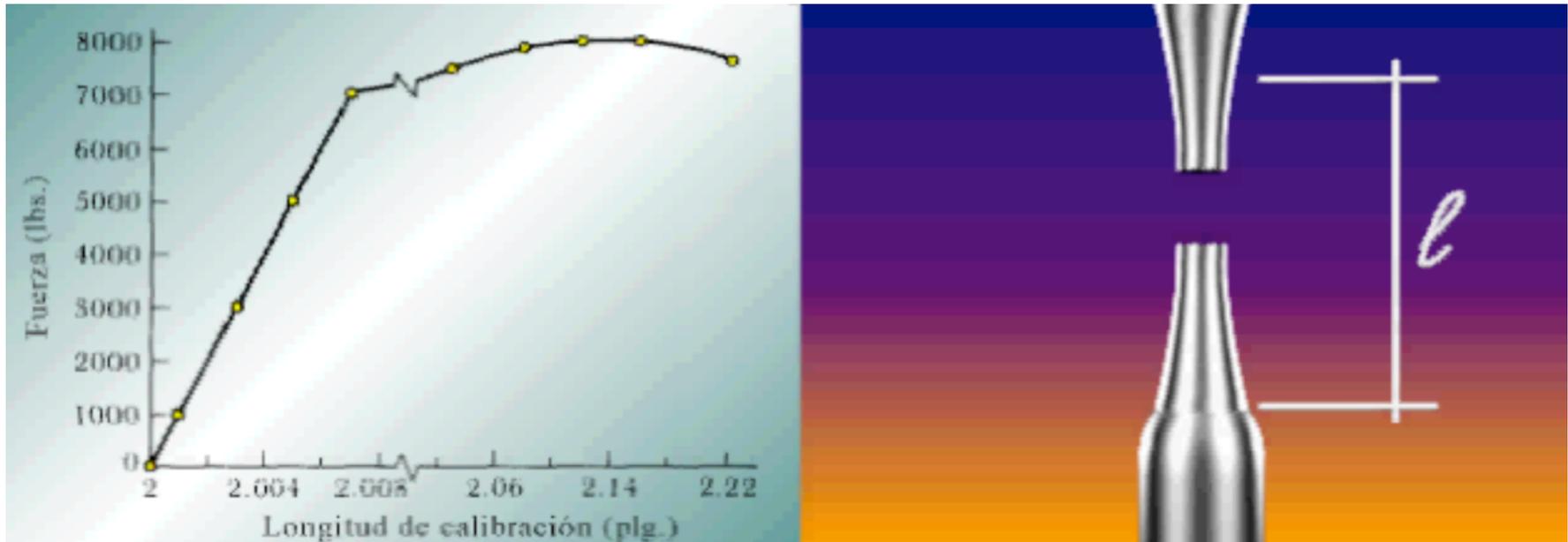
Resistencia a tracción y a compresión

La carga de rotura de los materiales se calcula mediante los ensayos de carga que se realizan en prensas o máquinas de ensayo de rotura y se ejecutan sobre probetas de formas y dimensiones muy variables según el material y el tipo de ensayo, siendo preciso, además de utilizar el tipo de probeta que fija la correspondiente Norma, regular la aplicación de las cargas según lo determinado por ella



Curva tensión-deformación

Evolución del diagrama tensión-deformación en un ensayo a tracción



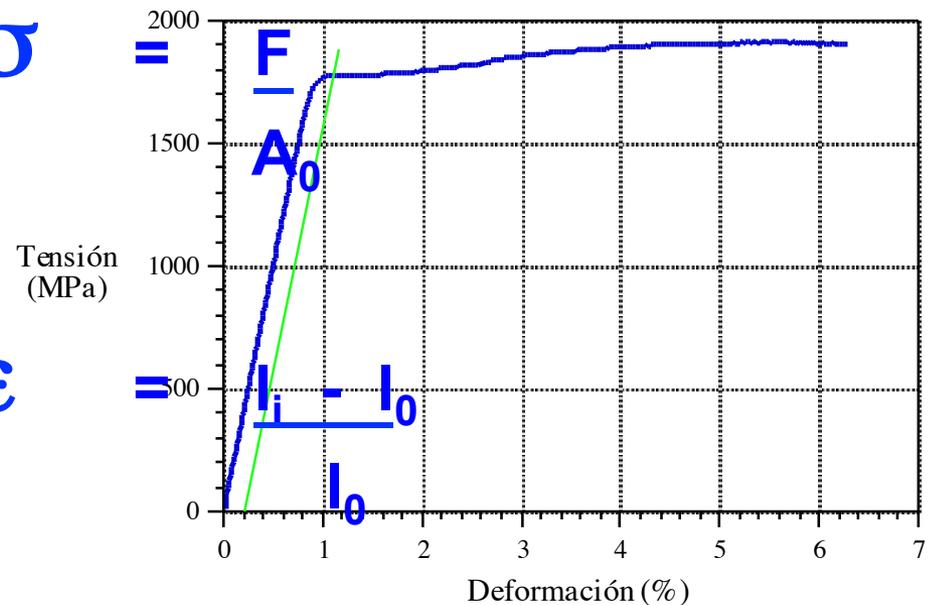
Curva tensión-deformación

Al medir en cualquiera de estas máquinas la deformación que se va produciendo en cada escalón de carga, puede relacionarse con la tensión por medio de una curva dibujada en un sistema de ejes cartesianos, en el que en el eje horizontal se llevan las deformaciones y en el vertical las tensiones

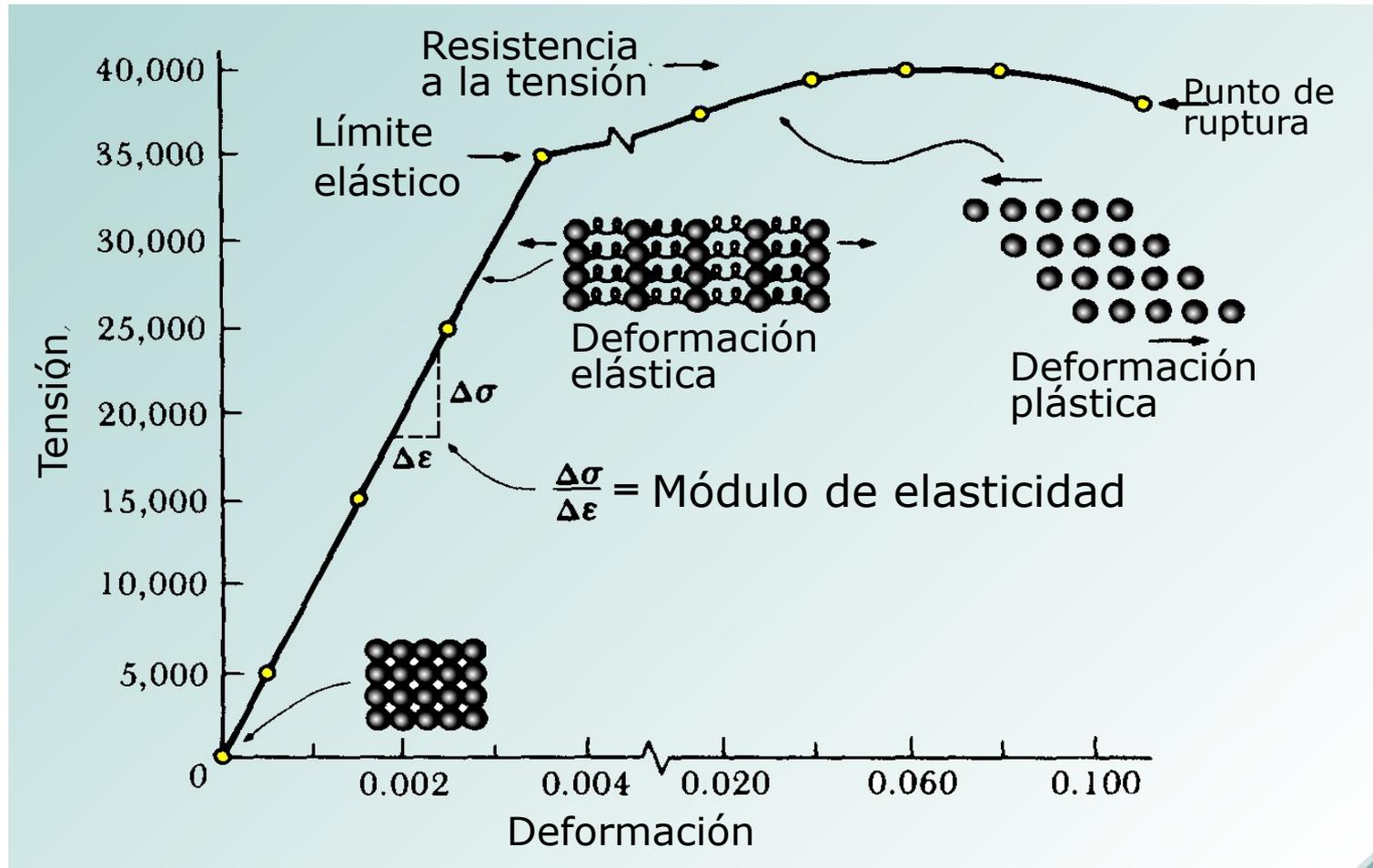
TENSIÓN: σ

Relación entre esfuerzo y deformación en un ensayo de tracción

DEFORMACIÓN: ϵ

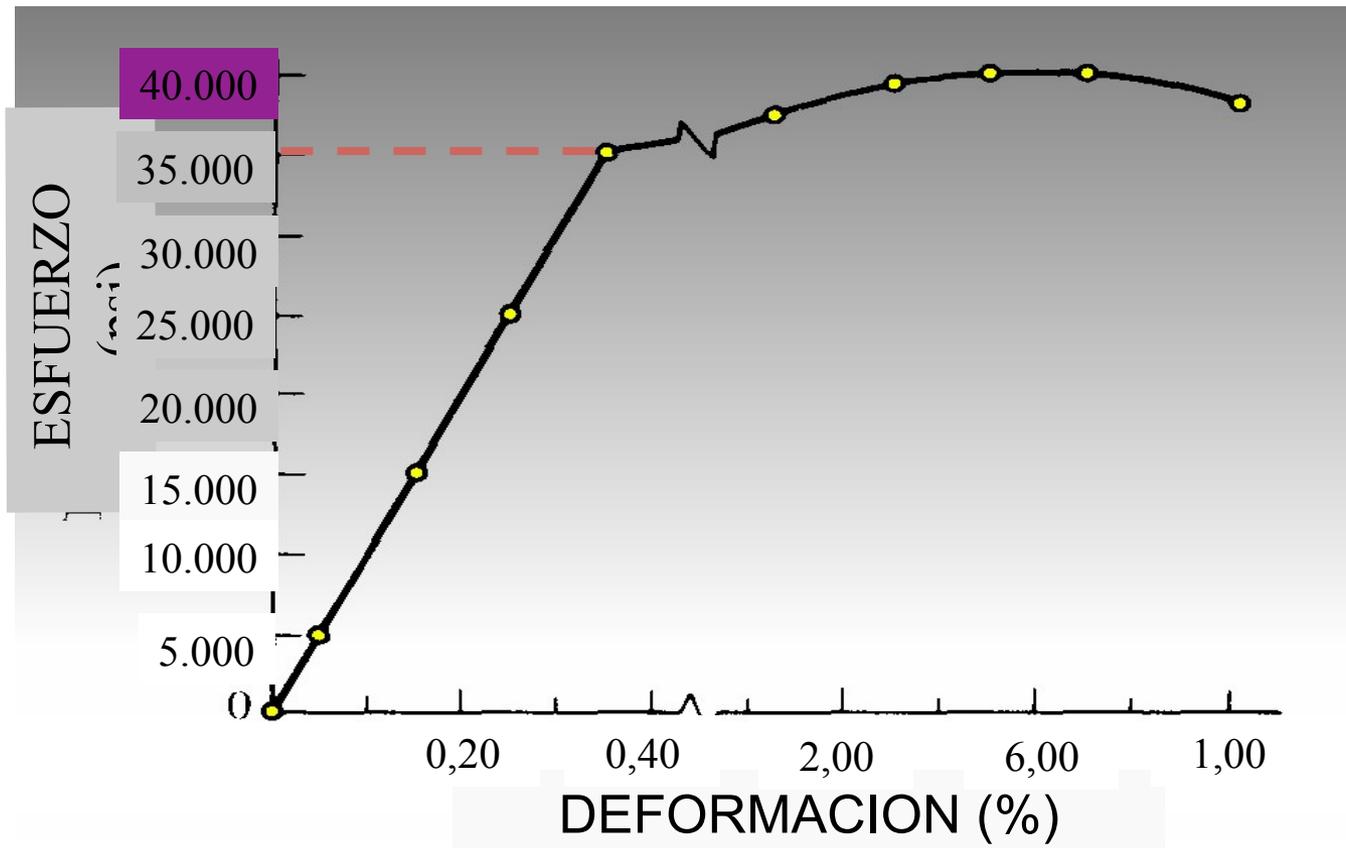


Curva tensión-deformación



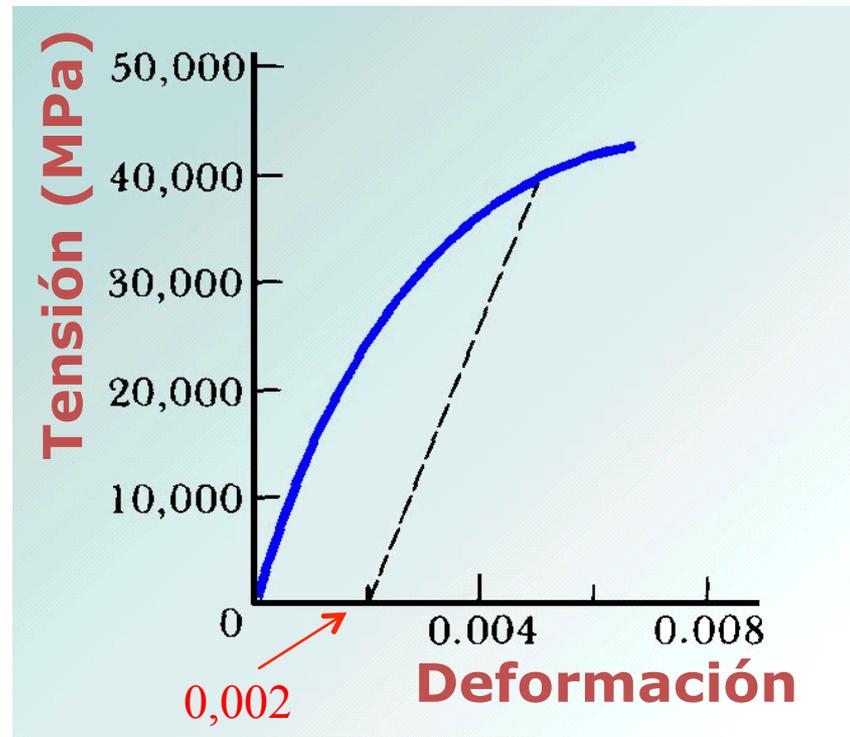
Curva tensión-deformación

Determinación del **límite elástico**, σ_y



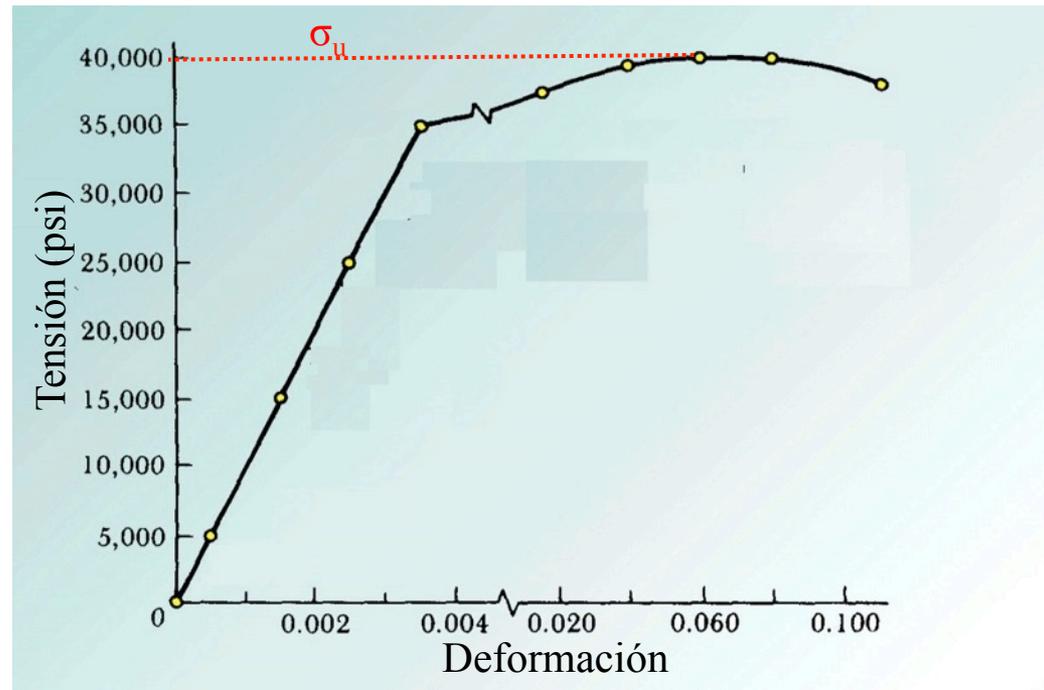
Curva tensión-deformación

Determinación del **límite elástico convencional**, $\sigma_{y0,2}$



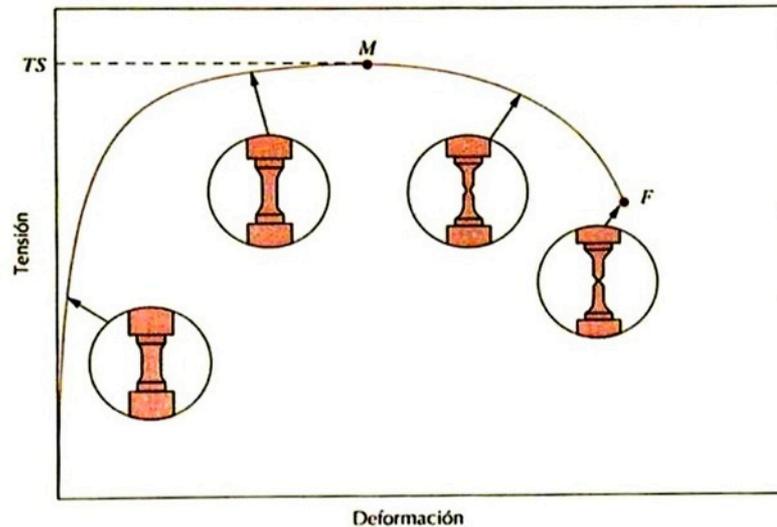
Curva tensión-deformación

Determinación de la **resistencia máxima**, σ_u



Curva tensión-deformación

ZONA DE ESTRICCIÓN: disminución localizada de la sección en los últimos estadios de un ensayo de tracción



Deformabilidad

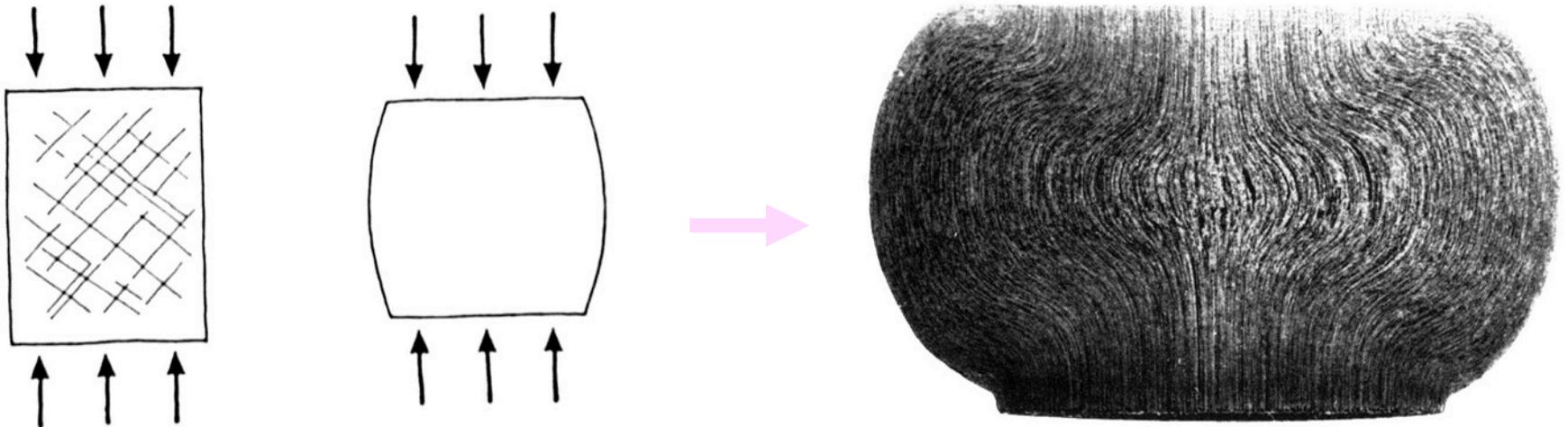
- Existen dos parámetros para evaluar el grado de deformabilidad adquirido tras la rotura:

- ELONGACIÓN:
$$\frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100$$

- REDUCCIÓN DE AREA:
$$\frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100$$

Ensayo a compresión

ABARRILAMIENTO: aumento localizado de la sección durante los últimos estadios de un ensayo a compresión



Módulo de Poisson

MÓDULO DE POISSON: relación existente entre la deformación elástica longitudinal y la deformación lateral que ocurre simultáneamente, al aplicar un esfuerzo a tracción o a compresión

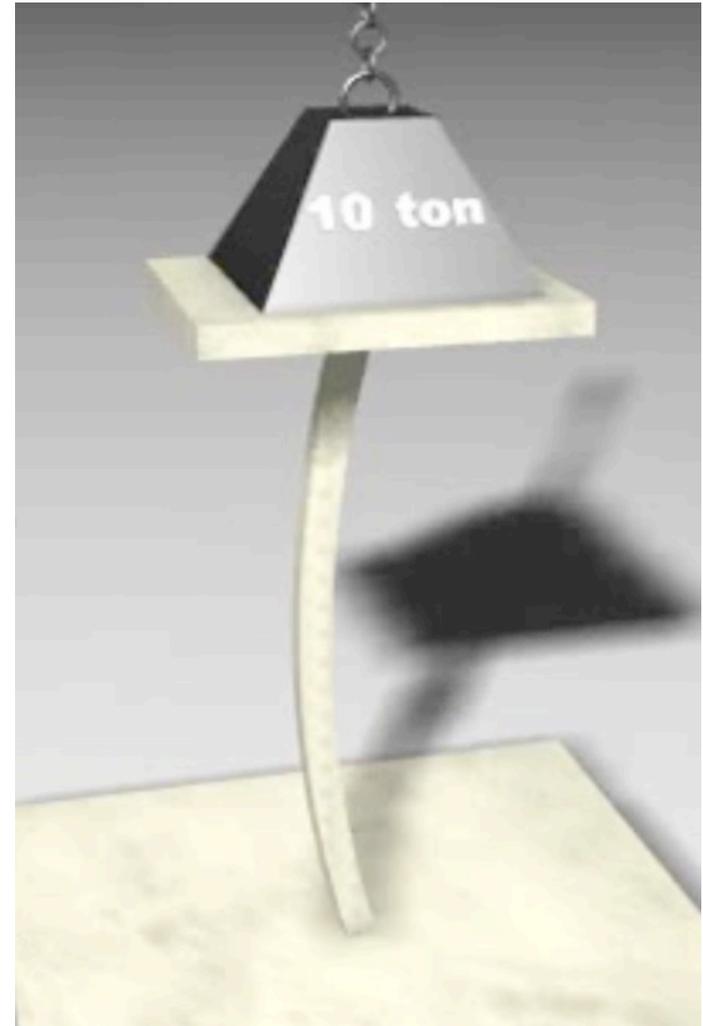


$$\mu = \frac{\varepsilon_{\text{lateral}}}{\varepsilon_{\text{longitudinal}}}$$

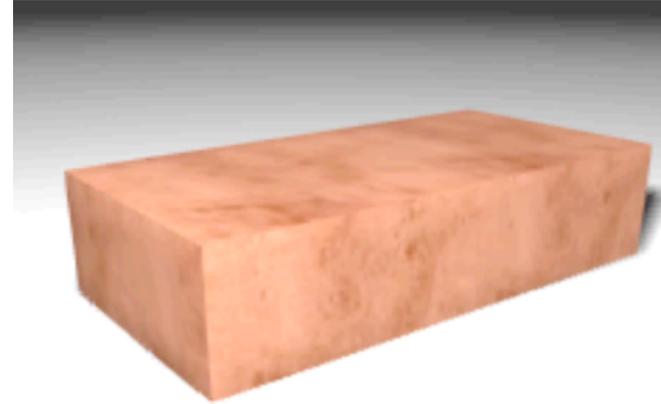
Resistencia al pandeo

En piezas muy **esbeltas**, sometidas a esfuerzos de compresión según la dirección de su mayor longitud, la rotura ocurre a una tensión inferior a la resistencia a compresión del material

En estos casos, la resistencia a rotura que presenta un material, se conoce como **resistencia al pandeo**, y depende de las características de material, la sección y longitud de la pieza y de la forma de apoyo que tenga en ambos extremos (libre, empotrada o articulada)



Efecto mecánico de la temperatura



$$\varepsilon_T = \alpha(\Delta T)$$

ε_T = deformación unitaria térmica

α = coeficiente de dilatación térmica

T = temperatura

Efecto mecánico de la temperatura

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

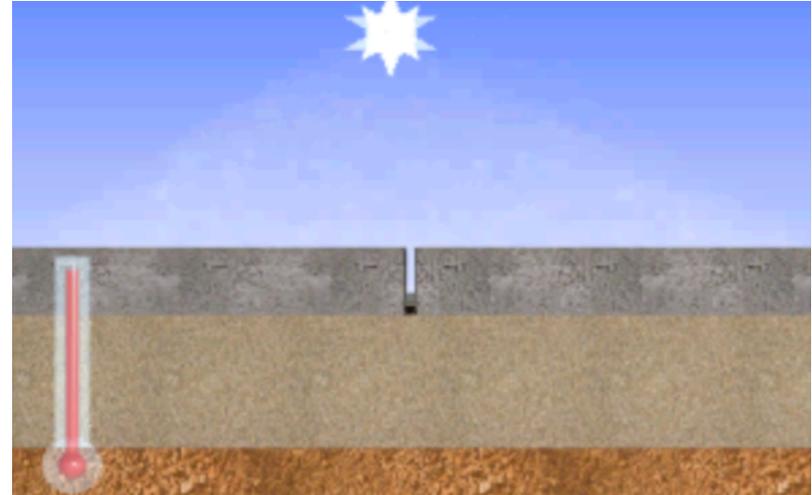
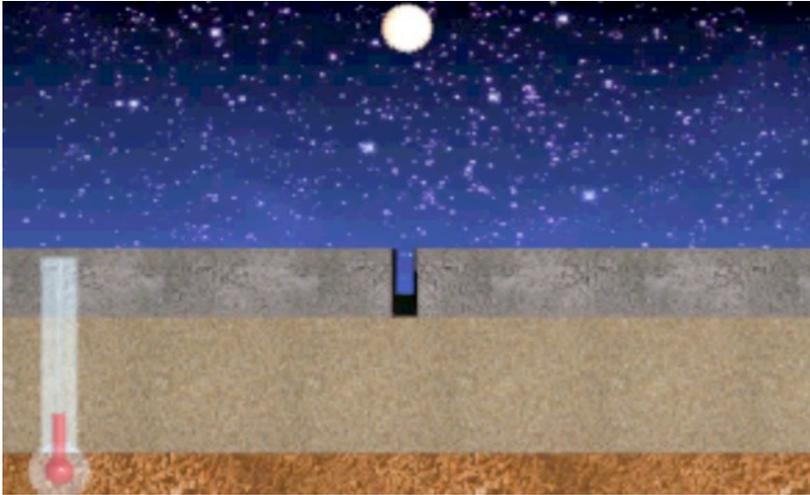
- $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$

- $\varepsilon = \alpha(\Delta T)$

- reemplazando ε

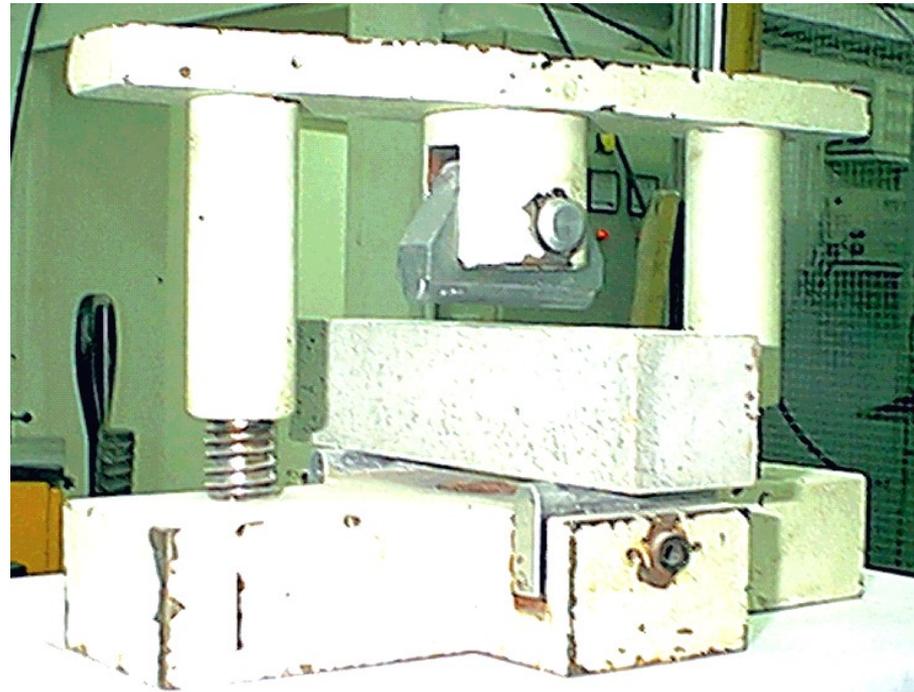
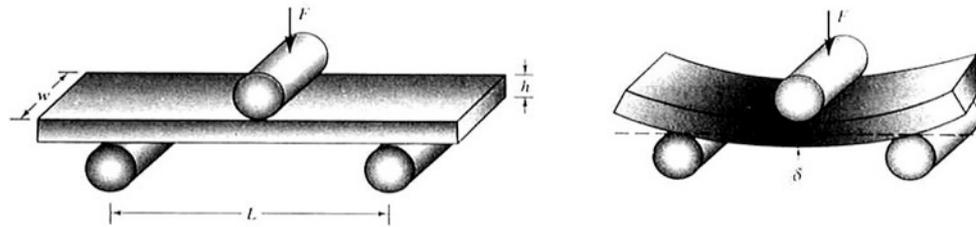
- $\sigma = E \alpha(\Delta T)$

Efecto mecánico de la temperatura

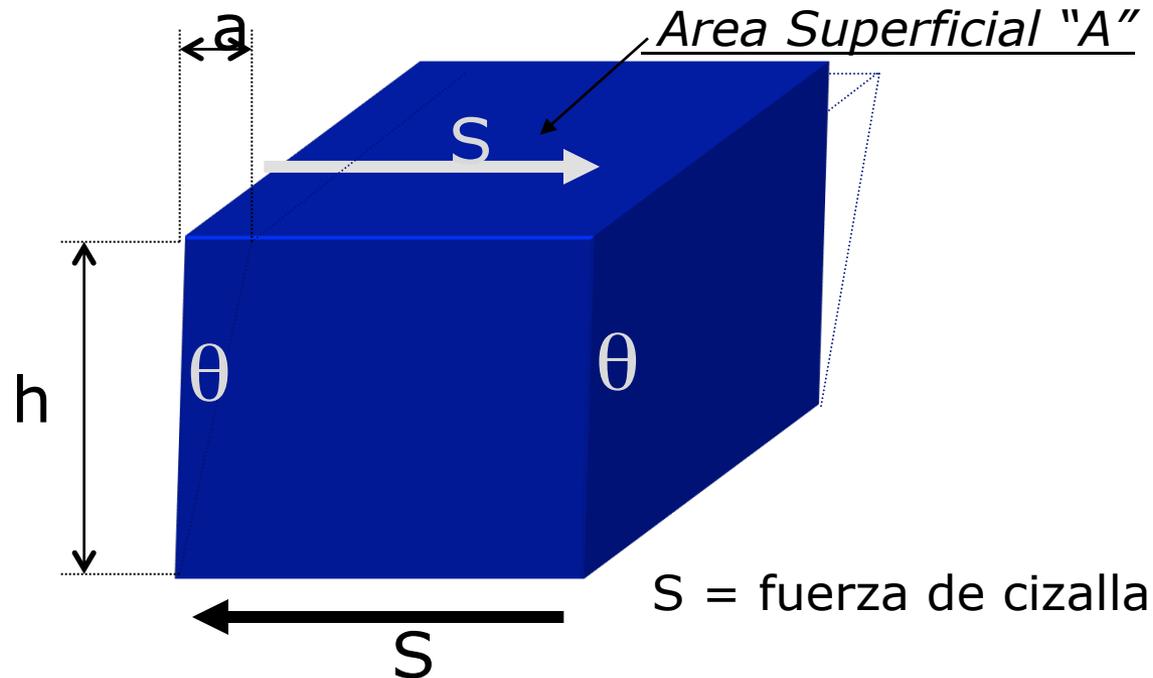


Ensayos de flexión

ENSAYO DE FLEXIÓN: generación de efectos combinados de compresión y tracción



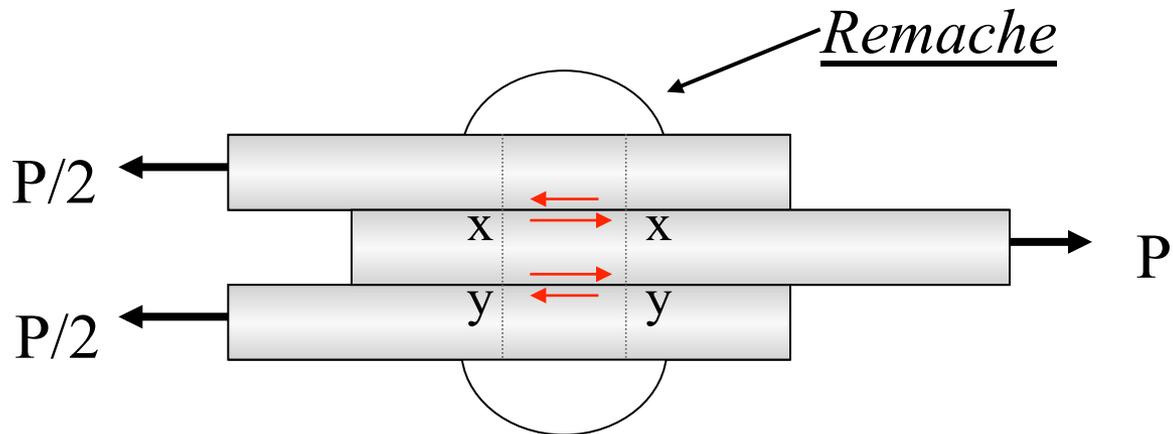
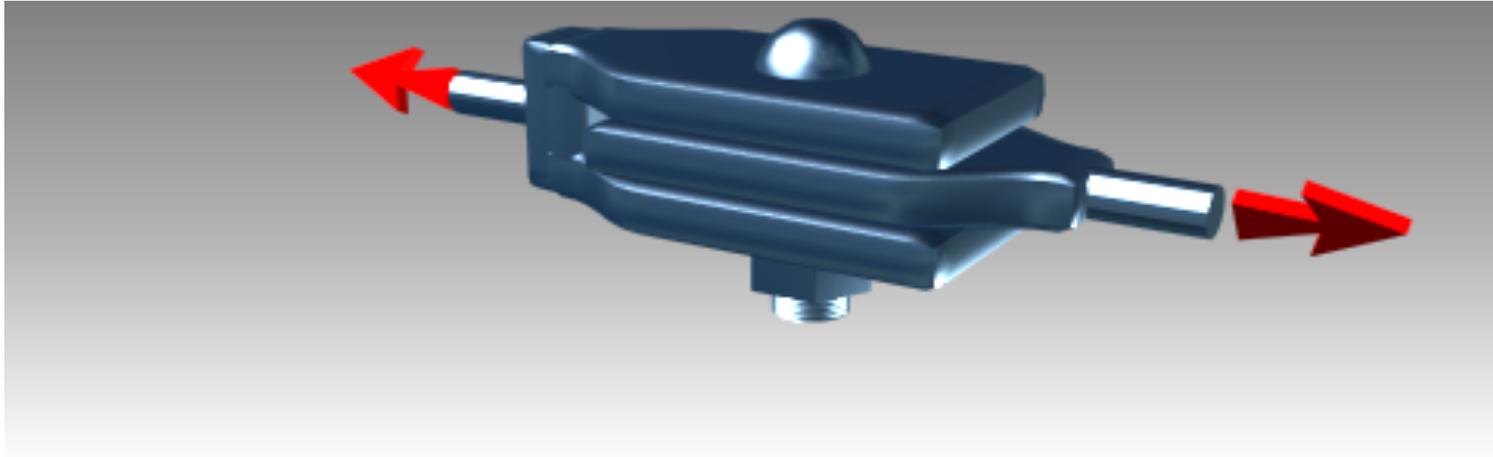
Esfuerzo cortante



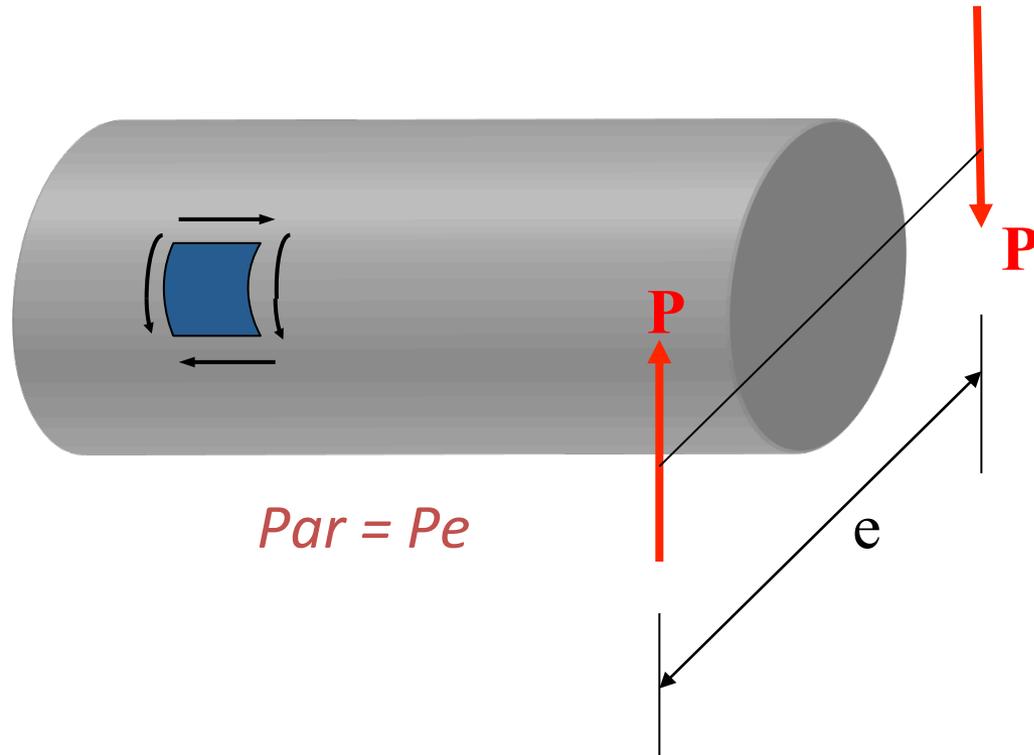
$$\tau \text{ (esfuerzo de corte)} = \frac{S}{A} \begin{array}{l} \text{(fuerza de corte)} \\ \text{(área sobre la que actúa la fuerza de corte)} \end{array}$$

$$\gamma \text{ (deformación por corte)} = \frac{a}{h} = \tan \theta$$

Esfuerzo cortante

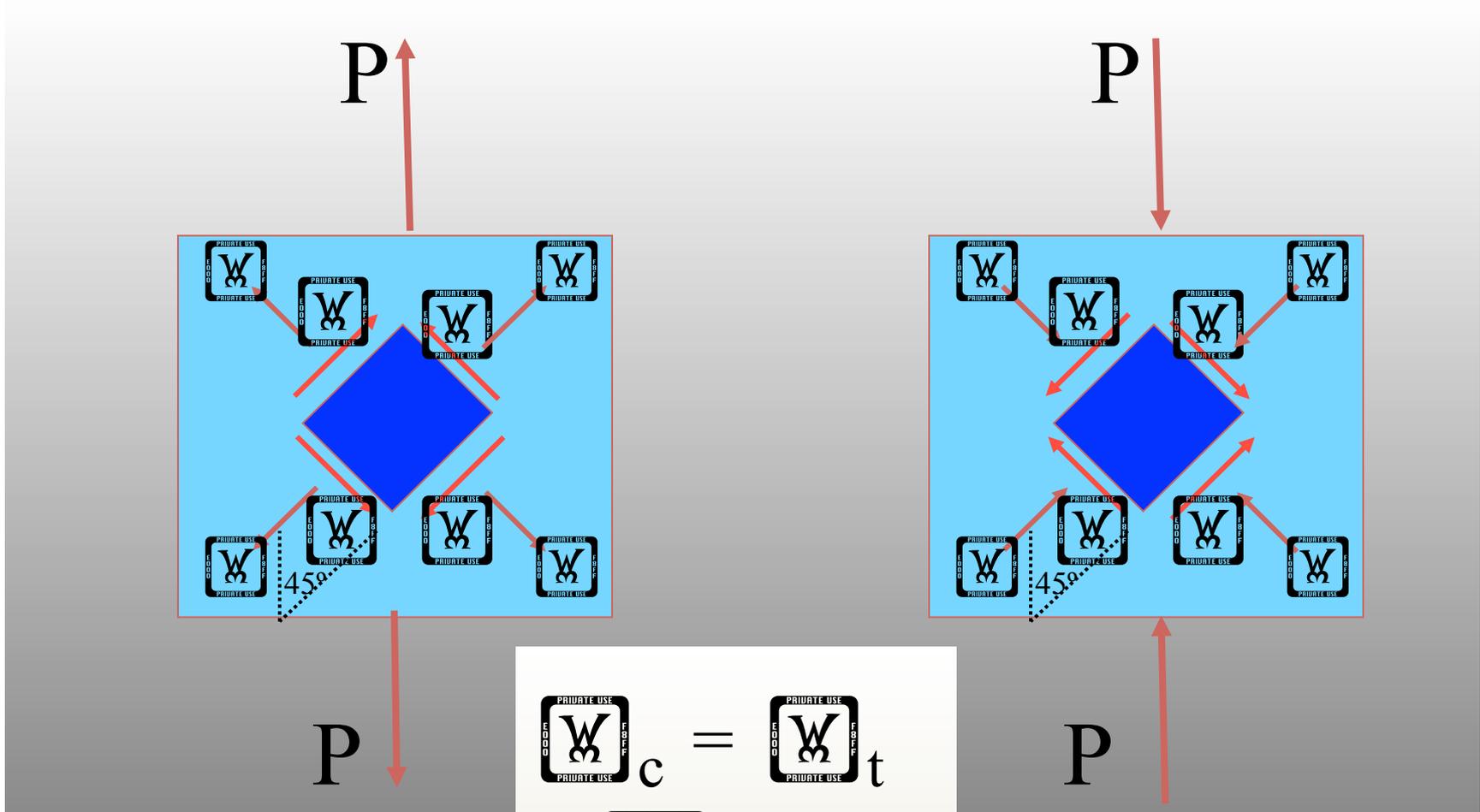


Resistencia a la torsión



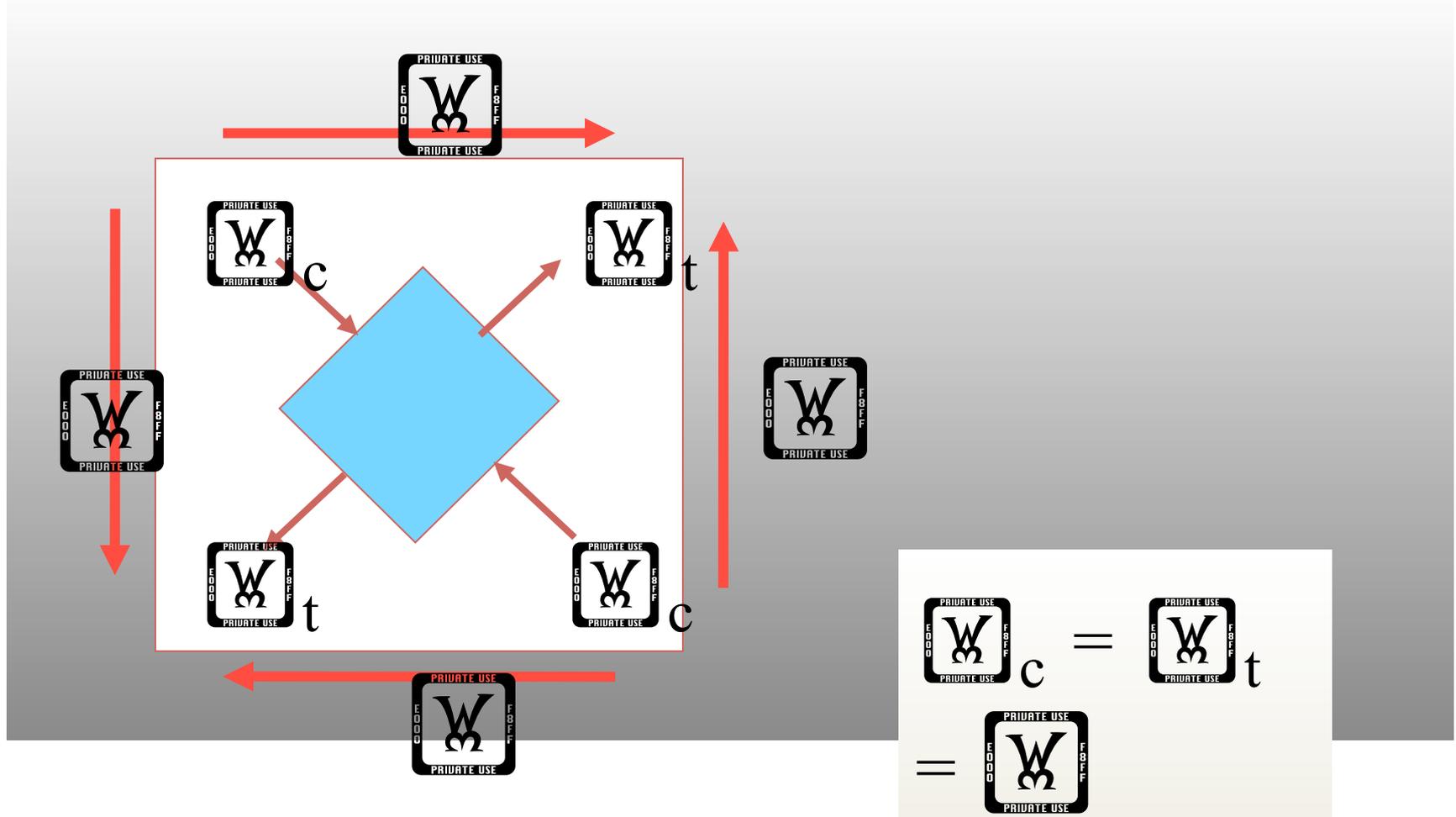
Esfuerzo cortante

Cortante puro inducido por primarios normales



Esfuerzo cortante

Esfuerzos normales inducidos por corte primario



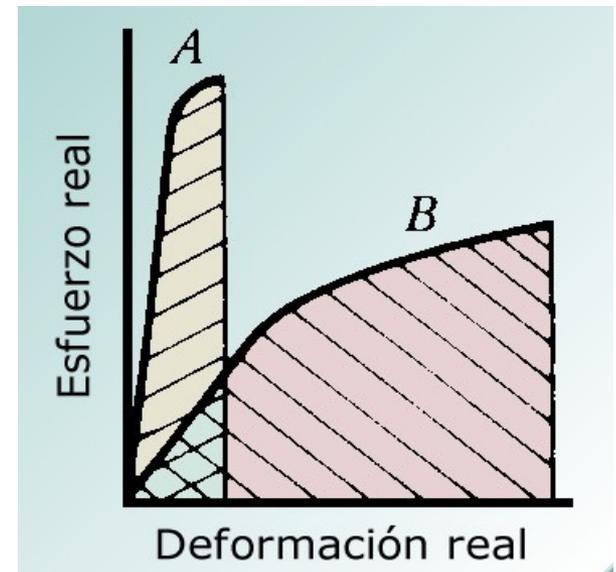
Resistencia al impacto

RESISTENCIA AL IMPACTO: energía consumida en la rotura producida por el choque de otro cuerpo

La capacidad de un material para resistir el impacto suele denominarse **tenacidad** del material. El concepto de tenacidad es una combinación entre los de resistencia y deformación y expresa el trabajo desarrollado por un material cuando se deforma y rompe por efecto de una fuerza exterior

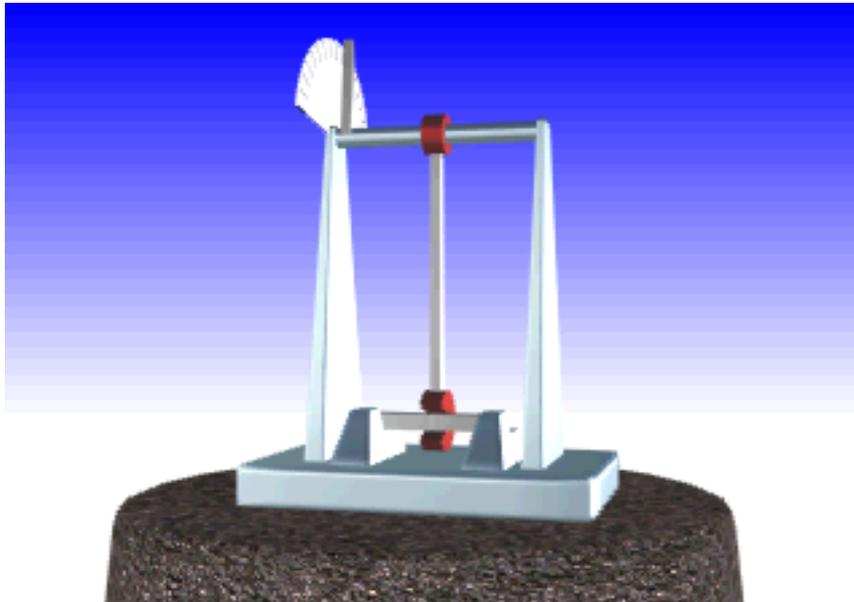
Los materiales tenaces absorben con mayor facilidad la energía cinética de una masa que choca contra ellos que los que no lo son

La energía de impacto corresponde al área delimitada por la curva esfuerzo real-deformación real. Los materiales que presentan alta resistencia y alta deformabilidad, tienen una tenacidad adecuada



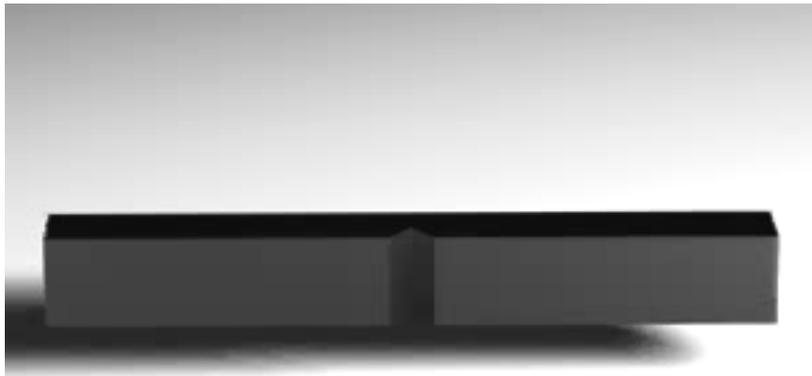
Resistencia al impacto

Las máquinas utilizadas en estos ensayos constan, fundamentalmente, de un péndulo provisto de una maza que parte de una altura h_0 , gira describiendo un arco, golpea y rompe la probeta, alcanzando una elevación menor al final, h_f . Conociendo las elevaciones inicial y final del péndulo, se puede calcular la diferencia de energía potencial. Esta diferencia es la **energía de impacto** absorbida por la probeta durante la ruptura



Resistencia al impacto

Las muescas provocadas por un mecanizado, fabricación o diseño deficientes, ocasionan concentración de esfuerzos, reduciendo la tenacidad del material. La **sensibilidad a las entallas** de un material puede evaluarse comparando las energías absorbidas por probetas con entalla y sin ella. Las energías absorbidas por probetas con entalla son mucho menores si el material es sensible a este tipo de defectos



Fluencia

FLUENCIA: deformación lenta, diferida en el tiempo, que se produce en un material sometido a cargas pequeñas, incluso inferiores a su límite elástico, y es función de la magnitud de la carga, de las propiedades intrínsecas del material y del ambiente en que se encuentra la pieza

La carga límite de fluencia puede definirse como la que es capaz de resistir un material, de una sección determinada, sometido a unas ciertas circunstancias ambientales sin llegar a romper en un tiempo indefinido. Si se utilizase este límite para dimensionar las piezas se llegaría a valores exagerados, por lo que se prefiere realizar los cálculos para que superen la vida probable de las mismas

RELAJACIÓN: pérdida progresiva de tensión que experimenta un elemento sometido a un estado de deformación constante

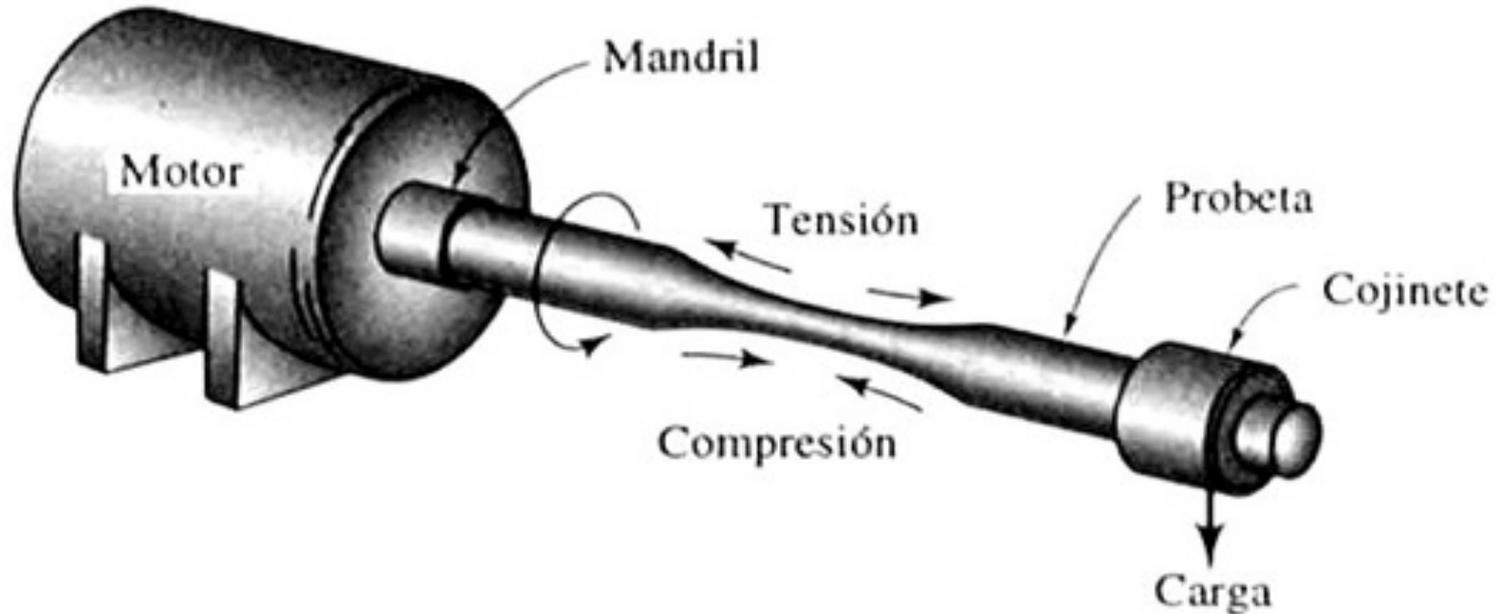
Fatiga

FATIGA: proceso por el que se somete al material a esfuerzos cíclicos de diferente magnitud y/o sentido



Fatiga

Un método común para medir la resistencia a la fatiga es el ensayo de la viga en voladizo rotatoria



Dureza

DUREZA: resistencia que presenta un material para ser deformado en su superficie ante la acción dinámica de otro cuerpo, por lo que existirán diversos tipos de dureza según la forma de actuar del agente

DUREZA AL RAYADO: Corresponde a la resistencia que opone un cuerpo a ser rayado por otro patrón

Se determina utilizando la escala de Mohs, fijada en 1822, en base a 10 minerales diferentes

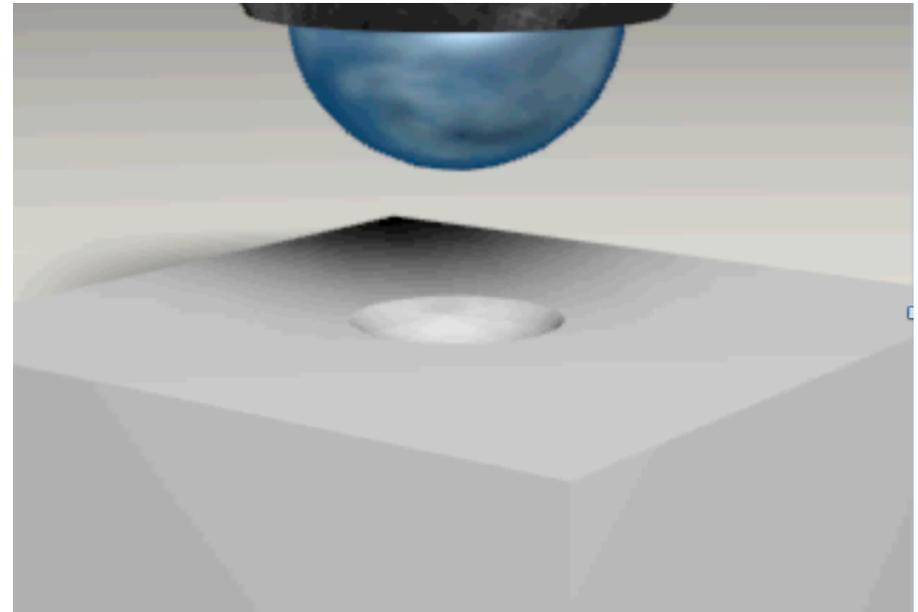
- | | |
|-----------------|---------------|
| 1. Talco | 6. Feldespato |
| 2. Yeso | 7. Cuarzo |
| 3. Caliza | 8. Topacio |
| 4. Espato flúor | 9. Corindón |
| 5. Apatito | 10. Diamante |

Dureza a la penetración

DUREZA A LA PENETRACIÓN: oposición que ofrece un material a que otro cuerpo más duro pueda hacer mella en su superficie por efecto de una presión, dependiendo su valor de la forma del agente y la presión que ejerza

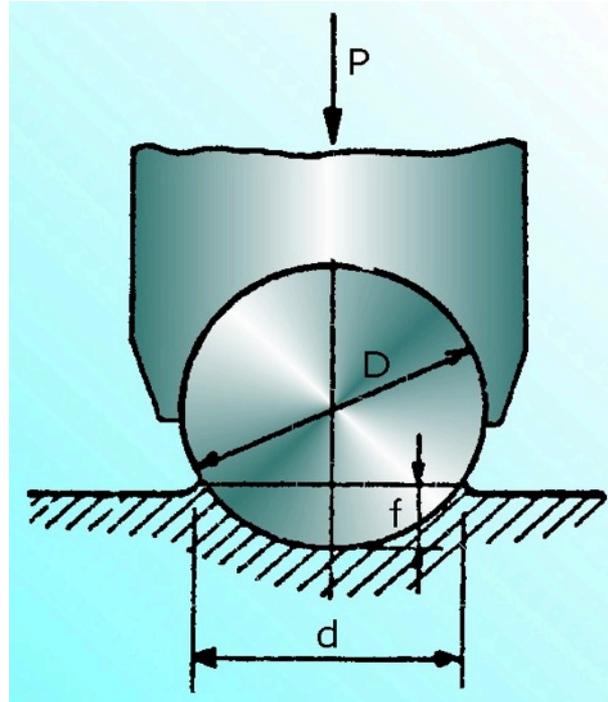
Existen diferentes procedimientos para determinar la dureza a la penetración de los materiales

El **método Brinell** consiste en medir la huella que deja una bola de acero muy duro al ser aplicada sobre una superficie plana y lisa del cuerpo a ensayar comprimida de forma progresiva hasta alcanzar la carga prevista y mantenida un cierto tiempo hasta que se produzca la impresión de un casquete esférico, expresándose la dureza por el cociente entre la carga aplicada, medida en kg y la superficie del casquete medida en mm^2



Dureza a la penetración

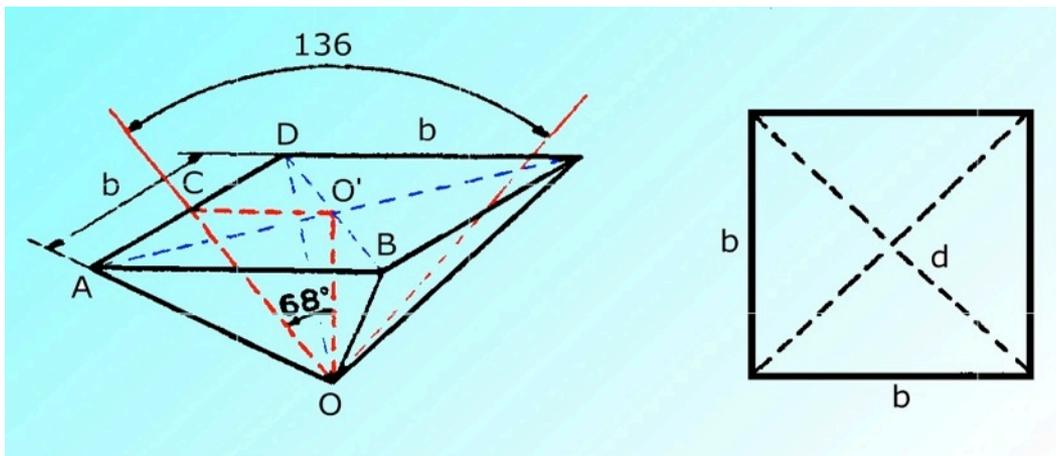
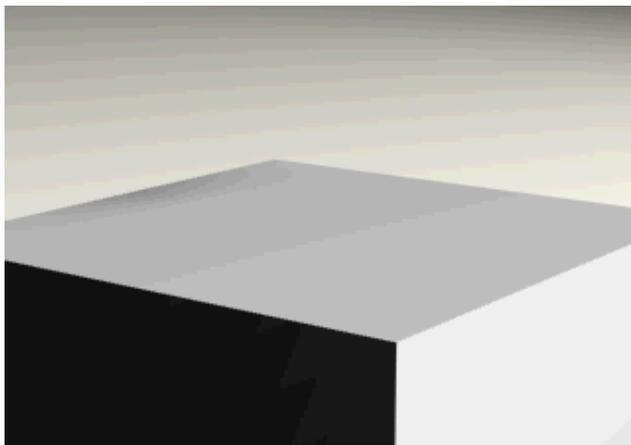
- *Método Brinell*



$$H_B = \frac{P}{S} = \frac{P}{Df} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Dureza a la penetración

El **método Vickers** es similar al anterior y se diferencia en que el elemento penetrador es una pirámide de base cuadrada cuyas caras opuestas forman en el vértice un ángulo de 136° . La dureza se expresa de forma idéntica por el cociente entre la carga, en kg y la superficie lateral de la huella, en mm^2



$$H_v = \frac{P}{S} = \frac{P}{4s} = \frac{P}{4 \frac{b}{2} OC} = \frac{P}{2b \frac{b}{2} \sin 68^\circ} = \frac{P}{b^2 \sin 68^\circ} = \frac{2P}{d^2 \sin 68^\circ} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

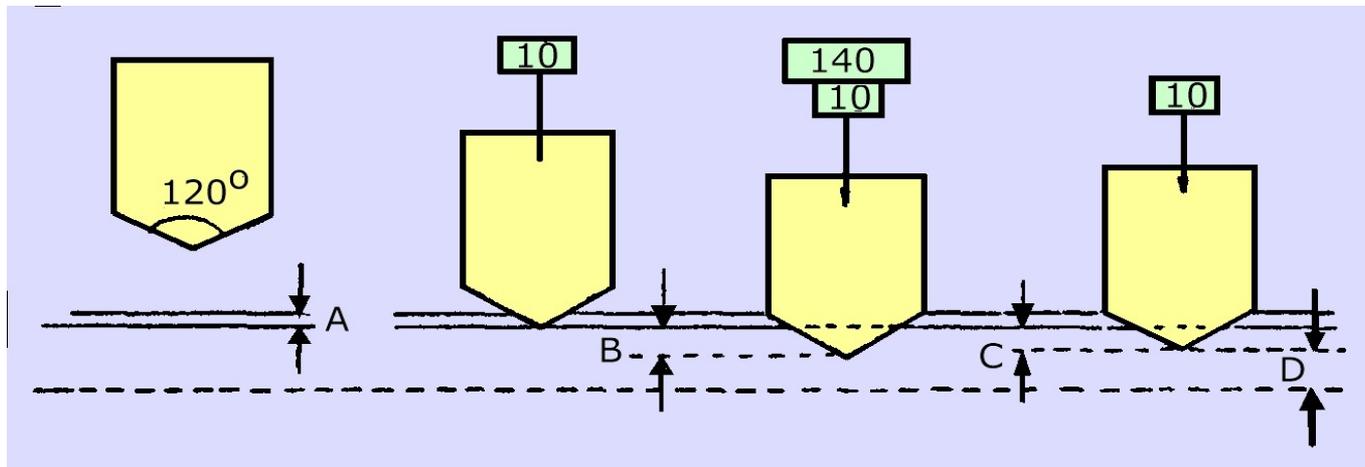
Dureza a la penetración

El **método Rockwell** expresa la dureza en función de la profundidad que alcanza la huella. Existen seis variantes del ensayo, utilizándose elementos penetradores, como conos, bolas y pirámides. En todos los casos se aplica una carga inicial en kg para asegurar el contacto entre pieza y elemento penetrador, con lo que se introducirá A mm en la muestra, se aplica una carga complementaria, diferente según el método, y el elemento penetrará B mm al cabo del tiempo fijado en el ensayo, lo cual se reducirá a C mm al retirar la carga complementaria, debido a la elasticidad del material



Dureza a la penetración

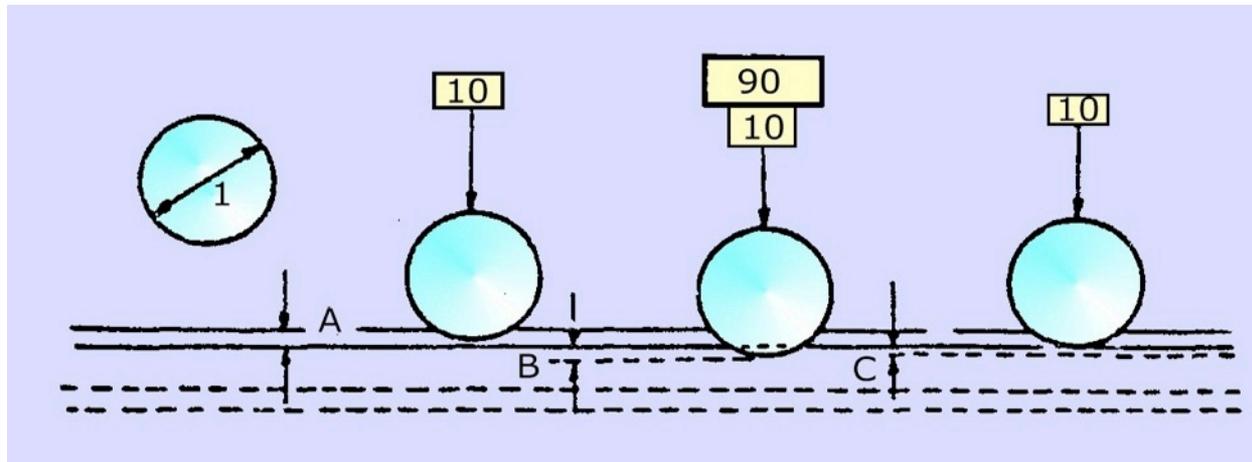
En el método **Rockwell C**, que se emplea para **materiales duros**, el elemento penetrador es un cono de diamante de 120° en el vértice con la punta redondeada con radio de 0,2 mm y la carga complementaria es de 140 kg



$$H_{RC} = 100 - e$$

Dureza a la penetración

Para **cuerpos blandos** se emplea el método **Rockwell B**, cuyo elemento penetrador es una bola de 1/8 ó 1/16 de pulgada de diámetro y la carga complementaria es de 90 kg



$$H_{RB} = 130 - e$$

Dureza al rebote

DUREZA AL REBOTE: pérdida de energía que experimenta un cuerpo muy duro al impactar o chocar contra la superficie del material a ensayar. Se mide por medio del instrumentos denominados **esclerómetros**, que están conformados por un tubo graduado de 0 a 100 (coincidiendo el 0 con la posición inferior y el 100 con la dureza máxima) dentro del cual circula un cilindro terminado en punta, cuya forma depende del esclerómetro y del material a medir. El cilindro se deja caer desde una altura normalizada y rebota hasta la altura que mide su dureza



Resistencia al desgaste

RESISTENCIA AL DESGASTE: pérdida de características del material al ser sometido a un proceso de abrasión por contacto repetido con otro material, estando íntimamente ligada con la dureza de ambos materiales

La resistencia al desgaste se calcula al someter unas muestras del material a la acción de otros materiales o de elementos de dureza y poder abrasivo conocidos, durante un cierto tiempo, indicando el resultado del ensayo por la pérdida de peso experimentada, expresada en tanto por ciento respecto al peso inicial. El tipo de ensayo y las especificaciones varían mucho de unos materiales a otros



Resistencia al desgaste

La dureza se relaciona con la resistencia al desgaste. Un material que se utiliza para fragmentar o moler mineral debe ser muy duro para asegurar que no se desgastará o sufrirá abrasión al contactar con los materiales a manejar

