COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MATERIALES

Deformación

Año 2024

ANEP ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE EDUCACIÓN PÚBLICA

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

IIMPI INSTITUTO DE INGENIERIA MECANICA Y PRODUCCION INDUSTRIAL

Introducción

Así como el **esfuerzo** es una representación de las fuerzas internas por unidad de área a las que está sometida una pieza cargada, la **deformación**, representa el cambio en su forma referido a su forma inicial.

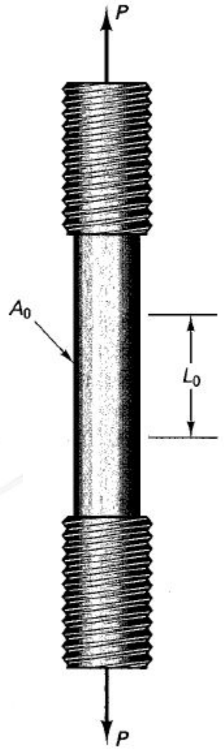
La relación ***esfuerzo-deformación*** se supone que es independiente de la geometría de la pieza y es característica del material en estudio. Esta relación es conocida como ***modelo constitutivo*** de un material y describe su comportamiento mecánico mediante un conjunto de ***propiedades mecánicas***.

Las propiedades mecánicas de los materiales usados en ingeniería se determinan por medio de **experimentos** efectuados sobre pequeñas **probetas**. Estos experimentos se llevan a cabo en laboratorios equipados con máquinas de prueba, capaces de cargar la probeta y medir su deformación.

TORSIÓN

Deformación unitaria

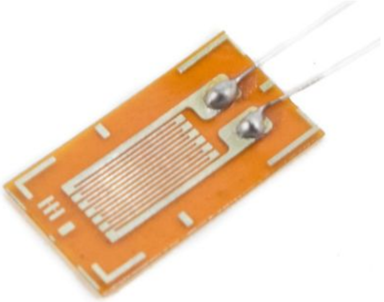
Probeta cilíndrica
Mecánica de sólidos deformables, E. Popov



El ensayo más habitual e importante es el ***ensayo de tracción,*** en el cual una probeta estandarizada es sometida a una fuerza axial creciente mientras se mide su estiramiento.
Se definen:

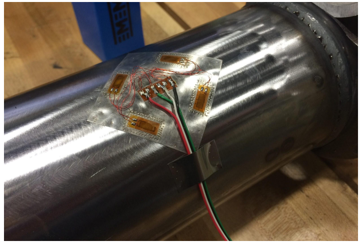
Estiramiento: $\Delta L = L - L_0$ [m, mm, in]

Deformación: $\varepsilon = \dfrac{\Delta L}{L_0}$ [m/m, mm/m, in/in]
(alargamiento por unidad de longitud)



Por lo general los cambios de longitud que se desean medir son muy pequeños (0,1%), y para esto se emplean ***extensómetros, strain gauge*** *o* ***galgas extensiométricas****.*

Circuitos eléctricos orientados, que son unidos rígidamente a la superficie de una pieza de forma de copiar su deformación. Estos cambios de forma, generan una variación en la resistencia eléctrica del circuito que es medida para, a partir de esto, inferir la deformación de la pieza.



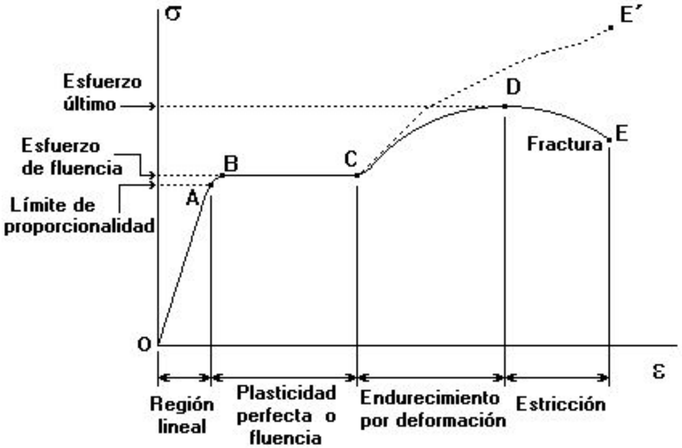
Relación Esfuerzo-Deformación (Tracción)

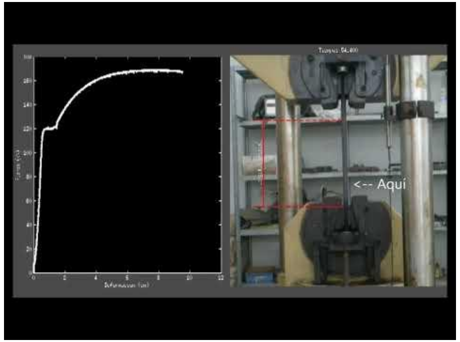
Asumiendo que el esfuerzo es **uniforme** en toda la sección perpendicular al eje.

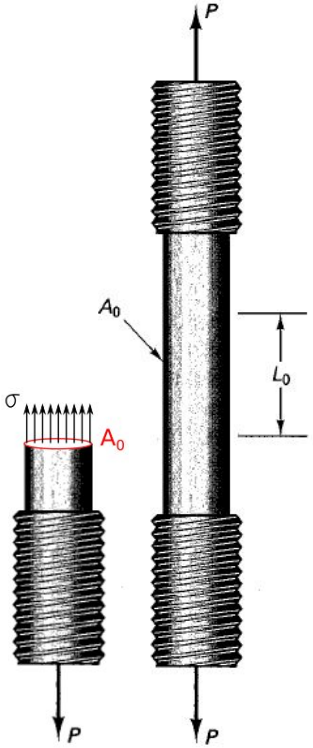
Esfuerzo normal: $\sigma = \dfrac{P}{A_0}$

Deformación: $\varepsilon = \dfrac{\Delta L}{L_0}$

OA: Zona elástica lineal (donde se desea trabajar siempre).
BC: Fluencia, se comienza a dislocar las estructuras internas del material.
CD: Deformación plástica, se endurece el material, ganando rigidez al aumentar la deformación permanente.
DE: Ruptura inminente, estricción del material.





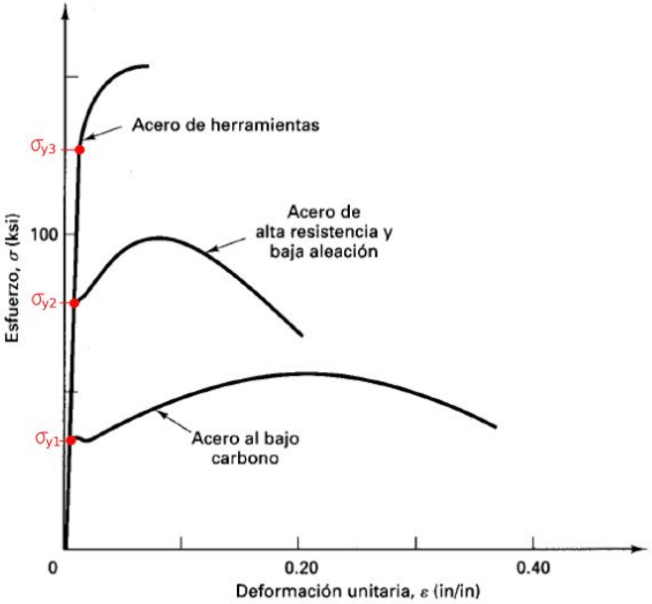


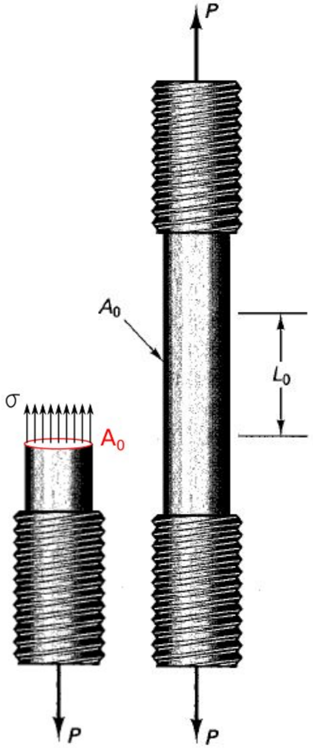
Probeta cilíndrica
Mecánica de sólidos deformables, E. Popov

Relación Esfuerzo-Deformación (Tracción)

Debemos tener en cuenta que los diagramas de esfuerzo-deformación obtenidos experimentalmente difieren ampliamente entre materiales. Aún para el mismo material los ensayos pueden presentar resultados diferentes por su dependencia con:

- imperfecciones microscópicas
- tipo de fabricación
- velocidad de carga
- temperatura





Probeta cilíndrica
Mecánica de sólidos deformables, E. Popov

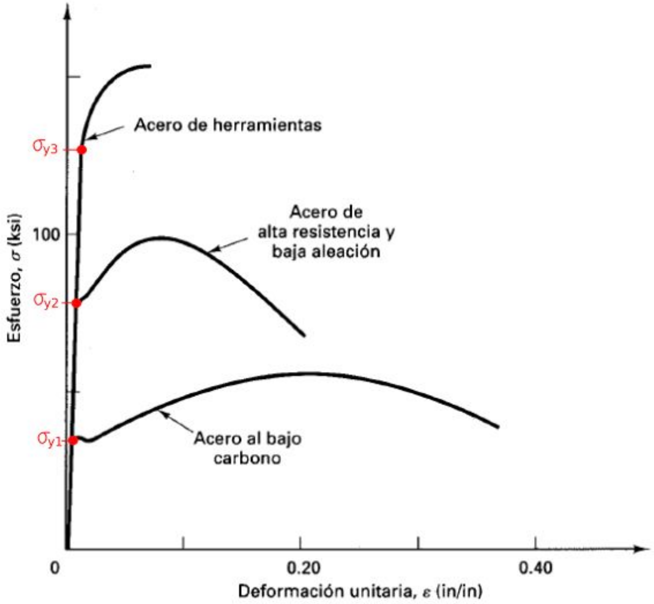
Esfuerzo de fluencia (σ_y,S_y): Esfuerzo máximo que soporta el material antes de entrar en la zona de fluencia. En la gran mayoría de los casos en los que se desea diseñar o evaluar una pieza, se considera que una pieza falla cuando alcanza $\boldsymbol{\sigma_y}$, por lo tanto siempre deberemos estar por debajo de este valor.

Ley de Hooke - Módulo de Young

Una cantidad considerable de materiales, entre ellos el **acero**, cumplen que todos los puntos de la curva esfuerzo-deformación, desde deformación nula y hasta cierto punto, se encuentran sobre una línea recta.

Es decir: entre $\sigma=0$ y σ_y , los valores de esfuerzo (σ) y deformación (ε) son directamente proporcionales y la constante de proporcionalidad es **E**, conocido como ***módulo de Young (o módulo elástico)*** .

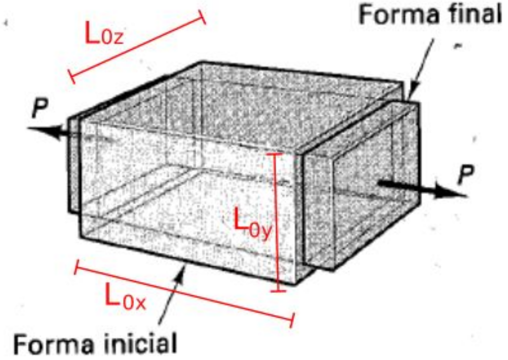
Ley de Hooke $\boxed{\sigma = E\varepsilon}$



Módulo de Young (E):

- Es una propiedad del material cuyas unidades son (MPa, ksi,...)
- Gráficamente, es la pendiente de la curva (en la zona elástica)
- Físicamente, representa la rigidez del material

Coeficiente de Poisson



Si pensamos en una pieza en 3D, a la cual le aplicamos una carga axial (de tracción o compresión), resulta intuitivo imaginarse que no solo habrá una deformación en el eje de la fuerza, sino también en las restantes 2D.

La forma en la que se deforma en las direcciones NO cargadas, con respecto a la dirección cargada, depende de cada material y se especifican a partir del ***coeficiente de Poisson (v).***

Si definimos la deformación unitaria en cada dirección como:

$$\varepsilon_x = \Delta L_x / L_{0x}$$
$$\varepsilon_y = \Delta L_y / L_{0y}$$
$$\varepsilon_z = \Delta L_z / L_{0z}$$

El coeficiente de Poisson queda definido como:
(Válida solamente en la zona elástica lineal)

- Generalmente: $0.25<v<0.35$
- Siempre: es menor a 0.5

$$\boxed{\nu = \left|\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}\right| = \left|\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x}\right|}$$

Ley de Hooke generalizada

El "problema" con la ley presentada anteriormente es que es válida solamente en el caso particular de carga uniaxial (ensayo de tracción donde $\sigma_y = 0$ y/o $\sigma_z = 0$).
Sin embargo, existen casos en los que partes de estructuras se encuentran sometidos a estados de carga biaxiales ($\sigma_y \neq 0$ y/o $\sigma_z \neq 0$).

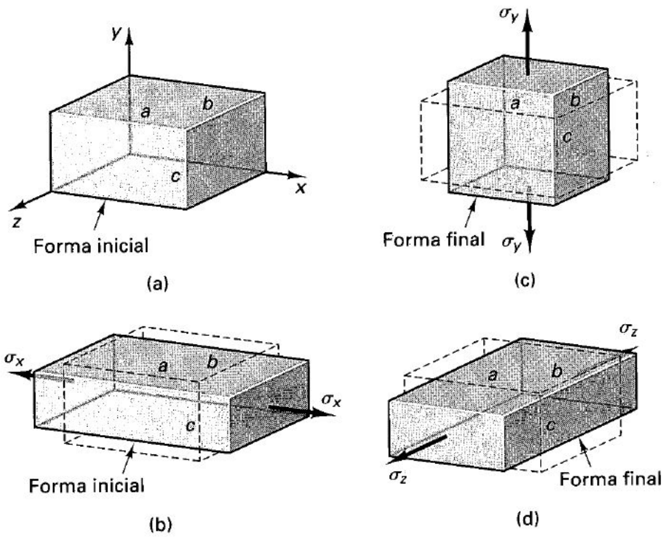
Aquí es donde entra en juego la ***Ley de Hooke generalizada***, puesto que son un conjunto de 3 ecuaciones que permiten relacionar las tensiones normales con las deformaciones en las 3 direcciones, para un sistema de ejes cartesianos.

Ley de Hooke generalizada

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu\left(\frac{\sigma_y}{E} + \frac{\sigma_z}{E}\right)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \nu\left(\frac{\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_z}{E}\right)$$

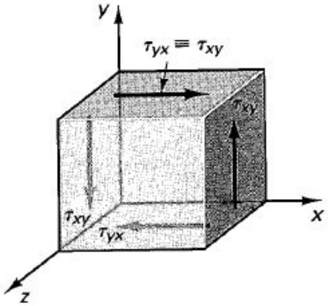
$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} - \nu\left(\frac{\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_y}{E}\right)$$

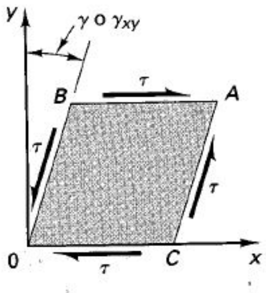


Deformaciones de un elemento diferencial por esfuerzos normales en las 3 direcciones.
Mecánica de sólidos deformables - E. Popov

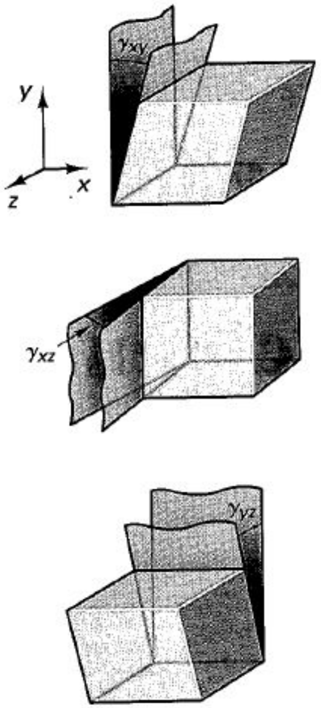
Relación Esfuerzo-Deformación (Cortante)

Además de las deformaciones normales que vimos anteriormente, una pieza puede experimentar otro tipo de deformaciones, que llamaremos angulares, cuando se encuentra sometida a esfuerzos cortantes.





Si pensamos en un elemento diferencial, sometido solamente a esfuerzos cortantes, podemos observar que el mismo no se "estira" sino que se "distorsiona".
Para estos casos, la variable deformación será la ***deformación angular (ɣ)*** y definirá el grado de distorsión angular del elemento.



Posibles deformaciones angulares
Mecánica de sólidos deformables, E. Popov

Ley de Hooke - Módulo de elasticidad al corte

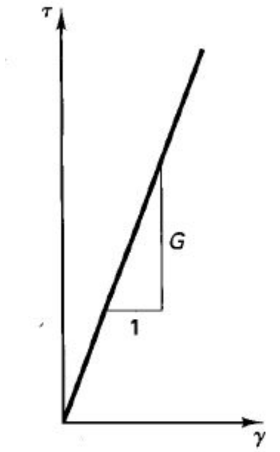
Análogamente a la relación esfuerzo deformación para el ensayo a tracción, existe una para relacionar el esfuerzo cortante (τ) y la deformación angular (ɣ).

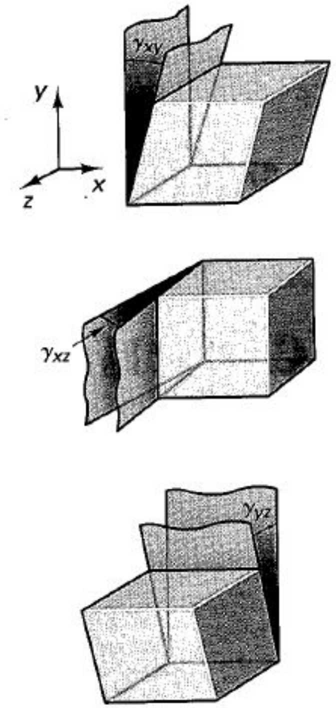
Nuevamente, en innumerables casos nos encontramos con que la relación que presentan ambas magnitudes es lineal, y por lo tanto se define una nueva Ley de Hooke, cuya constante de proporcionalidad es ***G***, y se conoce como ***Módulo de elasticidad al corte***:

Ley de Hooke $\boxed{\tau = G\gamma}$

Módulo de elasticidad al corte (G):

- Es una propiedad del material cuyas unidades son (MPa, ksi,...)
- Gráficamente, es la pendiente de la curva (en la zona elástica)
- Físicamente, representa la rigidez al corte del material





Posibles deformaciones angulares

Mecánica de sólidos deformables, E. Popov

Ley de Hooke

Si consideramos entonces todos los efectos posibles sobre un elemento diferencial, el conjunto de ecuaciones que nos describe el comportamiento del sólido deformable frente a cualquier esfuerzo es el siguiente:

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu\left(\frac{\sigma_y}{E} + \frac{\sigma_z}{E}\right)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \nu\left(\frac{\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_z}{E}\right)$$

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} - \nu\left(\frac{\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_y}{E}\right)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}$$

$$\gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G}$$