COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MATERIALES

Teoría de Fallas

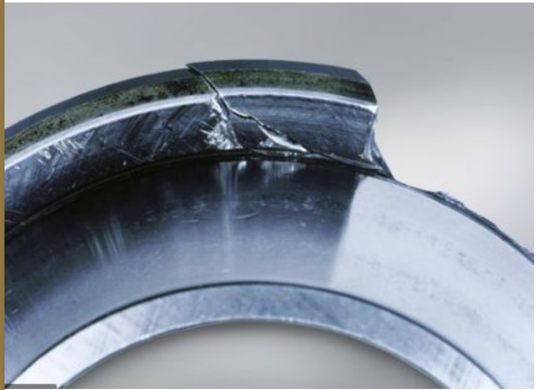
Año 2023

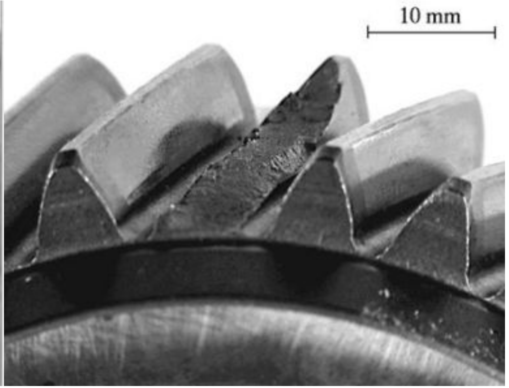
ANEP
ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE EDUCACIÓN PÚBLICA
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY
IIMPI
INSTITUTO DE INGENIERIA MECANICA Y PRODUCCION INDUSTRIAL

Introducción

La teoría de fallas, es poner en formulaciones matemáticas, un concepto con el que todos estamos familiarizados (falla) y la experiencia empírica recabada al cabo de años de experimentación y observación.

A pesar de que al mencionar la palabra falla, lo primero que se nos viene a la mente es la ruptura, aquí se definirá que una pieza ***falla cuando ésta deja de cumplir de forma óptima la función para la cual fue diseñada.***





Clasificación

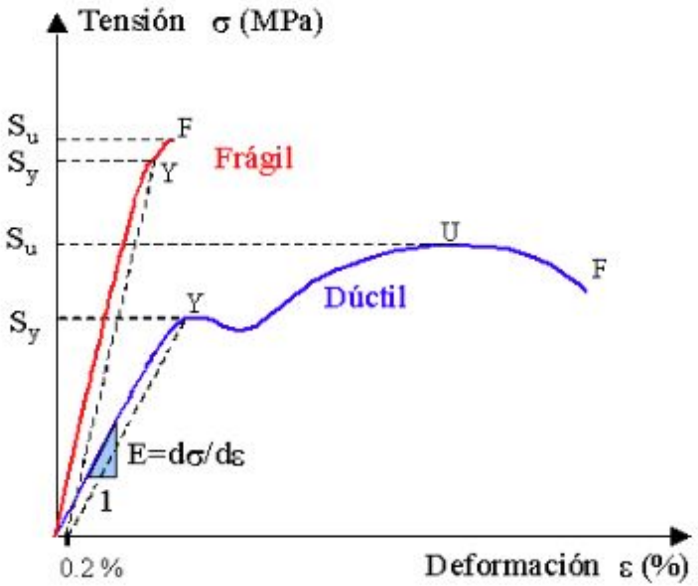
Existen muchos tipos de fallas y aún más criterios para diseñar y/o evaluar una pieza con respecto a su falla.
Sin embargo, hay un consenso en que existen las fallas se pueden clasificar en:

1- Estáticas ---> 1.1- Materiales Dúctiles (Admiten deformación si romperse)
---> 1.2- Materiales Frágiles (Casi no admiten deformación antes de la ruptura)

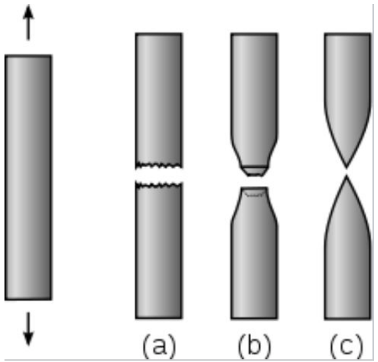
2- Dinámicas ---> 2.1- Impacto (Cargas repentinas) (No se da en este curso)
---> 2.2- Fatiga (Ciclos de cargas) (No se da en este curso)

Materiales dúctiles

Para poder comparar si un material resiste determinadas cargas, es necesario definir contra que parámetro (propiedad mecánica) se compararán las cargas ejercidas.
Para el caso de los materiales dúctiles, como ya vimos en carga axial, el ensayo a tracción de una pieza provoca principalmente 3 fases en la pieza, deformación elástica, fluencia y de deformación plástica (o permanente).

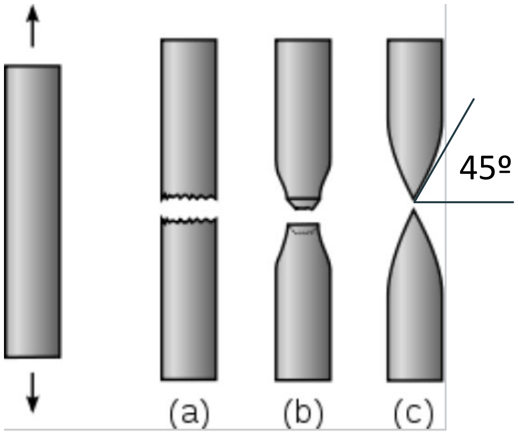


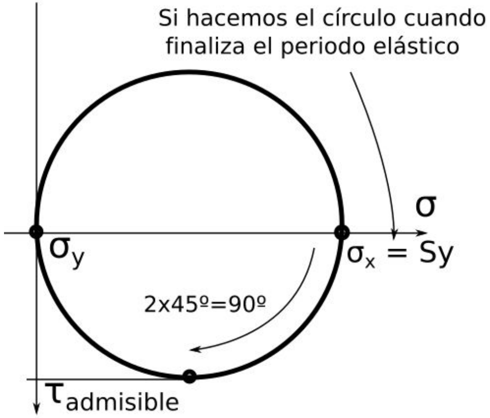
Como por lo general, en ingeniería no se admiten deformaciones permanentes porque la pieza perdería su forma, el parámetro con el que se compararán las cargas será la resistencia a la fluencia en la tracción (S_Y)

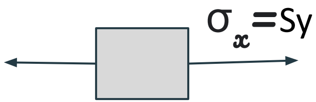


Materiales dúctiles (Tresca)

En 1773 Coulomb propuso la idea de que las piezas dúctiles fallan por el esfuerzo cortante, sin embargo, en 1868 ***Tresca*** presentó un trabajo sobre metales sometidos a grandes presiones, en el cual basado en observaciones noto que las piezas sometidas a tracción siempre rompían con un ángulo cercano a 45º.







Entonces:

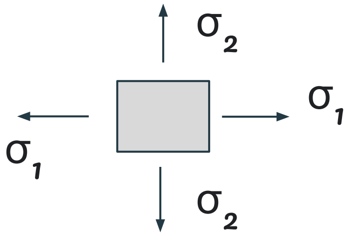
$T_{max} < T_{admisible}$ /2 $\qquad T_{admisible} = \sigma_x/2 = S_Y$

$\rightarrow T_{max} < S_Y/2$

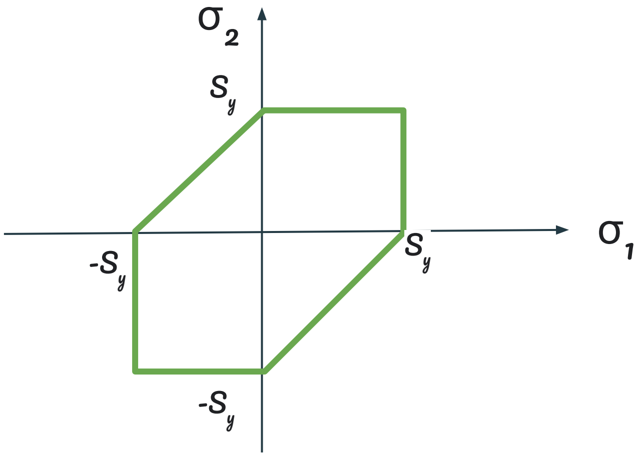
=> El esfuerzo cortante máximo al que está sometida la pieza tiene que ser siempre menor a $S_Y/2$

Materiales dúctiles (Tresca)

=> El esfuerzo cortante máximo al que está sometida la pieza tiene que ser siempre menor a $S_Y/2$

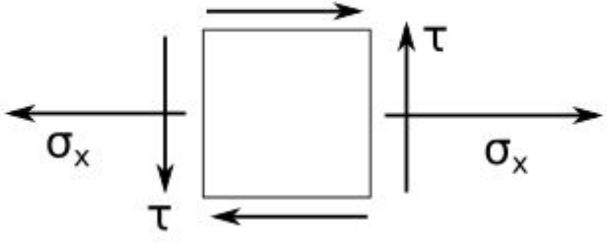


ESPACIO DE SODERBERG

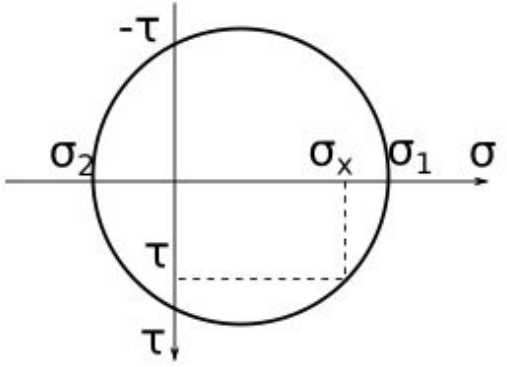


Materiales dúctiles (Von Mises)

Von Mises propone que las piezas fallan cuando se alcanza una máxima energía de distorsión.



$$S_y < \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

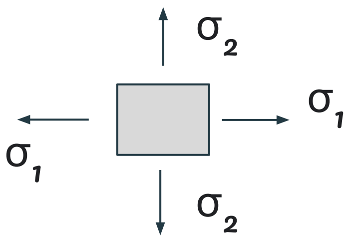


Cómo trabajamos en estado plano de tensiones (asumiendo que el esfuerzo principal que vale 0 es el σ_3):

$$S_y < \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \sigma_2^2 + \sigma_1^2}{2}}$$

Materiales dúctiles (Von Mises)

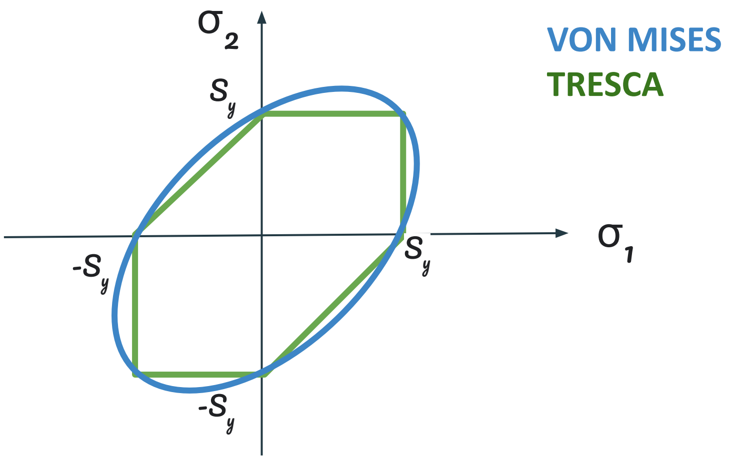
Von Mises propone que las piezas fallan cuando se alcanza una máxima energía de distorsión.



Estado plano de tensiones

$$S_y < \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \sigma_2^2 + \sigma_1^2}{2}}$$

ESPACIO DE SODERBERG



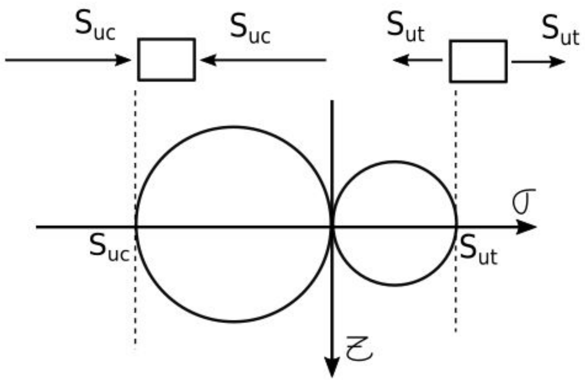
Materiales Frágiles (Rankine)

Sut: Resistencia última a la tracción

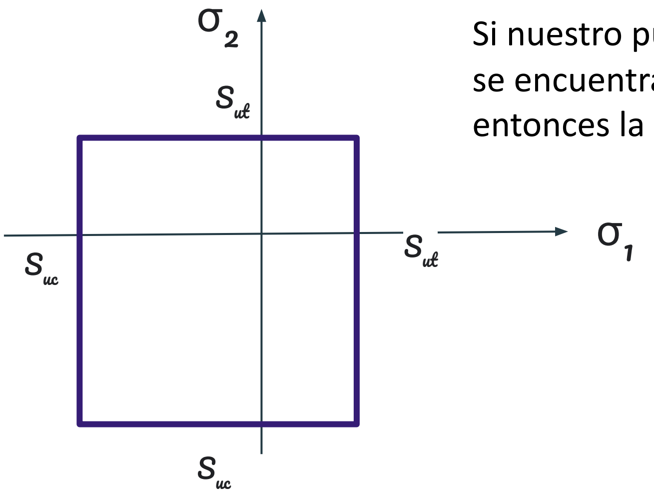
Suc: Resistencia última a la compresión

Teoría del esfuerzo normal máximo

En el momento de la falla
Un material frágil soporta hasta:
- Suc a compresión
- Sut a tracción



ESPACIO DE SODERBERG



Si nuestro punto (σ_1 ; σ_2)
se encuentra dentro del rectangulo
entonces la teoría dice que no falla.

Materiales Frágiles

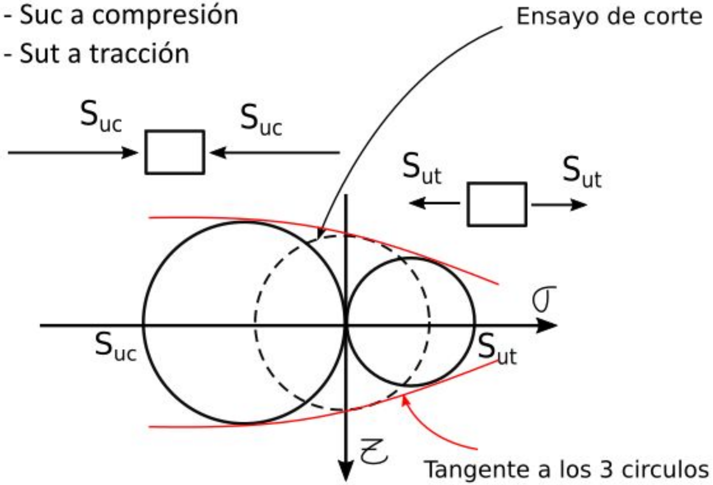
Sut: Resistencia última a la tracción

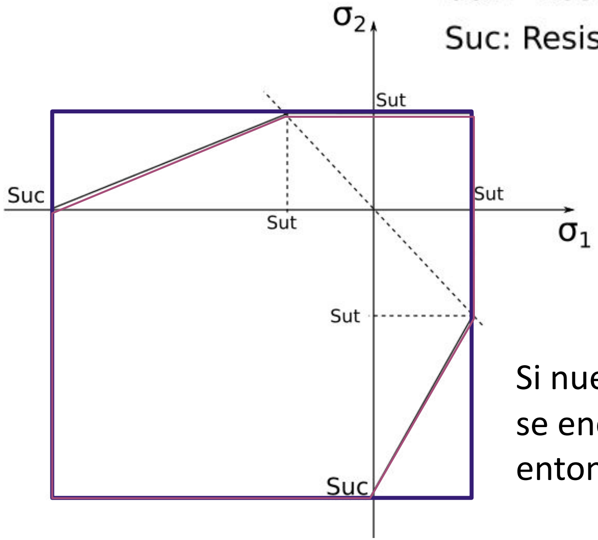
Suc: Resistencia última a la compresión

Mohr modificado

En el momento de la falla
Un material frágil soporta hasta:

- Suc a compresión
- Sut a tracción





Mohr modificado
Rankine

Si nuestro punto (σ_1 ; σ_2)
se encuentra dentro del polígono
entonces la teoría dice que no falla.

$$
\begin{cases}
si \quad \sigma_1 > 0 \;\; y \;\; \sigma_2 > 0 & \Rightarrow \; mayor\{\sigma_1;\; \sigma_2\} < S_{ut} \\
si \quad \sigma_1 > 0 \;\; y \;\; \sigma_2 < 0 \;\; y \;\; |\sigma_1| > |\sigma_2| & \Rightarrow \sigma_1 < S_{ut} \\
si \quad \sigma_1 > 0 \;\; y \;\; \sigma_2 < 0 \;\; y \;\; |\sigma_1| < |\sigma_2| & \Rightarrow \sigma_1 \dfrac{S_{uc} - S_{ut}}{S_{uc} S_{ut}} - \dfrac{\sigma_2}{Suc} < 1 \\
si \quad \sigma_1 < 0 \;\; y \;\; \sigma_2 < 0 & \Rightarrow \; mayor\{|\sigma_1|;\; |\sigma_2|\} < S_{uc} \\
si \quad \sigma_1 < 0 \;\; y \;\; \sigma_2 > 0 \;\; y \;\; |\sigma_1| > |\sigma_2| & \Rightarrow \sigma_2 \dfrac{S_{uc} - S_{ut}}{S_{uc} S_{ut}} - \dfrac{\sigma_1}{Suc} < 1 \\
si \quad \sigma_1 < 0 \;\; y \;\; \sigma_2 > 0 \;\; y \;\; |\sigma_1| < |\sigma_2| & \Rightarrow \sigma_2 < S_{ut}
\end{cases}
$$

Factor de seguridad

El caso práctico más común en este tema, es el del ascensor. Es decir, un ingeniero diseña un ascensor para 4 personas o 320Kg.

Obviamente, es de sentido común que el ingeniero que diseñó dicho cable, lo habrá hecho para una carga bastante mayor, es decir que el cable está sobredimensionado, de lo contrario habrían centenares de accidentes todos los años, porque rara vez se utiliza el ascensor con la carga estipulada.

La “holgura” que tienen los sistemas sobre sus requerimientos estipulados, se conoce como FACTOR DE SEGURIDAD.

No se puede abusar del concepto de “cubrirse”, pues el dimensionamiento cuesta recursos y llevado al caso extremo, un avión con FS elevadísimos en todas sus piezas no podría volar debido a su peso excesivo.

Factor de seguridad

El factor de seguridad (FS) en cargas estáticas relaciona: el esfuerzo estático debido a la carga proyectada (o carga en servicio) y el esfuerzo que resiste estáticamente el material (resistencia del material).

Factor de seguridad: FS = Carga que soporta / Carga de servicio
Factor de diseño: FD = Carga que soporta / Carga de diseño

Matemáticamente son lo mismo. Físicamente, uno se usa cuando se diseña, y el otro cuando la pieza está en funcionamiento.

La selección de un valor apropiado para el FS se basa principalmente en los cinco factores siguientes:

1. Grado de incertidumbre de la carga
2. Grado de incertidumbre de la resistencia del material
3. Incertidumbres en relación con las cargas aplicadas con respecto a la resistencia del material. (Validez de hipótesis y modelo teórico usado)
4. Consecuencias de la falla, seguridad humana y económica.
5. Costo de un FS elevado (Debido al dimensionamiento)

Factor de seguridad

Un punto clave en la selección del FS es llegar a un equilibrio. Las partes que implican posibilidad de daño humano o grandes costos económicos deben de tener factores de seguridad altos.

Listado de recomendaciones según el Prof. Joseph Vidosic:

1. *N*= 1.25 a 1.5 para materiales excepcionalmente confiables que se usan bajo condiciones controladas y sujetos a cargas y esfuerzos que puede determinarse con certeza; usados en forma casi invariable donde el bajo peso es una consideración particularmente importante.
2. *N* = 1.5 a 2 para materiales bien conocidos, bajo condiciones razonablemente constantes del ambiente, sujetos a cargas y esfuerzos que pueden determinarse fácilmente.
3. *N* = 2 a *2.5* para materiales promedio que operan en ambientes comunes y sujetos a cargas y esfuerzos que pueden determinarse.
4. *N* = 2.5 a 3 para materiales frágiles o para los que no han sido examinados bajo condiciones promedio del ambiente, carga y esfuerzo.
5. *N* = 3 a 4 para materiales que no se han examinado y que se han usado bajo condiciones promedio de ambiente, carga y esfuerzo.
6. *N* = 3 a 4 debe usarse también con materiales mejor conocidos que se usarán en medios inciertos o estarán sometidos a esfuerzos indeterminados.
7. Cargas repetidas: los factores establecidos en los puntos 1 a 6 son aceptables, pero se deben aplicar a *la resistencia a la fatiga* y no a la resistencia a la fluencia.

Forma de uso del FS y/o FD

En ambos casos: el uso de un factor de diseño cuando se proyecta una pieza, o la determinación del Factor de seguridad con el que trabaja una pieza en servicio, va a depender del criterio de falla utilizado.
El uso de diferentes criterios, para los mismos casos con mismos FD, resultarán en diferentes dimensionamientos.
Mientras que el uso de diferentes criterios, para los mismos casos y cargas en servicio, resultarán en diferentes FS.

Para diseñar, simplemente se debe disminuir la resistencia del material en la ecuación correspondiente al criterio (sustituyendo la desigualdad por una igualdad), dividiéndolo por el FD.

[Por ejemplo - Tresca: $\tau_{max} < S_Y/2 \longrightarrow \tau_{max} = S_Y/(2.FD)$]

Para evaluar, se debe cambiar la desigualdad de la ecuación del criterio a utilizar por una igualdad y nuevamente dividir la resistencia del material por un FS que se va a determinar.

[Por ejemplo - Tresca: $\tau_{max} < S_Y/2 \longrightarrow FS = S_Y/(2.\tau_{max})$]