

UdeSantiago
de Chile



DISEÑO MECÁNICO

INGENIERÍA EJECUCIÓN MECÁNICA

TEORÍAS DE FALLAS ESTÁTICAS

INTRODUCCIÓN

¿POR QUÉ FALLAN LAS PIEZAS?

En general, podríamos decir que: “las piezas fallan porque sus esfuerzos exceden su resistencia”, pero **¿Qué clases de esfuerzos causan la falla? ¿Tensión?**

¿Compresión? ¿Cortante?

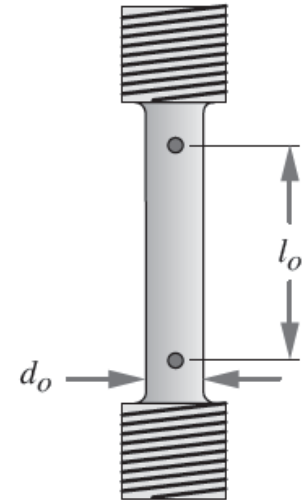
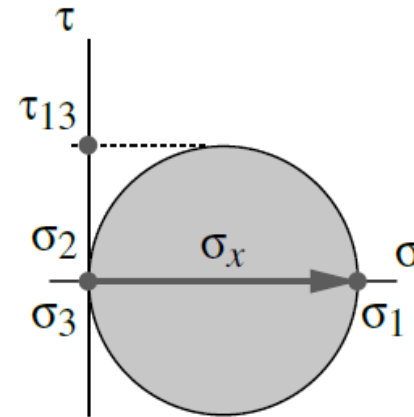
A lo que podríamos contestar: “depende del material en cuestión y de sus resistencias relativas a la compresión, a la tensión y al cortante. También depende del tipo de carga (ya sea estática o dinámica), y de la presencia o ausencia de grietas en el material”.

INTRODUCCIÓN

¿POR QUÉ FALLAN LAS PIEZAS?

La figura ilustra el círculo de Mohr para el estado de esfuerzos en una muestra de prueba a la **tensión**.

El círculo de Mohr muestra que también se presenta un **esfuerzo cortante**, el cual es exactamente la mitad de la magnitud del **esfuerzo normal**. ¿Cuál esfuerzo hace fallar a la pieza, el esfuerzo normal o el esfuerzo cortante?

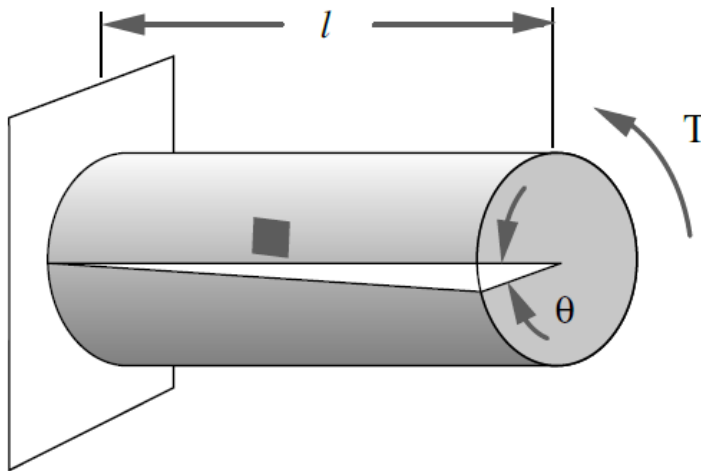
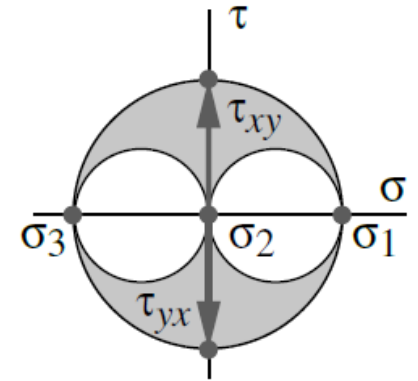


INTRODUCCIÓN

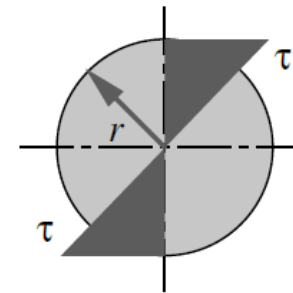
¿POR QUÉ FALLAN LAS PIEZAS?

La figura ilustra el círculo de Mohr del estado de esfuerzos en una muestra de prueba a la **torsión**.

El círculo de Mohr muestra que también se presenta un **esfuerzo normal**, el cual es exactamente igual al **esfuerzo cortante**. ¿Cuál esfuerzo hace fallar la pieza, el esfuerzo normal o el esfuerzo cortante?



(a) Deflexión θ



(b) Distribución del esfuerzo cortante τ

INTRODUCCIÓN

MATERIALES: DÚCTILES/FRÁGILES

En general, los materiales dúctiles e isotrópicos con cargas estáticas de tensión están limitados por sus resistencias al cortante; mientras que los materiales frágiles están limitados por sus resistencias a la tensión.

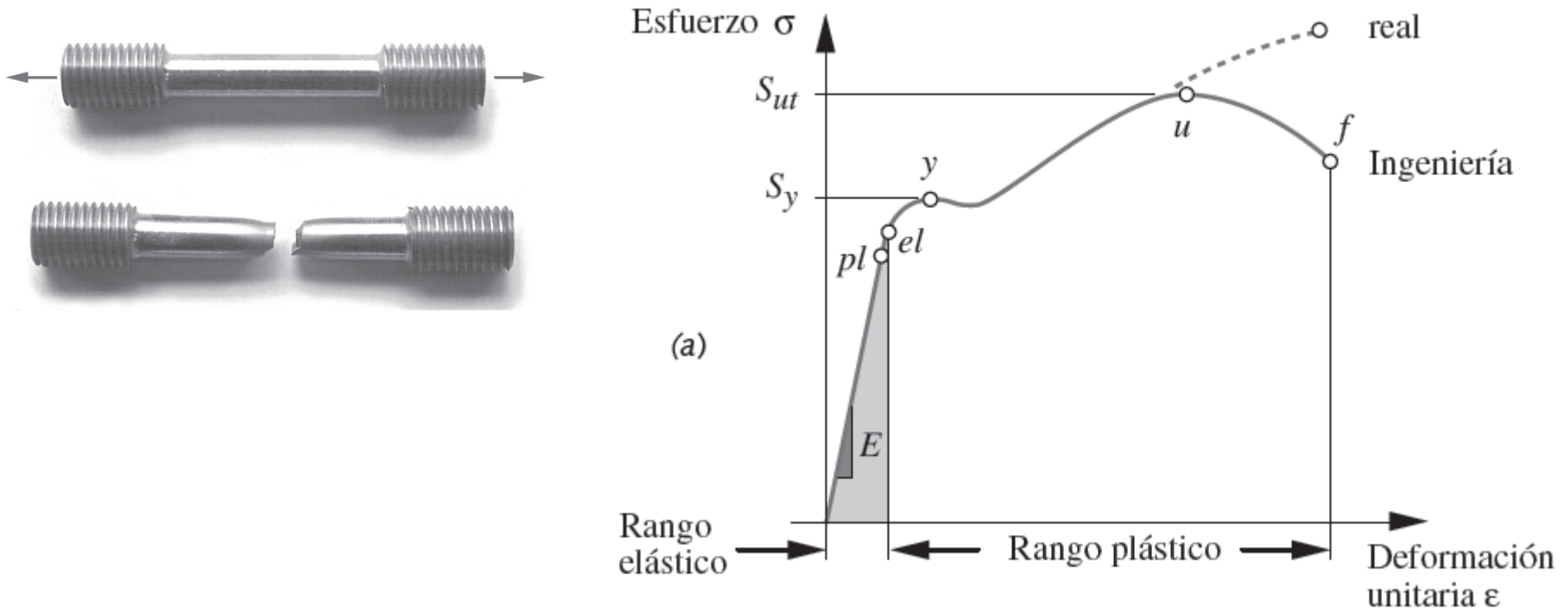
Esta situación provoca que existan teorías de falla diferentes para las dos clases de materiales, dúctiles y frágiles.

La **ductilidad** se define de varias maneras, la más común de las cuales la define en función del porcentaje de elongación en la fractura del material que, si es $> 5\%$, se considera dúctil. La mayoría de los metales dúctiles tienen elongaciones en la fractura $> 10\%$.

INTRODUCCIÓN

MATERIALES: DÚCTILES/FRÁGILES

Prueba de tensión de una muestra de acero dúctil, antes y después de la fractura.

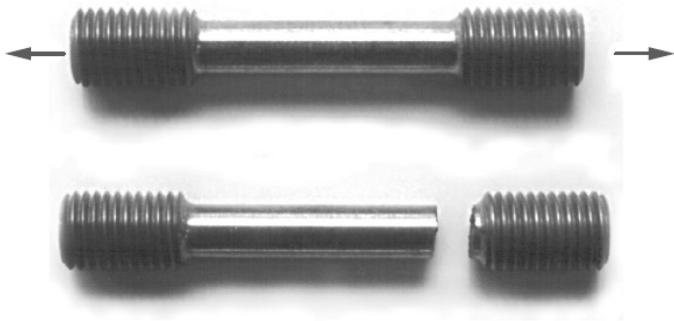


La presencia de una región plástica significativa en la curva de esfuerzo-deformación unitaria es evidencia de ductilidad.

INTRODUCCIÓN

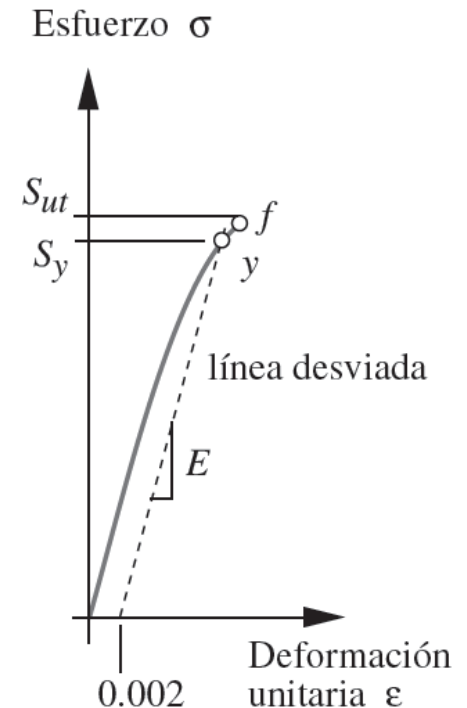
MATERIALES: DÚCTILES/FRÁGILES

Prueba de tensión de una muestra de hierro frágil, antes y después de la fractura.



Observe la falta de un punto de fluencia claramente definido y la ausencia de un rango plástico antes de la fractura.

La resistencia a la fluencia debe definirse en el cruce entre la curva de esfuerzo-deformación unitaria y una línea de corrimiento, paralela a la curva elástica, desplazada un pequeño porcentaje, por ejemplo del 0.2%, a lo largo del eje de deformación unitaria.



INTRODUCCIÓN

CARGAS: ESTÁTICAS/DINÁMICAS

Otro factor relevante en las fallas es el tipo de carga, ya sea estática o dinámica.

- Las cargas estáticas se aplican lentamente y, en esencia, permanecen constantes en el tiempo.
- Las cargas dinámicas se aplican repentinamente (cargas de impacto) o con variaciones cíclicas en el tiempo (cargas de fatiga), o ambas.

Los mecanismos de falla son muy diferentes en cada caso, y debido a las grandes diferencias en los mecanismos de falla bajo cargas estáticas y dinámicas, se considerarán por separado.

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

Si bien los materiales dúctiles se fracturan si se esfuerzan estáticamente más allá de su resistencia última a la tensión, por lo general se considera que fallan como piezas de una máquina cuando **ceden** bajo una carga estática, es decir, sobrepasan la resistencia a la fluencia (en un material dúctil es mucho menor que su resistencia última).

A pesar de que existen varias teorías para explicar esta falla, estudiaremos únicamente dos, puesto que están estrechamente de acuerdo con los datos experimentales:

- Teoría de la Energía de Distorsión (ED).
- Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo (ECM).
- Teoría de Mohr-Coulomb Dúctiles (CMD).
- Teoría de Esfuerzo Normal Máximo (ENM).

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

TEORÍA DE VON MISES-HENCKY O DE ENERGÍA DE DISTORSIÓN.

Ahora se sabe que el mecanismo de fluencia microscópico se debe al deslizamiento relativo de los átomos del material dentro de su estructura de entramado. Este deslizamiento es causado por un esfuerzo cortante y está acompañado por la distorsión de la forma de la pieza. La **energía almacenada en la pieza por esta distorsión** es un indicador de la magnitud del esfuerzo cortante presente.

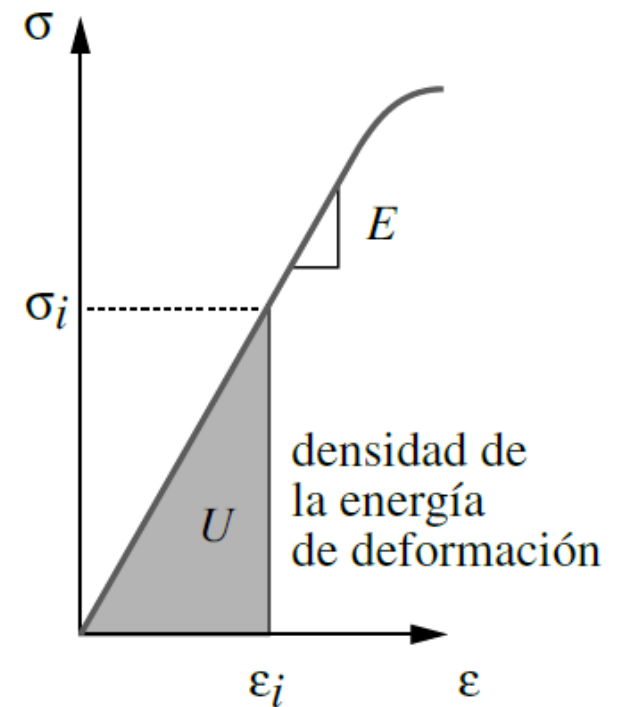
FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

ENERGÍA TOTAL DE DEFORMACIÓN

La energía de deformación U en una unidad de volumen (densidad de la energía de deformación) asociada con cualquier esfuerzo es el área bajo la curva de esfuerzo-deformación unitaria, hasta el punto donde se aplica el esfuerzo.

$$U = \frac{1}{2} \sigma \varepsilon$$



Obs: Alguna vez se pensó que la energía de deformación total almacenada en el material era la causa de la falla por fluencia; sin embargo, la evidencia experimental no avaló dicha propuesta.

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

ENERGÍA TOTAL DE DEFORMACIÓN

$$U = \frac{1}{2}(\sigma_1 \varepsilon_1 + \sigma_2 \varepsilon_2 + \sigma_3 \varepsilon_3)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \nu \sigma_2 - \nu \sigma_3)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E}(\sigma_2 - \nu \sigma_1 - \nu \sigma_3)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E}(\sigma_3 - \nu \sigma_1 - \nu \sigma_2)$$

$$U = \frac{1}{2E} \left[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_1 \sigma_3) \right]$$

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

CARGA HIDROSTÁTICA

En los materiales se pueden almacenar cantidades muy grandes de energía de deformación sin que fallen, cuando están cargados hidrostáticamente para crear **esfuerzos uniformes en todas direcciones**.

Muchos **experimentos** han demostrado que los materiales se pueden someter a esfuerzos **hidrostáticos** sin que fallen, a niveles más allá de sus resistencias últimas a la compresión; esto solamente reduce el volumen de la muestra **sin cambiar su forma**.

Los esfuerzos uniformes en todas direcciones, si bien crean un cambio en el volumen y las energías de deformación potencialmente grandes, no causan distorsión en la pieza y, por lo tanto, **no hay esfuerzo cortante**.

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

COMPONENTES DE LA ENERGÍA DE DEFORMACIÓN

Se puede considerar que la energía de deformación total en una pieza cargada tiene dos componentes: una **debida a la carga hidrostática** que cambia su volumen, y otra **debida a la distorsión** que cambia su forma.

Si se separan las dos componentes, la energía de distorsión dará una medida del esfuerzo cortante presente.

Podemos escribir entonces la energía de deformación como la suma de dos componentes:

$$U = U_h + U_d$$

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

ENERGÍA TOTAL DE DEFORMACIÓN: COMPONENTE VOLUMÉTRICA

$$\sigma_1 = \sigma_h + \sigma_{1_d}$$

$$\sigma_2 = \sigma_h + \sigma_{2_d}$$

$$\sigma_3 = \sigma_h + \sigma_{3_d}$$

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_h + \sigma_{1_d} + \sigma_h + \sigma_{2_d} + \sigma_h + \sigma_{3_d}$$

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 3\sigma_h + (\sigma_{1_d} + \sigma_{2_d} + \sigma_{3_d})$$

$$3\sigma_h = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 - (\sigma_{1_d} + \sigma_{2_d} + \sigma_{3_d})$$

$$\sigma_h = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

ENERGÍA TOTAL DE DEFORMACIÓN: COMPONENTE VOLUMÉTRICA

$$U_h = \frac{1}{2E} \left[\sigma_h^2 + \sigma_h^2 + \sigma_h^2 - 2\nu(\sigma_h\sigma_h + \sigma_h\sigma_h + \sigma_h\sigma_h) \right]$$

$$= \frac{1}{2E} \left[3\sigma_h^2 - 2\nu(3\sigma_h^2) \right]$$

$$U_h = \frac{3}{2} \frac{(1-2\nu)}{E} \sigma_h^2$$

$$U_h = \frac{3}{2} \frac{(1-2\nu)}{E} \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \right)^2$$

$$= \frac{1-2\nu}{6E} \left[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + 2(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3) \right]$$

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

ENERGÍA TOTAL DE DEFORMACIÓN: COMPONENTE DISTORSION

$$\begin{aligned}U_d &= U - U_h \\&= \left\{ \frac{1}{2E} \left[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3) \right] \right\} \\&\quad - \left\{ \frac{1-2\nu}{6E} \left[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + 2(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3) \right] \right\} \\U_d &= \frac{1+\nu}{3E} \left[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3 \right]\end{aligned}$$

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

CRITERIO DE FALLA

$$U_d = \frac{1+\nu}{3E} S_y^2$$

$$\frac{1+\nu}{3E} S_y^2 = U_d = \frac{1+\nu}{3E} \left[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3 \right]$$

$$S_y^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3$$

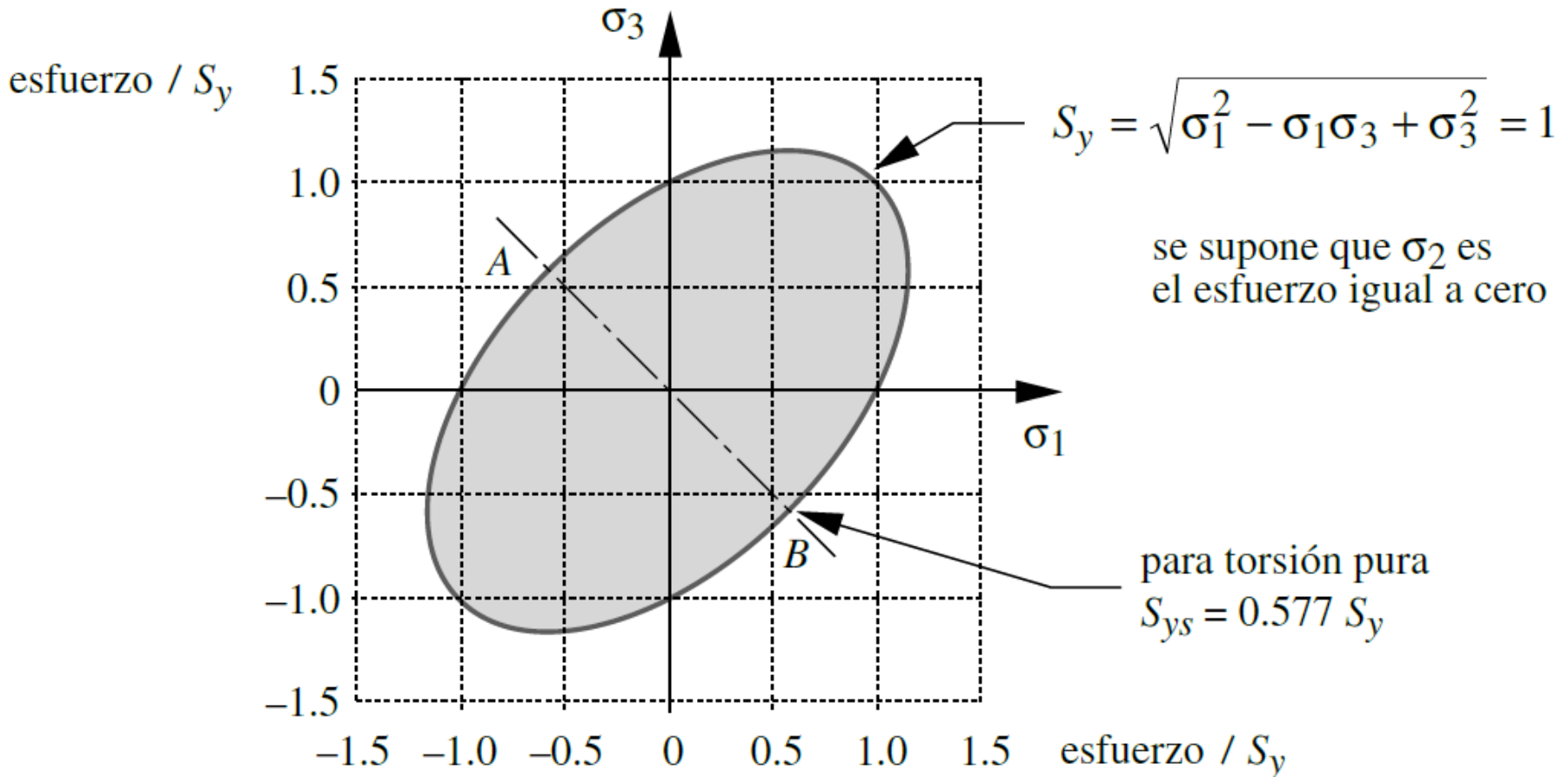
$$S_y = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3}$$

$$S_y = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_3 + \sigma_3^2}$$

FALLAS CARGA ESTÁTICA

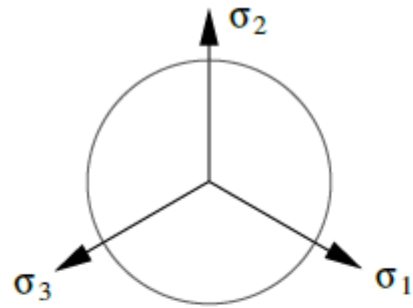
MATERIAL DÚCTIL

La ecuación bidimensional de la energía de distorsión describe una elipse. El interior de esta elipse define la región segura contra la fluencia bajo carga estática, para los esfuerzos biaxiales combinados.

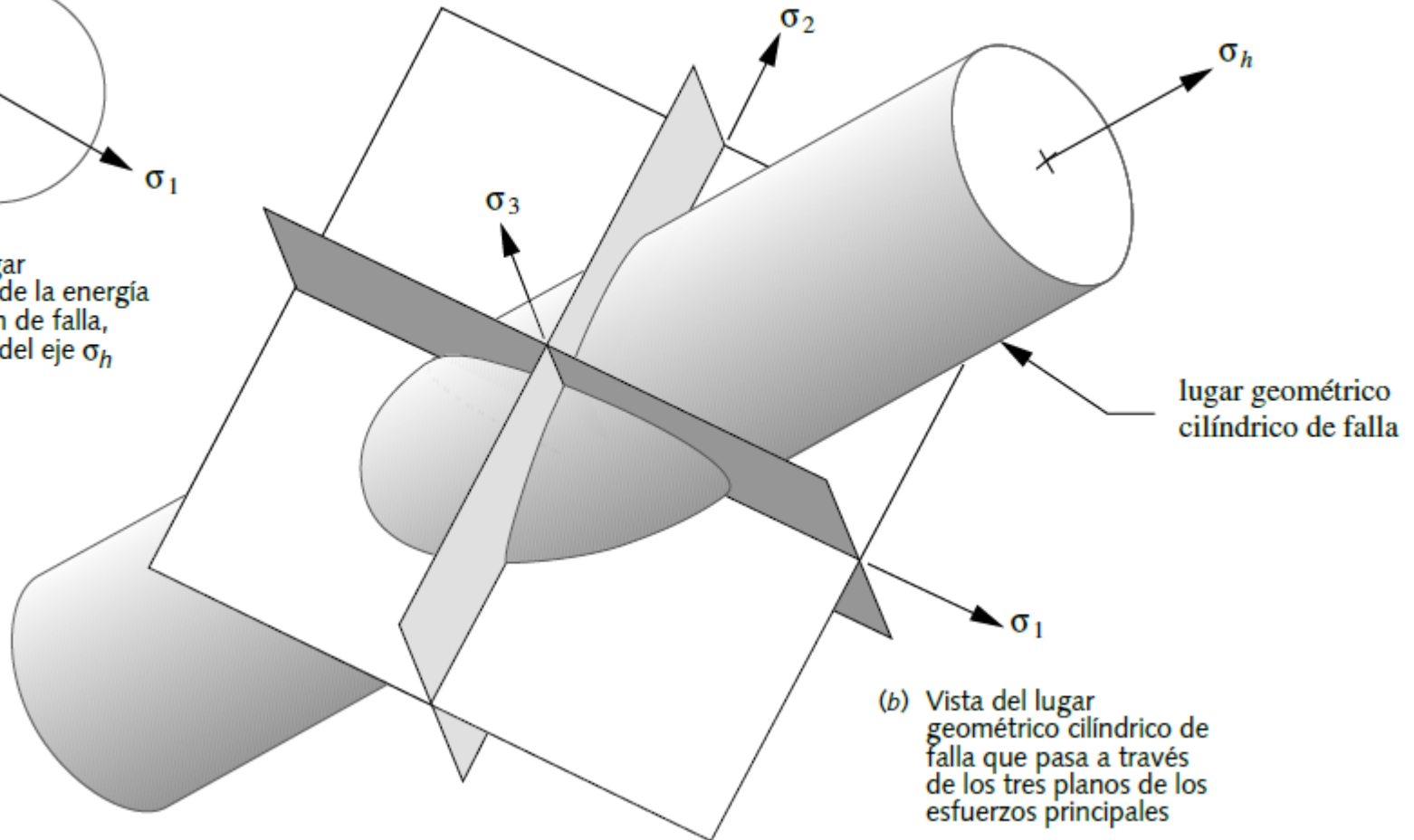


FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL



(a) Vista del lugar geométrico de la energía de distorsión de falla, hacia abajo del eje σ_h



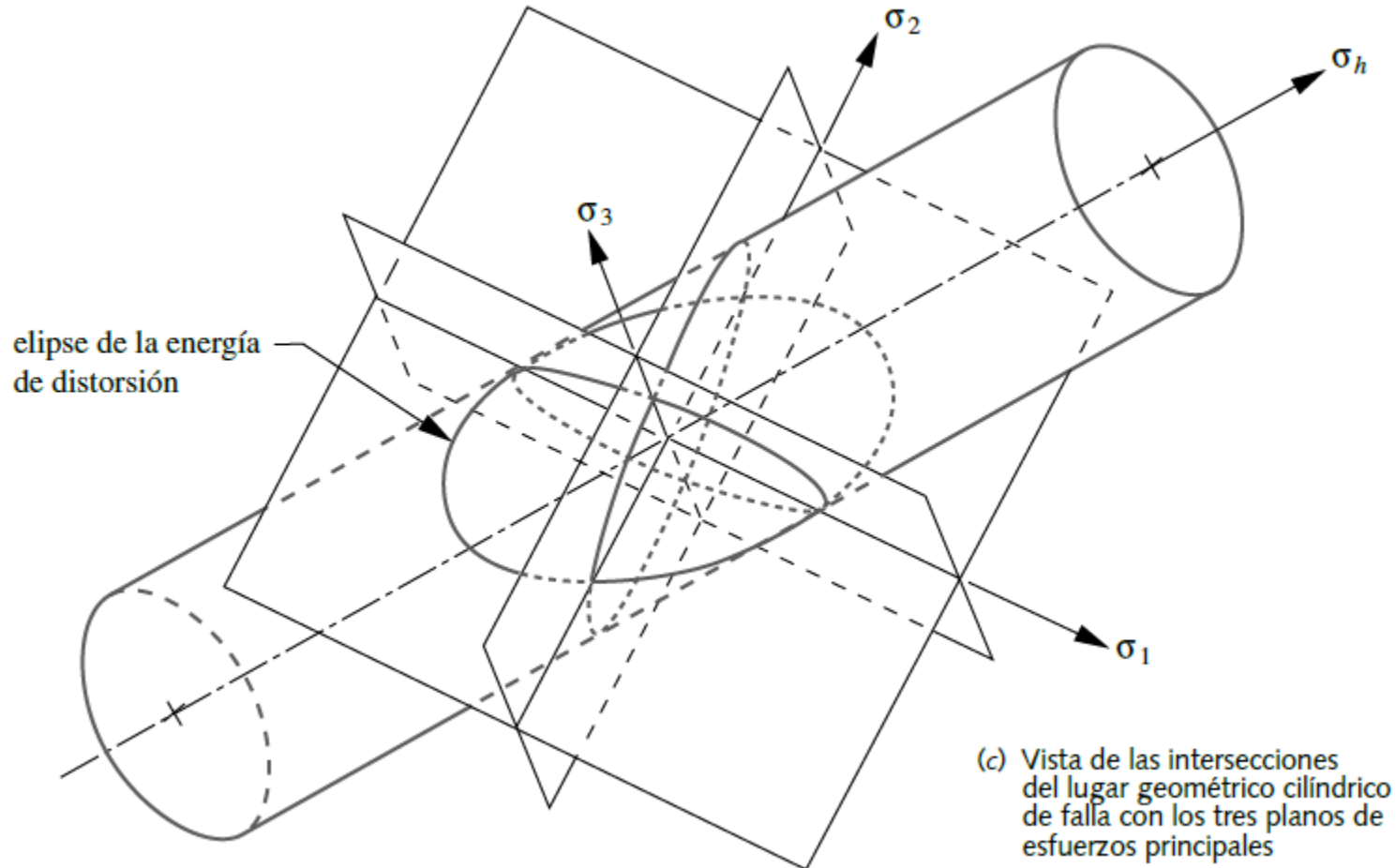
(b) Vista del lugar geométrico cilíndrico de falla que pasa a través de los tres planos de los esfuerzos principales

La ecuación de la energía de distorsión tridimensional describe un cilindro circular, inclinado en relación con los ejes (σ_1 , σ_2 , σ_3) con cada uno de sus tres ángulos de Euler a 45° .

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

El interior de este cilindro define la región segura contra la fluencia para los esfuerzos combinados ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$).



Las intersecciones del cilindro con cada uno de los tres planos principales son elipses

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

ESFUERZO EFECTIVO DE VON MISES

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3}$$

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_3 + \sigma_3^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

FACTOR DE SEGURIDAD

$$N = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$\frac{S_y}{N} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3}$$

$$\frac{S_y}{N} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_3 + \sigma_3^2}$$

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

CORTANTE PURO

$$S_y^2 = \sigma_1^2 + \sigma_1 \sigma_1 + \sigma_1^2 = 3\sigma_1^2 = 3\tau_{máx}^2$$

$$\sigma_1 = \frac{S_y}{\sqrt{3}} = 0.577 S_y = \tau_{máx}$$

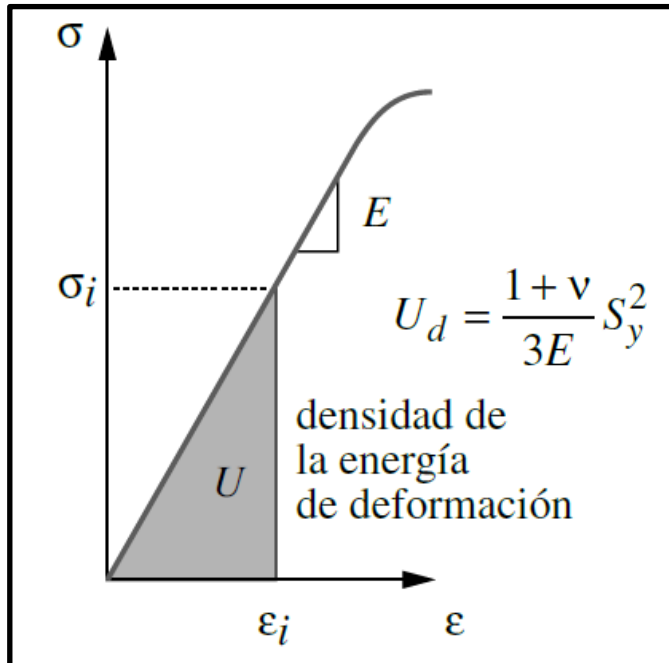
$$S_{ys} = 0.577 S_y$$

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

TEORÍA ENERGÍA TOTAL DE DEFORMACIÓN (ED)

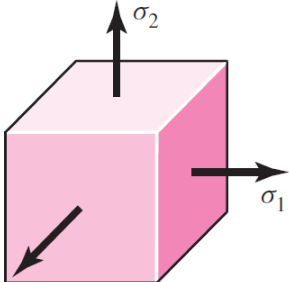
La teoría de la energía de distorsión dice que la falla ocurre cuando la energía de distorsión (por unidad de volumen) para un estado general de esfuerzos alcanza o excede la energía de distorsión (por unidad de volumen) correspondiente estado de fluencia en un ensayo de tensión del mismo material.



$$U_d = \frac{1+\nu}{3E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3]$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3}$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_3 + \sigma_3^2}$$


σ_2
 σ_1
 σ_3
 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

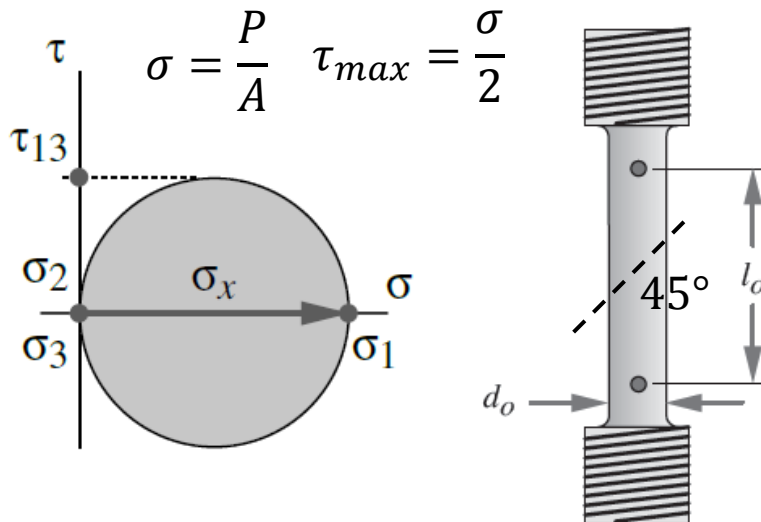
FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

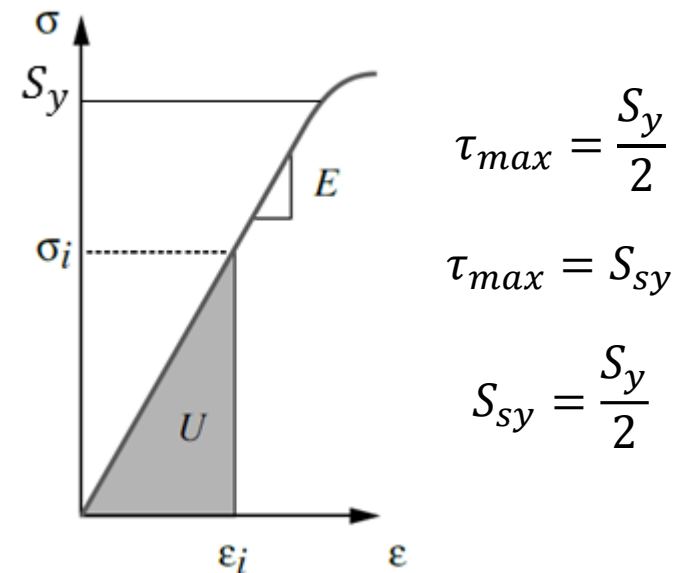
TERORÍA DE ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO (ECM)

La teoría del esfuerzo cortante máximo estipula que la fluencia comienza cuando el cortante máximo de cualquier material de cualquier elemento iguala al esfuerzo de cortante máximo en una pieza de ensayo a tensión del mismo material cuando esa pieza comienza a fluir (Teoría de Tresca o Guest).

Para un ensayo de tensión simple se tiene:



Por tanto, para el estado de fluencia:



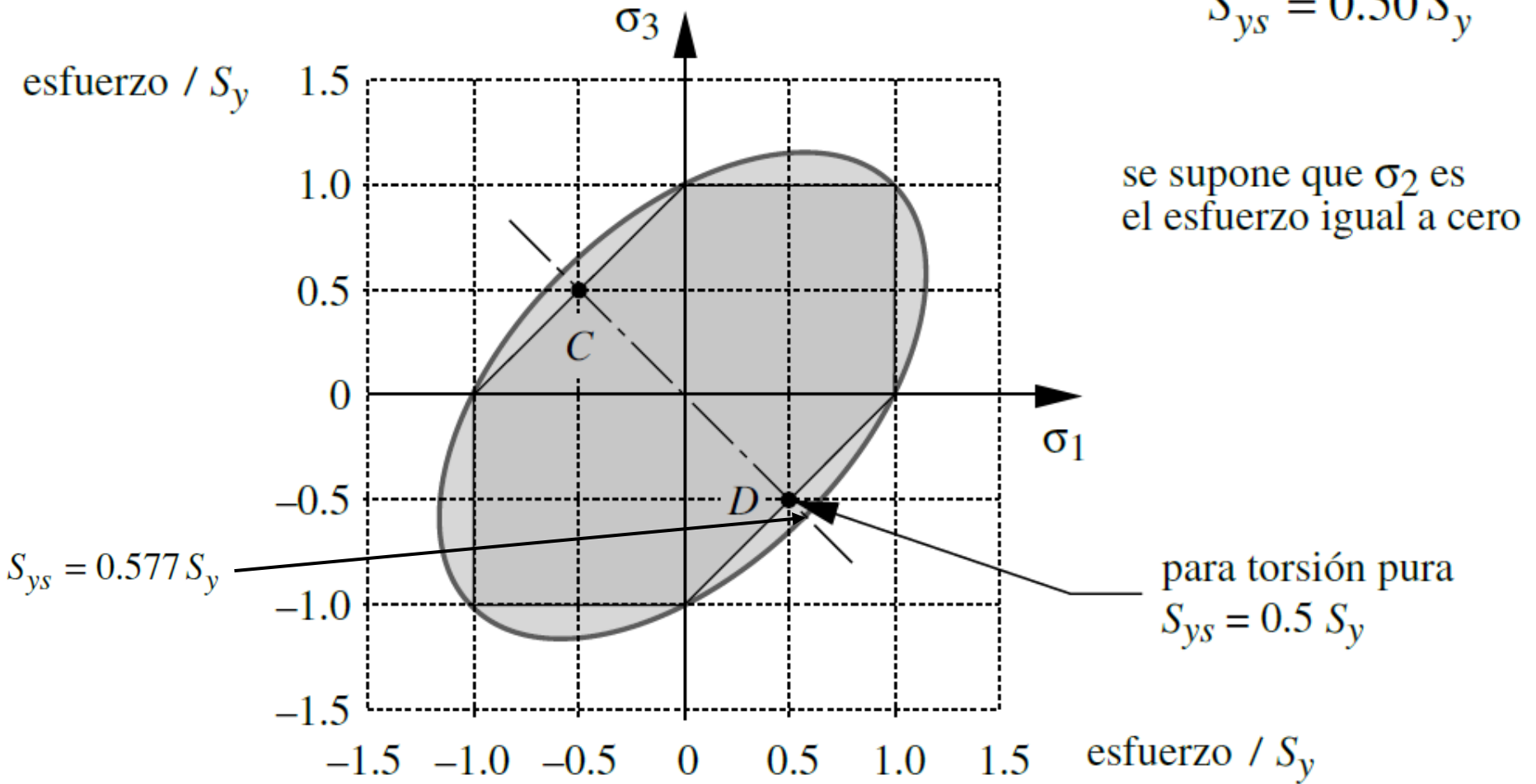
FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

TERORÍA DE ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO

Caso 2D

$$S_{ys} = 0.50 S_y$$



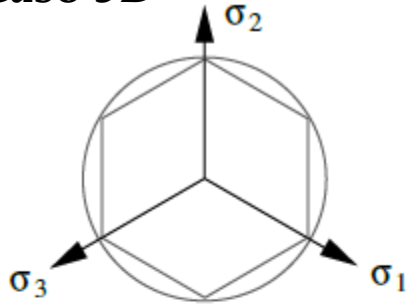
Falla hexagonal

FALLAS CARGA ESTÁTICA

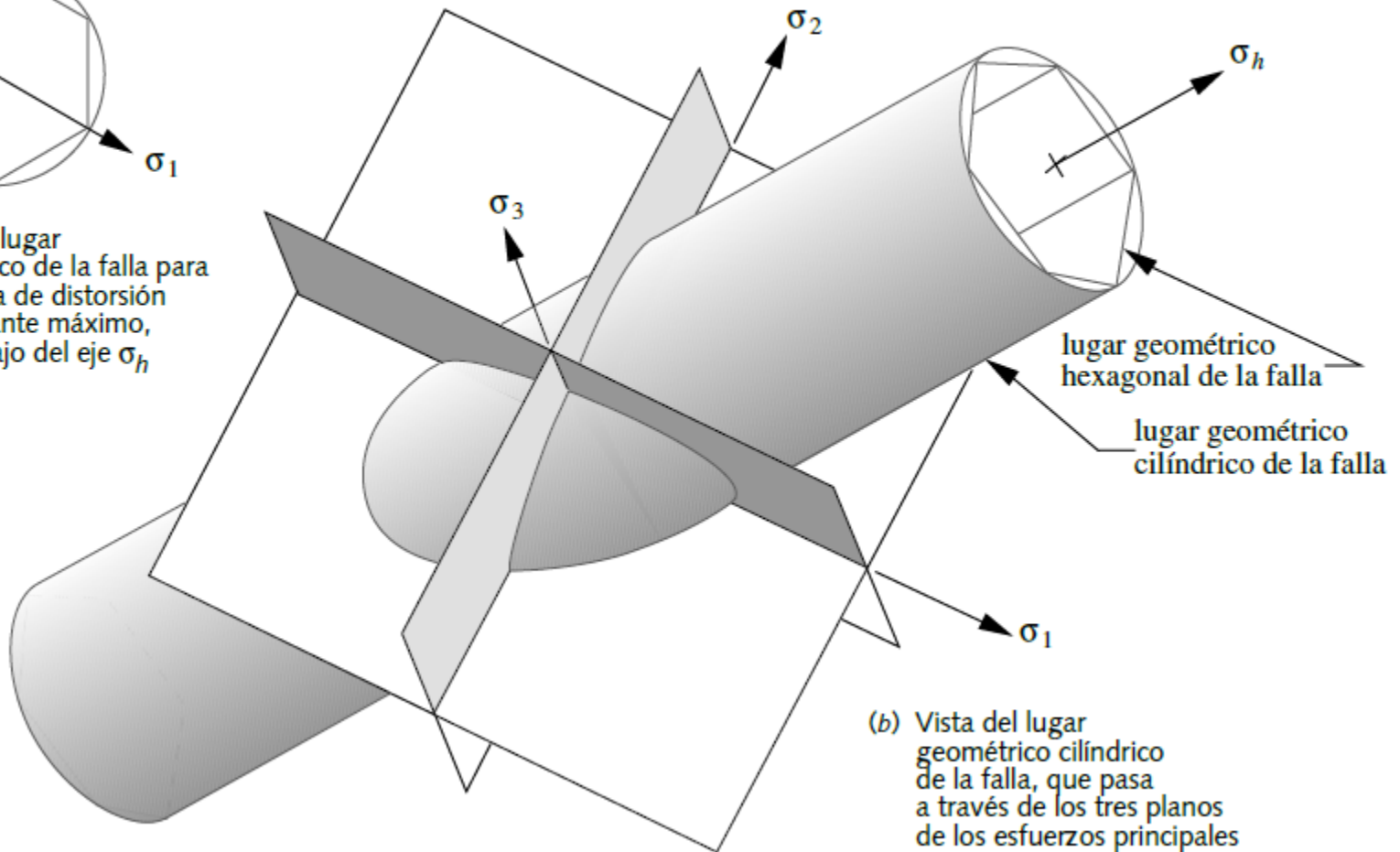
MATERIAL DÚCTIL

TERORÍA DE ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO

Caso 3D



(a) Vista del lugar geométrico de la falla para la energía de distorsión y el cortante máximo, hacia abajo del eje σ_h

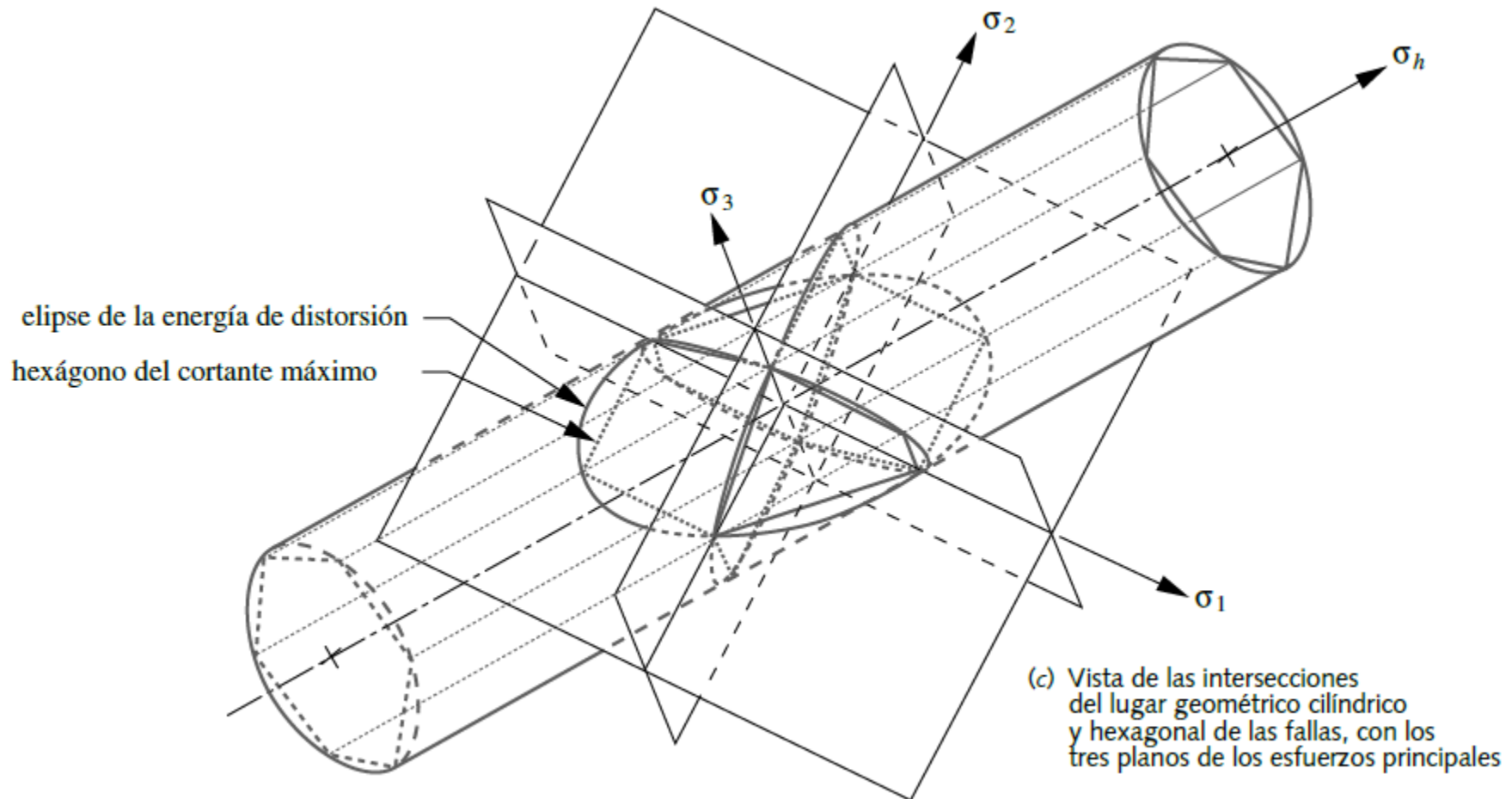


FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

TERORÍA DE ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO

Caso 3D



FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

Para aplicar esta teoría en materiales homogéneos, isotrópicos, dúctiles, con esfuerzos estáticos bidimensionales o tridimensionales, se calculan primero los tres esfuerzos normales principales σ_1 , σ_2 y σ_3 (uno de los cuales será cero para el caso bidimensional) y el esfuerzo máximo cortante, τ_{13} .

Luego se compara el esfuerzo cortante máximo con el criterio de falla:

$$S_{ys} = 0.50 S_y$$

El factor de seguridad para la teoría del esfuerzo cortante máximo es

$$N = \frac{S_{ys}}{\tau_{máx}} = \frac{0.50 S_y}{\tau_{máx}} = \frac{S_y/2}{(\sigma_1 - \sigma_3)/2} = \frac{S_y}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$$

donde $\tau_{máx}$ es el resultado mayor. Recuerde que en el caso de un esfuerzo aplicado tridimensional, quizás haya tres esfuerzos cortantes principales, el mayor de los cuales es $\tau_{máx}$.

FALLAS CARGA ESTÁTICA

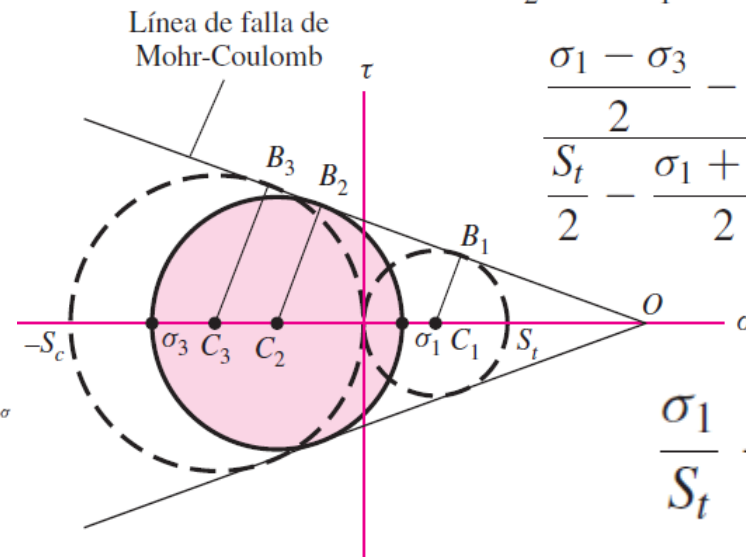
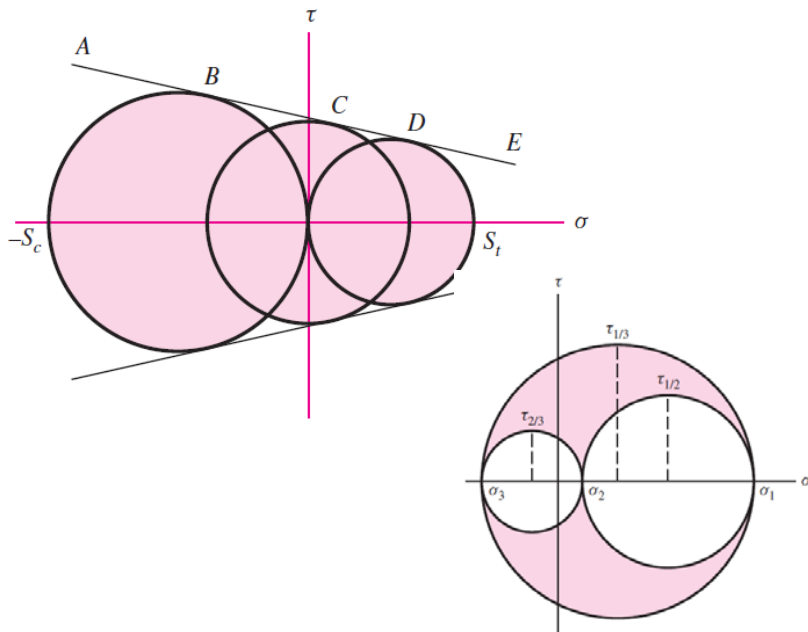
MATERIAL DÚCTIL

TEORÍA DE MORH-COULOMB

La idea de Mohr se basa en tres ensayos: tensión, compresión y cortante, a la fluencia si el material puede fluir, o a la ruptura.

La hipótesis de Mohr consistía en usar los ensayos para elaborar tres círculos, con objeto de definir una envolvente de falla.

La teoría de *Mohr-Coulomb* o *teoría de Fricción Interna* supone que la frontera BCD es una recta. Con este supuesto sólo son necesarias la resistencia a la tensión y compresión.



$$\frac{B_2C_2 - B_1C_1}{OC_2 - OC_1} = \frac{B_3C_3 - B_1C_1}{OC_3 - OC_1}$$

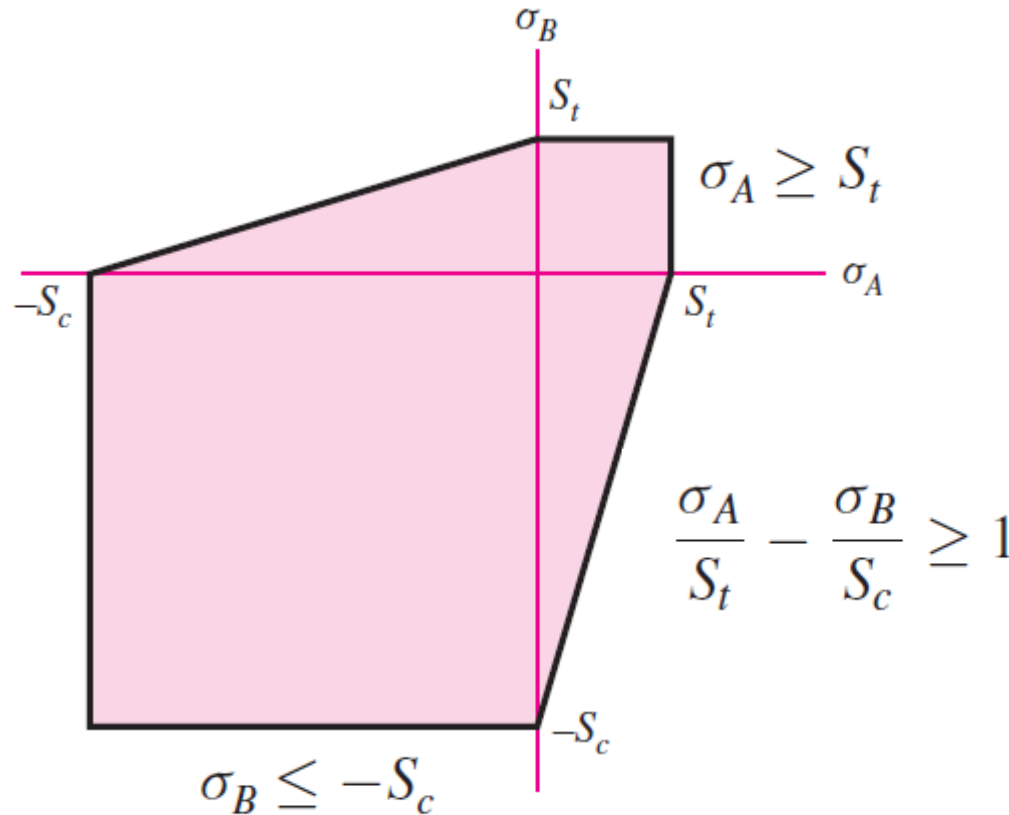
$$\frac{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} - \frac{S_t}{2}}{\frac{S_t}{2} - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}} = \frac{\frac{S_c}{2} - \frac{S_t}{2}}{\frac{S_c}{2} + \frac{S_t}{2}}$$

$$\frac{\sigma_1}{S_t} - \frac{\sigma_3}{S_c} = 1$$

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

TEORÍA DE MORH-COULOMB



Usando factor de seguridad

$$\frac{\sigma_1}{S_t} - \frac{\sigma_3}{S_c} = \frac{1}{n}$$

Caso 1: $\sigma_A \geq \sigma_B \geq 0$. Para este caso, $\sigma_1 = \sigma_A$ y $\sigma_3 = 0$.

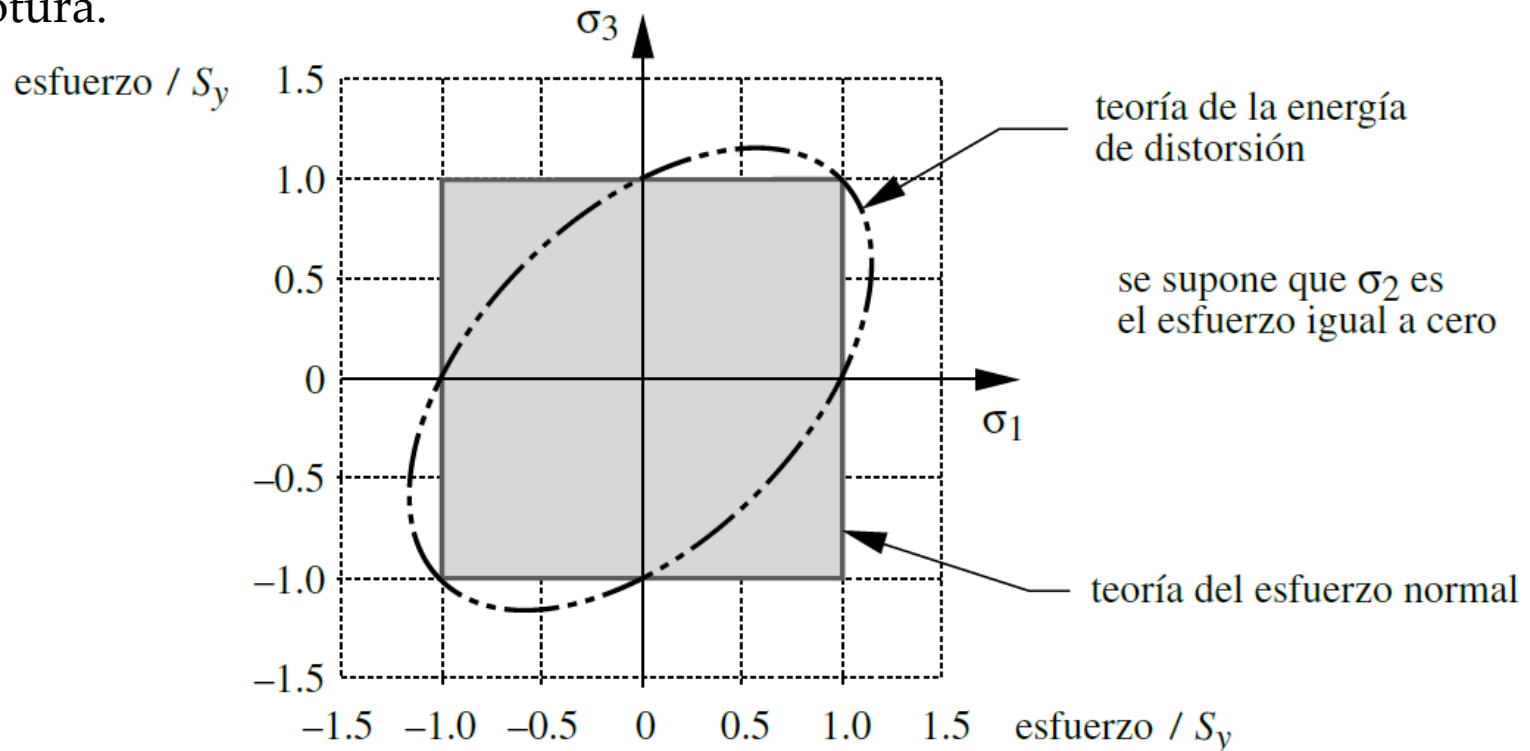
Caso 2: $\sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B$. Aquí, $\sigma_1 = \sigma_A$ y $\sigma_3 = \sigma_B$,

Caso 3: $0 \geq \sigma_A \geq \sigma_B$. Para este caso, $\sigma_1 = 0$ y $\sigma_3 = \sigma_B$,

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL/FRÁGIL

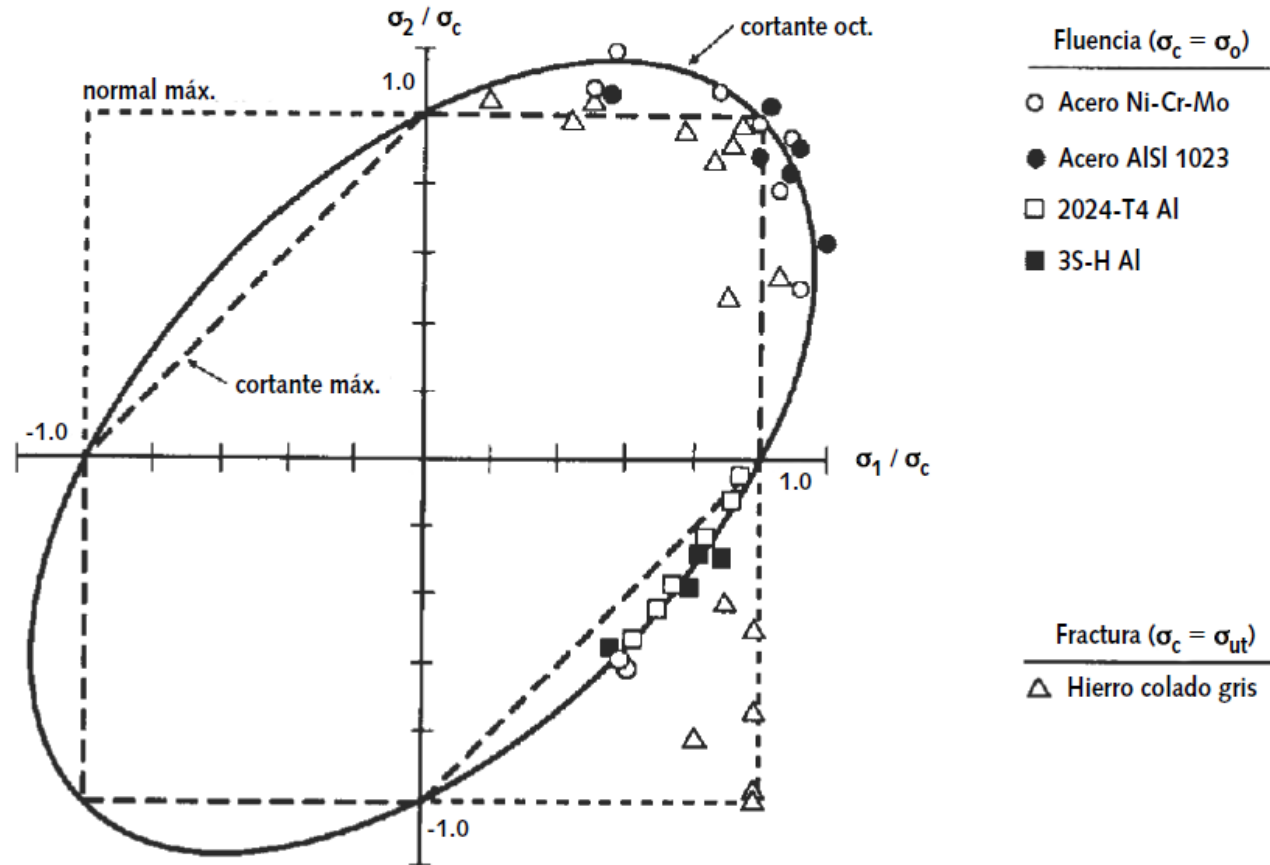
La teoría del esfuerzo normal máximo (ENM) estipula que la falla ocurre cuando uno de los tres esfuerzos principales es igual o excede la resistencia (la resistencia a la fluencia por tensión o la resistencia última a la tensión). En materiales dúctiles, la resistencia a la fluencia es el criterio que se suele emplear, en materiales frágiles la resistencia a la rotura.



FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

COMPARACIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES CON LAS TEORÍAS DE FALLAS



Datos experimentales de dos aceros dúctiles, dos aleaciones de aluminio dúctil y un hierro fundido frágil.

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL DÚCTIL

COMPARACIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES CON LAS TEORÍAS DE FALLAS

Tanto la teoría de la **energía de distorsión** como la teoría del **cortante máximo** son aceptables como criterios de falla, en el caso de carga estática en materiales homogéneos e isotrópicos dúctiles, cuyas resistencias de tensión y compresión sean de la misma magnitud.

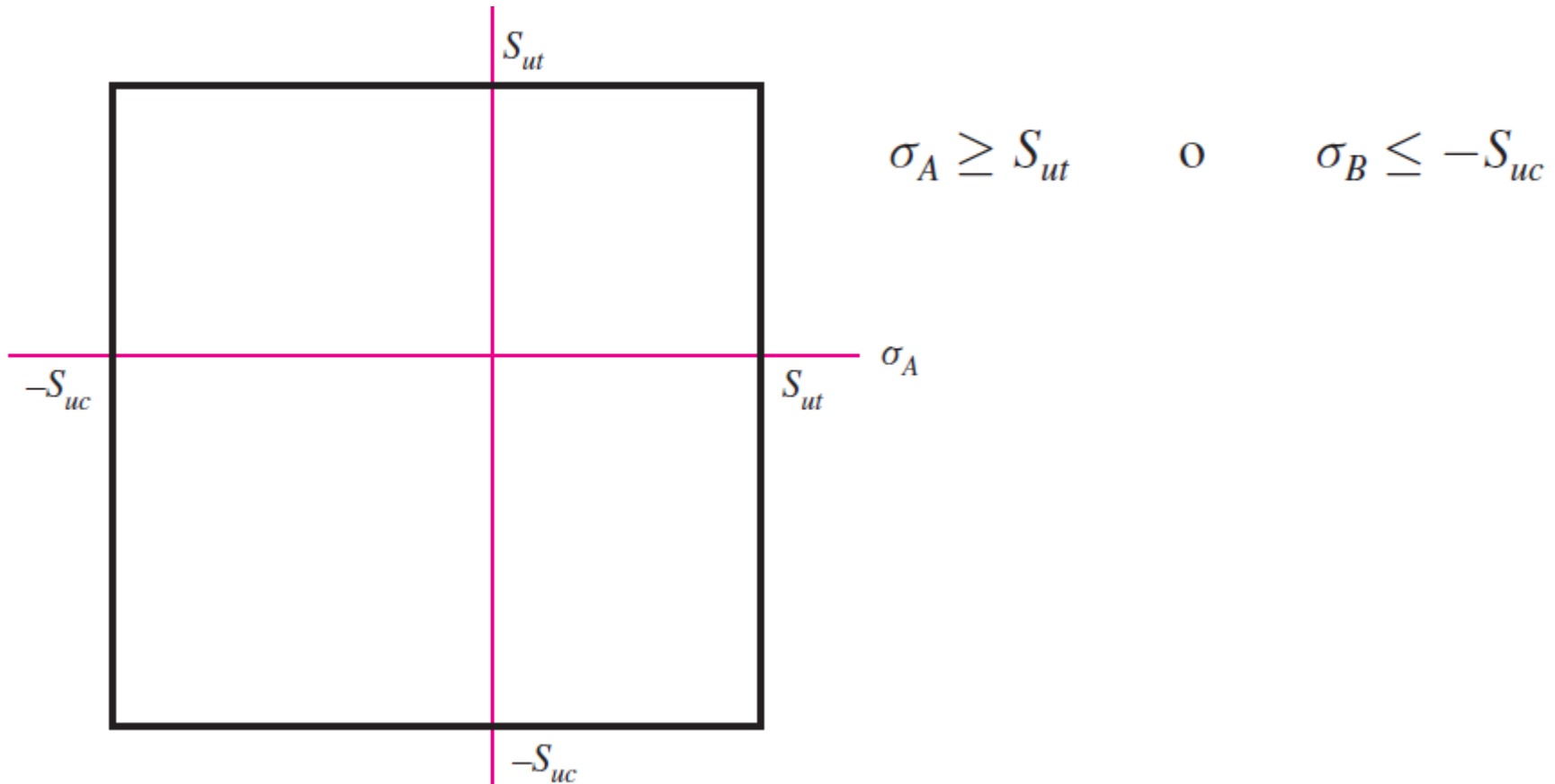
La mayoría de los metales forjados para ingeniería y algunos polímeros se encuentran en esta categoría: los llamados materiales uniformes.

Los materiales no uniformes, como los metales colados frágiles y los compuestos que no muestran estas propiedades uniformes, requieren teorías de falla más complejas.

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL FRÁGIL

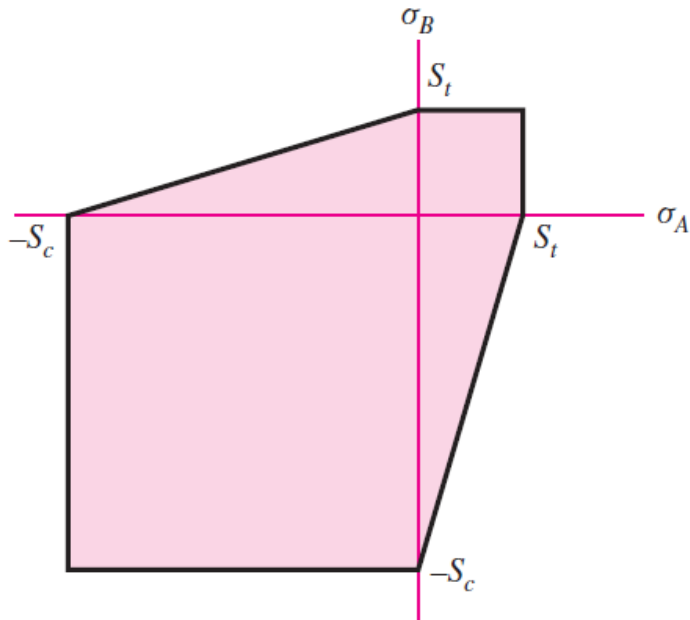
Teoría del esfuerzo normal máximo para materiales frágiles



FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL FRÁGIL

Mohr-Coulomb frágil



$$\sigma_A = \frac{S_{ut}}{n} \quad \sigma_A \geq \sigma_B \geq 0$$

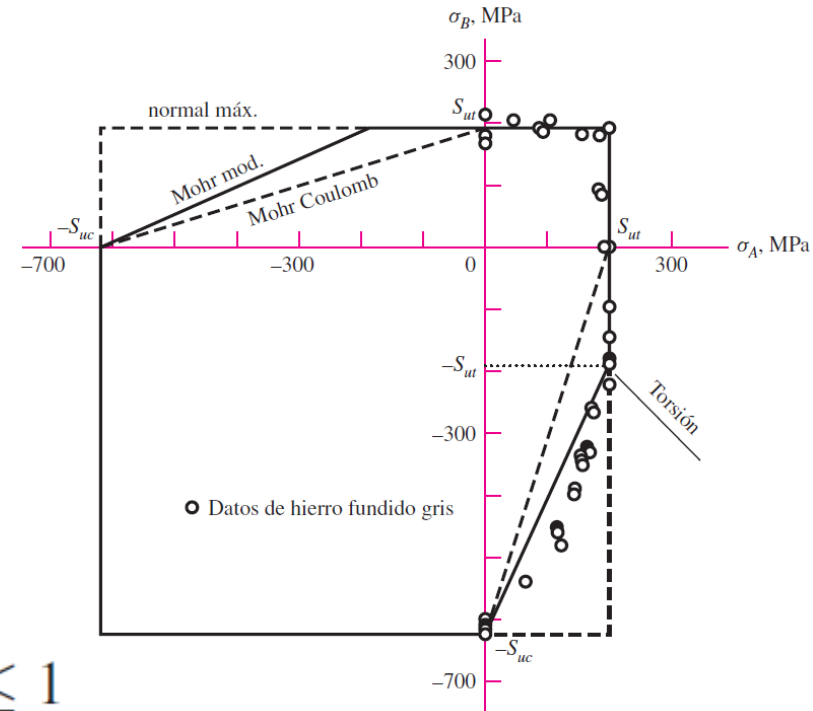
$$\frac{\sigma_A}{S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n} \quad \sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B$$

$$\sigma_B = -\frac{S_{uc}}{n} \quad 0 \geq \sigma_A \geq \sigma_B$$

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL FRÁGIL

Mohr modificada



$$\sigma_A = \frac{S_{ut}}{n} \quad \sigma_A \geq \sigma_B \geq 0$$

$$\sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B \quad y \quad \left| \frac{\sigma_B}{\sigma_A} \right| \leq 1$$

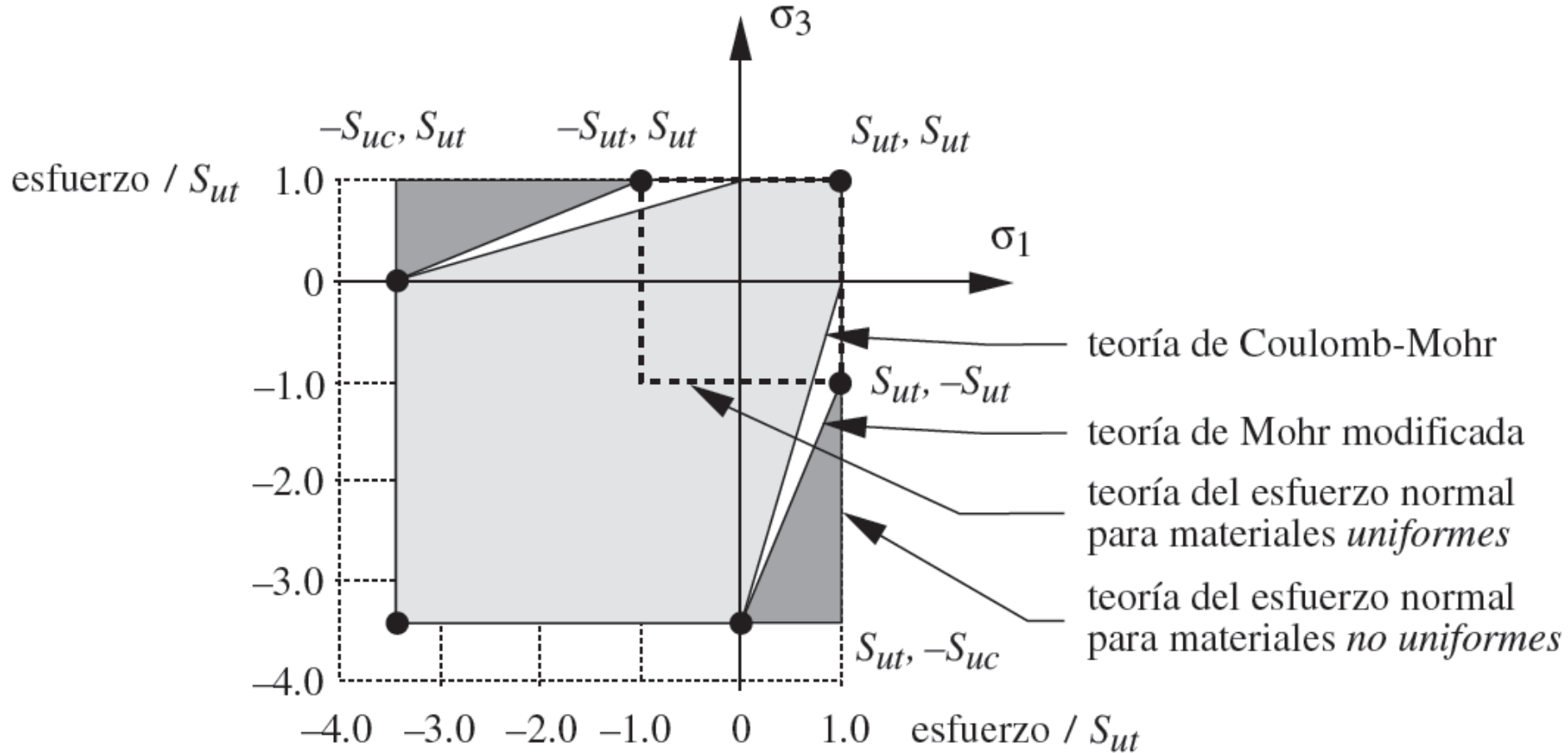
$$\frac{(S_{uc} - S_{ut}) \sigma_A}{S_{uc} S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n} \quad \sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B \quad y \quad \left| \frac{\sigma_B}{\sigma_A} \right| > 1$$

$$\sigma_B = -\frac{S_{uc}}{n} \quad 0 \geq \sigma_A \geq \sigma_B$$

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL FRÁGIL

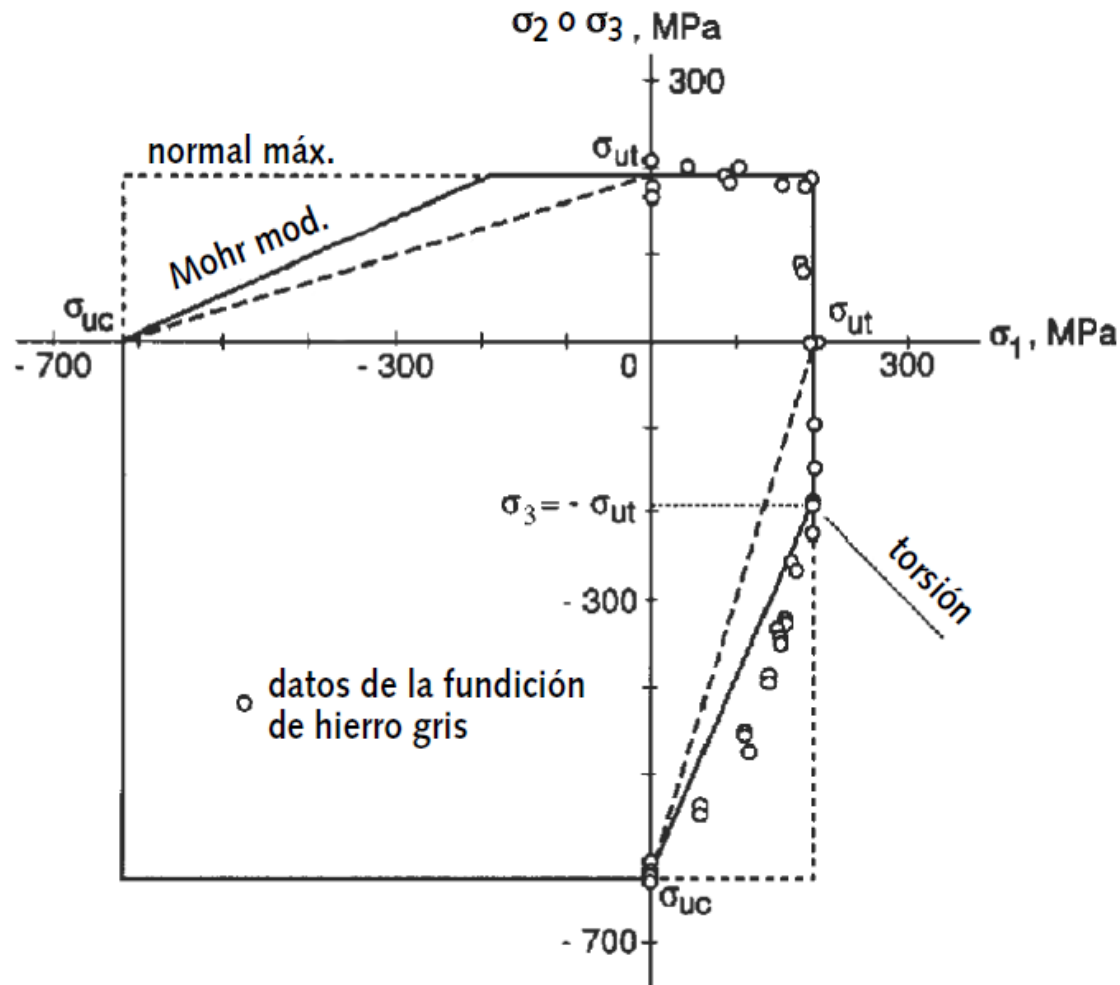
COMPARACIÓN DE LAS TEORÍAS DE FALLAS MATERIALES FRÁGILES



FALLAS CARGA ESTÁTICA

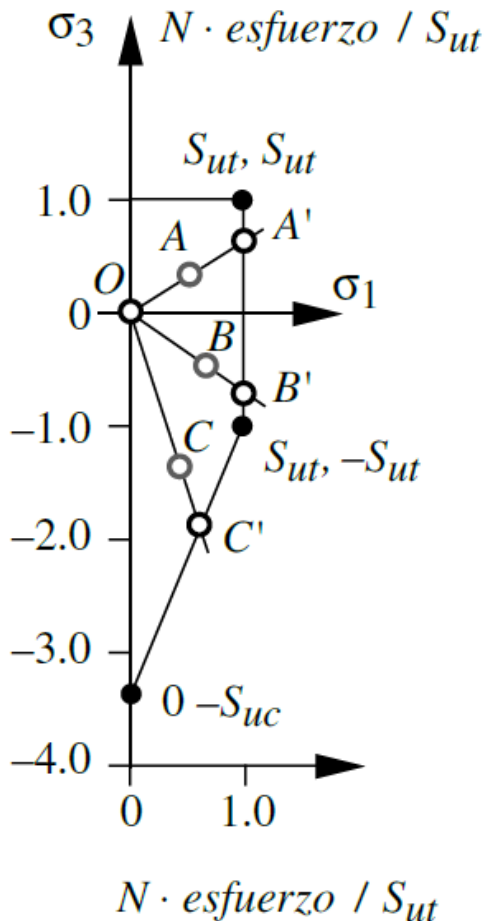
MATERIAL FRÁGIL

COMPARACIÓN DE LAS TEORÍAS DE FALLAS MATERIALES FRÁGILES CON DATOS EXPERIEMNTALES



FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL FRÁGIL



TEORÍA DE MOHR MODIFICADA
Factor de Seguridad (N)

$$N = \frac{S_{ut} |S_{uc}|}{|S_{uc}| \sigma_1 - S_{ut} (\sigma_1 + \sigma_3)}$$

TEORÍA DE MOHR
Factor de Seguridad (N)

$$N = \frac{S_{ut} |S_{uc}|}{|S_{uc}| \sigma_1 - S_{ut} \sigma_3}$$

FALLAS CARGA ESTÁTICA

MATERIAL FRÁGIL

Un procedimiento alternativo que no requiere trazar el diagrama de Mohr Modificado consiste en obtener los factores de Dowling C_1 , C_2 , C_3 usando las ecuaciones

$$C_1 = \frac{1}{2} \left[|\sigma_1 - \sigma_2| + \frac{2S_{ut} - |S_{uc}|}{-|S_{uc}|} (\sigma_1 + \sigma_2) \right]$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \left[|\sigma_2 - \sigma_3| + \frac{2S_{ut} - |S_{uc}|}{-|S_{uc}|} (\sigma_2 + \sigma_3) \right]$$

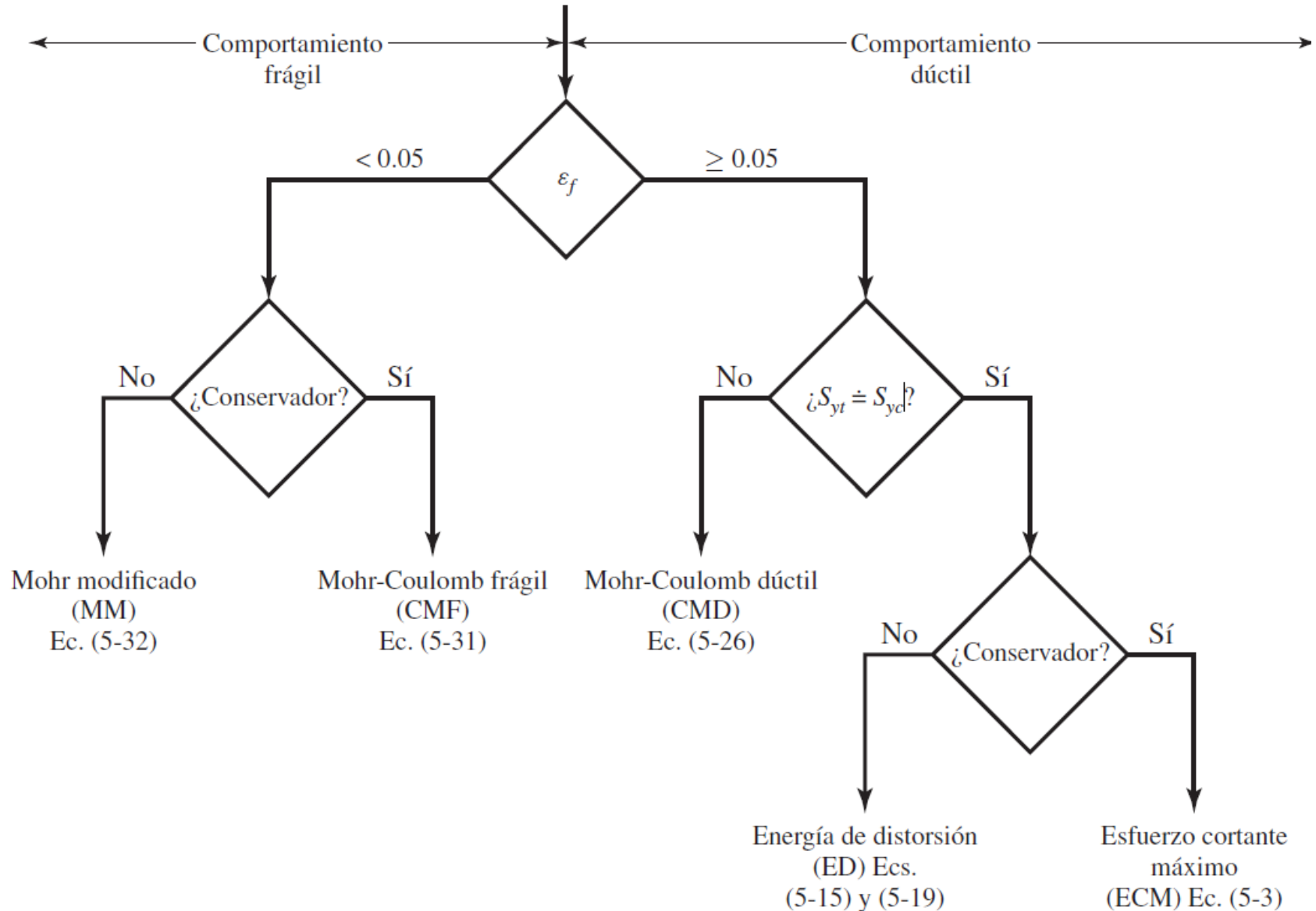
$$C_3 = \frac{1}{2} \left[|\sigma_3 - \sigma_1| + \frac{2S_{ut} - |S_{uc}|}{-|S_{uc}|} (\sigma_3 + \sigma_1) \right]$$

$$\tilde{\sigma} = \text{MÁX}(C_1, C_2, C_3, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) \quad N = \frac{S_{ut}}{\tilde{\sigma}}$$

$$\tilde{\sigma} = 0 \quad \text{si } \text{MÁX} < 0$$

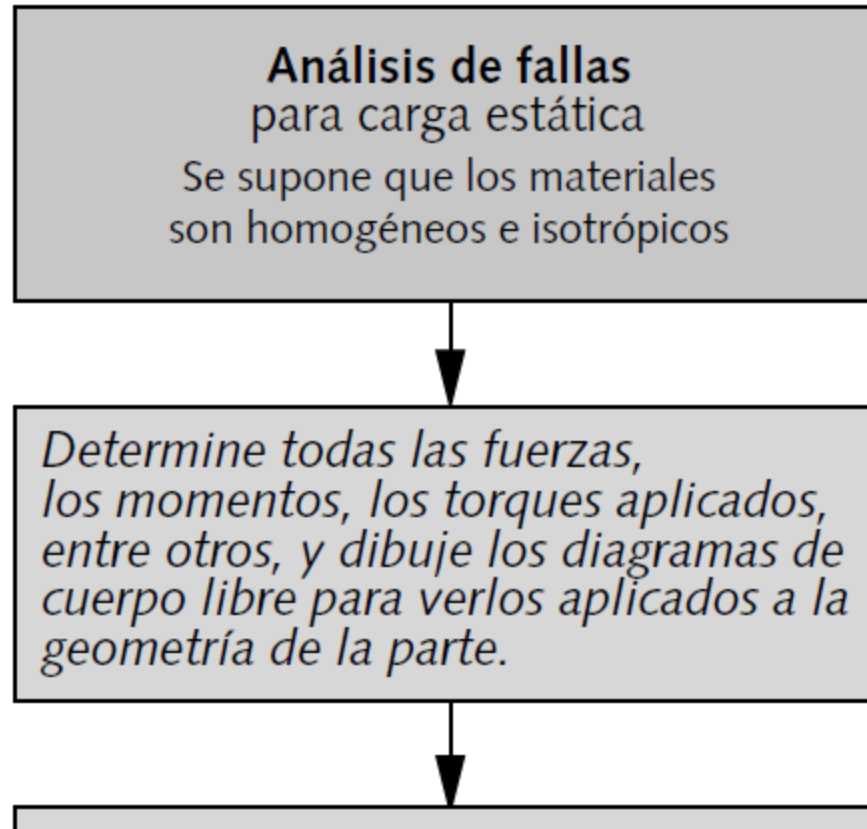
FALLAS CARGA ESTÁTICA

Diagrama de flujo para la selección de teorías de falla (Shigley)



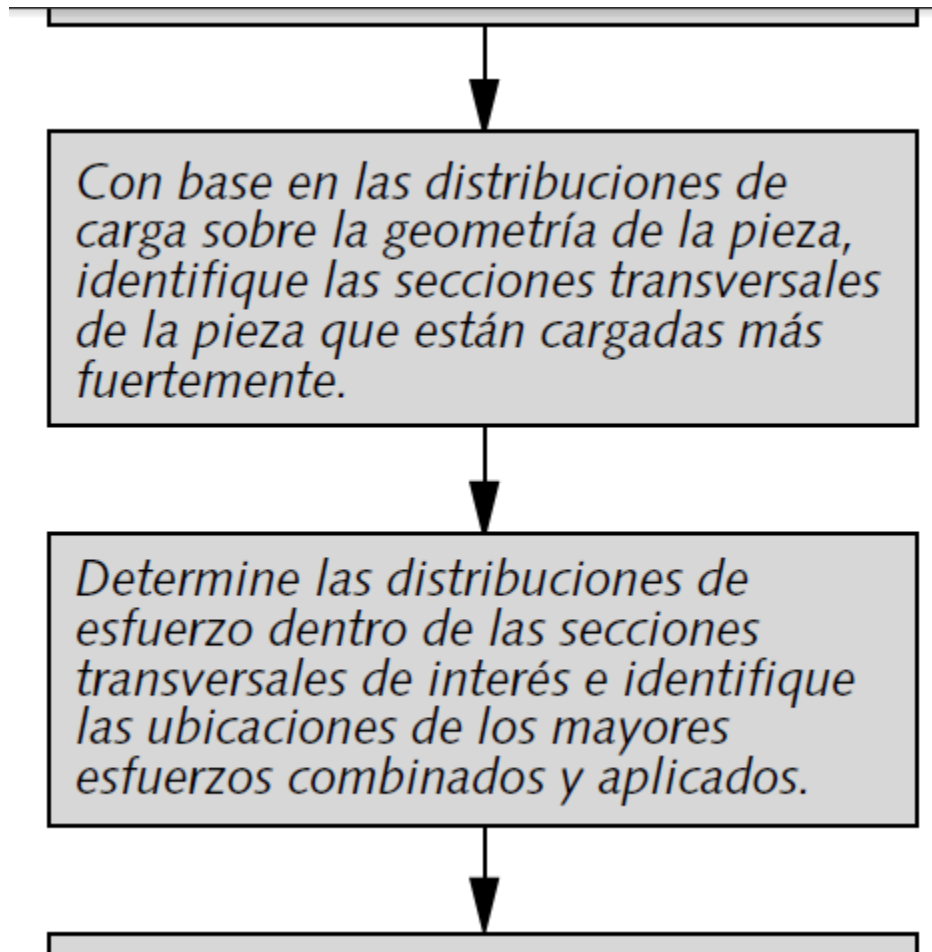
FALLAS CARGA ESTÁTICA

Diagrama de flujo para la selección de teorías de falla (Norton)



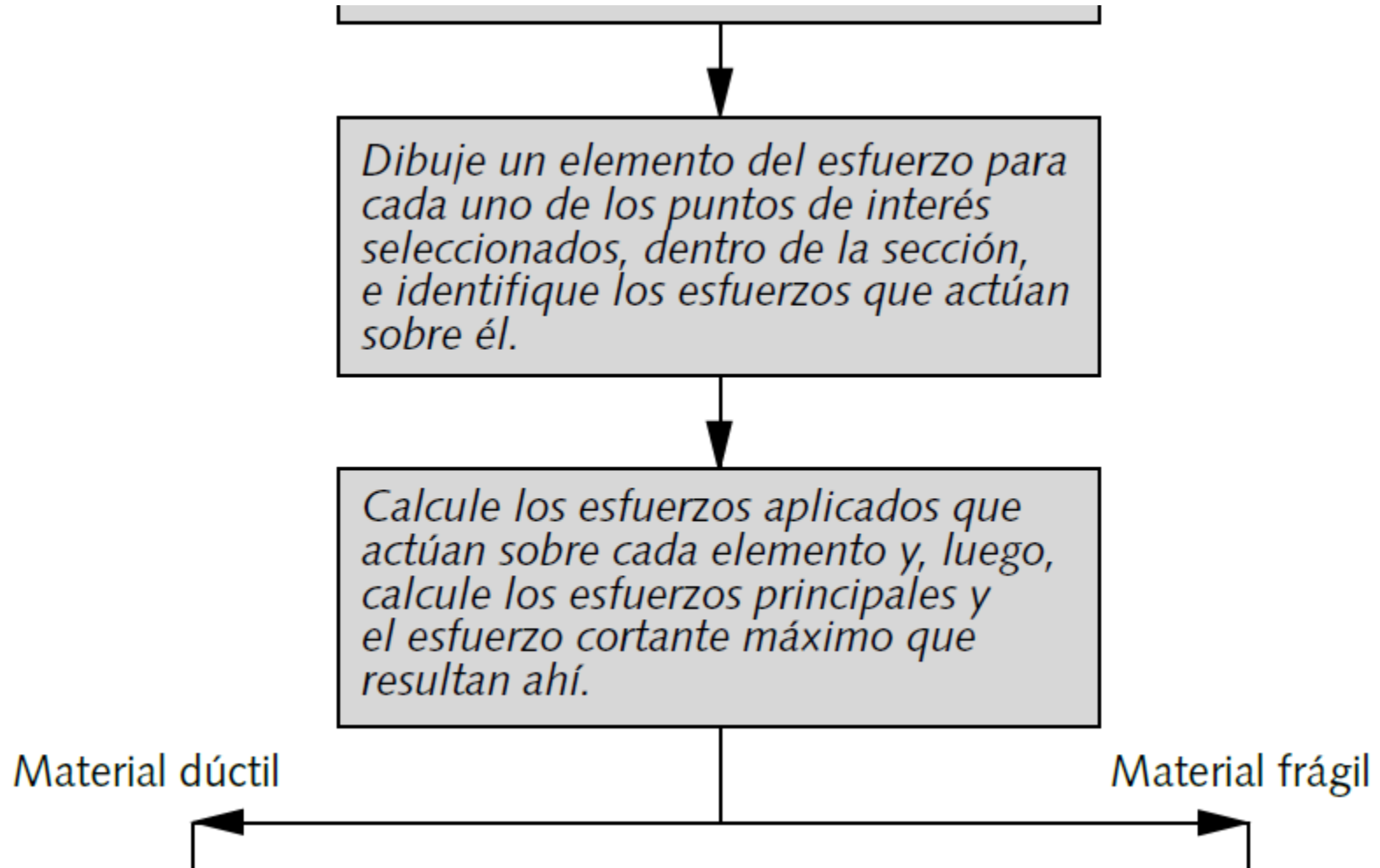
FALLAS CARGA ESTÁTICA

Diagrama de flujo para la selección de teorías de falla (Norton)



FALLAS CARGA ESTÁTICA

Diagrama de flujo para la selección de teorías de falla (Norton)



FALLAS CARGA ESTÁTICA

Diagrama de flujo para la selección de teorías de falla (Norton)

