

# ***CAPITULO 2***

***Tensiones y Deformaciones. Revisión de principios físicos***

***División 4***

***Teorías de Falla Estática***  
***Análisis de Casos***



## **Resistencia de una pieza o elemento**

Característica propia de una pieza por

- Geometría particular
- Identidad del material y su tratamiento
- Forma e intensidad de las cargas

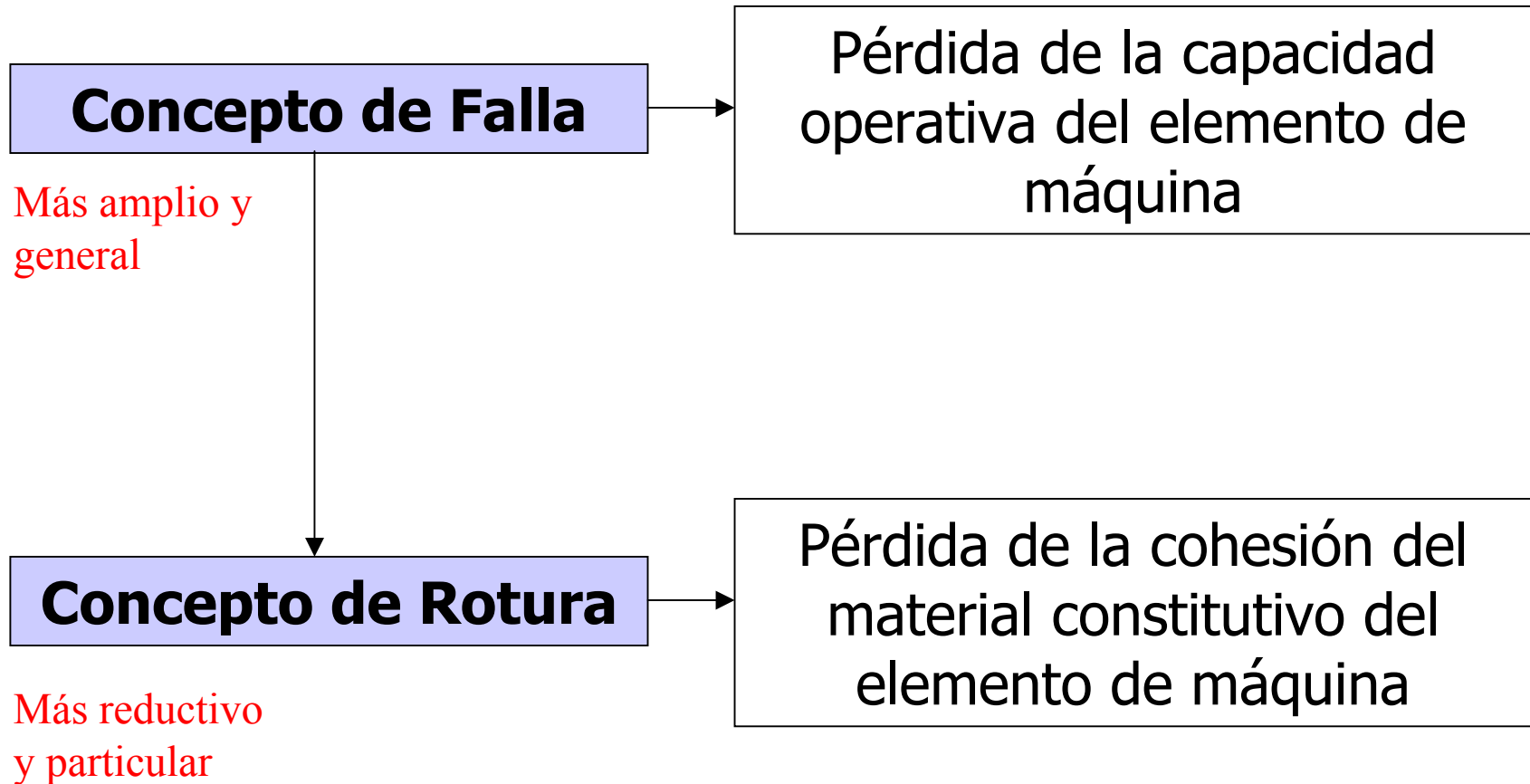
**Estático**

**FALLA**

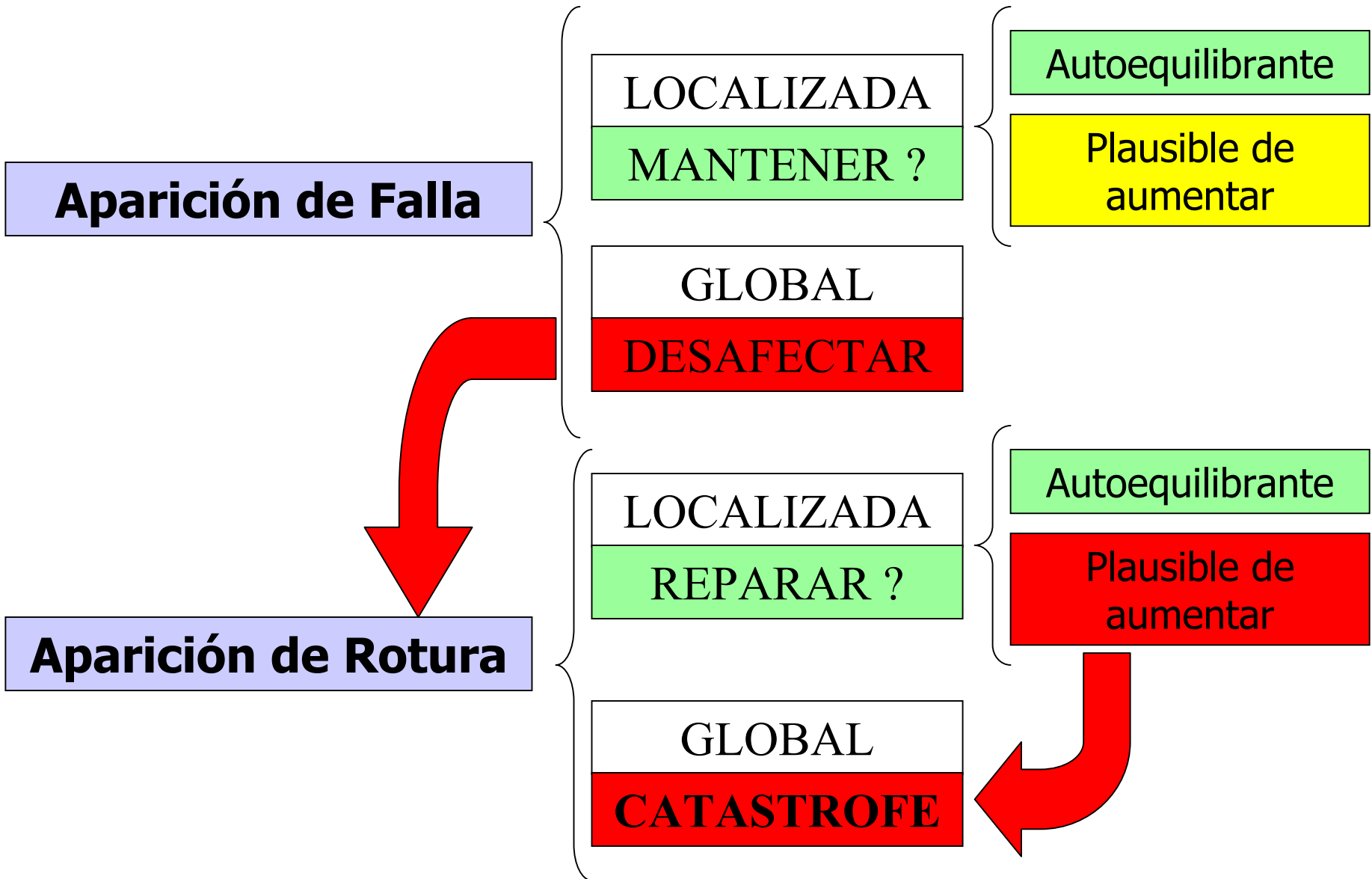
**Dinámico**



# Concepto de Falla y Concepto de Rotura

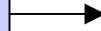


# Concepto de Falla y Concepto de Rotura

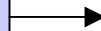


# *Concepto de Falla y Concepto de Rotura*

**Concepto de Falla**

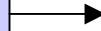


**Concepto de Rotura**



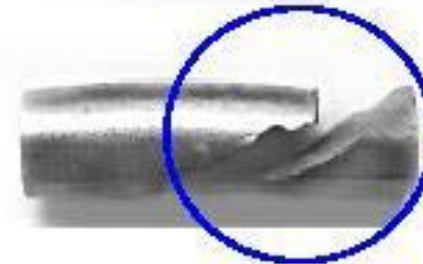
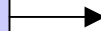
# *Concepto de Falla y Concepto de Rotura*

**Concepto de Falla**



no se  
rompe

**Concepto de Rotura**



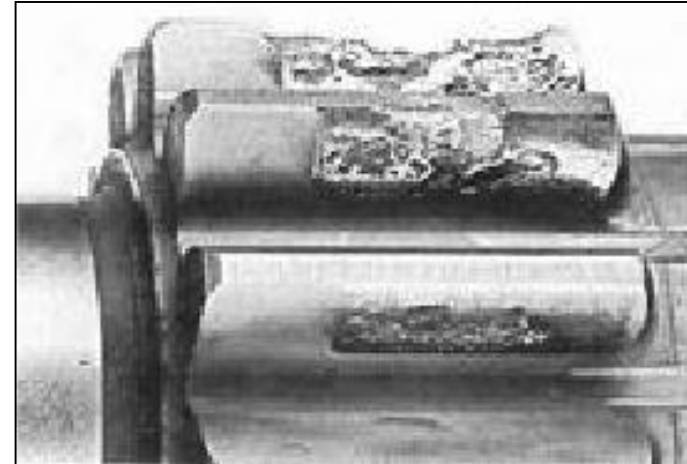
se  
rompió



# *Concepto de Falla y Concepto de Rotura*

**Concepto de Falla**

**Concepto de Rotura**



- 1. Deformación inducida por fuerzas y/o Temperatura**
- 2. Desplazamientos inducidos por fuerzas o temperatura**
- 3. Límite de Fluencia**
- 4. Rotura Dúctil**
- 5. Rotura Frágil**
- 6. Fatiga estructural**
- 7. Fatiga Superficial**
- 8. Impacto o falla dinámica**



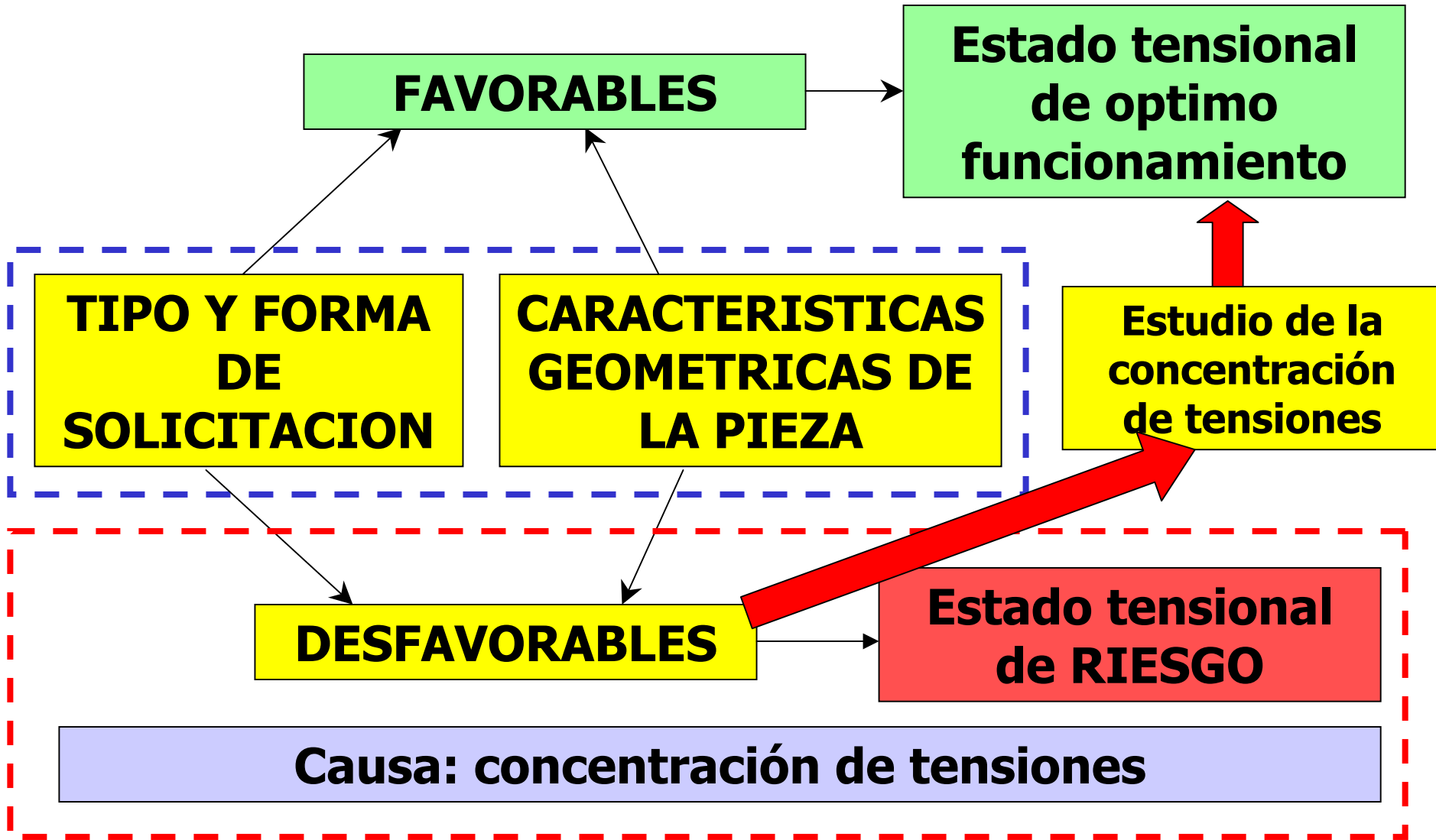
- 9. Desgaste por fricción**
- 10. Endurecimiento parcial**
- 11. Daño por Radiación**
- 12. Corrosión**
- 13. Desgaste por Corrosión**
- 14. Fatiga por Corrosión**
- 15. Fatiga por "Fretting"**
- 16. Desgaste por "Fretting"**
- 17. Relajación Térmica.**



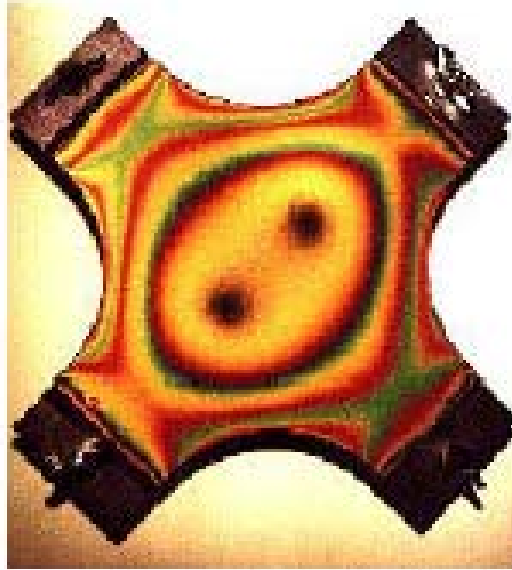
- 18. Rotura por tensiones térmicas**
- 19. Falla por efectos Creep**
- 20. Fatiga Térmica**
- 21. Shock o Golpe Térmico**
- 22. Spalling**
- 23. Debonding (Materiales Compuestos)**
- 24. Delamination (Materiales Compuestos)**



# *Inicio de la Falla y Potencial Rotura*



# *Concentración de Tensiones*



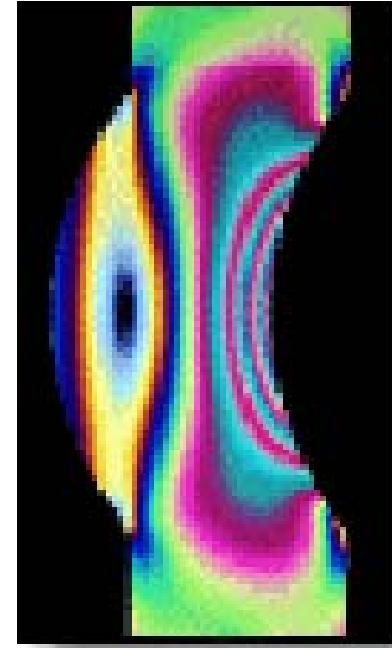
LA FOTOELASTICIDAD ES UN METODO EXPERIMENTAL PARA VER GRAFICAMENTE LAS VARIACIONES DE TENSION EN DIFERENTES PUNTOS DE UNA PIEZA SOLICITADA POR CARGAS

**ESPECIALMENTE LAS VARIACIONES LOCALIZADAS**

Tomado de [www.measurementgroup.com](http://www.measurementgroup.com)



# FOTOELASTICIDAD

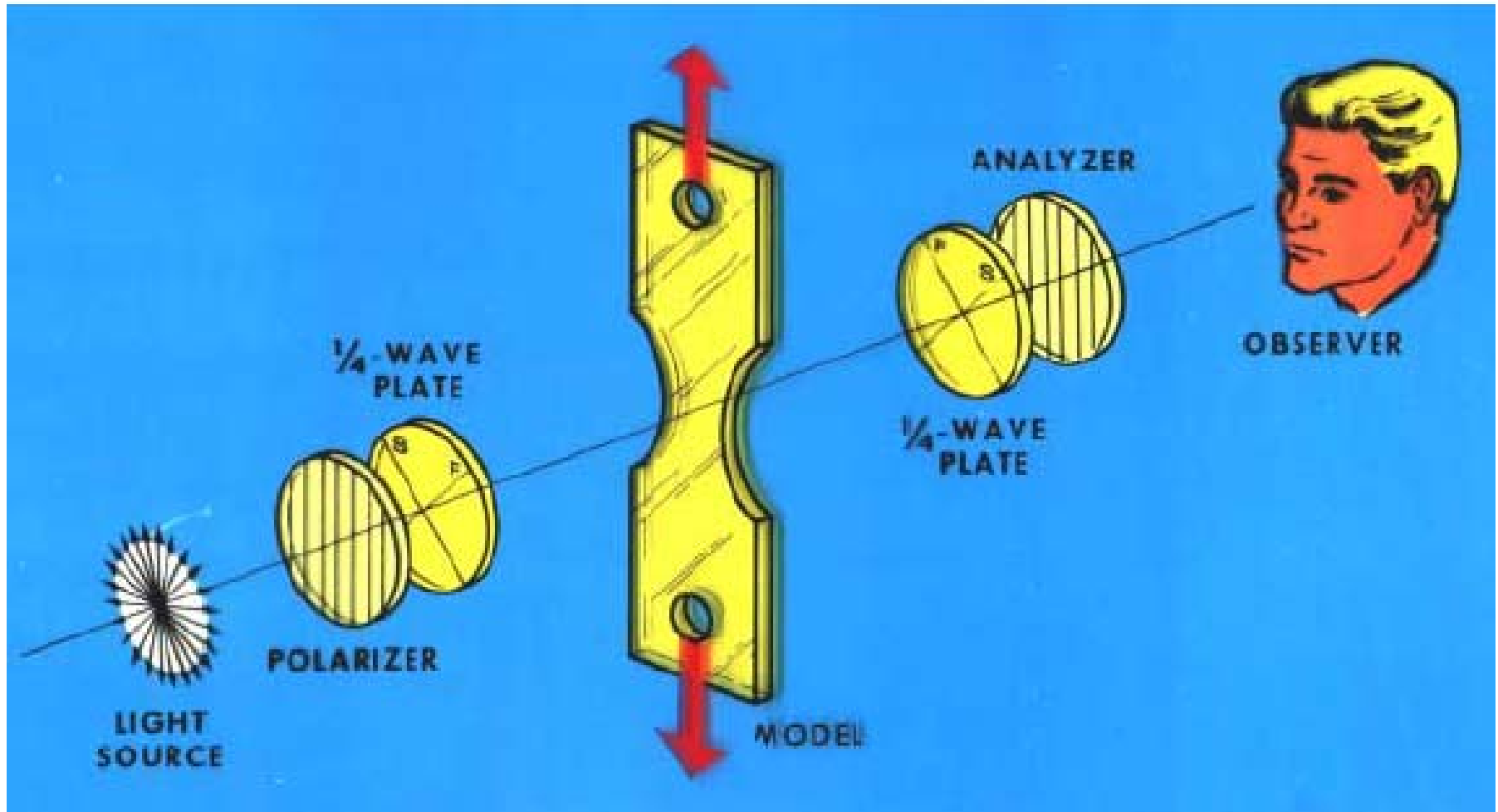


CUANDO UN MATERIAL PLASTICO FOTOELASTICO SE DEFORMA, AL SER VISTO POR MEDIO DE UN FILTRO POLARIZADO, SE PUEDEN VER LOS ESTADOS TENSIONALES COMO GAMAS DE COLORES.

Tomado de [www.measurementgroup.com](http://www.measurementgroup.com)



# FOTOELASTICIDAD

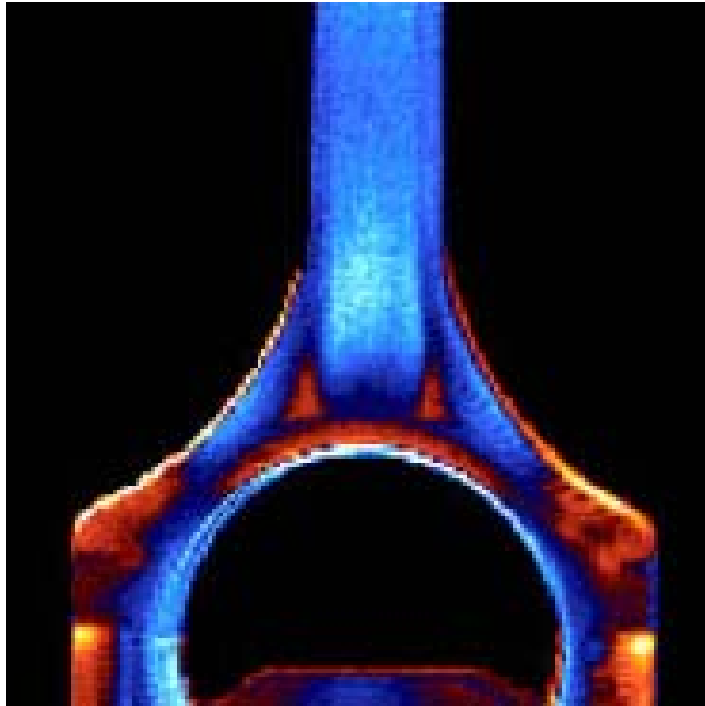


Tomado de [www.measurementgroup.com](http://www.measurementgroup.com)



# *TERMOELASTICIDAD RADIOMETRICA*

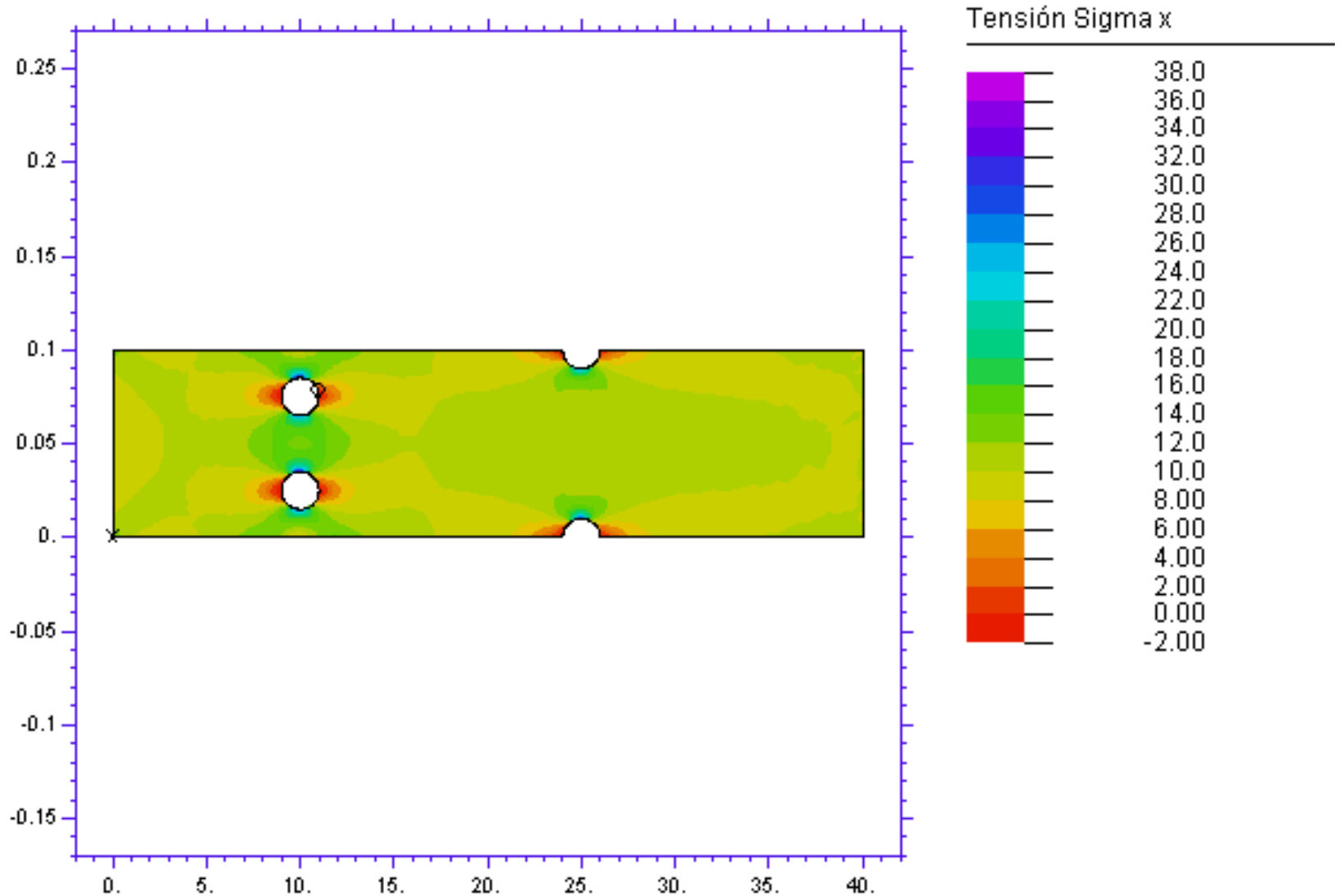
[www.stressphotonics.com](http://www.stressphotonics.com)



CUANDO LOS MATERIALES SE TENSIONAN SE PRODUCEN CAMBIOS EN SU ESTRUCTURA ATOMICA LA CUAL PUEDE SER OBSERVADAS CON DETERMINADAS CAMARAS EN MATERIALES ESPECIALES

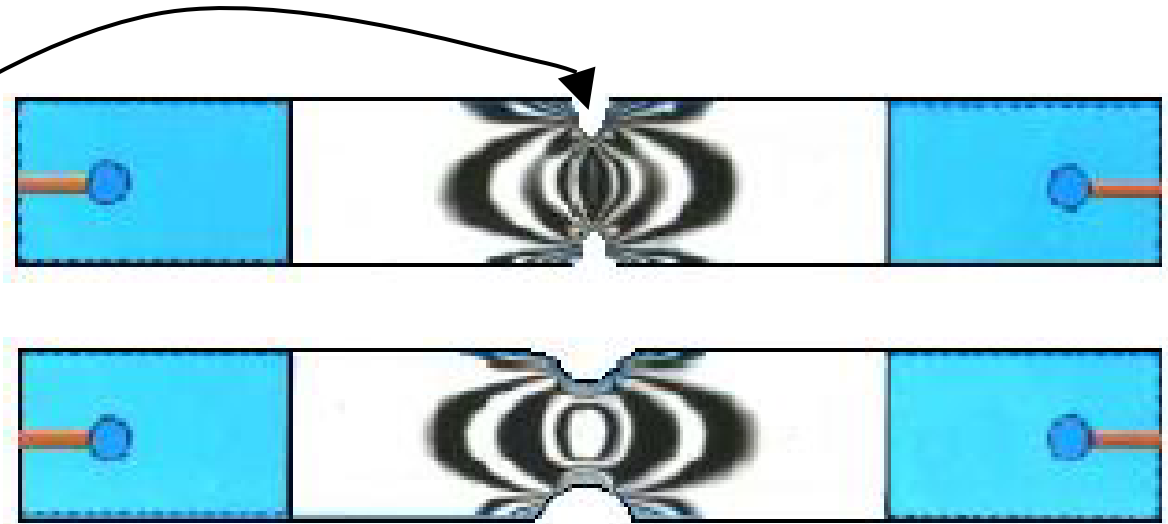


# METODOS NUMERICOS AVANZADOS



# *Cuantificación de la concentración de Tensiones*

ZONAS DE  
CONCENTRACION  
DE TENSIONES



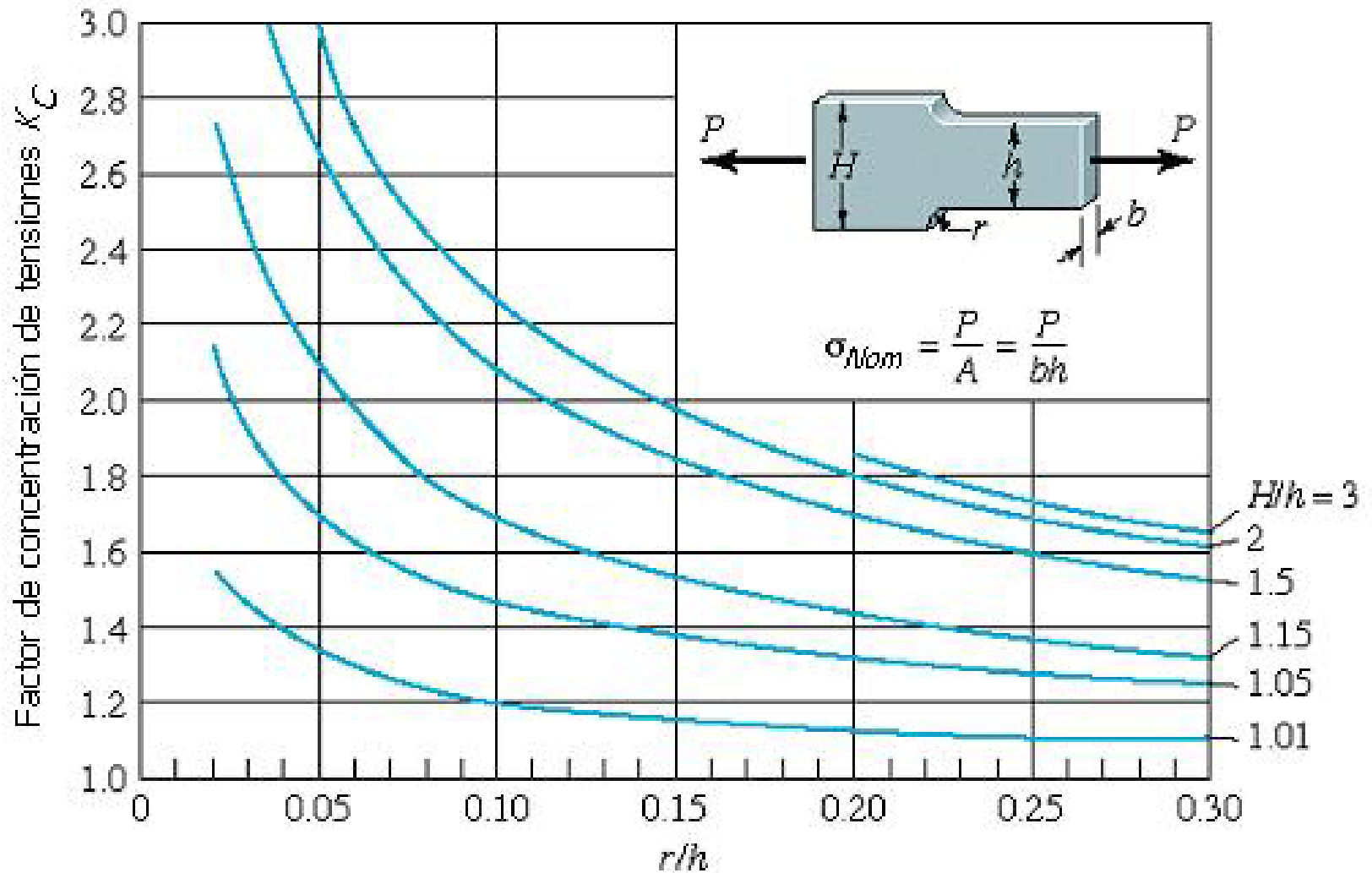
CUANTIFICACION

$$K_c = \frac{\textit{Tensión Máxima Puntual}}{\textit{Tensión Promedio Puntual}}$$

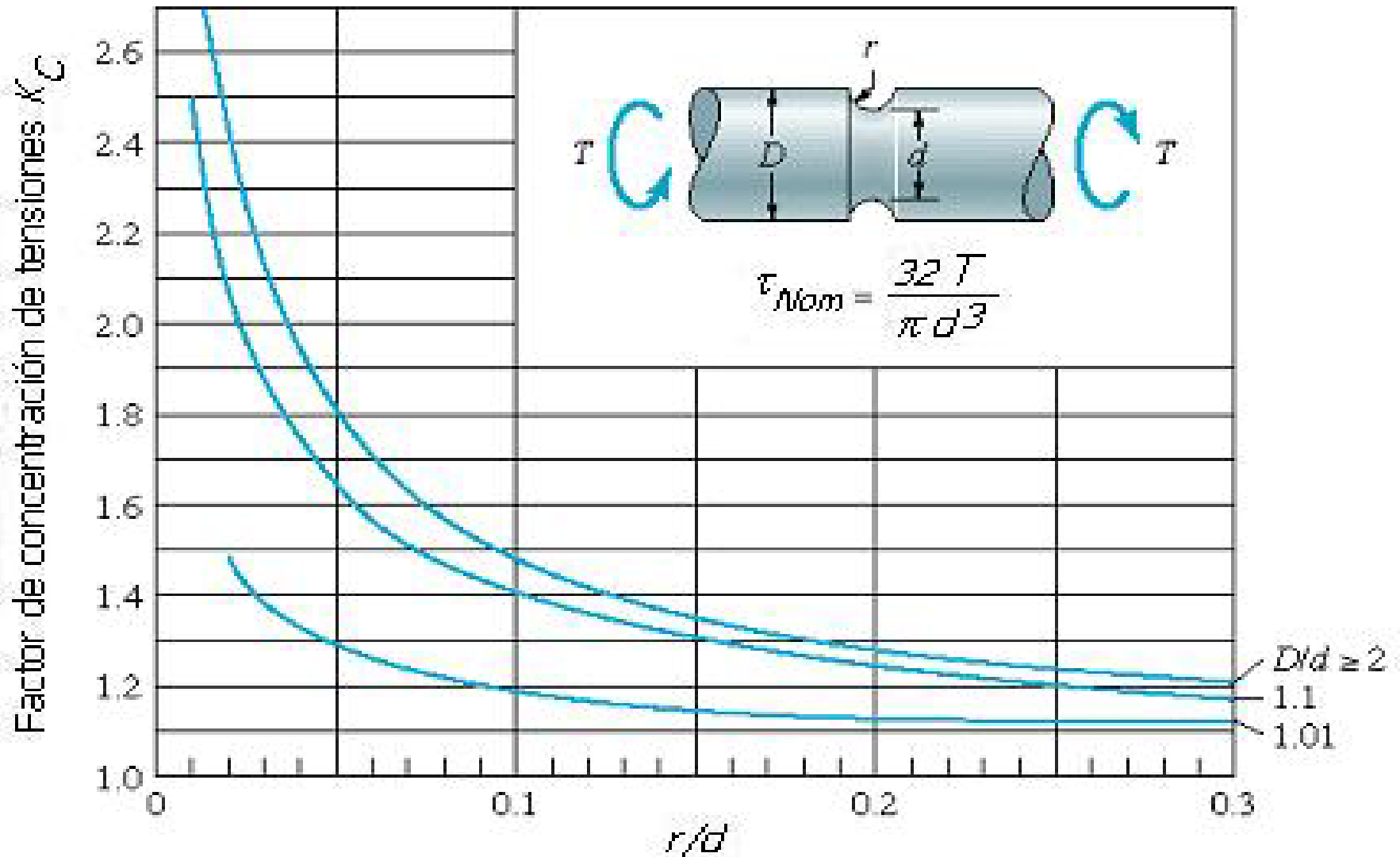
$$\sigma_{Max} = K_c \sigma_{Nom}$$



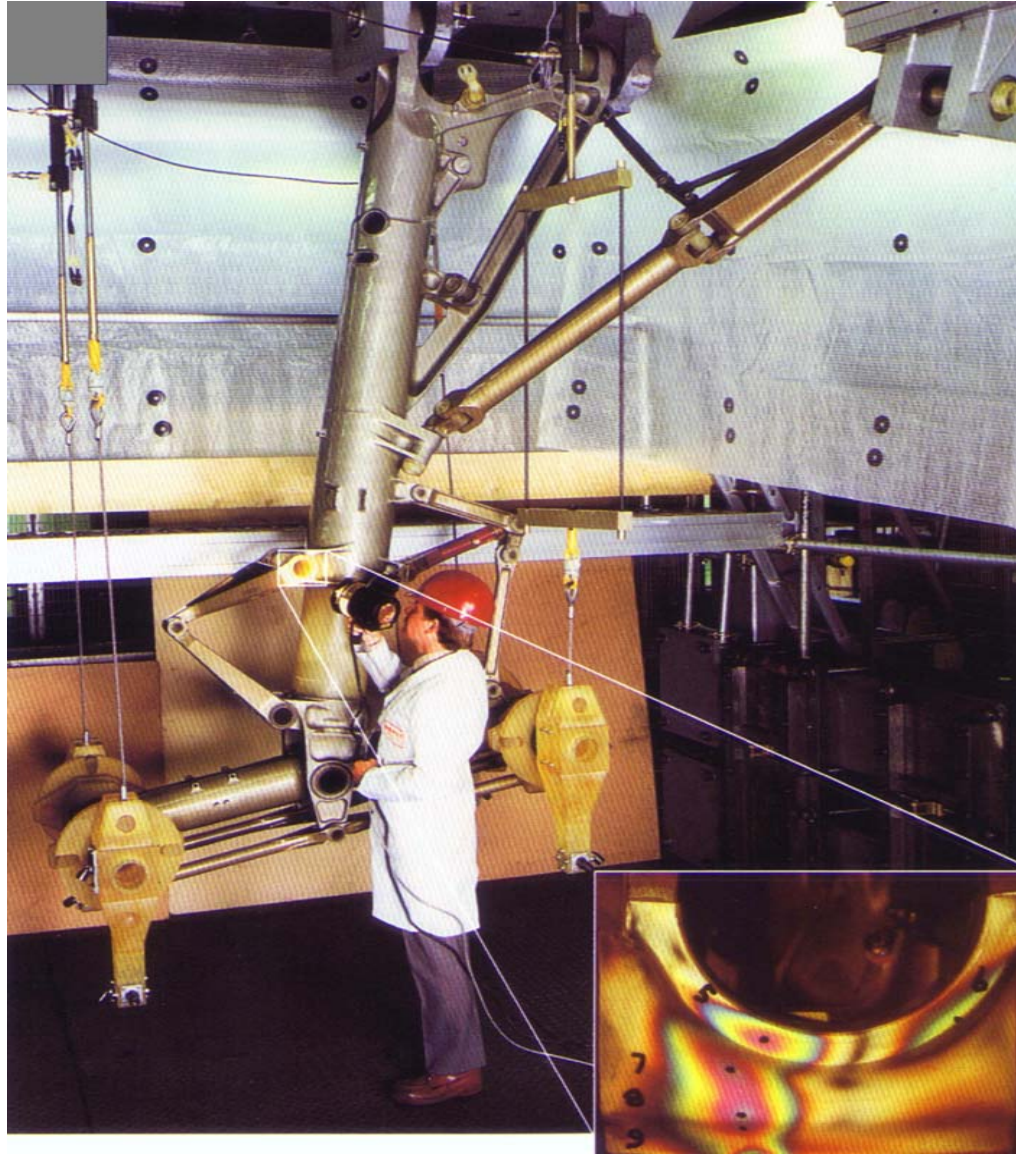
# Casos Tipo: Ejemplos



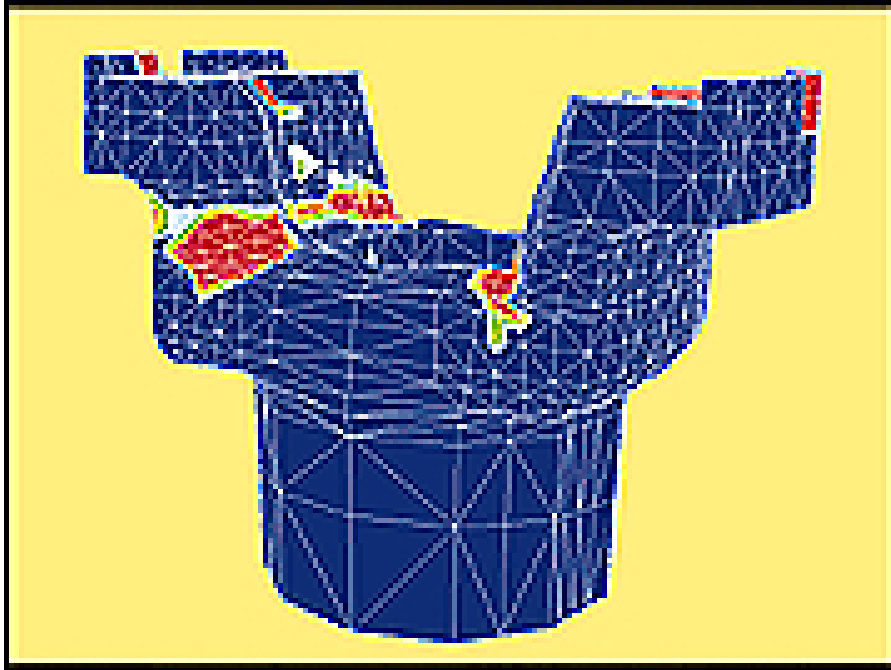
# Casos Tipo: Ejemplos



# *CASOS DE SUMA IMPORTANCIA*



# *CASOS DE SUMA IMPORTANCIA*



SIMULACION DE  
ROTURA POR EL METODO  
DE ELEMENTOS FINITOS

PIEZA VERDADERA ROTA



## **MATERIALES DUCTILES**

- **Teoría de Máxima Tensión Cortante**  
(Teoría de Coulomb-Tresca)
- **Teoría de la Máxima Energía de Distorsión**  
(Criterio de Von Mises-Hencky)  
(Criterio de la máxima tensión octaédrica tangencial)  
(Criterio de la máxima energía cortante)
- **Teoría de la Fricción Interna**  
(Teoría de Mohr-Coulomb)



## **MATERIALES FRAGILES**

- **Teoría de Máxima Tensión Normal  
(Teoría de Rankine)**
- **Teoría de la Fricción Interna para  
materiales frágiles**
- **Teoría de la Fricción Interna  
modificada  
(Teoría de Mohr modificada)**



# TEORIA DE LA MAXIMA TENSION DE CORTE

OBSERVACION EXPERIMENTAL: las láminas de titanio y de otros metales se deforman en planos de corte perfectamente definidos

**CRITERIO:** Una pieza sujeta a cualquier combinación de cargas sufrirá falla cuando la tensión cortante máxima exceda un valor crítico

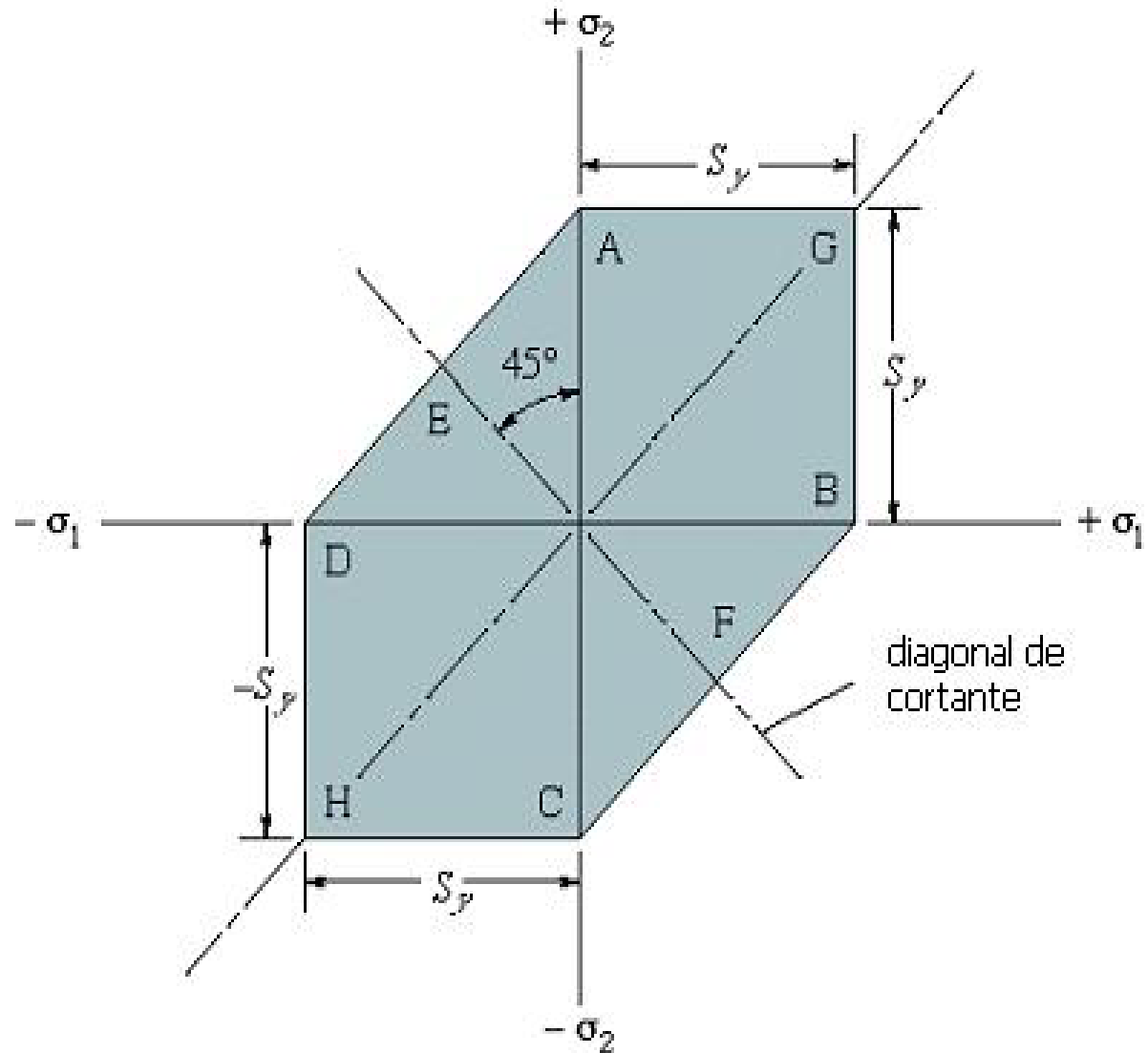
$$\sigma_{i/j} = \frac{S_y}{n_s} \rightarrow \sigma_{i/j} = \text{Máx} \left\{ \begin{array}{l} |\sigma_1 - \sigma_2| \\ |\sigma_2 - \sigma_3| \\ |\sigma_1 - \sigma_3| \end{array} \right.$$



# TEORÍA DE LA MÁXIMA TENSIÓN DE CORTE

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{S_y}{n_s}$$

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$$



# TEORIA DE LA MAXIMA ENERGIA DE DISTORSION

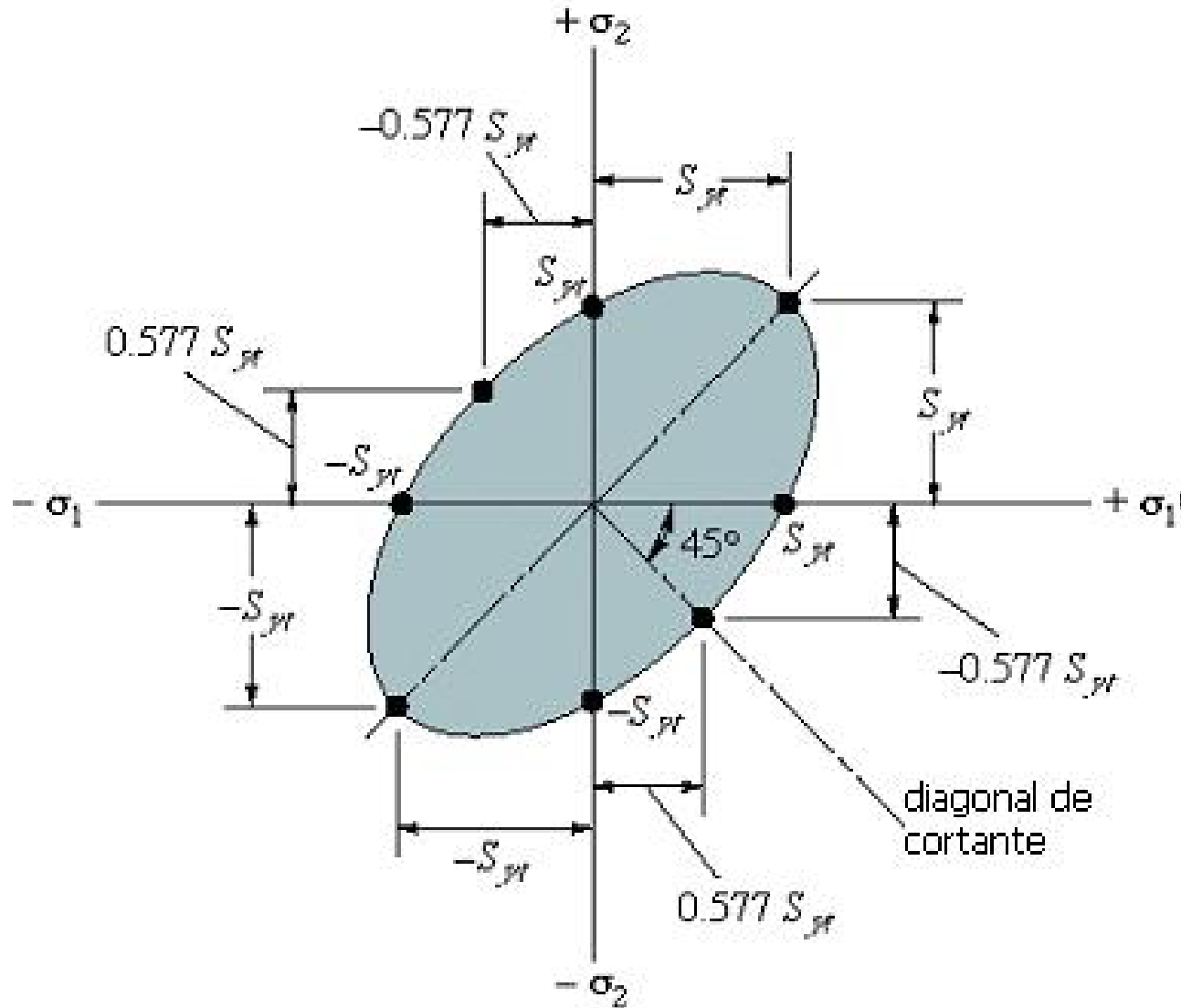
OBSERVACION EXPERIMENTAL: se ha detectado que ciertas probetas ante sollicitaciones combinadas rompen a un valor mayor que el de tracción simple

**CRITERIO:** la fluencia ocurrirá cuando la energía de distorsión de un volumen unitario sea igual a la energía de distorsión del mismo volumen cuando se lo someta a un esfuerzo uniaxial hasta la resistencia a la fluencia

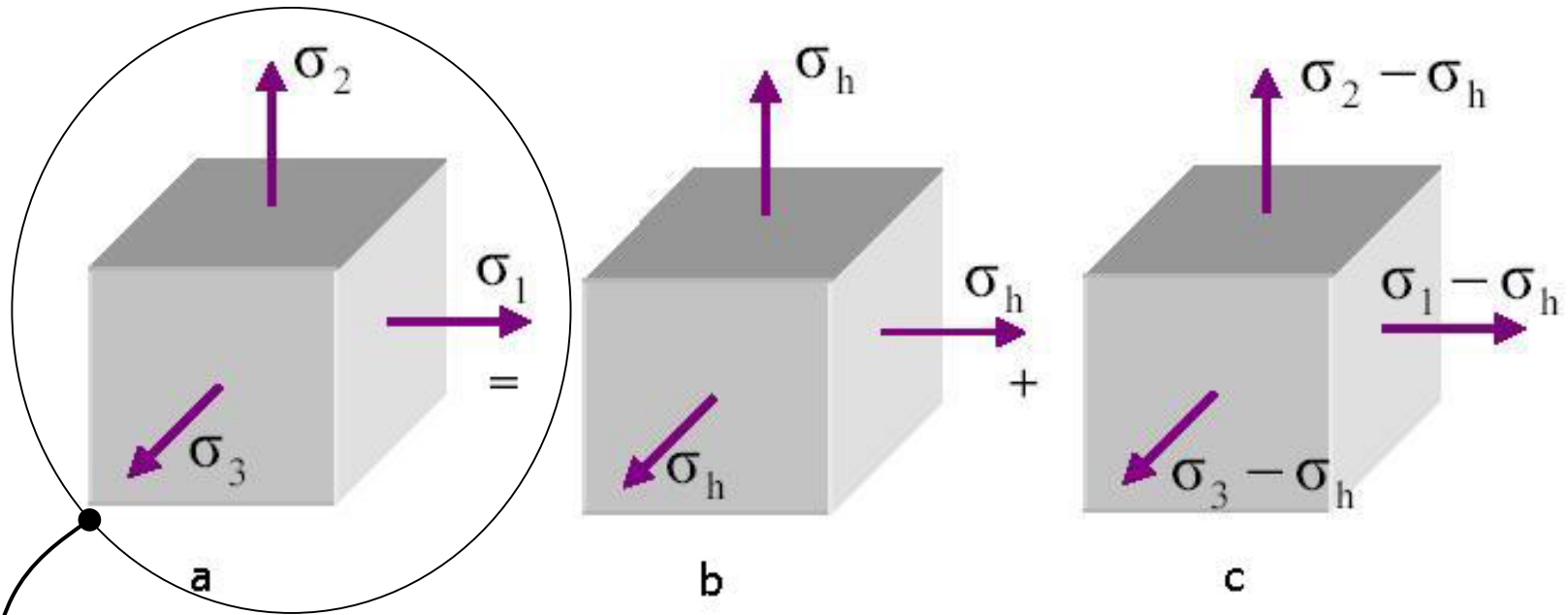
$$\sigma_e = \frac{S_y}{n_s} \rightarrow \sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}{2}}$$



# TEORIA DE LA MAXIMA ENERGIA DE DISTORSION



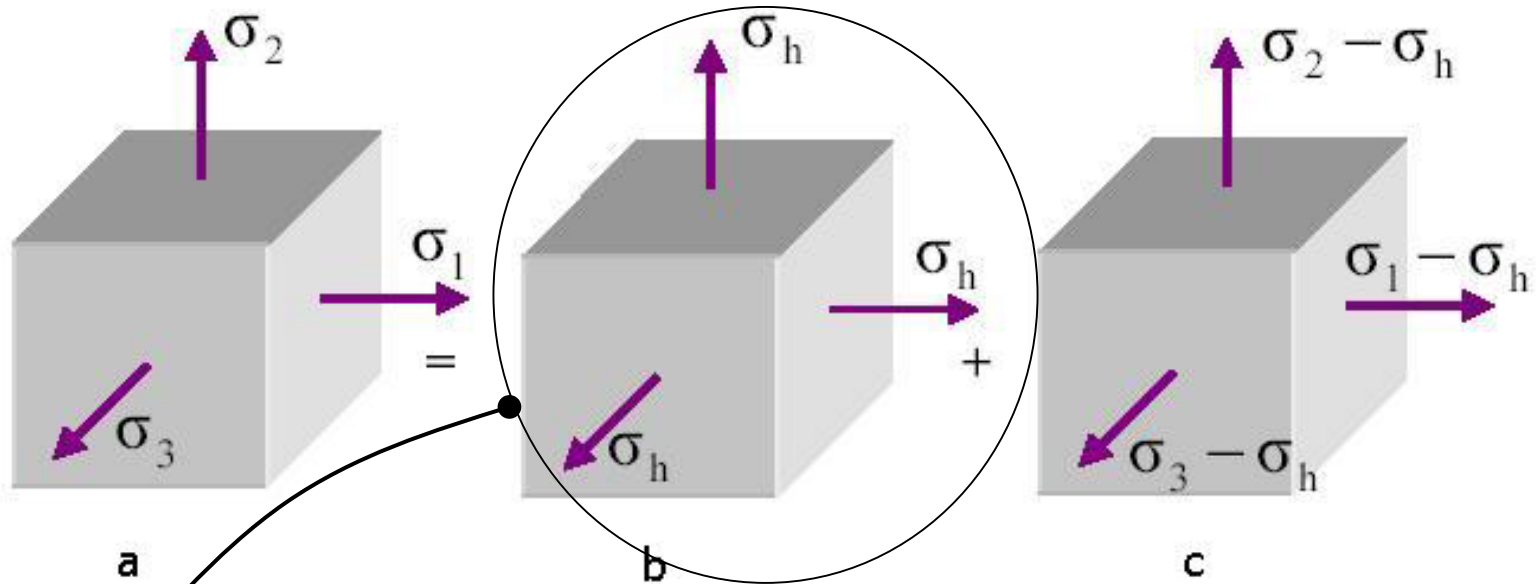
# Breve desarrollo de la teoría de la energía de distorsión



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



# Breve desarrollo de la teoría de la energía de distorsión

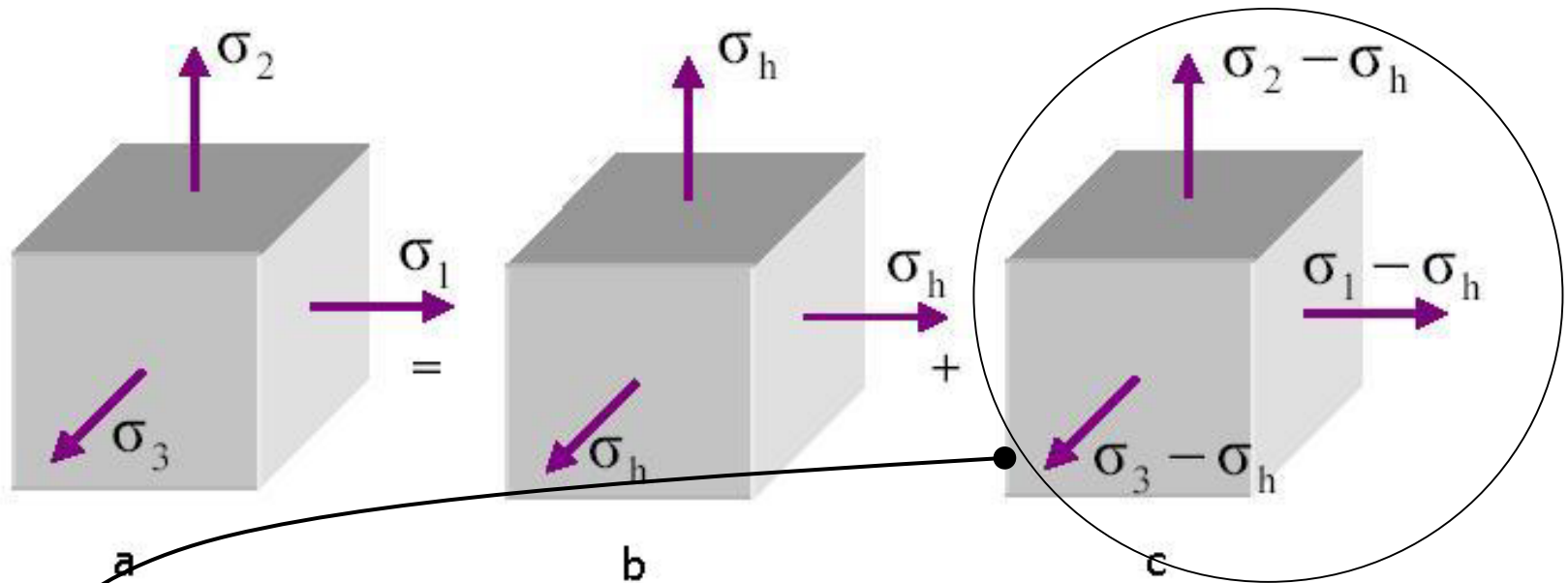


$$\sigma_h = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

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



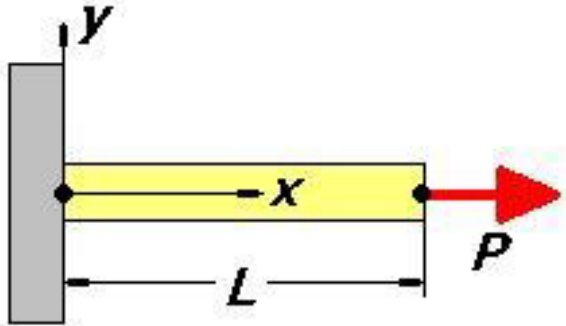
# Breve desarrollo de la teoría de la energía de distorsión



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



# Breve desarrollo de la teoría de la energía de distorsión



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

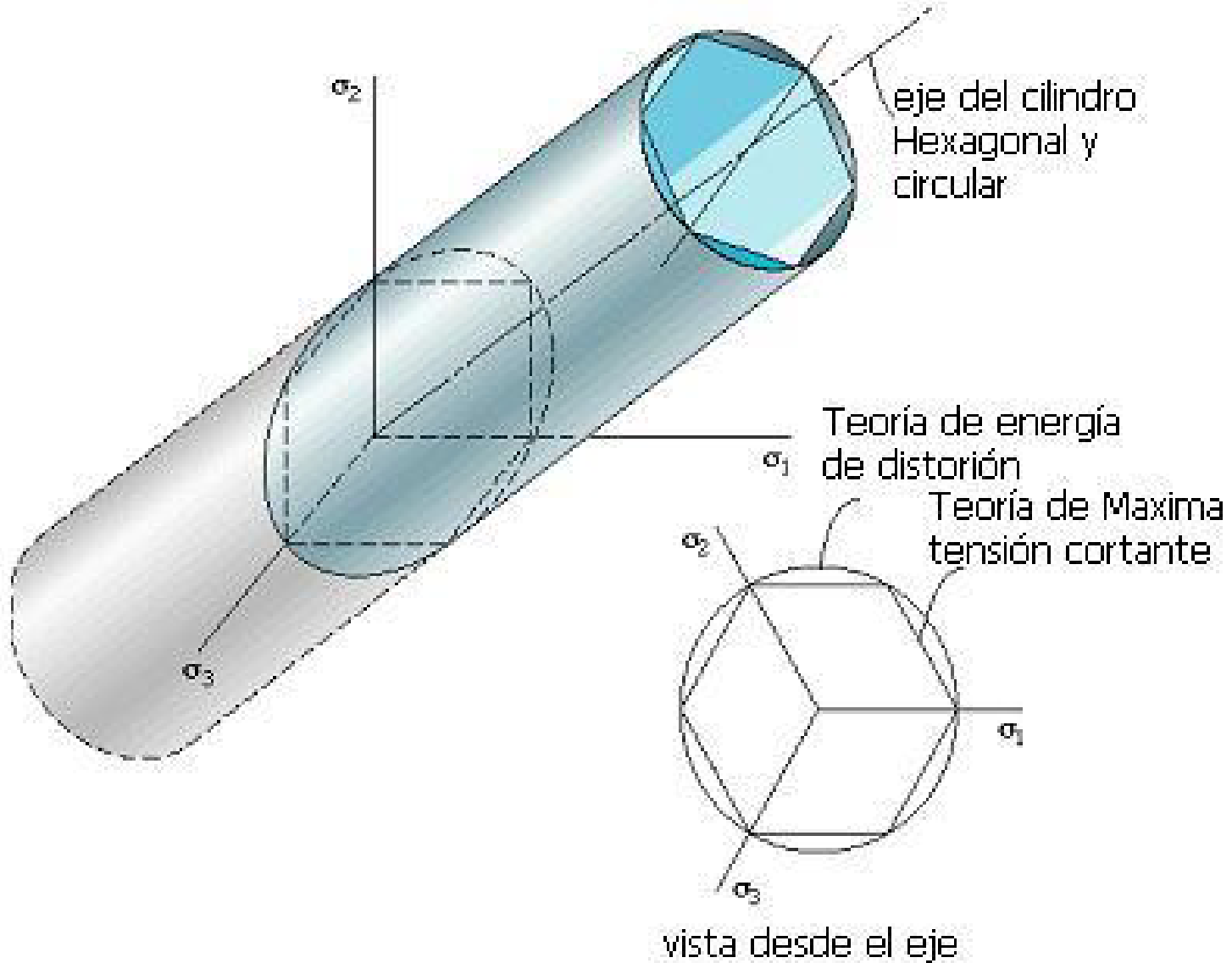
$$\sigma_1 = \sigma_e, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$$

**CASO DE TRACCION SIMPLE**

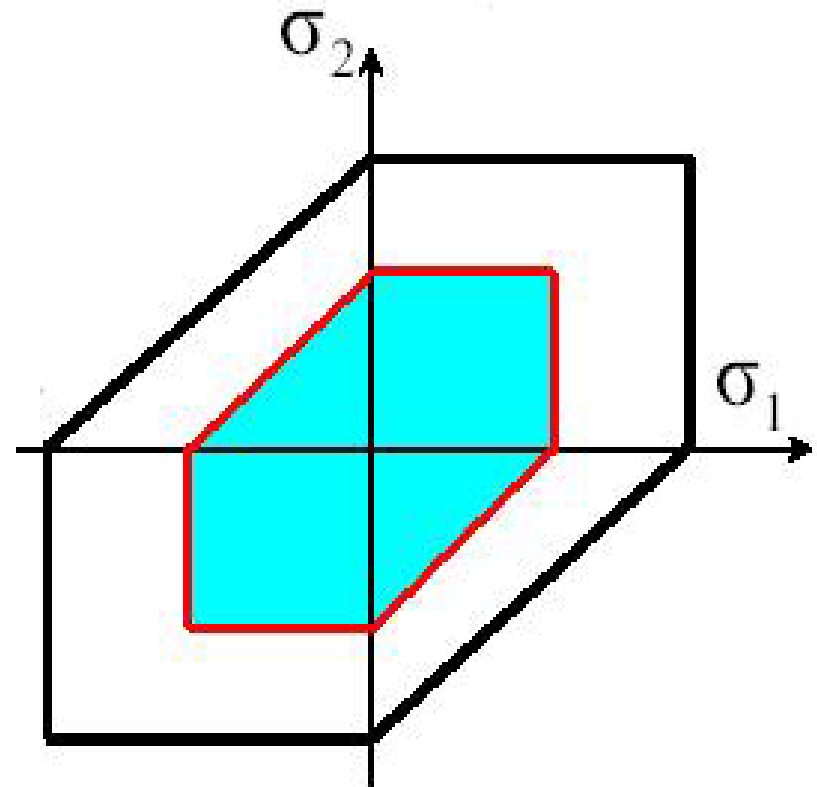
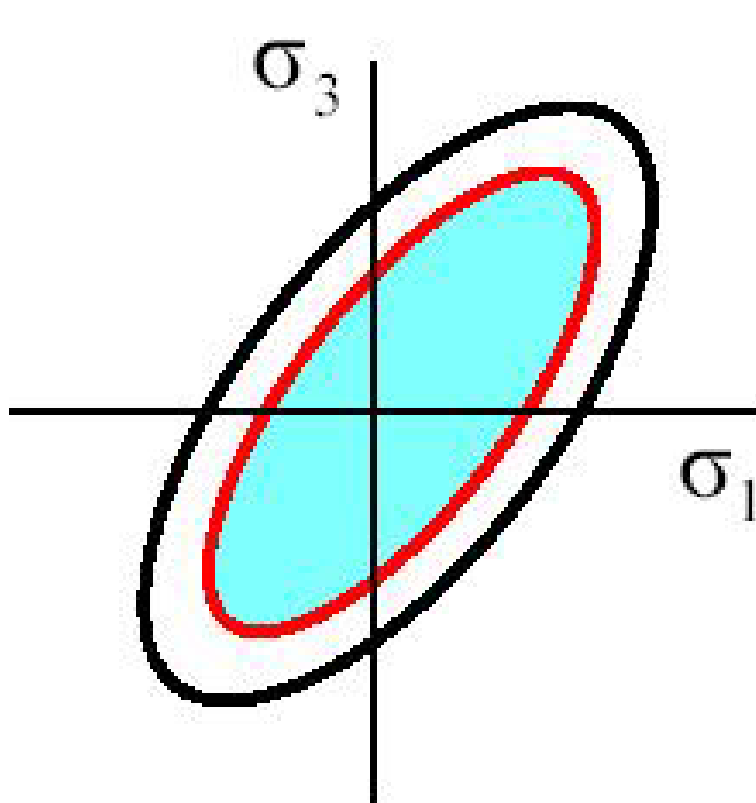
$$\sigma_e = \frac{S_y}{n_s} \rightarrow \sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}{2}}$$



# Comparación de ambas teorías



# *Definición de Zonas de Seguridad*



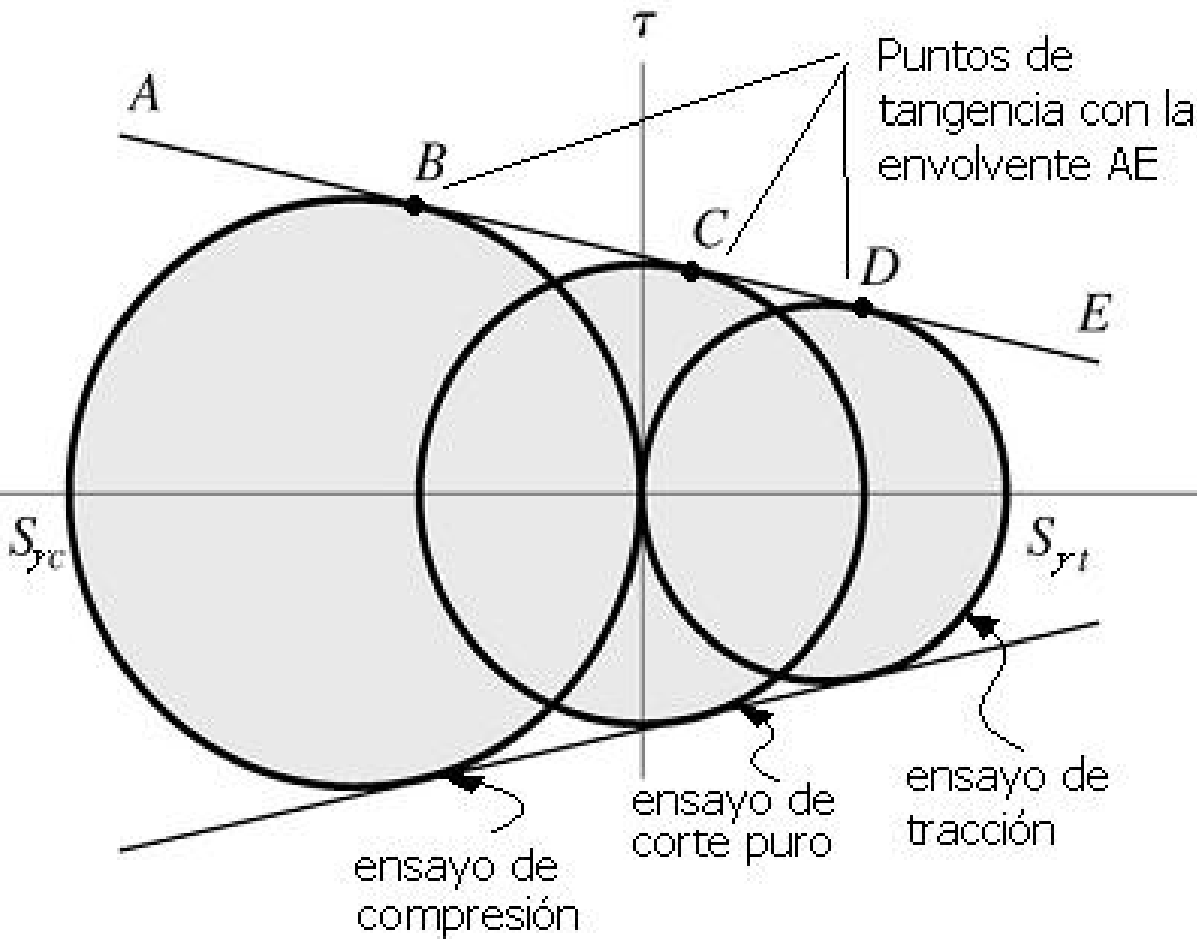
# *Teoría de la Fricción Interna para Materiales Dúctiles*

IDEA CONCEPTUAL: siendo que los materiales dúctiles fallan por fluencia y que algunos de estos materiales poseen límite de fluencia a tracción distinto que el de compresión. Se desea obtener un criterio general empleando los límites anteriores junto con el límite de fluencia a corte puro (torsión).

**HIPOTESIS:** La hipótesis de la fricción interna establece que, en un estado de tensiones multiaxiales, la falla ocurre cuando el mayor círculo de Mohr asociado al estado de tensiones en el punto crítico se hace tangente o excede los límites de la envolvente de falla establecidos por las condiciones de falla de los ensayos de tracción, compresión y corte



# Teoría de la Fricción Interna para Materiales Dúctiles



$$S_{ys} = \frac{S_{yt} S_{yc}}{S_{yt} + S_{yc}}$$



# Teoría de la Fricción Interna para Materiales Dúctiles

línea de  
corte puro  
 $\sigma_1 = -\sigma_3$

$\sigma_3$

$S_{yt}$

$S_{yt}$

$\sigma_1$

$S_{yc}$

$$\frac{\sigma_1}{S_{yt}} - \frac{\sigma_3}{S_{yc}} = \frac{1}{n_s}$$

$$\sigma_1 \geq 0$$

$$\sigma_3 \leq 0$$



## CASOS REDUCIDOS O PARTICULARES

$$\frac{\sigma_1}{S_{yt}} - \frac{\sigma_3}{S_{yc}} = \frac{1}{n_s}$$

$$\sigma_1 = \frac{S_{yt}}{n_s} \forall \sigma_3 > 0$$

$$\sigma_3 = \frac{S_{yc}}{n_s} \forall \sigma_1 < 0$$

$$\sigma_1 \geq 0$$

$$\sigma_3 \leq 0$$



## CASOS REDUCIDOS O PARTICULARES

$$\frac{\sigma_1}{S_{ut}} - \frac{\sigma_3}{S_{uc}} = \frac{1}{n_s}$$

$$\sigma_1 = \frac{S_{ut}}{n_s} \quad \forall \sigma_3 > 0$$

$$\sigma_3 = \frac{S_{uc}}{n_s} \quad \forall \sigma_1 < 0$$

$$\sigma_1 \geq 0$$

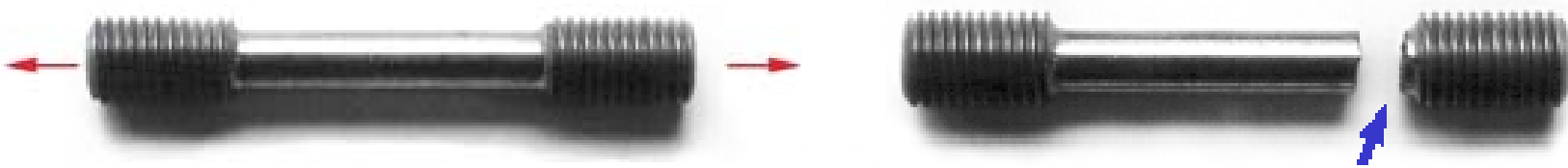
$$\sigma_3 \leq 0$$

**PARA LOS MATERIALES FRAGILES SE CAMBIA LA RESISTENCIA A LA FLUENCIA POR LA RESISTENCIA A LA ROTURA**



# Teoría de la tensión normal máxima (FRAGILES)

OBSERVACION EXPERIMENTAL: Los patrones de rotura de materiales frágiles se dan sobre un plano normal

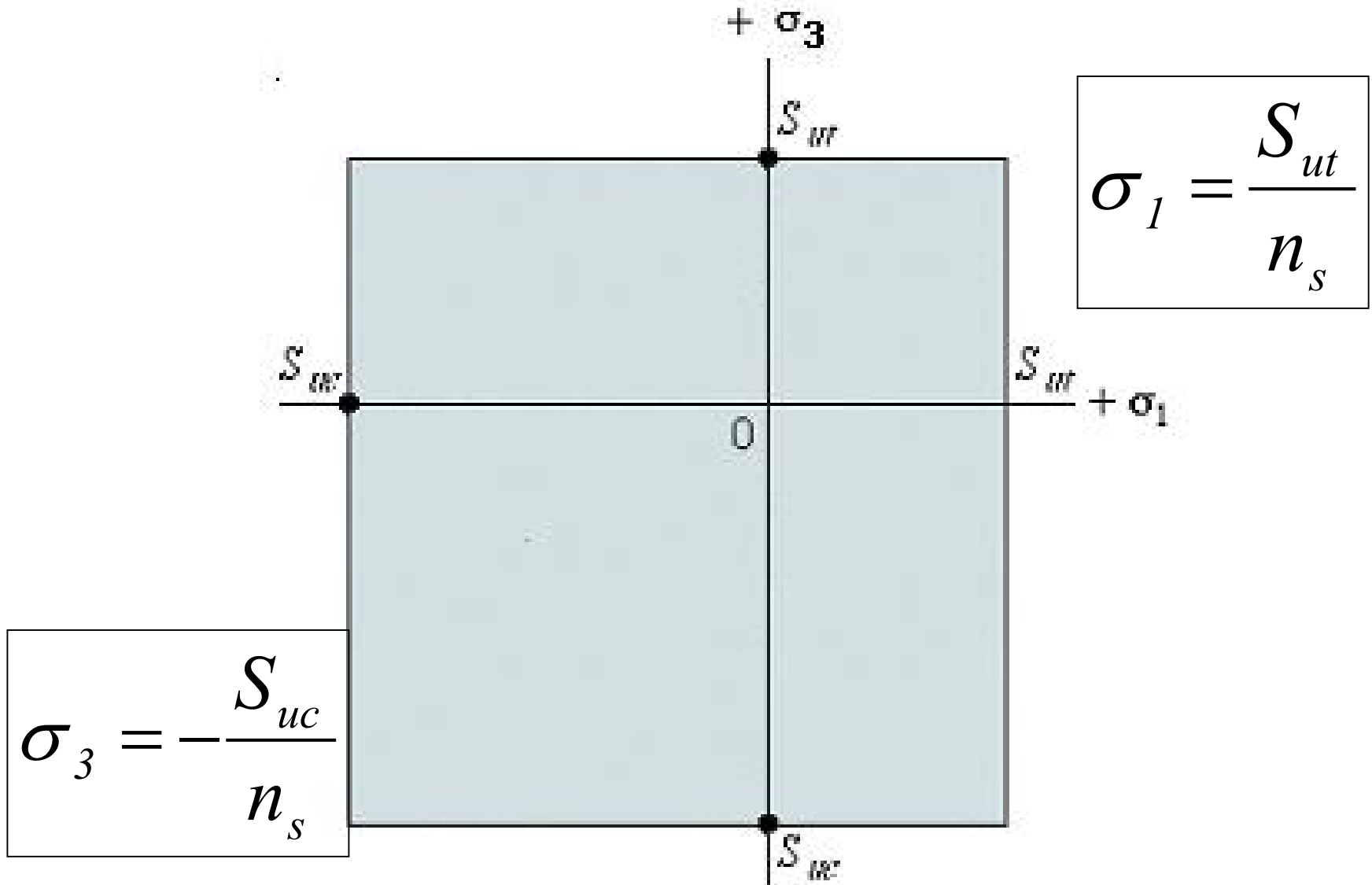


**CRITERIO:** falla ocurre cuando una de las tres tensiones principales alcanza o supera la tensión de resistencia (rotura)

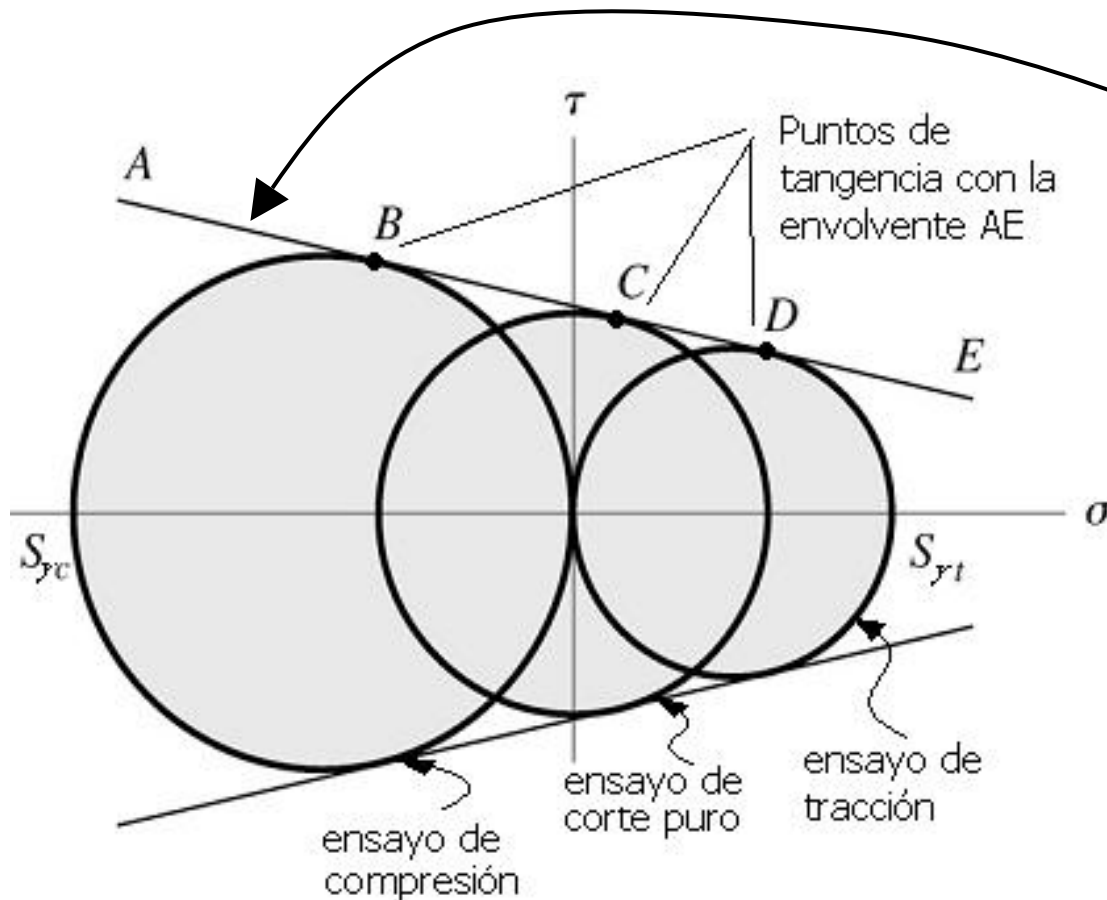
$$\sigma_1 = \frac{S_{ut}}{n_s} \quad \text{o} \quad \sigma_3 = -\frac{S_{uc}}{n_s} \quad \leftarrow \quad \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$$



# Teoría de la tensión normal máxima (FRAGILES)



# Hipótesis de la Fricción Interna de Mohr modificada

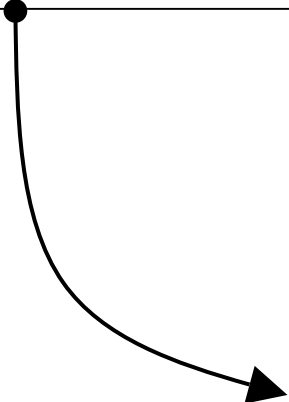


**HIPOTESIS:**  
Envolvente no es necesariamente una línea recta. Para esto se necesitan conocer los tres círculos de Mohr de los experimentos de tracción, corte y compresión



# Hipótesis de la Fricción Interna de Mohr modificada

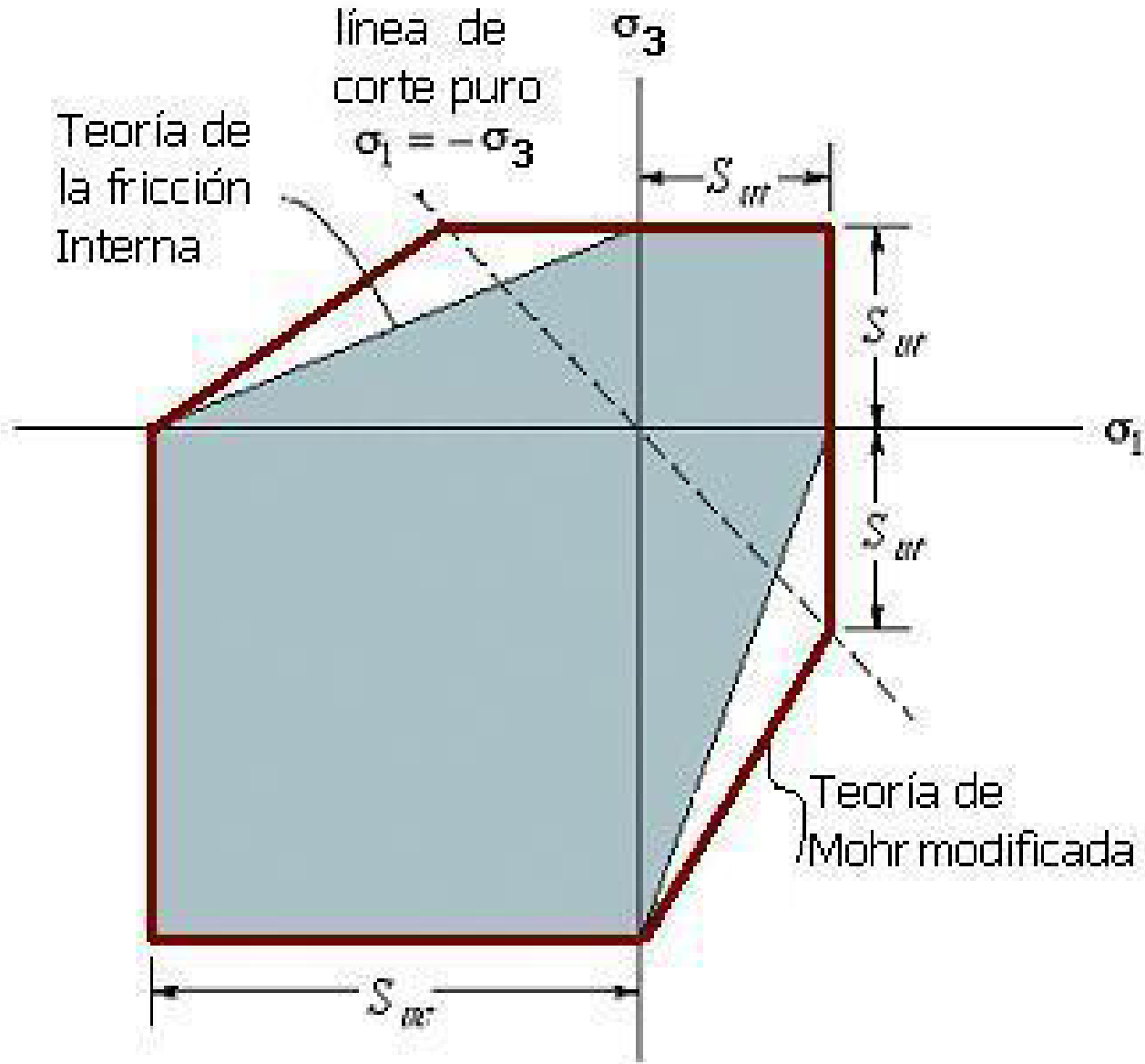
$$\sigma_1 \frac{S_{ut} \sigma_3}{S_{uc} - S_{ut}} = \frac{S_{ut} S_{uc}}{n_s S_{uc} - S_{ut}} \quad \left. \begin{array}{l} \sigma_1 \geq 0 \\ \sigma_3 \leq -S_{ut} \end{array} \right\}$$



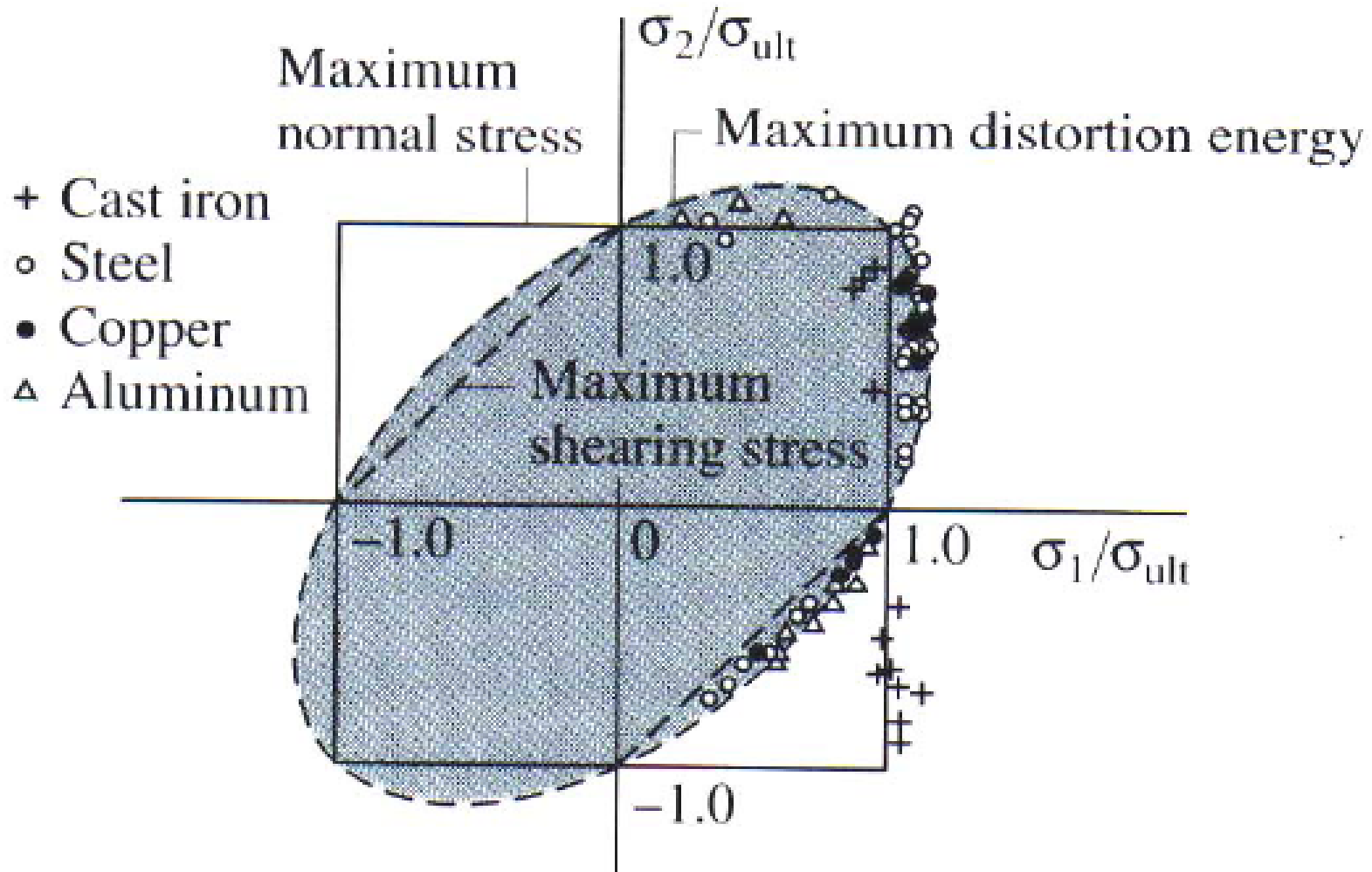
$$\sigma_1 = \frac{S_{ut}}{n_s} \quad \forall \sigma_3 > -S_{ut}$$
$$\sigma_3 = \frac{S_{uc}}{n_s} \quad \forall \sigma_1 < 0$$



# *Hipótesis de la Fricción Interna de Mohr modificada*



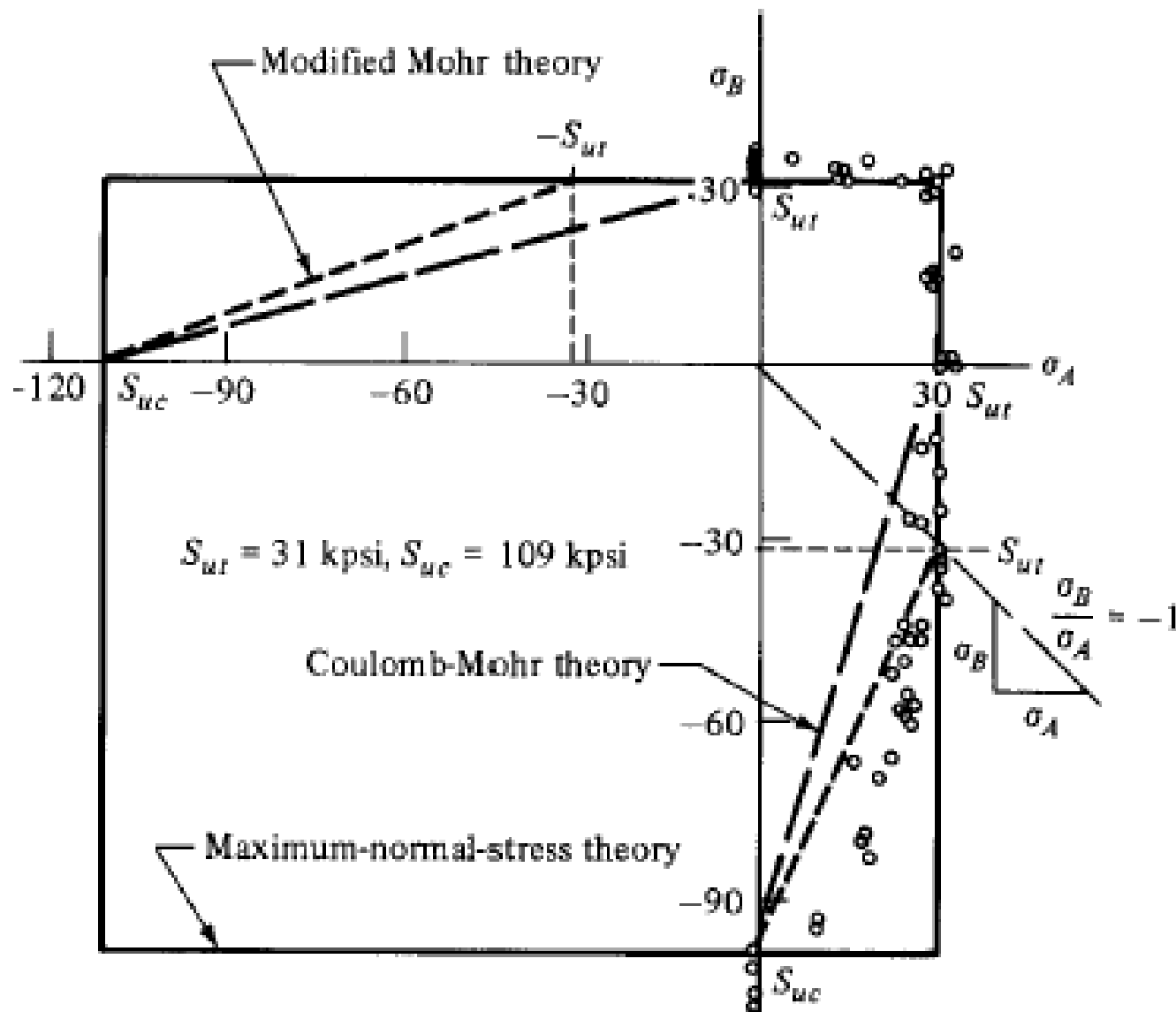
# Comparación de Criterios con Experimentos



Tomado de Hamrock. Figura 6.17



# Comparación de Criterios con Experimentos



Tomado de Shigley. Figura 6.32



# *Introducción*



# *Introducción*

