

# Mecánica de Fractura Lineal Elástica

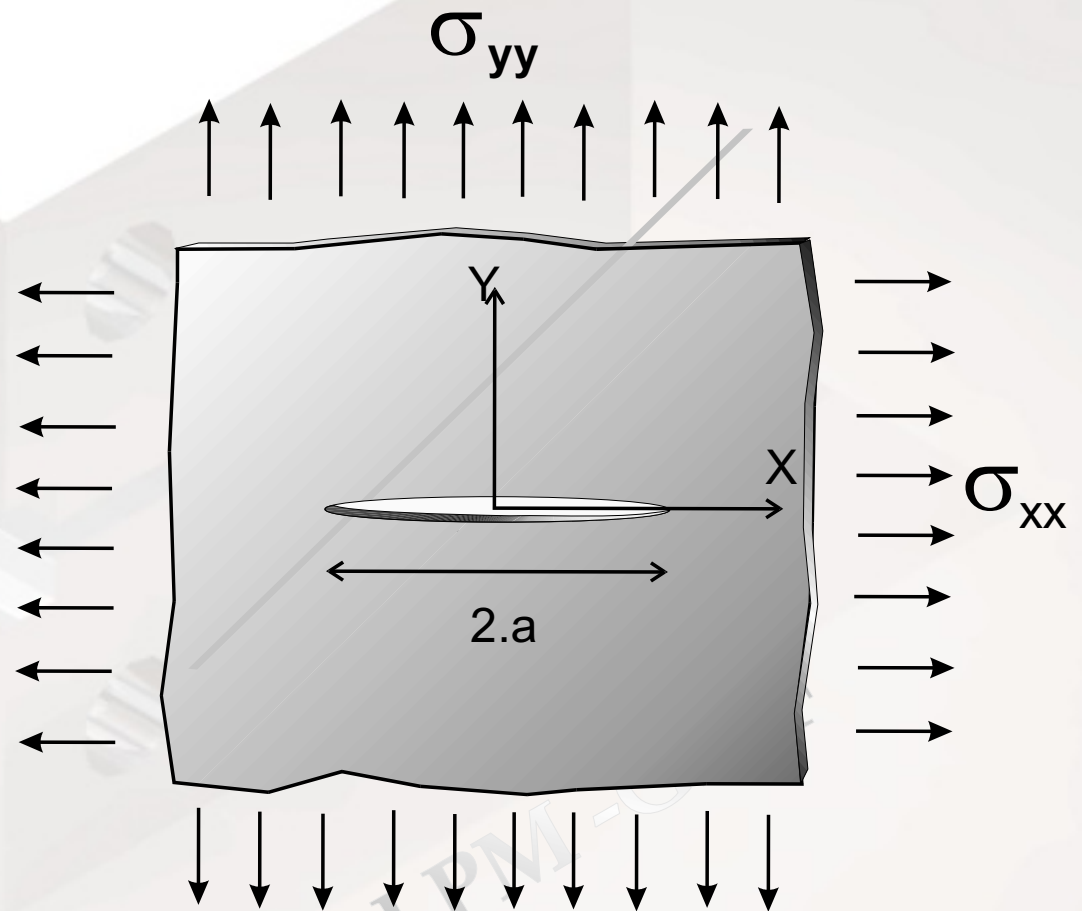
---

LPM -GMF

# Balance Energético de Griffith

Energías intervinientes:

- \* Elástica
- \* Superficial



# Balance Energético de Griffith (cont)

Energía Elástica (Solución de Inglis):

$$U_e = \frac{K + 1}{8\mu} \pi a^2 t \sigma_{yy}^2(\infty)$$

Energía Consumida (solo superficial)

$$U_s = 2t 2a \gamma$$

$\gamma$ : densidad de energía superficial

# Balance Energético de Griffith (cont)

$$dU_e = \frac{K + 1}{4\mu} \pi a t \sigma_{yy}^2(\infty) da$$

$$dU_s = 4 t \gamma da$$

LPM -GMF

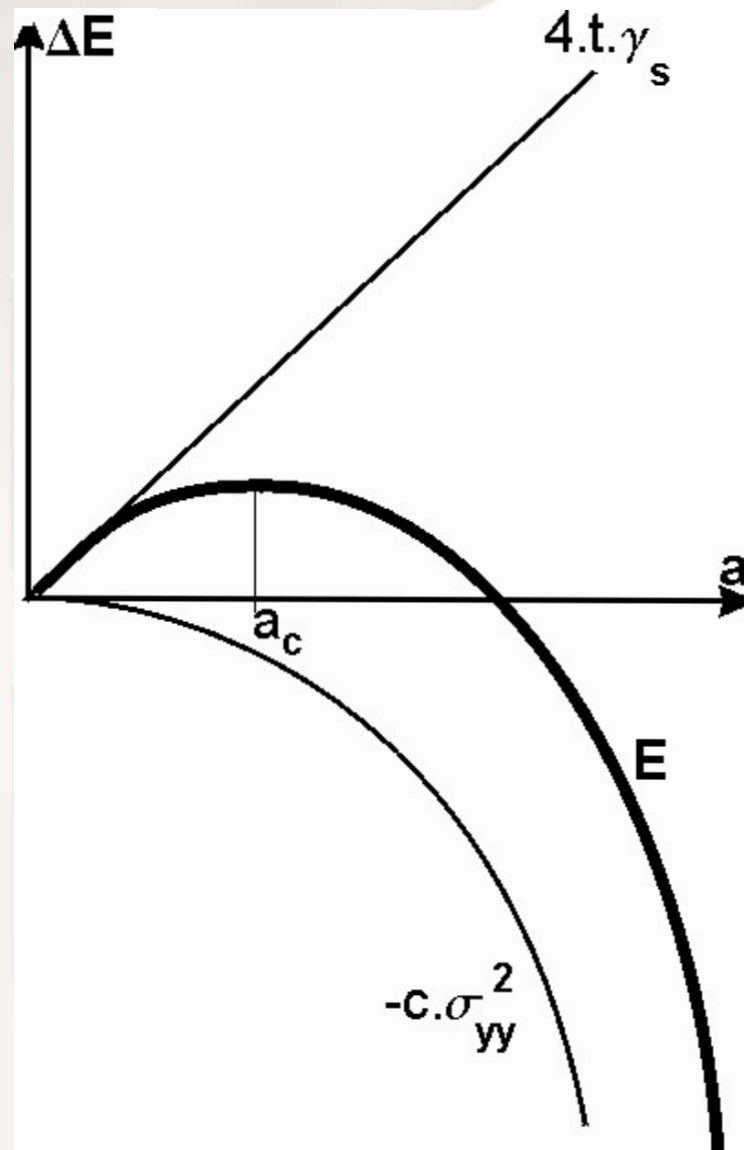
# Balance Energético de Griffith (cont)

Entonces, habrá crecimiento de fisura si:

$$\frac{K + 1}{4\mu} \pi a t \sigma_{yy}^2(\infty) da > 4t \gamma da$$

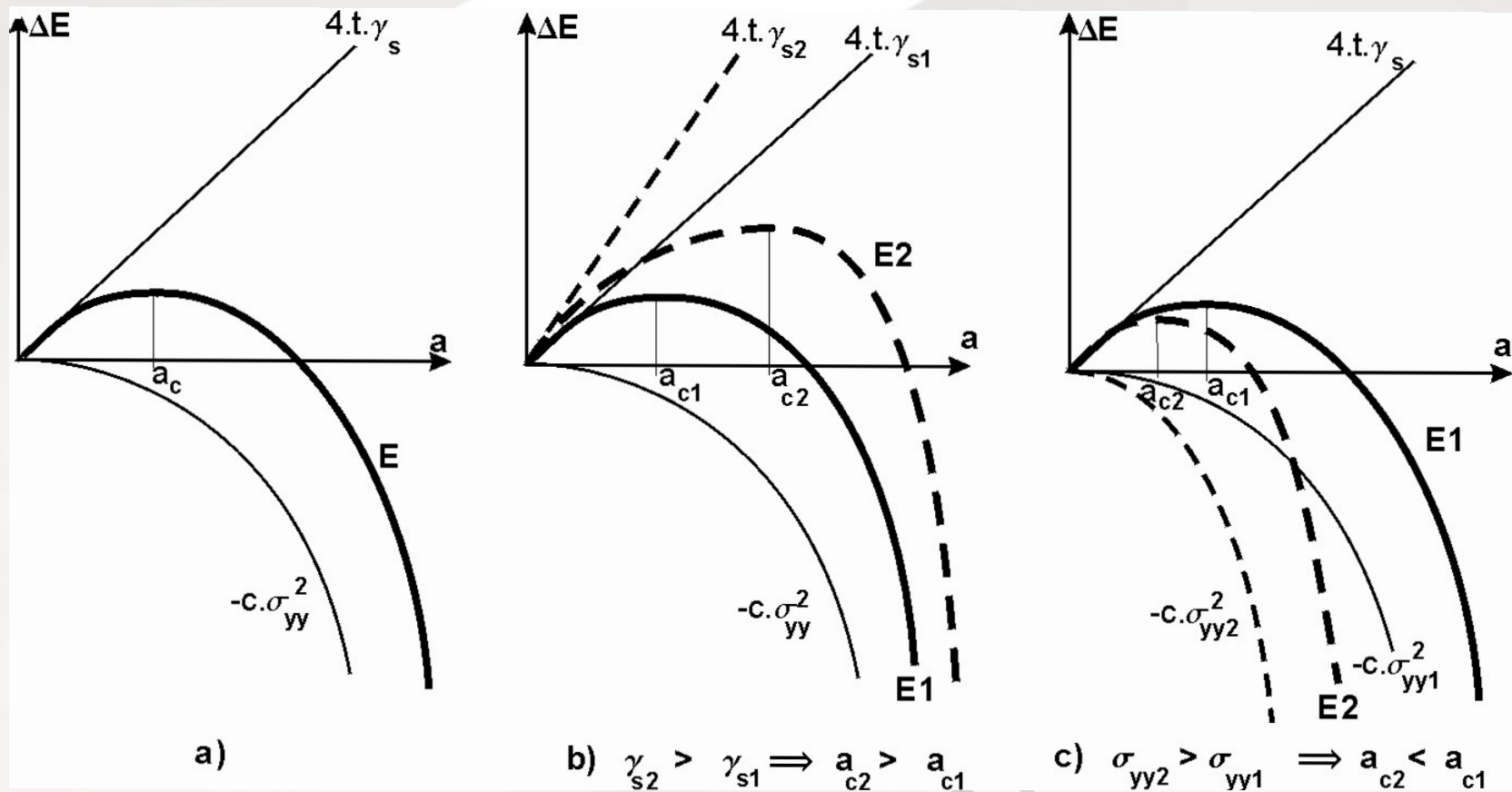
$$\sigma^2 a > \frac{2E}{(1 - \nu^2)\pi} \gamma$$

# Balance Energético de Griffith (cont)

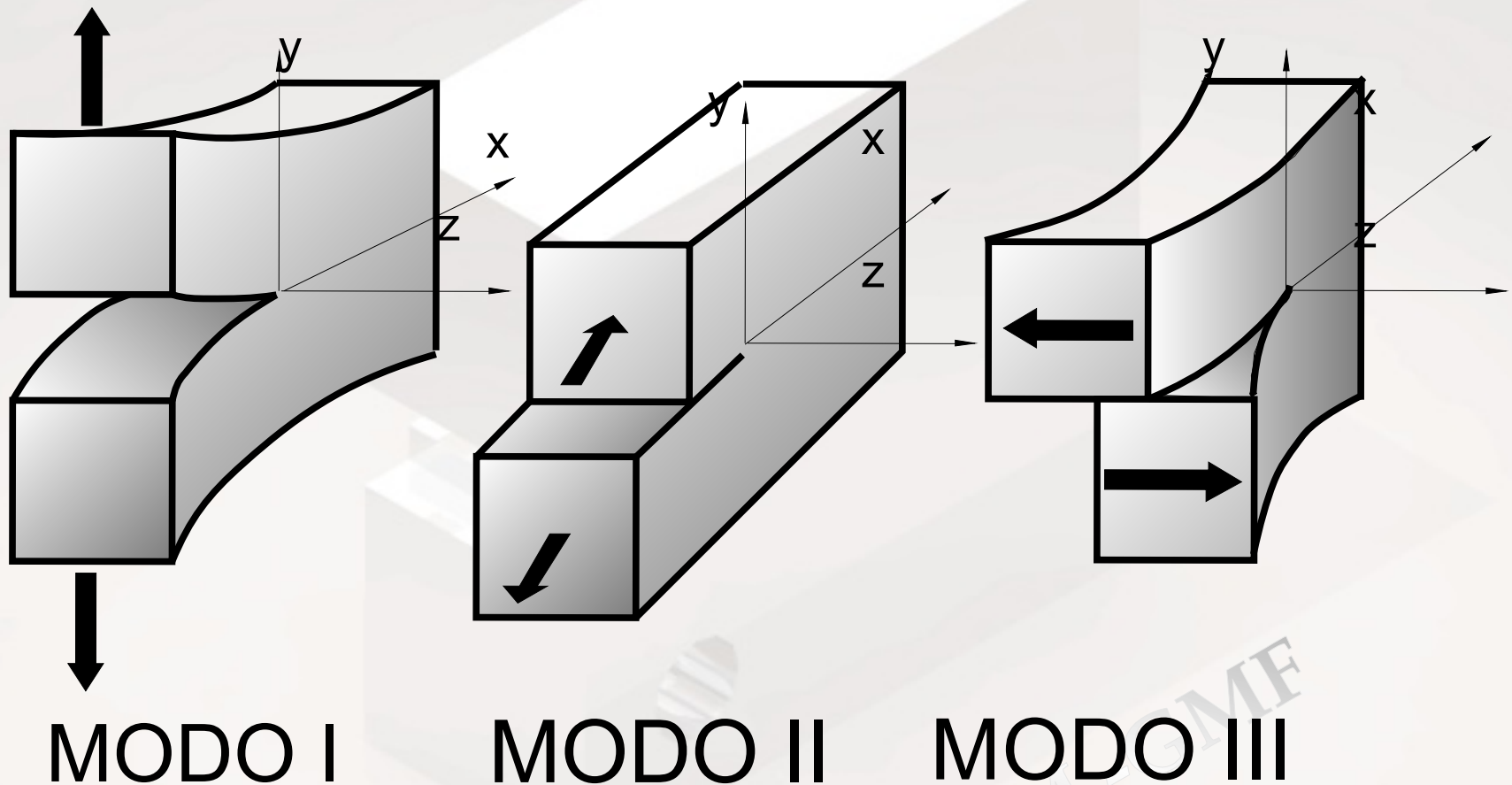


-GME

# Balance Energético de Griffith (cont)



# Modos de abertura de fisuras



LPM-AME



# Estados planos

---

## ■ Estado plano de deformaciones

▶  $\varepsilon_z = 0$

▶  $\sigma_{zz} = \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})$

## ■ Estado plano de tensiones

▶  $\sigma_z = 0$

▶  $\varepsilon_{zz} = -\nu(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy})$

LPM -GMF

# Modificaciones de Orowan e Irwin

---

Para tener en cuenta que en metales la energía consumida es principalmente por deformación plástica:

$$\sigma^2 a > \frac{E}{(1 - \nu^2)\pi} \gamma_p$$

Estado plano de deformaciones

$$\sigma^2 a > \frac{E}{\pi} \gamma_p$$

Estado plano de tensiones

LPM - CMI

# Definición de G

---

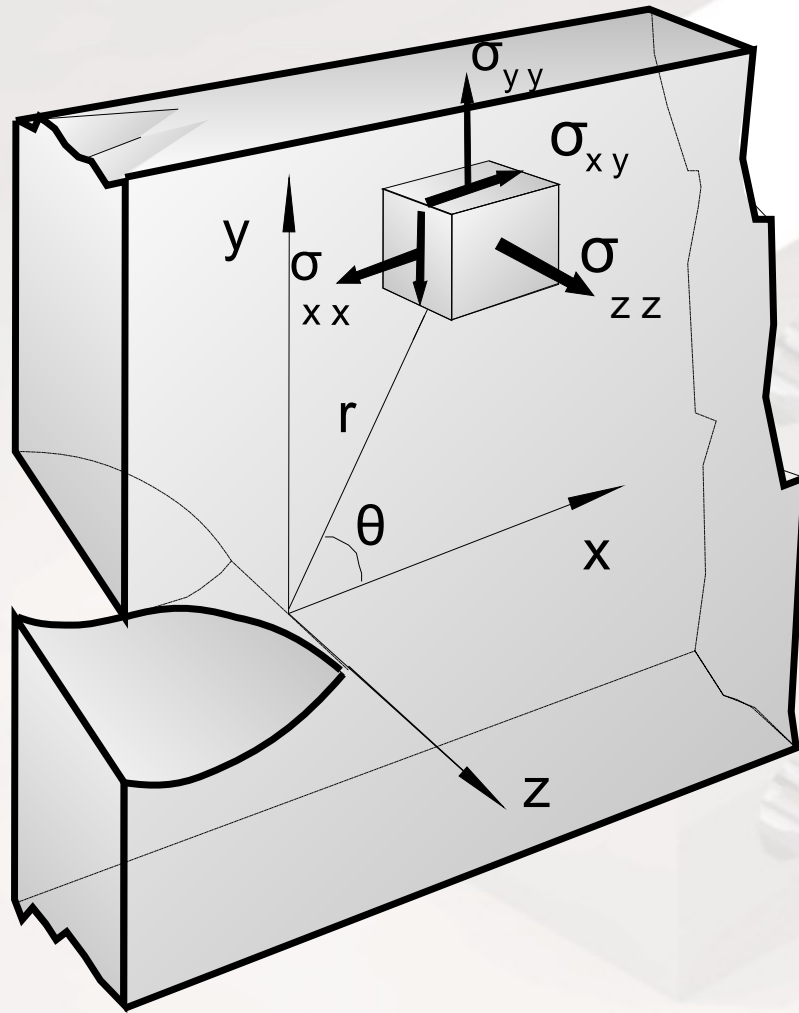
$$G = \frac{1}{t} \frac{dU_e}{da} = 2\gamma_p$$

## Criterio de Fractura

$$G \geq G_{IC}$$

LPM -GMF

# El Factor de Intensidad de Tensiones



$$\sigma_{xx} = \frac{K \cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{2\pi r}} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) + \dots$$

$$\sigma_{yy} = \frac{K \cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{2\pi r}} \left( 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) + \dots$$

$$\sigma_{xy} = \frac{K \cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{2\pi r}} \left( \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right) + \dots$$

LPM - C

# Relaciones entre K y G

---

■ Modo I

$$G_I = \frac{K_I^2}{E'}$$

■ Modo II

$$G_{II} = \frac{K_{II}^2}{E'}$$

■ Modo III

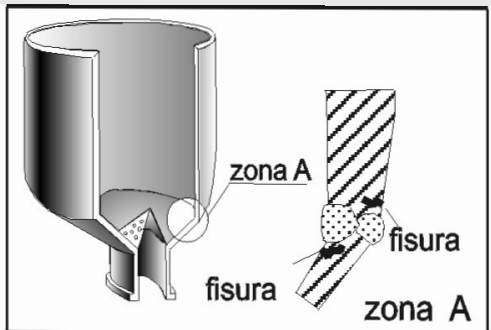
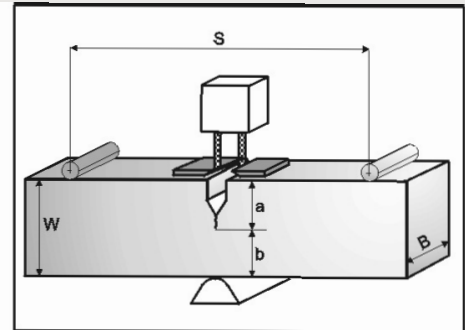
$$G_{III} = \frac{1 + \nu}{E'} K_{III}^2$$

LPM -GMF

# Resumiendo

---

- Bajo las hipótesis consideradas, existe un parámetro que gobierna el estado de tensiones en la punta de la fisura:  $K_I$ .
- $K_I$  puede ser calculado para toda geometría y estado de carga.
- Cuando  $K_I$  alcanza un valor crítico,  $K_{Ic}$ , la fisura se inestabiliza y comienza a crecer.
- $K_{Ic}$ , característico de cada material, estado termomecánico y temperatura, puede ser medido mediante ensayos normalizados.



Tenacidad a la Fractura  
 $K_{IC} = P / (a W^{0.5}) f(a/W)$

Factor Intensidad de Tensiones  
 $K_I = f(\sigma, a, \text{geometría})$

Criterio de Fractura  
 $K_{IC} K_I$

Conocidos  $a$  y  $K_{IC}$

Conocidos  $a$  y  $\sigma$

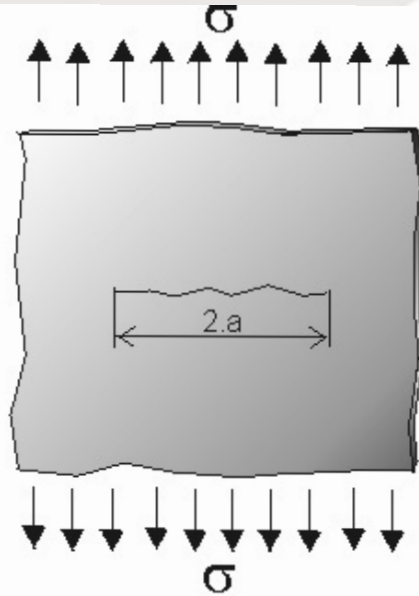
Conocidos  $\sigma$  y  $K_{IC}$

Tensión crítica  
 $\sigma_c = K_{IC} / [(\pi a)^{0.5} Y]$

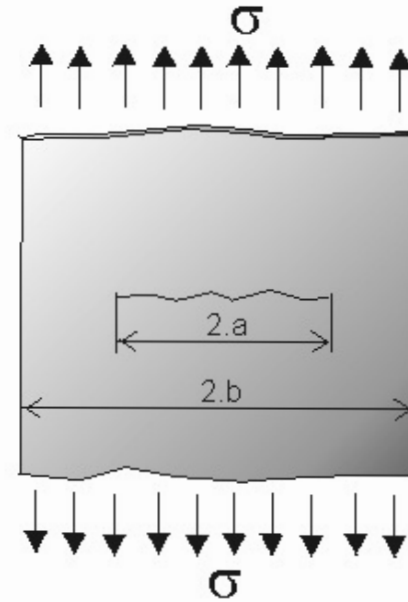
Tenacidad necesaria  
 $K_{IC} = \sigma (\pi a)^{0.5} Y$

Tamaño crítico  
 $a_c = 1 / [\pi (K_{IC} / \sigma Y)^2]$

# Factores de Intensidad de Tensiones

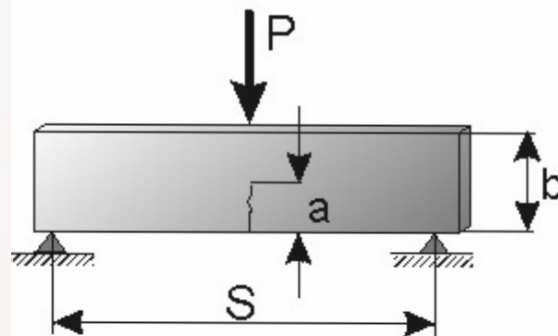


$$K = \sigma \cdot (\pi \cdot a)^{1/2}$$



$$K = \sigma \cdot (\pi a)^{1/2} f(a/b)$$

$$f(a/b) = [1 - 0,025 \cdot (a/b)^2 + 0,06 \cdot (a/b)^4] \cdot [\sec(\pi \cdot a / 2 \cdot b)]^{1/2}$$



$$K = \sigma \cdot (\pi \cdot a)^{1/2} f(a/b)$$

$$\sigma = 6 \cdot M / b^2 \quad M = P \cdot S / 4$$

$$f(a/b) = 1,09 - 1,735 \cdot (a/b) + 8,2 \cdot (a/b)^2 - 14,18 \cdot (a/b)^3 + 14,57 \cdot (a/b)^4$$



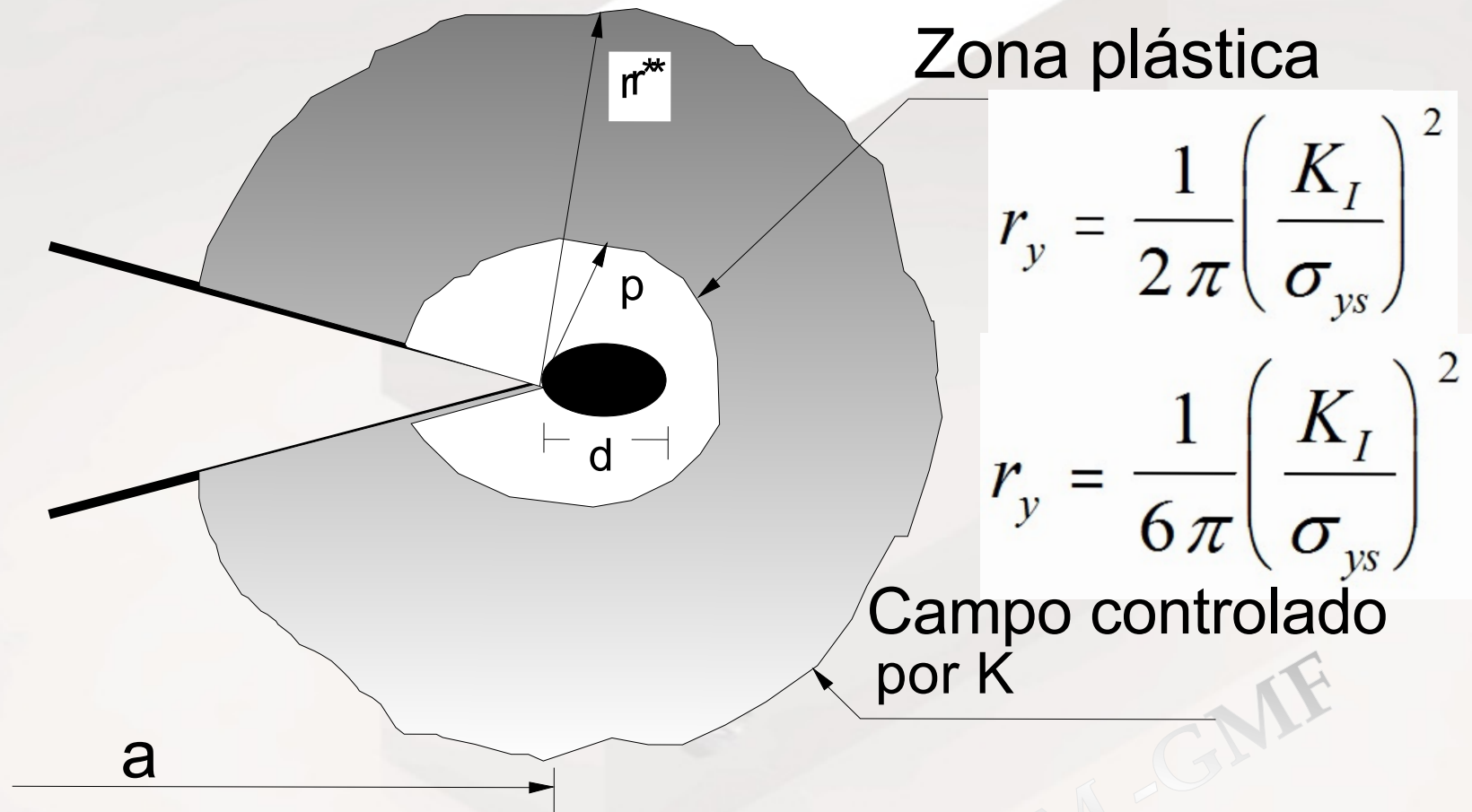
# Limitaciones de K

---

- Efecto de deformación plástica
- Efecto de tamaño
  - ▶ Espesor
  - ▶ Tamaño

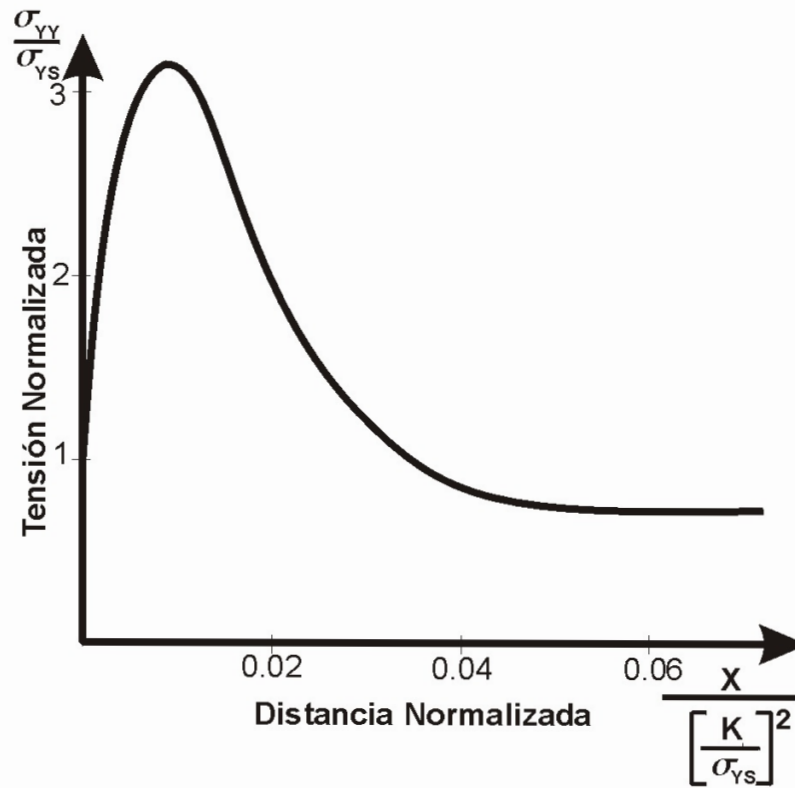
LPM -GME

# Deformación plástica

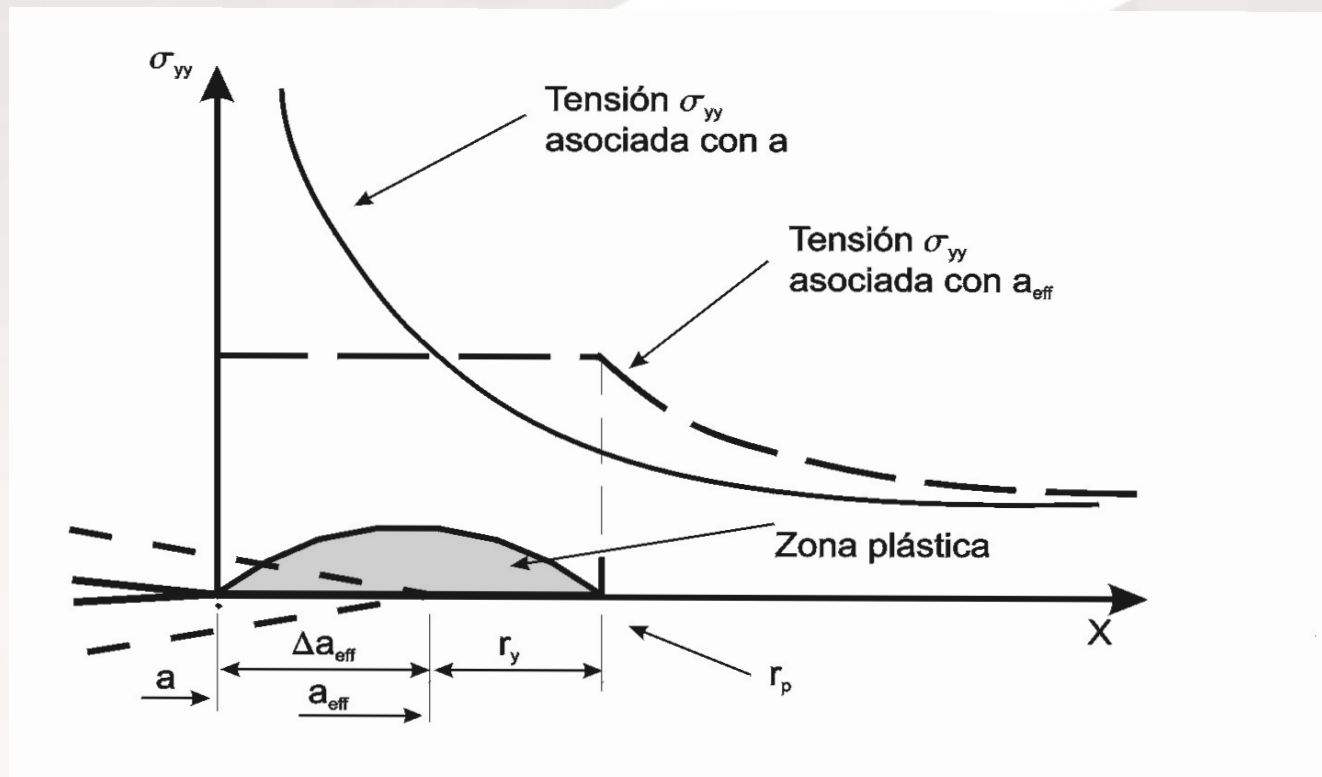


LPM - GMF

# Estado de Tensiones Real



# Longitud efectiva de fisura



$$a_{eff} = a + r_y$$

-GME

# Límite de tamaño por deformación plástica

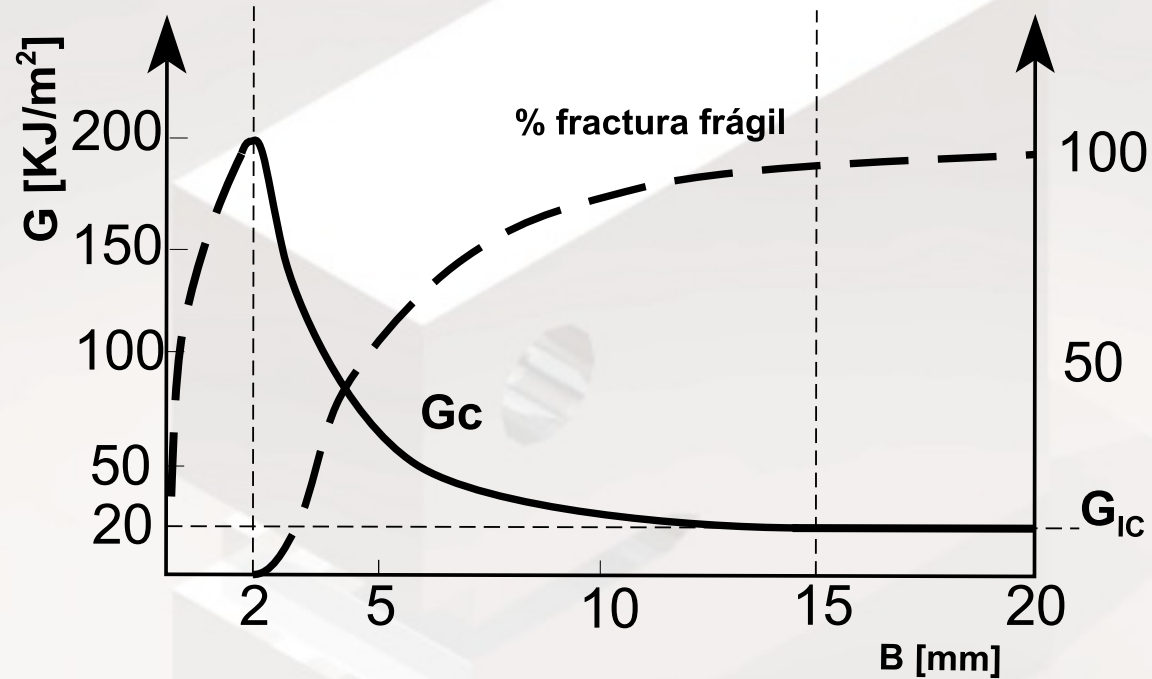
---

$$r_y < 0.02 a, B, W$$

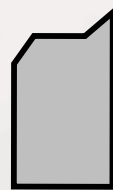
$$a, B, W - a \geq 2.5 \left( \frac{K_{IC}}{\sigma_{ys}} \right)^2$$

LPM-GVA

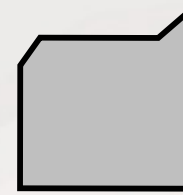
# Efecto del tamaño



A



B

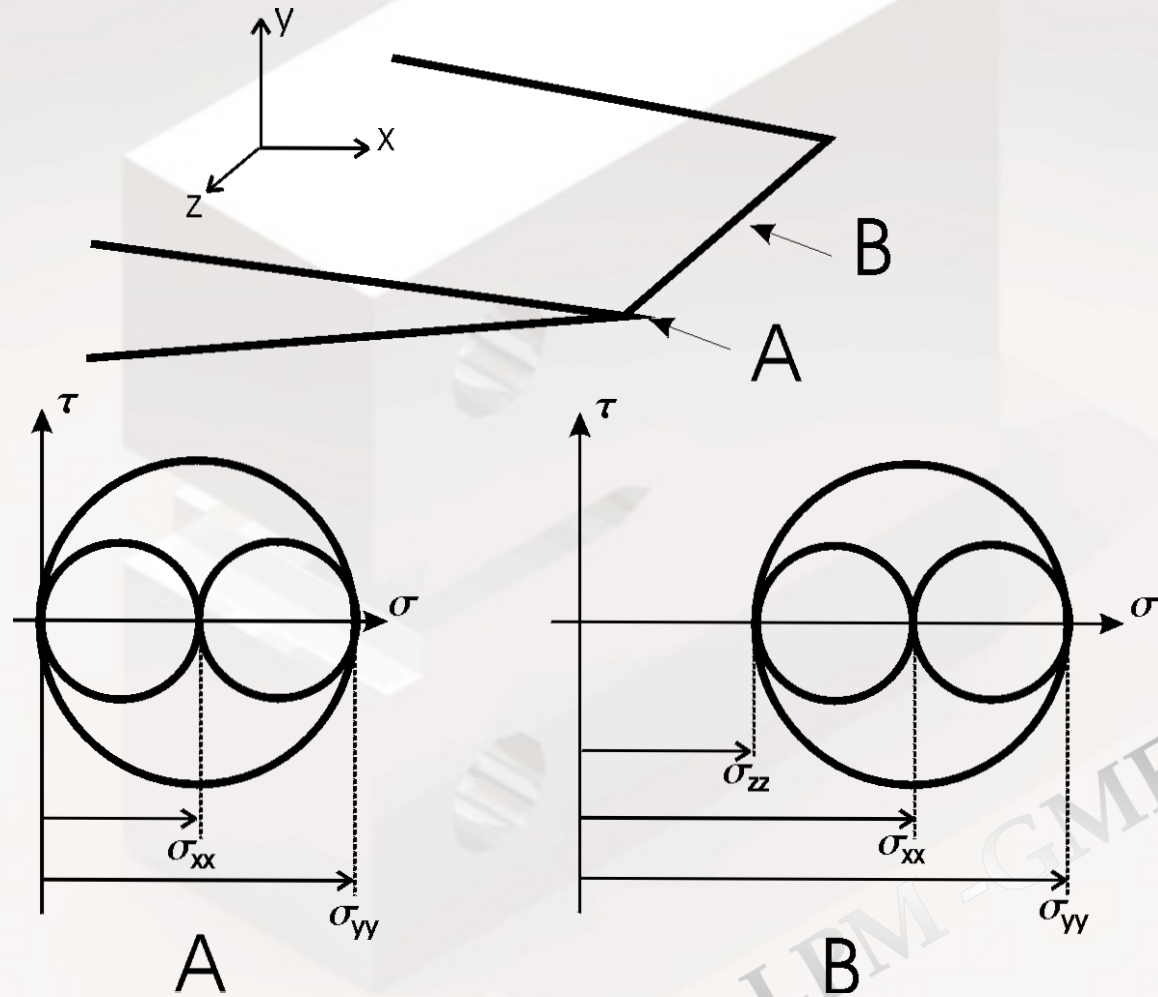


C

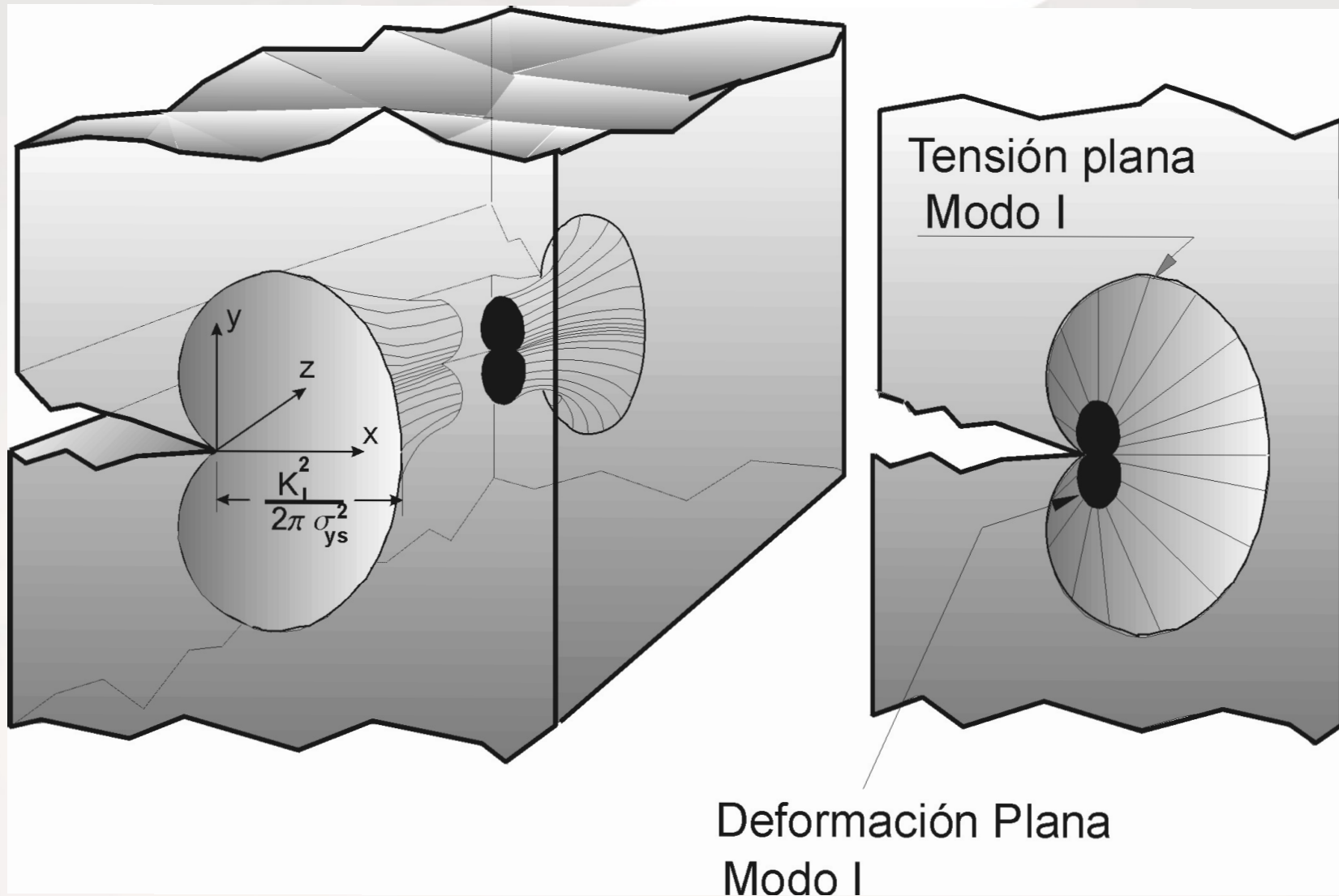
Perfiles de fractura

LPM - GME

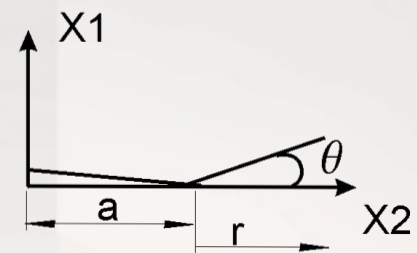
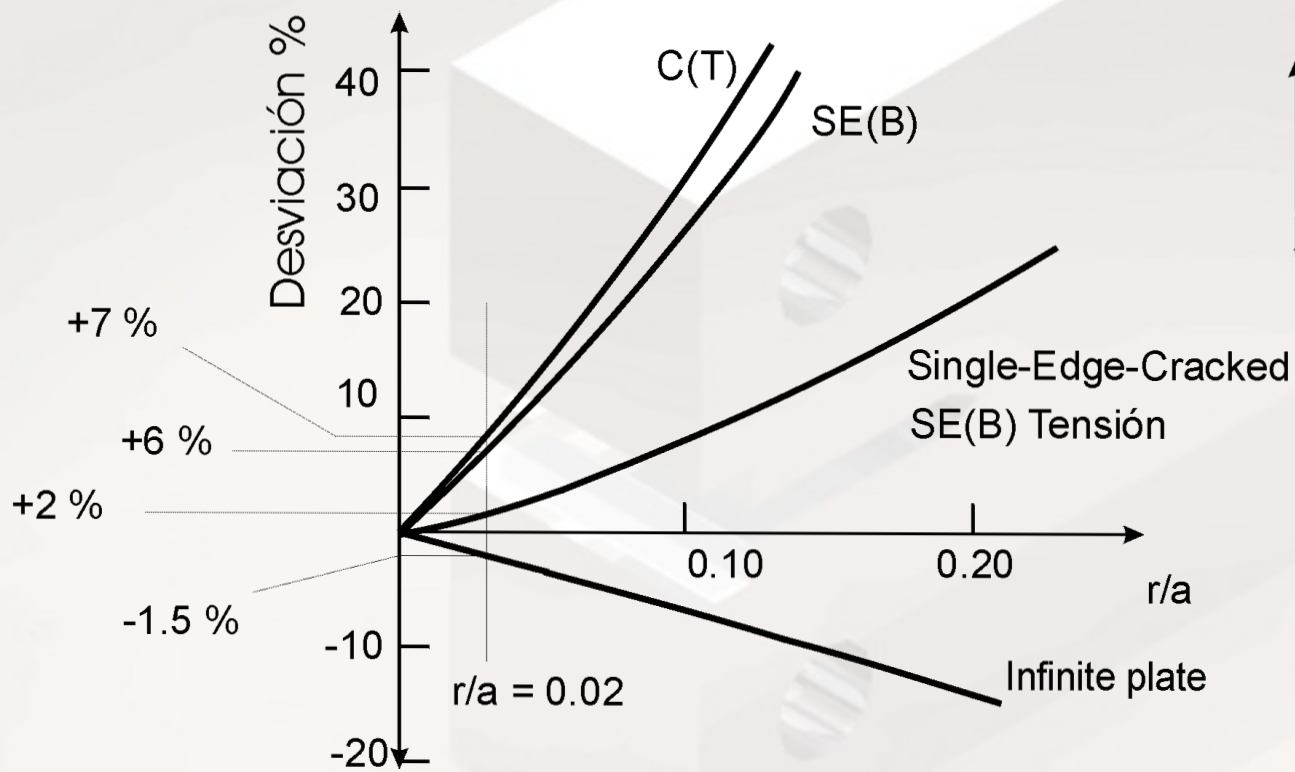
# Efecto del espesor



# Tamaño de Zona Plástica



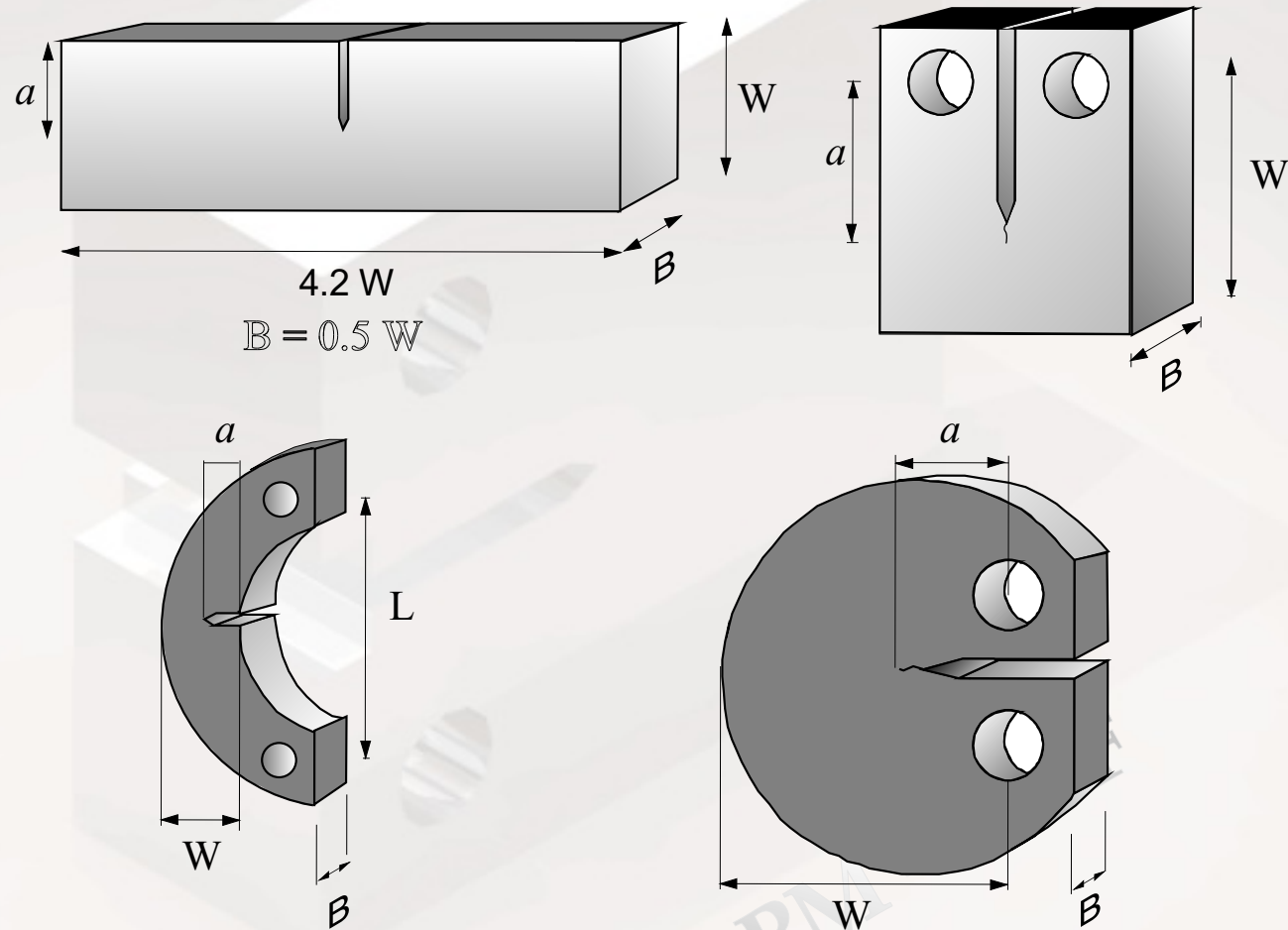




LPM -GMF

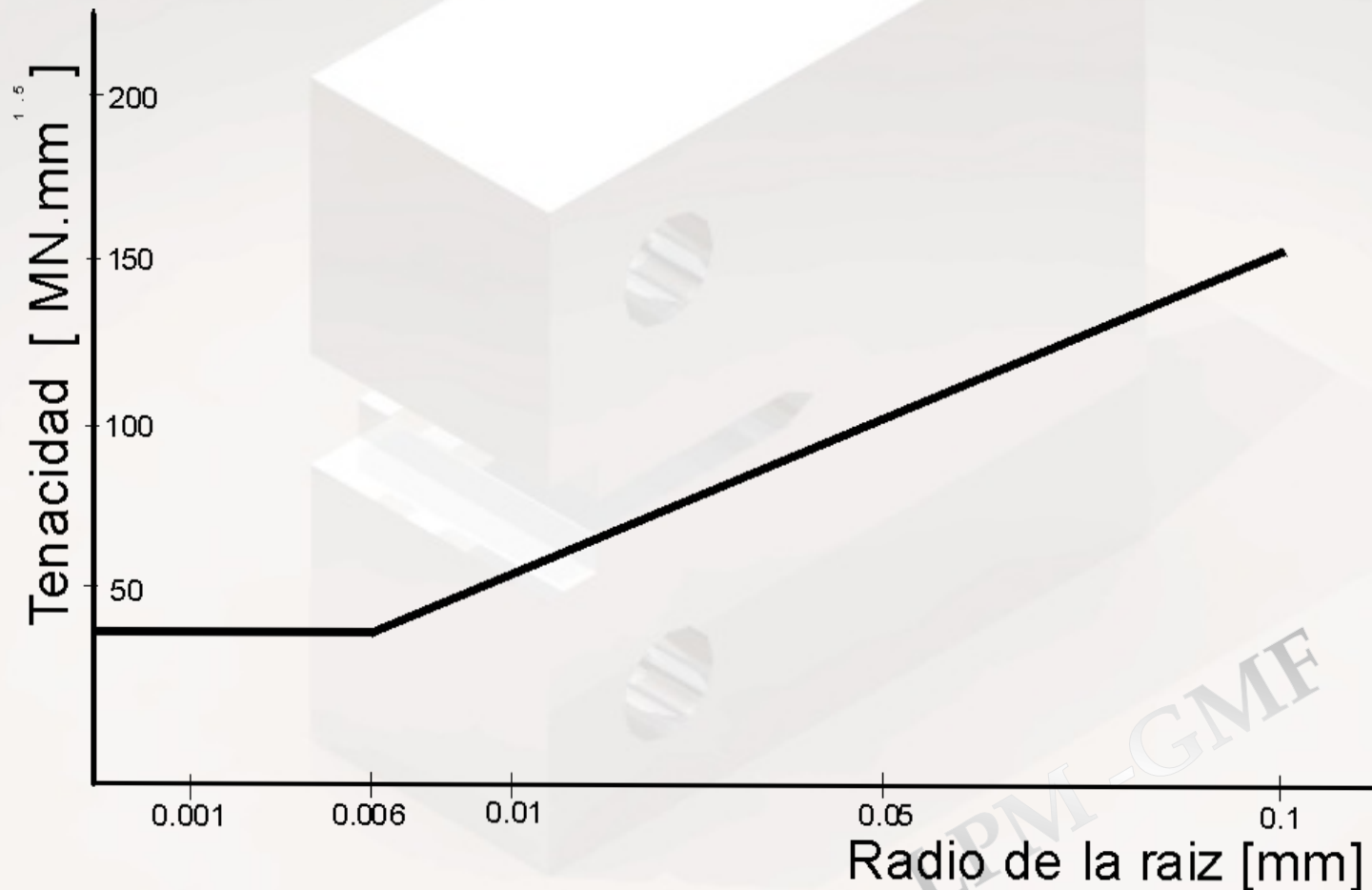
# Determinación Experimental de $K_{Ic}$ ASTM E399

Probetas



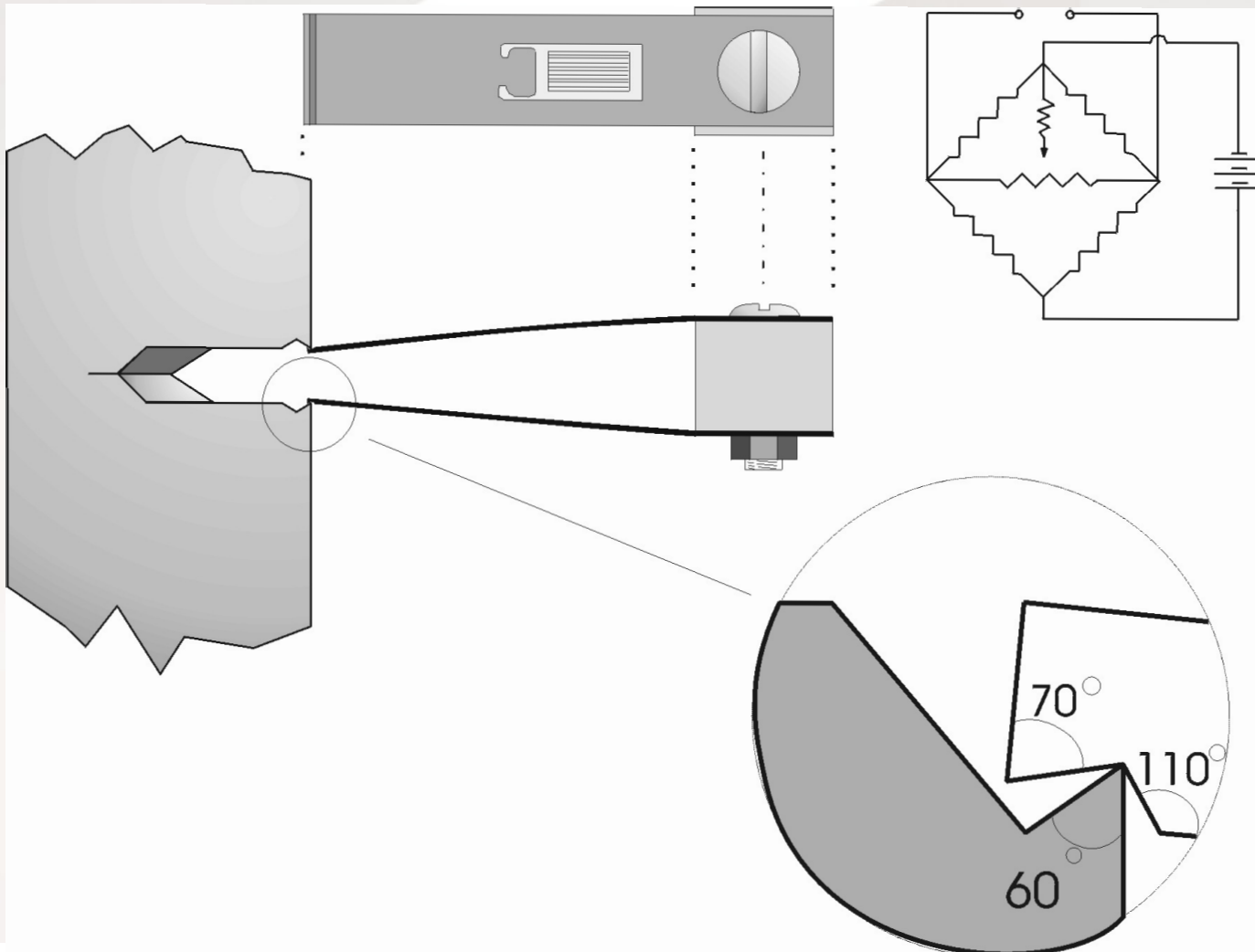
# Determinación Experimental de $K_{IC}$ ASTM E399

Efecto del radio de raíz de la entalla



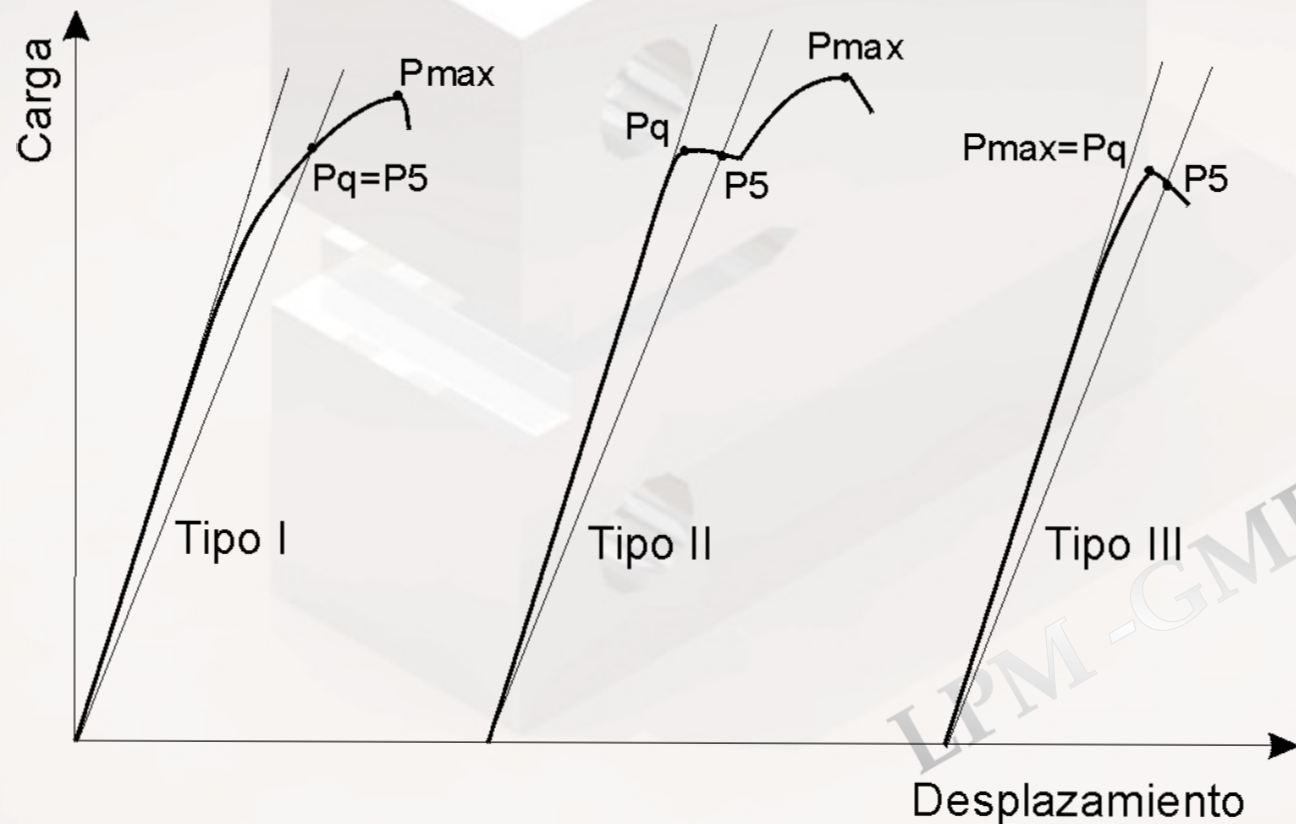
# Determinación Experimental de $K_{Ic}$ ASTM E399

## Trasductor de desplazamiento



# Determinación Experimental de $K_{IC}$ ASTM E399

## Registros carga - desplazamiento



# Determinación Experimental de $K_{IC}$

## ASTM E399

---

### Cálculo de $K_{IC}$

- Probeta CT

$$K_Q = \frac{P_Q}{B\sqrt{W}} f_2(a/W)$$

- Probeta SE(B)

$$K_Q = \frac{P_Q S}{BW^{3/2}} f_1(a/W)$$

- $K_{IC} = K_Q$  si

$$a, B, W - a \geq 2.5 \left( \frac{K_{IC}}{\sigma_{ys}} \right)^2$$

-GME

# Métodos de cálculo de $K_I$

---

## ■ Métodos teóricos

- ▶ Función de tensiones de Westergaard
- ▶ Funciones de tensiones complejas
- ▶ Método de colocación
- ▶ Transformación conforme
- ▶ Función de Green
- ▶ Método de elementos finitos
- ▶ Método de elementos de contorno
- ▶ Principio de superposición

## ■ Métodos experimentales

- ▶ Fotoelasticidad
- ▶ Compliance
- ▶ Velocidad de crecimiento de fisuras por fatiga
- ▶ Holografía, interferometría