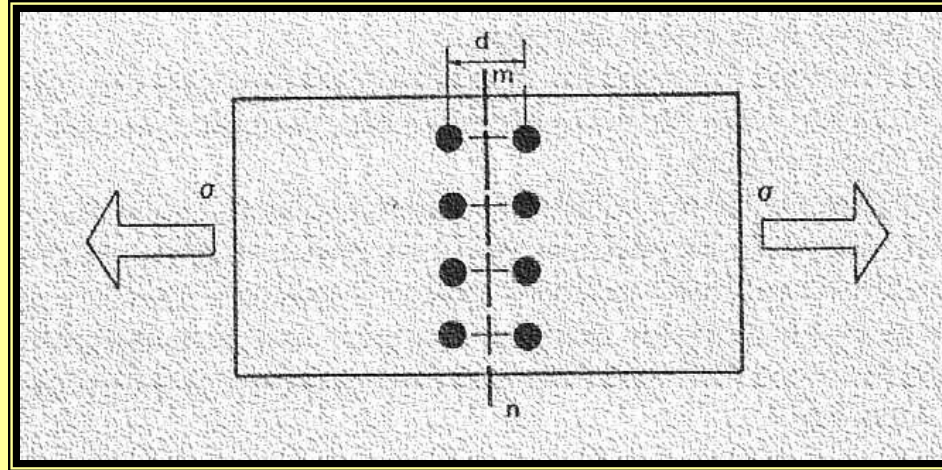


MECANICA DE FRACTURA

LINEAL ELASTICA

Fractura Elástica



- Material Elástico lineal perfecto
- No existen fisuras ni defectos
- Separación es por rotura de enlaces atómicos en el plano m-n
- Fuerzas de atracción y repulsión son función de la sollicitación exterior
- La deformación $\square = x/d$, x: variación de “d”
- $\square = E \square = E x/d$

Tensión Teórica de Fractura

$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{x}{d} \quad \frac{d\sigma}{dx} = \frac{E}{d}$$

$$\frac{d\sigma}{dx} = \frac{d}{dx} \left[\sigma_t \operatorname{sen} \frac{2\pi}{\lambda} x \right] =$$

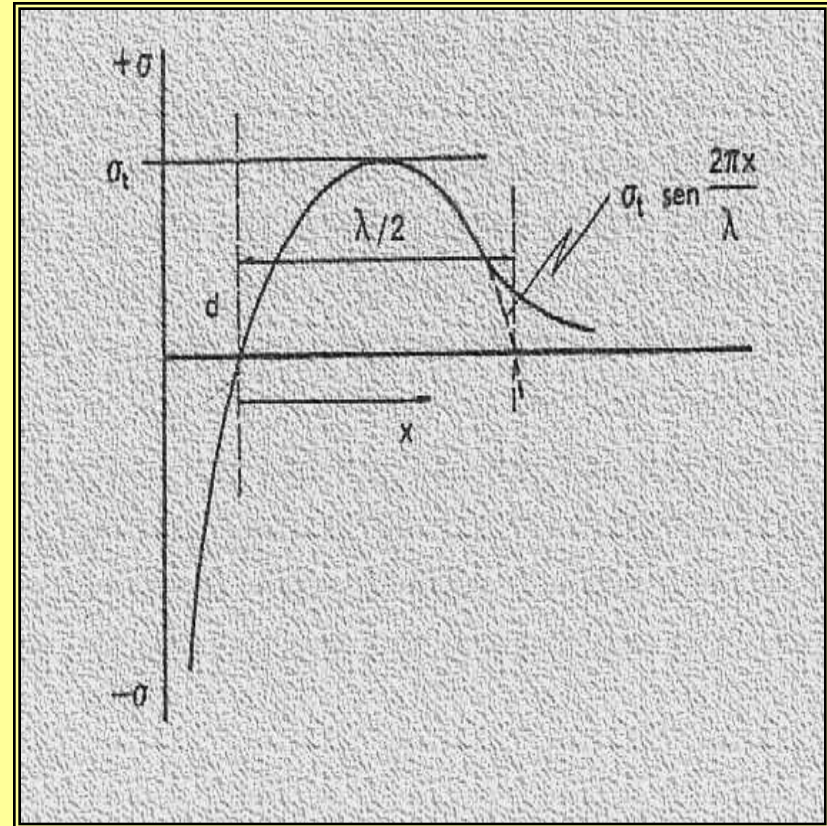
$$\cos \frac{2\pi}{\lambda} x \approx 1$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} \sigma_t \cos \frac{2\pi}{\lambda} x = \frac{2\pi}{\lambda} \sigma_t$$

$$W = \int_0^{\frac{\lambda}{2}} \sigma_t \operatorname{sen} \frac{2\pi}{\lambda} x dx = \frac{\sigma_t \lambda}{\pi}$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} \sigma_t = \frac{E}{d} \rightarrow \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^{-1} = \frac{2\sigma_t d}{E}$$

$$W = \sigma_t \frac{\lambda}{\pi} = \frac{2d}{E} \sigma_t^2$$



$$W = \int_0^{\frac{\lambda}{2}} \sigma_t \operatorname{sen} \frac{2\pi}{\lambda} x dx = \frac{\sigma_t \lambda}{\pi}$$

Energía de Superficie = γ

$$W = \frac{2d}{E} \sigma_t^2 = 2\gamma$$

$$\sigma_t = \left[\frac{\gamma \cdot E}{d} \right]^{1/2}$$

$$\sigma_t = \left[\frac{10^{-3} \text{ kg / mm} \cdot 21000 \text{ kg / mm}^2}{3 \times 10^{-7} \text{ mm}} \right]^{1/2}$$

$$\sigma_t \cong 577 \text{ kg / mm}^2 \quad \square \quad \text{valores normales}$$

Criterio de Orowan

Solución de Inglis - Tensión en el vértice

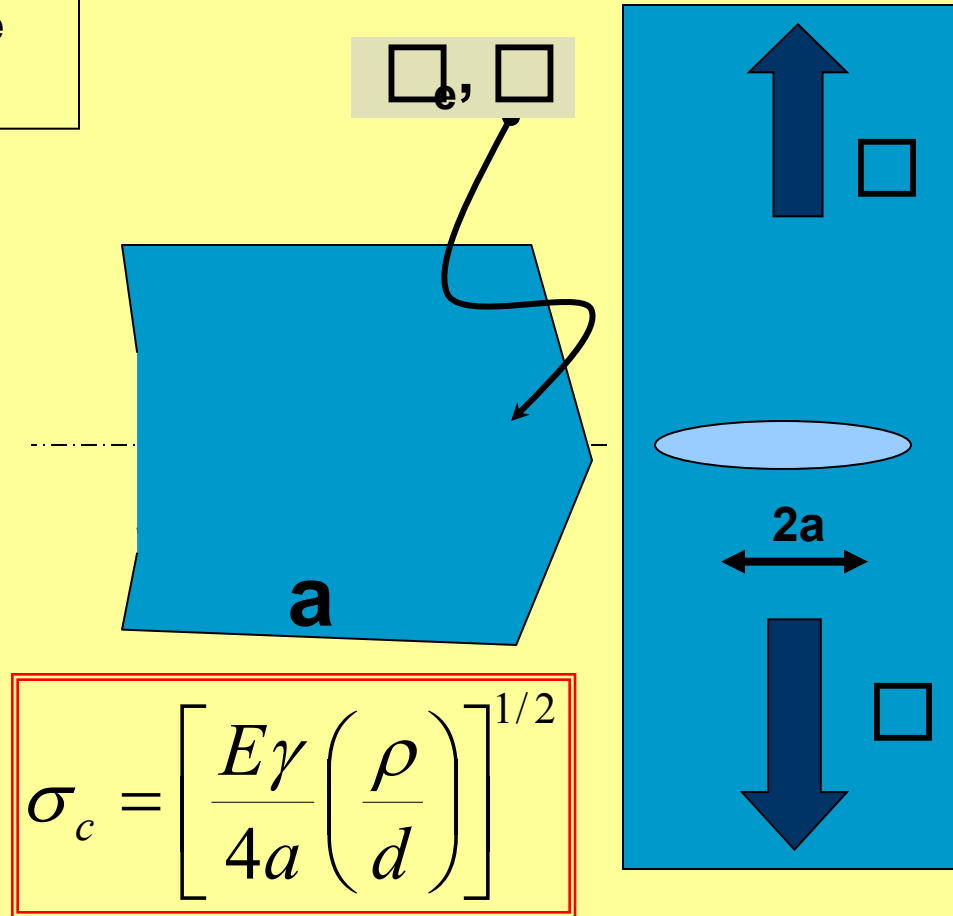
Fisura pasante de longitud $2a$

$$\sigma_e = \textit{tensión.vértice} = 2\sigma \left(\frac{a}{\rho} \right)^{1/2}$$

Cuando existe separación en dos superficies

$$\sigma_e = 2\sigma_c \left(\frac{a}{\rho} \right)^{1/2} = \sqrt{\frac{E\gamma}{d}}$$

$\sigma_c = \sigma$ remota crítica



$$\sigma_c = \left[\frac{E\gamma}{4a} \left(\frac{\rho}{d} \right) \right]^{1/2}$$

$$\sigma_c = \left[\frac{0.001\text{kg/mm} \cdot 21000\text{kg/mm}^2 \left(\frac{3d}{d} \right)}{4 \times 5\text{mm}} \right]^{1/2} = 1.8 \quad \sigma_c = \left[\frac{0.001\text{kg/mm} \cdot 21000\text{kg/mm}^2 \left(\frac{200d}{d} \right)}{4 \times 5\text{mm}} \right]^{1/2} = 14.5$$

Criterio de Griffith

- La propagación ocurrirá si la energía elástica acumulada es suficiente para proporcionar todo el trabajo necesario para un incremento en la longitud de fisura.

$U = \text{Energía Elástica Acumulada}$

$W = \text{Trabajo para crecimiento}$

1. $-\frac{dU}{da} < \frac{dW}{da}$

2. $-\frac{dU}{da} = \frac{dW}{da}$

3. $-\frac{dU}{da} > \frac{dW}{da}$

1._ no hay propagación

2._ existe propagación estable

3._ propagación inestable

- La propagación ocurrirá si la relajación de energía potencial elástica por unidad de área de extensión de fisura es igual o mayor que la energía requerida para la misma extensión de fisura.

Griffith propuso que esta disminución de energía se transforma completamente en energía superficial

$$W = 2a \gamma_{\text{Superficial}}$$

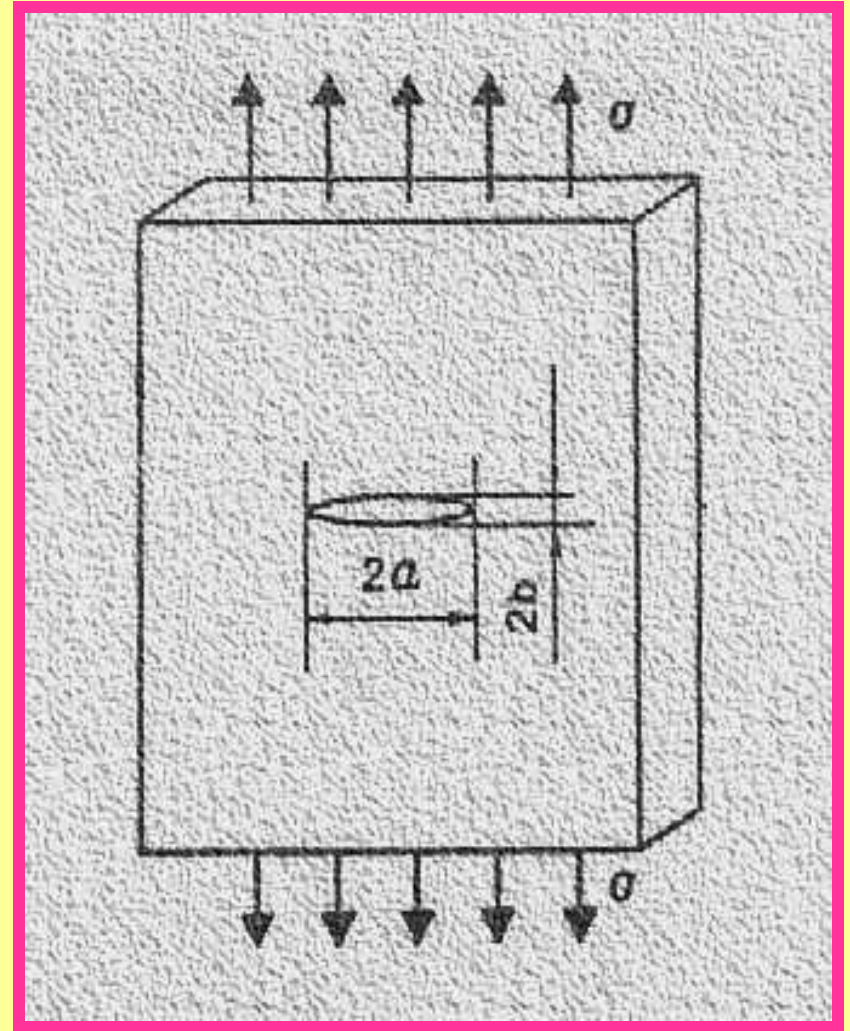
$$\frac{dW}{da} = 2 \gamma_{\text{Superficial}}$$

Para un dado material $dW/da = \text{constante}$

Criterio de Griffith (1921)

■ Condiciones

- Placa Infinita
- Espesor unitario
- Fisura elíptica
- Material elástico Lineal
- Longitud fisura $2a$
- Control de desplazamiento



Solución para Placa Infinita

Disminución de la Energía

$$2U = \frac{\sigma^2 \pi a^2}{E}$$

Entonces la variación de Energía

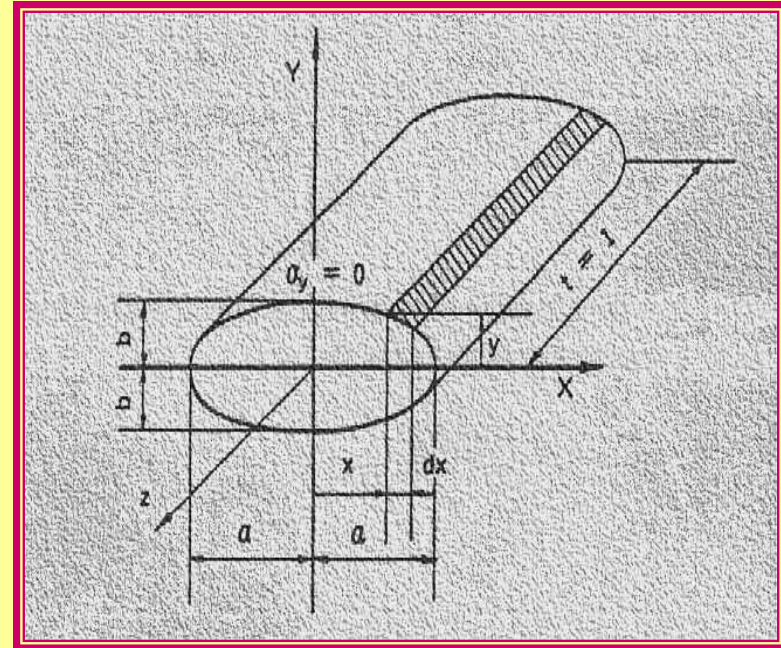
$$\frac{dU}{da} = \frac{\sigma^2 \pi a}{E}$$

(por unidad de espesor)

σ = tensión remota

E = módulo de elasticidad

a = semilongitud de fisura



-Solución de Inglis en campo elástico:

$$b = 2 \sigma a / E$$

■ Consideraciones

- Experiencias en vidrio. Toda la energía es para las nuevas superficies
- En materiales con alguna ductilidad, en el vértice de fisura hay deformación plástica a expensas de la energía acumulada
- Con cada incremento de fisura este mecanismo de deformación plástica se repite y vuelve a consumir energía
- Comparativamente la energía superficial es muy inferior al trabajo de deformación plástica en el vértice de fisura

$$\frac{dW}{da} = 2\gamma_{\text{Superficial}}$$

$$\frac{dU}{da} = \frac{\sigma^2 \pi a}{E}$$

$$\frac{\sigma_c^2 \pi a}{E} = 2\gamma_{\text{Superficie}}$$

Llamando

R = Resistencia del Material

R = 2\gamma_{Superficie} = constante

G = Fuerza Impulsora Crítica Externa

$$G = \frac{\sigma^2 \pi a}{E}$$

Entonces si G aumenta hasta la propagación existe un valor de crítico G_{Crítico}

$$\therefore G_{Crítico} = G_C = \frac{\sigma_{Crítica}^2 \pi a}{E} \rightarrow \sigma_{Crítica} = \sqrt{\frac{G_C \cdot E}{\pi a}}$$

Fuerza Impulsora Crítica

Criterio Griffith – Orowan

$$\frac{2\sigma_c^2 \pi a}{E} = 4(\gamma_{\text{SUPEFICIAL}} + \gamma_{\text{PLÁSTICO}})$$

Operando

$$\sigma_c^2 \pi a = 2E(\gamma_{\text{SUPEFICIAL}} + \gamma_{\text{PLÁSTICO}})$$

De modo que $\sigma^2 \pi a$ debe exceder un valor característico

$$EG_C = 2E(\gamma_{\text{SUPEFICIAL}} + \gamma_{\text{PLÁSTICO}})$$

- G_C , trabajo por unidad de área para extender la fisura
- G_C , *Fuerza Impulsora Crítica*

Factor de Intensidad de Tensiones

Primer Criterio de Fractura

$$\sigma^2 a\pi \geq EG_C$$

Recordando que

$$G_C = 2(\gamma_{\text{SUPEFICIAL}} + \gamma_{\text{PLÁSTICO}})$$

se define

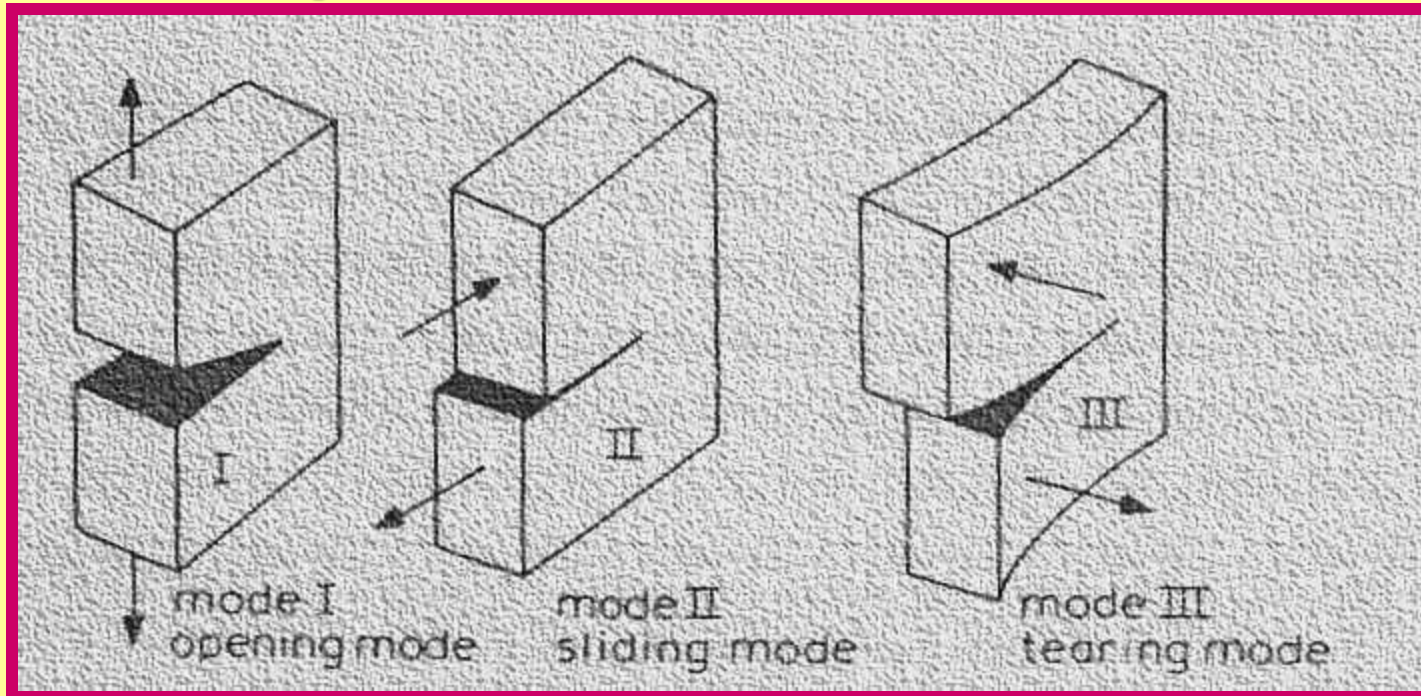
$$K = \sigma\sqrt{\pi a} = \text{Factor Intensidad Tensiones}$$

$$K_C = \sigma_{\text{Crítico}}\sqrt{\pi a} = \sqrt{EG_C} = \text{valor crítico}$$

- K_C , valor crítico del factor de intensidad de tensiones que produce la propagación de la fisura
- Es un valor característico del material y se denomina fractoténacidad

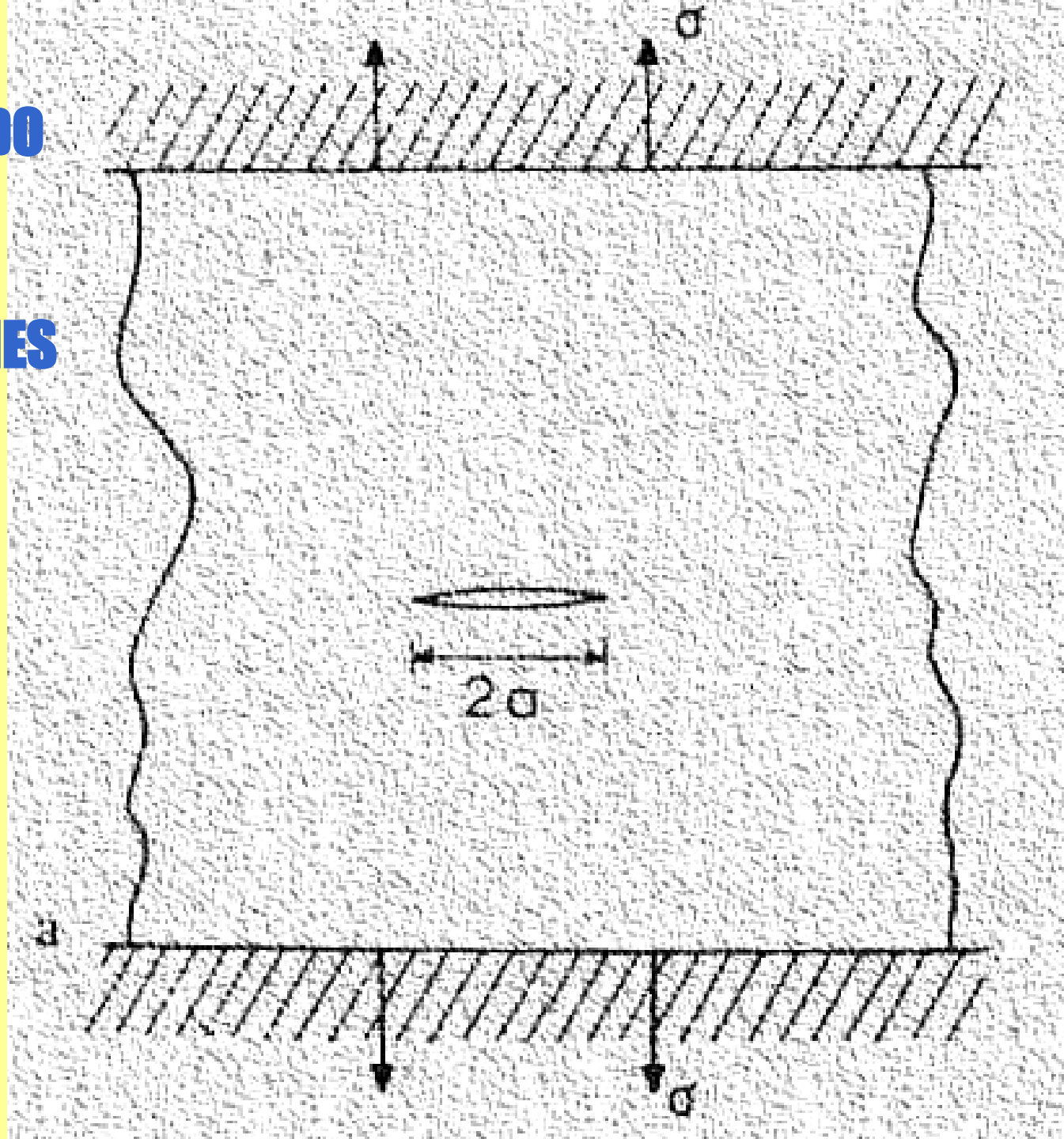
Tensiones en el Vértice de Fisura

Descripción de los Modos de Fractura

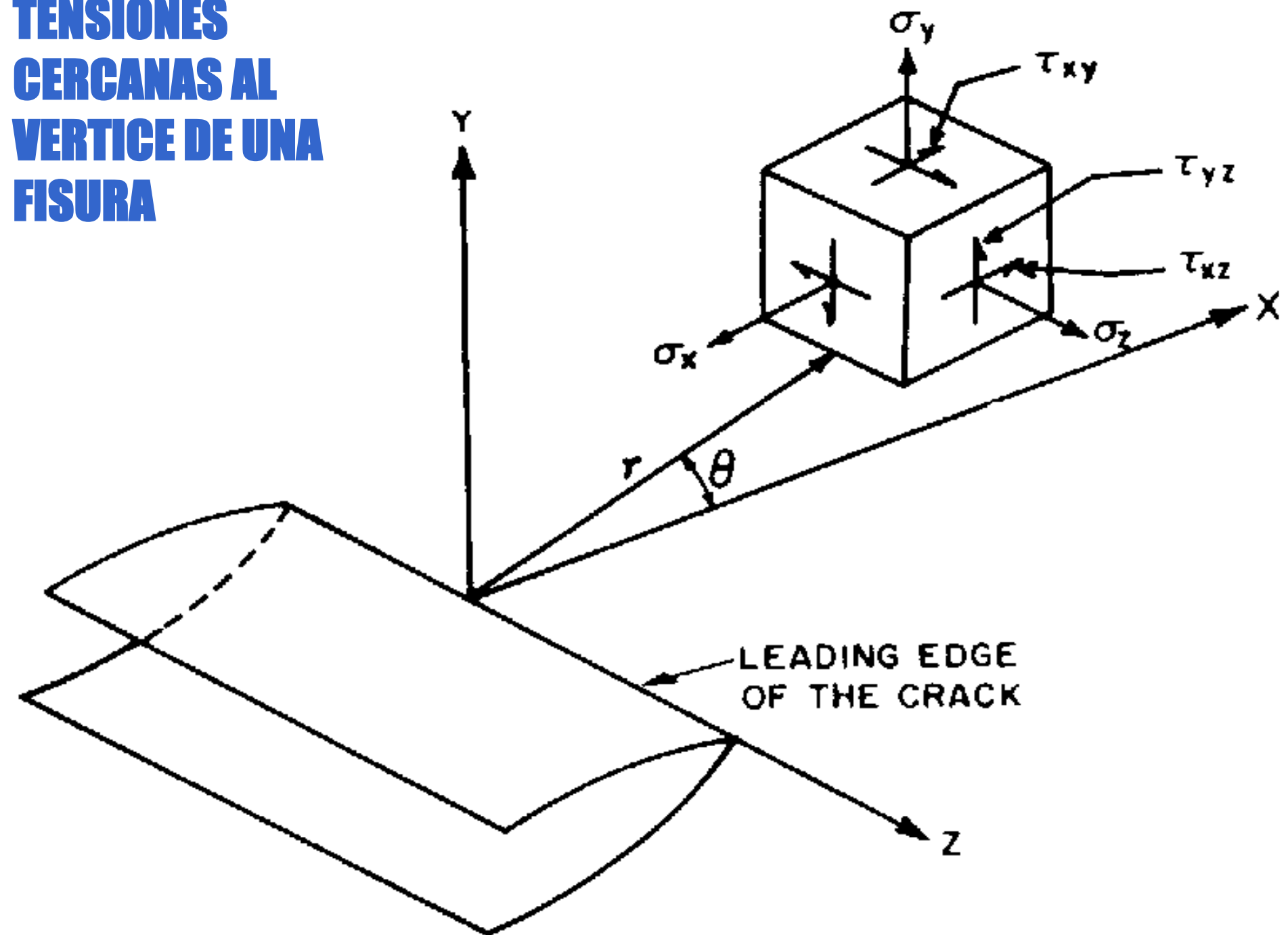


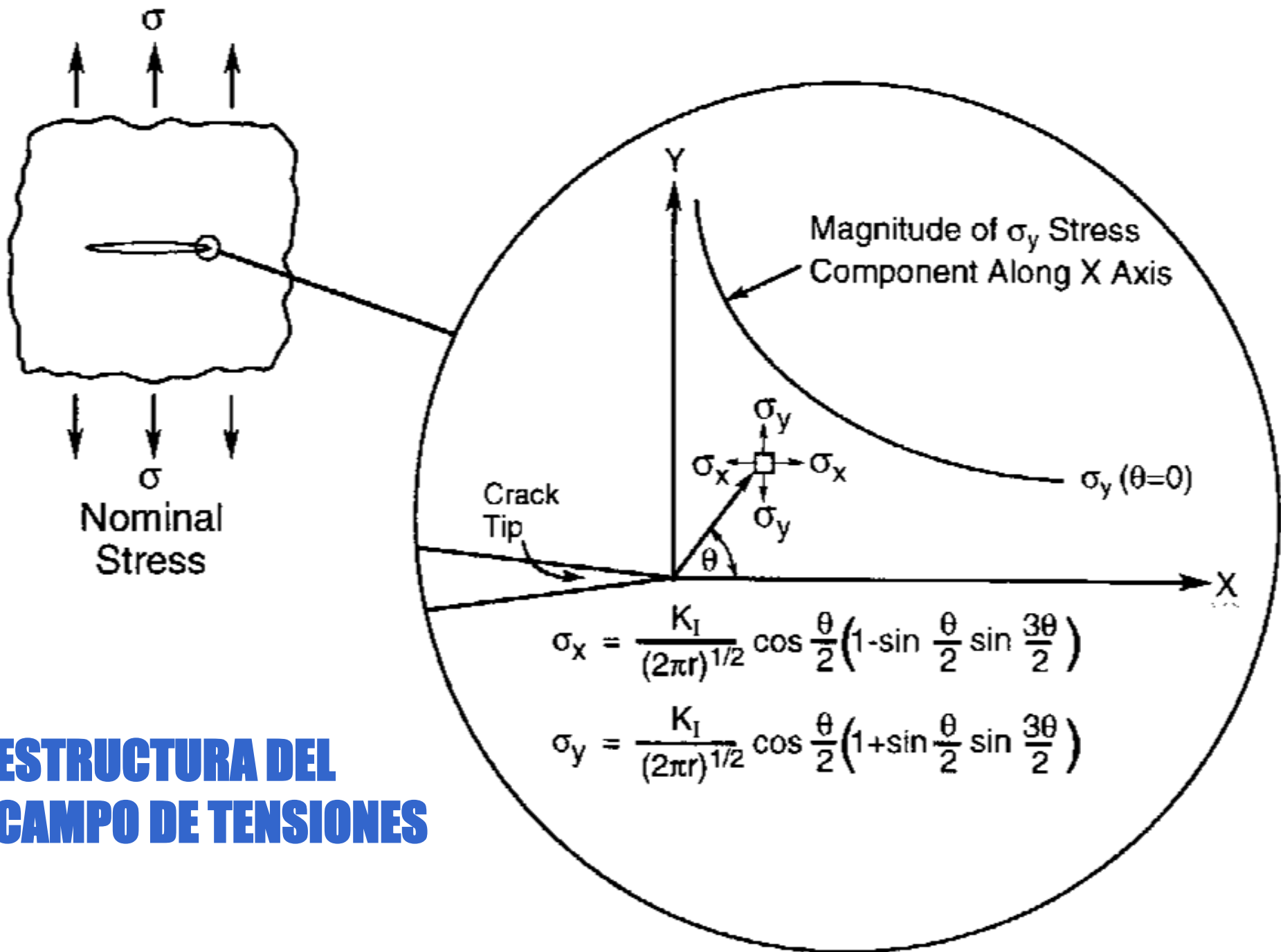
- **Modo I**, carga perpendicular al plano de fisura (apertura)
- **Modo II**, carga paralela al plano de fisura, perpendicular al vértice (corte)
- **Modo III**, carga paralela al plano y al vértice (desgarro)

**CHAPA CONTENIENDO
FISURA PASANTE Y
SOMETIDA A UN
CAMPO DE TENSIONES
UNIFORME**



TENSIONES CERCANAS AL VERTICE DE UNA FISURA





ESTRUCTURA DEL CAMPO DE TENSIONES

CAMPO DE TENSIONES CERCANO AL VERTICE DE UNA FISURA SOLICITADA EN MODO I

$$\sigma_{yy} = \frac{K_I}{(2\pi r)^{1/2}} \text{Cos} \frac{\theta}{2} \left(1 + \text{Sen} \frac{\theta}{2} \text{Sen} \frac{3\theta}{2} \right) + \dots$$

$$\sigma_{xx} = \frac{K_I}{(2\pi r)^{1/2}} \text{Cos} \frac{\theta}{2} \left(1 - \text{Sen} \frac{\theta}{2} \text{Sen} \frac{3\theta}{2} \right) + \dots$$

$$\sigma_{xy} = \frac{K_I}{(2\pi r)^{1/2}} \text{Sen} \frac{\theta}{2} \text{Cos} \frac{\theta}{2} \text{Cos} \frac{3\theta}{2} + \dots$$

$$\sigma_{zz} = \nu (\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) \text{ para deformación plana}$$

$$\sigma_{zz} = 0 \text{ para tensión plana}$$

LA FORMA GENERAL DEL CAMPO DE TENSIONES ES:

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{(2\pi r)^{1/2}} f_{ij}(\theta)$$

DONDE σ_{ij} ES LA COMPONENTE ij DEL TENSOR DE TENSIONES Y f_{ij} UNA FUNCION DE θ CUYA FORMA DEPENDE DE LA COMPONENTE ij EN PARTICULAR SIENDO K_I ES EL FACTOR DE INTENSIDAD DE TENSIONES

LA FORMA GENERAL DEL FACTOR DE INTENSIDAD DE TENSIONES ES:

$$K_I = Y(a/W)\sigma(\pi a)^{1/2}$$

DONDE $Y(a/W)$ ES UNA FUNCION QUE DEPENDE DE LA GEOMETRIA DEL CUERPO FISURADO.

Análisis del Modo I

Indeterminación en el Vértice

■ Solución Elástica

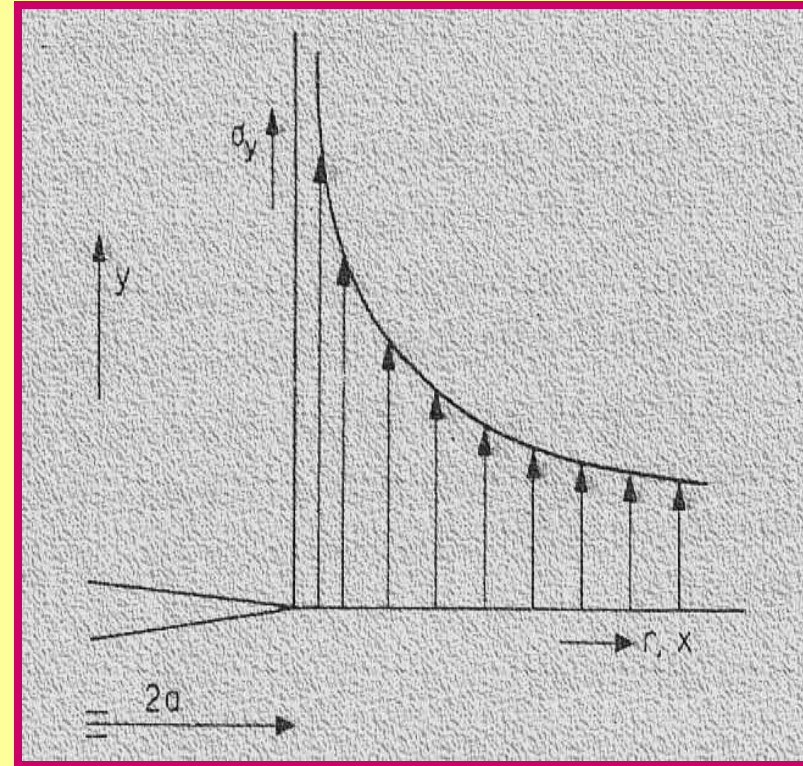
- La tensión en el vértice de fisura tiene valor infinito

$$\sigma_{yy} = \sigma \sqrt{\frac{a}{2r}} f_{yy}(\theta)$$

$$\Rightarrow \sigma_{yy} \rightarrow \infty \text{ cuando } r \rightarrow 0$$

■ Materiales

- Cuando $r \rightarrow 0$, el material sufre deformación plástica y la tensión en el vértice tiene un valor finito.



Análisis del Modo I

Determinación del Tamaño de zona Plástica

Tomando la tensión en la dirección " y "

$$\sigma_{yy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 + \operatorname{sen} \frac{\theta}{2} \operatorname{sen} \frac{3\theta}{2} \right] \text{ y con } K_I = \sigma \sqrt{\pi a}$$

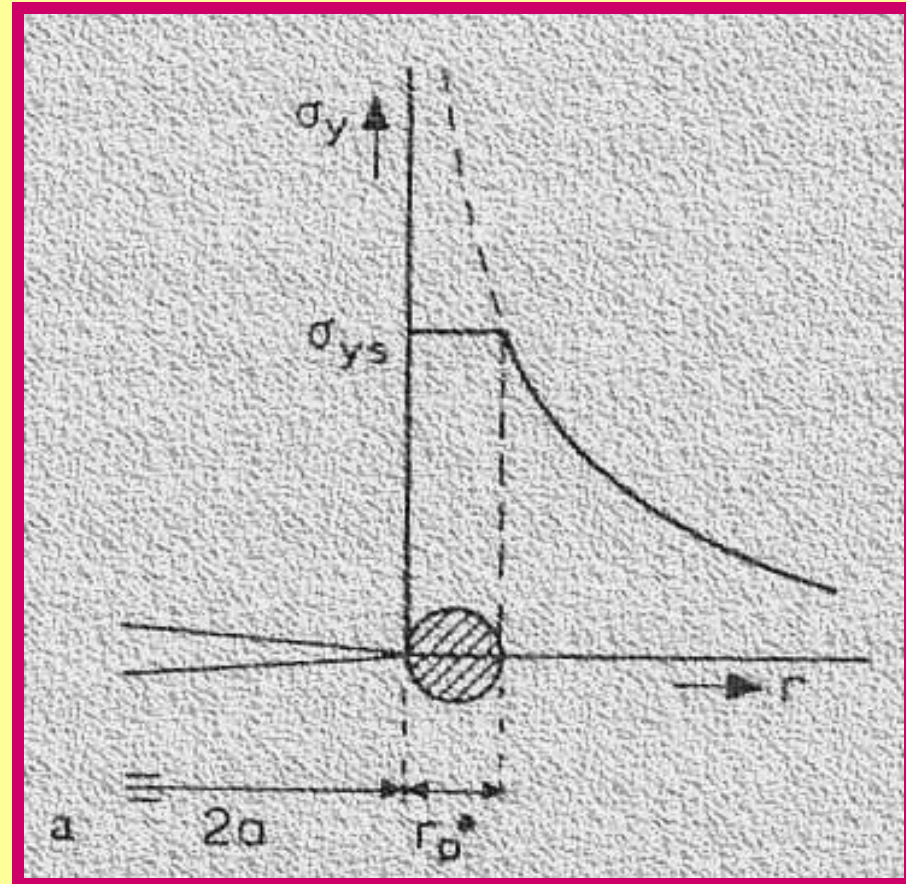
reemplazando $\theta = 0$ y

$$\sigma_{yy} = \text{tensión de fluencia} = \sigma_{ys}$$

$$\sigma_{ys} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r_p^*}}$$

o despejando el radio plástico

$$r_p^* = \frac{K_I^2}{2\pi\sigma_{ys}^2} = \frac{\sigma^2 a}{2\sigma_{ys}^2}$$



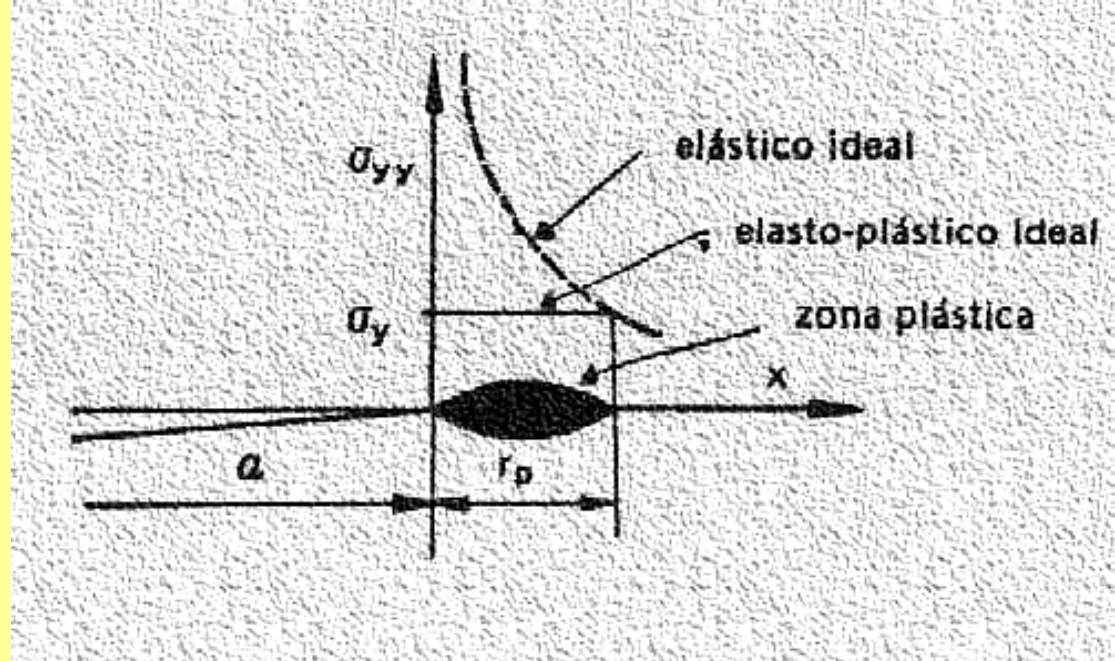
La extensión r_p de la zona plástica surge inmediatamente si tenemos en cuenta que debe cumplirse que

$$\sigma_{yy} \Big|_{\substack{r=x=r_p \\ \theta=0}} = \frac{K_I}{(2\pi r_p)^{1/2}} = \sigma_y$$

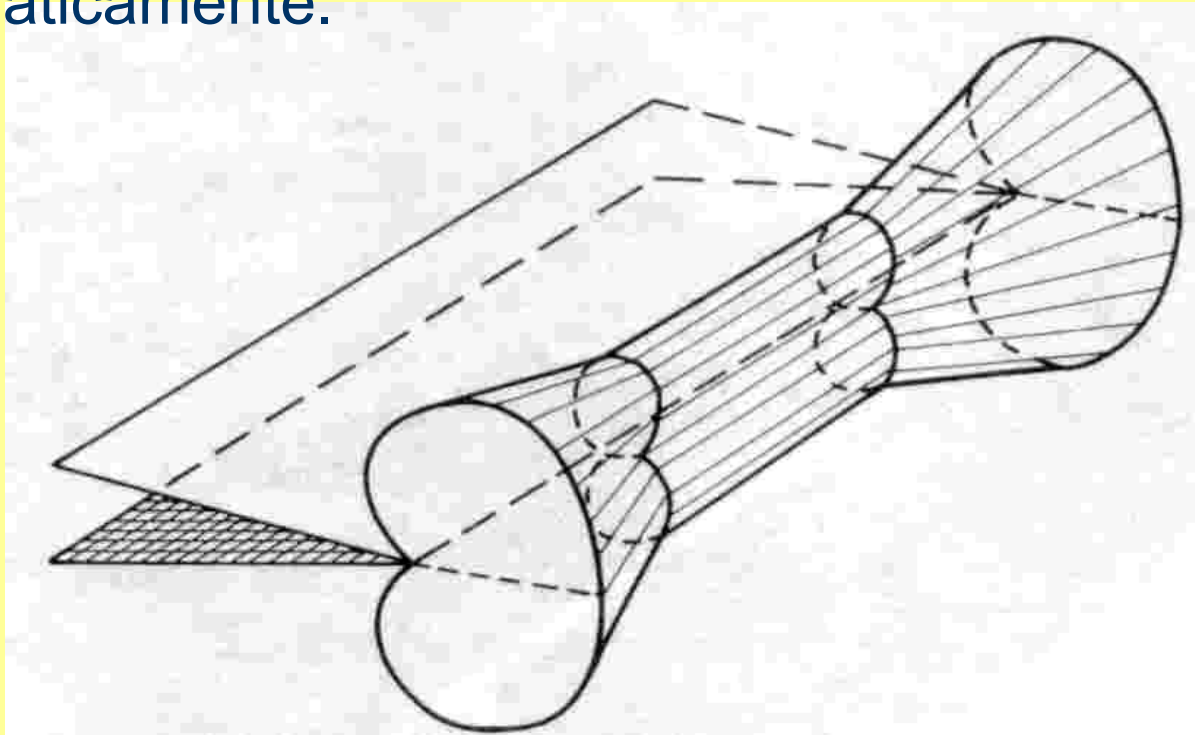
$$r_p = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_I}{\sigma_y} \right)^2$$

Si se tiene en cuenta la triaxialidad del estado de tensiones, es necesario aplicar algún criterio apropiado de fluencia tal como el de Von Mises o el de Tresca. En tal caso, es posible demostrar que resulta

$$r_p = \frac{1}{6\pi} \left(\frac{K_I}{\sigma_y} \right)^2$$

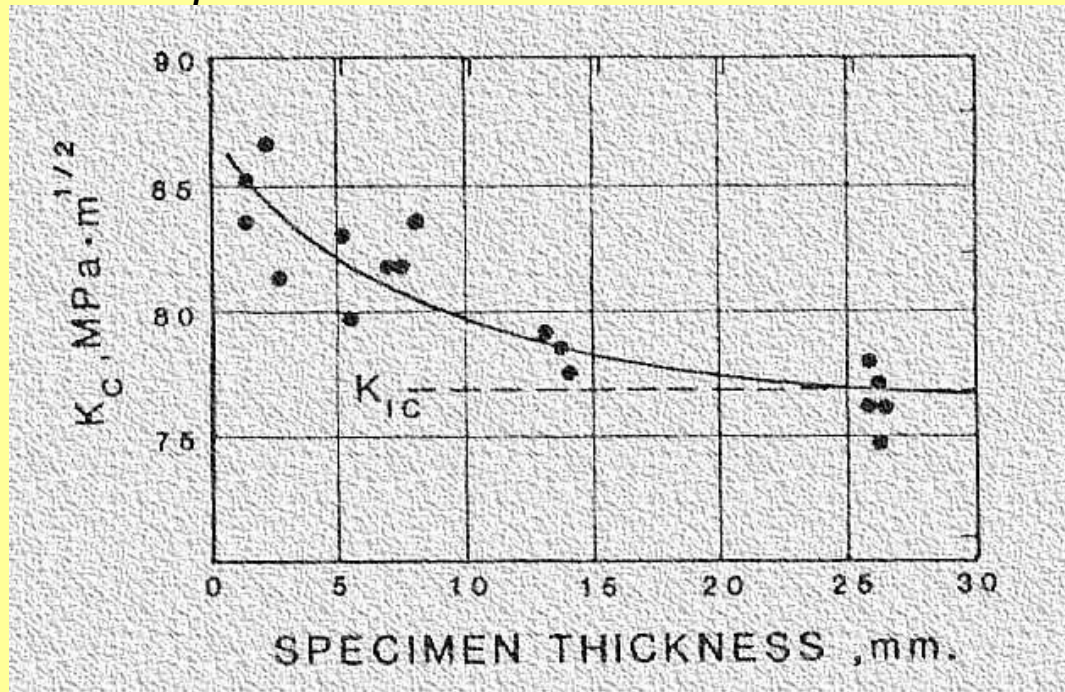


Dado que sobre las superficies laterales de la pieza las tensiones normales son nulas, en el material adyacente al vértice de la fisura cercano a las superficies tendremos siempre un estado plano de tensiones debido a la influencia de estas superficies libres, mientras que en la región alejada de las superficies existirá un estado triaxial, por lo que la zona plástica adoptará en general una forma como la indicada esquemáticamente.



Dado que la existencia de la zona plástica en el vértice de la fisura pone un límite a la validez de la hipótesis de comportamiento elástico ideal, los resultados hasta aquí obtenidos exigen para su validez que se cumpla que el tamaño de zona plástica r_p sea pequeño comparado con las dimensiones características del cuerpo fisurado en consideración. Esta condición se conoce como de fluencia en pequeña escala, y se alcanza cuando se cumple

$$r_p \ll B, W, a, W - a, \dots$$



Experimentalmente se ha determinado que la fractoténacidad medida se hace independiente del espesor cuando se cumple aproximadamente que

$$r_p \cong \frac{1}{50} (B, W, a, W - a, \dots)$$

Se reserva en general la notación K_{IC} al valor de fractoténacidad cuando este se hace independiente del espesor, como se indica en la diapositiva anterior para el caso de un acero de SAE 4340, con $\sigma_y = 1850$ MPa. La independencia de K_{IC} del espesor nos indica que se ha alcanzado la condición de fluencia en pequeña escala y el estado plano de deformaciones en el vértice de la fisura. Surge entonces que para asegurar la condición de fluencia en pequeña escala (deformación plana) debe cumplirse que

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

George Irwin demostró que una fisura real con una zona plástica pequeña en su vértice, puede ser reemplazada por un fisura ficticia sin zona plástica, pero de longitud igual a la longitud de la fisura real más el tamaño de la zona plástica, de manera que

$$a^* = a + r_p$$

donde a^* es la longitud de fisura corregida por plasticidad. De manera que el factor de intensidad de tensiones corregido por plasticidad, resulta

$$K_I = Y(a^* / W, b / W, \dots) \sigma (\pi a^*)^{1/2}$$

Dado que r_p es a su vez una función de K_I , surge que en esta última expresión K_I está dado en forma implícita. Esto se conoce como corrección de Irwin por plasticidad. Es sin embargo importante destacar que esta corrección es válida únicamente mientras se mantenga una condición de fluencia en pequeña escala.

Determinación de K_I

Probeta ASTM C(T) Standard

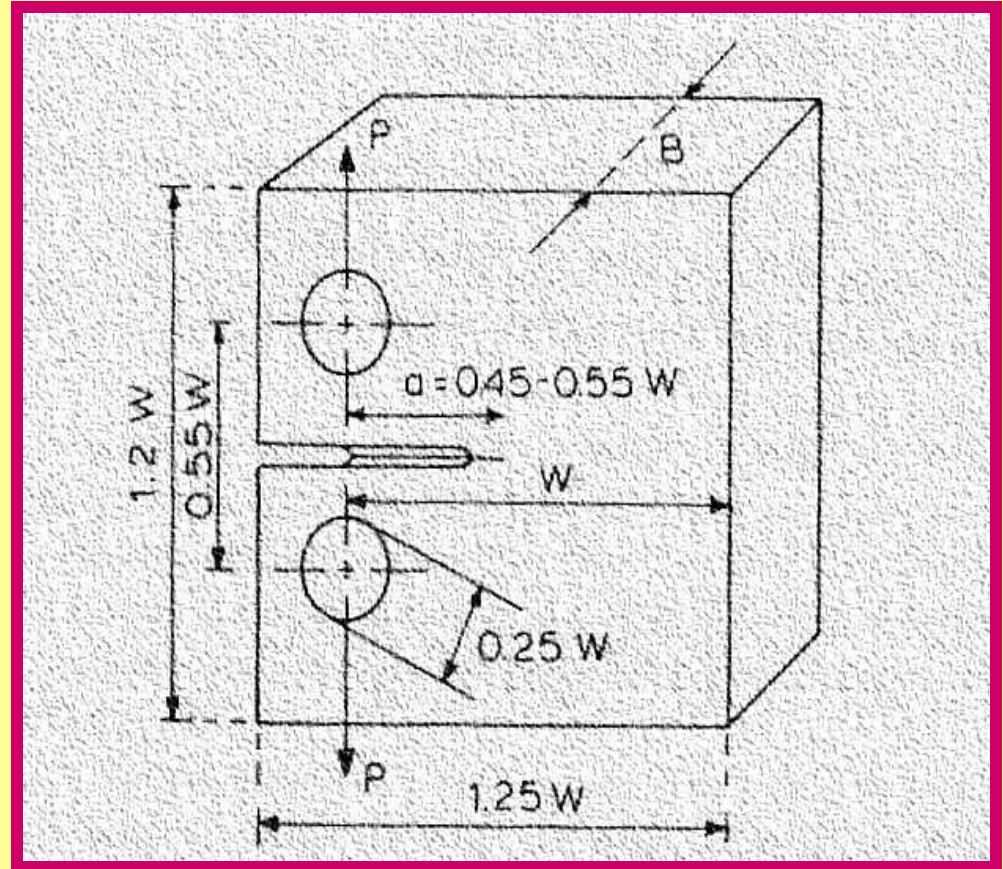
Solución para Placa Infinita

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a}$$

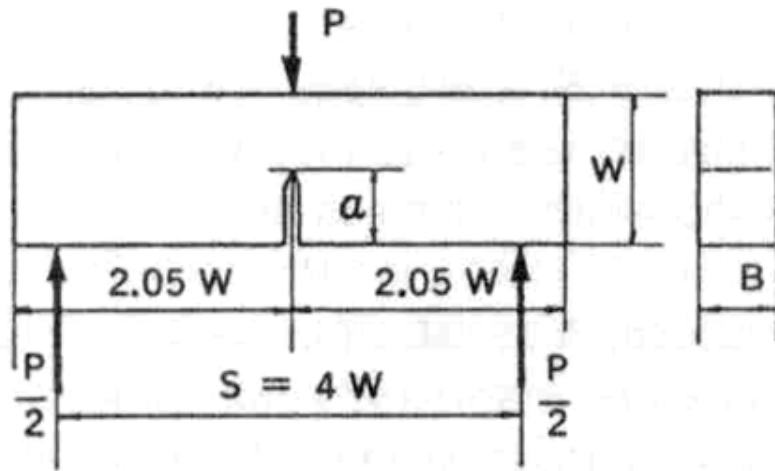
*Cuando la placa
tiene espesor K_I es*

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} f(a/W)$$

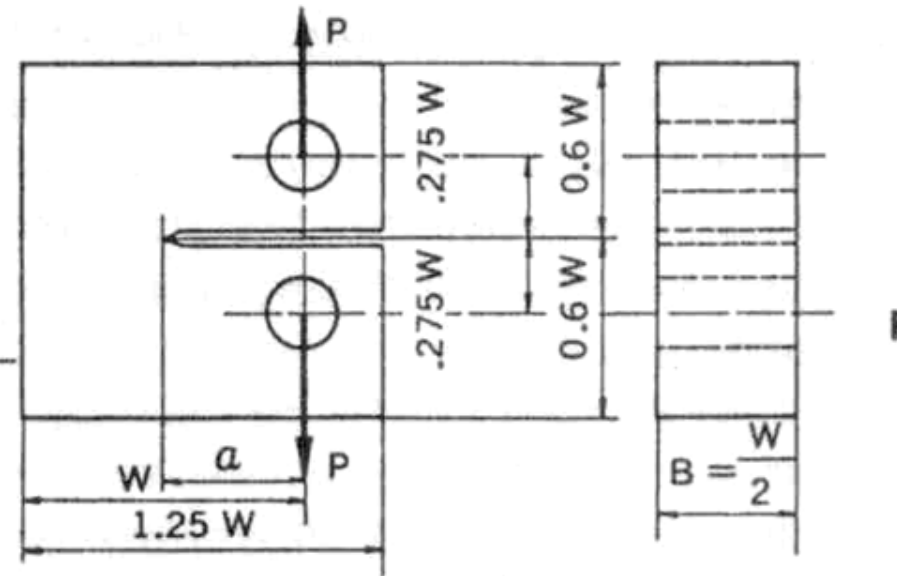
$W = 2B$ espesor de la placa



$$K_I = \frac{P}{BW^{1/2}} \left[29.6 \left(\frac{a}{W} \right)^{1/2} - 185.5 \left(\frac{a}{W} \right)^{3/2} + 655.7 \left(\frac{a}{W} \right)^{5/2} - 1017 \left(\frac{a}{W} \right)^{7/2} + 638.9 \left(\frac{a}{W} \right)^{9/2} \right]$$



(a)



(b)

Probeta SEN

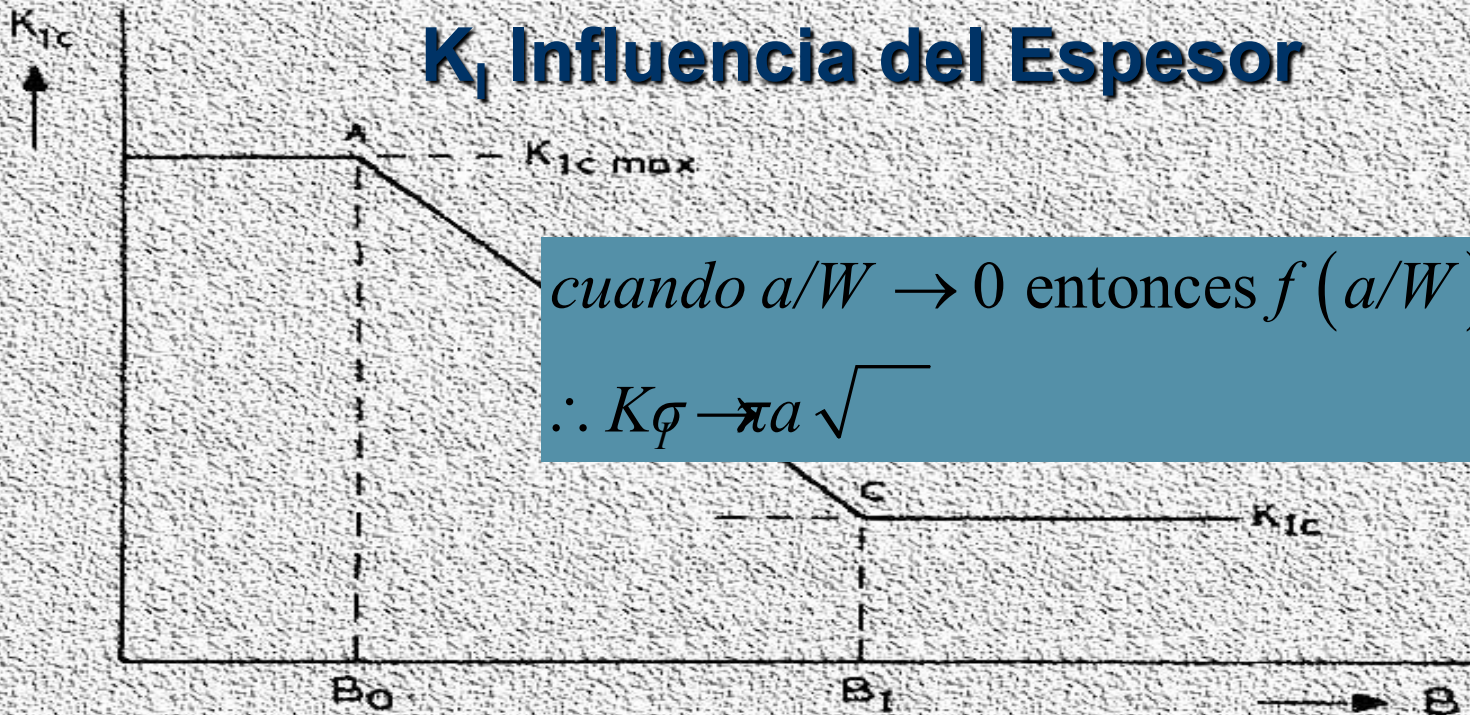
$$K_I = \frac{PS}{BW^{3/2}} \left[2.9 \left(\frac{a}{W} \right)^{1/2} - 4.6 \left(\frac{a}{W} \right)^{3/2} + 21.8 \left(\frac{a}{W} \right)^{5/2} - 37.6 \left(\frac{a}{W} \right)^{7/2} + 38.7 \left(\frac{a}{W} \right)^{9/2} \right]$$

Probeta CTS

$$K_I = \frac{P}{BW^{1/2}} \left[29.6 \left(\frac{a}{W} \right)^{1/2} - 185.5 \left(\frac{a}{W} \right)^{3/2} + 655.7 \left(\frac{a}{W} \right)^{5/2} - 1017 \left(\frac{a}{W} \right)^{7/2} + 638.9 \left(\frac{a}{W} \right)^{9/2} \right]$$

Es importante destacar que las expresiones anteriores son válidas en el rango $0.45 \leq a/W \leq 0.55$, por lo que pierden exactitud fuera del mismo.

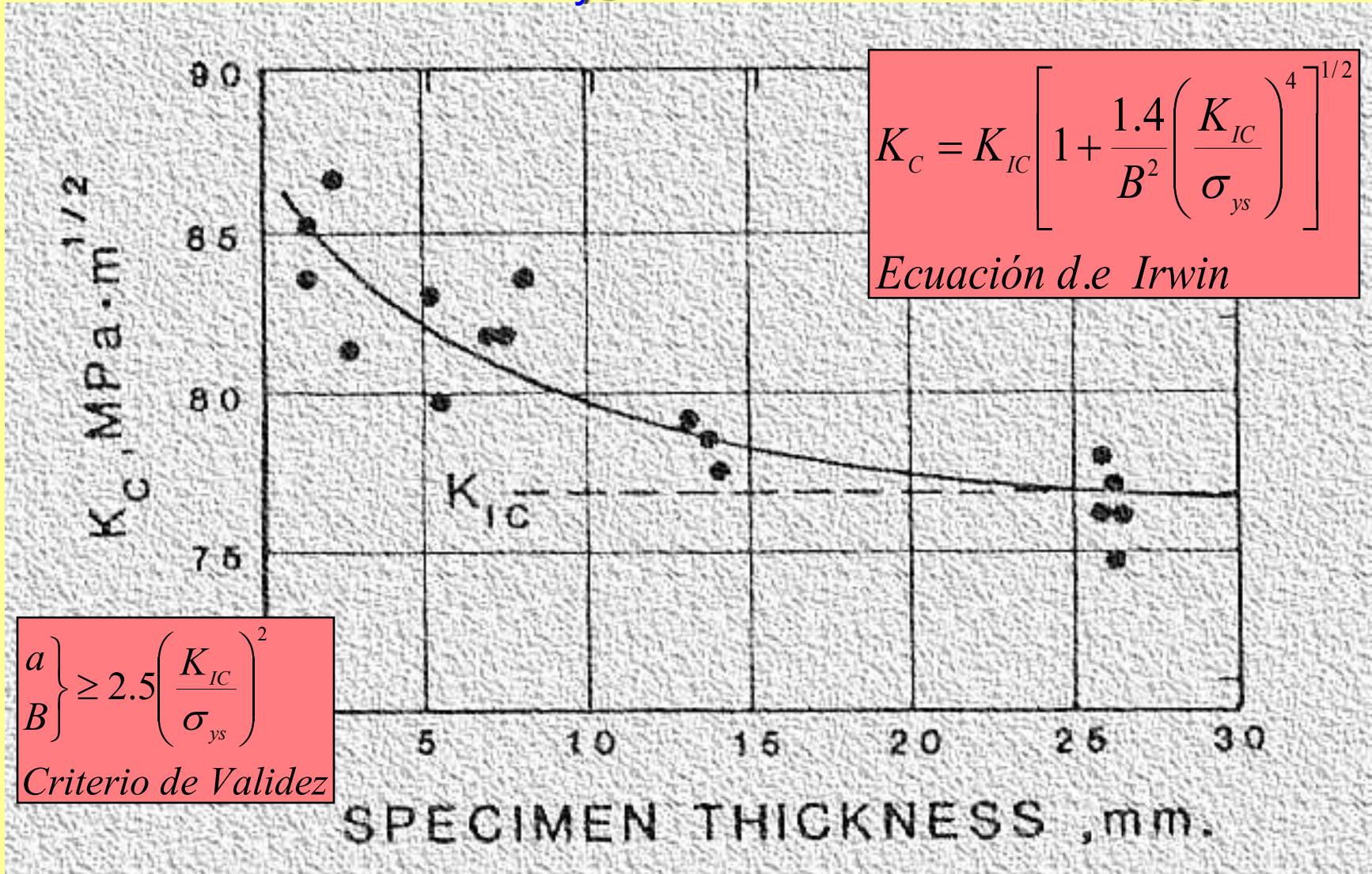
K_{Ic} Influencia del Espesor



- Para espesores menores a B_0 se presenta un estado de Tensión Plana con un desarrollo importante de deformación plástica y el valor máximo de K_C
- el espesor " B_1 " asegura un estado de Deformación Plana, con plasticidad en pequeña escala, tal que K_C alcance su valor mínimo, K_{Ic} .
- Entonces K_{Ic} es una propiedad del material y no depende del espesor

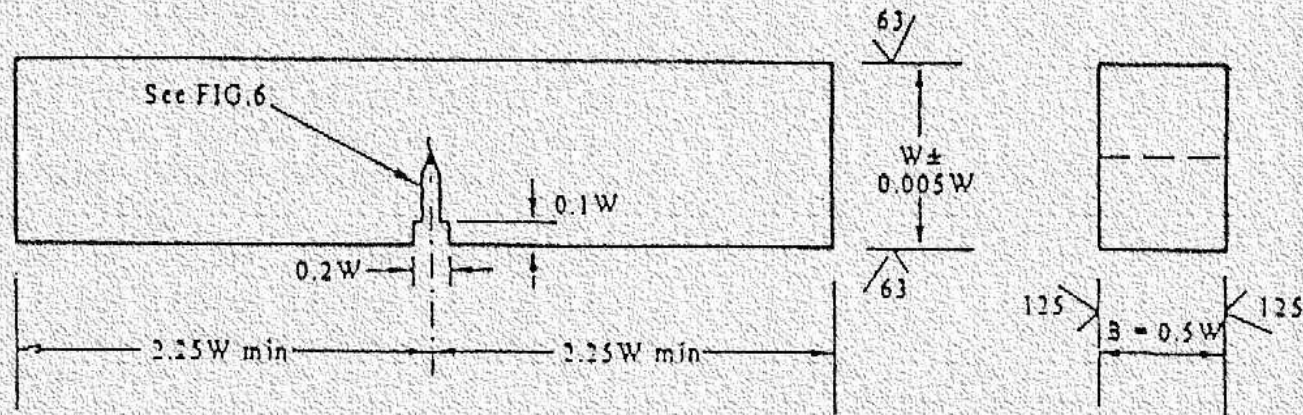
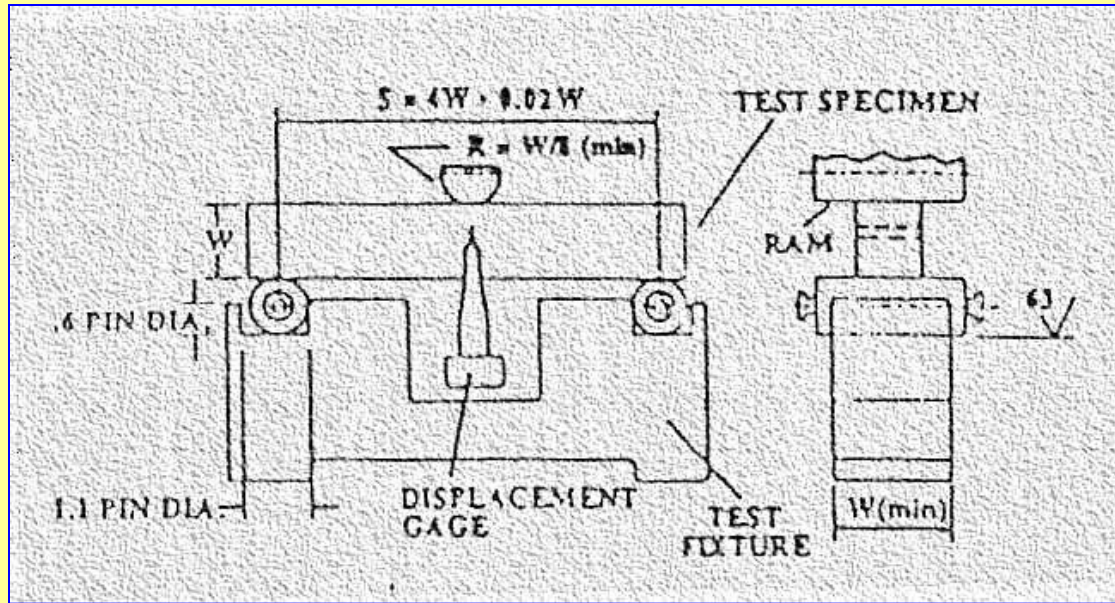
K_I Influencia del Espesor

- Acero 4340, σ_{ys} : 185kg/mm², B_{mínimo}: 1.7mm



Determinación Experimental de K_I

Tipos de Probetas Standard



NOTE 1—The two side planes and the two edge planes shall be parallel and perpendicular as applicable to within 0.5° .
 NOTE 2—The machined notch shall be perpendicular to specimen length and thickness to within $\pm 2^\circ$.

FIG. A1.1 Recommended Single Edge Bend [SE(B)] Specimen

Determinación Experimental de K_I

Tipos de Probetas Standard

ASTM E 1820

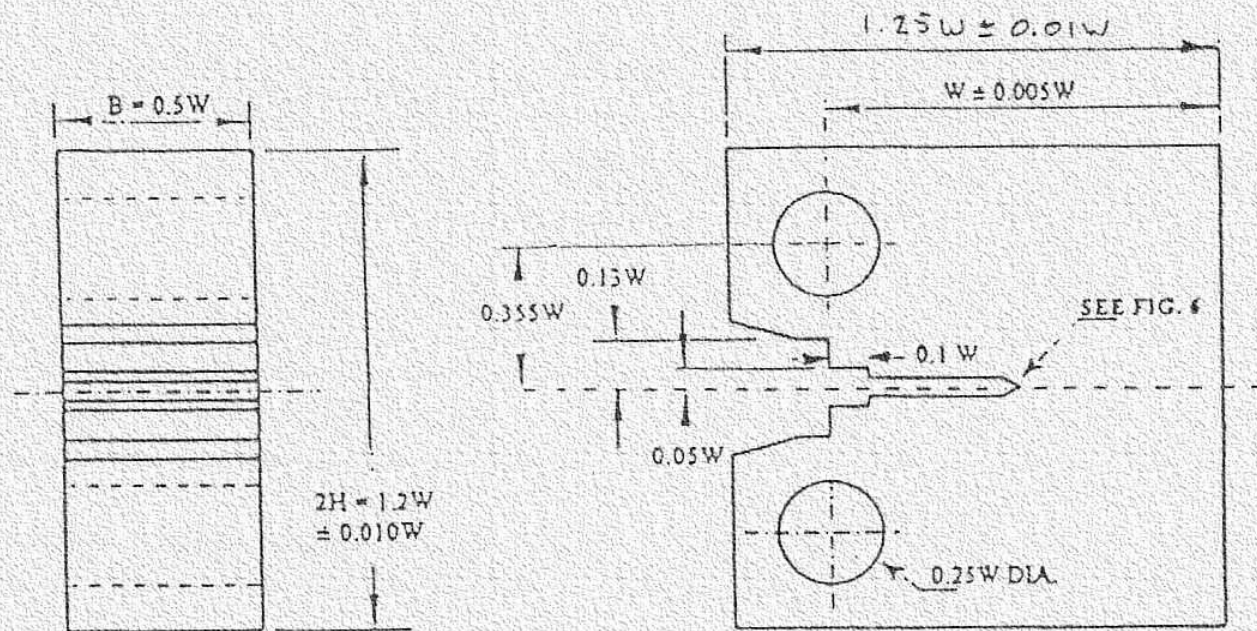
A2. SPECIAL REQUIREMENTS FOR TESTING COMPACT SPECIMENS

A2.1 Specimen

A2.1.1 The standard compact specimen, $C(T)$, is a single edge-notched and fatigue cracked plate loaded in tension.

Two specimen geometries which have been used successfully for J testing are shown in Fig. A2.1.

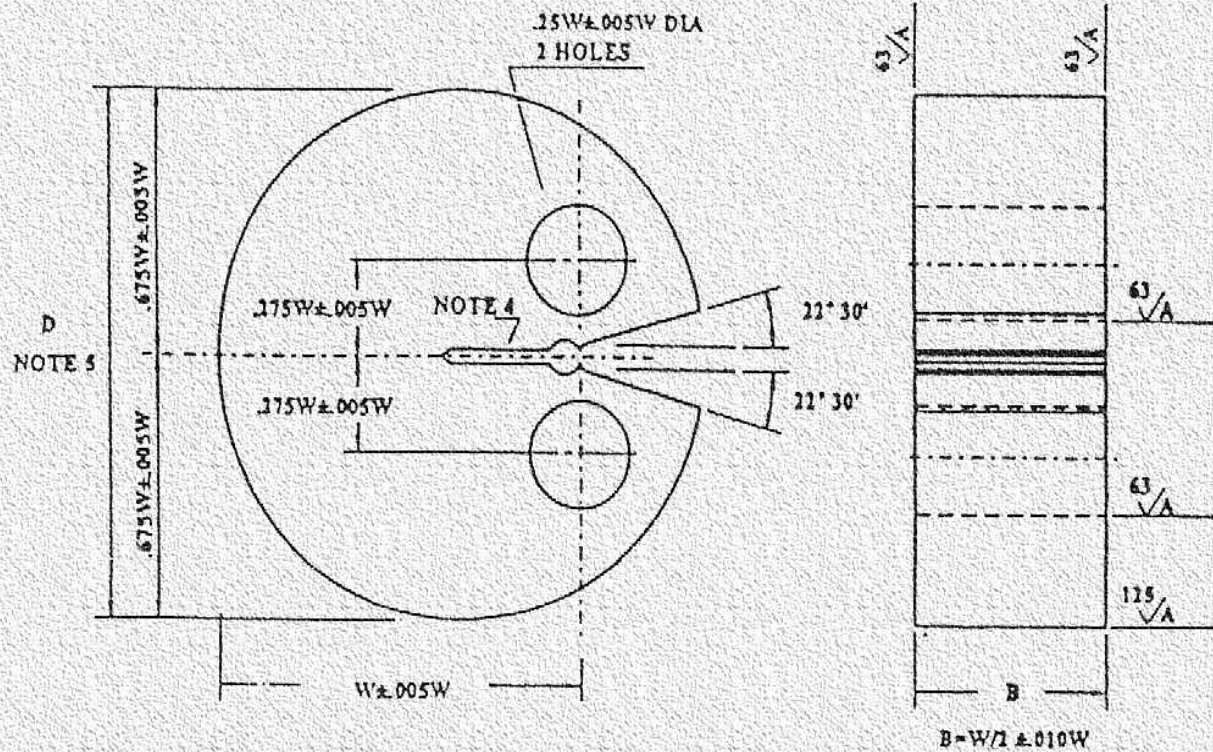
A2.1.2 The compact specimen in Fig. A2.2 has generally



COMPACT TEST SPECIMEN FOR PIN OF $0.24W (+0.000W/-0.005W)$ DIAMETER

Determinación Experimental de K_I

Tipos de Probetas Standard



NOTE 1—All surfaces shall be perpendicular and parallel as applicable within 0.002 W TIR.

NOTE 2—The intersection of the crack starter notch lips on each surface of the specimen shall be equally distant within 0.005W from the centerline of the loading holes.

NOTE 3—Integral or attached knife edges for clip gage attachment to the crack mouth may be used.

NOTE 4—For starter-notch and fatigue-crack configuration see Fig. 8.

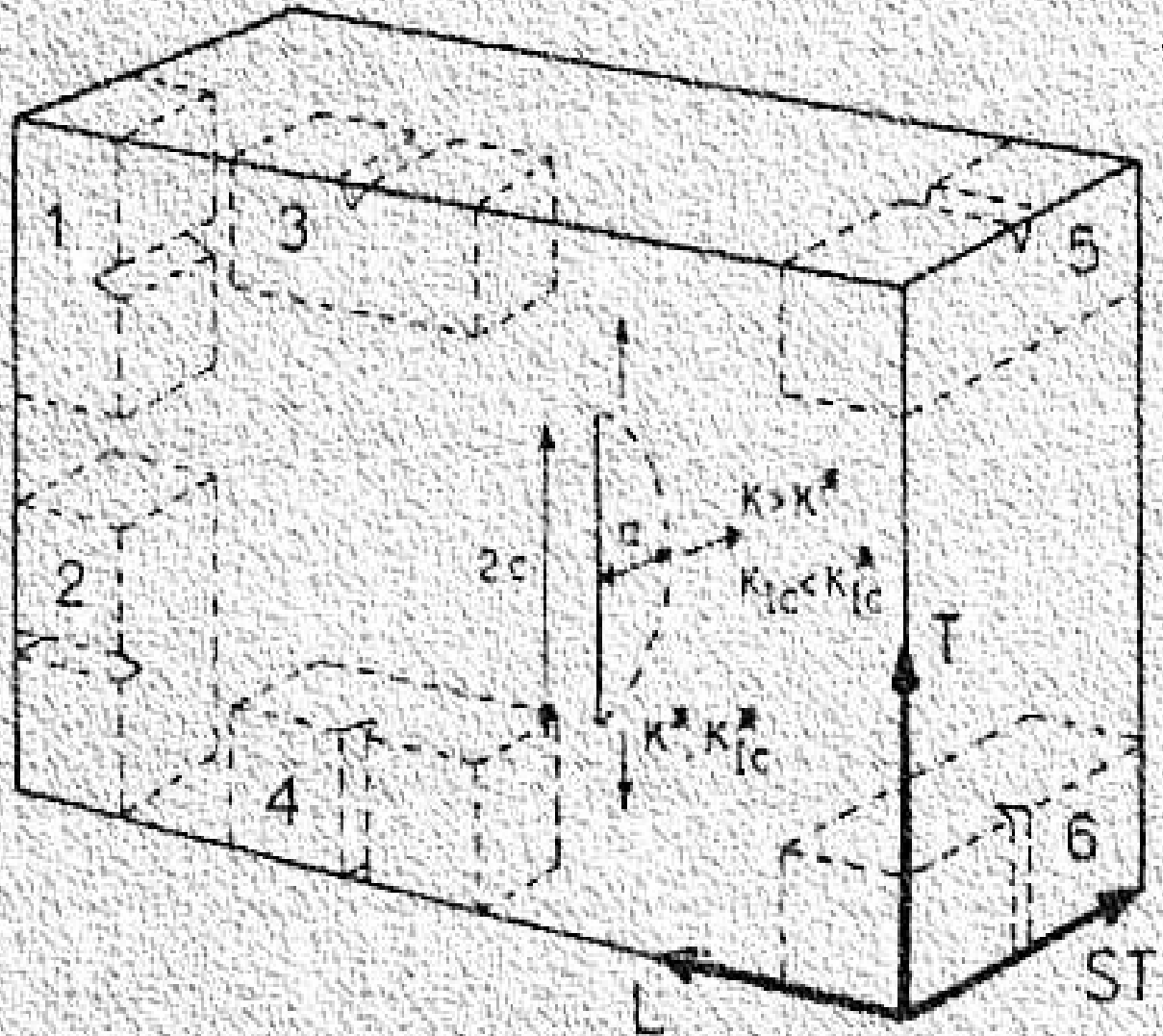
NOTE 5—Required circularity measurements shall be made at eight equally spaced points around the circumference. One of these points shall be the notch plane. Average the readings to obtain the radius. All values shall be within 5 % of the average.

FIG. A3.1 Disk-Shaped Compact Specimen, DC(T), Standard Proportions and Dimensions

Denominación de las Probetas

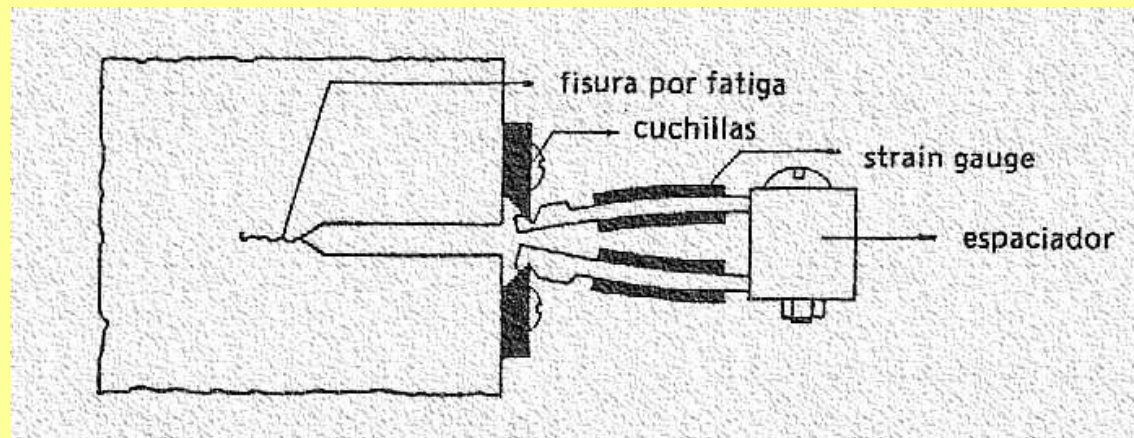
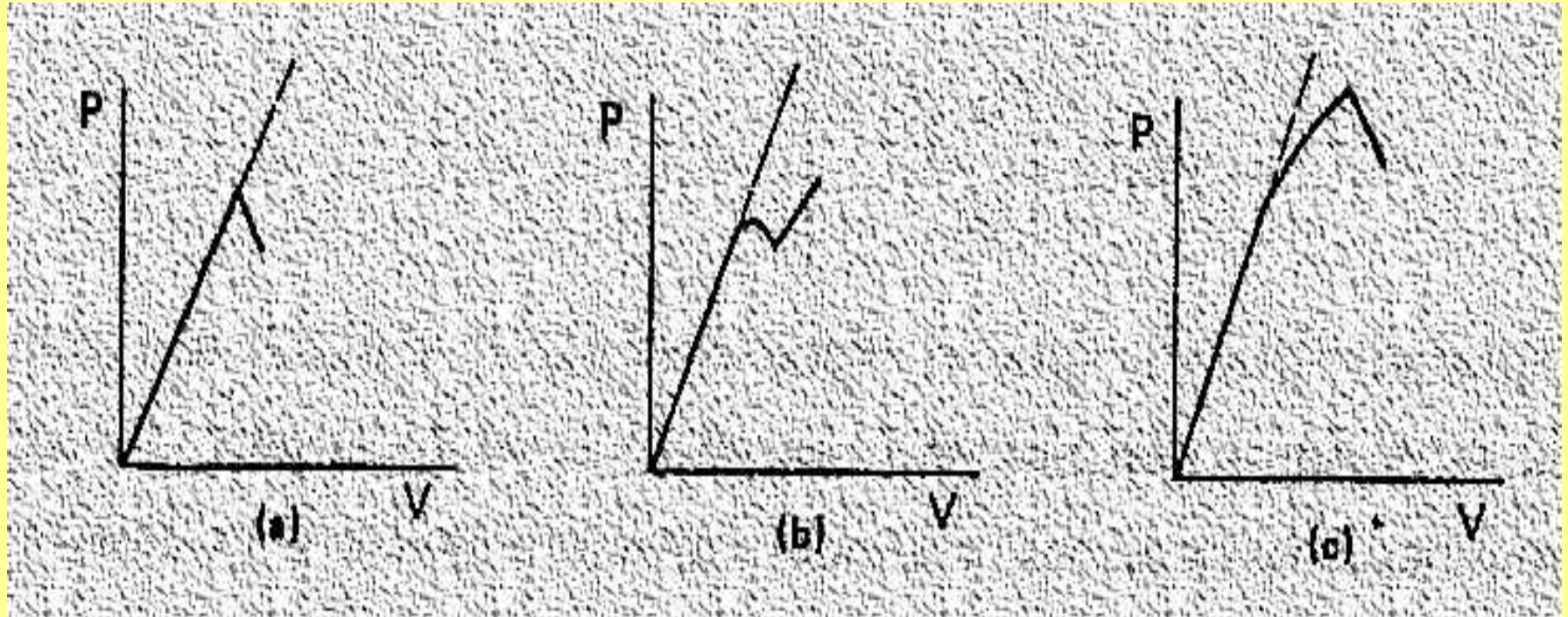
L = longitudinal
 T = transverse
 ST = short
 transverse

| Spec | Axis | Crack |
|------|------|-------|
| 1 | T | L |
| 2 | T | ST |
| 3 | L | T |
| 4 | L | ST |
| 5 | ST | T |
| 6 | ST | L |

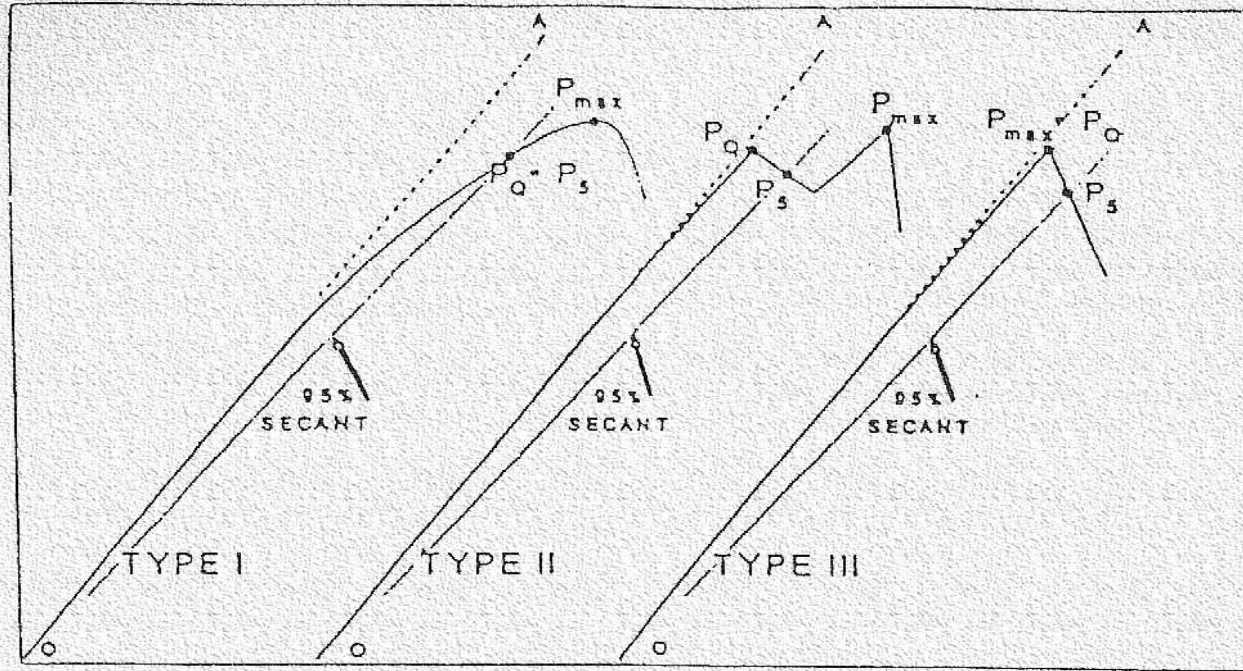


Determinación Experimental de K_I

Tipos de Registros



LOAD, P



Método de la Secante para determinar la Carga de Iniciación

Trazar la recta secante de pendiente $\left(\frac{P}{V}\right)_{5\%} = 0.95\left(\frac{P}{V}\right)_{0\%}$

$P_{5\%}$, valor de P en la intersección entre el registro y la secante

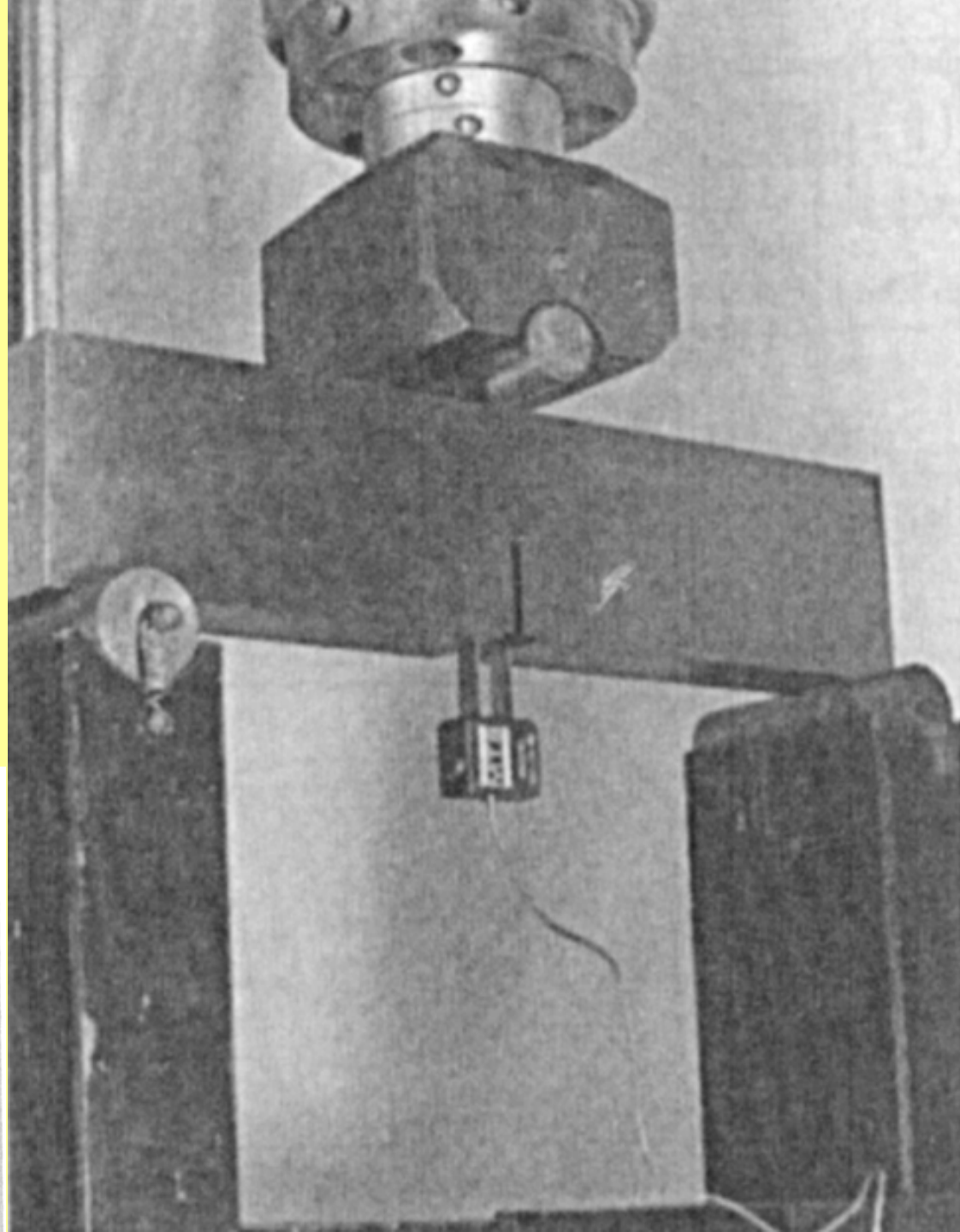
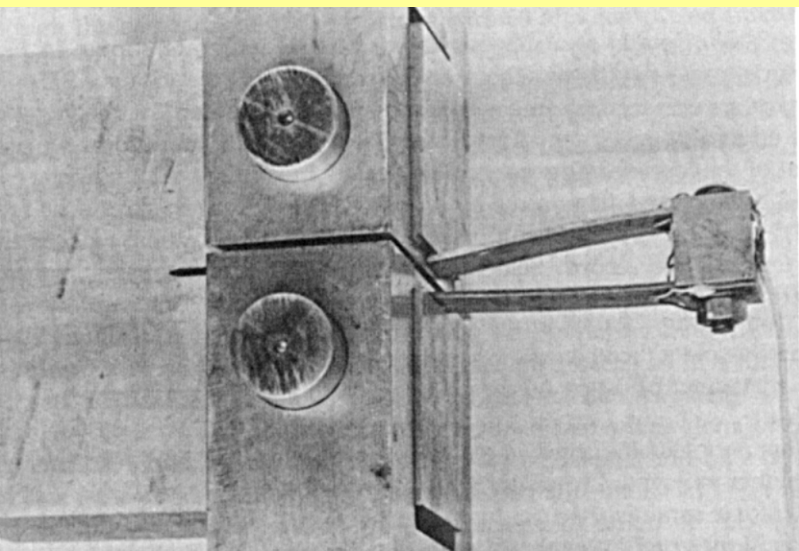
Registro Tipo I

si todos los valores de P que preceden a $P_{5\%}$ son $P < P_{5\%} \rightarrow P_Q = P_{5\%}$

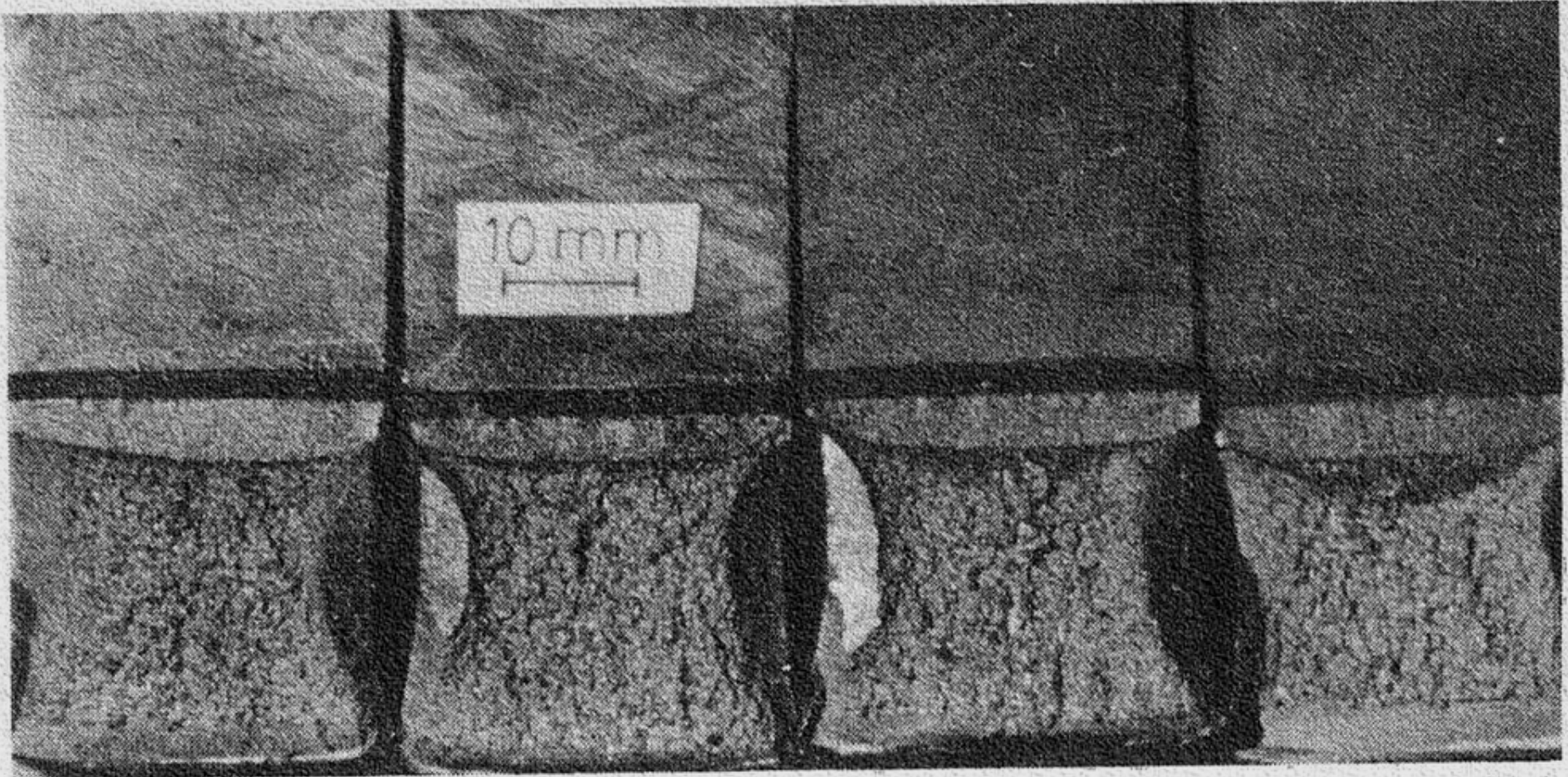
Registro Tipo II y III

si existe un valor $P_{MÁXIMO} > P_{5\%}$ que precede a $P_{5\%} \rightarrow P_Q = P_{MÁXIMO}$

**ENSAYO DE PROBETAS DE
FLEXION EN TRES PUNTOS
(SENB) Y DE PROBETA
COMPACTA (CT)
INSTRUMENTADAS CON
CLIP GAUGES**



ASPECTOS DE LA SUPERFICIE DE FRACTURA DE PROBETAS LUEGO DEL ENSAYO



Calificación de K_Q como K_{IC}

- K_Q es independiente de la geometría si:
 - $P_{máximo}/P_Q$ debe ser menor que 1.10 (ASTM1820)
 - $2.5(K_Q/\sigma_{YS})^2$ debe ser menor que B y b_0 (ASTM1820) (condición de radio plástico)
- *si se verifica, entonces $K_{IC} = K_Q$*
- K_{IC} es la Tenacidad a la Fractura o Fractoténacidad
- Este parámetro define el evento de iniciación del crecimiento de la fisura.
- No informa si la propagación será inestable y conduce al colapso del componente

Competencia entre fractura rápida y colapso plástico.

Un elemento estructural tal como un panel o chapa de ancho W y espesor uniforme B que contiene una fisura pasante de longitud $2a$, sometido a esfuerzos remotos de tracción σ , puede fallar por fractura rápida o por colapso plástico según se alcance primero la condición de propagación de la fisura

$$K_I = K_{IC}$$

o la condición de colapso plástico

$$\sigma_{CP} = \sigma_0 \times \frac{\text{Sección Neta}}{\text{Sección Total}} = \sigma_0 \frac{W - 2a}{W}$$

Donde σ_{CP} es el valor de tensión remota aplicada que produce el colapso plástico del elemento estructural y σ_0 es el valor de la tensión de colapso plástico del material, que en lo sucesivo definiremos como el promedio de la tensión de fluencia y la resistencia a la tracción, es decir

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_y + \sigma_{UTS}}{2}$$

Para el caso mencionado, el valor de K_I aplicado puede calcularse como

$$K_I = \sqrt{\sec \frac{\pi a}{W}} \sigma (\pi a)^{1/2}$$

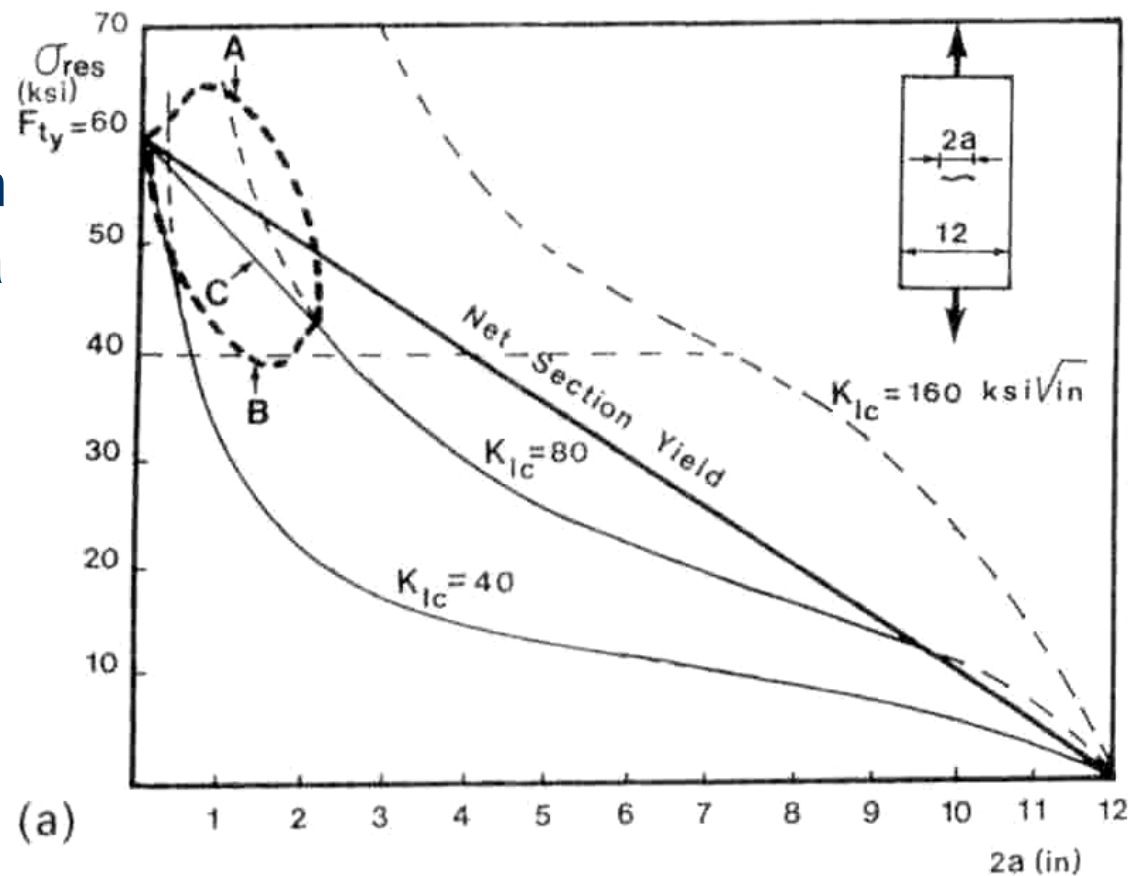
de manera que la tensión crítica de fractura será

$$\sigma_{CF} = \frac{K_{IC}}{\sqrt{\sec \frac{\pi a}{W}} (\pi a)^{1/2}}$$

Si σ_{CF} es menor que σ_{CP} , elemento fallará por fractura rápida, de lo contrario lo hará por colapso plástico de la sección neta.

La figura siguiente muestra las curvas de tensión residual σ_{res} para un panel de 12" de ancho en función de la longitud de fisura $2a$ para distintos valores de K_{IC} del material y asumiendo que el colapso se produce cuando la sección neta alcanza la tensión de fluencia indicada en la figura como F_{ty} .

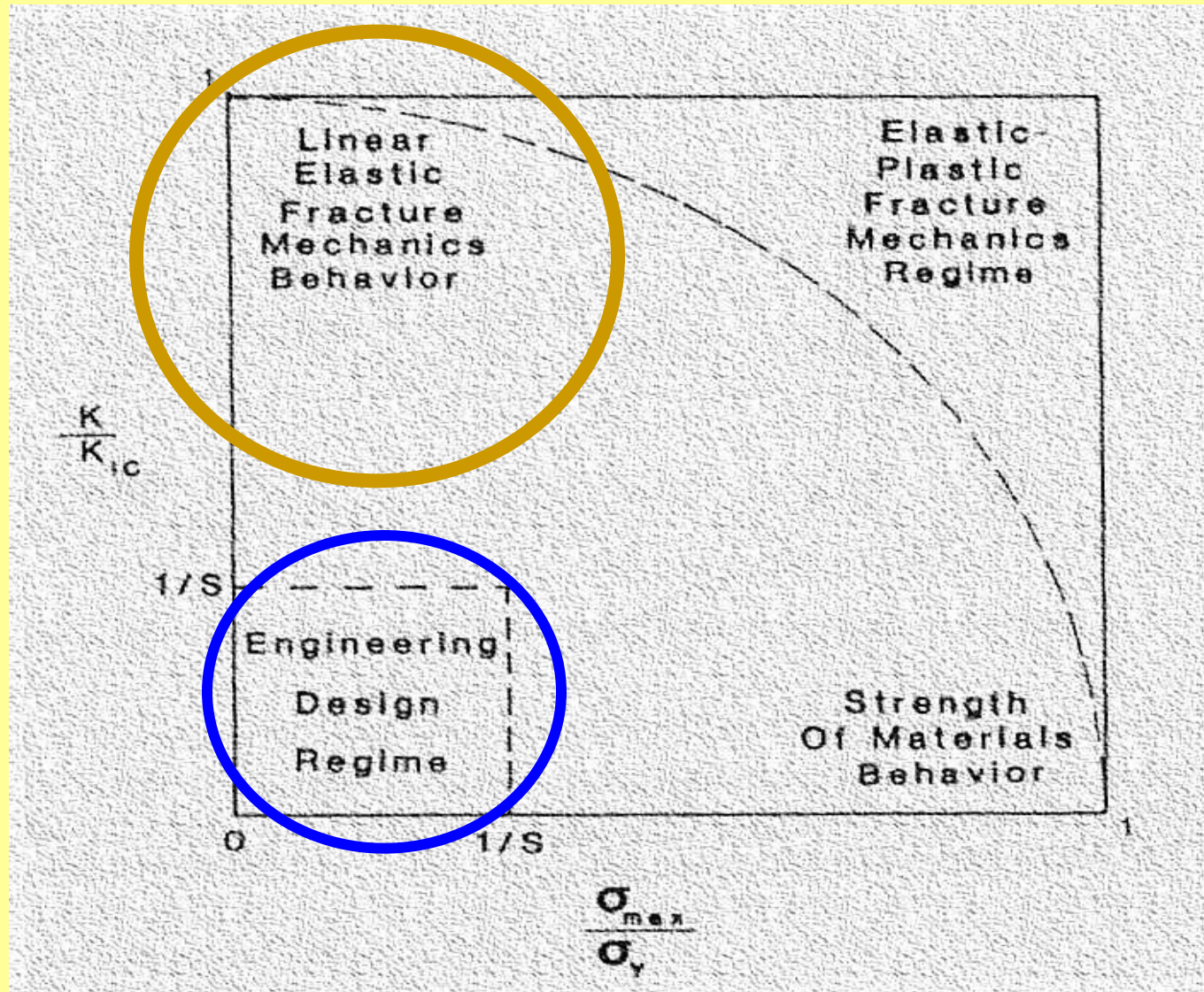
Obsérvese que tanto la tensión residual del panel, es decir la tensión que produce la falla para una dada longitud de fisura, como el modo de falla (colapso plástico o fractura rápida) dependen de esta longitud y del valor particular de K_{Ic} del material.



(a)

El colapso plástico prevalece siempre para fisuras suficientemente cortas, ya que la tensión crítica de fractura se hace infinitamente alta para un valor de longitud de fisura que se aproxima a cero (curvas punteadas de la región *AB* en la figura). Para longitudes de fisura grandes, prevalecerá el colapso plástico o la fractura rápida dependiendo del valor particular de K_{Ic} .

Perspectiva en el Diseño de Ingeniería



- S: factor de seguridad

Mecánica de Fractura

■ Condiciones Generales

■ Material

– E, ν, n

■ Condiciones de Ensayo

– Carga lenta, P

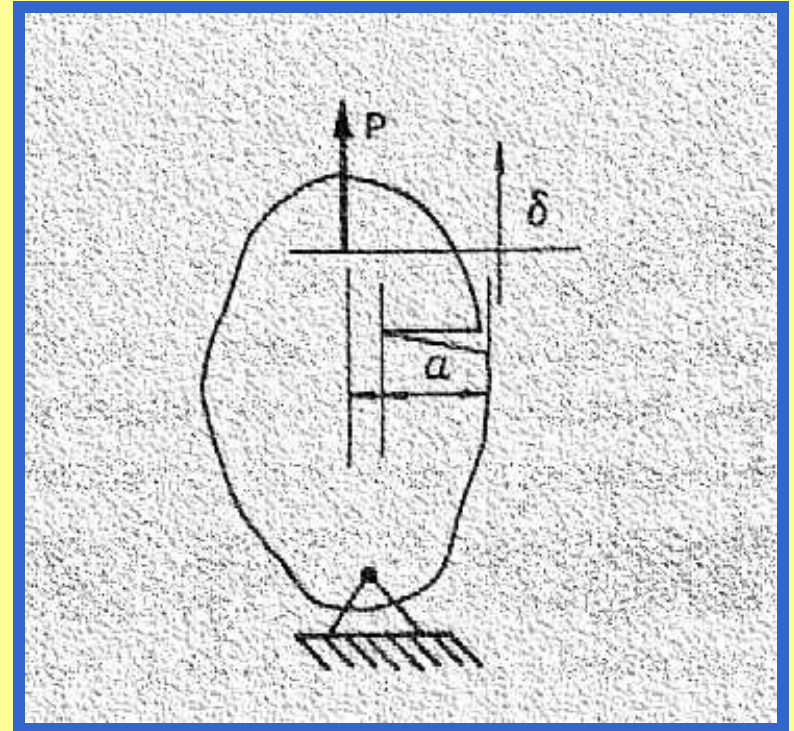
– Longitud característica, a

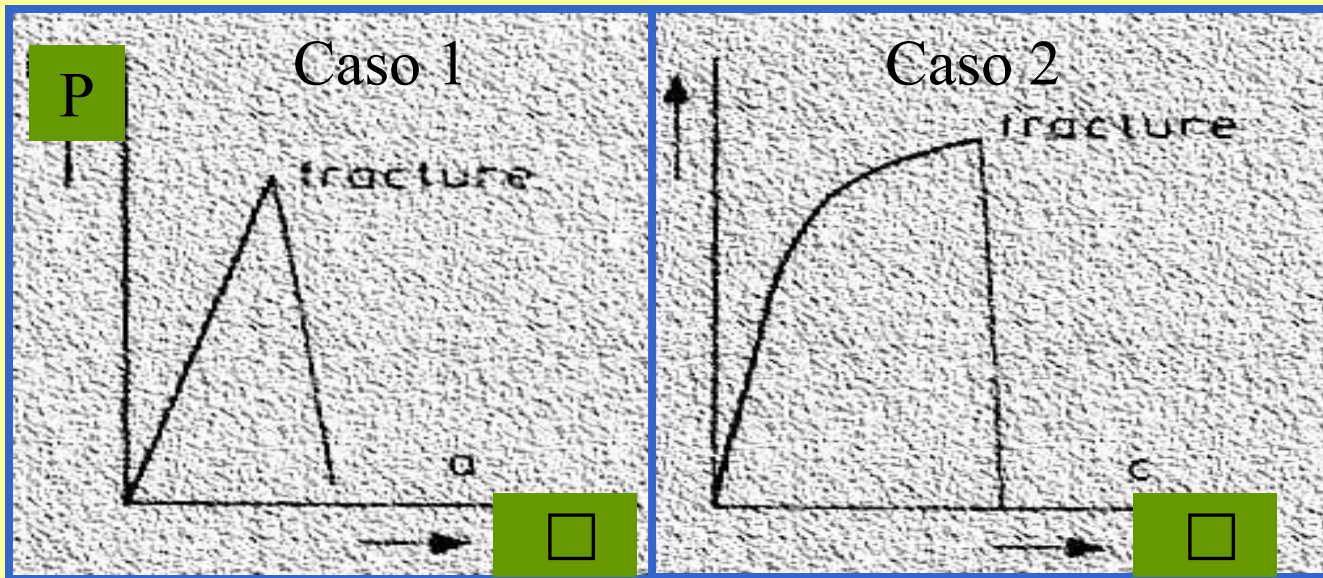
– Temperatura constante, T .

– Vértice en deformación plana, $\nu_z = 0$

– Vértice en tensión plana, $\nu_z = 0$

– Vértice combinación de ambos estados





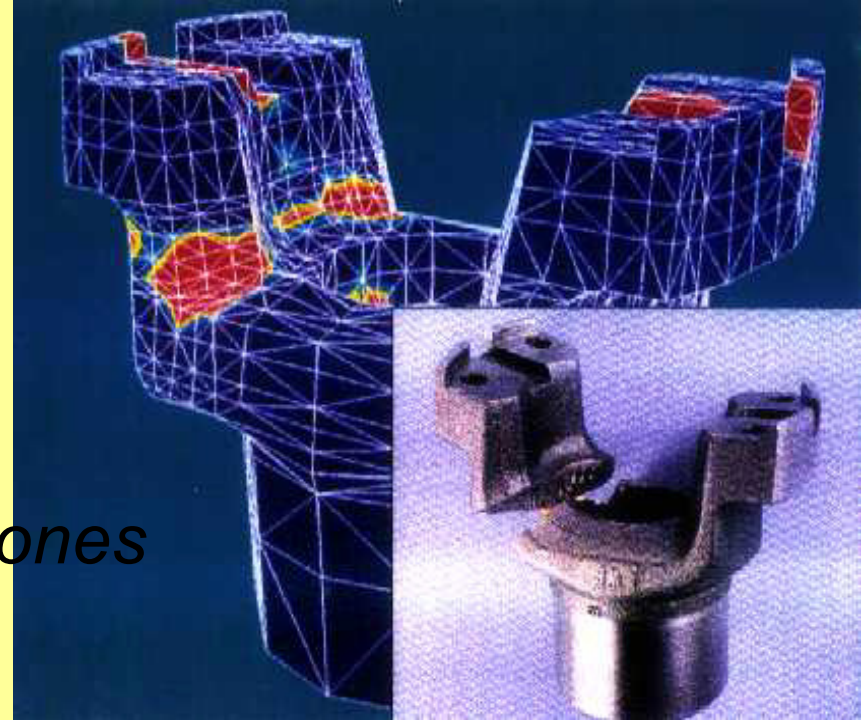
■ Caso 1

- valores pequeños de a comportamiento elástico lineal o plasticidad acotada
- La fractura ocurre para valores de la tensión remota por debajo de la tensión de fluencia.
- Entonces la fractura puede ser caracterizada por LEFM, **K, G**

■ Caso 2

- Importante formación de zona plástica respecto de la longitud de fisura
- Implica una tensión remota de fractura elevada
- Implica alta resistencia a la fractura
- Entonces la LEFM queda invalidada

Mecánica de Fractura Lineal Elástica Consideraciones Finales



K_I : Factor de Intensidad de Tensiones

$$K_I = Y(a/W, \dots) \left(\frac{P}{W} \right)^{1/2}$$

K_{IC} : propiedad del material ($\sigma_z = 0$)

K_{IC} : se obtiene en laboratorio, ASTM - E399 o E1820

K_I : aplicado en el componente en estudio

Criterio de análisis del evento de propagación

Se considera que la fisura se propaga cuando

$$K_{I-\text{Aplicado}} > K_{IC}$$