

Debe destacarse que la ecuación [10] es válida siempre y cuando la tensión remota crítica σ_n sea pequeña comparada con la tensión de rotura del material considerado, de forma tal que la deformación plástica quede localizada en una región adyacente al vértice de la fisura.

CONCEPTO DE TENACIDAD A LA FRACTURA

Hemos visto que para una fisura aguda (radio en el vértice no mayor de algunos espacios interatómicos), el criterio de Griffith-Orowan puede escribirse:

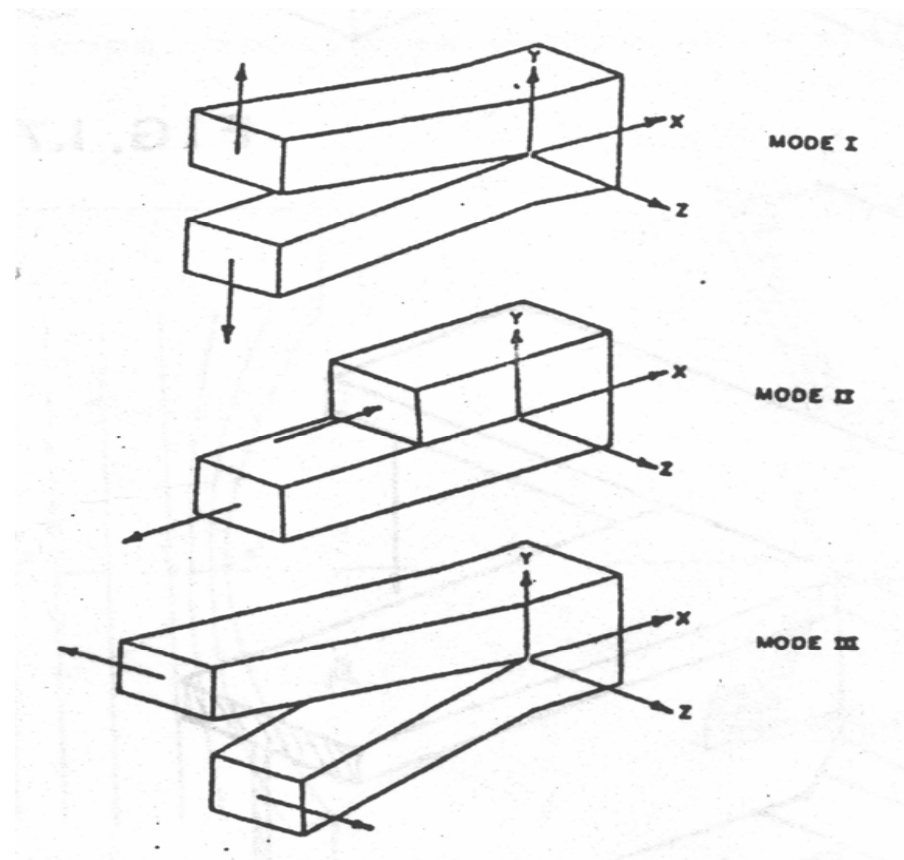
$$\sigma_n^2 \cdot a \pi = 2E(\gamma + \gamma_P) \quad [11]$$

Esto significa que un criterio simple de fractura esta dado por la condición de que para que una fisura se propague, $\sigma^2 a\pi$ debe exceder un valor característico de cada material.

Este parámetro es de gran importancia, cuanto mayor sea su valor tanto mayor será la tenacidad, o sea la resistencia que un material presenta a la fractura.

Resumiendo:

En mecánica de fractura se designa con la letra K_I al Factor de Intensidad de Tensiones. El subíndice I indica el modo de sollicitación, tracción que es el mas común.



Siendo K_{Ic} el valor crítico del Factor de Intensidad de Tensiones, denominado Tenacidad a la Entalla o Fractoténacidad: Si K_I alcanza K_{Ic} , se provoca la inestabilidad de la fisura. Este valor, por lo tanto caracteriza la resistencia a la fractura del material en cuestión.

Relaciona a σ (tensión), a (dimensión de la fisura) y la forma de sollicitación.

**A su vez el trabajo necesario por unidad de
área para extender la fisura suele designarse
Fuerza Impulsora Crítica y representarse con
el símbolo G_c**

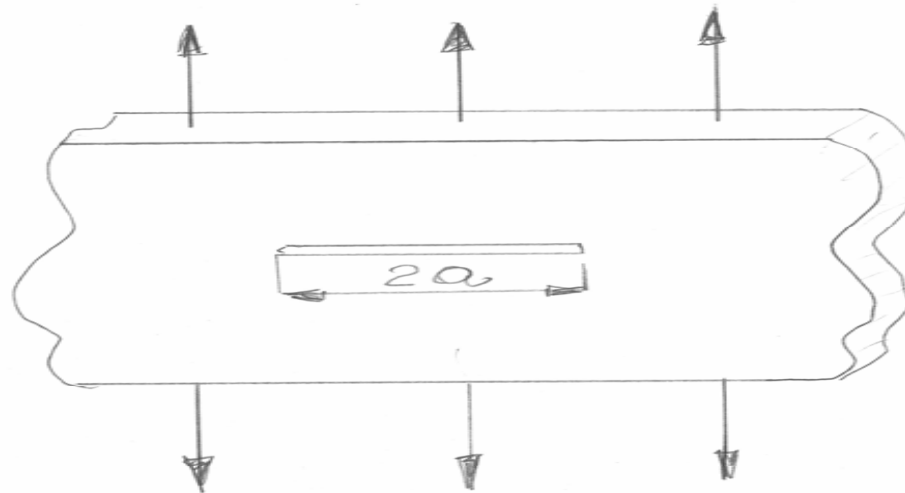
$$G_c = 2(\gamma + \gamma_c)$$

De la (11)
$$K_{IC}^2 = E \cdot G_c$$

**El factor de intensidad de tensiones K_I ,
para el caso de una fisura pasante es**

$$K_I = C \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \quad [\text{kg/cm}^2 \cdot \text{cm}^{0,5}] \quad ? \quad \text{kg/cm}^{1,5}$$

$C = 1,00$ para fisura pasante



Para distintas combinaciones de σ y de $2a$ puede darse un solo valor de K_{Ic} por ejemplo :

Si el valor de $K_{Ic} = 1000 \frac{kg}{cm^{1,5}}$

la tensión $\sigma = 1500 \text{ kg/cm}^2$ y $C = 1,00$

$$1000 = 1,00 \times 1500 \sqrt{\pi, a}$$

$$a = \left(\frac{1000}{1500} \right)^2 \frac{1}{\pi} = 0,14147$$

Luego el tamaño de fisura crítica para esta situación es: $2.a = 2 \times 0,14147 = 0,283..cm$

De similar forma para otras tensiones tendremos:

$\sigma=1000 \text{ kg/cm}^2$	$2a=0,637 \text{ cm}$
$\sigma= 750 \text{ kg/cm}^2$	$2a=1,131 \text{ cm}$
$\sigma= 500 \text{ kg/cm}^2$	$2a=2,546 \text{ cm}$
$\sigma= 250 \text{ kg/cm}^2$	$2a=10,19 \text{ cm}$

Cuando un punto estructural fisurado alcanza estos valores, la fisura tiende a propagarse espontáneamente a una velocidad aproximada de 2000 [m/seg] produciendo la fractura frágil del elemento solicitado.

-Algunas comparaciones entre coeficientes para uso en el método de calculo clásico y el método fractomecánico.

Factor geométrico k_t

$$k_t = 1 + \frac{2a}{b}$$

No se puede aplicar a propagación de fisuras al no depender de ellas.

Es adimensional.

No tiene valor crítico dado que se trata de un coeficiente geométrico.

Factor de intensidad de tensiones K_I

$$K_I = f(\sigma; a)$$

Tiene en cuenta la geometría y el nivel de tensiones.

Tiene dimensiones, $\text{kg.cm}^{-1,5}$

Posee valores críticos dado que tiene en cuenta las propiedades físicas del material, TENASIDAD a la fractura K_{Ic}

La comparación entre resistencia a la rotura σ_R y la tenacidad a la fractura K_{Ic}

Existe un solo valor de σ_R

**Depende simultáneamente de σ
Existe un solo valor de K_{Ic} para cada material que determina la fractura por propagación.**

Otra forma de establecer el balance energético, es a partir de la [6]

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\gamma_s E \rho}{4 \cdot a \cdot a_0}}$$

Sin olvidar que se trata de una placa de espesor $t=1$, es relacionando el equilibrio de energías, siendo:

U_0 : Energía potencial elástica del sistema sin fisuras.

U: Idem con fisuras

γ_s : Energía potencial elástica unitaria al formarse las dos superficies $4a\gamma_s$

La condición de equilibrio, se produce si la variación de energía total del sistema con respecto a la variación de la longitud de la fisura es nula (sistema conservativo).

$$U = U_0 - \pi \frac{\sigma^2 a^2}{E} + 4a\gamma_s$$

Primera condición de equilibrio, se produce si la variación de energía total del sistema con respecto a la longitud de la fisura es nula, (sistema conservativo)

$$\frac{dU}{da} = 4\gamma_s - \frac{2\pi\sigma^2 a}{E} = 0$$

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{2\gamma_s E}{\pi a}} \quad \mathbf{[10]}$$

$$\frac{d^2U}{da^2} = -\frac{\pi\sigma^2}{E}$$

La segunda derivada establece la segunda condición de equilibrio. Es equilibrio INESTABLE por ser $\neq 0$ y negativo.

Recordando la [10] una grieta puede propagarse cuando la disminución de energía elástica es al menos igual a la energía necesaria para producir dos nuevas superficies, Es decir cuando:

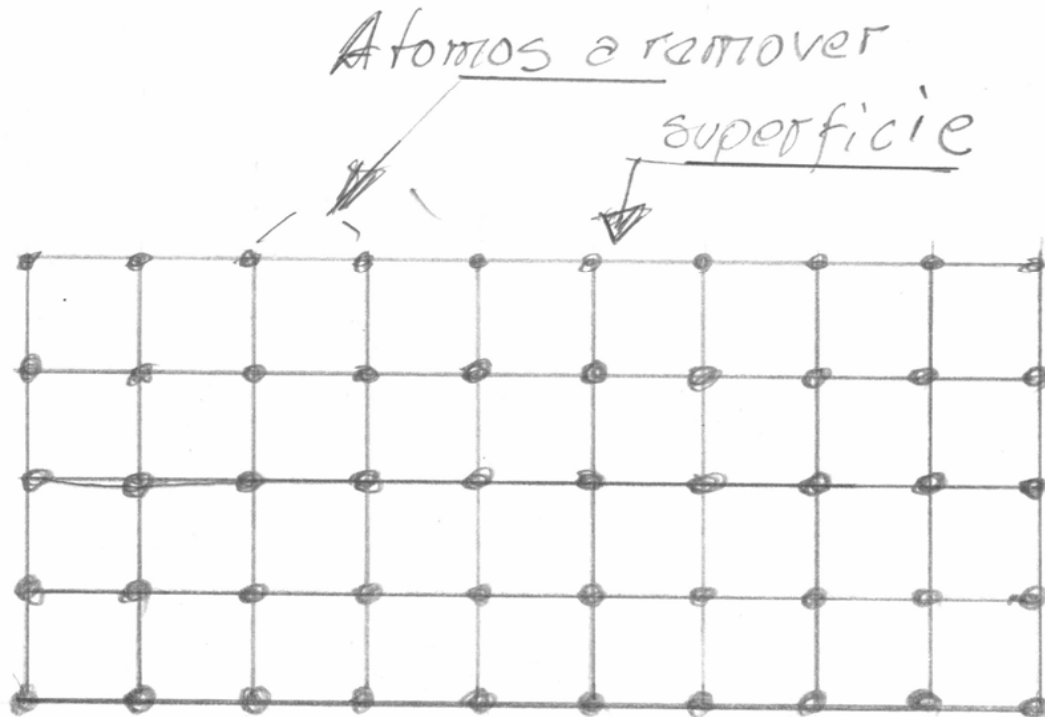
$$\left| \frac{\pi \sigma^2 a}{E} \right| \geq |2 \gamma_s|$$

El notable aporte de A.A. Griffith, fue el de haber introducido consideraciones termodinámica (la energía como función de estado) para explicar el fenómeno de fractura. De las infinitas configuraciones de tensiones y deformaciones que se pueden dar en un sólido solicitado por acciones mecánicas, la de equilibrio corresponde a la de mínima energía potencial acumulada .

Según Griffith toda modificación (fisura) del sistema que produce una reducción de ese potencial mínimo tiende a acrecentar su acción (en este caso el incremento de las dimensiones de la fisura).

Es necesario por tanto, analizar la influencia que tiene en el balance energético la introducción de una discontinuidad.

1º-Aumento de la energía superficial. Esta puede asimilarse al trabajo necesario para remover los átomos contenidos en la unidad de superficie según figura siguiente.

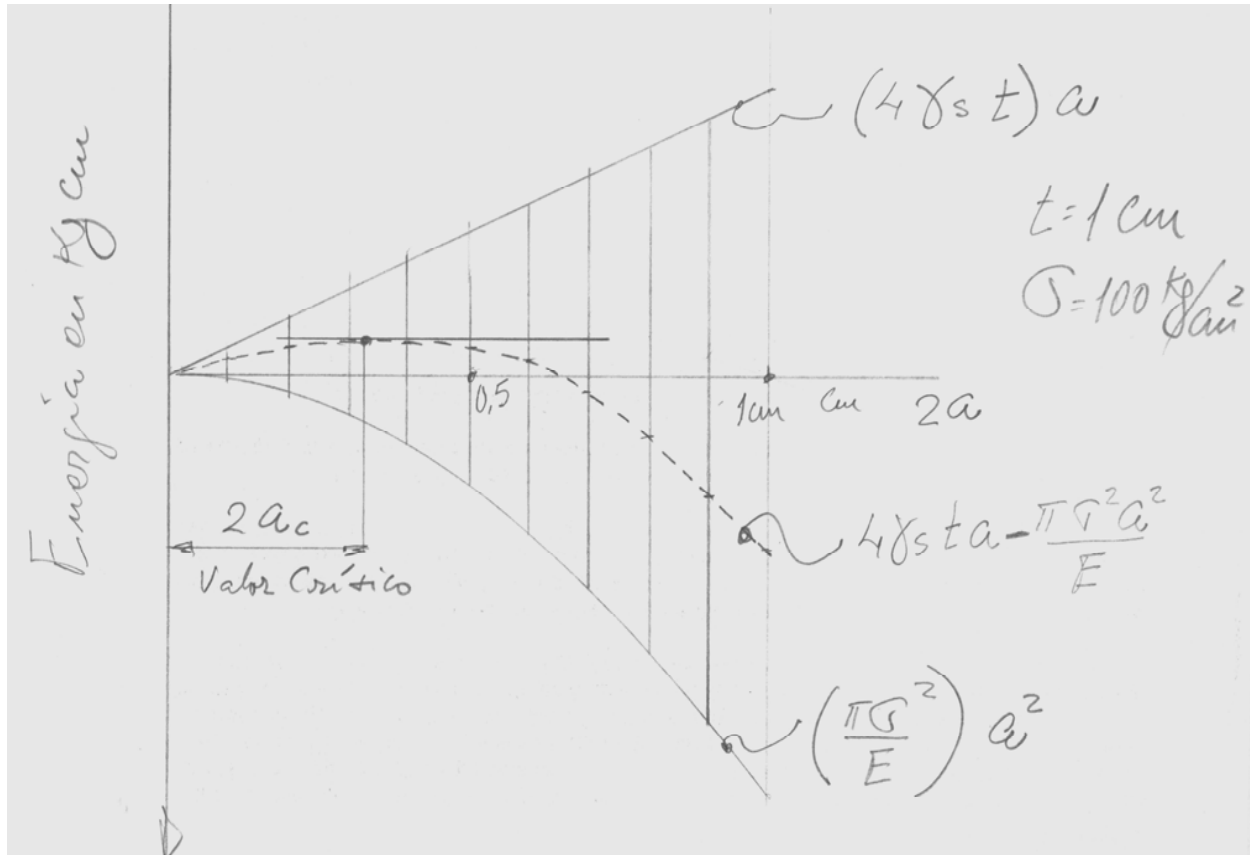


2°- dimensiones de la energía potencial elástica. El valor de esta energía fue calculado por Griffith basándose en estudios previos de Inglis.

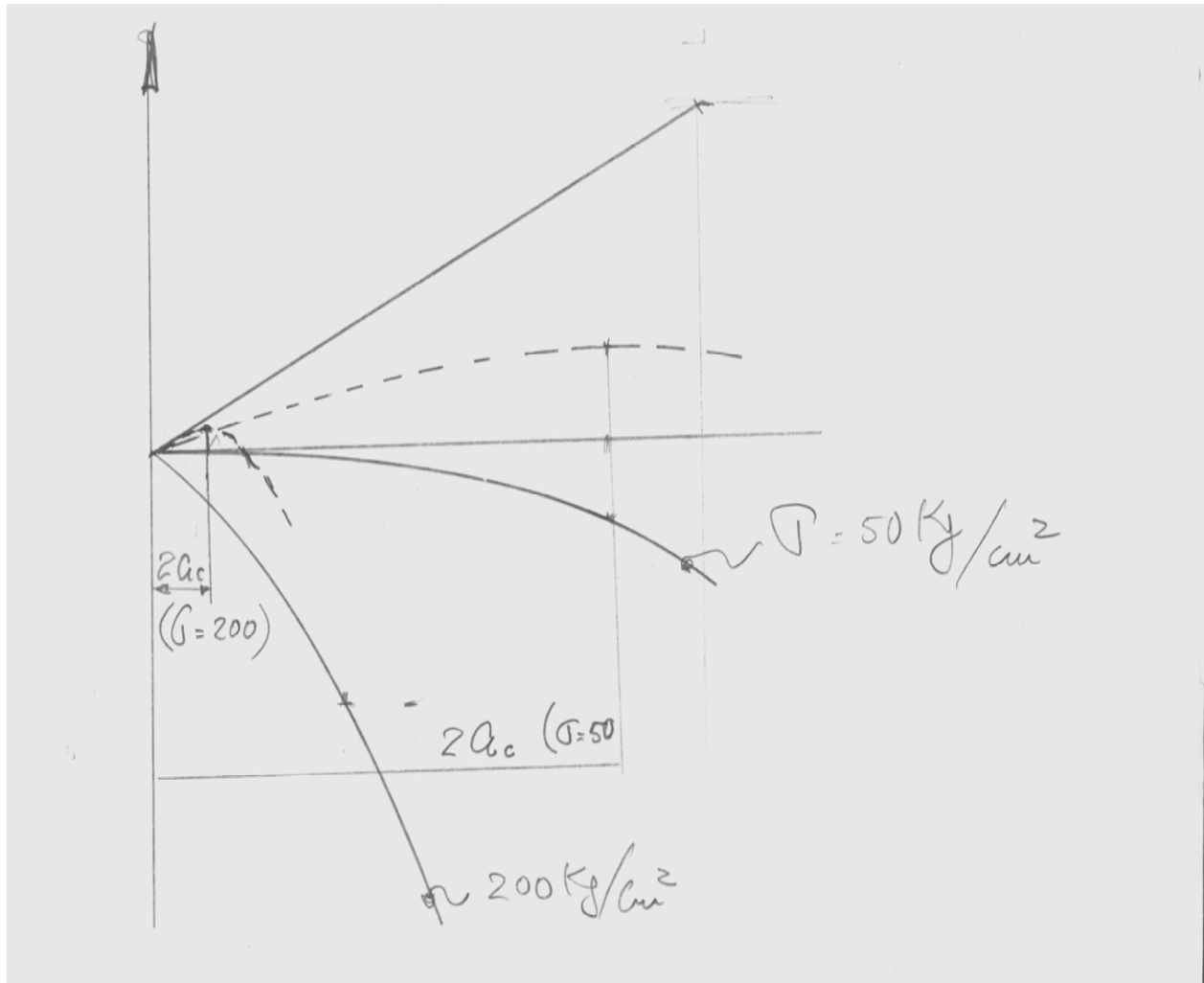
Ambas energías:

-Superficial: Varía linealmente con la dimensión $2a$ de la fisura.

- Potencial elástica varía cuadráticamente.



Se puede comprobar que a partir de una cierta dimensión de a , la suma algebraica de ambas es negativa produciéndose en consecuencia la disminución de la energía potencial elástica total del sistema. Se puede comprobar asimismo que la dimensión crítica de la fisura a partir de la cual se inicia la disminución de la energía potencial elástica, varía con el valor de la tensión.



La mecánica de fractura puede ser vista desde diferentes niveles, los cuales dependen de las dimensiones de la región fracturada; es decir, si se considera un componente metálico se pueden definir los siguientes niveles:

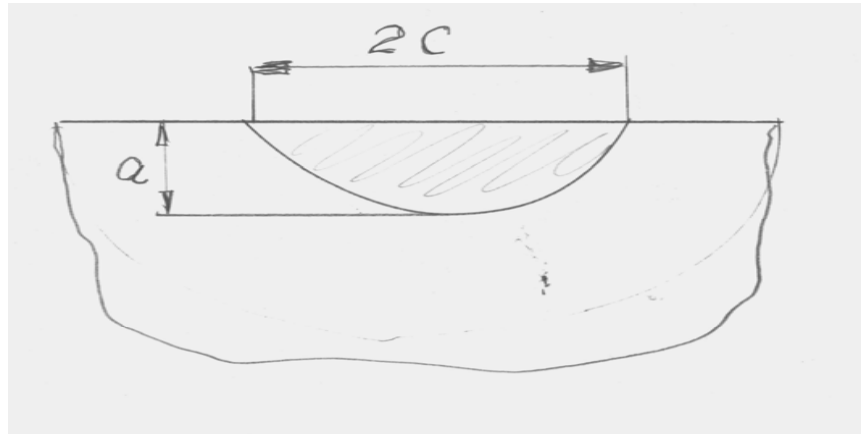
NIVEL	DIMENSIONES	MECANISMO DE FRACTURA
Macroscópico	Del orden de una entalla o fisura ($\sim 2,5$ mm ; $\sim 0,5$ in)	Movimiento de una fisura desde un area de concentración de tensión y/o cocentración del medio a través del interior del material.
Microscópico	Del orden del tamaño del grano ($\sim 2,5$ μm ; $\sim 10^{-4}$ in)	Pasaje de una microfisura a través de los granos o imperfecciones del material.
Submicrofisuras	Del orden de las dimensiones atómicas ($\sim 0,25$ nm; 10^{-8} in)	Rotura de uniones atómicas a través de un plano de fractura creando una nueva superficie

**La fractura a los más bajos niveles,
microscópicos y sub microscópicos, donde
las discontinuidades afectan
significativamente el comportamiento de la
fractura, no está completamente
comprendido.**

Afortunadamente las consecuencias ingenieriles de los defectos (fisuras o entallas) sobre la capacidad de transporte de las cargas en cuestiones estructurales ocurren a los niveles microscópicos y más corrientemente macroscópicos, los cuales son mejor comprendidos.

Las expresiones de la ya tratado K (Factor de intensidad de tensiones) se determinaron para un gran cantidad de casos (aproximadamente 600), de diferentes geometrías de cuerpos fisurados, configuraciones de fisuras y situaciones de carga.

Para una fisura superficial:



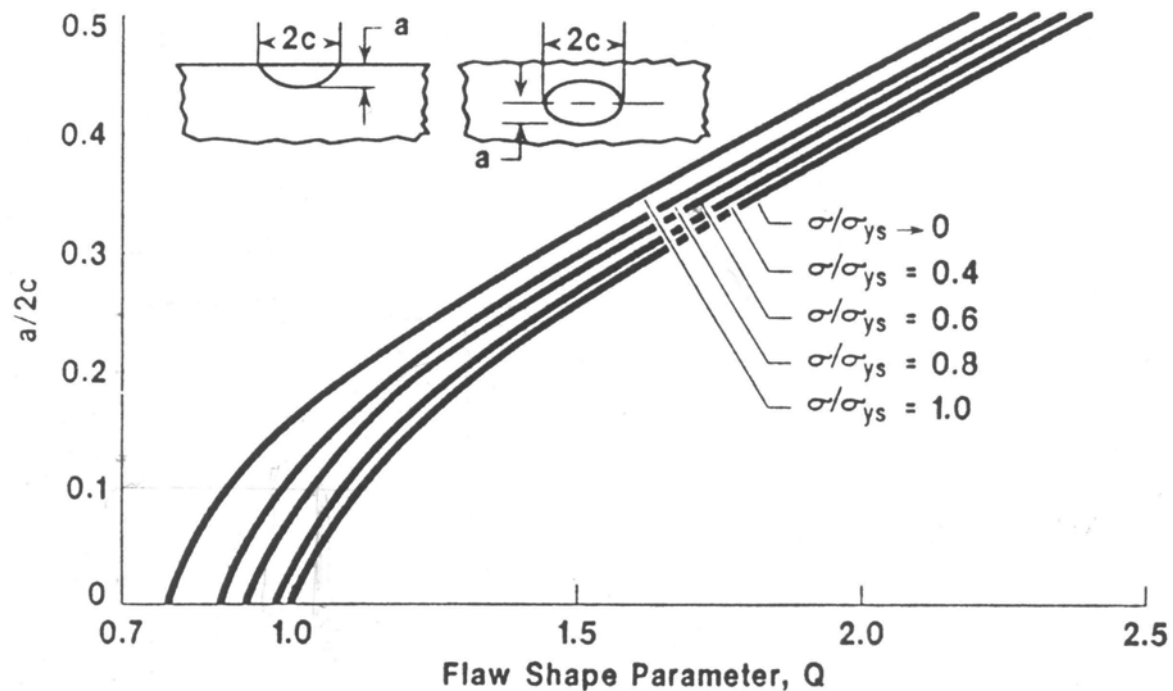
$$K = 1,1 \sigma \sqrt{\frac{\pi \cdot a}{Q}}$$

Para una fisura interna

$$K = \sigma \sqrt{\frac{\pi \cdot a}{Q}}$$

Donde σ es la tensión normal y a es la profundidad de la fisura, y $\frac{a}{Q}$ es un parámetro de forma que se rescata de la figura siguiente:

Fig 12



*defectos
La Ilustración*

Agregamos a esta somera exposición que existen tres categorías de la tecnología de mecánica de fractura:

Mecánica de fractura elástica lineal LEFM

“ “ “ **elasto plástica EPMF**

“ “ “ **dependiente del tiempo**

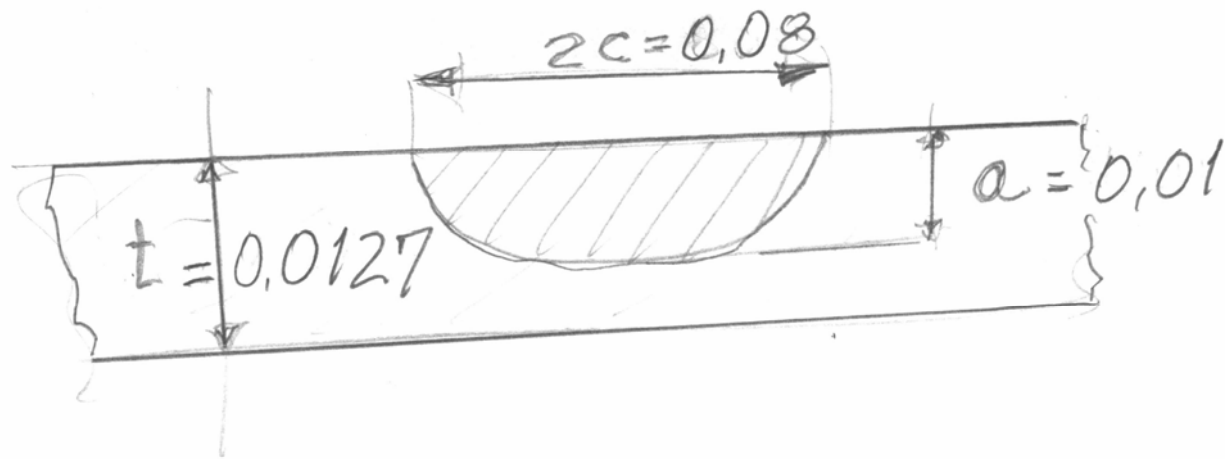
y a alta temperatura HTTDFM

La primera de ellas es la mas desarrollada y se aplica a situaciones de fractura frágil. Ella cuenta con mucha investigación y se aplica también a crecimiento de fisura subcrítico (fatiga, corrosión bajo tensión).

Se aplica también a muchas áreas de la ingeniería incluidos los códigos del ASME.

Existen algunas limitaciones para la aplicación de los conceptos de LEFM. Estos conceptos están limitados a fluencia en pequeña escala. La limitación mas significativa es la cantidad de plasticidad local en el extremo de la fisura, desarrollada tanto previamente como durante el proceso de crecimiento de fisura hasta la fractura, la cual es solo una función del Factor de intensidad de tensiones K .

Un ejemplo de aplicación resultará de utilidad. Suponga que un gasoducto de diámetro $D=30''=0,762$ m, el espesor de la chapa $t = 0,0127$ m tiene una fisura axial de $2c = 0,08$ m, presión de trabajo $p = 5,886$ MPa y su factor de tenacidad a la entalla $K_{Ic} = 65,9$ MPa \sqrt{m} y la tensión de fluencia $\sigma_F = 250,76$ MPa



$$\sigma = \frac{p \cdot D}{2t} = \frac{5,886 \times 0,762}{2 \times 0,0127} = 176,58 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_F} = \frac{176,58}{258,76} = 0,704 \quad \frac{a}{2c} = \frac{0,01}{0,08} = 0,125$$

Del gráfico de la Fig.12 se obtiene Q= 1,03

$$K_I = 1,1\sigma \sqrt{\frac{\pi \cdot a}{Q}} = 1,1 \times 176,58 \sqrt{\frac{\pi \cdot 0,01}{1,03}} = 33,92$$

**$K_I = 33,92$ es menor que $K_{Ic} = 65,9 \text{ MPavm}$
por consiguiente No hay peligro de rotura.**

Otro ejemplo:

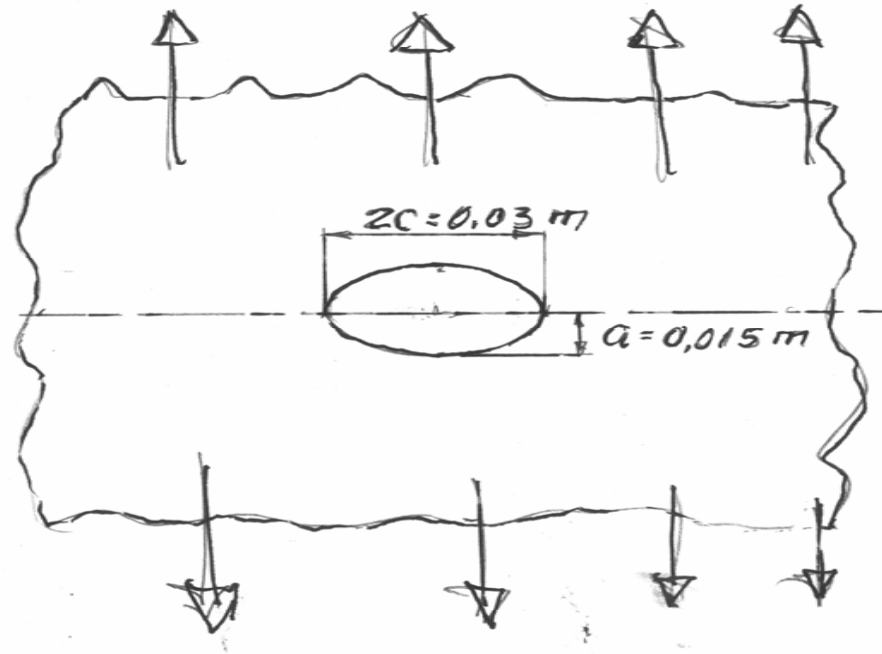
Se ha detectado una fisura interna en una plancha de acero según figura sometida a tensión $\sigma = 294,3$ MPa siendo $K_{Ic} = 67,15$ MPa \sqrt{m} y la fluencia $\sigma_F = 367,87$ Mpa

Entonces
$$\frac{\sigma}{\sigma_F} = \frac{294,3}{367,87} = 0,8$$

Del gráfico Fig 12

$$\frac{a}{2c} = \frac{0,015}{2 \times 0,03} = 0,25 \quad \text{obtenemos} \quad Q = 1,37$$

Del gráfico Fig



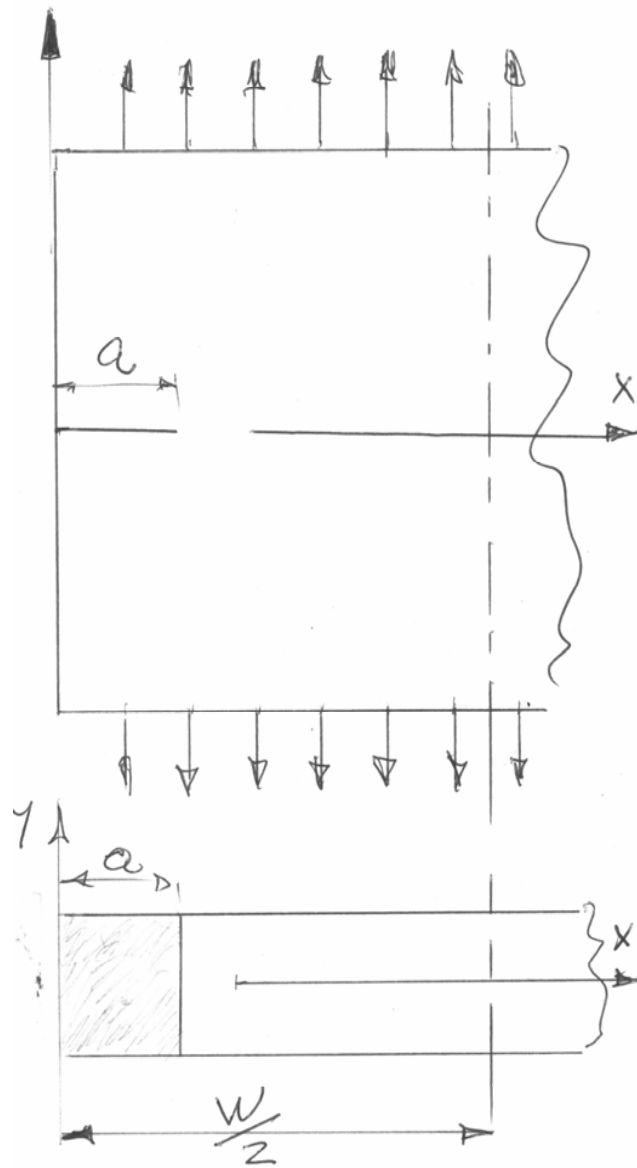
$$K_I = \sigma^2 \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} = 294,3^2 \sqrt{\frac{\pi 0,015}{1,37}} = 54,46$$

Siendo $K_I = 54,46 < K_{IC} = 67,15$ la fisura no está en condiciones de rotura frágil.

Otro problema de aplicación:

Determinar la longitud de fisura crítica para una fisura de borde en una plancha donde la tensión es de 96,5 MPa (14 kpsi), el ancho de la plancha es de 1,78 m (70 in) la tenacidad de fractura crítica es 65,9 MPa \sqrt{m} (60kpsi), y la expresión de K para pequeña relación a/w está dada por:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi \cdot a} \quad \text{donde} \quad \sigma = 96,5 \text{ MPa}$$



Para tamaño de fisura crítico $K_1 = K_{1C}$

$$\mathbf{W=1,78\ m}$$

$$K_{1C} = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \cdot a_C}$$

$$a_C = \frac{65,9 \text{ MPa} \cdot \sqrt{m}}{1,12^2 (96,5 \text{ MPa})^2 \pi} \quad a_C = 0,1183 \text{ m}$$

Si la tensión se incrementa 20%

$$\sigma = 96,5 \text{ MPa} \cdot 1,2 = 115,8 \text{ MPa}$$

Ahora
$$a_C = \frac{(65,9 \text{ MPa} \cdot \sqrt{m})^2}{1,12^2 (115,8 \text{ MPa})^2 \pi} = 0,00823 \text{ m}$$

Si la tensión se reduce a 68,9 MPa, y se encuentra una fisura de 0,635 m (25") de profundidad. ¿ Se producirá fractura frágil?. Para a/W grande la expresión de K_I para una fisura de borde, es la siguiente:

$$K_I = Y \cdot \sigma \sqrt{a}$$

Siendo $Y=1,99 - 0,41 (a/W) + 18,7$

$$(a/W)^2 - 38,48 (a/W)^3 + 53,85 (a/W)^4 = 3,38$$

$$a/W = 0,635 / 1,78 = 0,36$$

$$K_I = 3,38 \cdot (68,9 \text{ MPa}) \sqrt{0,635 \text{ m}}$$

$$K_I = 186 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$$

Entonces $K_I > K_{CI}$ se predice que ocurrirá fractura

Para confeccionar estas notas se recurrió a las siguientes obras:

- **MECÁNICA DE FRACTURA Luis A. de Vedia 1986**
- **Curso desarrollado en SOMISA sobre**
COMPORTAMIENTO DEL ACERO ESTRUCTURAL
dictado por el Ing F. Polimeni.

Otras fuentes