



Breve resumen sobre los conceptos más importantes de la Mecánica de la Fractura

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, Ph.D.

correo electrónico: luis.loriasalazar@ucr.ac.cr

Introducción

Una estructura de ingeniería puede fallar de forma súbita. En la historia se muestran muchos ejemplos de esto. Un sistema estructural puede fallar por deflexión excesiva, flujo o fractura. En algunos casos, la falla de algunos materiales se da debido a condiciones pre-existentes que crecen y llevan a la fractura. Por lo tanto, los ingenieros definen el criterio de falla con base en esos "modos de falla predominantes" (1).

En general, los tipos de falla se dividen en dos categorías principales:

- Flujo dominante: esta es aplicable en la mayoría de los materiales dúctiles. Podría utilizar el esfuerzo cortante máximo o el esfuerzo octaédrico como criterio de falla.

- Fractura dominante: esta corresponde a materiales frágiles. Por ejemplo cuando ocurre una fractura – frágil – imprevista a una temperatura regular. Esta se relaciona con la progresión de los estados de esfuerzo por debajo de los esfuerzos de cedencia, y es diferente, por ejemplo, que una ruptura por flujo donde la alta temperatura se convierte en un factor importante.

La definición de un tipo de falla no tiene sentido sin la siguiente información: temperatura, estado de esfuerzos, razón de carga y ambiente químico. Con el fin de estudiar tal comportamiento de los materiales, a principios de los años veinte y mayoritariamente luego de la Segunda Guerra Mundial, la

COMITÉ EDITORIAL
2013

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, Ph.D.
Coordinador General PITRA, LanammeUCR

Ing. Mónica Jiménez Acuña
Unidad de Materiales y Pavimentos

Daniela Alpízar Gutiérrez
Diseñadora Gráfica. Unidad de Diseño Gráfico

mecánica de la fractura comenzó a tener importancia en el campo científico. Tal temática es extremadamente extensa, ya que requiere del estado de los conocimientos más avanzados de la ingeniería, las aplicaciones mecánicas (elasticidad, plasticidad) y la ciencia de materiales (proceso y criterio de fractura, propagación de la grieta) (1) (2).

El objetivo principal de este boletín es resumir conceptos básicos relacionados con la mecánica de la fractura.

Conceptos de la mecánica de la fractura

A la luz de las declaraciones anteriores, es importante el conocimiento de ciertos conceptos para la introducción en esta temática.

1. Mecánica de la Fractura: es una disciplina de la ingeniería que en primera instancia se refiere (en proporciones iguales) a la mecánica aplicada y a la ciencia de materiales. De la manera más sencilla, esta puede ser utilizada para relacionar las máximas cargas permisibles aplicadas que actúan en un componente estructural para un tamaño y localización de grieta en el componente. Esto puede ser también usado para predecir la razón con la cual la grieta puede aproximarse al tamaño crítico de fatiga (3). Otra definición indica que es un método para predecir la falla de una estructura que contenga un agrietamiento (4). Otra definición establece que la mecánica de la fractura es una disciplina de la ingeniería que cuantifica las condiciones bajo las cuales un cuerpo sólido que soporta carga puede fallar debido al ensanchamiento de una grieta dominante contenida en él (5).

Los conceptos de la mecánica de la fractura que datan desde antes de 1960, y son aplicables solo a materiales que obedecen a la Ley de Hooke. Aunque se propuso e incluyó una corrección a pequeña escala de la plasticidad, que es llamada Mecánica de la Fractura Avanzada (2).

2. Fractura: La definición más simple para fractura es “el proceso de ruptura” o la “condición de rotura” (2). Hoy en día, la fractura ha sido definida como un material que está siendo o que ha sido descompuesto (6).

3. Agrietamiento: Una grieta se define como una separación de material por abertura o deslizamiento, cuya distancia de separación es sustancialmente más pequeña que la separación extendida - la longitud de la grieta -. Una micro-grieta es una separación del tamaño del orden de un átomo (6).

4. Resiliencia: se define como la capacidad de un material de absorber energía en presencia de un deterioro (1).

5. Fractura frágil: Corresponde a la fractura de un miembro libre de grietas y deterioros bajo carga estática. Esto podría ser originado por grietas y deterioros bajo carga cíclica o una alta carga cíclica de fatiga (1).

6. Fractura de flujo: Fractura de un material que ocurre a temperaturas elevadas, luego de un largo período de flujo, en la cual, pequeñas deformaciones ocurren como flujo en los límites de la estructura (1).

Fractura Frágil de Miembros Libres de Grietas y Deterioros

Los materiales libres de grietas y deterioros muestran diagramas lineales de tensión σ - ϵ sobre su estado último de esfuerzo, por ejemplo la tiza, el hierro fundido o el vidrio. Si el esfuerzo principal de magnitud absoluta está en tensión, la fractura ocurre en el lugar en el cual el esfuerzo principal ocurre. Entonces, el criterio de esfuerzo máximo de falla es considerado válido para propósitos de diseño (1).

Fractura Frágil de Miembros Agrietados o Deteriorados

La fractura frágil de un material consiste de dos fases: iniciación y propagación de la grieta. Hay tres modos básicos de propagación de la grieta (dependiendo del tipo de desplazamiento) (2):

- Modo I: modo de abertura. Las superficies de la grieta se separan.
- Modo II: modo de deslizamiento. Las grietas superficiales se mueven (deslizan) normales al extremo de la grieta permaneciendo en su plano.
- Modo III: modo de rasgado. Las grietas superficiales se mueven paralelas al extremo de la grieta y regresando a su estado original.

La Figura 1 muestra los modos de propagación de grieta. El caso más general es una mezcla de los modos por superposición de los tres tipos de modos de falla. El modo I es el más común en los materiales isotrópicos. Cada modo tiene dos componentes básicos: la superficie y el extremo de la grieta, como se muestra en la Figura 2. Las superficies de la grieta son las fronteras libres de esfuerzo en la vecindad de la punta de la grieta, con grandes influencias en la distribución de esfuerzos alrededor de la grieta (6).

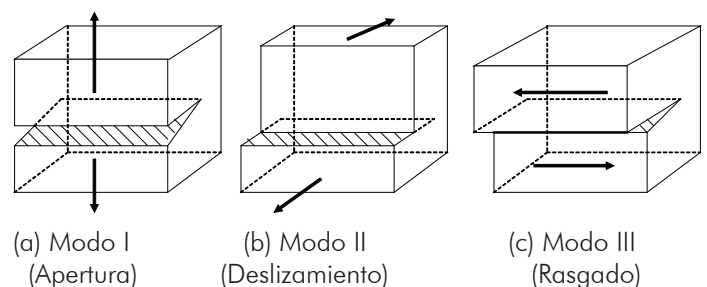


Figura 1 Modos de propagación de la grieta

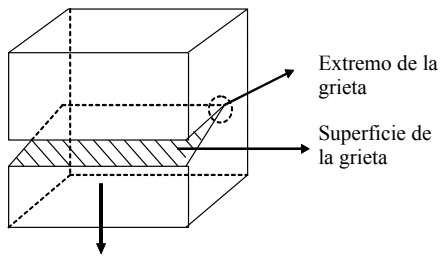


Figura 2: Componentes de cada modo de falla

Factor de Intensidad del Esfuerzo (K)

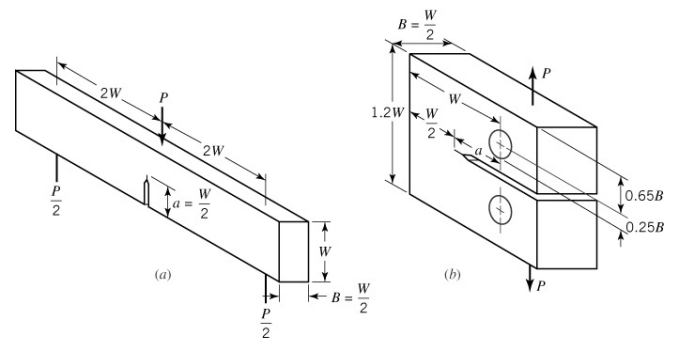
El Factor de Intensidad del Esfuerzo (K) es definido como el esfuerzo elástico de campo que rodea la extremidad de la grieta. Como se señaló anteriormente, el movimiento de las superficies de la grieta pueden estar divididas en tres tipos, con los esfuerzos de campo correspondientes. Por lo tanto, los tres factores de intensidad de esfuerzo están definidos como: K_I , K_{II} y K_{III} . Donde la dimensión de K está dada por [esfuerzo] * [longitud]^{1/2}. Esto depende de las dimensiones y de las condiciones de carga. En este sentido, se acepta que K es proporcional a [esfuerzo promedio] * [longitud de la grieta]^{1/2} (1).

Los esfuerzos son inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia desde la extremidad de la grieta, haciéndose infinitos hacia este punto (singularidad). En general, el criterio de fractura para fractura frágil está basado en los valores críticos de K, para los cuales la grieta se propaga rápidamente (conduciendo a la fractura). Por lo tanto, el valor numérico K_c ha sido definido como un valor crítico para "K", y los tres modos de falla tienen sus respectivos valores críticos de K. Por ejemplo, K_{IC} es el valor crítico para el modo de abertura (I) y se considera como la propiedad medida del material de la resistencia a la fractura. Esto es también conocido como "Resistencia a la fractura" (2).

Si el valor de la resistencia a la fractura de un material en un momento dado excede el valor de K_{IC} cuando el ancho de tal material es muy "delgado", este experimentaría deformación inelástica. En nuestro caso, nosotros deseamos un comportamiento elástico. Por lo tanto, conforme el espesor se incrementa, la deformación inelástica se mantiene a un valor mínimo, el cual aproxima las condiciones de elasticidad lineal. Esto ocurre cuando el estado de esfuerzos en la extremidad de la grieta en la mayor parte del ancho del espécimen está asociado con las condiciones de deformación plana. Para satisfacer la deformación plana sobre la longitud de la grieta principal, necesitamos satisfacer el parámetro B de la Figura 3:

$$B \geq 2.5 \left(\frac{K_{IC}}{Y} \right)^2 \quad (1)$$

Donde B es la magnitud del espesor (igual al ancho del material dividido por dos), y "Y" es el esfuerzo límite de elasticidad (1).



BORESI
Mecánica de Materiales Avanzada, 6e
Fig. 15-2

Figura 3: Muestras a resistencia estándar: (a) Viga con agrietamiento. (b) Espécimen a tensión compacta.

Paris y Sih (1965) desarrollaron ecuaciones para encontrar el valor de K_{IC} para varios materiales. Aquí, es importante mencionar que K_I es igual a K_{IC} si el estado de esfuerzos para la mayor parte del espesor del miembro, en la extremidad de la grieta es lineal elástico.

La Figura 4 muestra la dependencia de la temperatura de K_{IC} para acero A333B. Si el material está en "estado dúctil" el análisis es completamente diferente y va más allá del alcance de este documento.

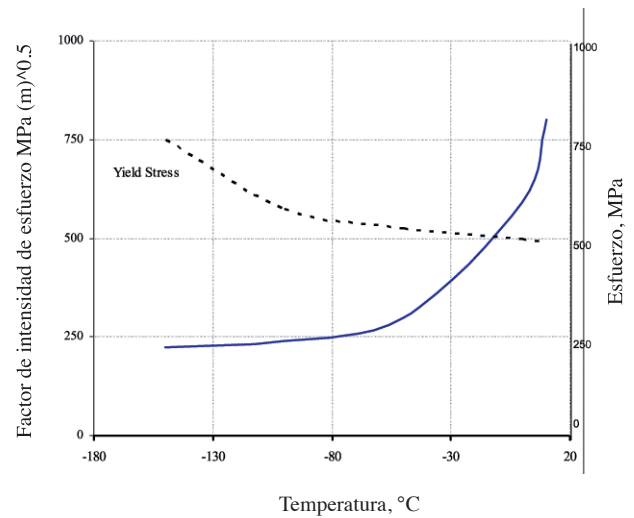


Figura 4 Dependencia de K_{IC} de la temperature para acero A333B

La figura siguiente y la tabla, muestran un ejemplo de cómo determinar el factor de intensidad del esfuerzo en la extremidad de la grieta de la viga en flexión.

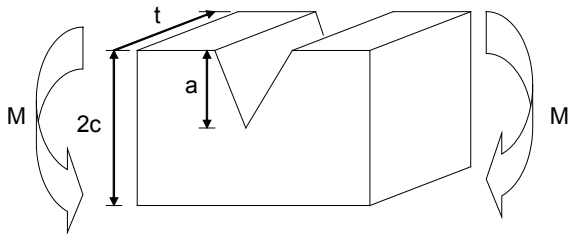


Figura 5 Borde de la grieta de la viga en flexión

Para el caso previo, el factor de intensidad del esfuerzo es determinado de la siguiente manera:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} f(\lambda) \quad (2)$$

Donde

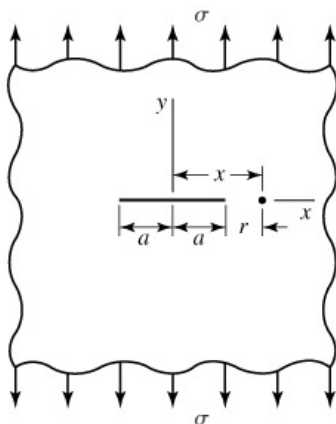
$$\lambda = \frac{a}{2c} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{3M}{2tc^2} \quad (4)$$

Tabla 1: $f(\lambda)$ Factores de la ecuación (2)

λ	$f(\lambda)$
0.1	1.02
0.2	1.06
0.3	0.16
0.4	1.32
0.5	1.35
0.6	2.10

Para una grieta centrada en una placa infinita, $f(\lambda)$ es igual a 1.0, tal como se muestra en la Figura 6.



BORESI
Mecánica de Materiales Avanzada, 6e
Fig. 15-2

Figura 6. Factor de intensidad del esfuerzo para una grieta centrada en una placa infinita

El factor $f(\lambda)$ de la tabla anterior puede ser desarrollado para diferentes geometrías. Por lo tanto, los factores de intensidad del esfuerzo pueden estar relacionados con el agrietamiento por medio del factor de corrección apropiado. Otros autores han llamado $f(\lambda)$ la constante "C". Sin embargo, el modelo matemático mostrado en la sección 4, permite la determinación directa del factor de la intensidad del esfuerzo para alguna geometría específica (1).

La Figura 7 muestra un ejemplo de los factores de intensidad del esfuerzo para geometrías semielípticas.

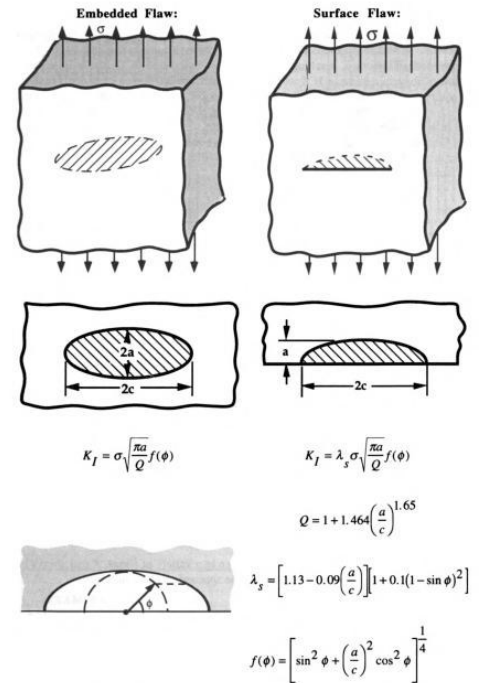


Figura 7. Factor de intensidad del esfuerzo para geometrías semielípticas.

La grieta estacionaria

La solución al problema de concentración de esfuerzos para un agujero elíptico puede ser usada para obtener un estimado de la distribución de esfuerzos en la vecindad del borde de la grieta. Como se sabe, el esfuerzo tangencial $\sigma_{\beta\beta}$ alrededor de un hoyo elíptico en una placa infinita (lámina) sujeta a esfuerzos de tensión uniforme σ en el eje principal del hoyo depende de la razón b/a . La Figura 8, muestra un ejemplo de un hoyo elíptico y el esfuerzo normal asociado. Por lo tanto, como $a/b \rightarrow \infty$, el máximo valor de $\sigma_{\beta\beta}$ se hace muy grande. En vista de esto se pueden definir dos tipos de grietas: inestable o estable. La grieta inestable se da cuando $a/b \rightarrow 0$, y la grieta estable cuando la razón $a/b \rightarrow \infty$ (1).

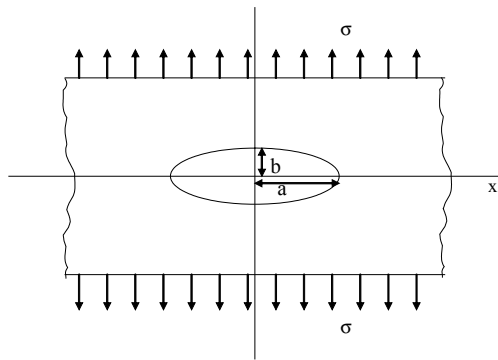


Figura 8: Concepción general de una grieta y su esfuerzo normal relacionado

Por lo tanto, análisis previos pueden ser útiles para determinar el esfuerzo alrededor del borde de la grieta (1).

Propagación de la grieta

En general, el factor de la intensidad del esfuerzo se asume como (para el Modo I) (1):

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \quad (5)$$

Esto debería permitir la siguiente relación:

$$K_I = \sigma_c \sqrt{\pi a} \geq K_{IC} \quad (6)$$

Donde σ_c es el esfuerzo crítico de tensión correspondiente. Los resultados previos son de gran importancia en la mecánica de la fractura, las teorías de falla y los estudios de propagación de la falla. Aquí surge una pregunta, ¿cómo ante la presencia de grandes esfuerzos (en la cercanía de la extremidad de la grieta), el material puede mantenerse elástico, permitiendo la aplicación de análisis lineales? La respuesta es que el borde de la grieta es estable, esto es posible en caso de la existencia de un estado de esfuerzo alto hidrostático (en un miembro de espesor suficiente), mientras que el máximo esfuerzo de cortante y la densidad de energía distorsional se mantiene baja. Consecuentemente, el flujo no puede ocurrir antes que la fractura frágil (6).

Cuando las cargas son aplicadas a un miembro que contiene una línea de grieta, el esfuerzo extremadamente grande en las extremidades de la grieta causará que la grieta se extienda y se propague.

Otra definición para el factor de la intensidad del esfuerzo fue establecido por Irwin (1957) para una grieta elíptica (Figura 9), como a continuación:

$$K_I = \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{\sqrt{\pi \rho}}{2} \sigma_{\max} \quad (7)$$

Donde $\rho = b^2/a$, que es el radio de curvatura y σ_{\max} es el esfuerzo máximo en la extremidad de la grieta.

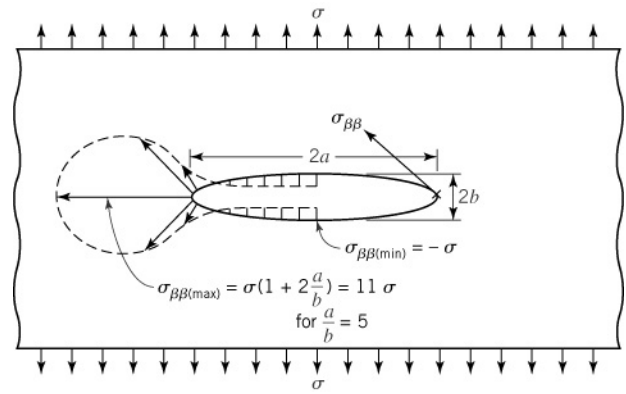


Figura 9. Distribución de esfuerzos ($\sigma_{\beta\beta}$) alrededor de un hoyo elíptico en el plano infinito de carga, perpendicular al eje principal

En el caso de la Figura 9, el máximo esfuerzo ($\sigma_{\beta\beta} = \sigma_{\max}$) está dado por:

$$\sigma_{\beta} = \sigma_{\max} = \sigma \left(1 + 2 \frac{a}{b} \right) \quad (8)$$

El Criterio de Griffith de Liberación de Energía de Deformación (G)

Un nuevo concepto para explicar el mecanismo de propagación del agrietamiento por fatiga fue desarrollado por Griffith (9). Este consiste en la derivación de la relación entre la fuerza de extensión de la grieta y el factor de intensidad del esfuerzo K para varios modos. Este nuevo concepto fue llamado "Razón de Liberación de la Energía de Deformación (G)".

En lugar de enfocarse en el esfuerzo de la extremidad de la grieta directamente, se emplea una energía de balance aproximada que se ha convertido en uno de los más famosos desarrollos en la ciencia de materiales.

La energía de deformación por unidad de volumen del material esforzado

$$U^* = \frac{1}{V} \int f dx = \int \frac{f}{A} \frac{dx}{L} = \int \sigma d\epsilon \quad (9)$$

Si el material es lineal ($\sigma = E\epsilon$), luego si la energía de deformación por unidad de volumen es:

$$U^* = \frac{E\epsilon^2}{2} = \frac{\sigma^2}{2E} \quad (10)$$

Cuando una grieta ha crecido en un sólido a una profundidad a, una región de material adyacente a las superficies libres está descargada, y su energía de deformación es liberada. Utilizando la solución de Inglis, Griffith pudo calcular esta cantidad de energía (9).

Una manera simple de visualizar esta liberación de energía se ilustra en la Figura 10, donde se consideran dos regiones triangulares cercanas a los flancos de la grieta, de ancho a y alto βa , completamente descargadas, mientras el material

restante continúa sintiéndose libre de esfuerzo σ . El parámetro β puede ser seleccionado de manera que esté acorde a la solución de Inglis, y de manera que este, esté fuera del plano de esfuerzos de carga $\beta = \pi$. La energía de deformación total U liberada, es entonces la energía de deformación por unidad de volumen multiplicado por el volumen de ambas regiones triangulares:

$$U = -\frac{\sigma^2}{2E} \cdot \pi a^2 \quad (11)$$

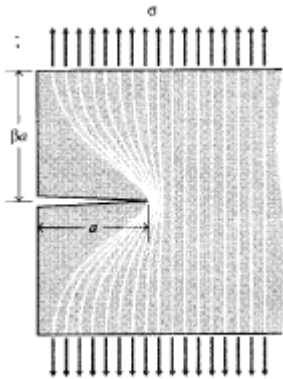


Figura 10. Idealización de la region descargada cercana a los flancos de la grieta

Aquí la dimensión normal al plano x-y es tomada como unitaria, de manera que U es la energía de deformación liberada por unidad de espesor del espécimen. Esta energía es liberada conforme al crecimiento de la grieta. Pero en la formación de la grieta, los enlaces pueden romperse y la energía de enlace asociada es en efecto absorbida por el material. La energía superficial S asociada con la longitud a (y a la profundidad unitaria) es:

$$s = 2\gamma a \quad (12)$$

Donde γ es la energía superficial (por ejemplo, Julios/metro²) y el factor 2 se hace necesario por la formación de dos superficies libres. Como se muestra en la Figura 11, la energía local asociada a la grieta es entonces la suma de las f de energía absorbida para crear las nuevas superficies (positiva), más las f de energía de deformación liberada al permitir que las regiones cercanas a los flancos de la grieta se descarguen (negativa).

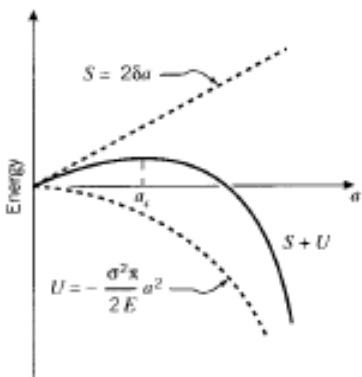


Figura 11. El balance la energía de fractura.

El valor de la longitud crítica de la grieta se puede encontrar haciendo la derivada de la energía total $S+U$ igual a cero:

$$\frac{\partial(S+U)}{\partial a} = 2\gamma - \frac{\sigma_f^2}{E} \pi a = 0 \quad (13)$$

Ya que la fractura súbita es inminente cuando esta condición se satisface, podemos describir el esfuerzo σ_f , resolviendo la ecuación como:

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi a}} \quad (14)$$

Además, Irwin sugirió que la fractura catastrófica ocurre cuando la energía de deformación es liberada a una tasa en que se satisfacen las necesidades de todos esos “descensos”, y denotó que la tasa de liberación de energía de deformación crítica dada por el parámetro G_c se puede reescribir de la siguiente manera.

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{EG_c}{\pi a}} \quad (15)$$

Esta expresión describe, la interrelación entre tres aspectos importantes del proceso de fractura: el material, por medio de lo que evidencia la tasa crítica de liberación de energía G_c ; el nivel de esfuerzo σ_f ; y el tamaño a de la falla.

Finalmente, “ G ” representa la cantidad de energía de deformación perdida por miembro por unidad de área de la nueva grieta formada conforme esta se propaga. En otras palabras, la energía requerida para formar el área superficial de la grieta es obtenida del valor G del cuerpo. Las unidades de G son $[F/L]$ y hacen referencia a la “fuerza de extensión de la grieta” (6).

Finalmente, para el plano de deformación nosotros tenemos que:

$$G = \frac{(1-\nu^2)\pi a_c \sigma^2}{E} = (1-\nu^2) \frac{k_L^2}{E} \quad (16)$$

Donde E es el modulo elástico del material y ν es la razón de Poisson. K_{IC} fue definido en la ecuación (6).

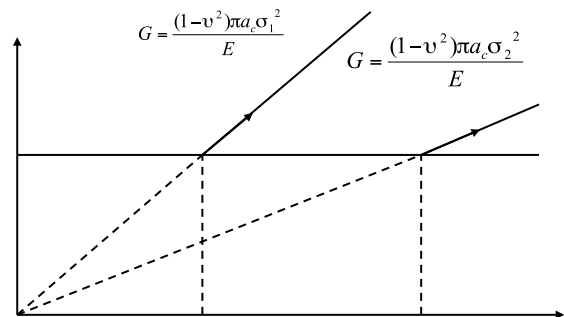


Figura 12: Representación gráfica del criterio de energía de deformación.

El uso de este criterio de fractura puede ser representado gráficamente en la Figura 12. La resistencia al crecimiento de la grieta es representada por G_{IC} . La liberación de energía es representada por G . Por lo tanto, para un esfuerzo particular

σ_1 la energía liberada es proporcional al tamaño de la grieta a . El G es representado por la línea recta OA. Si el tamaño de la grieta es a_1 , la tasa de energía liberada a un esfuerzo σ_2 es representada por el punto B. El incremento del esfuerzo de σ_2 a σ_1 eleva G del punto B al punto A. En A la grieta puede extenderse hasta que la condición en que $G=G_{IC}$ se satisface. Una larga grieta de tamaño a_2 , realmente alcanza este estado al esfuerzo σ_2 (en el punto C).

Valor Crítico para la Fuerza de Extensión de la Grieta, "G"

Debido a que la grieta puede crecer muy rápido bajo ciertos valores de carga, esto implica resultados que pueden ser dramáticos. Esta rápida propagación está asociada a la longitud crítica de la grieta " a_c " (esto divide el material en dos) (7). Alternativamente, ya que G , la fuerza de extensión de la grieta, está relacionada con la longitud " a ", la rápida propagación de la grieta (para el modo I) puede también ser asociada con G_{IC} , la fuerza de extensión crítica de la grieta, que se define como:

$$G_{IC} = (1 - \nu^2) \frac{K_{IC}^2}{E} \quad (17)$$

Donde el factor de intensidad del esfuerzo sería (ver Figura 6):

$$K_{IC} = \sigma \sqrt{\pi a_c} \quad (18)$$

La Ley de Paris

Como previamente se mencionó, el factor de intensidad del esfuerzo es una medida para el esfuerzo y la deformación en la extremidad de la grieta; este, es significativo si la zona de plasticidad es pequeña, y determina la tasa de propagación de la grieta por ciclo de carga. La teoría de la mecánica de la fractura permite explicar el mecanismo de propagación de la grieta. El modelo que hace referencia al modelo de la mecánica de la fractura es conocido como la Ley de Paris, la ecuación respectiva se muestra seguidamente:

$$\frac{dC}{dN} = A(\Delta K)^n \quad (19)$$

Donde c = longitud de la grieta, N = número de aplicaciones de carga, = tasa de crecimiento de la grieta o "velocidad de agrietamiento", longitud/número de los ciclos de carga, ΔK = es el cambio del factor de intensidad de esfuerzos durante la carga y la descarga, n = parámetros de fractura para el material (8). El gráfico de la Figura 13 muestra la forma en que se pueden determinar los parámetros de fractura (6).

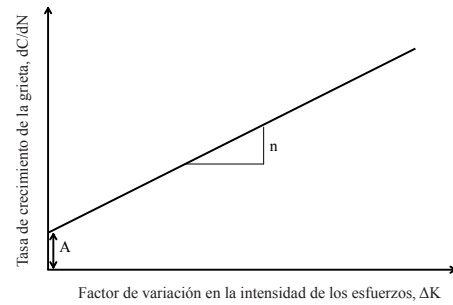


Figura 13: Parámetros de fractura de un material de acuerdo a la Ley de Paris

El cambio en el factor de intensidad del esfuerzo (ΔK) se define como:

$$\Delta K = K_{\max} - K_{\min} \quad (20)$$

Donde K_{\max} y K_{\min} se refieren a los valores de factor de intensidad del esfuerzo máximo y mínimo en un ciclo de carga dado (5).

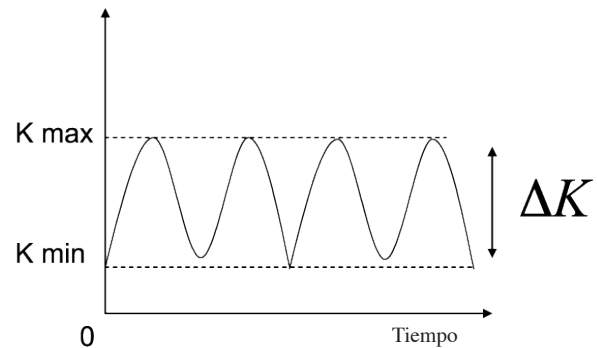


Figura 14: Definición del cambio en el factor de intensidad del esfuerzo

La integral "J"

Un importante método para análisis debe ser considerado: la integral "J". Los análisis hasta ahora se han limitado al caso del comportamiento lineal elástico, sin plasticidad en el extremo de la fisura. Si existe una plasticidad considerable, " G " no puede ser determinada de los esfuerzos elásticos de campo, ya que " G " puede estar considerablemente afectado por la zona de plasticidad de la grieta (6). La integral "J" provee un medio para determinar la tasa de energía de deformación alcanzada cuando los efectos de plasticidad no son despreciables. La definición general de la integral J es (2):

$$J = \int_{\Gamma} \left(W dy - T \frac{\partial u}{\partial x} dx \right) \quad (21)$$

Con:

$$W = W(x, y) = W(\epsilon) = \int_0^{\epsilon} \sigma_{ij} d\epsilon_{ij} \quad (22)$$

Donde Γ es un contorno cerrado, que se considera contrario a las manecillas del reloj en el estado de esfuerzos del sólido, T es el vector de tensión (tracción) perpendicular a Γ hacia fuera del plano, $T_i = \sigma_{ij} n_j$; u es el desplazamiento en la dirección

xy , ds es una porción elemental de Γ . "W" es la energía de deformación por unidad de volumen. Para materiales lineal-elásticos $J = G$ (6). La Figura 15 muestra la definición de la integral de J.

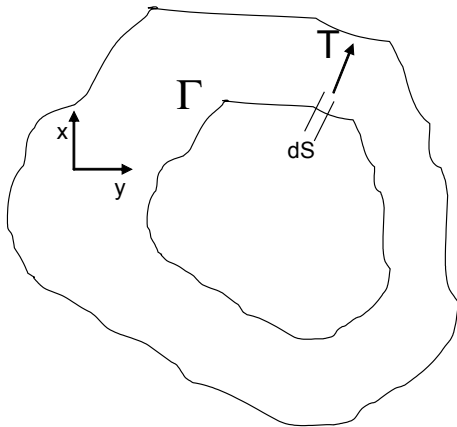


Figura 15: Definición de la integral "J"

Otros Factores a Considerar

Mecánica de la Fractura Elasto-Plástica

Desde el punto de vista de la Teoría de Multicapa Elástica (MLET, siglas en inglés) o de la Mecánica de la Fractura Lineal Elástica (LEFM, siglas en inglés) una grieta crece casi instantáneamente a esfuerzos críticos, pero para un material dúctil real, la deformación plástica ocurre antes de la fractura. En este caso, MLET o LEFM no son aplicables (1).

Análisis de crecimiento de la grieta

El inicio del crecimiento de la grieta se hace con una predicción por LEFM, a una carga para la cual el factor de intensidad del esfuerzo alcanza el valor crítico, K_{IC} .

Espectro de Carga e Historia de Esfuerzos

El espectro de carga se define como una representación estadística de cargas o esfuerzos aplicados. El comportamiento del material depende de (1):

- La amplitud (variable o constante).
- Repetición de las cargas.
- Impulso de las cargas.
- Métodos para la determinación del espectro de carga.
- Otros métodos.

Pruebas e Interpretación de Datos de Experimentales

Aquí, el factor K se utiliza para considerar el espesor relativo del espécimen de ensayo con la finalidad de realizar el análisis mecanicista, la Figura 16 siguiente explica esta idea. Debería remarcarse que la resistencia a la fractura de un material depende de la tasa de carga y temperatura (1).

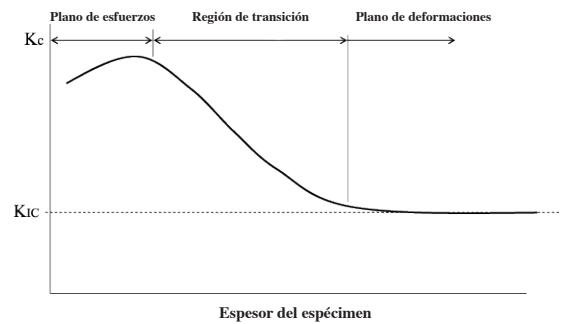


Figura 16: Variación de K_c con el espesor del espécimen.

Conclusiones

Por medio de este artículo se pretendió resumir los conceptos básicos debidos a la mecánica de la fractura. Esto fue motivado de la lectura previa de muchos artículos de investigación en este campo de investigación. Por lo tanto, este breve resumen pone juntos tales conceptos para su uso posterior.

Referencias Bibliográficas

- Boresi, A., Schmidt, R., and Sidebottom, O., "Advanced Mechanics of Materials". Wiley and Sons, Fifth Edition, 1993. pp 608-628.
- Anderson, T.L., "Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications". Department of Mechanical Engineering, Texas A&M University, College Station, Texas. CRC Press. 2000
- Kanninen, M.F., and Popelar, C.H., "Advance Fracture of Materials". Oxford Engineering Science Series. Clarendon Press, Oxford, 1985. pp 24, 39, 138-158.
- Buckley., C.P. "Material Failure". Lecture Notes, University of Oxford, 2005.
- Kanninen, M., and Popelar, C. Advanced Fracture Mechanics. Oxford University Press, Inc. 1985. pp.24-29, 47, 498-507.
- Broek, David. Elementary Engineering Fracture Mechanics. Martinus Nijhoff Publishers. Third edition, 1982. pp18-22, 235-239
- Bertram, K. Cracks and Fracture. Department of Mathematical Physics, University College Dublin, Ireland. 1999. pp1-4, 614-619
- Paris, P., and Erdogan, F. A Critical Analysis of Crack Propagation Laws. From Journal Transactions of the ASME, Ser D, J Basic Eng 85-4 (1963), pp. 528-534. December 1963.
- Roylance, D., Introduction to Fracture Mechanics. Department of Material Science and Engineering. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2001.