EFECTOS DINAMICOS EN GRIETAS EN LAS INMEDIACIONES DE UNA SUPERFICIE LIBRE

FRANCISCO CHIRINO GODOY
ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE LAS PALMAS
JOSE DOMINGUEZ ABASCAL
ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE SEVILLA

lESUMEN .- En esta comunicación se presenta, una forma de calcular **la** evolución del Factor de Intensidad de Tensiones con la frecuencia, cuando un tren de ondas que se propaga en un medio el4stico aamiinfinito, incide en una grieta que está próxima **a** la superficie libre del mismo. S• emplea el Método de los Elementos de Contorno con un elemento singular, desarrollado con anterioridad para problemas estiticos. Los resultados obtenidos **se** comparan con los de otros autores.

ABSTRACT.- In this papera procedure for computation of the variation of the Stress Intensity Factor versus frequency is presentad. The problem of a crack near the free surface of an uniform half-space when inpinged by harmonic waves is studied. The problem is analysed by means of the Boundary Element Method with a singular element that was previously developed for static problems. Results **are** compared with other authors.

1. INTRODUCCION

La cantidad de estudios, sobre la c0ncentración de tensiones en las proximidades del vértice de las grietas, **es** enorme en los últimos **anos. Dado** lo complejo del problema, **existe** mucho mayor **avance** de conocimiento cuando el problema es est6tico; sin embargo en la mayoria de los casos los **sistemas** trabajan en régimen dinámico de **cargas**. Es necesario pues, considerar los efectos dinAmicos que se producen, en las proximidades de loa **vértices** de las grietas, cuando las cargas actuantes varien con el tiempo. Lo cual se traduce en ondas el&sticas que se propagan a traves del medio.

Como ya ha sido puesto de manifiesto en numerosas ocasiones (l,2,3), los efectos dinámicos hacen que el Factor de Intensidad de Tensiones sea, sensiblemente superior al que se produciria ante cargas estáticas, de igual amplitud, y el objetivo es determinar con precisión estos efectos.

En la presente comunicación se **trata** el caso, que se presenta con re**lativa** frecuencia, cual es, el de la existencia de una grieta cercana a la superficie libre del material, producida ésta por multiples causas, siendo una de las más comunes los defectos de fabricación.

Las tensiones en las inmediaciones de los vértices de una grieta en un medio plano infinito, cuando se encuentra sometido a cargas estáticas o dinAmicas tienen la siguiente expresión:

O11 • 77ifr cos8 ¿ (1-sen :sen{!)-

Ki¡ / 1TifT sen 8/2 (l+cos 8/2 cos 38 -1+O(1)

σ22= KI / √2πr cos θ/2 (l+sen sen 38 'f:'")+

Ku / √2πr coa e/2 sen e/2 COS 38/2 +o(1)

a12· Kr / 7íñ; sen e/2 cos e/2 cos 38/2 + KII / 1Hr

coa e/i (1- sen 2 sen 38/r)+O(11

Siendo r la distancia al vertice de la grieta y e el Angulo respecto al eje de la grieta (Fig 1), KI y KII son los Factores de Intensidad de Tensiones en los modos de apertura y deslitamiento, dependiendo estos de la geometria de la grieta, solicitación y caracteristicas del material.

Las expresiones de los movimientos en torno al vértice de la grieta son:

u1.- Kl / μ! {rr / ¿π COS 0/1 (1-1V+sen² 0/2)+

KI / -μ± 1/ r / Tff sen e/2 (2-2V + cos² e/-)+0(1)

u 2• Kr / 1i" /¡- {-; ir sen 8/2 (2-2Y- cos² 6/2)+

KII / -μ √(r / 2π) cos (-1+2'\I+ sen² e 2) +O(1)

Dondeµ es el Módulo de Elasticidad Transversal y\/ es el Módulo de Poisson. Estas expresiones definen el campo de tensiones y movimientos, tanto en rlgimen estAtico como din!mico. !n eate último, si la solicitación es armónica, las variables tambi n lo serin, y las expresiones anteriorea def inirtn la amplitudes del Factor de Intensidad de Tensiones en función de la frecuencia de excitación.

A continuación se revisa, en forma muy breve, como puede emplearse eficazmente el Hltodo de los Elementos de Contorno, para el ctlculo de los Factores de Intensidad de Tensiones est!ticas y din!micas, y se estudia la difracción de ondas por una grieta, que dista una distancia determinada del borde libre de un medio plano semiinfinito.

2, EL METODO DE LOS ELEMENTOS DE CONTONO EN EL CALCULO DE FACTORES DE INTENSIDAD DE TENSION.-

La determinación del campo de tensiones y movimientos en las proximidades del vértice de una grieta, puede ser abordado mediante el M.E.C. siguiendo algunos **de** los procedimientos siguientes:

1) Incorporando funciones especiales de Green para un medio fisurado infinito. Procedimiento solo desarrollado en Estática(4)
2) Dividiendo el dominio en subregiones **de** forma tal que, se haga pasar a **traves** de la grieta un contorno, para asi tener los labios de la grieta, en dos subregiones diferentes.(5)
3) Empleando una discretización integral que solo implique discretizar la grieta, como un único contorno. Las variables a determinar son diferen**cias** de desplazdmiento, en ambos **bordea de** la grieta. Este procedímiento solo estA desarrollado en estAtica.(6)

De los tres caminos citados, se ha optado por seguir el segundo de ellos, **haciendo** uso ademas, de un elemento especial, el cual, tiene el nodo central situado a un cuarto de uno de sus extremos (elemento a un cuarto).

Con este cambio en la geometría se consigue, representar correctamente el campo de movimientos, en el vértice de la grieta. Para representar el comportamiento asintótico de las tensiones, se emplean unas funciones de forma especiales singulares. El uso de este elemento singular, permite hallar el r.I.T. directamente a partir del valor nodal en el vertice de la grieta. Asi los resultados obtenidos, son más precisos y menos dependientes de la discretización. (5)

3, DIFRACCION DE ONDAS POR UNA GRIETA EN UN MEDIO PLANO SEMIINFINITO

Este problema ha sido resuelto recientemente por Keer y sus colaboradores (7), los cuales consideran **una grieta** en un semiespacio infinito que, dista una distancia determinada **de la** superficie libre (Fig 2). Emplean en su articulo la solución fundamental correspondiente a una dislocación en el semiespacio infinito, la cual aplicada a la grieta, conduce a unas funciones de Hankel combinadas con intogralea de contorno. La combinación **de eata** tecnica con el Método **de** Colocación, **da** lugar **a** un **sistel11a de** ecuacionea integrales, que hay que re1olver numericamente. En las proxi,nidadea ele la frecuencia de reaonancia, el **si1tel11a 1e** hace ineatable, y la aoluci6n ea aproximada Para resolver el problema mediante el H.I.C. ae pueden elegir doa **alternativa,,**

1) Tomando col110 solución funda'"ental, la correapondiente a una carga ar1110ónica en el espacio infinito.
2) **Ide,n en el aemieapacio** infinito.

La ventaja de utilizar **la** primera, estriba **en la** mayor sencillez de dicha solución **frente a la** aegunda; el inconveniente **se presenta** en las condicione• de contorno del borde libre, que no 10n **sati1fechas** intrin**secamente**, y por tanto, **hay** que forzarlas a que **ae** cumplan, discreti1ando el borde libre • imponiendo en 61 las condicione, de contorno.

De cualquier for111a, la discretizaci6n hay que prolonrarla hasta el infinito. lin eabargo la influencia 101tre el cal11po de tensiones y 111ovimientoa en las in111ediacionea del vertice **de** la grieta, **ea** cada vez 111enor confor111e noa aleja11101 de 61ta. Por tanto 11 1e trunca a una distancia lo auficiente'"ente alejada de la grieta, el error e, despreciable.

La figura 3 **muestra la** discretización con **Elemento, de** Contorno em**pleada,** Tanto el borde **libre** como los contorno• internos, **se** extienden **haata** una **di1tancia de** 15 **veces** la semilongitud **de la grieta.** Todoa los elemento• 10n cuadrAticoa, y los **situados en el vertice de la** grieta son **aingularea (elemento•** a un cuarto).

El cal11po incidente **ea** una tensión unifor111e aplicada aoore x_2 •O, el cual, por auperpoaici6n, puede considerarse como una ten1i6n uniforme aplicada en loa labios **de** la grieta igual y de signo contrario a la aplicada en el borde libre. La tenaión *y* movimientos **se** deducen de loa potencial•• solución de la ecación de ondas, siguientes,

$$\cdots \exp\{-i7(x1coay + x2seny + C_p t)\}_p$$

$\psi = 0$

para la onda p;y

$-O$

$$\backslash ji \bullet \backslash ji.\ \exp\{-i_{cp}(x1cosy+x2aeny+C5t)\}$$

para la onda sv, **siendo** y el ángulo que **la onda forma** con **el eje** x_1, y Cp y es **las velocidad•• de las ondas** P y s **respectivamente.** w •• **la frecuencia** *y*

ij>,\io las amplitudes (Fig. 4).

Los desplazamientos y Tensiones pueden obtenerse por derivación de estos potenciales. El módulo Poisson empleado es de 0.3, siendo el estado de deformación plana. En las figuras 5 *y* 6 se muestran los valores de los Factores **de** Intensidad de Tensión de Modo-I y Modo -II en función de la frecuencia adimensional, normalizado respecto a su valor estático. La velocidad empleada **en la** normalización es la de la onda **de** Rayleigh en el medio. Se muestran valores de KI y K11 para distintas profundidades relativas de la grieta y los resultados se comparan con los obtenidos por Keer et al. (7). Como puede apreciarse, el acuerdo entre ambos grupos de resultados es bueno, siendo **más** simple y general la aplicación de Método de los elementos de contorno que aqui se propone.

4.CONCLUSIONES.

Se ha mostrado como el Método de Elementos de Contorno, en combinación con un elemento singular, permite el **análisia** de problemas de difracción **de** ondas en torno a una grieta.

En **la** presente comunicación, se ha **tratado** un problema de geometria **infinita,** poniendose de manifiesto la **versatibilidad** del método.

El problema tratado es de gran **importancia** debido a que existen métodos de detección de defectos superficiales basados en el comportamiento dinimico ante la incidencia de **ondas** generadas artificialmente. El **análisis** de este comportamiento es asi mismo imprescindible para el estudio de la eventual propagación de grietas próximas a la superficie.

5. REFERENCIAS

1. Aberson J,A,, Anderson J.M,, King W.W. •oynamic analysis of cracked structure1 using singularity finite elements•, Capitulo 5, Elastodynamics Crack Problems, Editor: G.C.Sih, Noordhoff Leyden, 1977.
2. Dominguez J,, Alarcon E. "Elastodynamics• Capitulo 7 en Progress in Boundary Elements Methods, Vol l, Editor, C.A.Brebbia, Pentech Press, Plymouth,1981,
3. Chirino F., Oominguez J, "Calculo de Factores de Intensidad de Tensión mediante un elemento de Contorno Singular• Anales de Ingeniería Mecánica, 3-2 pp 77-81, 1985.
4, Irwin G. R, •Fracture", Encyclopedia of Physics, Editor, S. Flugge, Springer-Verlag, Berlin, 1958.

5. Hartinaz J., Dominguez J. •on the uaa of the quarter-point boundary' ale111ants for **stress** intensity factors co111putation11•, Int. J. Num. Met. Eng. Vol 20, 1984.

6. Niwa Y., Kirose S. "Applications of the B.E.M. to Elaatodynamics in **Thraa** Oi111antional KAlf Space•. 1'tecent Applicationa in Computational Machanica >..S.C,E.11986,

7. r.ear L.H., Lin w., Ache111bach J.O. •Jlaaonanca **effacts** for **a** crack near **a frae aurface** • J. >.ppl. Mech. vol 51 pp 65-70. 198 .

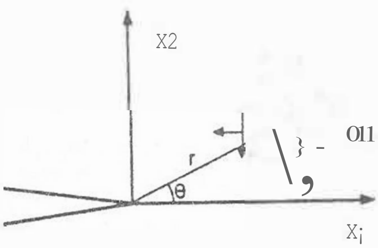

Fig. 1. Coordenadas en las inmediaciones del .vlrtice.

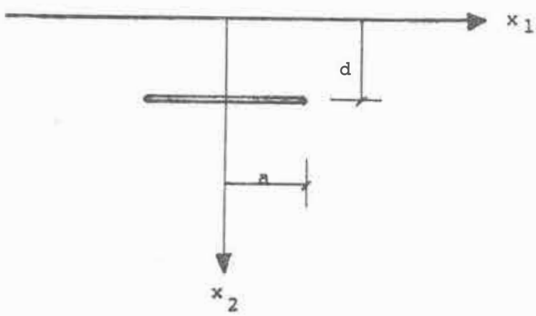

Fig.2. **Grieta** proxima **a** una **superficie** libre.

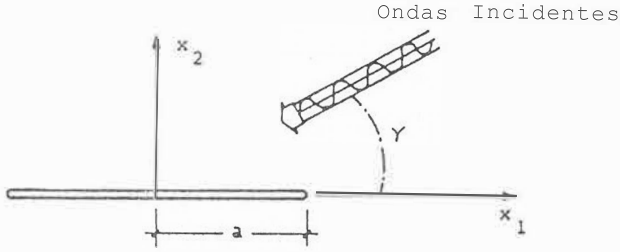

Fig.4.Ondas que inciden en una grieta.

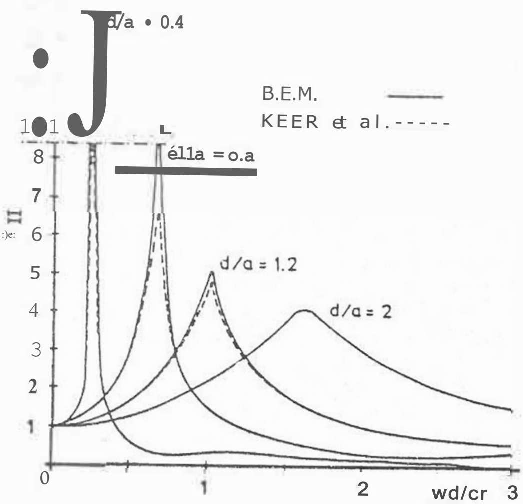

Fig.5.Factor de Intensidad de Tensión din6mico(Modo-II) para una grieta proxima a la superficie. Ondas in-incidentes tipo sv.

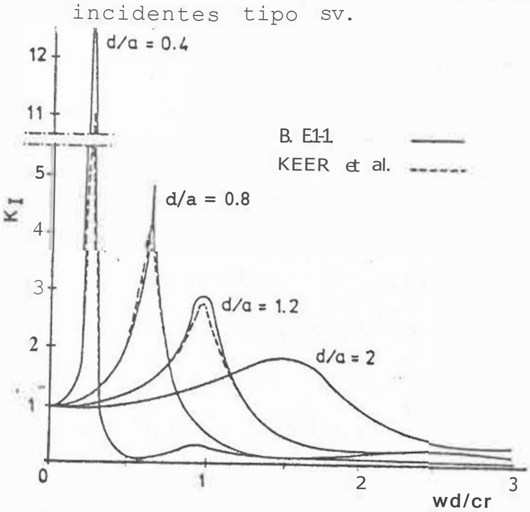

Fig.6.Factor de Intensidad de Tensión dinimico(Hodo-I)para una grieta proxima a la superficie.Ondas in-cidentes de tipo P.

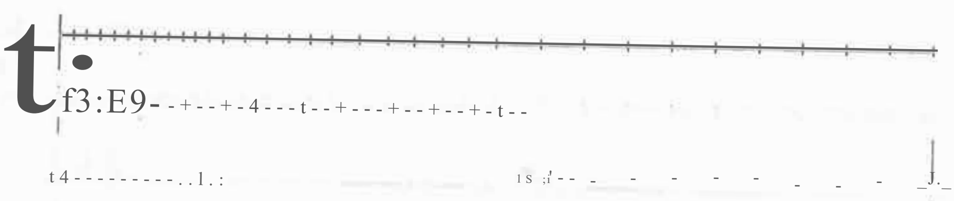

Fig.J. Oiscretización de una grieta proxima a una superficie libre mediante Elemen-tos de Contorno.