



Rubén E.  
6/3/03

T  
671.52042  
C352



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica**



" MECANICA DE LA FRACTURA APLICADA A  
SOLDADURA UTILIZANDO COMPUTADORAS "

PROYECTO DE GRADO  
Previo a la obtención del Título de  
INGENIERO MECANICO

Presentado por:

Tomás Fernando Castillo Bustos

Guayaquil - Ecuador

1992

## **AGRADECIMIENTO**

Al ALMA MATER

A mi madre

A mis hermanos

AL ING. OMAR SERRANO Y AL

ING. JOSE PACHECO por su

gran ayuda y colaboración

en todo momento

## DEDICATORIA

A mi madre

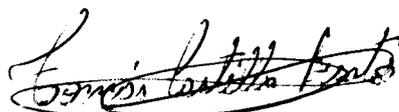
A mis hermanos

A todos aquellos que de  
alguna forma contribuyen a  
mi formacion profesional

## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este proyecto de grado, me corresponden exclusivamente: y, el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de t3pico de graduaci3n)

A handwritten signature in cursive script, reading "Tomas Castillo Bustos", written over a horizontal line.

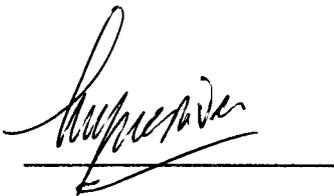
TOMAS CASTILLO BUSTOS



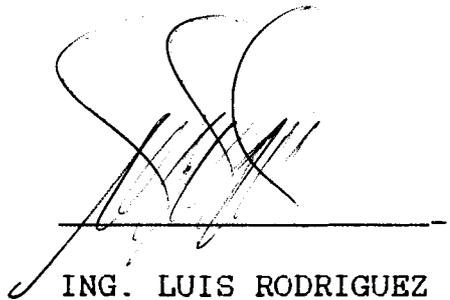
ING. NELSON CEVALLOS  
DECANO  
FAC. ING. MECANICA



ING. OMAR SERRANO  
DIRECTOR  
PROYECTO DE GRADO



ING. JORGE DUQUE  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. LUIS RODRIGUEZ  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## RESUMEN

Cuando se tiene elementos mecánicos sometidos a esfuerzos de tensión que presentan discontinuidades tipo fisuras agudas, el uso de la resistencia a la fluencia no es adecuado para determinar el nivel de esfuerzos que pueden soportar dichos elementos; en estos casos es necesario usar la teoría de la **MECANICA DE LA FRACTURA**. Fisuras se presentan con mucha frecuencia en piezas soldadas, debido a problemas en el proceso, transformaciones metalúrgicas, esfuerzos de fatiga, etc.

En este trabajo se utiliza un programa de computadoras llamado **FACTOR DE INTENSIDAD DE ESFUERZOS (KI)**, que utiliza la mecánica de la fractura para el cálculo del factor de intensidad de esfuerzos en distintos tipos de piezas soldadas fisuradas. Este factor sirve para determinar si una fisura existente se propaga por la acción de un esfuerzo de tensión aplicado. Además, el programa permite analizar de forma cuantitativa y cualitativa como influyen en el factor de intensidad de esfuerzos, parámetros tales como el ancho del elemento mecánico, el tamaño de la fisura, los esfuerzos residuales, etc.

Dentro de este trabajo se ha adicionado un subprograma que permite obtener la curva de esfuerzos que ocasiona que el elemento mecánico falle vs. el tamaño de la fisura (a). Esta adición imparte una aplicación más amplia al programa original.

Se demuestra finalmente que el uso de la computadora en el análisis de la mecánica de la fractura, permite efectuar un cálculo rápido y preciso del factor de intensidad de esfuerzos en los casos prácticos considerados.

## INDICE GENERAL

RESUMEN .....	VI
INDICE GENERAL .....	VIII
INDICE DE TABLAS .....	XI
INDICE DE FIGURAS .....	XI
INDICE DE ABREVIATURAS .....	XIV

### CAPITULO I

#### INTRODUCCION TEORICA

1.1 INTRODUCCION A LA MECANICA DE LA FRACTURA .....	17
1.2 CAMPO DE ESFUERZOS EN EL EXTREMO DE LA FISURA ....	19
1.3 DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA TENACIDAD A LA FRACTURA .....	27
1.4 APLICABILIDAD DE LA MECANICA DE LA FRACTURA ELASTICO LINEAL (L.E.F.M.) .....	35
1.5 MECANICA DE LA FRACTURA APLICADA EN FATIGA. ....	37
1.6 DISEÑO DE ESTRUCTURAS SOLDADAS USANDO MECANICA DE LA FRACTURA. ....	41

## CAPITULO II

## CALCULO DEL FACTOR DE INTENSIDAD DE ESFUERZOS

2.1 FISURA PASANTE EN EL CENTRO DE UNA PLANCHA .....	45
2.2 FISURA PASANTE EN LOS EXTREMOS DE UNA PLANCHA ...	46
2.3 FISURA PASANTE EN UN EXTREMO DE UNA PLANCHA .....	47
2.4 FISURA PASANTE EN UNA VIGA EN FLEXION .....	49
2.5 FISURA ELIPTICA O CIRCULAR INTERNA EN UNA PLANCHA INFINITA. ....	50
2.6 FISURA SUPERFICIAL EN UNA PLANCHA INFINITA. ....	52
2.7 FISURA EN PROBETAS W.O.L. TIPO T Y TIPO CTS. ....	53
2.8 FISURA EN EL CENTRO DE UNA PLANCHA SOLDADA EN PRESENCIA DE ESFUERZOS RESIDUALES. ....	57

## CAPITULO III

MECANICA DE LA FRACTURA APLICADA A SOLDADURA UTILIZANDO  
COMPUTADORAS.

3.1 VENTAJAS DEL USO DE LA COMPUTADORA EN ESTE CAMPO .	59
3.2 DESCRIPCION DEL PROGRAMA .....	60
3.3 DIAGRAMAS DE FLUJO .....	60
3.3.1 SUBPROGRAMA PARA PLANCHAS CON FISURAS PASANTES .....	61
3.3.2 SUBPROGRAMA PARA VIGA EN FLEXION CON FISURA.	67
3.3.3 SUBPROGRAMA PARA PROBETAS W.O.L. TIPO T Y TIPO CTS. ....	70
3.3.4 SUBPROGRAMA PARA PLANCHAS CON FISURAS INTERNAS	



ELIPTICAS O CIRCULARES. ....	74
3.3.5 SUBPROGRAMA PARA PLANCHAS CON FISURAS SUPERFICIALES .....	78
3.3.6 SUBPROGRAMA PARA PLANCHAS SOLDADAS CON FISURA PASANTE EN EL CENTRO EN PRESENCIA DE ESFUERZOS RESIDUALES .....	83
3.4 MANUAL DE OPERACIONES .....	86

**CAPITULO IV**

<b>APLICACION DEL PROGRAMA</b> .....	88
4.1 SOLDADURAS FISURADAS SIN ESFUERZOS RESIDUALES ...	89
4.2 SOLDADURAS FISURADAS EN PRESENCIA DE ESFUERZOS RESIDUALES .....	108
4.3 APLICACION EN ELEMENTOS NO SOLDADOS .....	112

**CAPITULO V**

**ANALISIS DE RESULTADOS**

**CAPITULO VI**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**APENDICE**

**BIBLIOGRAFIA**

## INDICE DE TABLAS

- I. Valores de  $K_{ic}$  y esfuerzo de fluencia para algunos aceros
- II. Valores para el factor de corrección por falta de simetría.
- III. Valores para el factor geométrico de corrección de una viga fisurada.
- IV. Dimensiones para probetas W.O.L. tipo T.
- V. Dimensiones para probetas W.O.L. tipo CTS.

## INDICE DE FIGURAS

- 1.1 Relación entre  $K_c$  y  $K_{ic}$ .
- 1.2 Modos de aplicación de carga.
- 1.3 Campo de esfuerzo en el extremo de la fisura.
- 1.4 Deformación plástica ( $r_p$ ) en el extremo de la fisura.
- 1.5 Probeta a tensión compacta.
- 1.6 Dimensiones de la muesca.
- 1.7 Forma de la zona plástica delante de la fisura.
- 1.8 Diagramas típicos de  $P - \sqrt{a}$ .
- 1.9 Probeta para ensayo CTOD.
- 1.10 Curvas  $P$  vs.  $\sqrt{a}$  para el cálculo de CTOD.
- 1.11 Perfil de la muesca asumida durante flexión.
- 1.12 Ejemplos de determinación de  $D$ .
- 1.13 Curva típica de  $da/dN$  vs.  $\sqrt{KI}$  para un acero estructural.



BIBLIOTECA

- 2.1 Plancha finita con una fisura pasante ubicada en el centro.
- 2.2 Plancha con una fisura pasante en los extremos.
- 2.3 Plancha con una fisura pasante en un extremo.
- 2.4 Viga en flexión con una fisura pasante en un extremo.
- 2.5 Plancha con fisura elíptica interna.
- 2.6 Plancha infinita con fisura superficial.
- 2.7 Geometría para una probeta W.O.L. tipo T de 1 pulg. de espesor.
- 2.8 Geometría para una probeta W.O.L. tipo CTS de 1 pulg. de espesor.
- 2.9 Plancha soldada con una fisura que atravieza el espesor, con esfuerzos residuales en tensión.
- 4.1 Plancha soldada con una fisura pasante ubicada en el centro del cordón de soldadura.
- 4.2 Curvas de KI/S vs. mitad del tamaño de fisura pasante en el centro.
- 4.3 Curva de esfuerzos críticos vs. mitad del tamaño de la fisura.
- 4.4 Plancha soldada con una fisura pasante en los extremos.
- 4.5 Curvas de KI/S vs. tamaño de la fisura para una plancha soldada con una fisura pasante en los extremos.
- 4.6 Curva de distribución de esfuerzos críticos vs. tamaño de fisura, en una plancha soldada con una

fisura pasante en los extremos.

- 4.7 Plancha soldada con una fisura pasante en un extremo.
- 4.8 Curvas de  $KI/S$  vs. tamaño de fisura para una plancha soldada con una fisura pasante en un extremo.
- 4.9 Curva de esfuerzos críticos vs. tamaño de la fisura para una plancha soldada con una fisura pasante en un extremo.
- 4.10 Plancha soldada con una fisura elíptica interna.
- 4.11 Curvas de  $KI/S$  vs. mitad de la profundidad de la fisura elíptica interna en una plancha soldada.
- 4.12 Tanque sometido a presión con una fisura superficial.
- 4.13 Curvas de  $KI/S$  vs. profundidad de la fisura para  $S/Sys = 0.36$  y  $a/B = 0.5$ .
- 4.14 Plancha soldada con fisura pasante en el centro en presencia de esfuerzos residuales.
- 4.15 Curvas de  $KI/S$  vs. mitad del tamaño de la fisura para plancha soldada, con fisura pasante en el centro y esfuerzos residuales.
- 4.16 Viga sometida a momento flexionante con una fisura pasante.
- 4.17 Curvas de  $KI/M$  vs. tamaño de fisura, para una viga sometida a un momento flexionante.

## INDICE DE ABREVIATURAS.

- A.S.T.M = Sociedad americana de ensayos de materiales.
- a = Tamaño de la fisura.
- B = Espesor del elemento mecánico.
- $\beta$  = Angulo entre el eje mayor de la elipse y el punto de interés.
- C.T.O.D = Desplazamiento del extremo abierto de la fisura
- C.V.N = Valor de energía de impacto para muescas Charpy
- C = Mitad del largo del eje mayor de la elipse.
- D = Distancia más pequeña desde el extremo de la fisura a la superficie libre más proxima.
- d = Región de aplicabilidad de KI.
- da/dn = Crecimiento de la fisura por ciclo.
- E = módulo de elasticidad.
- f(a/b) = Factor de corrección geométrico.
- f = Mitad de la zona afectada por los esfuerzos residuales en tensión.
- G = Módulo de rigidez.
- g(a/b) = factor de corrección geométrico para vigas en flexión.
- K(a/b) = Factor de corrección por falta de simetría.
- Kc = Tenacidad a la fractura en condición de esfuerzos planos.
- Kic = Tenacidad a la fractura en condición de deformación plana.
- KI = Factor de intensidad de esfuerzos para modo I



BIBLIOTECA

de carga.

$L_n$  = Logaritmo natural.

L.E.F.M = Mecánica de la fractura elástico lineal.

$M$  = Momento flexionante aplicado.

$M_k$  = Factor de corrección debido al espesor.

$P$  = Carga aplicada.

$P_{\max}$  = Carga máxima en el gráfico  $P$  vs.  $\Delta$ .

$P_q$  = Carga aplicada máxima en el intervalo lineal.

$P_s$  = Carga en el punto de intersección entre la curva  $P$  vs.  $\Delta$  y la recta compensada.

$Q$  = Factor de forma.

$r_p$  = Radio de la zona plástica.

$S$  = Esfuerzo nominal aplicado.

$S_o$  = Esfuerzo residual en tensión.

$S_y$  = Esfuerzo en dirección Y.

$S_{ys}$  = Esfuerzo de fluencia del material.

$SQR$  = Raíz cuadrada.

$S_x$  = Esfuerzo en dirección X.

$S_{\min}$  = Esfuerzo mínimo aplicado.

$S_{\max}$  = Esfuerzo máximo aplicado.

$S_{ult}$  = Resistencia última del material.

$S^*$  = Esfuerzo crítico del material.

$T_{xy}$  = Esfuerzo cortante.

$u$  = Desplazamiento en la dirección X.

$\mu$  = Relación de Poisson.

$v$  = Desplazamiento en la dirección Y.

$W$  = Ancho de la probeta.

\_XVI

$w$  = Desplazamiento en la dirección  $z$ .

$\Delta$  = Incremento de desplazamiento.

$\Delta KI$  = Factor de intensidad de esfuerzos por  
fluctuación.

$\Delta K_{th}$  = Factor de intensidad de esfuerzos crítico en  
fluctuación cíclica.

$\delta$  = Abertura en el extremo de la fisura.

$\delta_c$  = Abertura crítica.

$\theta$  = Angulo theta.

$\pi$  = Pi.

$\phi_0$  = Integral de la elipse.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION TEORICA.

#### 1.1 INTRODUCCION A LA MECANICA DE LA FRACTURA.

Las investigaciones sobre mecánica de la fractura en estructuras de todo tipo, muestran numerosos factores (temperatura de servicio, resistencia del material, diseño, soldadura, esfuerzos residuales, fatiga, etc.) que pueden contribuir a la fractura frágil en la mayoría de las estructuras soldadas. Sin embargo, el desarrollo de la mecánica de la fractura se basa en tres factores principales que controlan la susceptibilidad de una estructura a la fractura frágil. Estos factores son:

Tenacidad a la fractura del material,  
Medida de la fisura, y,  
Nivel de esfuerzos aplicados.

La tenacidad a la fractura del material puede ser definida como la capacidad del material de soportar carga o deformación plástica en presencia de una

entalla y puede ser descrita en términos del factor de intensidad de esfuerzos crítico bajo condición de esfuerzos planos ( $K_c$ ) ó deformación plana ( $K_{Ic}$ ) para carga lenta y comportamiento elástico lineal, y  $K_{Ic}$  que es una medida de la tenacidad crítica del material bajo condición de deformación plana y carga dinámica ó de impacto.

El valor de la tenacidad a la fractura bajo condición de esfuerzos planos va disminuyendo a medida que aumenta el espesor de la plancha hasta tomar el valor de  $K_{Ic}$ . Para el diseño el uso de  $K_{Ic}$  proporciona mayor seguridad en la estructura.

La variación de  $K_c$  y  $K_{Ic}$  con el espesor  $B$ , se observa en la fig. 1.1

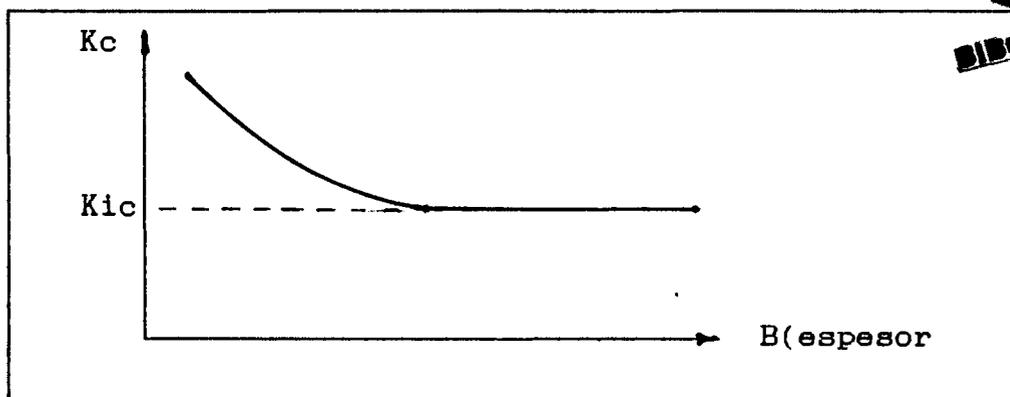


Figura 1.1 Relación entre  $K_c$  y  $K_{Ic}$ . REF.1.

La fractura frágil se inicia desde distintos tipos de discontinuidades. Las estructuras pequeñas no están libres de discontinuidades (porosidades, carencia de



BIBLIOTECA

fusión) aunque una buena práctica de fabricación puede minimizar la medida original y el número de estas discontinuidades.

Así las discontinuidades están presentes en muchas estructuras soldadas después de todas las inspecciones y reparaciones y estas pueden crecer por fatiga o corrosión, a una medida crítica.

Los esfuerzos de tensión (nominal, residual o ambos) deben necesariamente estar presentes para que la fractura frágil ocurra. Estos esfuerzos son determinados por una técnica convencional de análisis de esfuerzos para una estructura en particular.

Los tres factores mencionados anteriormente son generalmente los que controlan la susceptibilidad de las estructuras a la fractura frágil. Por lo tanto se puede reducir esta susceptibilidad controlando estos tres factores.

## **1.2 CAMPO DE ESFUERZOS EN EL EXTREMO DE LA FISURA.**

La teoría elástica del campo de esfuerzos considera un sólido isótropico elástico lineal que contiene una fisura la que está bajo un sistema de carga dado.

En general 3 distintos tipos de carga pueden ser aplicadas, como se muestra en la figura 1.2

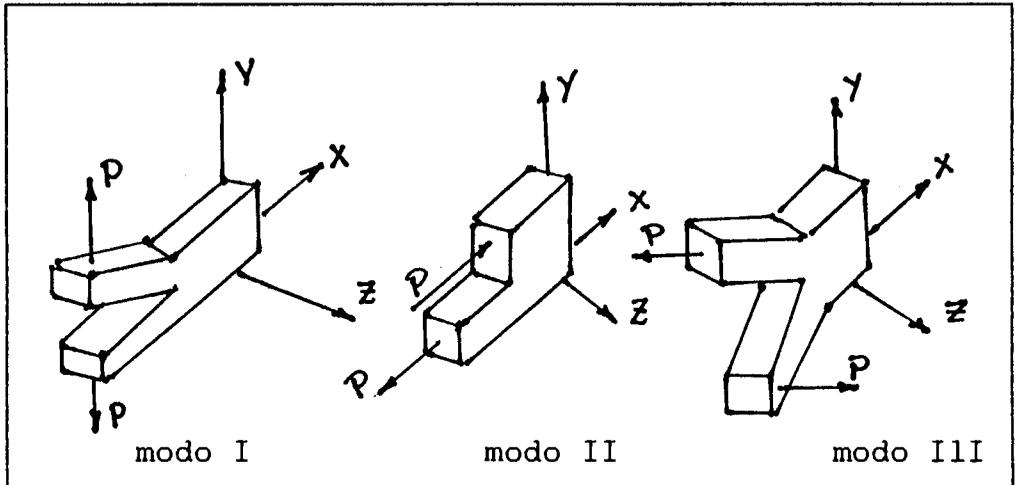


Fig. 1.2 Modos de aplicación de carga. REF. 2.

EL modo I es el modo más común de carga y es conocido como el modo abierto porque tiende a abrir la fisura. El modo II de carga produce un esfuerzo cortante en la vecindad del extremo de la fisura y es conocido como corte en el plano. El modo III es conocido como corte fuera del plano. Las ecuaciones que describen el comportamiento de el extremo fisurado son dadas en término de un sistemas de cordenadas polares(fig.1.3)

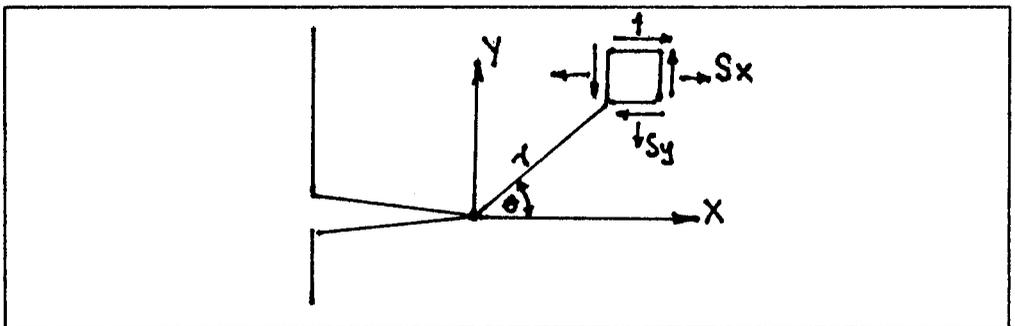


Figura 1.3 Campo de esfuerzo en el extremo de la fisura. REF. 3.

Para un sólido elástico lineal bajo modo I de carga, los esfuerzos y desplazamientos cercanos al extremo de la fisura son:

$$S_x = (KI/\sqrt{2\pi r}) \cdot \cos(\theta/2) \cdot (1 - \sin(\theta/2)) \cdot \sin(3\theta/2) + \dots$$

$$S_y = (KI/\sqrt{2\pi r}) \cdot \cos(\theta/2) \cdot (1 + \sin(\theta/2)) \cdot \sin(3\theta/2) + \dots$$

$$T_{xy} = (KI/\sqrt{2\pi r}) \cdot \sin(\theta/2) \cdot \cos(\theta/2) \cdot \cos(3\theta/2) + \dots$$

$$u = (KI/G) \cdot \sqrt{r/(2\pi)} \cdot \cos(\theta/2) \cdot (1 - 2\mu + \sin(\theta/2) \cdot \sin(\theta/2)) + \dots$$

$$v = (KI/G) \cdot \sqrt{r/(2\pi)} \cdot \sin(\theta/2) \cdot (2(1-\mu) - \cos(\theta/2) \cdot \cos(\theta/2)) + \dots$$

$$W = 0$$

(Ecuaciones 1.1)

donde:

KI = Factor de intensidad de esfuerzos para el modo I.

G = Módulo de rigidez del material.

S<sub>x</sub> = Esfuerzo en la dirección x.

S<sub>y</sub> = Esfuerzo en la dirección y.

T<sub>xy</sub> = Esfuerzo cortante.

u = Desplazamiento en la dirección x.

$v$  = Desplazamiento en la dirección  $y$ .

$w$  = Desplazamiento en la dirección  $z$ .

$\mu$  = Relación de Poisson.

Se debe notar que la magnitud de la intensidad de esfuerzos cerca del extremo de la fisura para una localización dada  $(r, \theta)$  es directamente determinado por el factor de intensidad de esfuerzos  $(KI)$ . Esto es porque los otros términos de la ecuación están para localización solamente.

Las ecuaciones 1.1 son sólo válidas para localizaciones cerca del extremo de la fisura, porque ellas son solo el primer término de una serie matemática. Si se reescribe la ecuación de esfuerzos en tensión  $S_{ij}$  como:

$$S_{ij} = (KI/\sqrt{2\pi r}) * F_{ij}(\theta) \quad \text{Ec.1.2}$$

$$S_{ij} = (KI/\sqrt{2\pi r}) * F_{0ij}(\theta) + \sum ((KI/\sqrt{2\pi r}) * r^{((n-1)/2}) * F_{nij}(\theta))$$

Se puede ver que la ecuación 1.2 es sólo el primer término de una serie infinita. Cerca del extremo de la fisura ( $r \rightarrow 0$ ), el primer término se vuelve indeterminado,  $S_{ij}$  tiende a infinito y por lo tanto

es una buena aproximación de los esfuerzos presentes. La ecuación se vuelve menos exacta cuando nos movemos más lejos del extremo de la fisura. Por lo tanto las ecuaciones 1.1 son válidas solamente en el extremo de la fisura. Se debe notar que para  $r=0$  las ecuaciones 1.1 predicen esfuerzos infinitos. Esto es imposible, porque todos los materiales deben fluir antes que los esfuerzos sean infinitos. Los esfuerzos infinitos determinados por las ecuaciones 1.1 son el resultado de haber asumido que el material es elástico lineal.

Esto puede causar dificultades cuando se aplique un análisis de mecánica de la fractura a un material real; la fractura mecánica de un sólido elástico lineal es llamada mecánica de la fractura elástico lineal (L.E.F.M). Otro punto de interés en esta ecuación es la expresión derivada para un sólido de geometría no especificada. Así, si dos estructuras completamente diferentes tienen el mismo factor de intensidad de esfuerzos, luego, ellas pueden tener la misma magnitud de esfuerzos cerca del extremo de la fisura.

Si alguna probeta de laboratorio tiene un valor crítico de  $K_I$  (tenacidad a la fractura), luego una estructura real del mismo material debe fracturar al mismo valor de la tenacidad a la fractura.

Los métodos para determinar  $K_I$  para una estructura en particular de interés y el conocimiento de las ecuaciones que determinan  $K_I$  se dan en la capítulo II.

Las ecuaciones 1.1 para carga de modo I predicen esfuerzos infinitos en el extremo de la fisura. Pero esto no es posible, en realidad se observa alguna región en el extremo de la fisura dónde hay deformación plástica, que se denota como  $r_p$  tal como se muestra en la figura 1.4

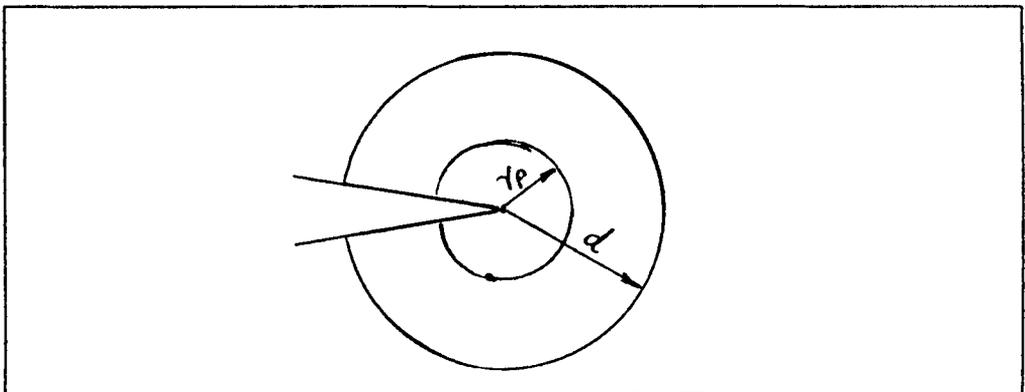


Fig.1.4 Deformación plástica ( $r_p$ ) en el extremo de la fisura. REF.3

Se debe recordar que las ecuaciones 1.1 son solamente aplicables en localizaciones cercanas al extremo de la fisura, esta región de aplicabilidad es denotada por  $d$ , el  $K_I$  domina en esta región. Dentro de esta región de dominio de  $K_I$ , los esfuerzos son

proporcionales a KI.

Dentro de  $r_p$ , KI no define el estado de esfuerzos porque KI es un parámetro elástico lineal solamente. Sin embargo, en esta región es donde la fisura se extiende. Para asegurar que KI pueda determinar cuando la fisura puede extenderse se debe cumplir que  $d$  debe ser muy grande en comparación con  $r_p$ , entonces una condición menor de el campo de fluencia existe si  $r_p \leq d/5$ , bajo esta condición cualquier evento ocurrido dentro de  $r_p$  es controlado por la deformación en  $d$ , si el crecimiento de la fisura ocurre, esto ocurre a un valor crítico de KI llamado  $K_c$  o  $K_{ic}$ .

Cuando el factor de intensidad de esfuerzos es incrementado a un valor crítico, el material falla debido a la extensión de la fisura.

$$KI=K_c$$

Ec. 1.3

La tenacidad a la fractura ( $K_c$  o  $K_{ic}$ ) es una propiedad del material. El factor de intensidad de esfuerzos (KI) es una función del componente en análisis. Específicamente, esto es una función del esfuerzo aplicado (S), esfuerzos residuales, longitud de la fisura (a), y alguna otra característica

dimensional (b).

En forma más general el factor de intensidad de esfuerzos puede ser escrito como:

$$K(S, a, b) = f(a/b) * S * \text{SQR}(\pi * a) \quad \text{Ec. 1.4}$$

Donde:

KI = Factor de intensidad de esfuerzos ( $\text{Kg}/\text{mm}^{3/2}$ ).

S = Esfuerzo nominal aplicado ( $\text{Kg}/\text{mm}^2$ ).

a = Longitud de la fisura (mm).

b = Mitad del ancho del elemento (mm).

f(a/b) = Factor de corrección geométrica

Existen métodos de análisis numérico y métodos experimentales para determinar el factor de intensidad de esfuerzos. Una de las técnicas experimentales más utilizadas es el análisis fotoelástico.

### 1.3 DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA TENACIDAD A LA FRACTURA.

Los valores de la tenacidad a la fractura pueden ser encontrados en la literatura técnica.

La tenacidad a la fractura es una propiedad del material tal como la resistencia a la fluencia. Para la determinación experimental del valor de  $K_{Ic}$  se utilizan probetas especiales que pueden ser:

- 1.- Probetas de tres puntos a flexión.
- 2.- Probeta compacta a tensión.
- 3.- Probeta de forma arqueada.
- 4.- Probeta compacta en forma de disco.



El tipo de probeta más usado es la probeta compacta a tensión, esta es mostrada en la figura 1.5 y 1.6.

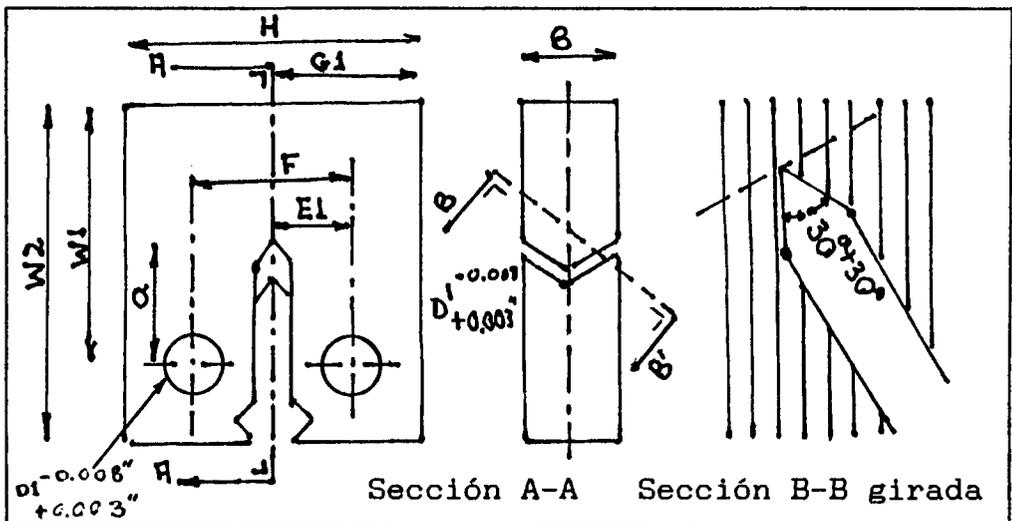


Fig. 1.5 Probeta a tensión compacta. REF. 1.

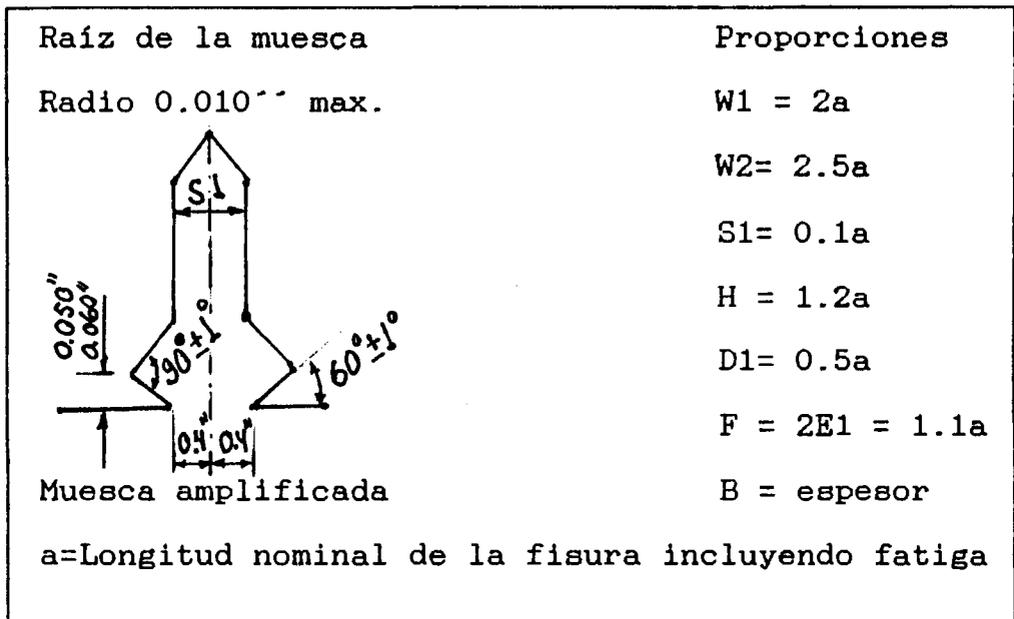


Fig.1.6 Dimensiones de la muesca. REF. 1

Como la probeta a tensión compacta es para determinar valores correctos de  $K_{Ic}$ , esta debe exhibir una pequeña zona plástica. La medida de la zona plástica esta estrechamente relacionada con el espesor (B) de la probeta. La medida de la zona plástica en la superficie de la probeta puede ser determinada por la ecuación 1.5, para esfuerzos planos.

$$r_p = (1/2\pi) * (K_I / S_{ys})^2 \quad \text{Ec. 1.5}$$

La medida de la zona plástica es considerablemente más pequeña en la sección media de la probeta, debido a la presencia de deformación plana (fig.1.7). La medida de la zona plástica en la mitad de la probeta está determinada por la ecuación 1.6.

$$r_p = (1/6\pi) * (K_I / S_{ys})^2$$

Ec. 1.6

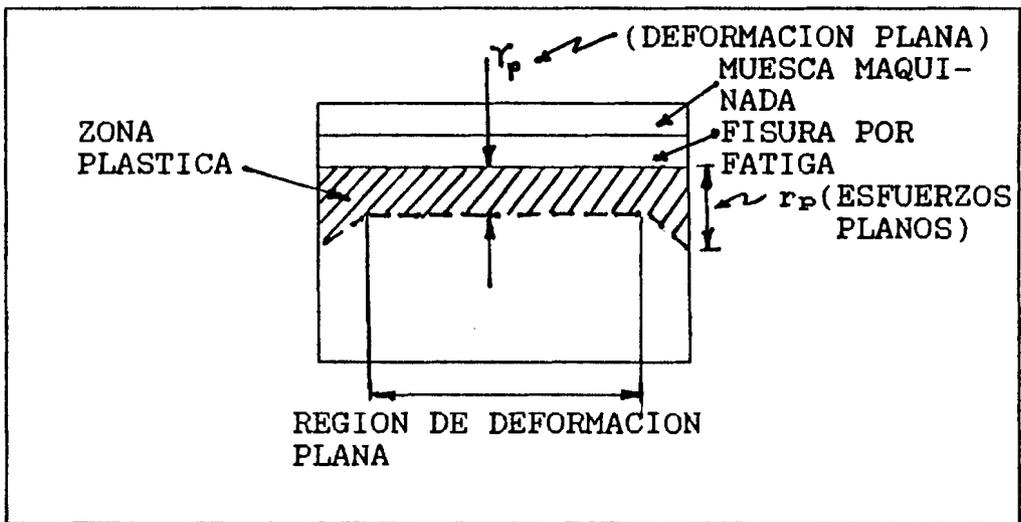


Fig. 1.7 Forma de la zona plástica delante de la fisura. REF. 3.

Para establecer una zona plástica adecuada en las probetas de ensayo, la ASTM (Sociedad americana para ensayo de materiales) tiene normalizado un grupo de inecuaciones gobernantes que deben ser satisfechas para obtener valores válidos de  $K_{Ic}$ . Estas inecuaciones son:

$$a \geq 2.5 * (K_{Ic} / S_{ys})^2$$

$$B \geq 2.5 * (K_{Ic} / S_{ys})^2 \quad (\text{Inecuaciones 1.7})$$

$$W_1 \geq 5.0 * (K_{Ic} / S_{ys})^2$$

$a, B, W_1$  están definidas en la figura 1.5.

El procedimiento experimental para la determinación de  $K_{Ic}$  es descrito a continuación:

Una vez que las medidas de la probeta ( $a$ ,  $B$ ,  $W_1$ ), han sido decididas, la probeta debe ser cargada con la aplicación de una fuerza tensil centrada a través del orificio  $D_1$  mostrado en la figura 1.5.

La carga ( $P$ ) resultante es de modo I, produciendo esfuerzos perpendiculares a la longitud de la entalla  $a$ , y procurando abrir los extremos de la entalla. Un medidor de desplazamiento es colocado en la abertura de la entalla para que pueda monitorear el desplazamiento ( $\Delta$ ) de los lados de la entalla cuando se aumenta la carga. La carga es incrementada hasta que la probeta no sea capaz de alargarse más al soportar un incremento de carga. Después del ensayo se grafica  $P$  vs.  $\Delta$ . Diagramas típicos  $P$  vs.  $\Delta$  son mostrados en la figura 1.8.

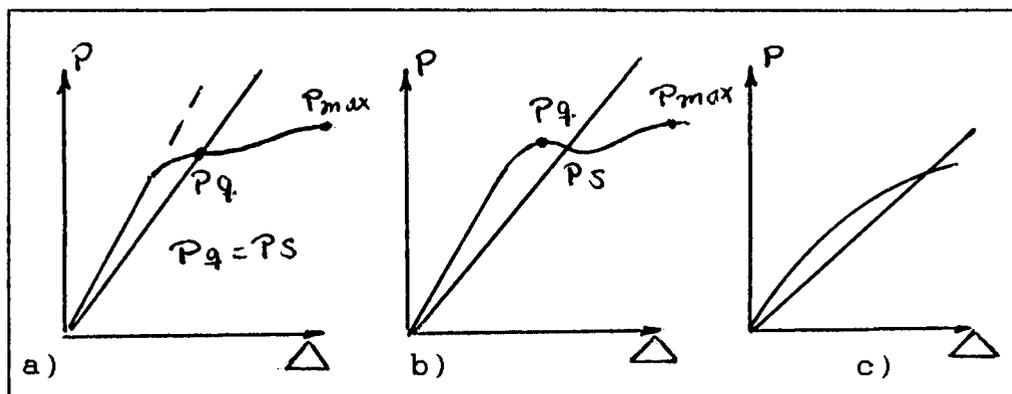


Fig. 1.8 Diagramas típicos  $P - \Delta$  .REF 3.

Una vez obtenida la curva  $P - \Delta$ , se traza una línea con una inclinación 5% menor que la porción lineal del gráfico, como se muestra en la figura 1.8.

La carga condicional  $P_q$  es la carga máxima correspondiente el punto de intersección entre la curva inclinada 5% y la curva  $P - \Delta$  como se muestra en la figura 1.8 a. En la figura 1.8 b la curva  $P - \Delta$  exhibe un pico entre la línea tangente y  $P_s$ ;  $P_q$  en este caso es definido como la carga en ese pico. Si  $P_{max}/P_q > 1.10$  el valor de  $K_{Ic}$  encontrado no es válido.

Una vez que  $P_q$  a sido determinada  $K_{Ic}$  es dada por:

$$K_{Ic} = (P_q/B*(SQR(W1))) * [0.296*(a/W1)^{1/2} - 1.855*(a/W1)^{3/2} + 6.557*(a/W1)^{5/2} - 10.170*(a/W1)^{7/2} + 6.389(a/W1)^{9/2}] \quad \text{Ec. 1.8}$$

Donde  $a$ ,  $B$ ,  $W1$  son las dimensiones de la probeta mostrada en la figura 1.5. El valor de  $K_{Ic}$  debe ser verificado en las inecuaciones 1.7, si  $K_{Ic}$  no satisface estas inecuaciones,  $K_{Ic}$  no es válido y se debe volver a calcular  $K_{Ic}$  con una probeta de dimensiones mayores.

Si la curva es parecida a la de la figura 1.8.c, el material es muy dúctil para obtener un valor válido de  $K_{Ic}$ . La zona plástica en el extremo de la fisura es muy grande, en este caso se debe utilizar un ensayo CTOD (desplazamiento de el extremo abierto de la fisura).

El análisis CTOD es utilizado para materiales que presentan suficiente comportamiento no lineal para causar valores no válidos para  $K_{Ic}$ . También puede usarse en materiales que presentan comportamiento frágil. El CTOD está determinado por la siguiente ecuación:

$$CTOD = \delta = (8 * S_{ys} * a / (\pi * E)) * \ln[\text{SEC}(\pi * S / (2 * S_{ys}))]$$

Ec. 1.9

Donde:

$\delta$  = Desplazamiento de la abertura del extremo de la fisura (mm).

$S_{ys}$  = Esfuerzo de fluencia del material ( $\text{Kg}/\text{mm}^2$ ).

$E$  = Módulo de elasticidad del material ( $\text{Kg}/\text{mm}^2$ ).

$S$  = Esfuerzo nominal aplicado ( $\text{Kg}/\text{mm}^2$ ).

La extensión de la fisura ocurre cuando  $\delta$  alcanza un valor crítico  $\delta_c$ .

$$\delta = \delta_c \quad \text{Ec.1.10}$$

El CTOD también puede ser relacionado con  $K_{Ic}$  y  $K_c$ , las ecuaciones que los relaciona se dan a continuación.

$$K_I = \text{SQR}(\delta * E * S_{ys}) \quad \text{Ec. 1.11}$$

$$K_c = \text{SQR}(1.4 * \delta_c * E * S_f) \quad \text{Ec. 1.12}$$

$$S_f = (S_{ys} + S_{ult}) / 2 \quad \text{Ec. 1.13}$$

Donde  $S_{ult}$  es la resistencia a la tracción del material.

$$K_{Ic} = \text{SQR}(1.6 * \delta_c * E * S_{ys}) \quad \text{Ec. 1.14}$$

El ensayo CTOD es conducido usando una probeta de 3 puntos en flexión, como se muestra en la figura 1.9.

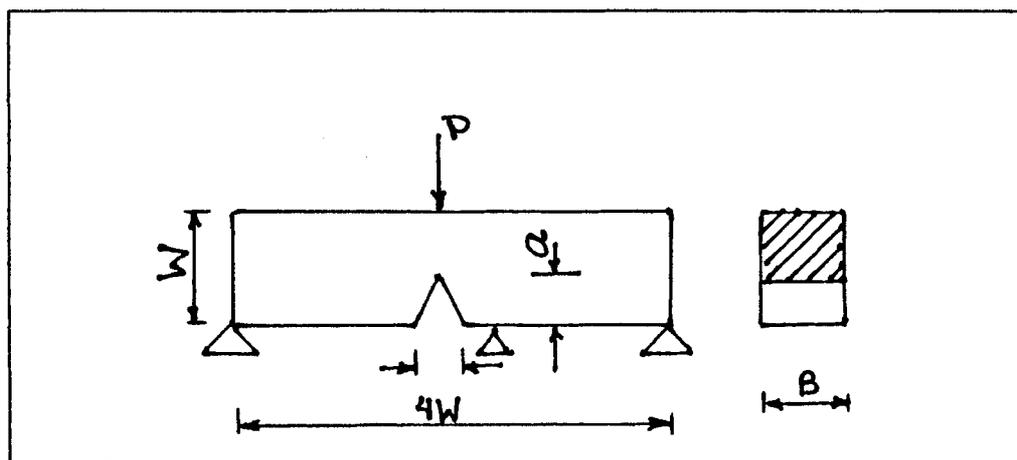


Fig. 1.9 probeta para ensayos CTOD. REF. 1.

Generalmente  $W = 2B$

$$a = B$$

El ensayo CTOD es descrito a continuación:

La probeta es cargada y el diagrama de la carga aplicada vs el desplazamiento producido en la abertura de la entalla es obtenido. La carga es aplicada hasta que la probeta no pueda soportar un mayor incremento de carga.

El valor crítico para el desplazamiento,  $\Delta_o$ , es determinado de la curva  $P$  vs  $\Delta$ . Si la curva se incrementa constantemente a un valor máximo de  $P$  (carga) y luego comienza a decaer,  $\Delta_o$  es el desplazamiento correspondiente a esta carga máxima. Pero si ocurre una inestabilidad después del valor máximo de  $P$ ,  $\Delta_o$  es el desplazamiento correspondiente a esta inestabilidad. Estos dos casos son mostrados en la figura 1.10.

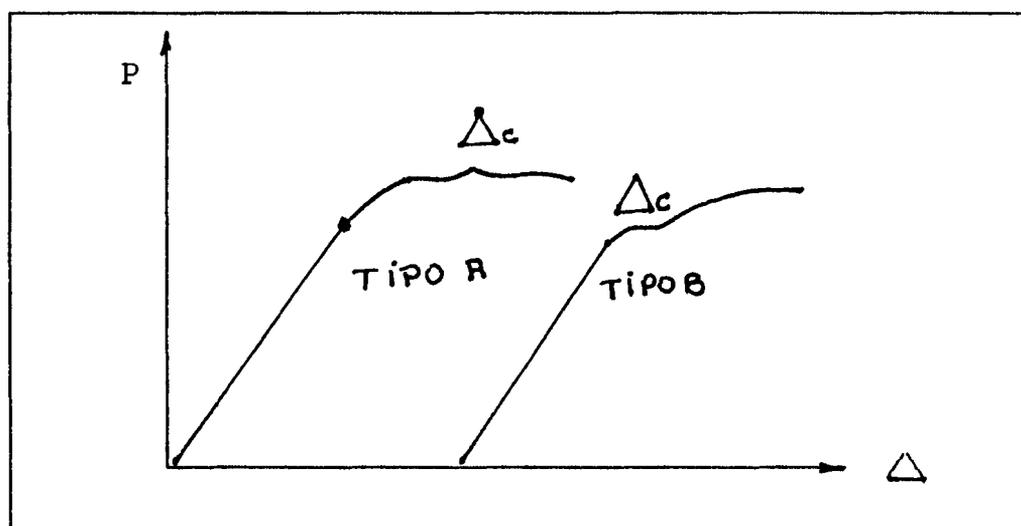


Fig. 1.10 Curvas  $P$  vs.  $\Delta$  para el cálculo de CTOD. REF. 3.

Una vez obtenido el valor de  $\Delta_o$ , obtenemos el correspondiente valor de  $\delta_o$ . Si se asume que la deformación de la probeta ocurre como un mecanismo de visagra, como está ilustrado en la figura 1.11 una buena aproximación para  $\delta_o$  es:

$$\delta_o = [(W-a) \Delta_o] / (W + 2a + 3z) \quad \text{Ec. 1.15}$$

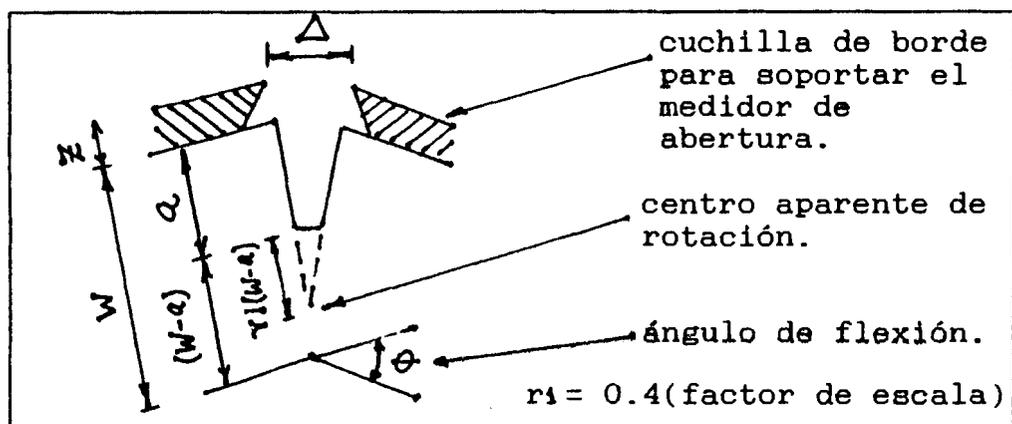


Fig. 1.11 Perfil de la muesca asumida durante flexión. REF. 3.

El valor obtenido de  $\delta_c$  es luego usado en la ec.1.12 o 1.14 para obtener el valor de  $K_c$  o  $K_{ic}$  respectivamente. La ventaja de este tipo de determinación es que este método no tiene restricciones sobre las dimensiones de la probeta, el espesor  $B$  puede ser cualquiera que sea conveniente. Por lo tanto no hay posibilidad de obtener un valor no válido de  $K_c$  ó  $K_{ic}$ .

#### 1.4 APLICABILIDAD DE LA MECANICA DE LA FRACTURA ELASTICO LINEAL (L.E.F.M).

Como se sabe la cantidad de fluencia en el extremo de la fisura debe ser pequeña para asegurar que el esfuerzo en un punto cercano al extremo de la fisura sea función de  $K_I$ . Si este no es el caso, L.E.F.M no puede ser usado y el criterio de falla  $K_I = K_c$  no puede ser aplicado. Por lo tanto antes de intentar

el uso de L.E.F.M se debe verificar que este criterio es aplicable en el material y en las condiciones de cargas.

Como se sabe la máxima medida de la zona plástica  $r_P$  para condición de esfuerzos planos es:

$$r_P = (1/2\pi)*(K_Ic/SyS)^2$$

Para condición de deformación plana  $r_P$  máximo es:

$$r_P = (1/6\pi)*(K_Ic/SyS)^2$$

La ASTM ha definido una pequeña zona de fluencia que permite el uso de L.E.F.M.

$$r_P < D/50$$

Inec. 1.16

Donde D es la más pequeña dimensión desde el extremo de la fisura a la superficie libre más cercana. Para fisuras cortas D debe ser igual a la longitud de la fisura, mientras que para fisuras más largas D es la parte que permanece no fisurada, como se muestra en la figura 1.12.

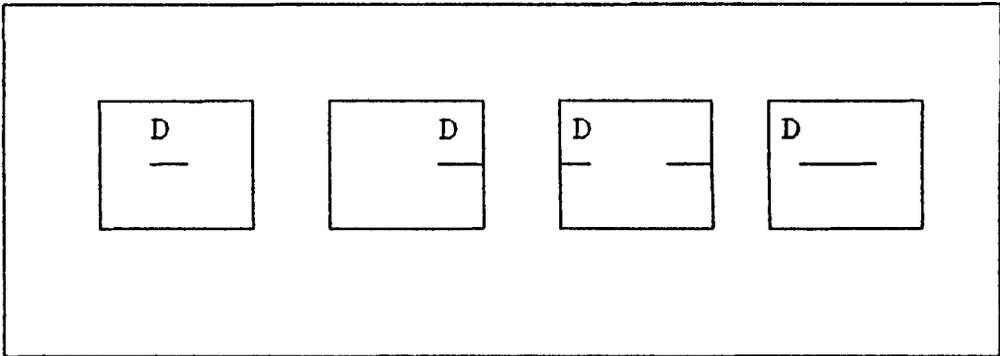


Fig. 1.12 Ejemplos de determinación de D. REF. 3.

Si la inec. 1.16 no se cumple para la estructura fisurada bajo análisis, el L.E.F.M no puede ser usado.

### 1.5 MECANICA DE LA FRACTURA APLICADA EN FATIGA.

Si se tiene un elemento mecánico sujeto a cargas cíclicas, el tiempo de vida de este elemento disminuirá por efecto de la carga cíclica. Si el elemento presenta fisuras la vida de este disminuirá de manera severa. Además la vida del elemento mecánico fisurado esta directamente relacionada con el tamaño de la fisura y el nivel de esfuerzos cíclicos aplicados.

La fisura que se encuentra presente en el elemento mecánico puede crecer durante cada ciclo. Si el tamaño de la fisura aumenta el nivel de esfuerzos que puede soportar el elemento disminuye.

Curvas que relacionan el crecimiento de la fisura con respecto al número de ciclos de carga y la fluctuación del factor de intensidad de esfuerzos han sido obtenidas experimentalmente para cada material. Un ejemplo de estas curvas se muestra en la figura 1.13.

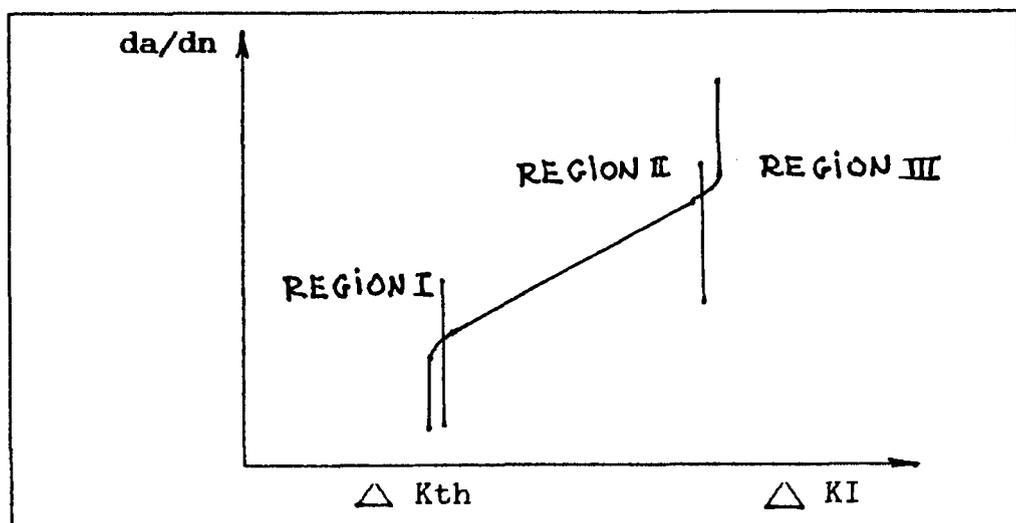


Fig.1.13 Curva típica de  $da/dN$  vs  $\Delta KI$  para un acero estructural. REF 1.

La región I de la fig. 1.13 representa el umbral de fatiga, representada por el factor de intensidad de esfuerzos por fluctuación cíclica,  $\Delta K_{th}$ , debajo del cual una fisura existente no se propagará bajo la acción de esfuerzos fluctuantes cíclicos.

La región II representa el comportamiento de propagación de la fisura, por fatiga, sobre  $\Delta K_{th}$ , y es descrito por la ecuación de Paris:

$$da/dN = A * (\Delta KI)^m \quad \text{Ec. 1.17}$$

Donde:

$a$  = Tamaño de la fisura (pulg.)

$N$  = Número de ciclos.

$\Delta KI$  = Factor de intensidad de esfuerzos fluctuante  
( $Ksi * SQR(pulg)$ ).

$A$  y  $m$  = Constantes para el tipo de material.

En la región III la fisura se propaga aceleradamente hasta producir la fractura.

El umbral de la propagación de la fisura debido a la fatiga es la región de interés. Existen algunos factores que influyen en el umbral de propagación de la fisura debido a fatiga, tales como: Resistencia a la fluencia, tamaño del grano, esfuerzos aplicados, esfuerzos residuales, módulo de Young, y temperatura del medio.

Si definimos  $R$  como la relación de esfuerzos aplicados.

$$R = S_{min} / S_{max} \quad \text{Ec. 1.18.}$$

Donde:

$S_{min}$  = Esfuerzo mínimo aplicado.

$S_{max}$  = Esfuerzo máximo aplicado.

Si se tiene  $R > 0.1$ , entonces:

$$\Delta K_{th} = 7 * (1 - 0.85 * R) \quad (MN/m^{3/2}) \quad \text{Ec. 1.19.}$$

$$\Delta K_{th} = 6.4 * (1 - 0.85 * R) \quad (KSI * SQR(IN)) \quad \text{Ec. 1.20.}$$

Si se tiene  $R < 0.1$ , entonces:

$$\Delta K_{th} = 6 \text{ MN/m}^{3/2} \quad \text{o} \quad \Delta K_{th} = 5.5 \text{ KSI} \cdot \text{SQR}(\text{IN})$$

Los valores de las constantes A y m anteriormente mencionadas, han sido determinadas experimentalmente para cada tipo de material. A continuación se da estos valores para 3 tipos de acero.

Para aceros Martensíticos:

$$A = 0.66 \times 10^{-8} \text{ pulg}/(\text{KSI}^{2.25} \cdot (\text{pulg.}^{1/2})^{2.25} \cdot \text{ciclo})$$

$$m = 2.25$$

$$\Rightarrow da/dN = 0.66 \times 10^{-8} \cdot (\Delta KI)^{2.25} \quad \text{Ec. 1.21}$$

Para aceros Ferríticos - Perlíticos

$$A = 3.6 \times 10^{-10} \text{ pulg}/(\text{KSI}^3 \cdot \text{pulg.}^{3/2} \cdot \text{ciclo})$$

$$m = 3.0$$

$$\Rightarrow da/dN = 3.6 \times 10^{-10} \cdot (\Delta KI)^{3.0} \quad \text{Ec. 1.22}$$

Para aceros inoxidable Austeníticos, se tiene:

$$A = 3.0 \times 10^{-10} \text{ pulg}/(\text{KSI}^{3.25} \cdot (\text{pulg.}^{1/2})^{3.25} \cdot \text{ciclo})$$

$$m = 3.25$$

$$\Rightarrow da/dN = 3.0 \times 10^{-10} \cdot (\Delta KI)^{3.25} \quad \text{Ec. 1.23}$$

## 1.6 DISEÑO DE ESTRUCTURAS SOLDADAS USANDO MECANICA DE LA FRACTURA.

Como se sabe existen 3 parámetros fundamentales que permiten el diseño de una estructura a la fractura frágil, estos parámetros son: los esfuerzos nominales aplicados ( $S$ ), el tamaño de la fisura ( $a$ ) y la tenacidad a la fractura del material ( $K_{Ic}$ ).

Los esfuerzos nominales normalmente son determinados por métodos convencionales de diseño que no se preocupan de la inestabilidad frágil. En la mayoría de los casos este parámetro es determinado para una estructura dada y este debe ser rebajado para incrementar la resistencia a la fractura frágil, reduciendo la eficiencia de la estructura con respecto a su capacidad de carga.

Otro parámetro en mecánica de la fractura es el tamaño de la fisura. Si una estructura estuviese completamente libre de fisuras, la inestabilidad frágil no sería posible y las consideraciones de mecánica de la fractura no serían necesarias. Desafortunadamente, una estructura no está siempre libre de defectos tipo fisuras y lo mejor que se puede hacer es mejorar la fabricación de la

estructura para reducir la presencia y medida de defectos, a fin de que el factor de intensidad de esfuerzos sea mucho menor que la tenacidad a la fractura ( $K_{Ic}$ ). Para efectos del control del tamaño de las fisuras, se debe usar un método de ensayo no destructivo, este tipo de inspección puede ser usado para colocar un límite inferior a la medida de la posible fisura en la estructura. El tamaño crítico de diseño de la fisura no debe ser menor al tamaño más pequeño de fisura que se puede detectar por medio del ensayo que se este utilizando.

El parámetro final a considerar en mecánica de la fractura es la tenacidad a la fractura del metal base y el material de la soldadura. Con un mayor valor de  $K_{Ic}$  ó  $K_{Ic}$ , tamaños de fisura más grandes y/ó esfuerzos nominales mayores pueden ser tolerados sin iniciación de una inestabilidad frágil.

Las tablas de valores de  $K_{Ic}$  ó  $K_{Ic}$  de materiales base se pueden encontrar en libros de referencia. En la tabla I se muestran los valores de  $K_{Ic}$  para algunos aceros conjuntamente con el esfuerzo de fluencia.

MATERIAL	K <sub>ic</sub> (Kg/mm <sup>3/2</sup> )	S <sub>ys</sub> (Kg/mm <sup>2</sup> )
4340	319.05	87.55
4340*	194.85*	154.59*
4335 + V	233.88	136.73
17-7 Mo	248.08	146.43
15-7 Mo	159.69	144.39
H - 11	124.20	182.65
H - 11*	88.71*	211.22*
350 Maraging	177.43	158.16
350 Maraging*	124.20*	228.57*
52100	46.13	211.22

TABLA I. Valores de K<sub>ic</sub> y esfuerzos de fluencia para algunos aceros. REF.4

\* valores para temperaturas de trabajo inferiores a la temperatura de transición dúctil-frágil.

Los valores específicos de K<sub>c</sub> ó K<sub>ic</sub> para metales de aporte en soldadura no son fácilmente disponibles. Sin embargo, se puede usar el ensayo Charpy con una entalla en V para determinar la tenacidad a la fractura de algunos metales de aporte en soldadura.

Existen relaciones empíricas entre la tenacidad a la fractura y los valores de energía de impacto de entallas Charpy (CVN), es decir, de un valor particular de CVN se puede obtener el correspondiente

valor de la tenacidad a la fractura. Una discusión más detallada se la encuentra en el libro de Rolfe y Barsom. (REF.1)

Otro problema que se presenta cuando aplicamos el concepto de L.E.F.M a una estructura soldada, es la variación de la tenacidad a la fractura en la zona afectada por el calor debido a sus variaciones microestructurales.

Cuando se consideran estructuras soldadas también se deben considerar los esfuerzos residuales. En la mayoría de los casos el campo de esfuerzos residuales no está muy bien definido, por lo tanto en estos casos L.E.F.M. no tiene una metodología de aplicación bien definida debido a su complejidad.

## CAPITULO II

### CALCULO DEL FACTOR DE INTENSIDAD DE ESFUERZOS.

#### 2.1 FISURA PASANTE EN EL CENTRO DE UNA PLANCHA.

Las planchas pueden ser de ancho infinito o de ancho finito, se considera que la plancha tiene ancho infinito cuando la relación  $(a/b) \leq 0.074$  (fig.2.1). Si la relación es mayor se dice que la plancha es de ancho infinito.

Para una plancha de ancho infinito conteniendo una fisura pasante ubicada en el centro de longitud  $2a$  y cargada de forma tal que los esfuerzos aplicados son uniformes y perpendiculares a la longitud de la fisura se tiene que:

$$KI = S \cdot \text{SQR}(\pi \cdot a) \cdot f(a/b)$$

$$f(a/b) = \text{SQR}((2 \cdot b) / (\pi \cdot a) \cdot \text{TAN}((\pi \cdot a) / (2 \cdot b))) \quad \text{Ec 2.1}$$

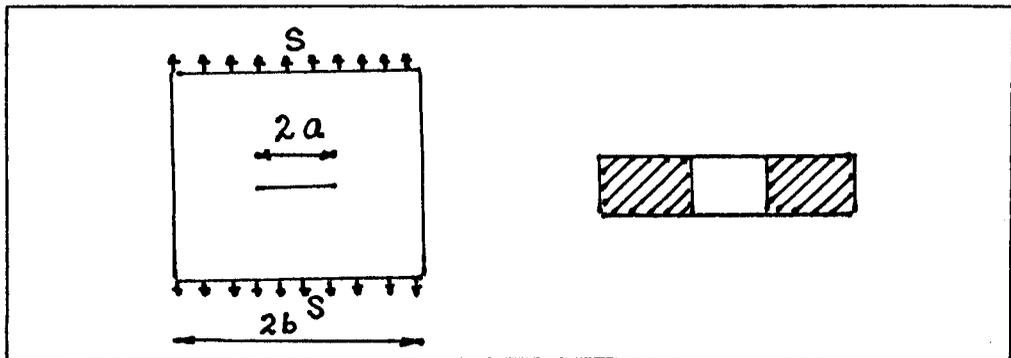


Fig. 2.1. Plancha finita con una fisura pasante ubicada en el centro. REF. 3

Para una plancha de ancho infinito  $(a/b) \leq 0.074$  se tiene que:  $f(a/b) = 1$ .

entonces  $KI = S \cdot \text{SQR}(\pi \cdot a)$  Ec. 2.2

## 2.2 FISURA PASANTE EN LOS EXTREMO DE UNA PLANCHA.

Para una plancha de ancho finito  $2b$  con una fisura pasante en cada extremo sujeto a un esfuerzo tensil uniforme como se muestra en la figura 2.2 el factor de intensidad de esfuerzos está dado por:

$$KI = 1.12 \cdot S \cdot \text{SQR}(\pi \cdot a) \cdot f(a/b) \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$f(a/b) = \text{SQR}\left(\frac{2 \cdot b}{\pi \cdot a}\right) \cdot \text{TANG}\left(\frac{\pi \cdot a}{2 \cdot b}\right)$$

Dónde el valor 1.12 es un factor de corrección por superficie libre.

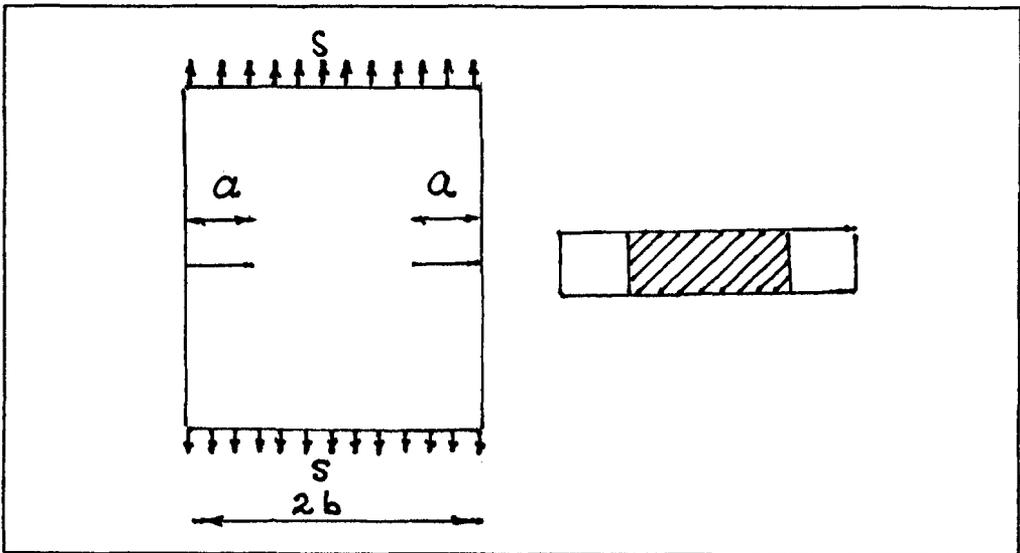


Fig. 2.2 Plancha con una fisura pasante en los extremo. REF. 3.

Para una plancha de ancho infinito  $(a/b) \leq 0.074$  se tiene que:  $f(a/b) = 1$ .

$$\text{entonces } KI = 1.12 * S * \text{SQR}(\pi * a) \quad \text{Ec. 2.4}$$

### 2.3 FISURA PASANTE EN UN EXTREMO DE UNA PLANCHA.

Para una plancha de ancho finito  $2b$  y cargada de forma tal que los esfuerzos aplicados son uniformes y perpendiculares a la longitud de la fisura como se muestra en la figura 2.3 se tiene:

$$KI = 1.12 * S * \text{SQR}(\pi * a) * K(a/b) \quad \text{Ec. 2.5}$$

$K(a/b)$  = Factor de corrección por falta de simetría.

a continuación se tabulan algunos valores de  $K(a/b)$

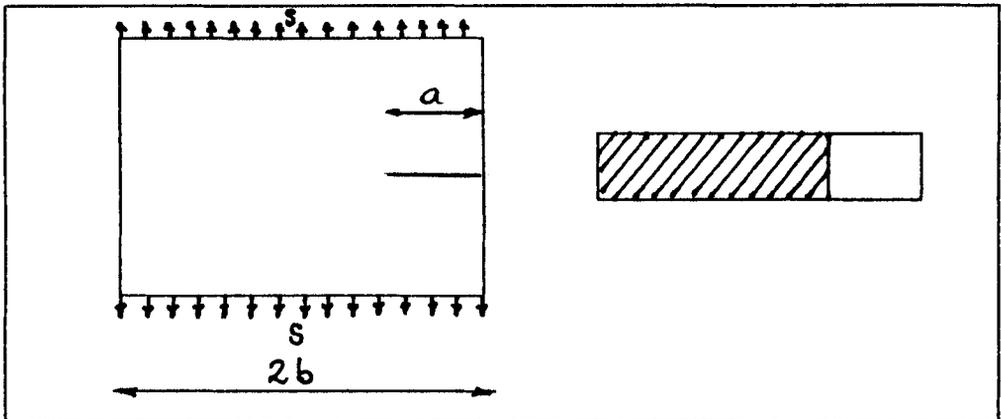


Fig 2.3 Plancha con una fisura pasante en un extremo. REF. 3.

(a/b)	K(a/b)
0.10	1.03
0.30	1.15
0.40	1.22
0.50	1.35
0.60	1.50
0.70	1.69
0.80	1.91
0.90	2.20
1.00	2.25

TABLA II. Valores para el factor de corrección por falta de simetría. REF 1.

Para una plancha de ancho infinito  $(a/b) \leq 0.074$  se tiene que:  $K(a/b) = 1$

entonces  $KI = 1.12 * S * \sqrt{\pi * a}$

Ec. 2.6

## 2.4 FISURA PASANTE EN UNA VIGA EN FLEXION.

El factor de intensidad de esfuerzos para una viga en flexión que contiene una fisura en un extremo, con un momento flexor que tiende a abrir la fisura, como se muestra en la figura 2.4, esta dado por:

$$KI = (6 * M / (B * (W - a)^{(3/2)})) * g(a/W) \quad \text{Ec. 2.7}$$

dónde:

M = Momento aplicado (Kg\*mm).

B = Espesor de la viga (mm).

a = Tamaño de la fisura (mm).

W = Ancho de la viga (mm).

$g(a/W)$  = Factor geométrico de corrección.

Algunos valores para  $g(a/W)$  son presentados en la tabla III.

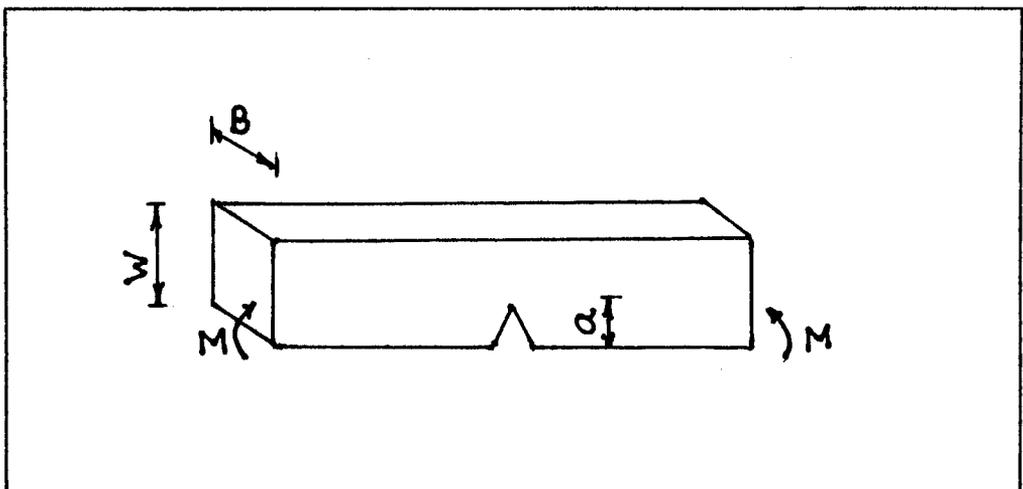


Fig. 2.4 Viga en flexión con una fisura pasante en un extremo. REF. 1

(a/W)	g(a/W)
0.05	0.36
0.10	0.49
0.20	0.60
0.30	0.66
0.40	0.69
0.50	0.72
0.60	0.73
y mayores	

TABLA III. Valores para el factor geométrico de corrección de una viga fisurada. REF. 1.

## 2.5 FISURA ELIPTICA O CIRCULAR INTERNA EN UNA PLANCHA INFINITA.

El factor de intensidad de esfuerzos en algún punto del perímetro de una fisura circular ó elíptica incrustada en un cuerpo de ancho infinito, que esta sujeto a un esfuerzo de tensión uniforme, como se muestra en la figura 2.5, esta dado por:

$$KI = (S \cdot \text{SQR}(\pi \cdot a) / \phi_0) \cdot (\text{SEN } \beta \cdot \text{SEN } \beta + ((a/c)^2) \cdot \text{COS } \beta \cdot \text{COS } \beta)^{0.25}$$

Ec. 2.8

$$\phi_0 = \int_0^{\pi/2} [1 - (((c^2) - (a^2)) / c^2) \cdot \text{SEN}(\theta) \cdot \text{SEN}(\theta)]^{0.5} d\theta$$

Ec. 2.9

donde:

$\phi_0 =$  Integral de la elipse.

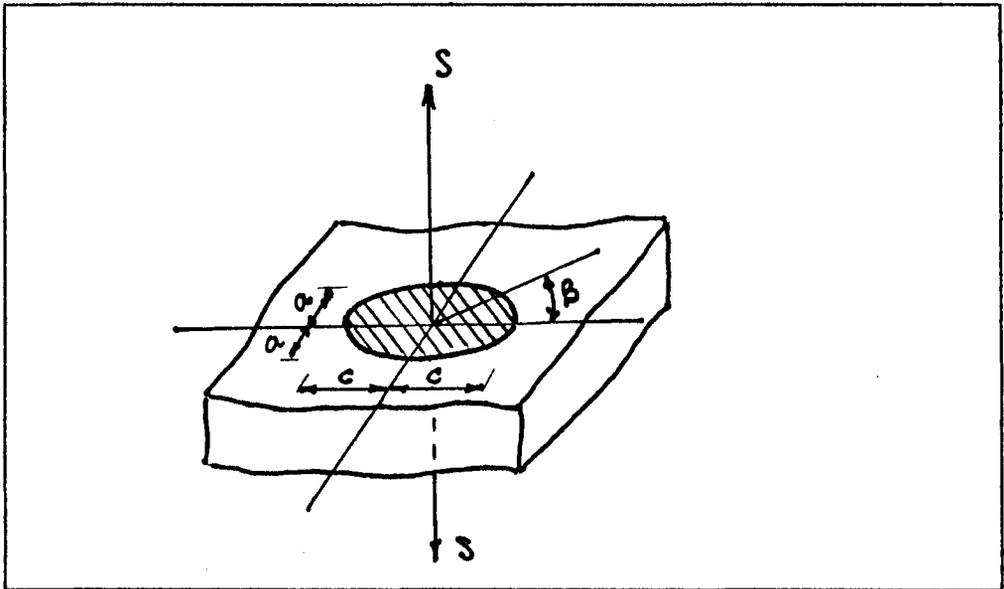


Fig. 2.5 Plancha con fisura elíptica interna. REF 1

La localización de el punto donde se calcula KI esta dada por el ángulo  $\beta$ .

El factor de intensidad de esfuerzos para una fisura elíptica incrustada alcanza un valor máximo en  $\beta = \pi/2$  y la ecuación 2.8 se reduce a:

$$KI = S \cdot \text{SQR}((\pi \cdot a)/Q) \quad \text{Ec. 2.10}$$

$$Q = (\phi_0)^2 \quad \text{Ec. 2.11}$$

Q es un factor de forma porque su valor depende de los valores de a y c así como de la relación  $S/S_{ys}$ , dónde S es el esfuerzo nominal aplicado y  $S_{ys}$  es el esfuerzo de fluencia del material de la plancha.

## 2.6 FISURA SUPERFICIAL EN UNA PLANCHA INFINITA.

El factor de intensidad de esfuerzos para una plancha de ancho infinito que contiene una fisura superficial en forma de uña sujeta a un esfuerzo de tensión uniforme como se muestra en la figura 2.6 es dada por:

$$KI = 1.12 * S * \text{SQR}((\pi * a) / Q) * M_k \quad \text{Ec. 2.12}$$

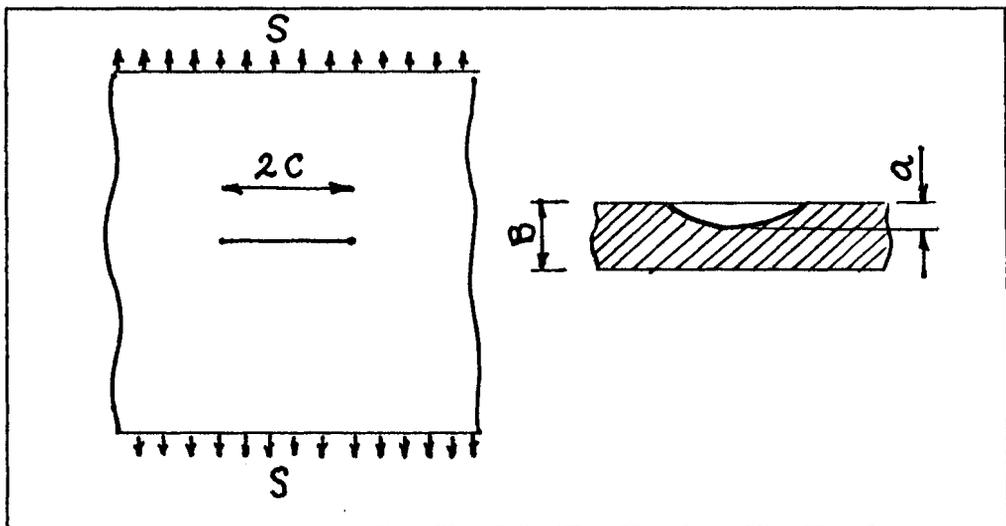


Fig.2.6 Plancha infinita con fisura superficial.  
REF. 1

El valor 1.12 es un factor de corrección por superficie libre. El factor de intensidad de esfuerzos es máximo en  $\beta = \pi/2$  y está dado por la ecuación 2.12.

$M_k$  es aproximadamente 1 cuando  $a \leq 0.5 * B$ , donde  $B$  es el espesor de la plancha, para valores de  $a > 0.5 * B$  se tiene que el valor de  $M_k$  está dado por:

$$M_k = 1.0 + 1.2*(a/B-0.5) \quad \text{Ec. 2.13}$$

## 2.7 FISURA EN PROBETAS W.O.L TIPO T Y TIPO CTS.

La ecuación para el factor de intensidad de esfuerzos para probetas tipo extremo abierto cargado (W.O.L) se puede presentar de la siguiente forma:

$$K_I = (P/(B*\text{SQR}(a)))*f(a/W_1) \quad \text{Ec. 2.14}$$

Donde P es la carga aplicada, B es el espesor de la probeta y  $f(a/W_1)$  es un factor geométrico de la probeta. Para un valor constante de la relación de la altura(H) al ancho de la probeta( $W_1$ ), la función  $f(a/W_1)$  es expresada en forma de un polinomio en función de la longitud de la fisura a.

Dos geometrías para probetas W.O.L son las más usadas estas geometrías son conocidas como la probeta W.O.L tipo T( $H/W_1 = 0.972$ ) y la probeta a tensión compacta CTS ( $H/W_1 = 1.2$ ). Las dimensiones para cada una de estas geometrías para una pulgada de espesor están dadas por las figuras 2.7 y 2.8 respectivamente.

El  $f(a/W_1)$  para la probeta W.O.L tipo T es dada por:

$$f(a/W_1) = [30.96*(a/W_1) - 195.8*(a/W_1)^2 + 730.6*(a/W_1)^3 - 86.3*(a/W_1)^4 + 754.6*(a/W_1)^5] \quad \text{Ec. 2.15}$$

Si  $0.25 < a/W1 > 0.75$  el error producido por el polinomio es de 0.5%.

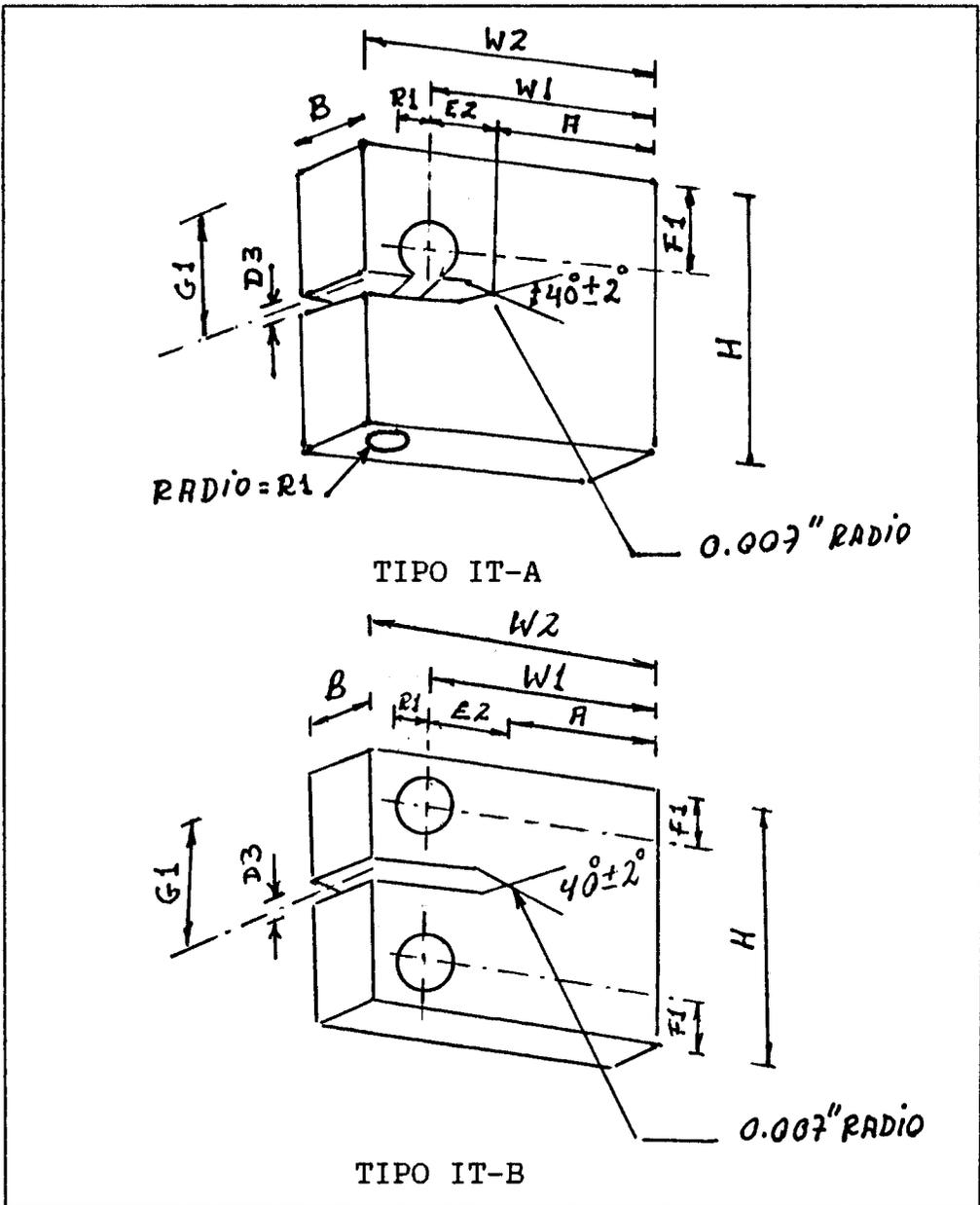


Fig. 2.7 Geometría para una probeta W.O.L tipo T de 1 pulgada de espesor. REF. 1.

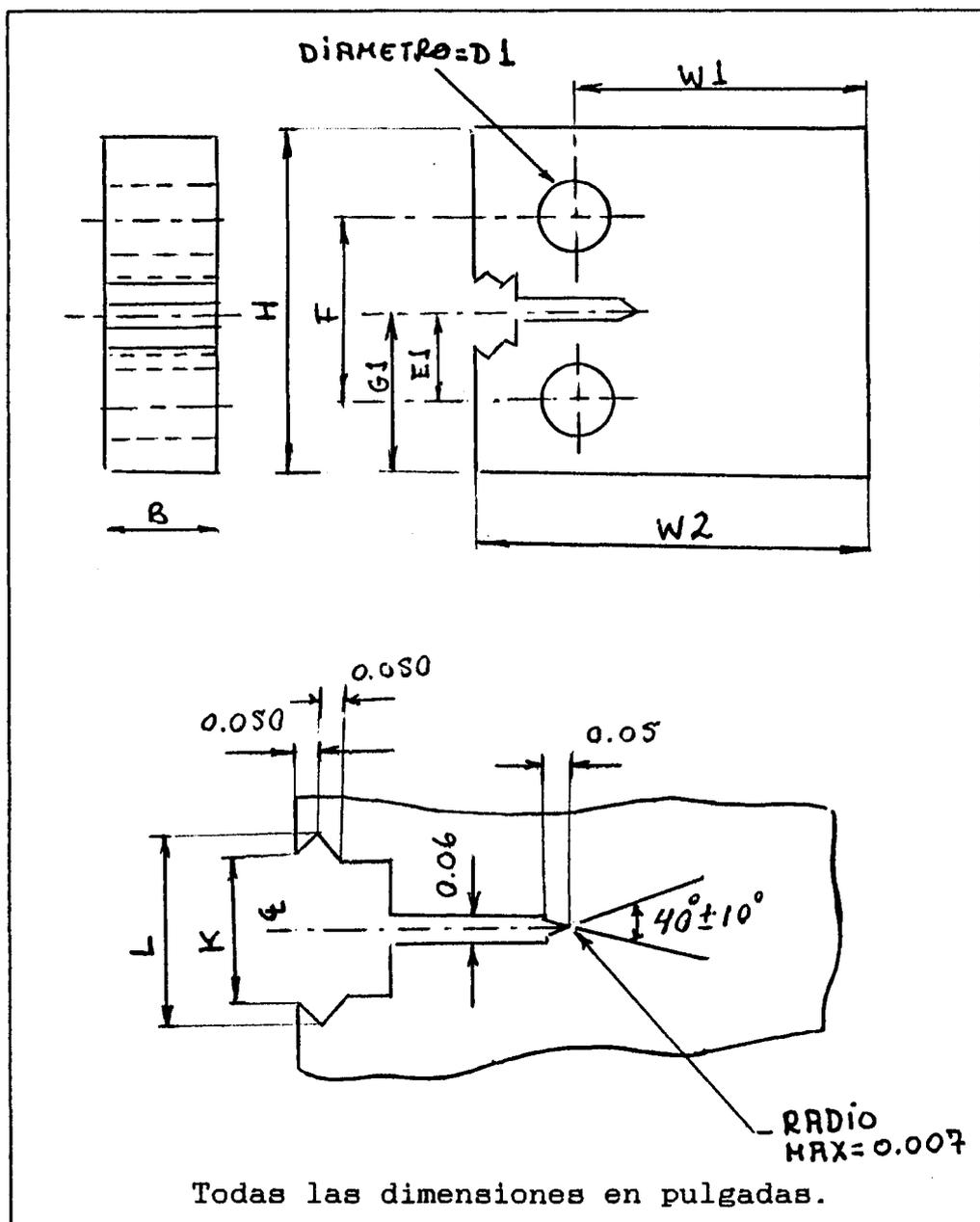


Fig. 2.8 Geometría para una probeta W.O.L. tipo CTS de 1 pulgada de espesor. REF. 1.

El valor de  $f(a/W1)$  para la probeta a tensión compacta, esta dado por:

$$f(a/W1) = [0.296*(a/W1) - 1.855*(a/W1)^2 + 6.557*(a/W1)^3 - 10.17*(a/W1)^4 + 6.389*(a/W1)^5] \quad \text{Ec. 2.16}$$

Sí  $0.3 < a/W_1 < 0.7$  el polinomio produce un error de 0.25%

Los valores de las dimensiones para las probetas tipo T y tipo CTS se dan en las tablas IV y V respectivamente.

DIMENSION PROBETA (PULG)		
TIPO	IT-A	IT-B
B	1.000	1.000
W1	2.550	2.550
W2	3.200	3.200
A	1.783	1.783
E2	0.767	0.767
H	2.480	2.480
G1	1.240	1.240
D3	0.094	0.094
R1	0.350	0.250
F1	1.000	0.650

DIMENSION (PULG)	
CTS	
W2	2.500
W1	2.000
B	1.000
aN	0.800
D1	0.500 <sup>+.005</sup> <sub>-.000</sub>
F	1.100
E1	0.550
G1	1.200
H	2.400
K	0.500
L	0.555

TABLA IV

TABLA V

TABLA IV. y TABLA V Dimensiones para probetas W.O.L. tipo T y tipo CTS respectivamente. REF. 1.

## 2.8 FISURA EN EL CENTRO DE UNA PLANCHA SOLDADA EN PRESENCIA DE ESFUERZOS RESIDUALES.

Se considera una plancha soldada que contiene una fisura pasante a través del espesor y sujeto a un esfuerzo residual como se muestra en la figura 2.9.

Sí se asume que la fisura está localizada dentro de la porción tensionada del campo de esfuerzos residuales y que el esfuerzo tensil está dado por:

$$S_{\text{residual}} = S_0 * [1 - (x/f)^2] \quad \text{Ec. 2.17}$$

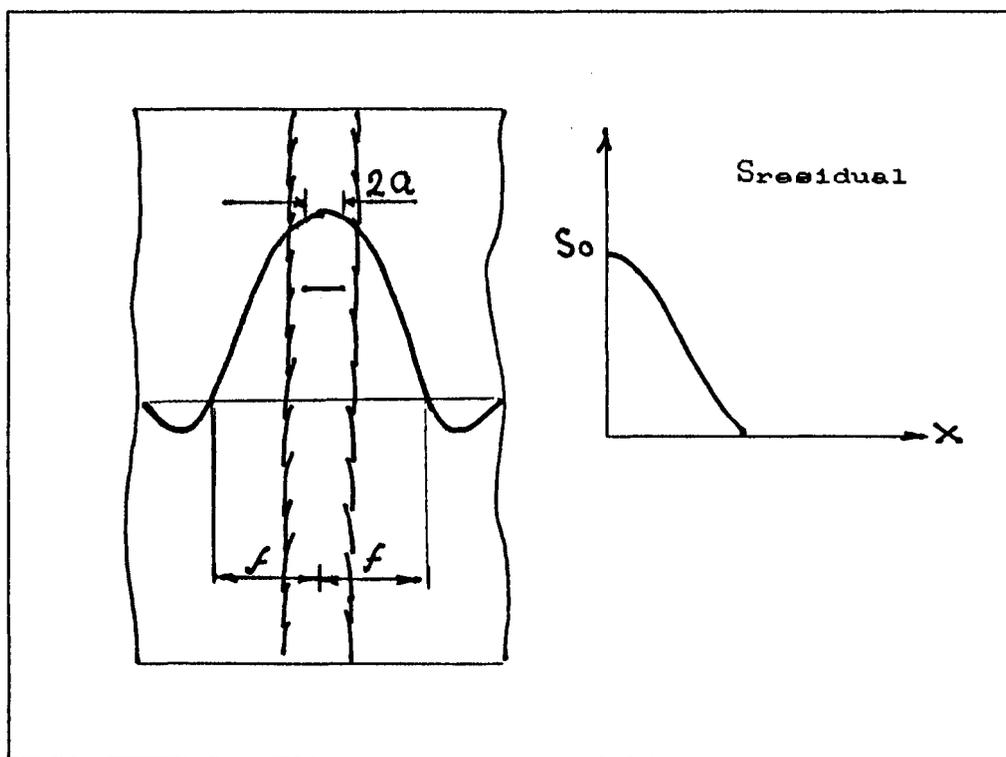


Fig. 2.9 Plancha soldada con una fisura que atraviesa el espesor, con esfuerzos residuales en tensión. REF. 3.

El valor del factor de intensidad de esfuerzos para este caso esta dado por:

$$KI = S \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \cdot f(a/b) \quad \text{Ec. 2.18}$$

$$f(a/b) = [1 + S_0/S \cdot (1 - 1/2 \cdot (a/f)^2)] \quad \text{Ec. 2.19}$$

Donde:

$f(a/b)$  = Factor de corrección geométrico.

$S$  = Esfuerzo nominal aplicado ( $\text{Kg}/\text{mm}^2$ ).

$S_0$  = Esfuerzo residual máximo aplicado ( $\text{Kg}/\text{mm}^2$ ).

$a$  = Mitad de la medida de la fisura (mm).

$b$  = Mitad del ancho del elemento mecánico (mm).

$f$  = Mitad del ancho de la zona afectada por los esfuerzos residuales de tensión.

## CAPITULO III

### MECANICA DE LA FRACTURA APLICADA A SOLDADURA UTILIZANDO COMPUTADORAS.

#### 3.1 VENTAJAS DEL USO DE LA COMPUTADORA EN ESTE CAMPO.

La mayor ventaja esta relacionada con la velocidad de cálculo, comparado con el cálculo manual, para obtener las curvas de  $KI/S$  vs tamaño de fisura para cada opción el programa evalua 606 veces la ecuación del factor de intensidad de esfuerzos correspondiente.

Las curvas obtenidas nos permiten analizar cualitativa y cuantitativamente como influyen en el factor de intensidad de esfuerzos, parámetros tales como el tamaño de la fisura, ancho del elemento mecánico, los esfuerzos aplicados, residuales, etc.

### 3.2 DESCRIPCION DEL PROGRAMA.

El programa factor de intensidad de esfuerzos esta escrito en lenguaje basic. Este programa esta constituido por 7 subprogramas, de los cuales 6 son los más importantes, debido a que ellos realizan el cálculo y gráfico de las curvas de interés.

El programa presenta 6 opciones numeradas del 1 al 6. La opción 6, presenta al usuario la posibilidad de adicionar un subprograma para el cálculo del factor de intensidad de esfuerzos en otra geometría que se desee realizar.

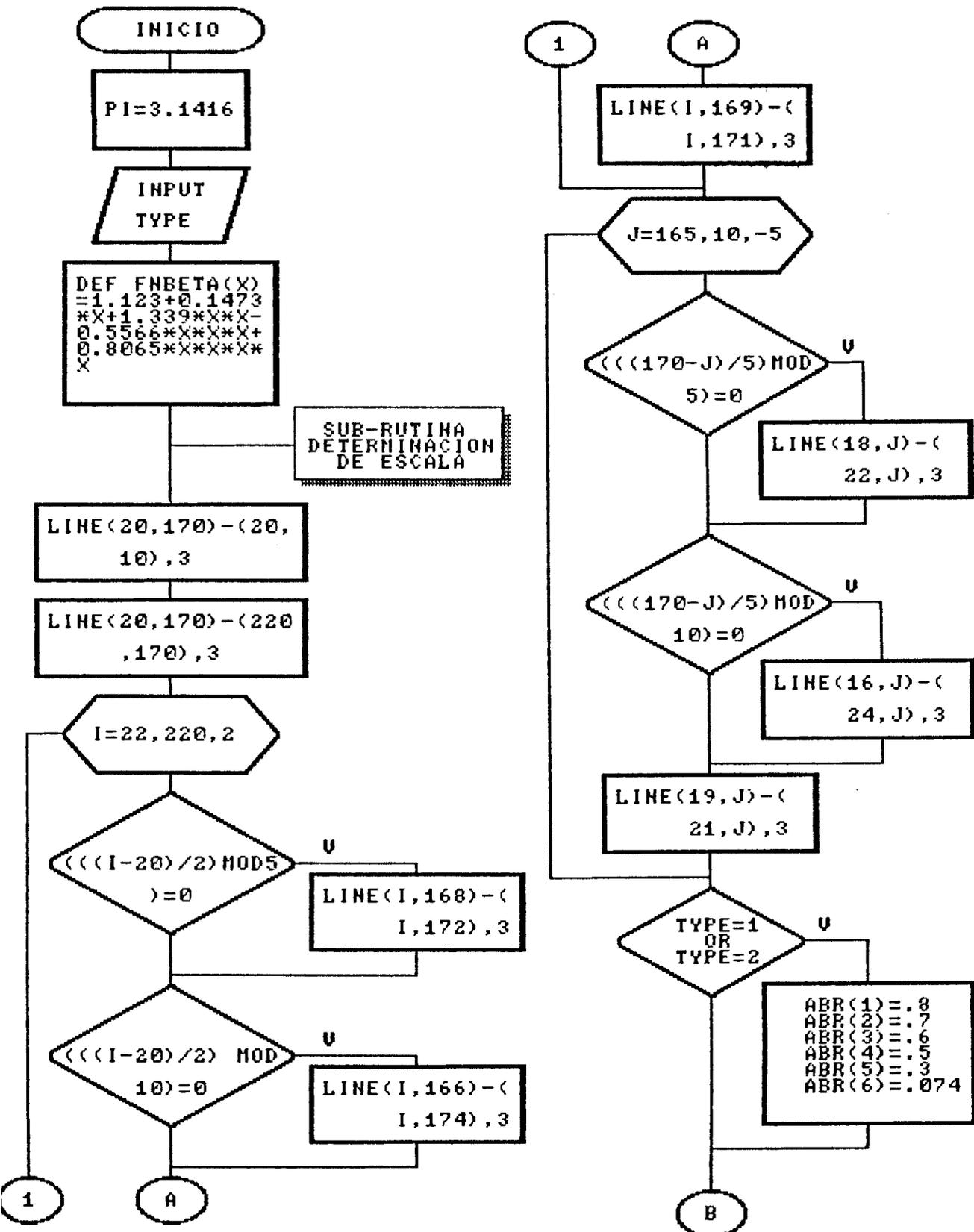
### 3.3 DIAGRAMAS DE FLUJO.

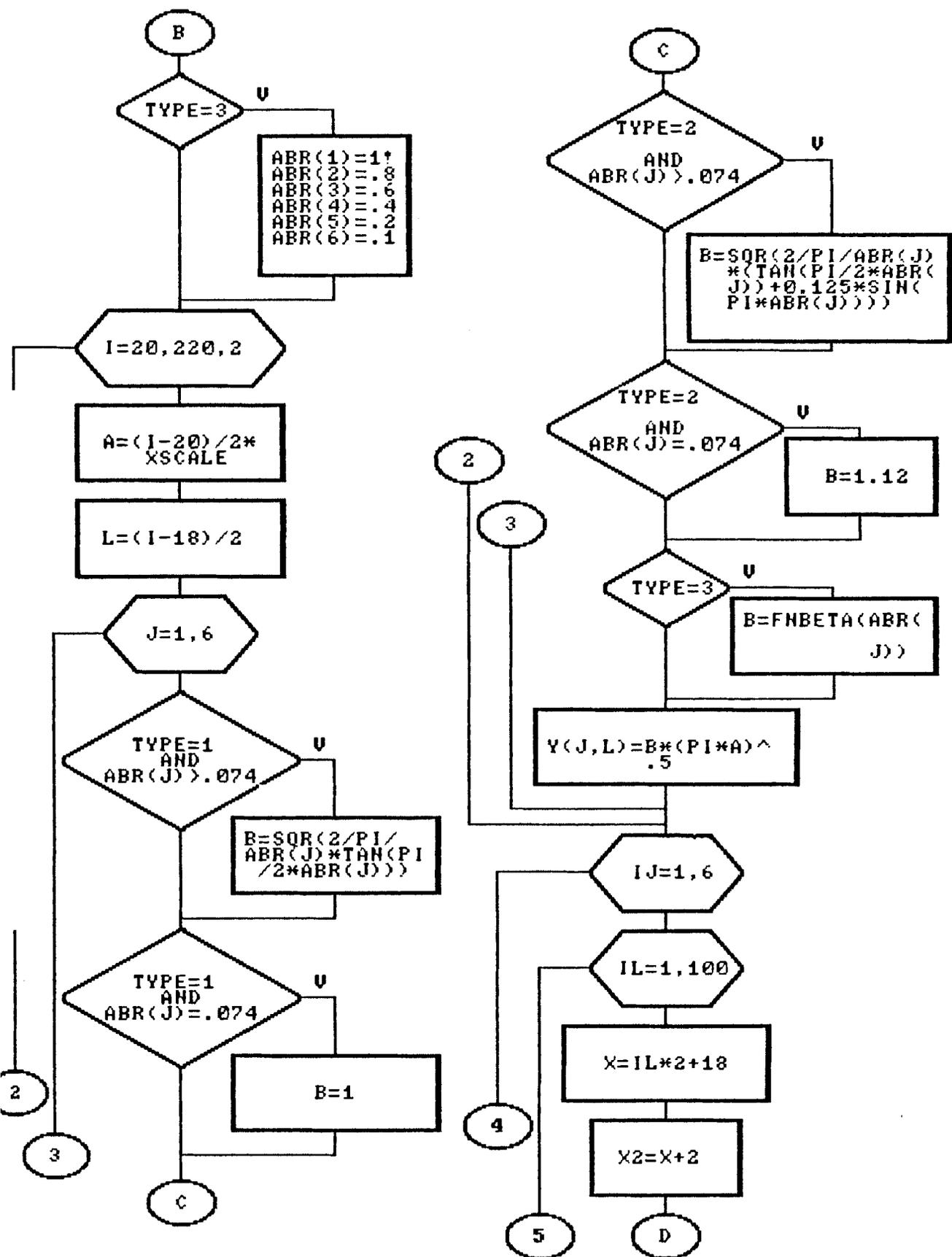


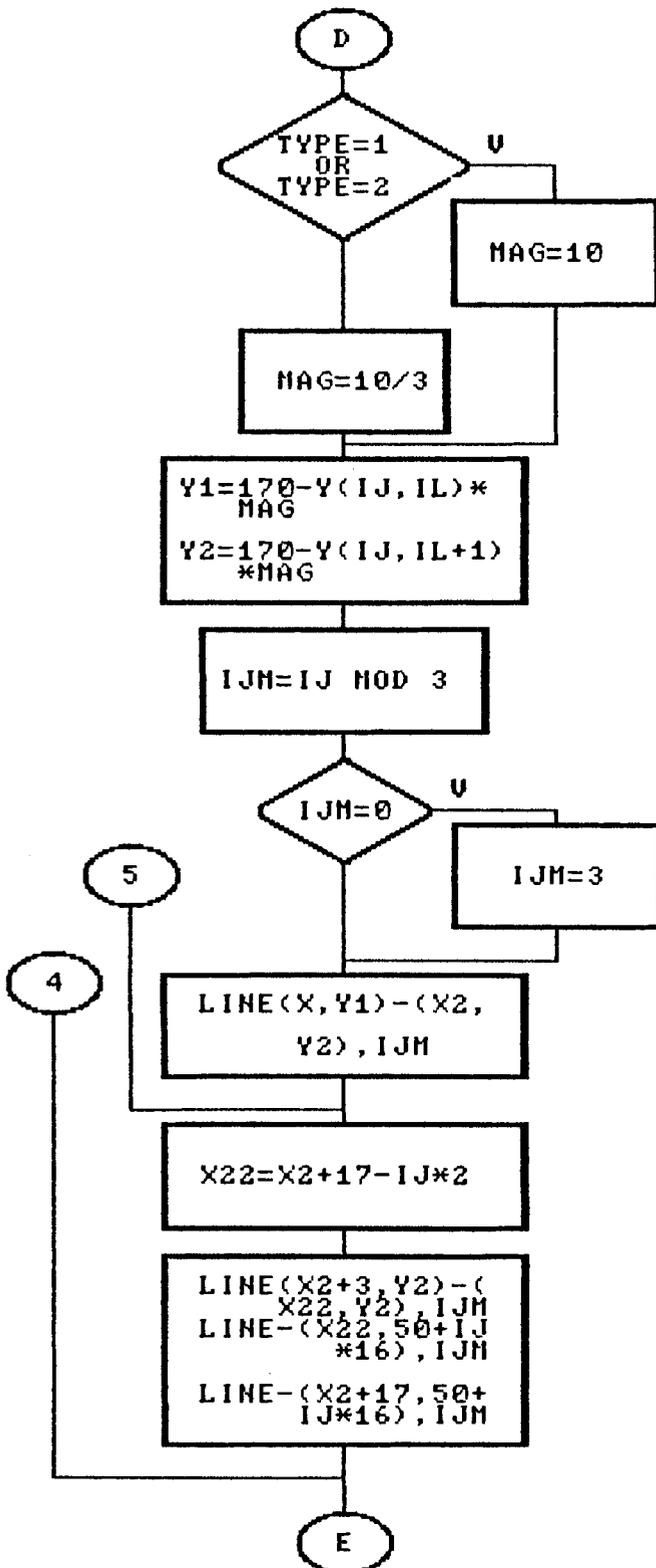
RIF-100000

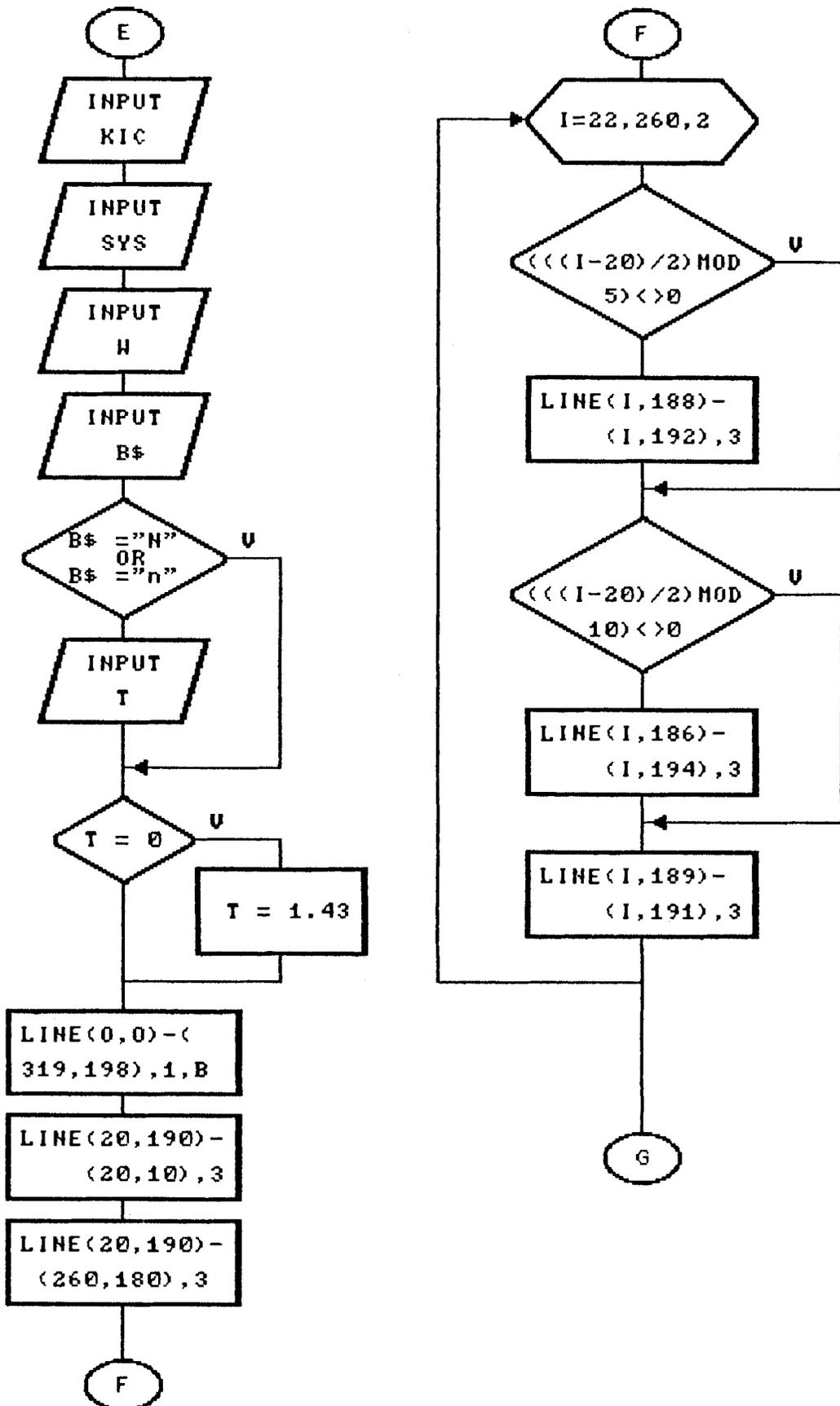
Los diagramas de flujo prestan gran ayuda en el campo de la computación, dan mayor facilidad en la elaboración y comprensión de los programas para computadoras, permiten al usuario introducir cambios en el programa original, a fin de que pueda adaptarlo a sus necesidades específicas. A continuación se presentan los diagramas de flujo de los 6 subprogramas más importantes del programa principal. En estos diagramas se ha omitido las órdenes que no tienen relación con el procesamiento de los valores de interés.

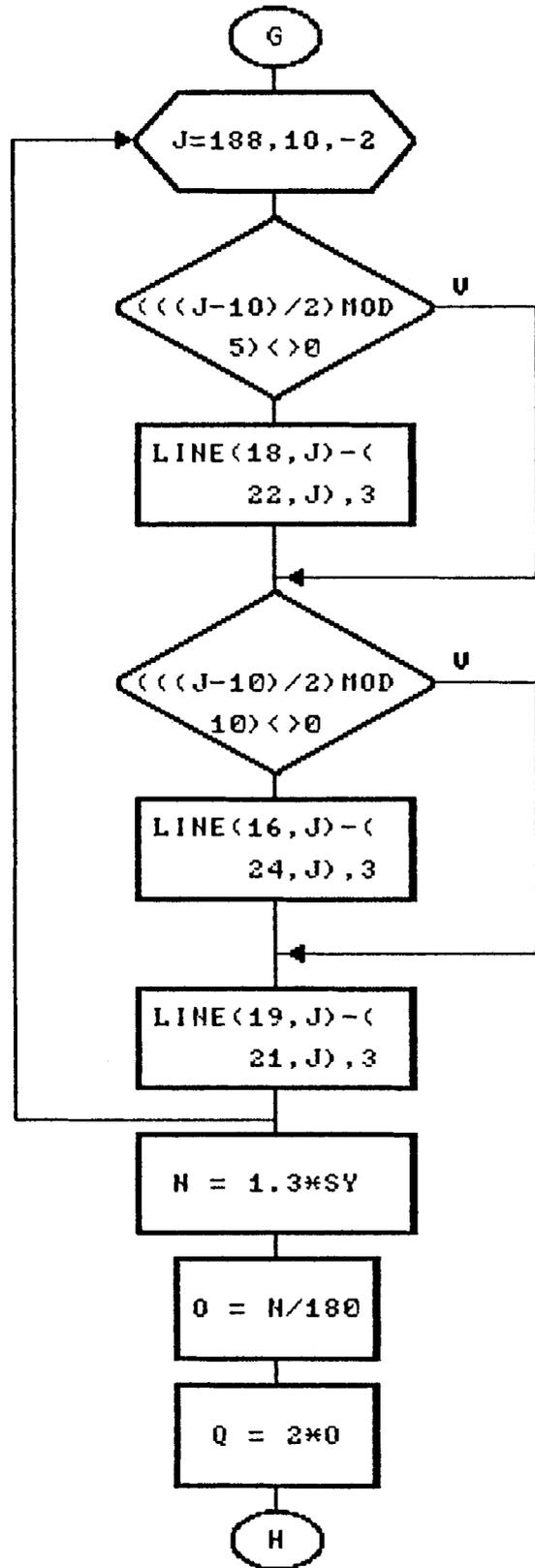
## 3.3.1 SUBPROGRAMA PARA PLANCHAS CON FISURAS PASANTES.





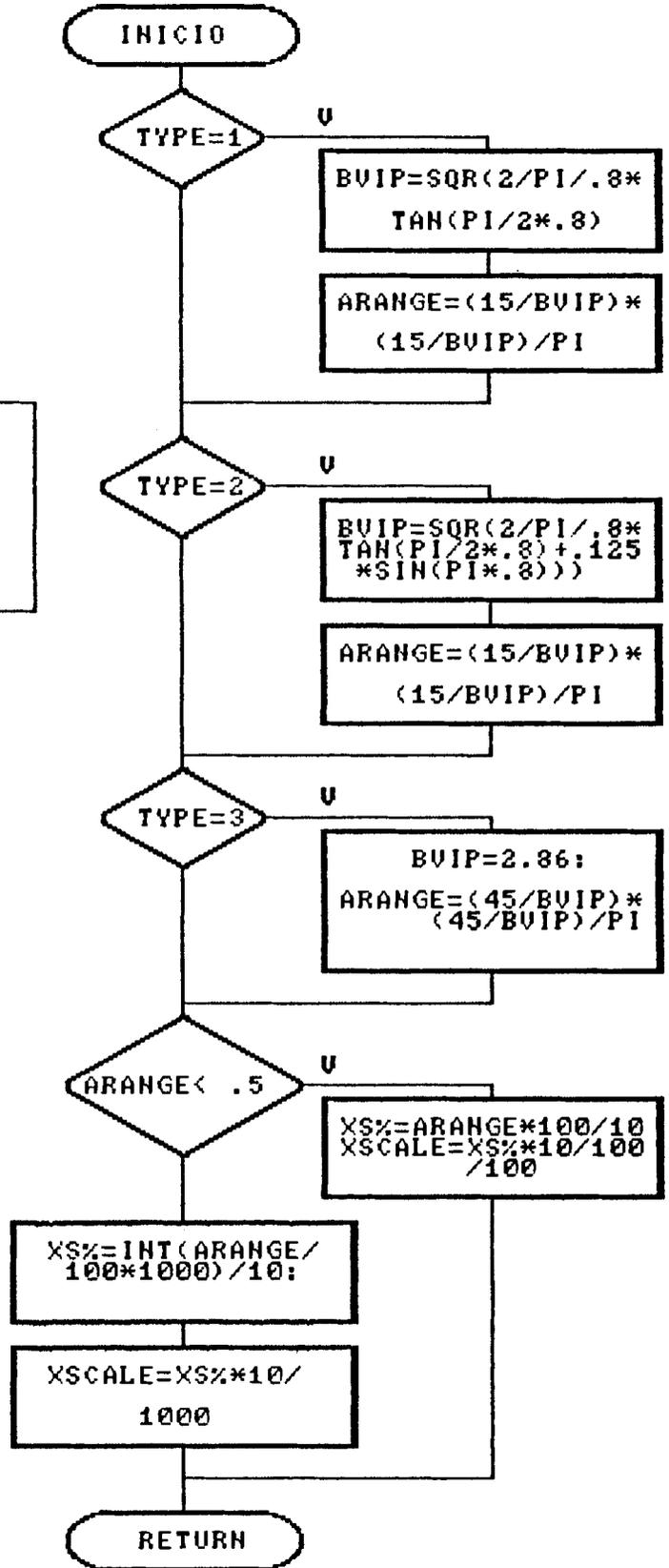
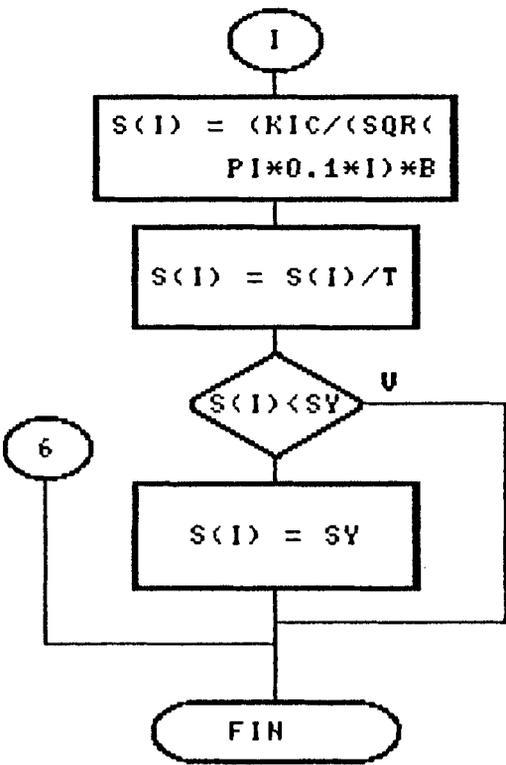


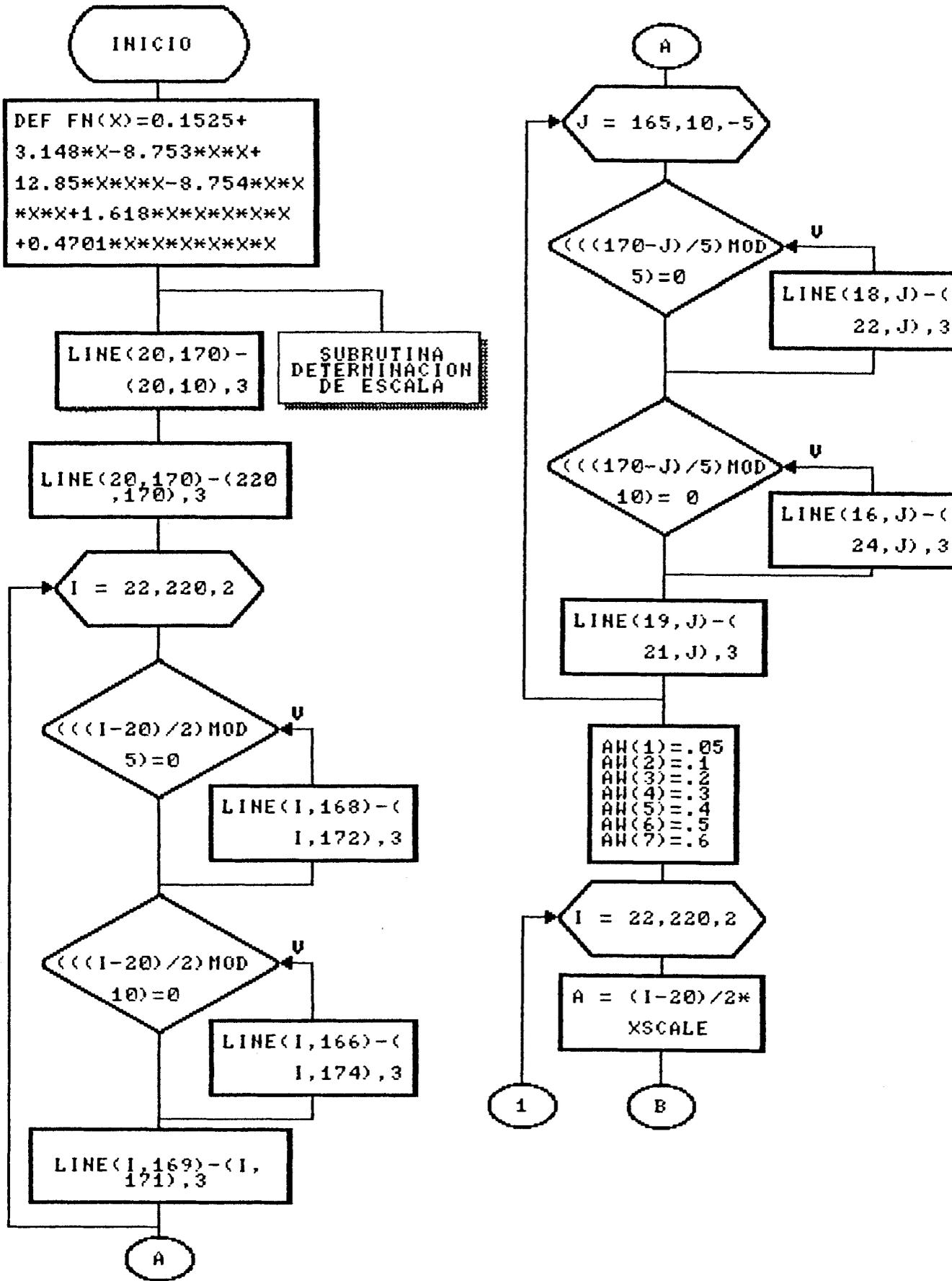


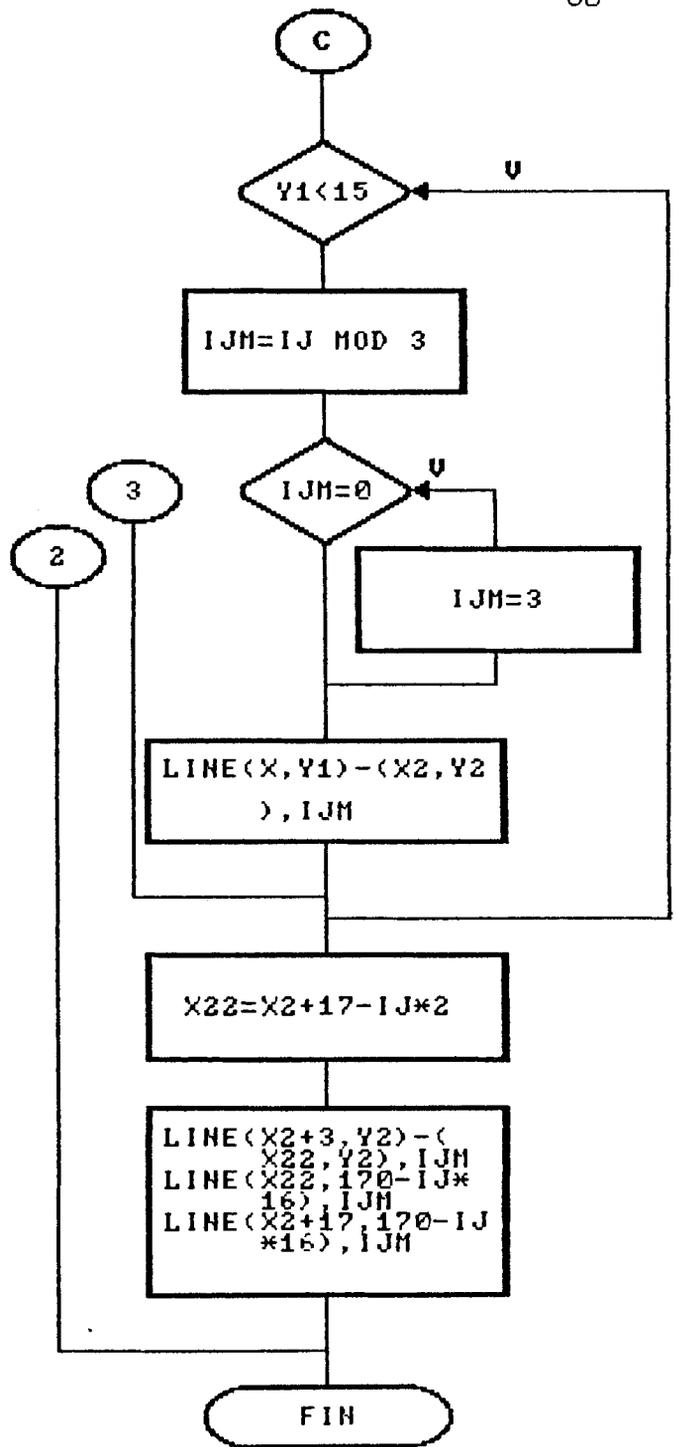
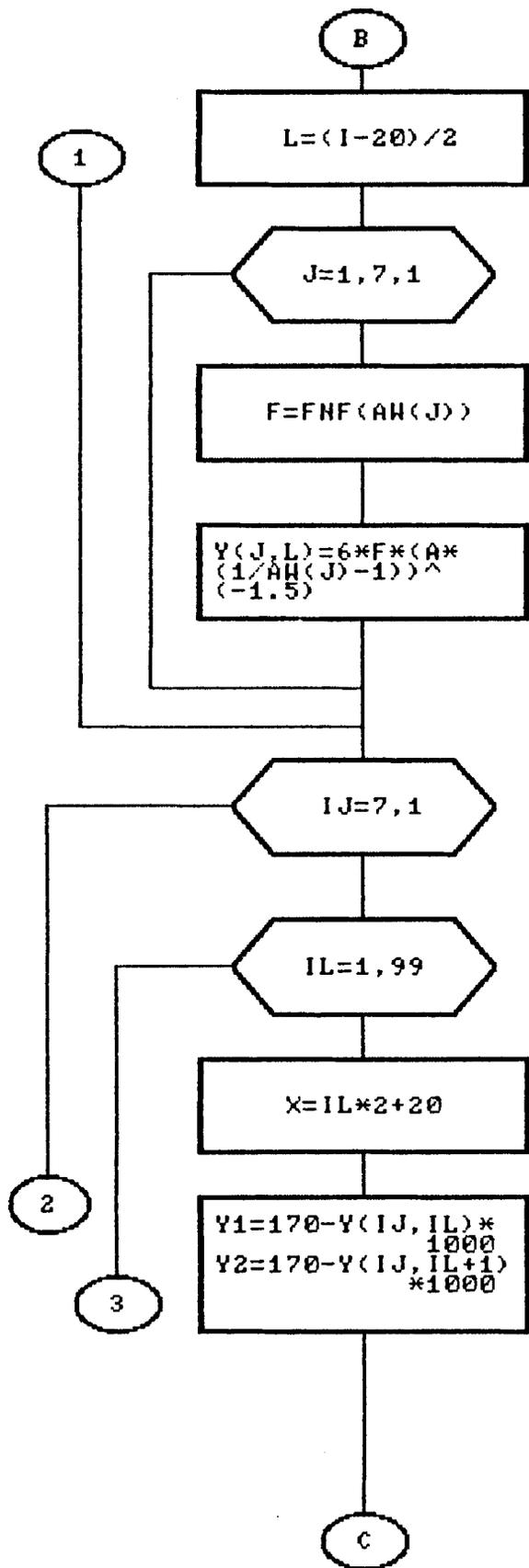


66

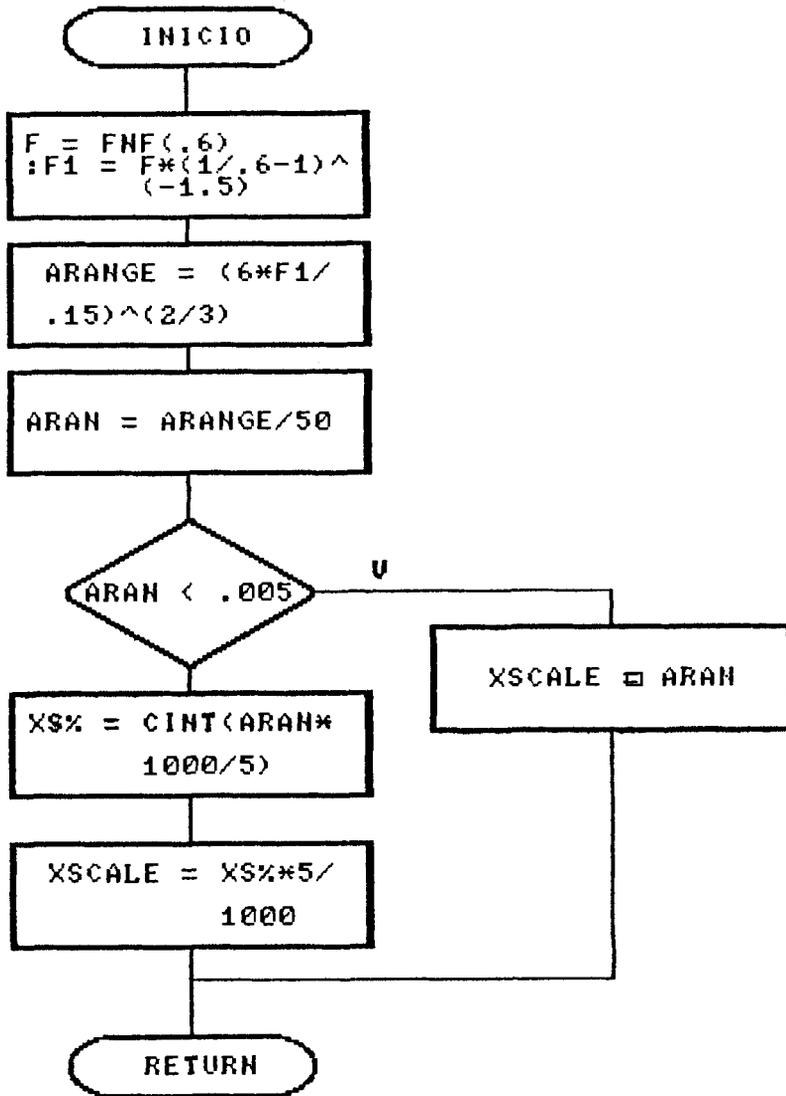
## SUB-RUTINA DETERMINACION DE ESCALA



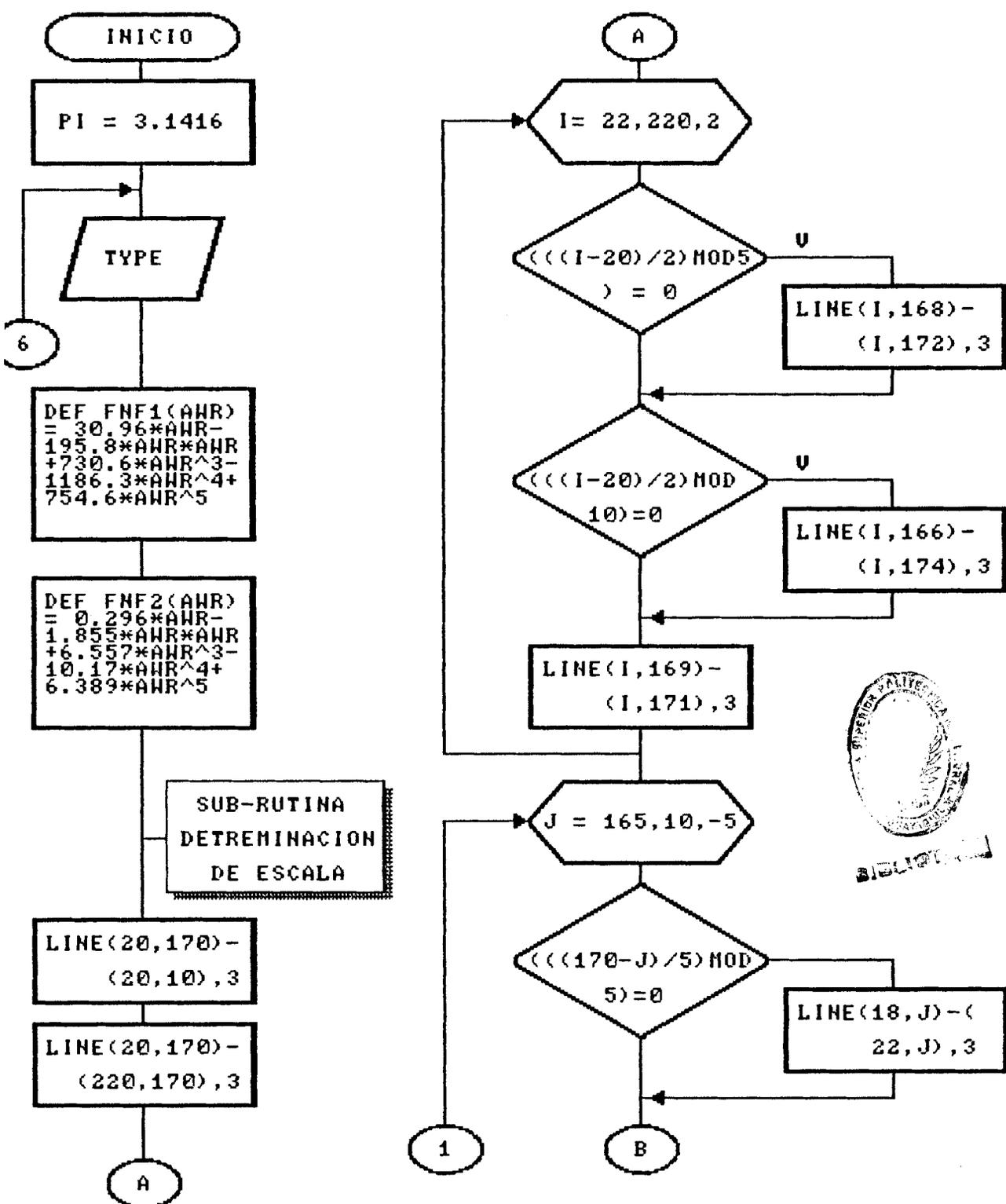


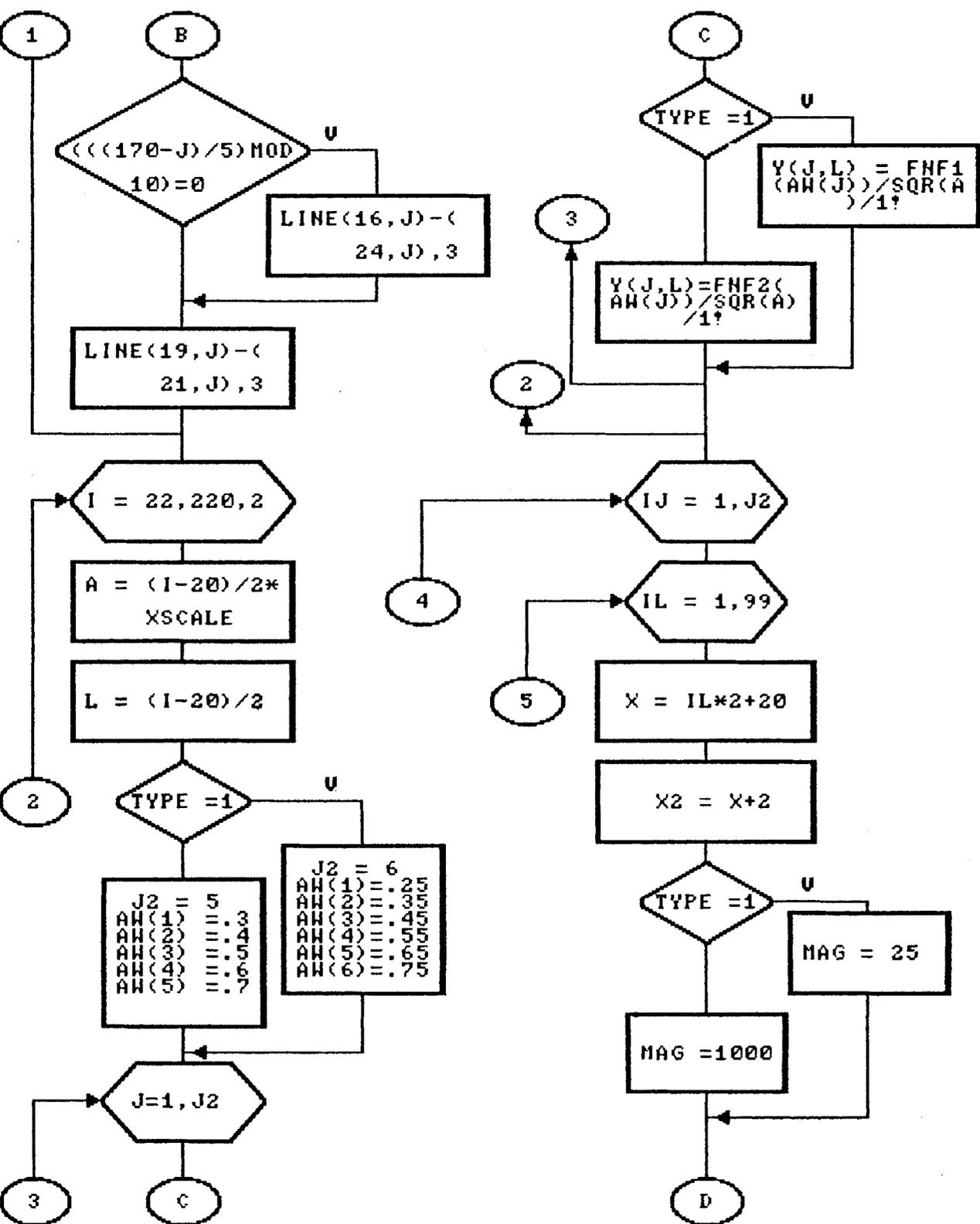


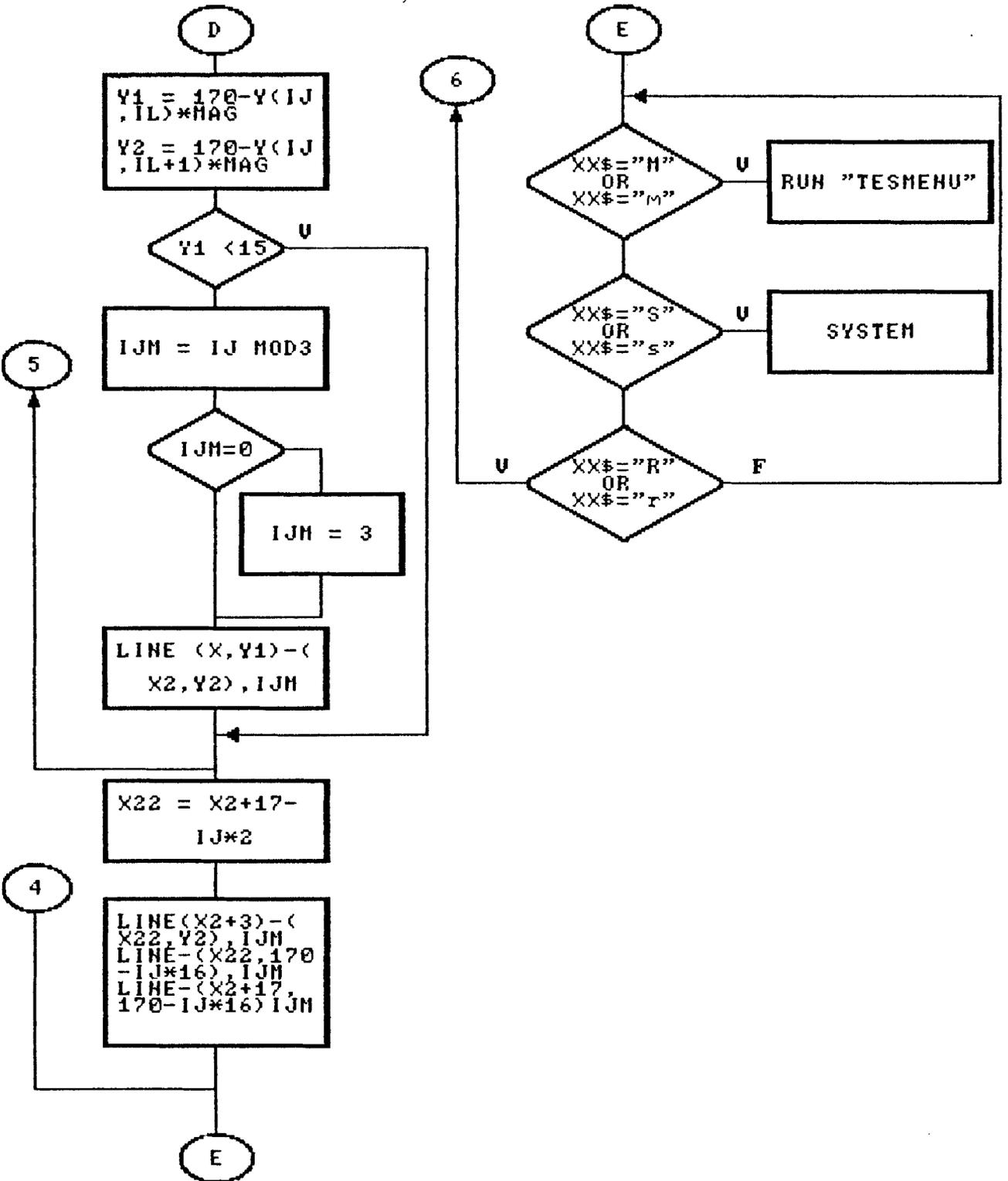
## SUB-RUTINA DETERMINACION DE ESCALA



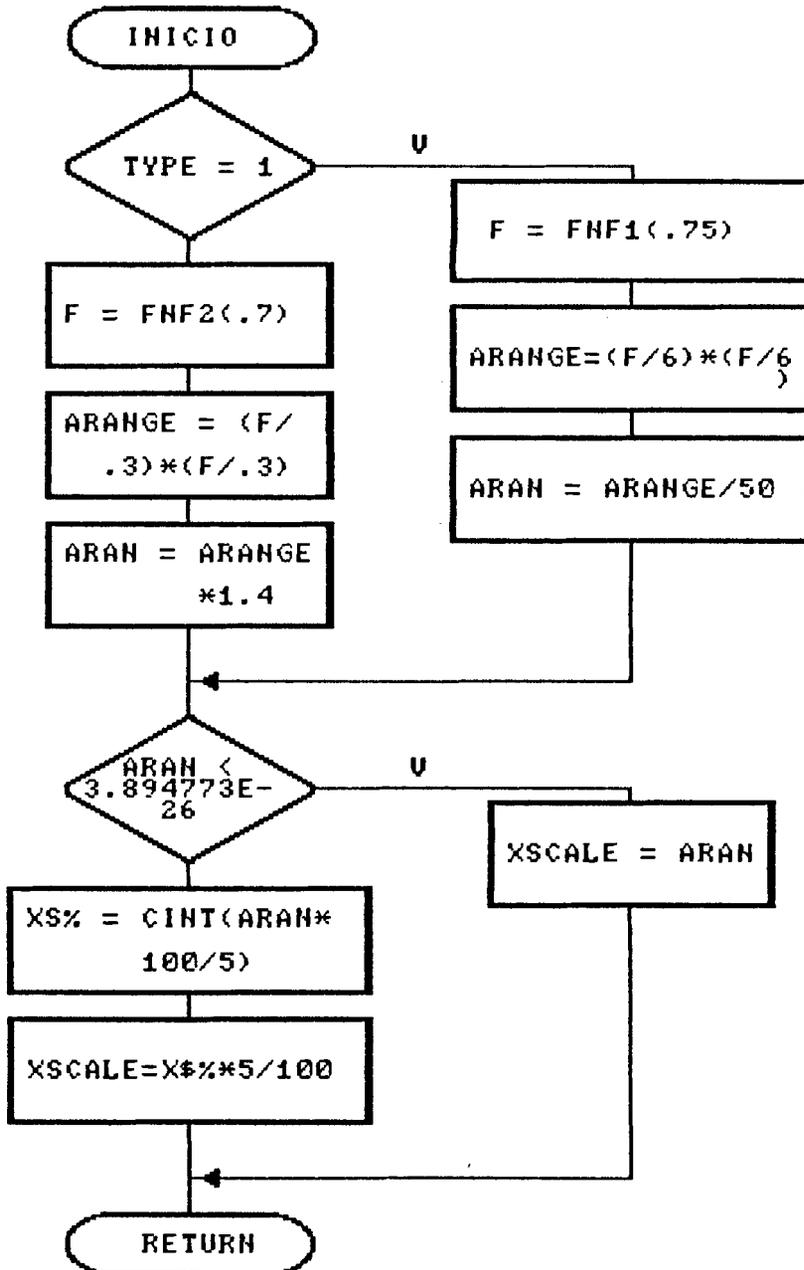
## 3.3.3 SUBPROGRAMA PARA PROBETAS W.O.L. TIPO T Y TIPO CTS



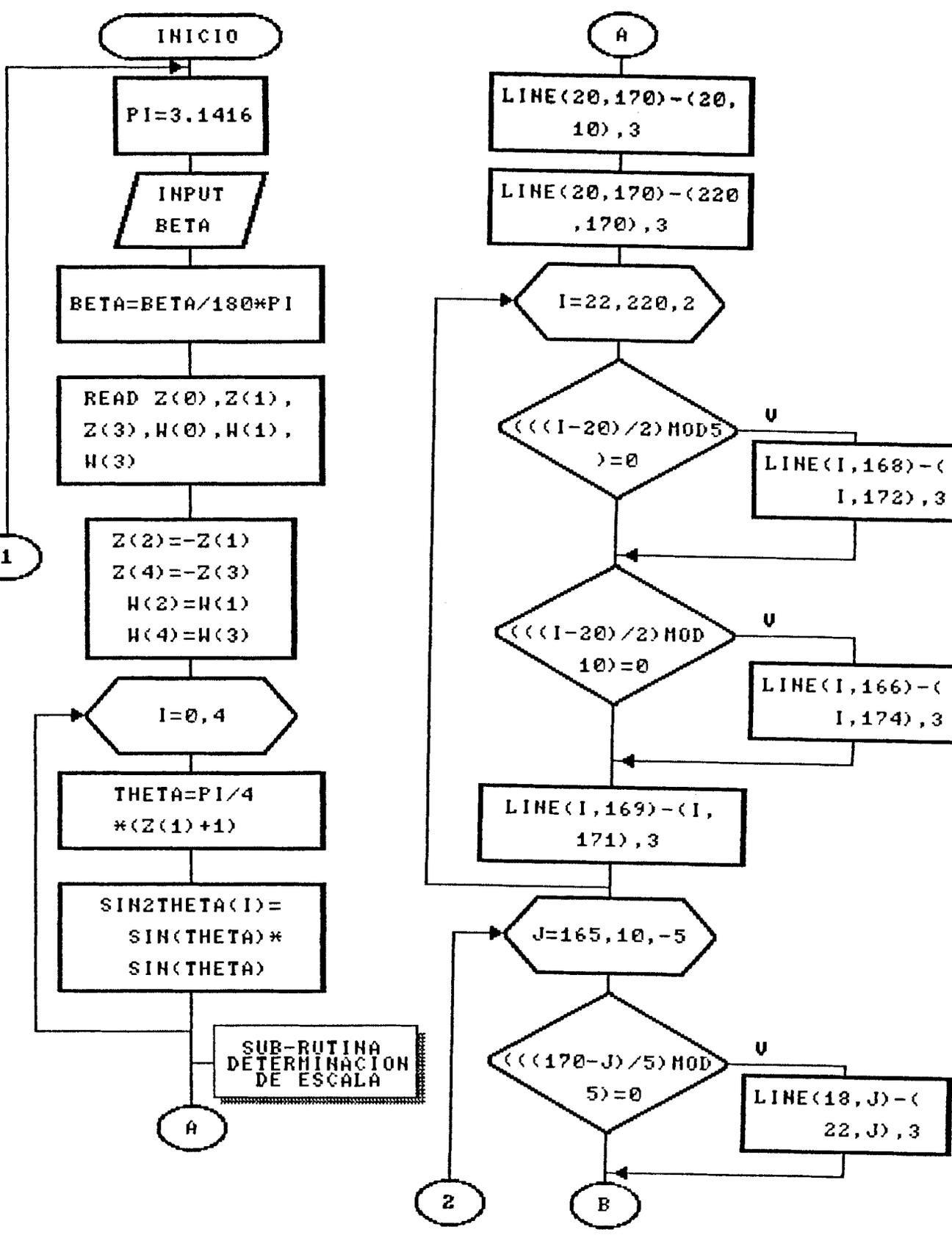


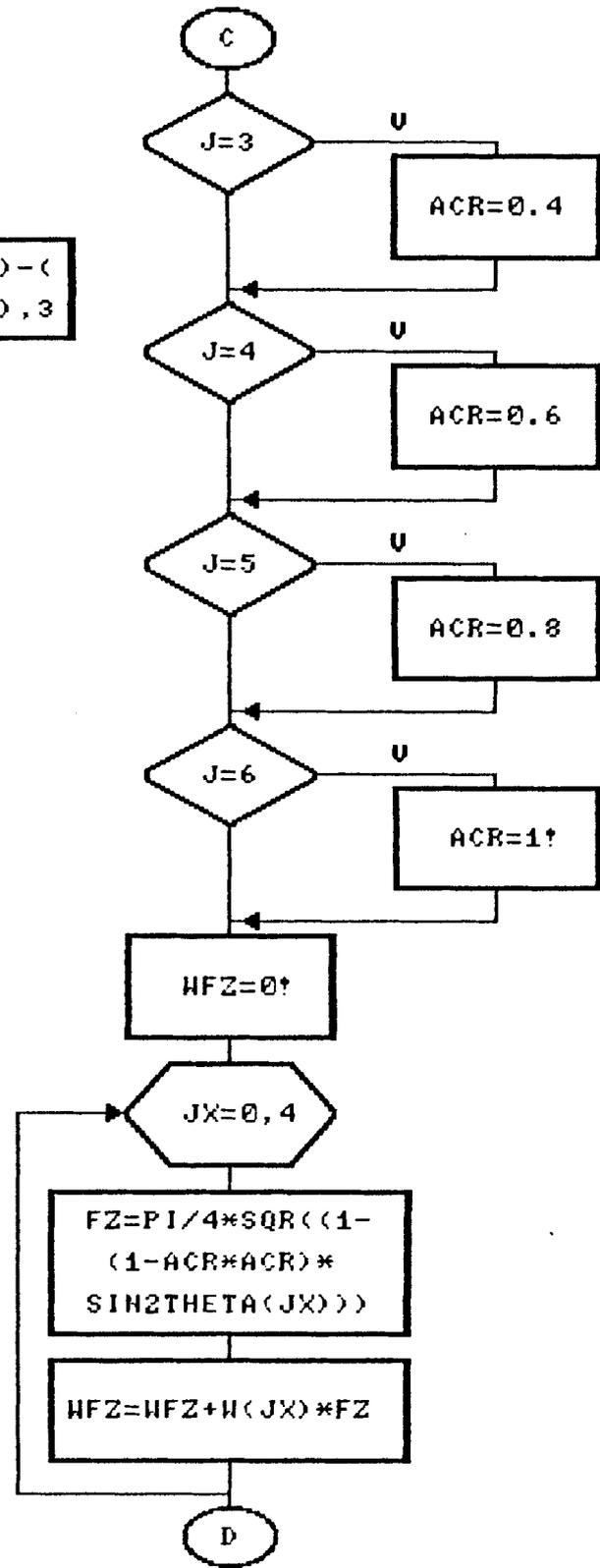
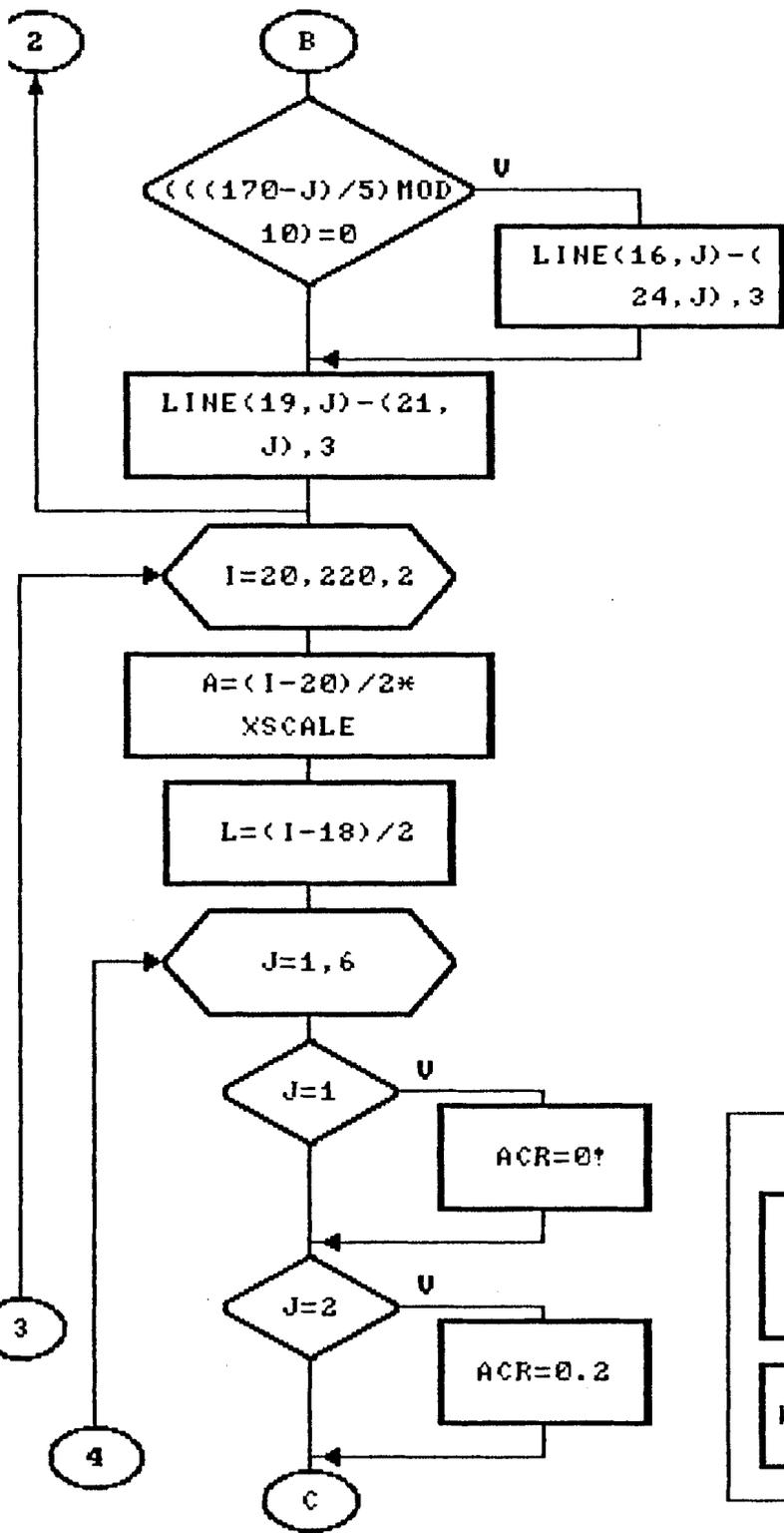


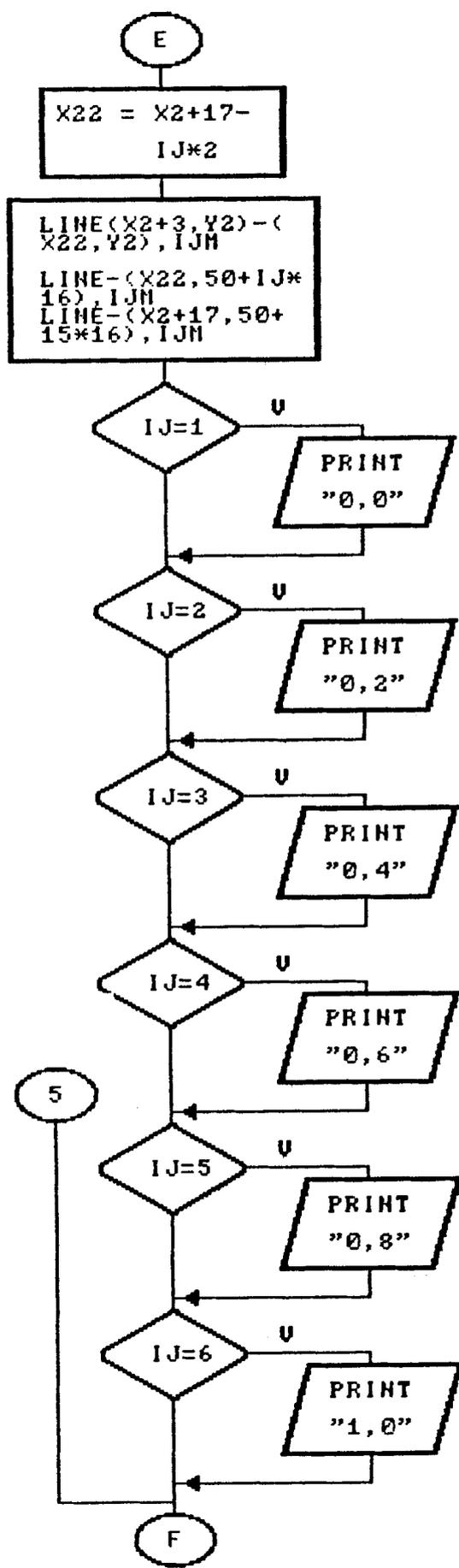
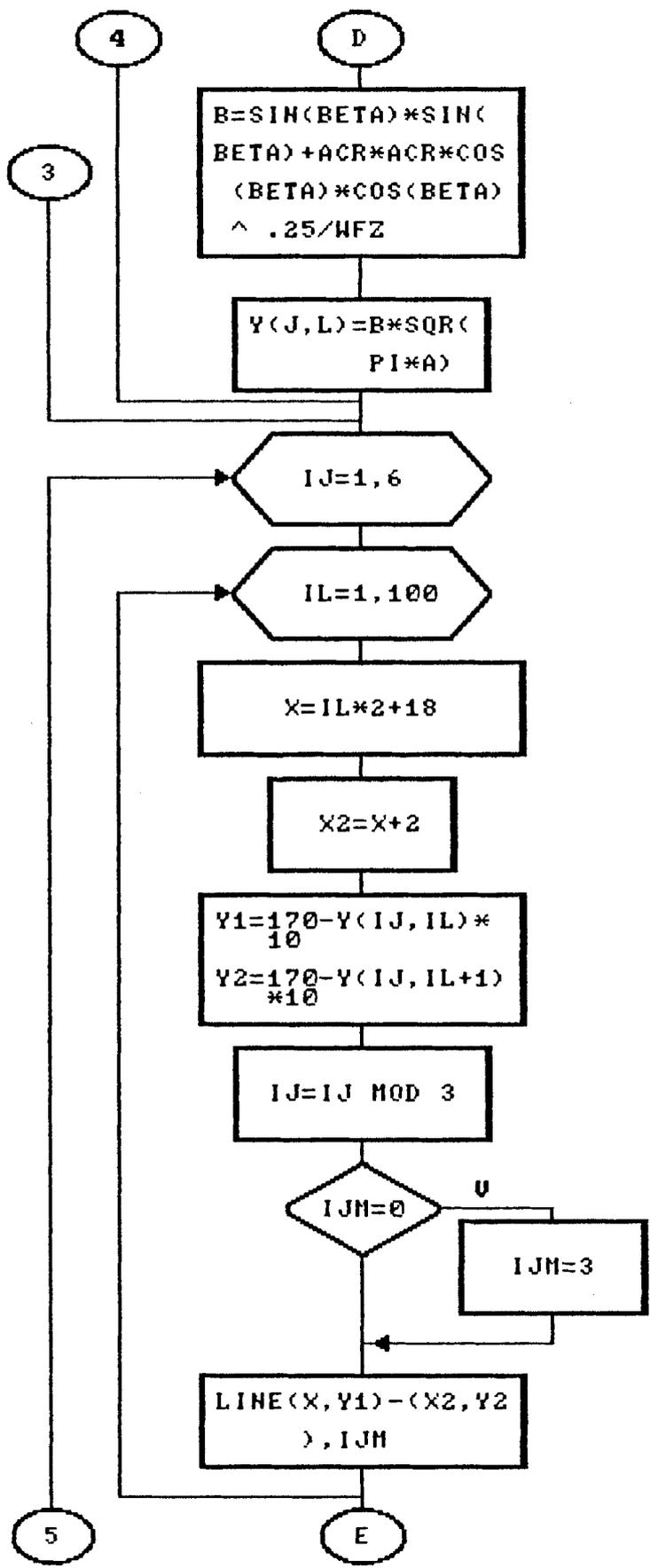
## SUB-RUTINA DETERMINACION DE ESCALA.



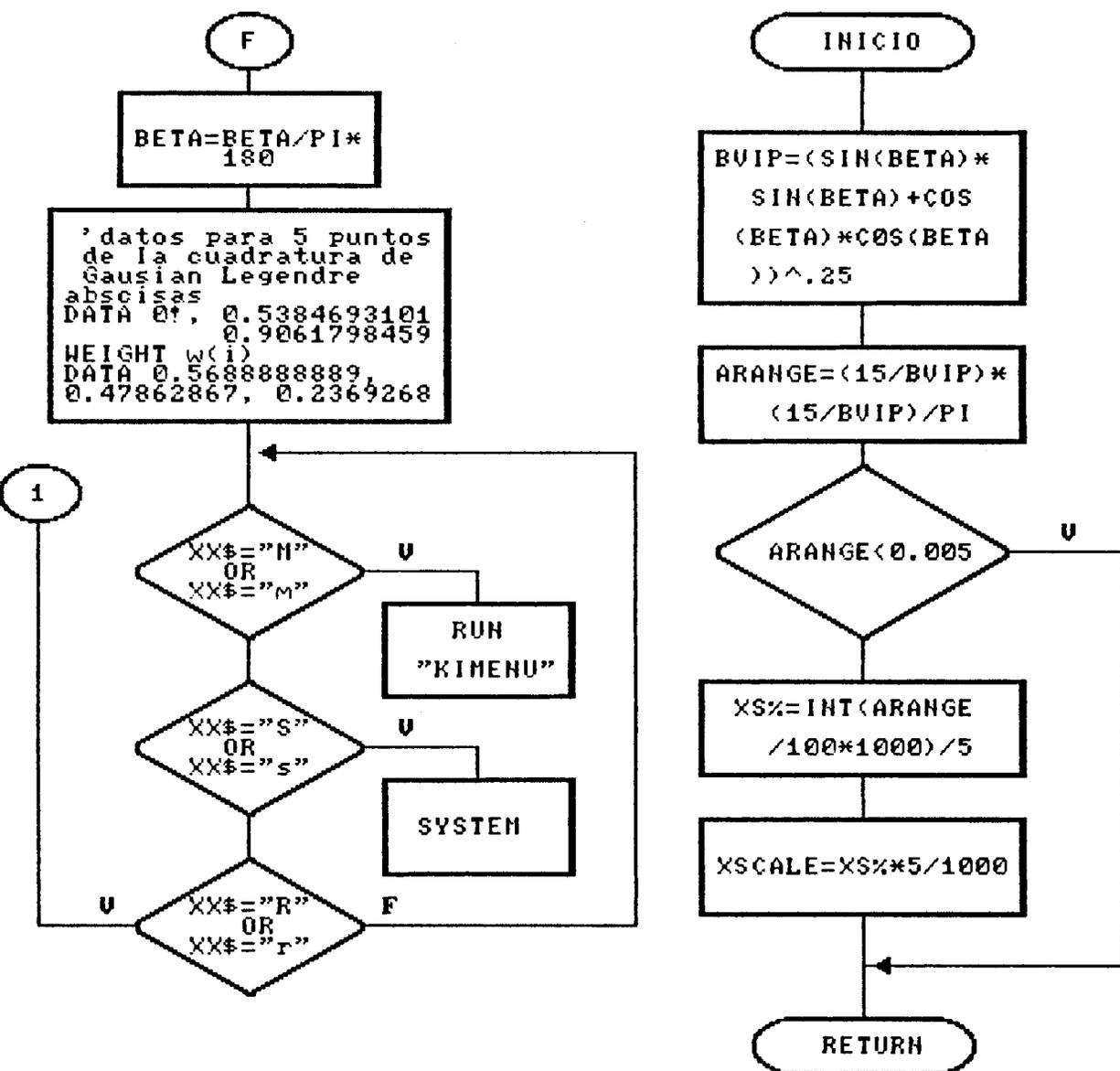
### 3.3.4 SUBPROGRAMA PARA PLANCHAS CON FISURAS INTERNAS ELIPTICAS O CIRCULARES.



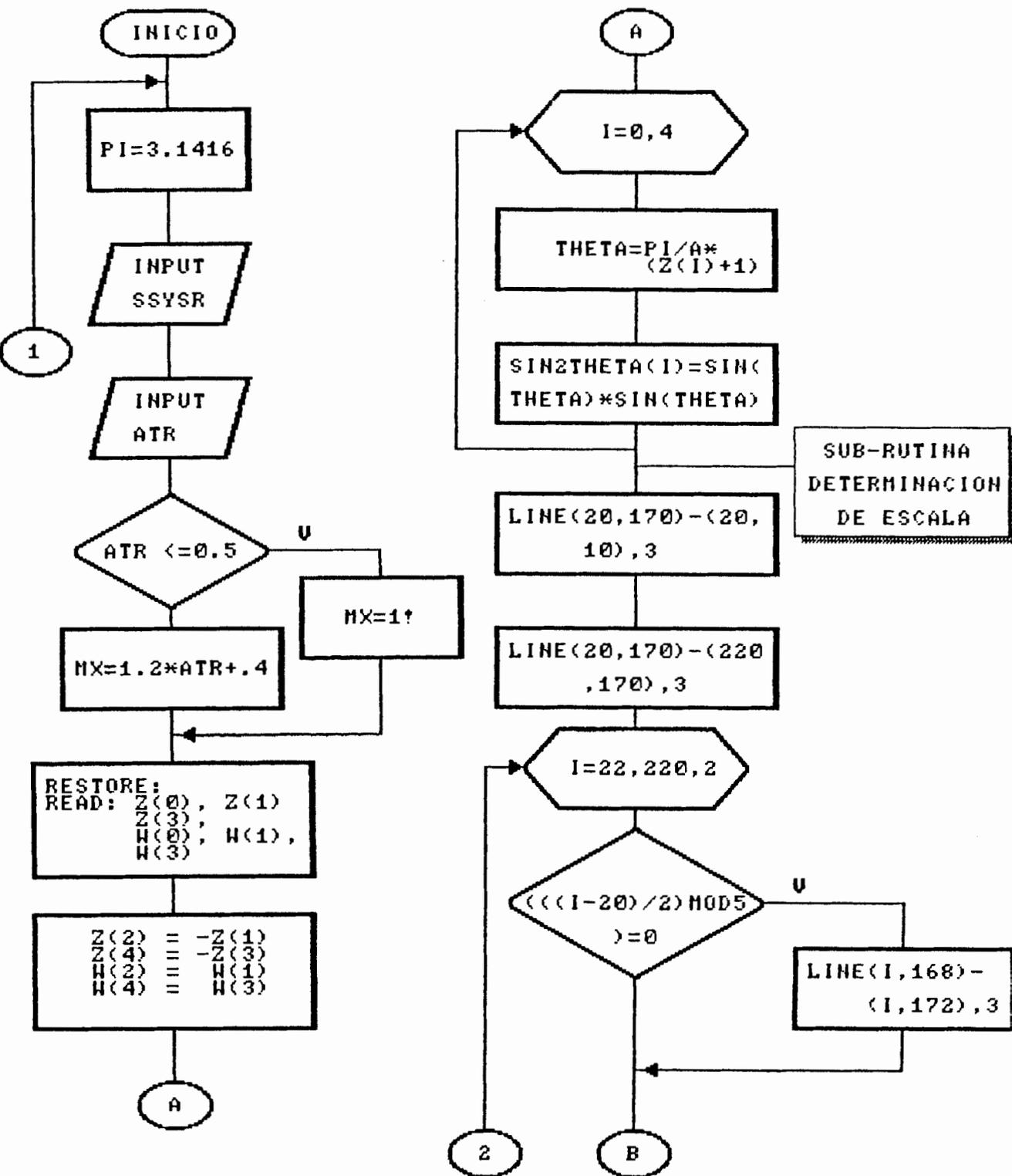


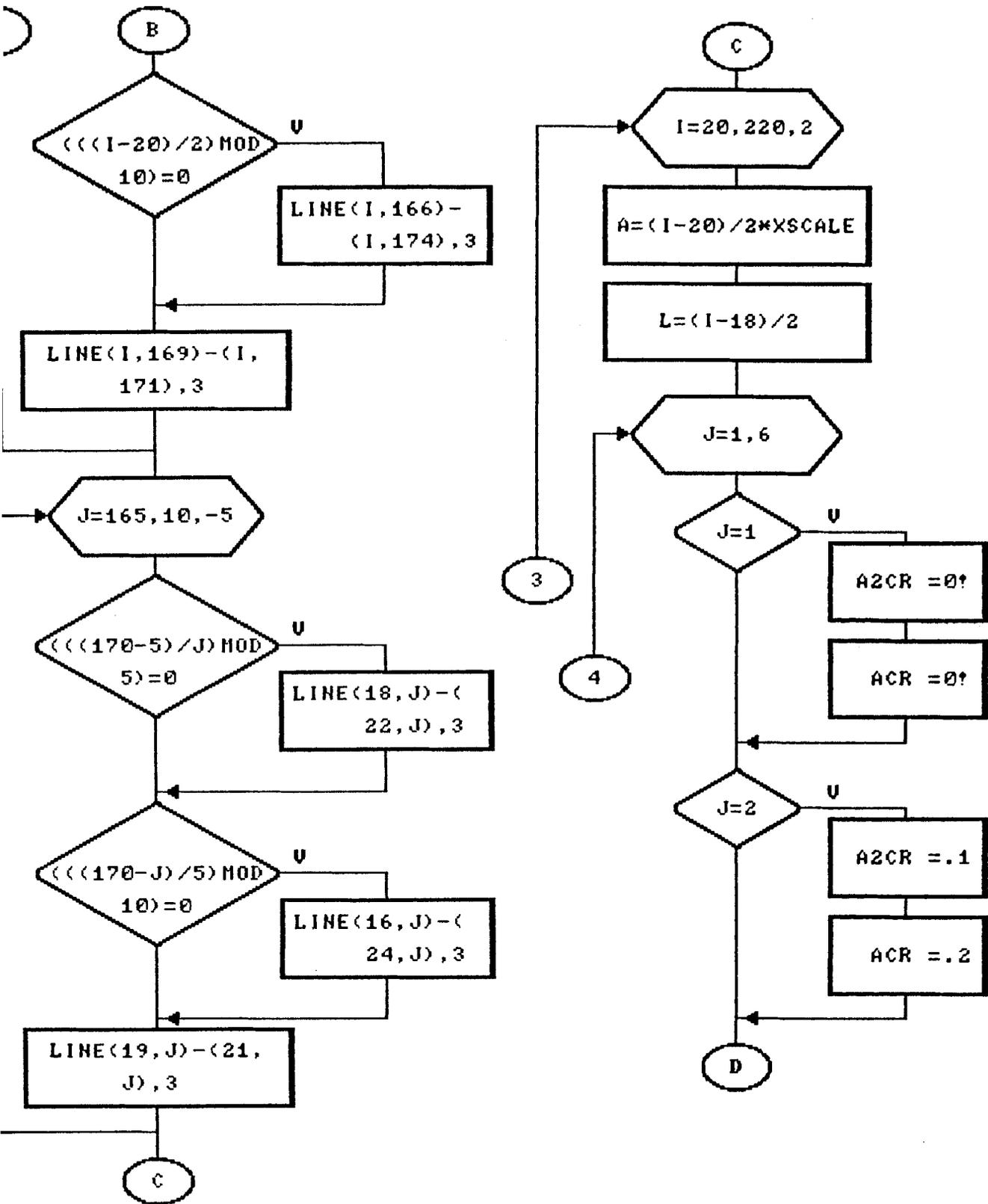


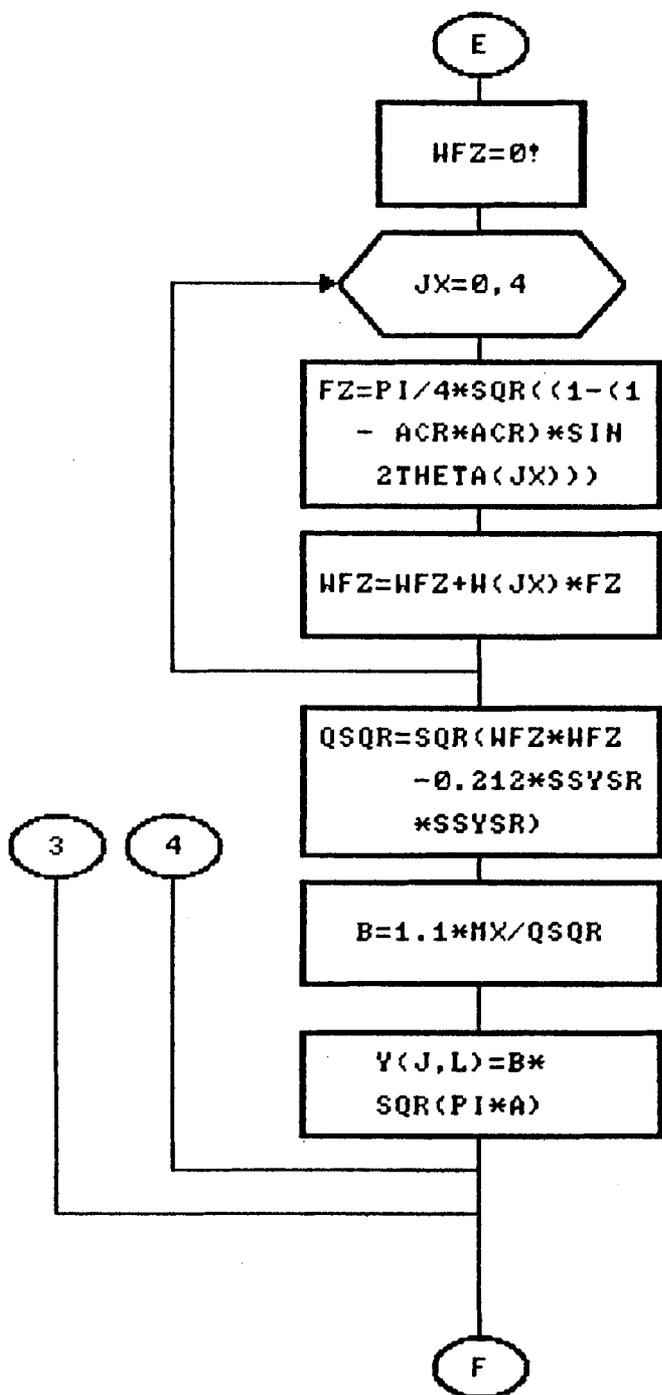
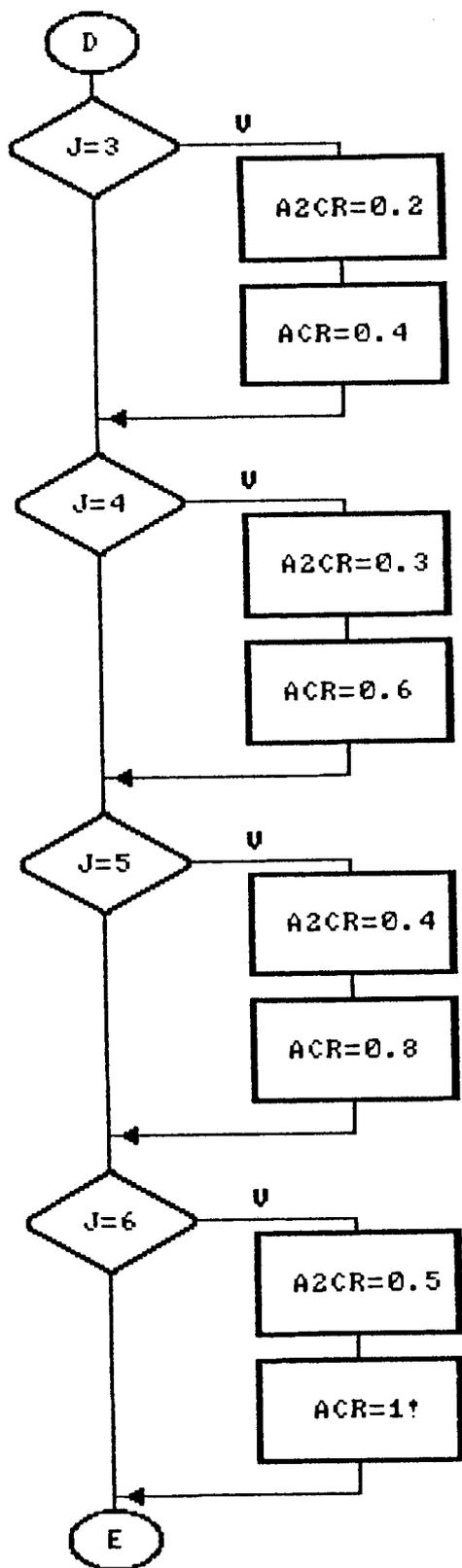
## SUB-RUTINA DETERMINACION DE ESCALA

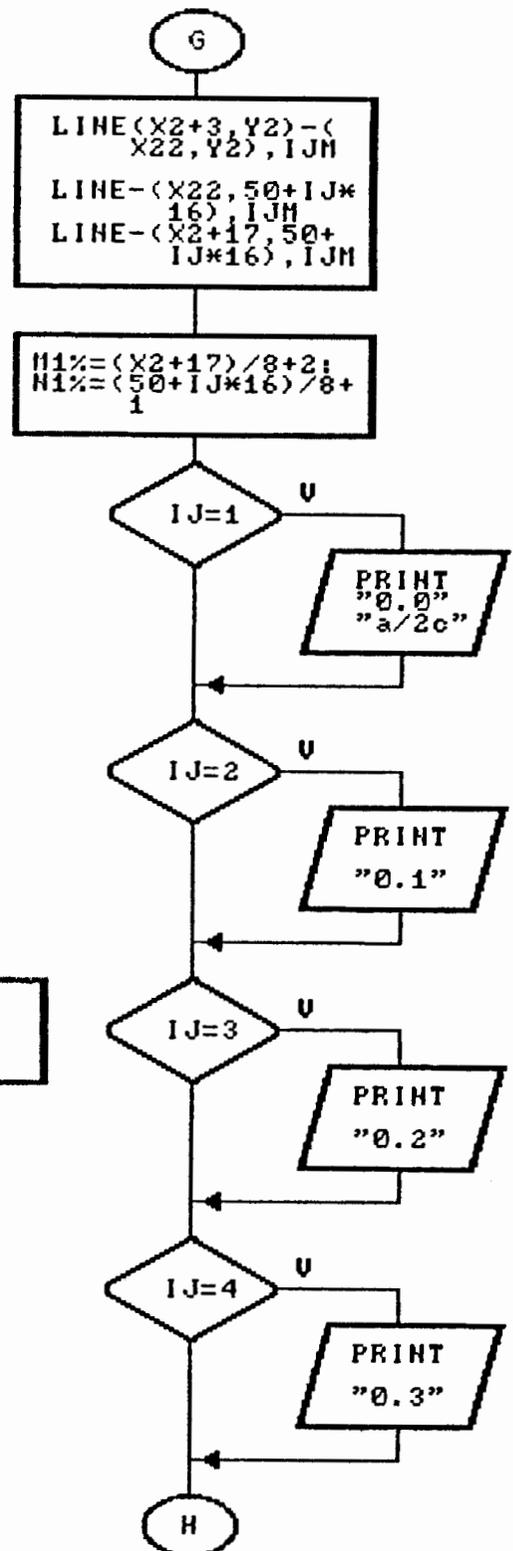
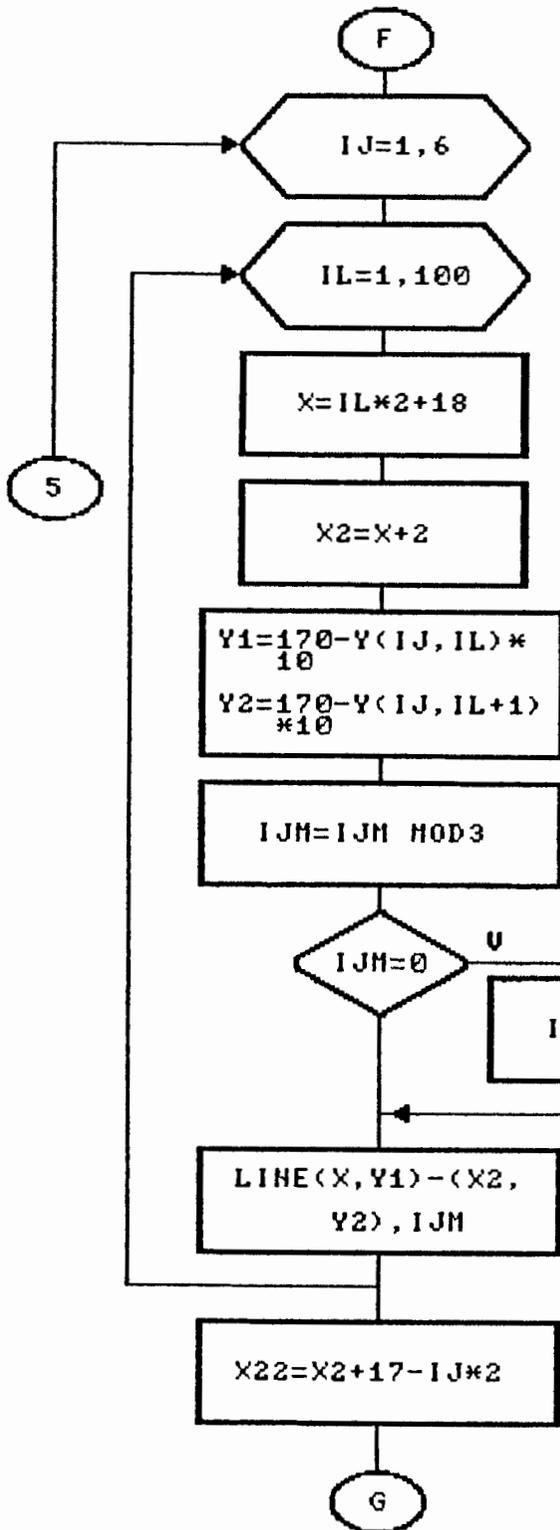


## 3.3.5 SUBPROGRAMA PARA PLANCHAS CON FISURAS SUPERFICIALES

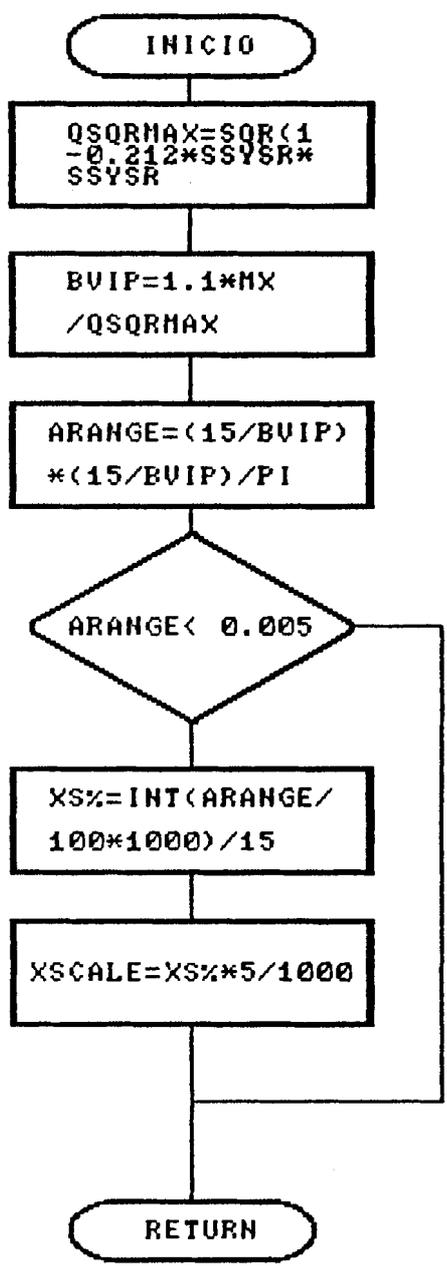
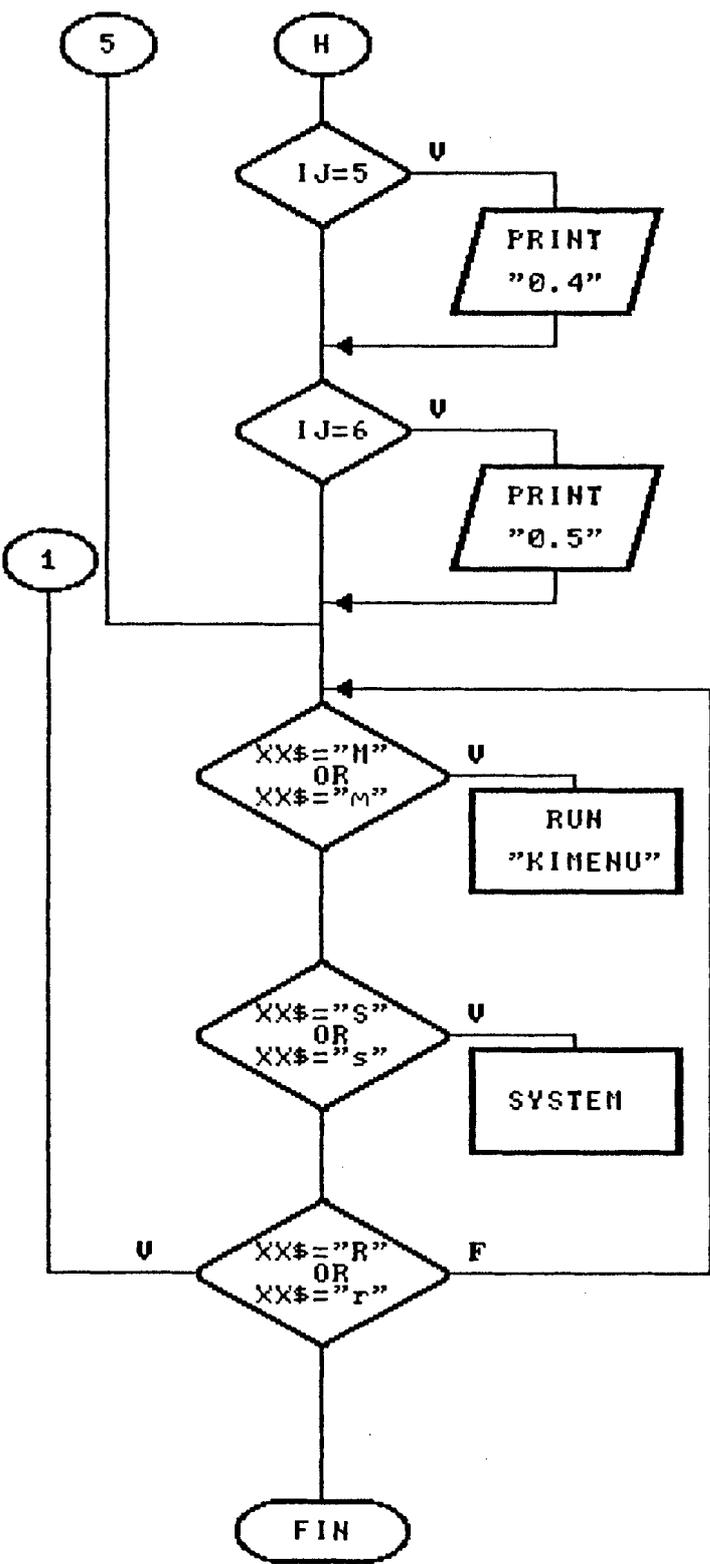




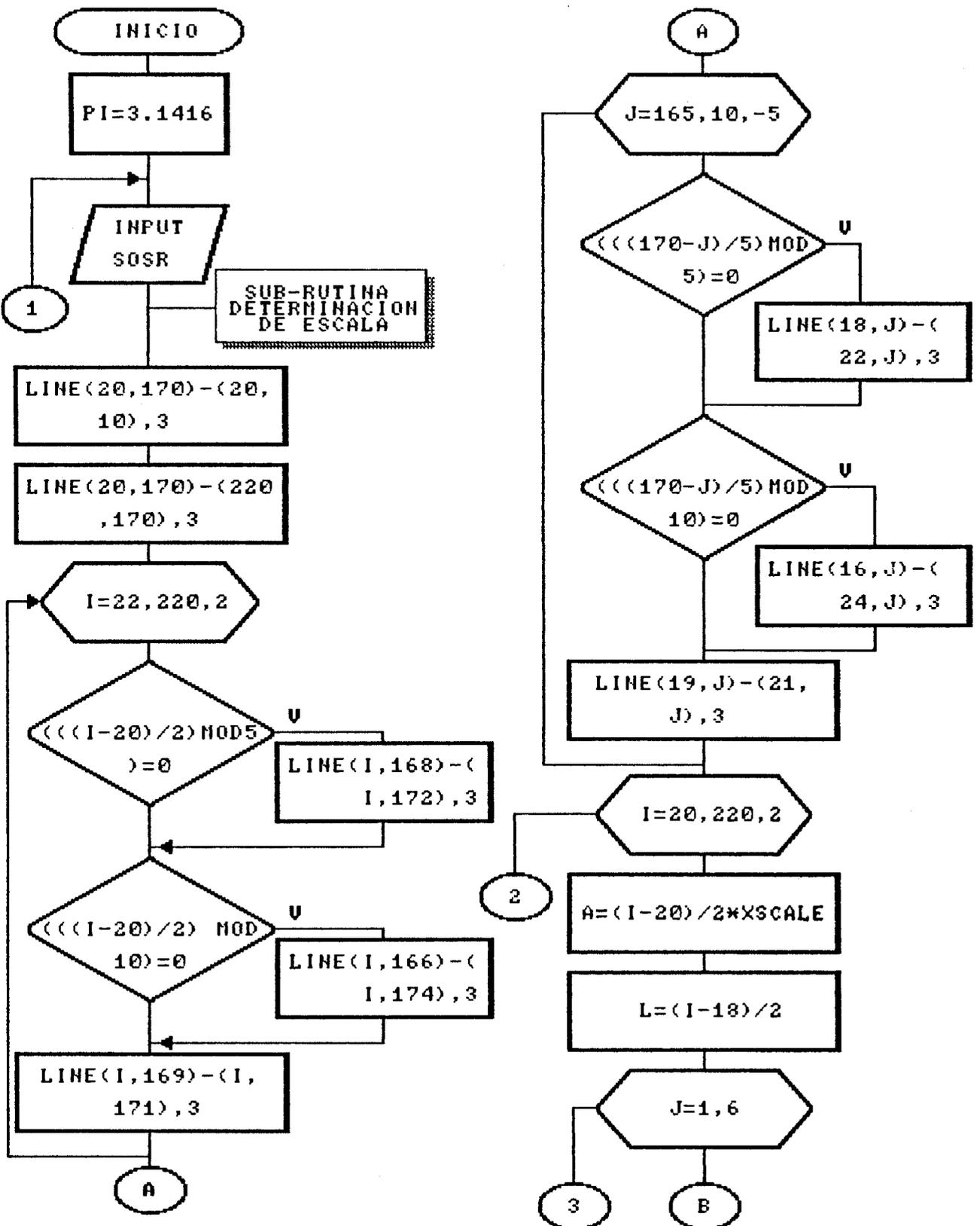


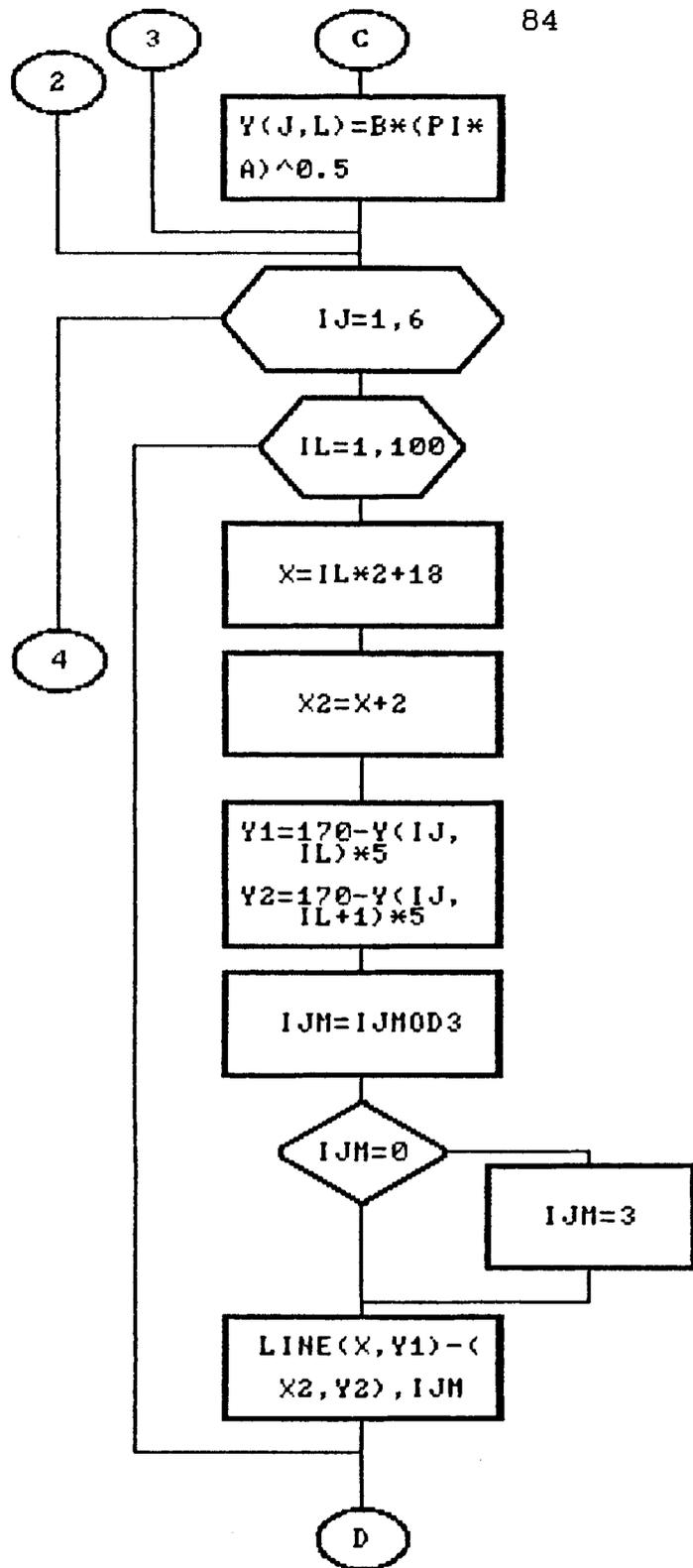
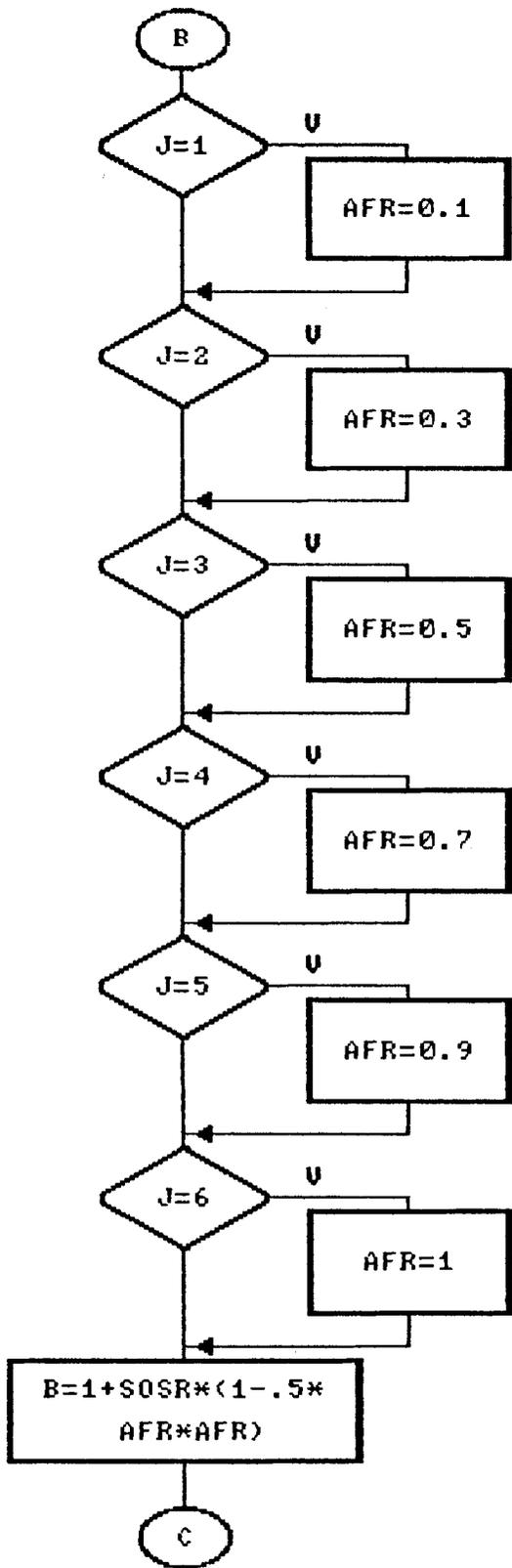


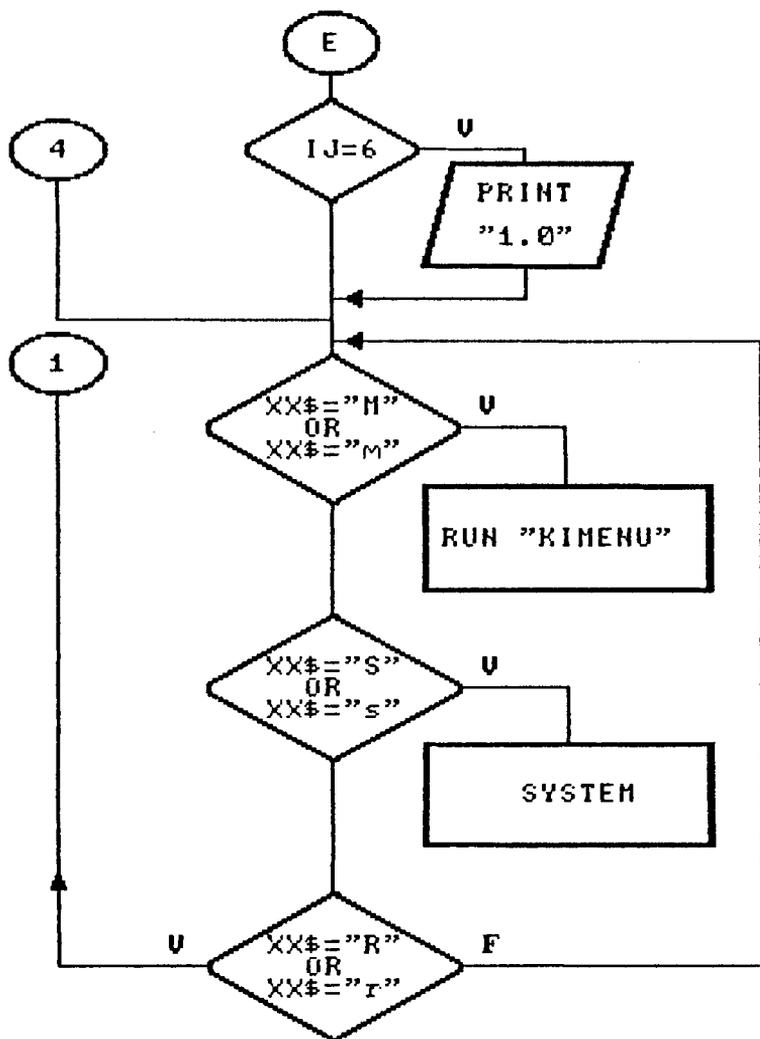
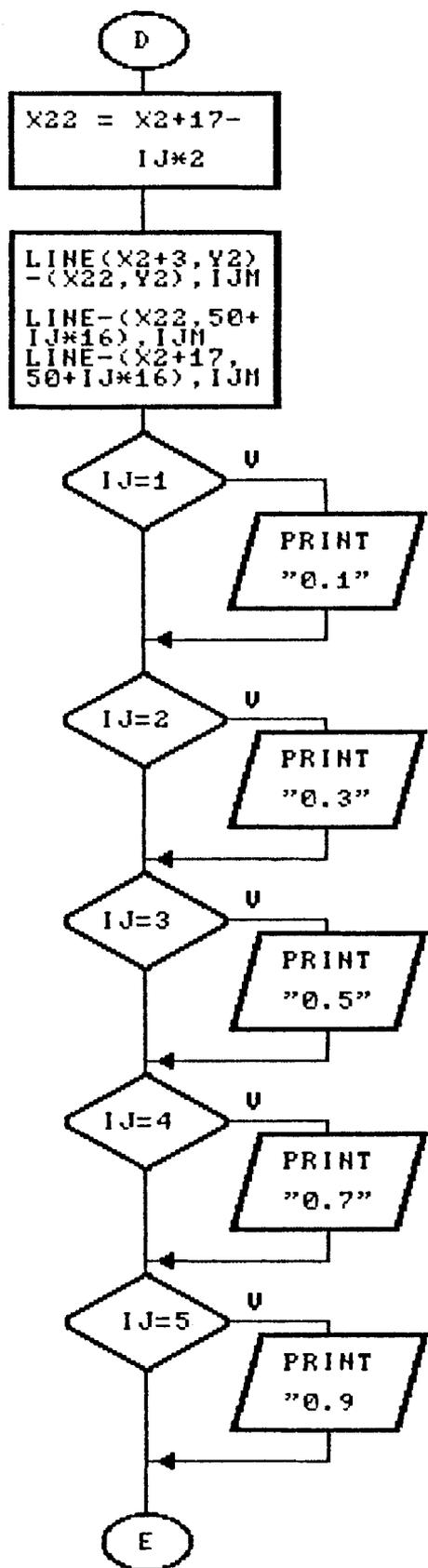
SUB-RUTINA DETERMINACION DE ESCALA



### 3.3.6 SUBPROGRAMA PARA PLANCHA SOLDADA CON FISURA PASANTE EN EL CENTRO EN PRESENCIA DE ESFUERZOS RESIDUALES.







---DISEÑO EN SOLDADURA UTILIZANDO COMPUTADORAS---

CALCULO DEL FACTOR DE INTENSIDAD DE ESFUERZOS

PROGRAMADO POR HSING-SEN STEVEN HSIAO,

REVISADO POR EL PROF.L. TSAI

ADAPTADO POR: TOMAS CASTILLO B.

DIRECTOR: ING. OMAR SERRANO U.

1992

MENU PRINCIPAL DEL FACTOR DE INTENSIDAD DE ESFUERZOS

- 1 ---> PLANCHA PLANA CON FISURAS PASANTES
  - 1.1 ---> UNA FISURA EN EL CENTRO DE LA PLANCHA
  - 1.2 ---> UNA FISURA EN CADA EXTREMO
  - 1.3 ---> UNA FISURA EN UN EXTREMO
- 2 ---> FISURAS EN PROBETAS ENSAYADAS
  - 2.1 ---> ENSAYO DE FLEXION
  - 2.2 ---> ENSAYO WUL (EXTREMO ABIERTO CARGADO)
    - 2.2.1 ---> PROBETA TIPO T
    - 2.2.2 ---> PROBETA TIPO CTS
- 3 ---> FISURA ELIPTICA EN EL INTERIOR DE UNA PLANCHA
- 4 ---> FISURA SUPERFICIAL
- 5 ---> FISURA CENTRAL PASANTE EN UNA PLANCHA CON ESFUERZOS RESIDUALES
- 6 ---> CASO RESERVADO

INGRESE EL NUMERO DE LA PRIMERA CATEGORIA PARA CONTINUAR O,  
 INGRESE B' PARA SALIR AL BASICA O,  
 INGRESE Q' PARA VOLVER AL PROGRAMA PRINCIPAL

### 3.4 MANUAL DE OPERACIONES.

El usuario de este programa debe seguir el orden que se presenta a continuación para poder ejecutarlo:

- 1.- Si la computadora que se usa es una **IBM**, cargue el lenguaje **BASIC**, si es compatible cargue el lenguaje **GWBasic**, para luego llamar al programa **"GREET"**.
- 2.- Luego de cargar el programa, aparecerá una pantalla de bienvenida.
- 3.- A continuación, se muestra un menú, se debe seleccionar la opción 2 (KIC).

A continuación se presenta la pantalla de introducción y el menú principal del programa como el usuario vería su ejecución.

## CAPITULO IV

### APLICACION DEL PROGRAMA.

En este capítulo se utiliza el programa para determinar el factor de intensidad de esfuerzos de elementos mecánicos soldados. Se realiza un ejemplo de aplicación para las opciones del programa.



Las opciones 1.1 hasta la 4 en este programa pueden ser utilizadas para determinar el factor de intensidad de esfuerzos en planchas fisuradas sin cordón de soldadura o con cordón de soldadura sin esfuerzos residuales.

La opción 5 es para planchas soldadas que presentan esfuerzos residuales de tensión.



#### 4.1 SOLDADURAS FISURADAS SIN ESFUERZOS RESIDUALES.

Se presentan 5 casos, en cada caso se aplica una opción diferente del programa.

En el caso A se aplica la opción 1.1 del programa.

En el caso B se aplica la opción 1.2 del programa.

En el caso C se aplica la opción 1.3 del programa.

En el caso D se aplica la opción 3 del programa.

En el caso E se aplica la opción 4 del programa.

##### CASO A

Se va a construir un elemento mecánico soldado en forma de plancha de 500 mm de ancho. Se prevee que existirá una fisura pasante en el cordón de soldadura, tal como se muestra en la figura 4.1. El tamaño de la fisura debe ser mayor a 3mm para permitir su detección por un método de inspección no destructivo. El esfuerzo tensil máximo que debe soportar el elemento es de 30 Kg/mm<sup>2</sup>. El proceso de soldadura aplicado no produce esfuerzos residuales.

Las planchas ha soldarse serán de acero AISI 4340. Se dispone de dos tipos de electrodos A y B. Debe seleccionarse el electrodo más adecuado y se debe graficar el comportamiento del esfuerzo crítico vs.

la mitad del tamaño de la fisura con un factor de seguridad a la fractura frágil igual a 2.

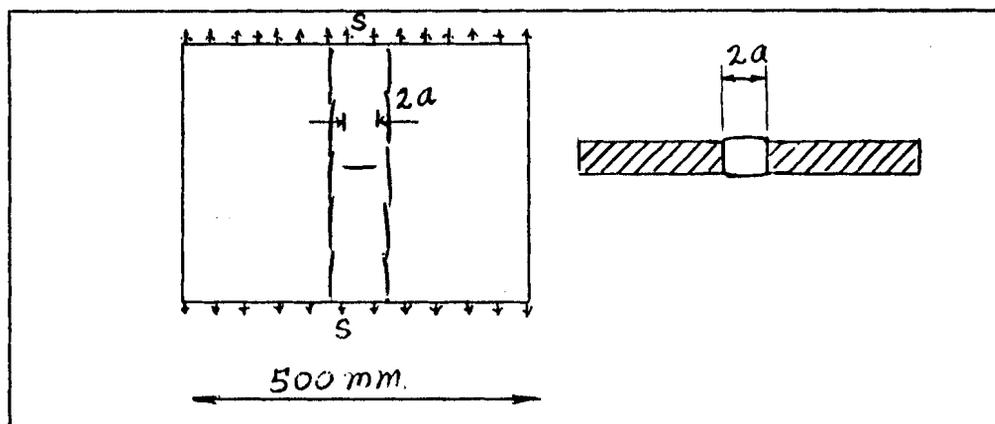


Fig. 4.1 Plancha soldada con una fisura pasante ubicada en el centro del cordón de soldadura.

Las propiedades del material de la plancha y de los electrodos se dan a continuación. REF.4

	$K_{Ic}$ ( $Kg/mm^{3/2}$ )	$S_{ys}$ ( $Kg/mm^2$ )
ELECTRODO A	194.85	154.59
ELECTRODO B	124.20	228.57
ACERO AISI 4340	233.88	136.73

Se estima un tamaño de fisura igual a 5 mm.

$$2a = 5 \text{ mm}$$

$$a = 2.5 \text{ mm}$$

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$D = 5 \text{ mm}$$

$$a/b = 0.01 \implies \text{Plancha de ancho infinito.}$$

## ELECTRODO A

$$r_P = 1/6\pi*(K_{Ic}/Sys)^2$$

$$r_P = 1/6\pi*(194.85/154.59)^2 = 0.084 \text{ mm}$$

$$D/r_P = 59.32 > 50 \Rightarrow \text{Se puede aplicar L.E.F.M}$$

## ELECTRODO B

$$r_P = 0.015 \text{ mm}$$

$$D/r_P = 333.33 > 50 \text{ Se puede aplicar L.E.F.M}$$

Seleccionando la opción 1.1 del programa, se obtiene el gráfico 4.2, ingresando  $a = 2.5 \text{ mm}$  y  $a/b = 0.074$  se tiene:

$$KI/S = 2.8 \text{ mm}^{1/2} \Rightarrow KI = 2.8 \text{ mm}^{1/2} * 30 \text{ Kg/mm}^2$$

$$KI = 84 \text{ Kg/mm}^{3/2}$$

A continuación se determina el factor de seguridad.

## ELECTRODO A

$$K_{Ic}/KI = 194.85/84.00 = 2.32$$

$$Sys/S = 154.59/30 = 5.15$$

## ELECTRODO B

$$K_{Ic}/KI = 124.20/84.00 = 1.48$$

$$Sys/S = 228.57/30 = 7.61$$

El electrodo A presenta un mayor factor de seguridad a la fractura frágil y un adecuado factor de seguridad a la fluencia por lo que se selecciona dicho electrodo.

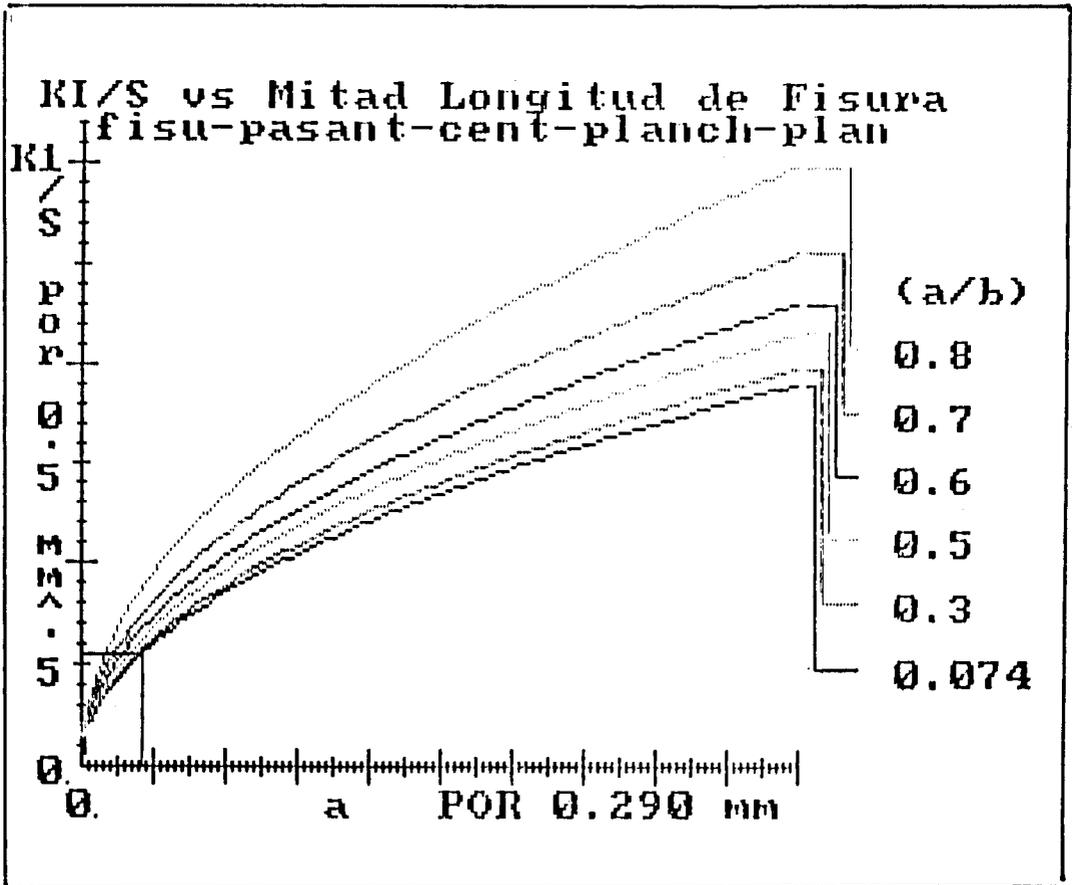


Fig. 4.2. Curva de  $KI/S$  vs. mitad del tamaño de fisura pasante en el centro.

Para obtener la curva de esfuerzos críticos vs la mitad del tamaño de la fisura, se debe ingresar:  $K_{ic}$ ,  $S_{ys}$ ,  $b$ . Además se debe especificar el factor de seguridad a la a fractura frágil, en este caso 2. La figura 4.3 presenta dicha curva en la que además se

indica el esfuerzo crítico ( $34.087 \text{ Kg/mm}^2$ ) que puede soportar la plancha con una fisura pasante en el centro de  $5.2 \text{ mm}$  ( $a = 2.6 \text{ mm}$ ).

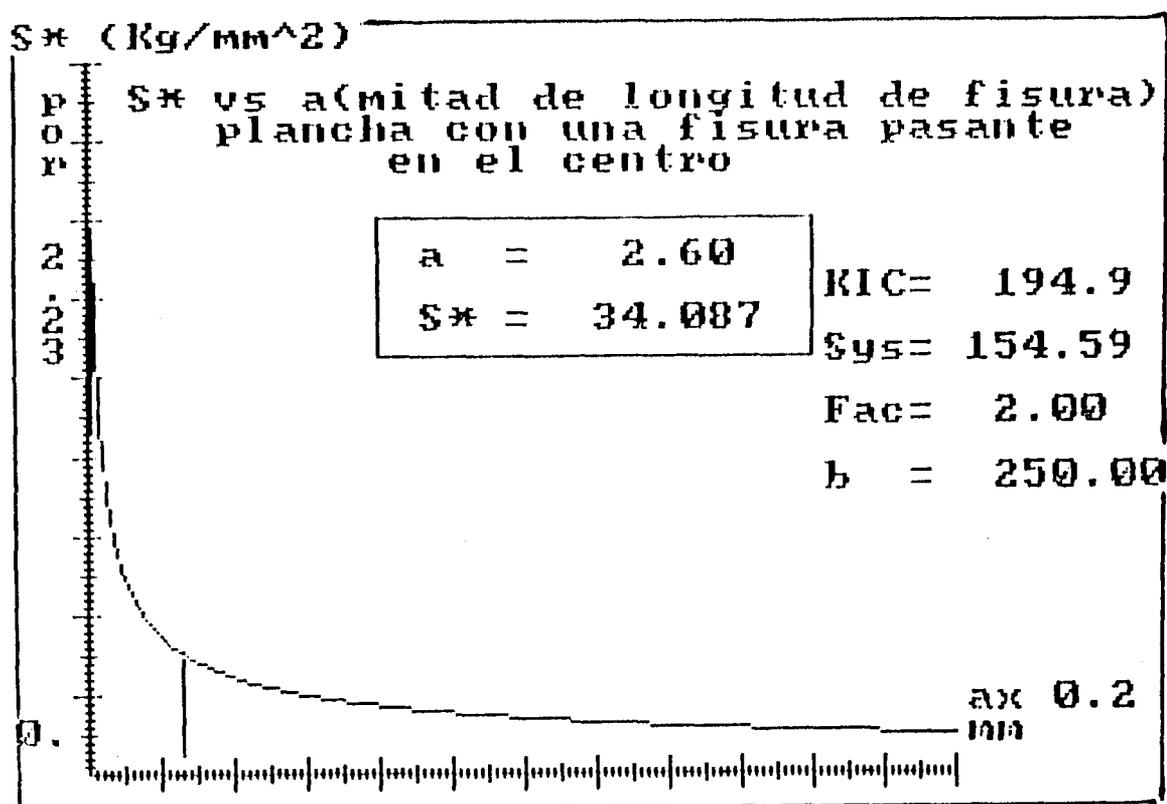


Fig. 4.3 Curva de esfuerzos críticos vs. mitad del tamaño de la fisura.

### CASO B.

Se desea construir una plancha soldada de acero Maragineg 350 de 400 mm de ancho que debe soportar un esfuerzo en tensión de  $20 \text{ Kg/mm}^2$ . Se prevee que esta plancha presenta una fisura en cada extremo y que estas se encuentran ubicadas en el cordón de soldadura, tal como se muestra en la figura 4.4. No existen esfuerzos residuales. La medida de la fisura debe ser mayor a 3 mm para que pueda ser detectada por el método de inspección usado.

Se debe seleccionar el electrodo más conveniente que presente un factor de seguridad a la fractura frágil igual a 2. Además para el electrodo seleccionado, se debe graficar la distribución de los esfuerzos críticos vs. el tamaño de fisura.

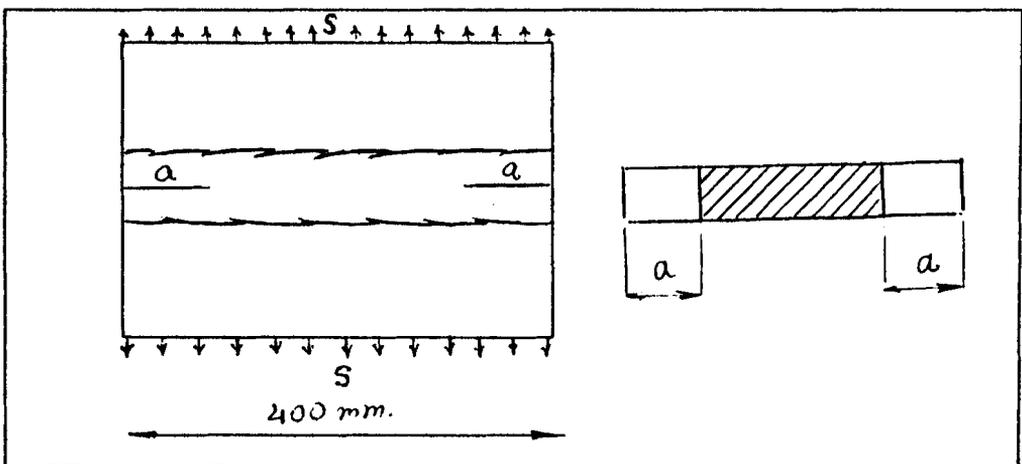


Fig. 4.4 Plancha soldada con una fisura pasante en los extremos.

Se estima  $a = 5 \text{ mm}$

$b = 200 \text{ mm}$

$D = 5 \text{ mm}$

$a/b = 0.025 < 0.074 \implies$  Plancha de ancho infinito.

Seleccionando la opción 1.2 del programa, se obtiene el gráfico 4.5, ingresando  $a = 5 \text{ mm}$  y  $a/b = 0.074$  se tiene:

$$KI/S = 4.3 \text{ mm}^{1/2} \implies KI = 4.3 \text{ mm}^{1/2} * 20 \text{ Kg/mm}^2$$

$$KI = 86 \text{ Kg/mm}^{3/2}$$

Usando un factor de seguridad de 2 a la fractura frágil

$$KI = 2 * 86 \text{ Kg/mm}^{3/2}$$

$$\implies KI = 172 \text{ Kg/mm}^{3/2}$$

Ahora se verifica si se puede usar L.E.F.M.

$$r_p = 0.067 \text{ mm}$$

$D/r_p = 5.000 \text{ mm} / 0.067 \text{ mm} = 74.627 > 50 \implies$  Se puede usar L.E.F.M.

Se puede seleccionar un electrodo cuya composición sea parecida a la del acero MARAGING 350, cuyas propiedades son:

$$K_{ic} = 177.43 \text{ Kg/mm}^{3/2} \quad \text{y} \quad S_{ys} = 158.16 \text{ Kg/mm}^2$$

Para obtener la curva de esfuerzos críticos vs el tamaño de fisura se ingresa:  $K_{ic}$ ,  $S_{ys}$ ,  $b$ , y el factor de seguridad igual a 2. Luego se obtiene el gráfico

4.6. En este caso el esfuerzo crítico para fisuras en los extremos de 5 mm de longitud es de 20.019 Kg/mm<sup>2</sup>.

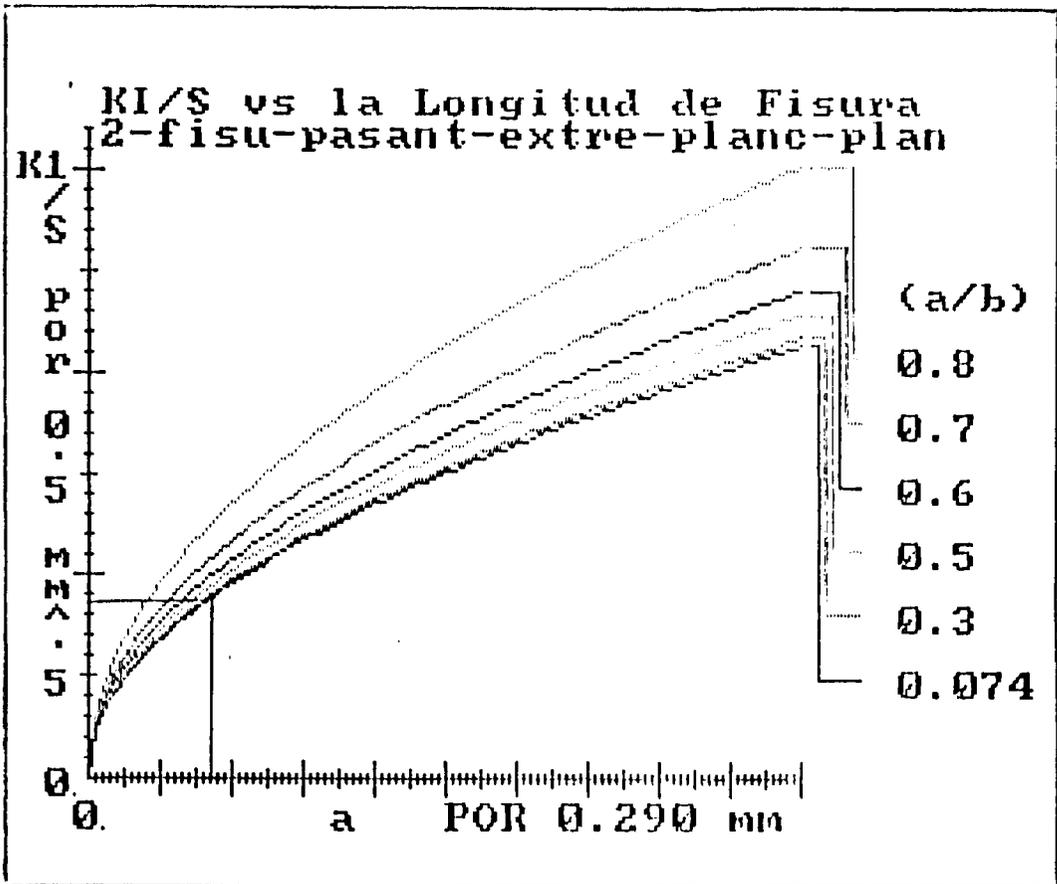


Fig. 4.5. Curvas de  $KI/S$  vs tamaño de fisura para una plancha soldada con una fisura pasante en los extremos.

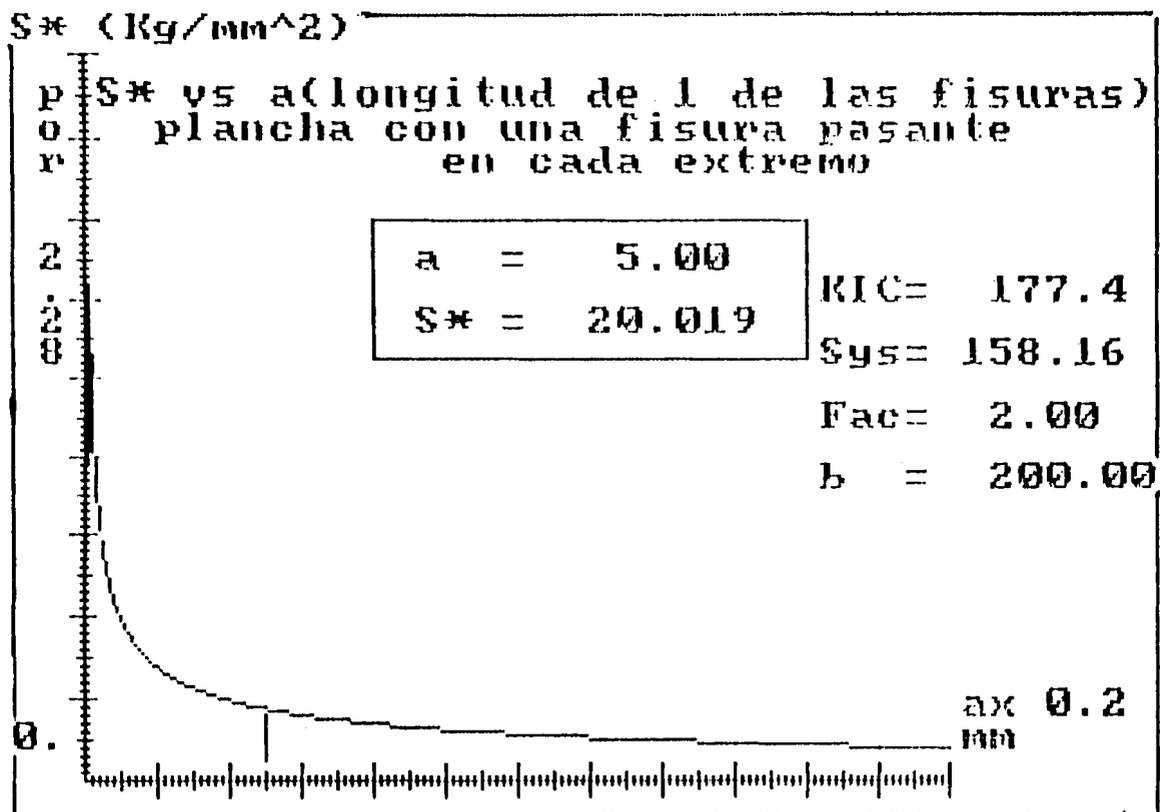


Fig. 4.6. Curva de distribución de esfuerzos críticos vs. tamaño de fisura, en una plancha soldada con una fisura pasante en los extremos.

## CASO C

Se va a construir una plancha soldada de acero AISI 4340 que debe soportar un esfuerzo en tensión de 25 Kg/mm<sup>2</sup>. El proceso de soldadura aplicado no produce esfuerzos residuales, se prevee que está plancha presentará una fisura en un extremo, como se muestra en la figura 4.7.

Se requiere que la medida de la fisura sea mayor a 3 mm para que pueda ser detectada por el método de inspección usado.

La plancha debe tener un ancho de 600 mm. Se tienen dos tipos de electrodos que pueden ser usados. Las propiedades de los materiales de los electrodos se dan a continuación. REF. 4

	K <sub>ic</sub> (Kg/mm <sup>3/2</sup> )	S <sub>ys</sub> (Kg/mm <sup>2</sup> )
ELECTRODO A	240.00	190.00
ELECTRODO B	124.20	182.05
ACERO AISI 4340	233.88	136.73

Se estima una medida crítica de la fisura igual a 5 mm y un factor de seguridad de dos.

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$D = 5 \text{ mm}$$

$a/b = 0.016 < 0.074 \Rightarrow$  Plancha de ancho infinito.

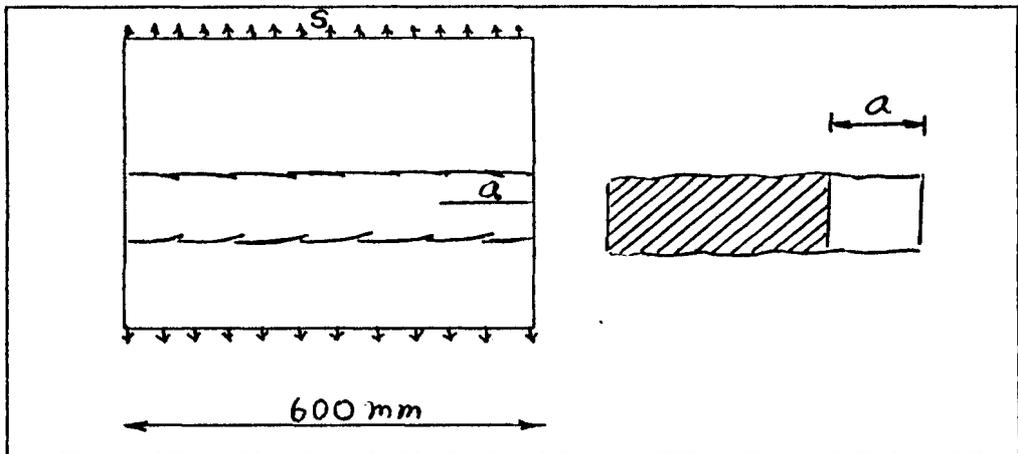


Fig. 4.7. Plancha soldada con una fisura pasante en un extremo.

ELECTRODO A

$$r_p = 0.084 \text{ mm}$$

$$D/r_p = 59.07 > 50 \Rightarrow \text{Se puede aplicar L.E.F.M}$$

ELECTRODO B

$$r_p = 0.025$$

$$D/r_p = 200 > 50 \Rightarrow \text{Se puede aplicar L.E.F.M}$$

Seleccionando la opción 1.3 del programa se obtiene el gráfico 4.8. Ingresando  $a = 5 \text{ mm}$  y  $a/b = 0.074$  se tiene:

$$KI/S = 4.5 \text{ mm}^{1/2} \Rightarrow KI = 4.5 \text{ mm}^{1/2} * 25.0 \text{ Kg/mm}^2$$

$$KI = 112.5 \text{ Kg/mm}^2$$

ELECTRODO A

$$K_{Ic}/KI = 240.00/112.50 = 2.13$$

ELECTRODO B

$$K_{Ic}/K_I = 124.20/112.50 = 1.10$$

Por lo tanto se escoge el electrodo A porque es el único de los dos electrodos que proporciona un factor de seguridad mayor a dos a la fractura frágil.

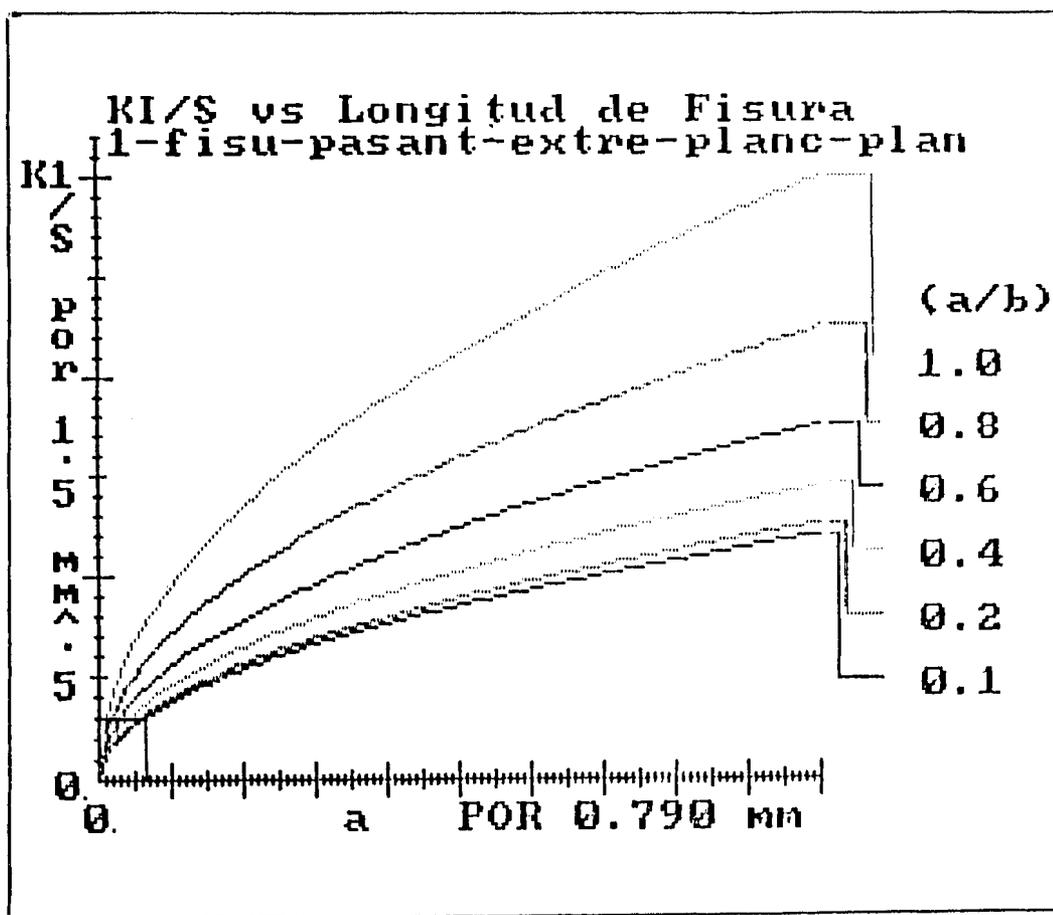


Fig. 4.8. Curvas de  $K_I/S$  vs. tamaño de fisura para una plancha soldada con una fisura pasante en un extremo.

Para obtener la curva de esfuerzos críticos vs el tamaño de la fisura se debe ingresar:

K<sub>ic</sub>, S<sub>ys</sub>, b y el factor de seguridad. Luego se obtiene la figura 4.9, en donde se observa que el esfuerzo crítico para la fisura existente es de 26.894 Kg/mm<sup>2</sup>.

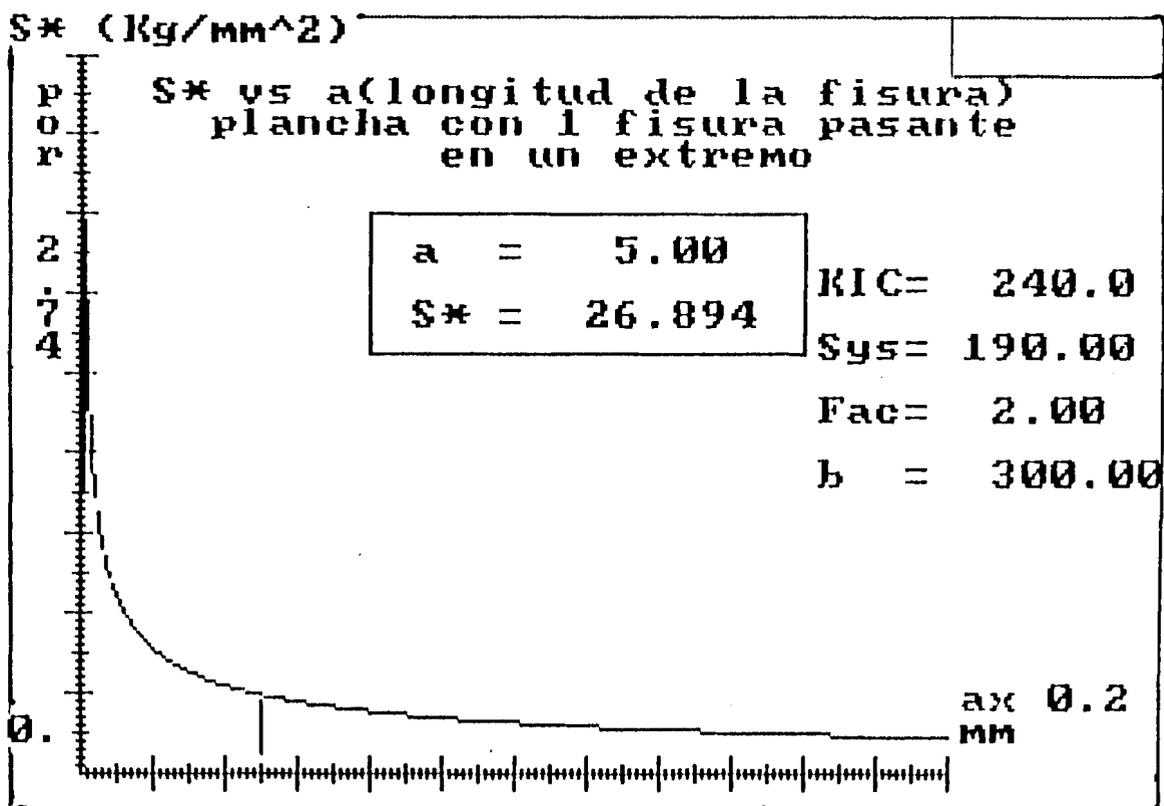


Fig. 4.9 Curva de esfuerzos críticos vs. tamaño de la fisura, para una plancha soldada con una fisura pasante en un extremo.

## CASO D

Se va a construir una plancha soldada de acero AISI 4340 de 600 mm de ancho como se muestra en la figura 4.10. Se prevee que en el cordón de soldadura debido a falta de fusión se producirá una fisura interna de forma elíptica. La plancha debe soportar un esfuerzo de  $30 \text{ Kg/mm}^2$ . Determinar las propiedades que debe tener el cordón de soldadura, si se estima que la fisura debe tener una longitud ( $2c$ ) mayor a 15 mm. y un ancho ( $2a$ ) mayor a 5 mm. Se debe diseñar con un factor de seguridad de 2 a la fractura frágil.

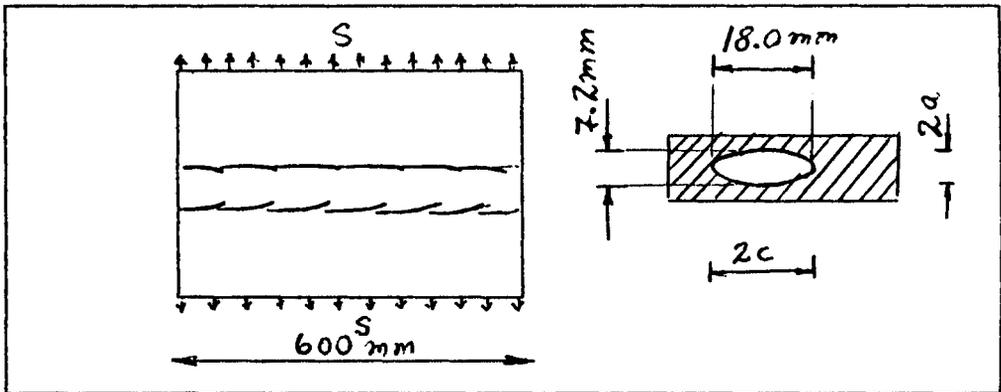


Fig. 4.10. Plancha soldada con una fisura elíptica interna.

Se estima  $2c = 18.0 \text{ mm}$  y  $2a = 7.2 \text{ mm}$

$$\Rightarrow a/c = 3.6/9.0 = 0.4$$

$$2a = 7.2 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm.}$$

$$2c = 18.0 \text{ mm}$$

$$2c/b = 18 \text{ mm}/300 \text{ mm} = 0.06 \Rightarrow \text{Plancha de ancho}$$

infinito.

Seleccionando la opción 3 e ingresando  $BETA = 90^\circ$ , se obtiene la figura 4.11. Ingresando  $a/c = 0.4$  y  $a = 3.6$  mm se obtiene:

$$KI/S = 2.9 \text{ mm}^{1/2} \implies KI = 2.9 \text{ mm}^{1/2} * 30 \text{ Kg/mm}^2$$

$$KI = 87 \text{ Kg/mm}^{3/2}$$

Tomando un factor de seguridad de 2 a la fractura frágil y de 4 a la fluencia, se tiene:

$$KI = 174 \text{ Kg/mm}^{3/2}$$

$$S = 4 * 30 \text{ Kg/mm}^2 = 120 \text{ Kg/mm}^2$$

Por lo tanto el material del cordón de soldadura, debe tener las siguientes propiedades.

$$K_{ic} \geq 174 \text{ Kg/mm}^{3/2}$$

$$S_{ys} \geq 120 \text{ Kg/mm}^2$$

Se comprueba si se puede usar L.E.F.M

$$r_p = 1/6\pi * (K_{ic}/S_{ys})^2$$

$$r_p = 0.11$$

$$D = 18 \text{ mm}$$

$$D/r_p = 161.37 \text{ mm.}$$

$\implies D/r_p > 50$ , si se puede usar L.E.F.M

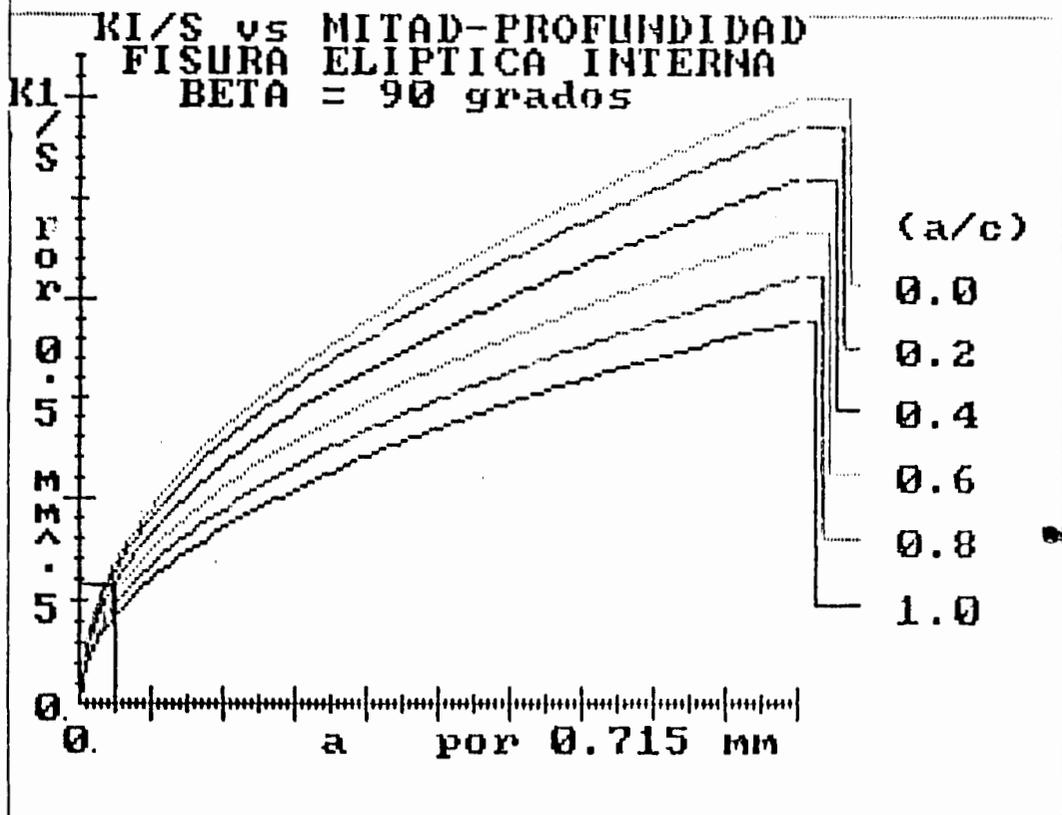


Fig. 4.11. Curvas de  $KI/S$  vs. mitad de la profundidad de la fisura elíptica interna en una plancha soldada.

## CASO E

Se ha detectado una fisura superficial longitudinal en el cordón de soldadura de un tanque a presión de acero de 1219.20 mm de diámetro (d). La fisura tiene 25.4 mm de profundidad y 127 mm de largo, el espesor (B) de la plancha del tanque es de 50.8 mm. El tanque tiene una longitud de 4876.8 mm y esta sometido a una presión interna  $P_t$ : de 2.108 Kg/mm<sup>2</sup>. Las propiedades del material del electrodo de soldadura y del material de la plancha se dan a continuación. Se requiere determinar el factor de seguridad a la fractura frágil y a la fluencia. El tanque se muestra en la figura 4.12.

	$K_{Ic}$ (Kg/mm <sup>3/2</sup> )	$S_{ys}$ (Kg/mm <sup>2</sup> )
ELECTRODO	425.13	70.29
ACERO	500.20	120.40

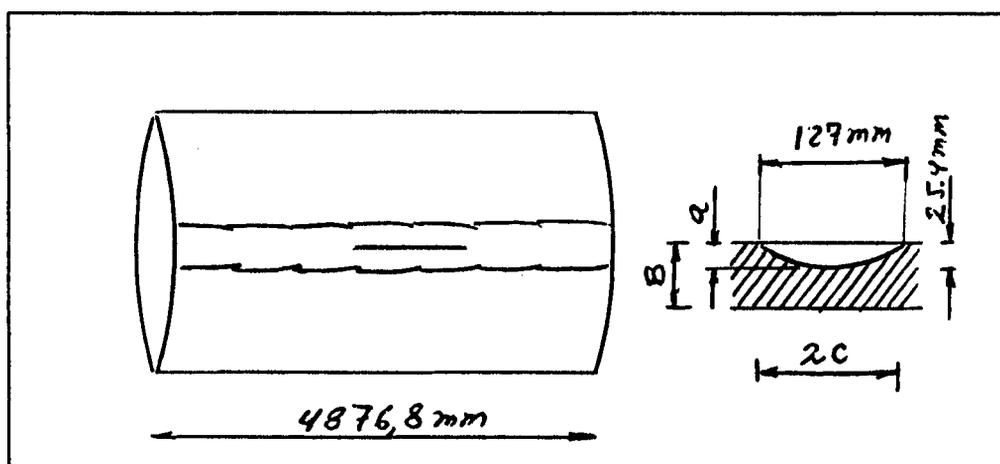


Fig. 4.12. Tanque sometido a presión con una fisura superficial.

$$a = 25.4 \text{ mm}$$

$$2c = 127 \text{ mm}$$

$$B = 50.8 \text{ mm}$$

$$D = 127 \text{ mm}$$

$$a/2c = 0.2$$

$$d = 1219.20 \text{ mm}$$

$$2c/b = 127.0 \text{ mm} / 2438.4 \text{ mm} = 0.05$$

0.05 < 0.074 ==> Plancha de ancho infinito.

Se usan las propiedades del electrodo, porque su tenacidad a la fractura es menor.

Se comprueba si se puede usar L.E.F.M

$$r_p = 1.94 \text{ mm}$$

$$D/r_p = 65.44 \Rightarrow \text{Se puede usar L.E.F.M}$$

Se determina S

$$S = P_t * d / 2 * B = (2.108 \text{ Kg/mm}^2 * 1219.2 \text{ mm}) / (2 * 50.8 \text{ mm})$$

$$S = 25.30 \text{ Kg/mm}^2$$

Se determina la relación S/Sys y a/B

$$S/Sys = (25.30 \text{ Kg/mm}^2) / (70.29 \text{ Kg/mm}^2) = 0.36$$

$$a/B = 25.4 \text{ mm} / 50.8 \text{ mm} = 0.50$$

Seleccionando la opción 4, e ingresando S/Sys = 0.36 y a/B = 0.5, se obtiene la figura 4.13, ingresando a = 25.40 mm. y a/2c = 0.2 en la figura 4.13, se tiene:

$$KI/S = 8.40 \text{ mm}^{1/2} \Rightarrow KI = 212.52 \text{ Kg/mm}^{3/2}$$

Determinando el factor de seguridad, se tiene:

$$K_{ic}/KI = (425.13 \text{ Kg/mm}^{3/2}) / (212.52 \text{ Kg/mm}^{3/2}) = 2.00$$

$$S/S_{ys} = (25.3 \text{ Kg/mm}^2) / (70.29 \text{ Kg/mm}^2) = 2.78$$

De esta manera se ha determinado los factores de seguridad requeridos para el tanque a presión.

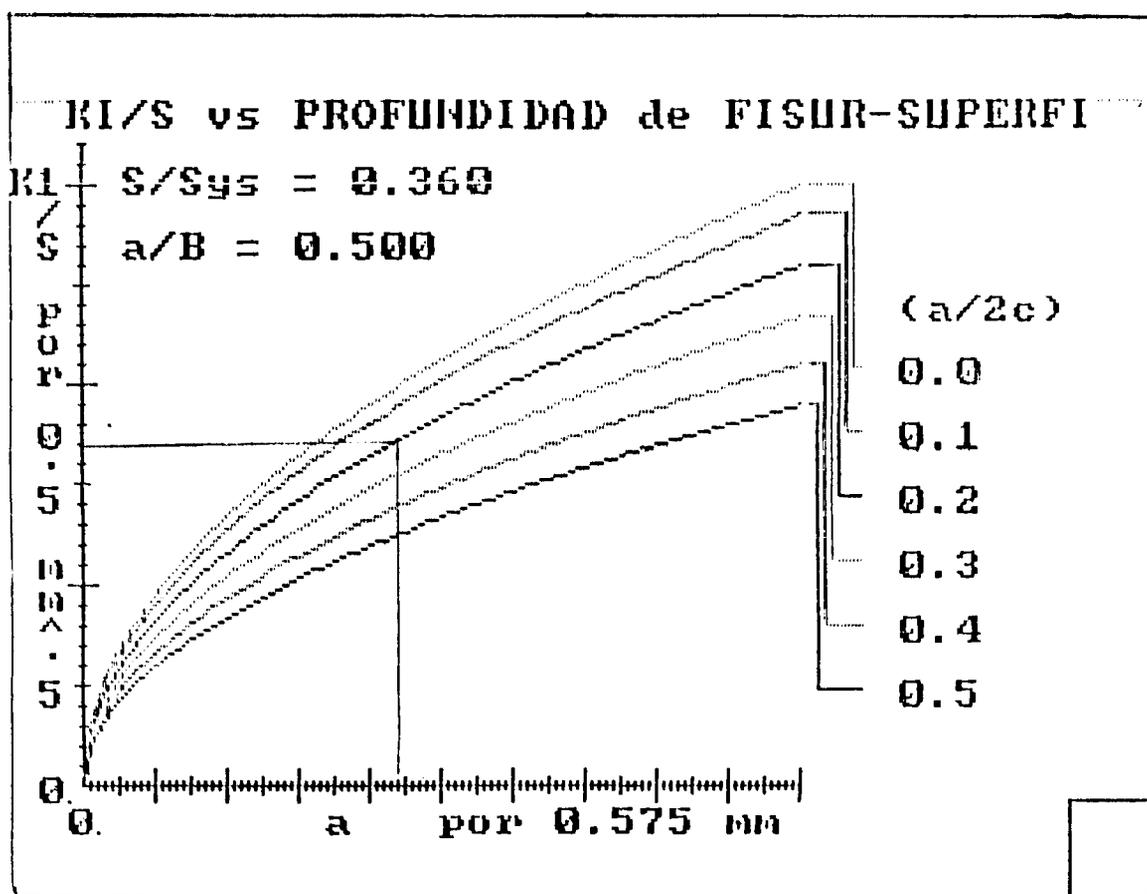


Fig.4.13. Curvas de KI/S vs profundidad de la fisura para  $S/S_{ys} = 0.36$  y  $a/B = 0.5$

#### 4.2 SOLDADURAS FISURADAS EN PRESENCIA DE ESFUERZOS RESIDUALES.

Se va a construir una plancha soldada que soporta un esfuerzo en tensión de  $20 \text{ Kg/mm}^2$ . Se prevee que en esta plancha existirá una fisura pasante ubicada en el centro del cordón. La plancha tiene un ancho de 600 mm. y se muestra en la figura 4.14. Debido al proceso de soldadura se introduce un esfuerzo residual de tensión de  $12 \text{ Kg/mm}^2$ . No se conoce la extensión de la zona afectada por los esfuerzos residuales. La plancha va ha ser construida de acero AISI 4340 usando un factor de seguridad de dos.

Se debe determinar el tamaño de fisura que causará la falla de la plancha por fractura frágil. Las propiedades mecánicas del material de las planchas y del electrodo son dadas a continuación.

	$K_{Ic} \text{ (Kg/mm}^{3/2}\text{)}$	$S_{ys} \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$
ACERO 4340	319.05	87.75
ELECTRODO	159.69	144.39

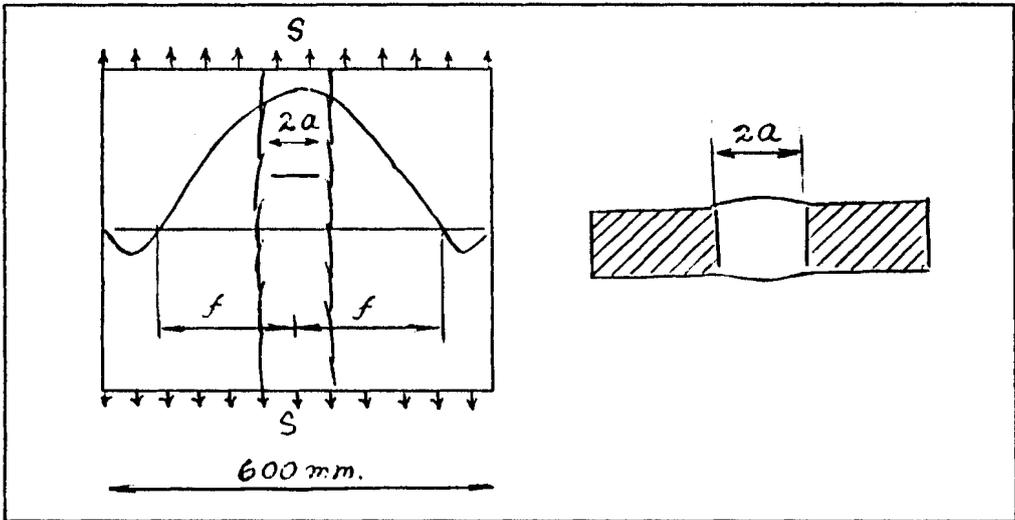


Fig. 4.14. Plancha soldada con fisura pasante en el centro en presencia de esfuerzos residuales.

Se usa las propiedades del electrodo por que su tenacidad a la fractura es menor.

$$(K_{Ic}/2)/S = ((159.69 \text{ Kg/mm}^3/2)/2)/20 \text{ Kg/mm}^2$$

$$\Rightarrow (K_{Ic}/2)/S = 4.00 \text{ mm}^{1/2}$$

$S_0$  = Esfuerzo residual.

$$S_0/S = (12 \text{ Kg/mm}^2)/20 \text{ Kg/mm}^2 = 0.60$$

Seleccionando la opción 5 del programa e ingresando la relación  $S_0/S = 0.60$ , se obtiene la figura 4.15. Luego ingresando con  $K_I/S = 4.00 \text{ mm}^{1/2}$  e intersectando las curvas de  $a/f$  constante, se obtiene el menor valor de  $a$  para la curva cuya relación de  $a/f$  es igual a 0.1.  $a = 2.24 \text{ mm}$

$$\Rightarrow 2a = 4.48 \text{ mm}, \Rightarrow D = 4.48 \text{ mm}.$$

Se comprueba si se puede usar L.E.F.M.

$$r_p = 1/6\pi*(K_{Ic}/S_{ys})^2$$

$$r_p = 0.064 \text{ mm}$$

$$D/r_p = 70.0 > 50 \Rightarrow \text{Se puede usar L.E.F.M.}$$

Se debe verificar si se puede considerar a la plancha de ancho infinito.

$$a/b = 2.24 \text{ mm} / 300 \text{ mm} = 0.007$$

$$\Rightarrow a/b < 0.074, \Rightarrow \text{Plancha de ancho infinito.}$$

Por lo tanto el tamaño crítico de fisura que causa la falla de la plancha soldada es de 4.48 mm. Se recomienda usar un método de inspección no destructiva que detecte fisuras cuya mínima medida sea 4 mm.

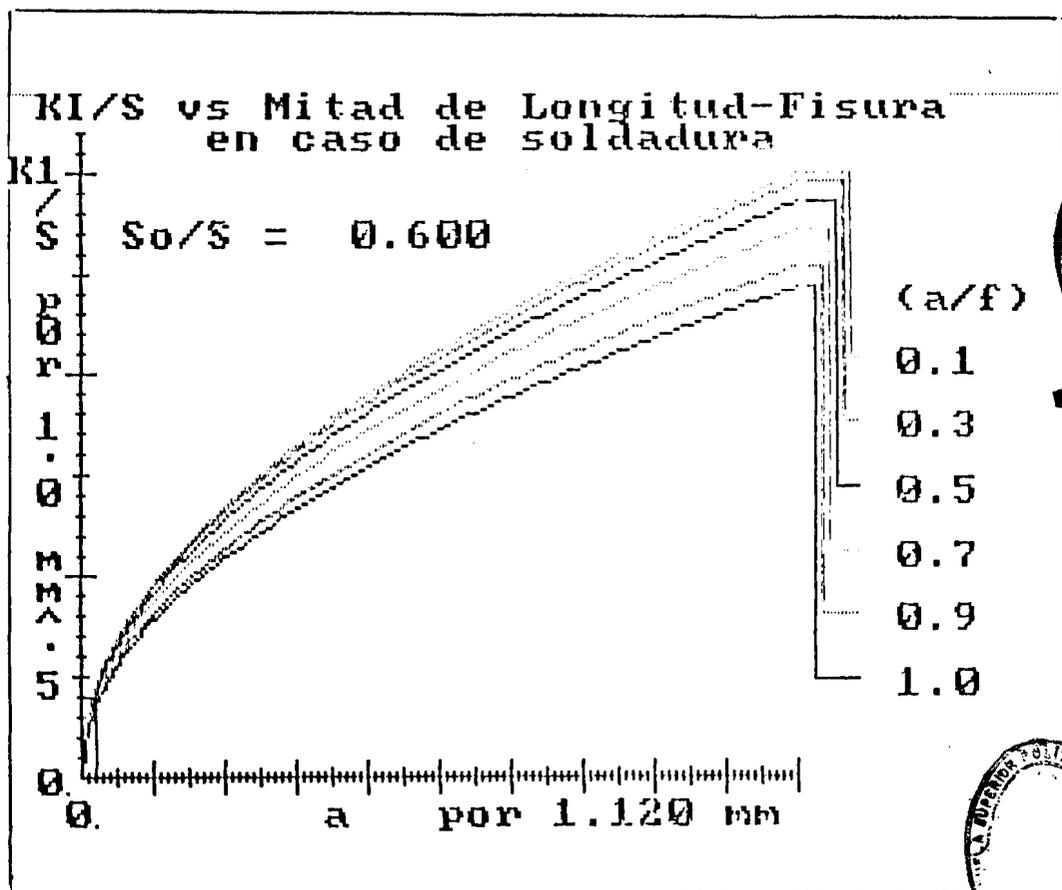


Fig. 4.15. Curvas de  $K_I/S$  vs. mitad del tamaño de la fisura para plancha soldada con fisura pasante en el centro y esfuerzos residuales.

#### 4.3 APLICACION EN ELEMENTOS NO SOLDADOS.

Para este ejemplo se usará la opción 2.1 del programa.

Se va a diseñar una viga de 16 mm de ancho que debe soportar una carga de 30 Kg. Se prevee que en algún momento se tendrá una fisura pasante que tenderá a abrirse debido a la acción del momento producido por la carga aplicada. La fisura debe ser detectada antes que el material falle por fractura frágil. El método usado para inspeccionar puede detectar fisuras desde 3 mm en adelante. Se tiene dos tipos de acero y se debe seleccionar el más conveniente. Las propiedades de los aceros se dan a continuación. La viga se muestra en la figura 4.16.

	$K_{Ic}$ (Kg/mm <sup>3/2</sup> )	$S_{ys}$ (Kg/mm <sup>2</sup> )
ACERO AISI 4340	194.85	154.59
ACERO H 11	124.20	182.65

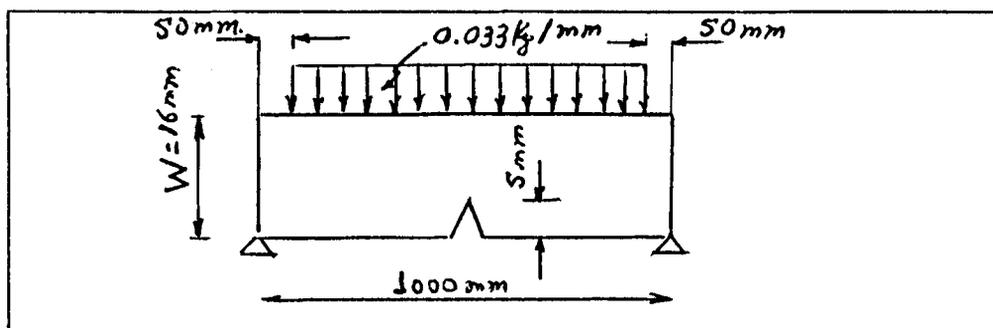


Fig. 4.16. Viga sometida a momento flexionante con una fisura pasante.

Se asume que el peso de la viga es de 7 Kg

==> La carga total es 37 Kg.

Por medio del diagrama de momento se obtiene que el momento máximo que soporta la viga es de 5087.5 Kg\*mm.

Se estima una fisura de 5 mm de longitud.

ACERO AISI 4340

$$r_p = 0.084 \text{ mm}$$

$$D = 5 \text{ mm}$$

$$D/r_p = 59.38 > 50 \Rightarrow \text{Se puede aplicar L.E.F.M}$$

ACERO H 11

$$r_p = 0.024 \text{ mm}$$

$$D/r_p = 208.33 > 50 \Rightarrow \text{Se puede aplicar L.E.F.M}$$

Seleccionando la opción 2.1 se obtiene el gráfico 4.17 ingresando  $a = 5 \text{ mm}$  y  $a/W = 0.3$  se tiene:

$$KI/M = 0.095 \text{ mm}^{-2.5}$$

$$\Rightarrow KI = 0.095 \text{ mm}^{-2.5} * 5087.500 \text{ Kg*mm}$$

$$\Rightarrow KI = 483.30 \text{ Kg/mm}^{3/2}$$

El programa obtiene los valores de KI/M para una viga de espesor igual 1 mm, si se desea obtener el valor

de KI/M para otro espesor de la viga es necesario dividir el valor de KI obtenido, para la dimensión del espesor.

Si se escoge un espesor de la viga igual a 12.7 mm.

$$\Rightarrow KI = (483.3 \text{ Kg/mm}^{3/2})/12.7 = 38.055 \text{ Kg/mm}^{3/2}.$$

Ahora se procede a determinar el factor de seguridad a la fractura frágil.

$$\text{ACERO 4340} \quad K_{ic}/KI = 194.85/38.05 = 5.12$$

$$\text{ACERO H 11} \quad K_{ic}/KI = 124.20/38.05 = 3.26$$

Se puede seleccionar cualquiera de los dos materiales, la selección final dependerá del costo.

---

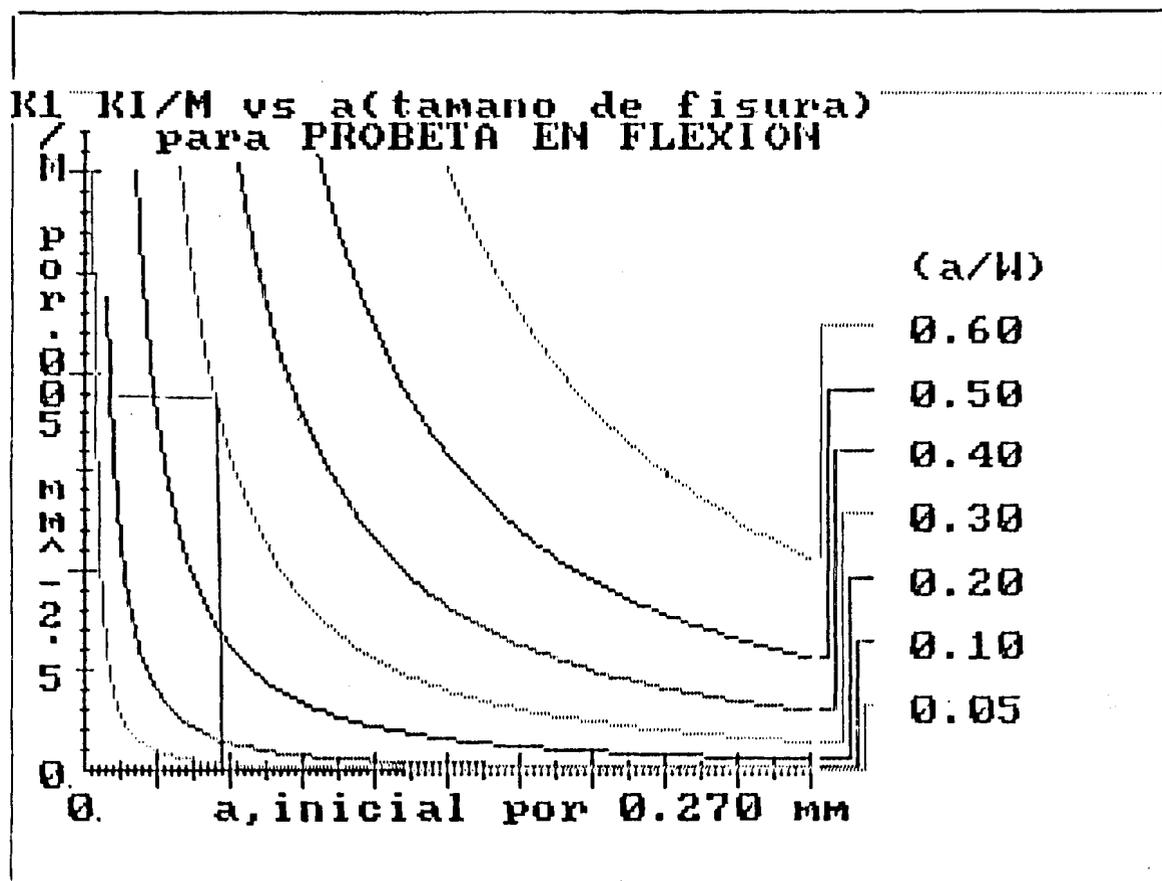


Fig. 4.17. Curvas  $K_I/M$  vs tamaño de fisura, para una viga sometida a un momento flexionante.

## CAPITULO V

### ANALISIS DE RESULTADOS

La figura 4.2 presenta la relación  $KI/S$  vs. mitad del tamaño de fisura para una plancha con una fisura pasante en el centro, donde se observa que si la longitud de la fisura es mayor el factor de intensidad de esfuerzos es mayor. Si se tiene planchas con fisuras del mismo tamaño de fisura pero de ancho distinto, el factor de intensidad de esfuerzos será mayor en la plancha cuyo ancho sea menor. Por lo tanto, la plancha más ancha podrá soportar fisuras más grandes o esfuerzos nominales mayores. Pero cuando la relación de la mitad del ancho de la probeta, a la mitad del tamaño de la fisura es  $< 0.074$ , el factor de intensidad de esfuerzos es independiente del ancho de la plancha soldada.

El valor de la relación del factor de intensidad de esfuerzos, al esfuerzo nominal aplicado ( $KI/S$ ) para una fisura de 5mm. de longitud en este caso es de  $2.8 \text{ mm}^{1/2}$ .

Observando la figura 4.3, se determina que si se usa un factor de seguridad de 2 a la fractura frágil, cuando la

fisura mide 5.2 mm., el esfuerzo que causa que la fisura crezca es igual a 34.087 Kg/mm<sup>2</sup>, es decir, el elemento mecánico falla con un esfuerzo nominal aplicado igual o mayor a 1/5 del esfuerzo de fluencia.

En la figura 4.5 que representa la relación de KI/S vs. tamaño de fisura para una plancha soldada con una fisura pasante en los extremos, se observa de manera general la misma tendencia que la figura 4.2. En este caso para una longitud de fisura igual a 5mm., el valor de la relación KI/S es igual a 4.3. Esto indica que el factor de intensidad de esfuerzos para este caso es mayor que para el caso anterior, debido a la influencia de la superficie libre de la fisura.

En la figura 4.6 se observa que si se usa un factor de seguridad de 2 a la fractura frágil, el esfuerzo que causa que la fisura de 5 mm. se propague es igual a 20.019 Kg/mm<sup>2</sup>, es decir, 1/8 del esfuerzo de fluencia del material de la soldadura.

En la figura 4.8 que es el caso de una plancha soldada sin esfuerzos residuales que presenta una fisura pasante en un extremo, se observa que la influencia de la longitud de la fisura, ancho del elemento y esfuerzos nominales, sobre el factor de intensidad de esfuerzos es similar a los dos casos anteriores. Para este caso, si

se tiene una fisura de 5 mm. de longitud, el valor de la relación  $KI/S$  es igual a  $4.5 \text{ mm}^{1/2}$ . En este caso el factor de intensidad de esfuerzos es mayor que en los dos casos anteriores, debido a la falta de simetría.

En la figura 4.9 se observa que si se tiene un factor de seguridad de dos a la fractura frágil y una fisura de 5 mm. de longitud, el esfuerzo que causará que la fisura se propague es de  $26.894 \text{ Kg/mm}^2$ . Este valor es mayor que en el caso anterior debido a que la tenacidad a la fractura de la soldadura es mayor, en este caso es de  $240.0 \text{ Kg/mm}^{3/2}$ . Por lo tanto, el esfuerzo que causará que la fisura se propague es aproximadamente  $1/8$  del esfuerzo de fluencia de la soldadura.

El caso de una plancha soldada sin esfuerzos residuales de ancho infinito, con una fisura elíptica interna en la soldadura se presenta en la figura 4.11. Se observa que el factor de intensidad de esfuerzos aumenta, al aumentar la mitad de la profundidad de la fisura. Si el largo de la fisura es mayor el factor de intensidad de esfuerzos es mayor. El valor de la relación  $KI/S$  es mínimo cuando el valor de la relación  $a/c = 1$ , es decir, cuando la fisura tiene forma circular.

En este caso el factor de intensidad de esfuerzos es independiente del ancho de la plancha soldada, porque

esta es considerada de ancho infinito.

La fig.4.13 presenta el caso de una plancha soldada sin esfuerzos residuales de ancho infinito que presenta una fisura superficial. En dicha figura se observa que el valor de la relación  $KI/S$  aumenta al aumentar el tamaño de fisura. Si se tiene dos planchas que tengan una fisura superficial de igual profundidad, pero de distinta longitud ( $2c$ ), la plancha que tenga una fisura mas larga presentará un factor de intensidad de esfuerzos mayor. Si se tienen planchas de igual longitud de fisura, pero de distinta profundidad, el factor de intensidad de esfuerzos será mayor en la plancha soldada que tenga una fisura de mayor profundidad.

En este caso también tiene influencia aunque de manera mínima, los valores de la relación del esfuerzo nominal aplicado, al esfuerzo de fluencia del material, y la relación de la profundidad de la fisura, al espesor de la plancha.

En la figura 4.15 se tiene el caso de una plancha soldada de ancho infinito con una fisura en el centro en presencia de esfuerzos residuales en tensión. Se observa que si se tiene dos planchas soldadas con igual longitud de fisura e igual magnitud de esfuerzos residuales, pero de distinta longitud de la zona afectada por los

esfuerzos residuales en tensión ( $f$ ), el factor de intensidad de esfuerzos es mayor en la plancha que tenga una zona más grande afectada por los esfuerzos residuales en tensión. Si se tiene dos planchas con igual esfuerzo residual e igual valor de la relación  $a/f$ , la plancha que tenga una fisura de longitud mayor, presentará un factor de intensidad de esfuerzos mayor.

En este caso si la longitud de la fisura es de 5 mm. el valor de la relación  $KI/S$  es igual a  $4 \text{ mm}^{1/2}$ . Este valor es 1.5 veces mayor que el valor de  $KI/S$  para una plancha soldada con una fisura igual presente, sin esfuerzos residuales.

El caso de una viga fisurada sometida a un esfuerzo de flexión, se presenta en la figura 4.17 se observa que para vigas de diferente ancho, pero igual longitud de fisura, el valor de la relación del factor de intensidad de esfuerzos al momento aplicado es mayor, cuando el ancho de la viga es menor. Si se tiene dos vigas de igual valor de relación de longitud de fisura al ancho de la viga, el factor de intensidad de esfuerzos es mayor en la viga que tiene una fisura menor. En vigas que tienen igual ancho, pero distinta longitud de fisura, el factor de intensidad de esfuerzos es mayor en la viga que tiene un tamaño de fisura mayor. Si el momento aplicado en la viga es mayor, el factor de intensidad de esfuerzos es mayor.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- 1.- La teoría de la mecánica de la fractura no descarta el uso de la teoría de la resistencia a la fluencia en el diseño de elementos que presentan fisuras. Por lo tanto, cuando se diseña un elemento mecánico sometido a esfuerzos de tensión, se debe satisfacer los requerimientos de seguridad, tanto para la mecánica de la fractura como para la resistencia a la fluencia.
- 2.- En una estructura soldada sometida a esfuerzos de tensión, es muy probable que la falla se inicie en el cordón de soldadura debido a las imperfecciones (porosidades, falta de fusión, escorias atrapadas, etc) que se introducen en la estructura debido al proceso de soldadura. Estas imperfecciones actúan como fisuras que pueden ser: internas, pasantes o superficiales. Ellas pueden ocasionar que un elemento de la estructura soldada falle por fractura frágil. Si además en el proceso de soldadura se introducen esfuerzos residuales en tensión, el

elemento fallará con un esfuerzo nominal aplicado menor. Para las fisuras pasantes que se presentan en planchas soldadas, la más crítica es la que se presenta en un extremo de la plancha y la menos crítica es la que se presenta en el centro de la plancha soldada.

- 3.- Este programa presta una gran ayuda para el análisis de elementos fisurados. Los gráficos obtenidos en cada caso muestran claramente la influencia que tienen sobre el factor de intensidad de esfuerzos parámetros tales como: geometría del elemento, tamaño de fisuras, agudez de la fisura, esfuerzos nominales aplicados, esfuerzos residuales, etc.

A partir de estas conclusiones se puede recomendar:

- 1.- Cuando se utiliza la mecánica de la fractura en el diseño de un elemento soldado sometido a esfuerzos de tensión, se debe asumir la existencia de discontinuidades tipo fisuras, debido a fallas introducidas en el proceso de fabricación y durante su posterior servicio.
- 2.- Durante la fabricación y el servicio de estructuras soldadas se debe usar métodos de inspección (ensayos no destructivos) que permitan determinar la

existencia de fisuras del menor tamaño posible, a fin de evaluar su tamaño antes de que esté alcance un tamaño crítico.

- 3.- En estructuras soldadas sometidos a esfuerzos de tensión, se debe evitar introducir esfuerzos residuales debido a que estos incrementan el valor del factor de intensidad de esfuerzos.

# APENDICE

## LISTADO DEL PROGRAMA

CALCULO DEL FACTOR DE INTENSIDAD DE ESFUERZOS

```

10 MENU PRINCIPAL
20 CLEAR: SCREEN 0:WIDTH 80:CLS : KEY OFF
30 COLOR 11,0,0
35 CLS
40 LOCATE 4,16:PRINT "***DISEÑO EN SOLDADURA UTILIZANDO
  COMPUTADORAS***"
50 COLOR 2,0:LOCATE 10,1
60 COLOR 10:PRINT "CALCULO DEL FACTOR DE INTENSIDAD DE ESFUERZOS"
70 PRINT :PRINT
80 PRINT "PROGRAMADO POR "; : COLOR 4 : PRINT "HSING-SEN STEVEN
  HSIAO"
90 PRINT : COLOR 10
100 PRINT "          REVISADO POR EL PROF.L. TSAI"
101 PRINT:PRINT"          ADAPTADO POR:          TOMAS CASTILLO B."
102 PRINT:PRINT"          DIRECTOR:          ING. OMAR SERRANO V."
110 PRINT :PRINT :PRINT " 1992"
120 A$ = INKEY$:IF A$ = "" THEN GOTO 120
130 CLS
140 COLOR 4 : PRINT "MENU PRINCIPAL DEL FACTOR DE INTENSIDAD DE
  ESFUERZOS"
150 COLOR 2
160 PRINT " 1 ==> PLANCHA PLANA CON FIGURAS PASANTES"
170 PRINT "      1.1 ==> UNA FISURA EN EL CENTRO DE LA PLANCHA"
180 PRINT "      1.2 ==> UNA FISURA EN CADA EXTREMO"
190 PRINT "      1.3 ==> UNA FISURA EN UN EXTREMO":PRINT
200 PRINT " 2 ==> FISURAS EN PROBETAS ENSAYADAS"
210 PRINT "      2.1 ==> ENSAYO DE FLEXION"
220 PRINT "      2.2 ==> Ensayo W.O.L (Extremo abierto
  cargado)"
230 PRINT "          2.2.1 ==> PROBETA TIPO T"
240 PRINT "          2.2.2 ==> PROBETA TIPO CTS" : PRINT
250 PRINT " 3 ==> FISURA ELIPTICA EN EL INTERIOR DE UNA PLANCHA:
  PRINT
260 PRINT " 4 ==> FISURA SUPERFICIAL " : PRINT
270 PRINT " 5 ==> FISURA CENTRAL PASANTE EN UNA PLANCHA CON
  ESFUERZOS RESIDUALES" : PRINT
280 PRINT " 6 ==> CASO RESERVADO"
290 LOCATE 21,1 : COLOR 14
300 PRINT "INGRESE EL NUMERO DE LA PRIMERA CATEGORIA PARA
  CONTINUAR 0,"
310 PRINT "INGRESE";:COLOR 28:PRINT " B";:COLOR 14:PRINT "" PARA
  SALIR AL ";:COLOR 12:PRINT "BASICA ";:COLOR 14:PRINT "0,"
320 PRINT "INGRESE";:COLOR 29:PRINT " Q";:COLOR 14:PRINT "" PARA
  ";:COLOR 13:PRINT "VOLVER AL PROGRAMA PRINCIPAL"
330 A$ = INKEY$:IF A$ = "" THEN GOTO 330
340 COLOR 2
350 IF A$="B" OR A$="b" THEN COLOR 10 : CLS : KEY ON : GOTO 440
360 IF A$="Q" OR A$="q" THEN CLS : RUN "greet"
370 IF A$="1" THEN RUN"kiplnplt"
380 IF A$="2" THEN RUN"testmenu"
390 IF A$="3" THEN RUN"kiellip"
400 IF A$="4" THEN RUN"kisurf"
410 IF A$="5" THEN RUN"kiweld"
420 IF A$ = "6" THEN PRINT:PRINT "EL CASO 6 ES PARA UN DESARROLLO

```

```
POSTERIOR.":PRINT "PRESIONE ALGUNA TECLA PARA CONTINUAR.":  
B$=INPUT$(1)  
430 GOTO 330  
440 CLS:LOCATE 15,20:PRINT "PRESS ";:COLOR 12:PRINT "F2";:  
COLOR 10:PRINT " KEY TO RUN AGAIN"  
450 END
```

```

10 PROGRAM KIPLNPLT
20 ki, factor de intensidad de esfuerzos, modo abierto
30 Subprograma para planchas con fisuras pasantes,
   y-scale:150=15 mm^0.5
40 SCREEN 0:WIDTH 80:COLOR 3,0
50 CLEAR:CLS : KEY OFF : PRINT : PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
60 PI= 3.14159
70 PRINT " Si usted necesita una copie ingrese Y"
80 INPUT D$
90 D$ = "n"
100 X1=2:Y1=2:X2=78:Y2=22
110 GOSUB 5480
120 LOCATE 8,14:PRINT "INGRESE EL TIPO DE FISURA PASANTE EN UNA PLANCHA
   PLANA"
130 LOCATE 11,6:PRINT " 1 =====> UNA FISURA EN EL CENTRO
   (LONGITUD DE LA FISURA=2a)"
140 LOCATE 13,6:PRINT " 2 =====> UNA FISURA EN CADA EXTREMO
   (LONGITUD DE FISURA=a)"
150 LOCATE 15,6:PRINT " 3 =====> UNA FISURA EN UN EXTREMO
   (LONGITUD DE FISURA=a)"
160 LOCATE 17,9 :INPUT TYPE
170 IF TYPE <>1 AND TYPE <>2 AND TYPE <>3 THEN GOTO 160
180 IF D$="y" OR D$="Y" GOTO 220
190 GOSUB 5840
200 CLS: SCREEN 1,0: COLOR 0,0
210 GOTO 230
220 CLS: SCREEN 1,0: COLOR 7,0
230 DEF FNBETA(X)=1.123 + .1473*X + 1.339*X*X - .5566*X*X*X +
   .8065*X*X*X*X
240 LINE (0,0) - (319,199),1,B
250 GOSUB 5630
260 LINE(20,170)-(20,10), 3
270 LINE(20,170)-(220,170), 3
280 FOR I=22 TO 220 STEP 2
290 IF (((I-20)/2) MOD 5 )=0 THEN LINE(I,168)-(I,172),3
300 IF (((I-20)/2) MOD 10)=0 THEN LINE(I,166)-(I,174),3
310 LINE(I,169)-(I,171), 3
320 NEXT I
330 FOR J=165 TO 10 STEP -5
340 IF (((170-J)/5) MOD 5)=0 THEN LINE(18,J)-(22,J),3
350 IF (((170-J)/5) MOD 10)=0 THEN LINE(16,J)-(24,J),3
360 LINE(19,J)-(21,J), 3
370 NEXT J
380 LOCATE 23,3 : PRINT "0 a POR "; : PRINT USING
   "$.###";XSCALE; : PRINT " mm " :PSET(24,182)
390 LOCATE 22,2 : PRINT "0" : PSET(16,174)
400 LOCATE 3,1: PRINT "K1"
410 LOCATE 4,2: PRINT "/"
420 LOCATE 5,2: PRINT "S"
430 LOCATE 7,2: PRINT "p"
440 LOCATE 8,2: PRINT "o"
450 LOCATE 9,2: PRINT "r"
460 IF TYPE=1 OR TYPE=2 THEN LOCATE 11,2: PRINT "0"
   ELSE LOCATE 11,2: PRINT "1"

```



```

470 PSET(12, 90) : PSET(12, 91) : PSET(11, 90) : PSET(11, 91)
480 LOCATE 13,2: PRINT "5"
490 LOCATE 15,2 : PRINT "m"
500 LOCATE 16,2 : PRINT "m"
510 LOCATE 17,2 : PRINT "" : PSET(12,138):PSET(12,137):PSET(11,137)
    :PSET(11,138)
520 LOCATE 19,2 : PRINT "5"
530 IF USER$ <> " " AND USER$ <> "" THEN GOSUB 5950
540 LOCATE 14,20:PRINT "TRABAJANDO"
550 IF TYPE=1 OR TYPE=2 THEN ABR(1)=.8 : ABR(2)=.7 : ABR(3)=.6 :
    ABR(4)=.5 : ABR(5)=.3 : ABR(6)=.074
560 IF TYPE=3 THEN ABR(1)=1! : ABR(2)=.8 : ABR(3)=.6 : ABR(4)=.4 :
    ABR(5)=.2 : ABR(6)=.1
570 DIM Y(6,101)
580 FOR I=20 TO 220 STEP 2
590 A=(I-20)/2 * XSCALE
600 L=(I-18)/2
610 FOR J=1 TO 6
620 IF TYPE=1 AND ABR(J)>.074 THEN B=SQR(2/PI/ABR(J) * TAN(PI/2 *
    ABR(J)))
630 IF TYPE=1 AND ABR(J)=.074 THEN B=1
640 IF TYPE=2 AND ABR(J)>.074 THEN B=SQR(2/PI/ABR(J) * (TAN(PI/2 *
    ABR(J)) + .125*SIN(PI*ABR(J)))) '.1 debe ser cambiado a .125
650 IF TYPE=2 AND ABR(J)=.074 THEN B=1.12
660 IF TYPE=3 THEN B=FNBRTA(ABR(J))
670 Y(J,L)=B * (PI*A)^.5
680 NEXT J
690 NEXT I
700 LOCATE 14,20:PRINT " "
710 FOR IJ=1 TO 6
720 FOR IL=1 TO 100
730 X=IL*2+18
740 X2=X+2
750 IF TYPE=1 OR TYPE=2 THEN MAG=10 ELSE MAG=10/3
760 Y1=170-Y(IJ,IL)*MAG : Y2=170-Y(IJ,IL+1)*MAG
770 IJM=IJ MOD 3
780 IF IJM=0 THEN IJM=3
790 LINE(X,Y1)-(X2,Y2), IJM
800 NEXT IL
810 X22=X2+17-IJ*2
820 LINE (X2+3,Y2)-(X22, Y2),IJM :LINE -(X22, 50+IJ*16), IJM
    : LINE -(X2+17, 50+IJ*16), IJM
830 M1X=(X2+17)/8+2 : M1X=( 50+IJ*16)/8+1
840 LOCATE M1X,M1X
850 IF TYPE=3 THEN GOTO 930
860 IF IJ=1 THEN PRINT "0.8" : LOCATE (M1X-2),M1X : PRINT "(a/b)"
870 IF IJ=2 THEN PRINT "0.7"
880 IF IJ=3 THEN PRINT "0.6"
890 IF IJ=4 THEN PRINT "0.5"
900 IF IJ=5 THEN PRINT "0.3"
910 IF IJ=6 THEN PRINT "0.074"
920 GOTO 990
930 IF IJ=1 THEN PRINT "1.0" : LOCATE (M1X-2),M1X : PRINT "(a/b)"
940 IF IJ=2 THEN PRINT "0.8"

```

```

950 IF IJ=3 THEN PRINT "0.6"
960 IF IJ=4 THEN PRINT "0.4"
970 IF IJ=5 THEN PRINT "0.2"
980 IF IJ=6 THEN PRINT "0.1"
990 NEXT IJ
1000 IF TYPE=1 THEN LOCATE 1,2 : PRINT "KI/S vs Mitad Longitud de
      Fisura" : LOCATE 2,4 : PRINT "fisu-pasant-cent-planch-plan"
1010 IF TYPE=2 THEN LOCATE 1,4 : PRINT "KI/S vs la Longitud de
      Fisura" : LOCATE 2,4 : PRINT "2-fisu-pasant-extre-planc-plan"
1020 IF TYPE=3 THEN LOCATE 1,4 : PRINT "KI/S vs Longitud de Fisura"
      : LOCATE 2,4 : PRINT "1-fisu-pasant-extre-planc-plan"
1030 XX$ = INPUT$(1)
1040 *
1050 *=====
1060 *
1070 CLS
1080 KEY OFF :CLS:COLOR 2
1090 SCREEN 2,0 : SCREEN 0 : COLOR 2
1100 REM SUBROUTINA PARA OBTENER LA CURVA DE ESFUERZOS CRITICOS S*
1110 DIM S(260), G(260), YY (260)
1120 X1=2:Y1=2:X2=78:Y2=22
1130 GOSUB 5480
1140 Y1=10:X1=11:Y2=14:X2=69
1150 GOSUB 5480
1160 LOCATE 12,13
1170 PRINT "DESEA OBTENER LA CURVA DE ESFUERZOS CRITICOS S* (S/N)"
1180 LOCATE 13,13
1190 PRINT "====>"
1200 LOCATE 13,18
1210 A$=INPUT $(1)
1220 IF A$<>"S" AND A$<>"s" AND A$<>"N" AND A$<>"n" THEN GOTO 1160
1230 IF A$="N" OR A$="n" THEN GOTO 5410
1240 LOCATE 20,40
1250 PRINT "INGRESE C PARA CONTINUAR====>"
1260 LOCATE 20,69
1270 B$=INPUT $(1)
1280 IF B$ <>"C" AND B$ <>"c" THEN GOTO 1240
1290 CLS
1300 Y1=4:X1=4:Y2=23:X2=76
1310 GOSUB 5480
1320 IF TYPE <>1 THEN GOTO 1390
1330 Y1=5:X1=9:Y2=9:X2=71
1340 GOSUB 5480
1350 LOCATE 6,38
1360 PRINT "CASO 1"
1370 LOCATE 8,11
1380 PRINT "UNA PLANCHA CON UNA FISURA PASANTE UBICADA EN EL
      CENTRO"
1390 IF TYPE <>2 THEN GOTO 1460
1400 Y1=5:X1=13:Y2=9:X2=67
1410 GOSUB 5480
1420 LOCATE 6,37
1430 PRINT "CASO 2"
1440 LOCATE 8,16

```

```

1450 PRINT "UNA PLANCHA CON UNA FISURA PASANTE EN CADA EXTREMO"
1460 IF TYPE <>3 THEN GOTO 1530
1470 Y1=6:X1=10:Y2=10:X2=70
1480 GOSUB 5480
1490 LOCATE 7,37
1500 PRINT "CASO 3"
1510 LOCATE 9,17
1520 PRINT "UNA PLANCHA CON UNA FISURA PASANTE EN UN EXTREMO"
1530 LOCATE 14,11
1540 PRINT "ESTE PROGRAMA GRAFICA LA CURVA DE DISTRIBUCION DE
ESFUERZOS"
1550 LOCATE 16,11
1560 PRINT "CRITICOS S* PARA UN MATERIAL DETERMINADO USANDO MECANICA
DE"
1570 LOCATE 18,11
1580 PRINT "LA FRACTURA ELASTICO LINEAL L.E.F.M."
1590 LOCATE 22,40
1600 PRINT "INGRESE C PARA CONTINUAR ==>"
1610 LOCATE 22,69
1620 A$=INPUT $(1)
1630 IF A$<>"C" AND A$<>"c" THEN GOTO 1590
1640 CLS
1650 Y1=1:X1=2:Y2=23:X2=78
1660 GOSUB 5480
1670 REM
1680 IF TYPE <>1 THEN GOTO 1870
1690 LOCATE 3,11
1700 PRINT "ESTE PROGRAMA GRAFICA LA CURVA DE ESFUERZOS CRITICOS S*
VS"
1710 LOCATE 5,11
1720 PRINT "LA MITAD DEL LARGO DE LA FISURA , PARA UN VALOR DE KIC
Y EL"
1730 LOCATE 7,11
1740 PRINT "ESFUERZO DE FLUENCIA CONOCIDOS EN UNA PLANCHA CON UNA
FISURA"
1750 LOCATE 9,11
1760 PRINT "PASANTE UBICADA EN EL CENTRO DE LA PLANCHA."
1770 LOCATE 11,11
1780 PRINT "LA ECUACION UTILIZADA PARA EL CALCULO DE S* ES:"
1790 LOCATE 13,11
1800 PRINT "S*=(KIC/(((PI*A)^0.5) *
(((2b/A.PI)*(TAN(PI.A/2b)))^0.5)))"
1810 LOCATE 15,11
1820 PRINT "DONDE KIC ES LA TENACIDAD A LA FRACTURA DEL MATERIAL,"
1830 LOCATE 17,11
1840 PRINT "A ES LA MITAD DE LA LONGITUD DE LA FISURA Y"
1850 LOCATE 19,11
1860 PRINT "b ES LA MITAD DEL ANCHO DE LA PLANCHA"
1870 IF TYPE <>2 THEN GOTO 2080
1880 LOCATE 3,5
1890 PRINT "ESTE PROGRAMA GRAFICA LA CURVA DE ESFUERZOS CRITICOS S*
VS"
1900 LOCATE 5,5
1910 PRINT "LA LONGITUD DE UNA DE LAS FISURAS UBICADAS EN LOS

```

```

EXTREMOS"
1920 LOCATE 7,5
1930 PRINT "PARA UN VALOR DE KIC Y EL ESFUERZO DE FLUENCIA
      CONOCIDOS, EN UNA"
1940 LOCATE 9,5
1950 PRINT "PLANCHA CON UNA FISURA EN CADA EXTREMO, CARGADA DE MODO
      ABIERTO"
1960 LOCATE 11,5
1970 PRINT "LA ECUACION UTILIZADA PARA EL CALCULO DE S* ES:"
1980 LOCATE 13,5
1990 PRINT "S*=(KIC/(((PI*A)^0.5) *
      ((2b/A*PI)*(TAN(A*PI/2b)+0.125*SEN(A*PI/b))))^0.5 ))
2000 LOCATE 15,5
2010 PRINT "DONDE KIC ES LA TENACIDAD A LA FRACTURA DEL MATERIAL,"
2020 LOCATE 17,5
2030 PRINT "A ES LA LONGITUD DE UNA DE LAS FISURAS SE ASUME QUE LAS
      DOS "
2040 LOCATE 19,5
2050 PRINT "FISURAS TIENEN IGUAL LONGITUD , b ES IGUAL A LA MITAD
      DEL ANCHO"
2060 LOCATE 21, 5
2070 PRINT "DE LA PLANCHA"
2080 IF TYPE <>3 THEN GOTO 2270
2090 LOCATE 4,8
2100 PRINT "ESTE PROGRAMA GRAFICA LA CURVA DE ESFUERZOS CRITICOS S*
      VS EL "
2110 LOCATE 6,8
2120 PRINT "EL LARGO DE LA FISURA, PARA VALORES DE KIC Y EL ESFUERZO
      DE FLUENCIA"
2130 LOCATE 8,8
2140 PRINT "CONOCIDOS. EN UNA PLANCHA CON UNA FISURA PASANTE EN UN
      EXTREMO"
2150 LOCATE 10,8
2160 PRINT "LA ECUACION UTILIZADA PARA EL CALCULO DE S* ES:
2170 LOCATE 12,8
2180 PRINT "S*=(KIC/(((PI*A)^0.5) *
      (1.123+0.1473*(A/b)+1.339*((A/b)^2)"
2190 LOCATE 14,8
2200 PRINT "-0.5566*((A/b)^3)+0.8065*((A/b)^4)"
2210 LOCATE 16,8
2220 PRINT "DONDE KIC ES LA TENACIDAD A LA FRACTURA DEL MATERIAL,"
2230 LOCATE 18,8
2240 PRINT "A ES LA LONGITUD DE LA FISURA, Y b ES LA MITAD DEL
      ANCHO DE LA"
2250 LOCATE 20,8
2260 PRINT "PLANCHA"
2270 LOCATE 22,40
2280 PRINT "INGRESE C PARA CONTINUAR =====>"
2290 LOCATE 22,71
2300 B$=INPUT $(1)
2310 IF B$<>"C" AND B$<>"c" THEN GOTO 2270
2320 CLS
2330 CLS
2340 T=0

```

```

2350 C=0
2360 Y1 = 2: X1 = 2: Y2 = 20: X2 = 78
2370 GOSUB 5480
2380 LOCATE 10,16
2390 PRINT " PARA SALIR DE LA SIGUIENTE PANTALLA INGRESE F1"
2400 LOCATE 18,40
2410 INPUT "INGRESE C PARA CONTINUAR ==> "; A$
2420 IF A$<>"C" AND A$<>"c" THEN GOTO 2400
2430 CLS
2440 Y1=1:X1=1:Y2=23:X2=79
2450 GOSUB 5480
2460 LOCATE 2,6
2470 PRINT "INGRESE LA TENACIDAD A LA FRACTURA DEL MATERIAL (KIC) EN
Kg/mm3/2"
2480 C=C+1
2490 IF C=1 THEN GOTO 2520
2500 LOCATE 3,6
2510 PRINT "EL VALOR DE KIC DEBE SER MAYOR QUE 0"
2520 LOCATE 4,6
2530 INPUT KIC
2540 IF KIC<=0 THEN GOTO 2460
2550 C=0
2560 LOCATE 8,6
2570 PRINT "INGRESE EL ESFUERZO DE FLUENCIA DEL MATERIAL (Sys) EN
Kg/mm2"
2580 C=C+1
2590 IF C=1 THEN GOTO 2620
2600 LOCATE 9,6
2610 PRINT "EL VALOR DE Sys DEBE SER MAYOR QUE 0"
2620 LOCATE 10,6
2630 INPUT SY
2640 LOCATE 10,6
2650 IF SY<=0 THEN GOTO 2560
2660 C=0
2670 LOCATE 16,6
2680 PRINT "INGRESE EL VALOR DE LA MITAD DEL ANCHO DE LA PLANCHA (b)
EN mm"
2690 C=C+1
2700 IF C=1 THEN GOTO 2770
2710 IF TYPE <>1 AND TYPE <>2 THEN GOTO 2740
2720 LOCATE 17,6
2730 PRINT "EL VALOR DE (b) DEBE SER MAYOR DE 30 mm"
2740 IF TYPE <>3 THEN GOTO 2770
2750 LOCATE 17,6
2760 PRINT "EL VALOR DE (b) DEBE SER MAYOR DE 15 mm"
2770 LOCATE 18,6
2780 INPUT W
2790 IF TYPE <>1 THEN GOTO 2810
2800 IF W<=48 THEN GOTO 2670
2810 IF TYPE <>2 THEN GOTO 2830
2820 IF W<=48 THEN GOTO 2670
2830 IF TYPE <>3 THEN GOTO 2850
2840 IF W<=30 THEN GOTO 2670
2850 LOCATE 22,40

```

```

2860 PRINT "INGRESE C PARA CONTINUAR ===>"
2870 LOCATE 22,70
2880 B$=INPUT $(1)
2890 IF B$<>"C" AND B$<>"c" THEN GOTO 2850
2900 CLS
2910 Y1=2:X1=2:Y2=22:X2=78
2920 GOSUB 5480
2930 LOCATE 4,16
2940 PRINT "ESTE PROGRAMA USA UN FACTOR DE SEGURIDAD DE 1.43"
2950 LOCATE 8,16
2960 PRINT "DESEA USAR OTRO FACTOR DE SEGURIDAD (S/N)"
2970 LOCATE 9,59
2980 B$=INPUT $(1)
2990 C=0
3000 IF B$<>"S" AND B$<>"s" AND B$<>"N" AND B$<>"n" THEN GOTO 2930
3010 IF B$="N" OR B$="n" THEN GOTO 3130
3020 LOCATE 12,16
3030 PRINT "INGRESE EL FACTOR DE SEGURIDAD F "
3040 C=C+1
3050 IF C=1 THEN GOTO 3100
3060 LOCATE 13,16
3070 PRINT "EL VALOR DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEBE SER MAYOR "
3080 LOCATE 14,16
3090 PRINT "O IGUAL A 1 Y MENOR O IGUAL A 3"
3100 LOCATE 16,16
3110 INPUT T
3120 IF T<1 OR T>3 THEN GOTO 3000
3130 LOCATE 20,40
3140 PRINT "INGRESE C PARA CONTINUAR ==>"
3150 LOCATE 20,70
3160 B$=INPUT $(1)
3170 IF B$<>"C" AND B$<>"c" THEN GOTO 3130
3180 CLS
3190 Y1=1:X1=2:Y2=23:X2=78
3200 GOSUB 5480
3210 LOCATE 4,12
3220 PRINT "EL VALOR INGRESADO PARA KIC ES =";KIC;"Kg/mm^3/2"
3230 LOCATE 8,12
3240 PRINT "EL VALOR INGRESADO PARA Sys ES =";SY;"Kg/mm^2"
3250 LOCATE 12,12
3260 PRINT "EL VALOR INGRESADO PARA b ES =";W;"mm"
3270 IF T= 0 THEN GOTO 3280 ELSE 3330
3280 REM THEN
3290 T=1.43
3300 LOCATE 16,12
3310 PRINT "EL VALOR DEL FACTOR DE SEGURIDAD ES =";T
3320 GOTO 3360
3330 REM ELSE
3340 LOCATE 16,12
3350 PRINT "EL VALOR INGRESADO PARA EL FACTOR DE SEGURIDAD ES =";T
3360 REM ENDIF
3370 LOCATE 20,12
3380 PRINT "LOS VALORES INGRESADOS ESTAN CORRECTOS (S/N)"
3390 LOCATE 20,66

```

```

3400 B$=INPUT $(1)
3410 IF B$<>"S" AND B$<>"s" AND B$<>"N" AND B$<>"n" THEN GOTO 3390
3420 IF B$="N" OR B$="n" THEN GOTO 2330
3430 LOCATE 22,40
3440 PRINT "INGRESE C PARA CONTINUAR ==>"
3450 LOCATE 22,70
3460 B$=INPUT $(1)
3470 IF B$<>"C" AND B$<>"c" THEN GOTO 3430
3480 CLS
3490 REM GRAFICO DE LOS EJES
3500 SCREEN 1,0:COLOR 1,7:KEY OFF:
3510 LINE (0,0)-(319,199),1,B
3520 LINE (20,190)-(20,10),3
3530 LINE (20,190)-(260,190),3
3540 FOR I=22 TO 260 STEP 2
3550     IF (((I-20)/2)MOD 5)<>0 THEN GOTO 3570
3560     LINE(I,188)-(I,192),3
3570     IF (((I-20)/2)MOD 10)<>0 THEN GOTO 3590
3580     LINE(I,186)-(I,194),3
3590     LINE (I,189)-(I,191),3
3600 NEXT I
3610 FOR J=188 TO 10 STEP -2
3620     IF (((J-10)/2)MOD 5)<>0 THEN GOTO 3640
3630     LINE (18,J)-(22,J),3
3640     IF (((J-10)/2)MOD 10)<>0 THEN GOTO 3660
3650     LINE (16,J)-(24,J),3
3660     LINE (19,J)-(21,J),3
3670 NEXT J
3680 LOCATE 18,30
3690 PRINT "TRABAJANDO"
3700 REM CALCULO DEL ESFUERZO CRITICO S*
3710 N=1.3*SY
3720 O=N/180
3730 Q=2*O
3740 V$=STR$(Q)
3750 LOCATE 1,1
3760 PRINT "S* (Kg/mm^2)"
3770 LOCATE 3,2
3780 PRINT "p"
3790 LOCATE 4,2
3800 PRINT "o"
3810 LOCATE 5,2
3820 PRINT "r"
3830 LOCATE 7,2
3840 PRINT MID$(V$,1,1)
3850 LOCATE 8,2
3860 PRINT MID$(V$,2,1)
3870 LOCATE 9,2
3880 PRINT MID$(V$,3,1)
3890 LOCATE 10,2
3900 PRINT MID$(V$,4,1)
3910 LOCATE 11,2
3920 PRINT MID$(V$,5,1)
3930 LOCATE 9,29

```

```

3940 PRINT USING "KIC= ###.##";KIC
3950 LOCATE 11,29
3960 PRINT USING "Sys= ###.##";SY
3970 LOCATE 13,29
3980 PRINT USING "Fac= ##.##";T
3990 LOCATE 15,29
4000 PRINT USING "b = ###.##";W
4010 LOCATE 22,33
4020 PRINT "ax 0.2"
4030 LOCATE 23,34 : PRINT "mm"
4040 LOCATE 23,1
4050 PRINT "0."
4060 PI=3.1416
4070 FOR I=1 TO 240 STEP 1
4080 IF TYPE<>1 THEN GOTO 4100
4090 B=SQR((2*W)/(PI*.1*I)*(TAN((PI*.1*I)/(2*W))))
4100 IF TYPE<>2 THEN GOTO 4120
4110 B=SQR((2*W)/(PI*.1*I)*(TAN((PI*.1*I)/(2*W)) +
.125*SIN(PI*.1*I/W)))
4120 IF TYPE<>3 THEN GOTO 4140
4130 B=1.123+.1473*(.1*I/W)+1.339*(.1*I/W)^2-
.5566*(.1*I/W)^3+.8065*(.1*I/W)^4
4140 G(I)=.1*I
4150 S(I)=(KIC/(SQR(PI*.1 *I)*B))
4160 S(I)=S(I)/T
4170 IF S(I)< SY THEN GOTO 4190
4180 S(I)=SY
4190 NEXT I
4200 YO = SY
4210 XO=20
4220 FOR I=1 TO 240 STEP 1
4230 X=20+I
4240 YY(I) =190-S(I)/O
4250 LINE(XO,YO)-(X,YY(I)),3
4260 XO=X:YO=YY(I)
4270 NEXT I
4280
4290 LOCATE 18,30
4300 PRINT " "
4310 IF TYPE <> 1 THEN GOTO 4380
4320 LOCATE 3,5
4330 PRINT "S* vs a(mitad de longitud de fisura)"
4340 LOCATE 4,8
4350 PRINT "plancha con una fisura pasante"
4360 LOCATE 5,14
4370 PRINT "en el centro"
4380 IF TYPE <> 2 THEN GOTO 4450
4390 LOCATE 3,4
4400 PRINT "S* vs a(longitud de l de las fisuras)"
4410 LOCATE 4,6
4420 PRINT "plancha con una fisura pasante"
4430 LOCATE 5,16
4440 PRINT "en cada extremo"
4450 IF TYPE <> 3 THEN GOTO 4540

```

```

4460     LOCATE 3,6
4470     PRINT "S* vs a(longitud de la fisura)"
4480     LOCATE 4,8
4490     PRINT "plancha con 1 fisura pasante "
4500     LOCATE 5,16
4510     PRINT "en un extremo"
4520     LINE (260,0)-(319,15),1,B
4530
4540     REM CAPTURA DE TECLAS PARA MOVER CURSOR
4550
4560     POS.X = 24 : POS.Y = 4 : VECES$ = "1"
4570     ON KEY (13) GOSUB 6100     '- CURSOR DERECHA
4580     ON KEY (12) GOSUB 6190     '- CURSOR IZQUIERDA
4590     ON KEY (1) GOSUB 4690     '- SALIR DE CAPTURA
4600     KEY (12) ON
4610     KEY (13) ON
4620     KEY (1) ON
4630     IF VECES$ <> "1" THEN 4660
4640     VECES$ = "" : GOSUB 6000     '- GRAFICO INICIAL
4650
4660     WHILE 1 : WEND
4670
4680     XX$=INPUT $(1)
4690     CLS
4700     SCREEN 0:WIDTH 80:COLOR 2
4710     REM
4720     Y1=2:X1=2:Y2=22:X2=78
4730     GOSUB 5480
4740     LOCATE 12,6
4750     PRINT "DESEA VER LOS VALORES OBTENIDOS DE ESFUERZOS CRITICOS S*
(S/N) ==>"
4760     LOCATE 12,74
4770     B$=INPUT $(1)
4780     LOCATE 12,74
4790     PRINT B$
4800     IF B$<>"S" AND B$<>"s" AND B$<>"N" AND B$<>"n" THEN GOTO 4740
4810     CLS
4820
4830     LOCATE 3, 4 : PRINT "S*(Kg/mm^2) a(mm) (a/b)"
4840     LOCATE 3,42 : PRINT "S*(Kg/mm^2) a(mm) (a/b)"
4850     GOSUB 6660
4860     X1=2:Y1=2:X2=78:Y2=22
4870     GOSUB 5480
4880     X1=2:Y1=2:X2=78:Y2=4
4890     GOSUB 5480
4900     X1=2:Y1=2:X2=40:Y2=22
4910     GOSUB 5480
4920     X1=40:Y1=2:X2=78:Y2=22
4930     LOCATE 4,78
4940     PRINT CHR$(185)
4950     C=1
4960     J=1 : COL = 6
4970     FOR I=1 TO 240 STEP 1
4980

```

```

4990     J=J+1
5000     LOCATE 4+J,COL
5010     PRINT USING "###.###";S(I)
5020     LOCATE 4+J,COL + 10
5030     PRINT USING "##.#";G(I)
5040     LOCATE 4+J,COL + 16
5050     PRINT G(I)/W
5060
5070     IF (I MOD 15 = 0) THEN COL = COL + 38 : J = 1
5080     IF (I MOD 30 = 0) THEN COL = 6 : J = 1
5090     IF (I MOD 30 <> 0) THEN 5200
5100     LOCATE 23,26 : PRINT "INGRESE C PARA CONTINUAR ===>"
5110     LOCATE 23,56 : B$ = INPUT$(1)
5120
5130     IF B$<>"C" AND B$<>"c" THEN GOTO 3960
5140
5150     FOR X1 = 5 TO 20
5160         LOCATE X1, 4 : PRINT SPC(33)
5170         LOCATE X1,42 : PRINT SPC(33)
5180     NEXT X1
5190
5200     NEXT I
5210     CLS
5220     REM
5230     X1=2:Y1=2:X2=78:Y2=22
5240     GOSUB 5480
5250     REM
5260     X1=10:Y1=10:X2=70:Y2=14
5270     GOSUB 5480
5280     LOCATE 12,16
5290     PRINT "DESEA IMPRIMIR LOS RESULTADOS OBTENIDOS (S/N)"
5300     LOCATE 12,70
5310     B$=INPUT$(1)
5320     IF B$<>"S" AND B$<>"s" AND B$<>"N" AND B$<>"n" THEN GOTO 5300
5330     IF B$="N" OR B$="n" THEN GOTO 5410
5340     LOCATE 4,1
5350     LPRINT " S*(Kg/mm^2) a (mm)          (a/b)"
5360     FOR I=1 TO 240
5370         LOCATE 6,1
5380         LPRINT S(1),G(1),G(1)/W
5390     NEXT I
5400
5410     GOSUB 5730
5420     REM subrutina para recuadros
5430     IF XX$="R" OR XX$="r" THEN GOTO 20
5440     IF XX$="M" OR XX$="m" THEN RUN"kimenu"
5450     IF XX$="G" OR XX$="g" THEN CLS : RUN "GREET"
5460     IF XX$="S" OR XX$="s" THEN SYSTEM
5470     GOTO 5410
5480     LOCATE Y1,X1:PRINT "-"
5490     LOCATE Y2,X1+1:PRINT STRING$(X2-X1-1,205)
5500     LOCATE Y1,X2:PRINT "-"
5510     LOCATE Y1,X1+1:PRINT STRING$(X2-X1-1,205)
5520     FOR I=Y1+1 TO Y2-1

```

```

5530 LOCATE I,X1:PRINT "I"
5540 NEXT I
5550 LOCATE Y2,X1:PRINT "E"
5560 FOR I=Y1+1 TO Y2-1
5570 LOCATE I,X2:PRINT "I"
5580 NEXT I
5590 LOCATE Y2,X2:PRINT "E"
5600 RETURN
5610 '
5620 '
5630 ' subrutina      determinación de x-escala para tipo 1
5640 IF TYPE=1 THEN BVIP= SQR(2/PI/.8 * TAN(PI/2*.8))
      : ARANGE= (15 /BVIP)*(15 /BVIP)/ PI
5650 IF TYPE=2 THEN BVIP= SQR(2/PI/.8 * (TAN(PI/2*.8) + .125 *
      SIN(PI*.8))) : ARANGE= (15 /BVIP)*(15 /BVIP)/ PI
5660 IF TYPE=3 THEN BVIP= 2.86 : ARANGE= (45 /BVIP)*(45 /BVIP)/ PI
5670 IF ARANGE < .5 THEN XSX=ARANGE*100/10 : XSCALE=XSX *10/100/100
      :RETURN
5680 XSX= INT(ARANGE/100*1000)/10
5690 XSCALE= XSX *10/1000
5700 RETURN
5710 '
5720 '
5730 ' subrutina para el programa transportación
5740 XX$= INPUT$(1)
5750 SCREEN 0 : WIDTH 80:COLOR 12:CLS
5760 LOCATE 10,1
5770 PRINT "  Ingrese ";:COLOR 26:PRINT "M";:COLOR 12:PRINT "" para
      regresar al";:COLOR 10:PRINT " Menu Principal ":COLOR 12
5780 PRINT "  Ingrese ";:COLOR 27:PRINT "S";:COLOR 12:PRINT "" para
      salir al";:COLOR 11:PRINT " SYSTEMA":COLOR 12
5790 PRINT "  Ingrese ";:COLOR 29:PRINT "R";:COLOR 12:PRINT "" para
      correr otro caso"
5800 PRINT "  Ingrese ";:COLOR 29:PRINT "G";:COLOR 12:PRINT "" para
      correr el programa GREET"
5810 PRINT
5820 XX$ = INPUT$(1)
5830 RETURN
5840 CLS
5850 X1=2:Y1=2:X2=78:Y2=22
5860 GOSUB 5480
5870 LOCATE 12,14:PRINT "DESEA IMPRIMIR SU NOMBRE SOBRE EL GRAFICO ?
      (s/n)";
5880 INPUT " ",ANS$
5890 IF ANS$ <> "S" AND ANS$ <> "s" THEN USER$ = " ":GOTO 5940
5900 LOCATE 14,14
5910 PRINT "POR FAVOR INGRESE SU NOMBRE (maximo 5 caracteres)"
5920 LOCATE 16,14:INPUT "===> ",USER$
5930 IF LEN(USER$) > 5 THEN LOCATE 18,14:PRINT "LONGITUD MUY
      GRANDE!":GOTO 5900
5940 RETURN
5950 '
5960 LOCATE 2,40 - LEN(USER$):PRINT USER$
5970 LINE (8*(40 - LEN(USER$)) - 16,20) - (319,0),,B

```

```

5980 RETURN
5990 '
6000 REM SUBROUTINA POSICION INICIAL DEL CURSOR
6010 '
6020 REM GRAFICO DEL CURSOR
6030 '
6040 DIM CURSOR(100)
6050 LINE (24,185) - (24,INT(YY(4))+2),3
6060 GET (24,INT(YY(4))+2) - (24,185),CURSOR
6070 '
6080 RETURN
6090 '
6100 REM SUBROUTINA CURSOR DERECHA
6110 INC = 2
6120 IF POS.X = 260
    THEN PUT (POS.X,INT(YY(1))+2),CURSOR : POS.X = 24 : POS.Y = 4
6130 POS.X = POS.X + 2
6140 POS.Y = POS.Y + 2
6150 GOSUB 6280      '- MOVIMIENTO DEL CURSOR
6160 '
6170 RETURN
6180 '
6190 REM SUBROUTINA CURSOR IZQUIERDA
6200 INC = - 2
6210 IF POS.X = 24 THEN RETURN
6220 POS.X = POS.X - 2
6230 POS.Y = POS.Y - 2
6240 GOSUB 6280      '- MOVIMIENTO DEL CURSOR
6250 '
6260 RETURN
6270 '
6280 REM SUBROUTINA MOVIMIENTO DEL CURSOR
6290 '
6300 I = POS.Y
6310 LINE (100,50) - (220,85),3,B
6320 LOCATE 8,15 : PRINT SPC(10)
6330 LOCATE 10,15 : PRINT SPC(10)
6340 LOCATE 8,15 : PRINT "a = "; : PRINT USING "##.##";I / 10
6350 LOCATE 10,15 : PRINT "S* = "; : PRINT USING "###.###";S(I)
6360 PUT (POS.X - INC,INT(YY(I-INC))+2),CURSOR
6370 LINE (POS.X,INT(YY(I))+2) - (POS.X,185),3
6380 GET (POS.X,INT(YY(I))+2) - (POS.X,185),CURSOR
6390 '
6400 RETURN

```

```

10 ' PROGRAM KIBENDG
20 ' ki, factor de intensidad de esfuerzos, modo abierto
30 ' Subprograma para una viga fisurada bajo flexion
   y-scale: 150=15 mm^0.5 '
40 CLEAR:CLS :KEY OFF: PRINT : PRINT : PRINT : PRINT :
   PRINT
50 DIM Y(7,101)
60 GOSUB 1150
70 PI= 3.14159
80 'PRINT " Si usted necesita una copia ingrese Y"
90 'INPUT D$
100 D$ = "n"
110 IF D$="y" OR D$="Y" GOTO 140
120 CLS: SCREEN 1,0: COLOR 0,0
130 GOTO 150
140 CLS: SCREEN 1,0: COLOR 7,0
150 DEF FNF(X)=-.1525 + 3.148*X - 8.753*X*X + 12.85*X*X*X
   - 8.754*X*X*X*X + 1.618*X*X*X*X*X + .4701*X*X*X*X*X*X
160 LINE (0,0) - (319,199),1,B
170 GOSUB 880 ' determine x-escala
180 LINE(20,170)-(20,10), 3
190 LINE(20,170)-(220,170), 3
200 FOR I=22 TO 220 STEP 2
210 IF (((I-20)/2) MOD 5 )=0 THEN LINE(I,168)-(I,172),3
220 IF (((I-20)/2) MOD 10)=0 THEN LINE(I,166)-(I,174),3
230 LINE(I,169)-(I,171), 3
240 NEXT I
250 FOR J=165 TO 10 STEP -5
260 IF (((170-J)/5) MOD 5)=0 THEN LINE(18,J)-(22,J),3
270 IF (((170-J)/5) MOD 10)=0 THEN LINE(16,J)-(24,J),3
280 LINE(19,J)-(21,J), 3
290 NEXT J
300 LOCATE 23,3 : PRINT "0 a,inicial por "; : PRINT
   USING "#.###";XSCALE; : PRINT " mm "
   :PSET(24,182)
310 LOCATE 22,2 : PRINT "0" : PSET(16,174)
320 LOCATE 1,1: PRINT "K1"
330 LOCATE 2,2: PRINT "/"
340 LOCATE 3,2: PRINT "H"
350 LOCATE 5,2: PRINT "p"
360 LOCATE 6,2: PRINT "o"
370 LOCATE 7,2: PRINT "r"
380 PSET(12, 60) :PSET(12, 61) :PSET(11, 60) : PSET(11,
   61)
390 LOCATE 9,2: PRINT "0"
400 LOCATE 10,2: PRINT "0"
410 LOCATE 11,2: PRINT "5"
420 LOCATE 13,2 : PRINT "m"
430 LOCATE 14,2 : PRINT "m"
440 LOCATE 15,2 : PRINT "" :PSET(12,138):PSET(12,137):
   PSET(11,137) :PSET(11,138)
450 LOCATE 16,2 : PRINT "-"
460 LOCATE 17,2 : PRINT "2"
470 LOCATE 19,2 : PRINT "5"

```

```

480 IF USER$ <> "" AND USER$ <> " " THEN GOSUB 1270
490 LOCATE 14,20:PRINT "TRABAJANDO"
500 AW(1)=.05 : AW(2)=.1 : AW(3)=.2 : AW(4)=.3 :
    AW(5)=.4 : AW(6)=.5 : AW(7)=.6
510 FOR I=22 TO 220 STEP 2
520 A=(I-20)/2 * XSCALE
530 L=(I-20)/2
540 FOR J=1 TO 7
550 F=FNF(AW(J))
560 Y(J,L)=6*F*(A*(1/AW(J)-1))(-1.5)
570 NEXT J
580 NEXT I
590 LOCATE 14,20:PRINT " "
600 FOR IJ=1 TO 7
610 FOR IL=1 TO 99
620 X=IL*2+20
630 X2=X+2
640 Y1=170-Y(IJ,IL)*1000 : Y2=170-Y(IJ,IL+1)*1000
650 IF Y1 < 15 THEN GOTO 690
660 IJM=IJ MOD 3
670 IF IJM=0 THEN IJM=3
680 LINE(X,Y1)-(X2,Y2), IJM
690 NEXT IL
700 X22=X2+17-IJ*2
710 LINE (X2+3,Y2)-(X22, Y2),IJM :LINE -(X22, 170-
    IJ*16), IJM : LINE -(X2+17, 170-IJ*16), IJM
720 M1X=(X2+17)/8+2 : M1X=(170-IJ*16)/8+1
730 LOCATE M1X,M1X
740 PRINT USING "#.##";AW(IJ)
750 NEXT IJ
760 LOCATE (M1X-2),M1X : PRINT "(a/W)"
770 LOCATE 1,4 : PRINT "KI/M vs a(tamano de fisura)"
780 LOCATE 2,6 : PRINT "para PROBETA EN FLEXION"
790 LOCATE 5,10
800 LOCATE 1,1
810 GOSUB 1050
820 IF XX$="R" OR XX$="r" THEN GOTO 100
830 IF XX$="M" OR XX$="m" THEN RUN"testmenu"
840 IF XX$="S" OR XX$="s" THEN SYSTEM ELSE GOTO
810
850 END
860 '
870 '
880 ' subrutina   determination x-escala
890 F=FNF(.6) : F1=F*(1/.6-1)(-1.5)
900 ARANGE= (6*F1/.15)(2/3) : ARAN=ARANGE/50
910 IF ARAN < .005 THEN XSCALE=ARAN : RETURN
920 XSX= CINT(ARAN*1000/5)
930 XSCALE= XSX * 5/1000
940 RETURN
950 '
960 '
970 'datos para 5 puntos de la cuadratura de Gaussian
Legendre

```



RIT-1076CA

```
980 'abscissas x(i)
990 DATA 0!, 0.5384693101, 0.9061798459
1000 'weight w(i)
1010 DATA 0.5688888889, 0.4786286705, 0.2369268851
1020 '
1030 '
1040 '
1050 ' subrutina para el programa transportación
1060 XX$=INPUT$(1)
1070 SCREEN 0:WIDTH 80:COLOR 12,0:CLS
1080 LOCATE 10,1
1090 PRINT "  Ingrese ";:COLOR 26:PRINT "M";:COLOR 12
:PRINT "" para regresar al ";:COLOR 10:PRINT "Sub-
MENU":COLOR 12
1100 PRINT "  Ingrese ";:COLOR 27:PRINT "S";:COLOR 12
:PRINT "" para salir al ";:COLOR 11:PRINT "SYSTEMA"
:COLOR 12
1110 PRINT "  Ingrese ";:COLOR 29:PRINT "R";:COLOR 12
:PRINT "" para correr de nuevo este subprograma"
1120 PRINT
1130 XX$ = INPUT$(1)
1140 RETURN
1150 '
1160 SCREEN 0:WIDTH 80:COLOR 11:CLS
1170 LOCATE 10,5:PRINT "Desea imprimir su nombre sobre el
grafico ? (S/N)";
1180 INPUT " ",ANS$
1190 IF ANS$ <> "S" AND ANS$ <> "s" THEN USER$ = " ":
GOTO 1230
1200 LOCATE 13,5:PRINT "Por favor ingrese su nombre
(maximo 8 caracteres):"
1210 PRINT :INPUT " ==> ",USER$
1220 IF LEN(USER$) > 8 THEN PRINT :PRINT " nombre muy
largo!":GOTO 1210
1230 RETURN
1240 '
1250 '
1260 '
1270 '
1280 LOCATE 2,40 - LEN(USER$):PRINT USER$
1290 LINE (8*(40 - LEN(USER$)) - 16,20) - (319,0),,B
1300 RETURN
```

```

10 * PROGRAM KIWOL
20 * ki, factor de intensidad de esfuerzos, modo abierto *
30 * Subprograma para probetas W.O.L., y-scale: 150=15 mm^0.5 *
40 CLEAR:CLS :KEY OFF: PRINT : PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
50 DIM Y(6,101)
60 GOSUB 1240
70 PI= 3.14159
80 *PRINT " Si usted necesita una copia ingrese S"
90 *INPUT D$
100 D$ = "N"
110 CLS:LOCATE 5,6:PRINT "Ingrse el tipo de probeta WOL:"
120 PRINT "      1 ----> tipo-T (H/W=0.927)"
130 PRINT "      2 ----> tipo-CTS (H/W=1.2)"
140 INPUT "      ==> ",TYPE
150 IF TYPE <> 1 AND TYPE <> 2 THEN GOTO 140
160 IF D$="S" OR D$="s" GOTO 190
170 CLS: SCREEN 1,0: COLOR 0,0
180 GOTO 200
190 CLS: SCREEN 1,0: COLOR 7,0
200 DEF FNF1(AWR)=30.96 * AWR - 195.8 * AWR*AWR + 730.6 *AWR^3 -
      1186.3*AWR^4 + 754.6 * AWR^5
210 DEF FNF2(AWR)=.296*AWR - 1.855*AWR*AWR + 6.557*AWR^3 - 10.17*AWR^4
      + 6.389*AWR^5
220 LINE (0,0) - (319,199),1,B
230 GOSUB 1000      * determine x-scale
240 LINE(20,170)-(20,10), 3
250 LINE(20,170)-(220,170), 3
260 FOR I=22 TO 220 STEP 2
270 IF (((I-20)/2) MOD 5 )=0 THEN LINE(I,168)-(I,172),3
280 IF (((I-20)/2) MOD 10)=0 THEN LINE(I,166)-(I,174),3
290 LINE(I,169)-(I,171), 3
300 NEXT I
310 FOR J=165 TO 10 STEP -5
320 IF (((170-J)/5) MOD 5)=0 THEN LINE(18,J)-(22,J),3
330 IF (((170-J)/5) MOD 10)=0 THEN LINE(16,J)-(24,J),3
340 LINE(19,J)-(21,J), 3
350 NEXT J
360 LOCATE 23,3 : PRINT "0      a,inicial por "; : PRINT USING
      "#.###";XSCALE;      : PRINT " mm " :PSET(24,182)
370 LOCATE 22,2 : PRINT "0" : PSET(16,174)
380 LOCATE 1,1: PRINT "K1"
390 LOCATE 2,2: PRINT "/"
400 LOCATE 3,2: PRINT "P"
410 LOCATE 5,2: PRINT "p"
420 LOCATE 6,2: PRINT "o"
430 LOCATE 7,2: PRINT "r"
440 IF TYPE=2 THEN GOTO 490
450 LOCATE 9,2: PRINT "0"
460 PSET(12, 76) :PSET(12, 77) :PSET(11, 76) : PSET(11, 77)
470 LOCATE 11,2: PRINT "2"
480 GOTO 530
490 PSET(12, 68) :PSET(12, 69) :PSET(11, 68) : PSET(11, 69)
500 *LOCATE 9,2: PRINT "0"
510 LOCATE 10,2: PRINT "0"

```

```

520 LOCATE 11,2: PRINT "1"
530 LOCATE 13,2 : PRINT "m"
540 LOCATE 14,2 : PRINT "m"
550 LOCATE 15,2 : PRINT "" : PSET(12,138):PSET(12,137):PSET(11,137)
      :PSET(11,138)
560 LOCATE 16,2 : PRINT "-"
570 LOCATE 17,2 : PRINT "1"
580 LOCATE 19,2 : PRINT "5"
590 IF USER$ <> "" AND USER$ <> " " THEN GOSUB 1360
600 LOCATE 14,20:PRINT "TRABAJANDO"
610 FOR I=22 TO 220 STEP 2
620 A=(I-20)/2 * XSCALE
630 L=(I-20)/2
640 IF TYPE =1 THEN J2=6 : AW(1)=.25 : AW(2)=.35 : AW(3)=.45 :
      AW(4)=.55 : AW(5)= .65 : AW(6)=.75 ELSE J2=5 : AW(1)=.3 : AW(2)=.4
      : AW(3)=.5 : AW(4)=.6 : AW(5)=.7
650 FOR J=1 TO J2
660 IF TYPE=1 THEN Y(J,L)= FWF1(AW(J)) / SQR(A) / J!
      ELSE Y(J,L)= FWF2(AW(J)) / SQR(A) / J! ` espesor de probeta = 1
670 NEXT J
680 NEXT I
690 LOCATE 14,20:PRINT " "
700 FOR IJ=1 TO J2
710 FOR IL=1 TO 99
720 X=IL*2+20
730 X2=X+2
740 IF TYPE=1 THEN MAG=25 ELSE MAG=1000
750 Y1=170-Y(IJ,IL)*MAG : Y2=170-Y(IJ,IL+1)*MAG
760 IF Y1 < 15 THEN GOTO 800
770 IJM=IJ MOD 3
780 IF IJM=0 THEN IJM=3
790 LINE(X,Y1)-(X2,Y2), IJM
800 NEXT IL
810 X22=X2+17-IJ*2
820 LINE (X2+3,Y2)-(X22, Y2),IJM :LINE -(X22, 170-IJ*16), IJM
      : LINE -(X2+17, 170-IJ*16), IJM
830 M1X=(X2+17)/8+2 : N1X=(170-IJ*16)/8+1
840 LOCATE M1X,M1X
850 PRINT USING "#.##";AW(IJ)
860 NEXT IJ
870 LOCATE (M1X-2),M1X : PRINT "(a/W)"
880 LOCATE 1,7 : PRINT "KI/P vs FUERZA APLICADA"
890 LOCATE 2,10 : PRINT "para PROBETA WOL"
900 LOCATE 5,10
910 IF TYPE =1 THEN PRINT "tipo = T"
      ELSE PRINT "tipo = CTS"
920 LOCATE 1,1
930 GOSUB 1160
940 IF XX$="S" OR XX$="s" THEN SYSTEM
950 IF XX$="M" OR XX$="m" THEN RUN"testmenu"
960 IF XX$="R" OR XX$="r" THEN GOTO 110 ELSE GOTO 930
970 END
980 .
990 .

```

```

1000 `subrutina    determinación de x-escala
1010 IF TYPE=1 THEN F=PNF1(.75) : ARANGE=(F/6)*(F/6) : ARAN=ARANGE/5
      ELSE F=PNF2(.7) : ARANGE=(F/.3)*(F/.3) : ARAN=ARANGE*1.4
1020 IF ARAN < .005 THEN XSCALE=ARAN : RETURN
1030 XSX= CINT(ARAN*100/5)
1040 XSCALE= XSX * 5/100
1050 RETURN
1060 `
1070 `
1080 `datos para 5 puntos de la cuadratura de Gaussian Legendre
1090 `abscissas x(i)
1100 DATA 0!, 0.5384693101, 0.9061798459
1110 `weight w(i)
1120 DATA 0.5688888889, 0.4786286705, 0.2369268851
1130 `
1140 `
1150 `
1160 `subrutina para el programa transportación
1170 XI$=INPUT$(1)
1180 SCREEN 0:WIDTH 80:COLOR 12,0:CLS
1185 LOCATE 10,1
1190 PRINT " Ingrese ";:COLOR 26:PRINT "M";:COLOR 12:PRINT "" para
      regresar al ";:COLOR 10:PRINT "Sub-MENU":COLOR 12
1200 PRINT " Ingresar ";:COLOR 27:PRINT "S";:COLOR 12:PRINT "" para
      salir al ";:COLOR 11:PRINT "SYSTEMA":COLOR 12
1210 PRINT " Ingrese ";:COLOR 29:PRINT "R";:COLOR 12:PRINT "" para
      correr otro caso"
1215 PRINT
1220 XX$ = INPUT$(1)
1230 RETURN
1240 `
1250 SCREEN 0:WIDTH 80:COLOR 14
1260 LOCATE 10,5:PRINT "Desea imprimir su nombre en el grafico ?
      (S/N)";
1270 INPUT " ",ANS$
1280 IF ANS$ <> "S" AND ANS$ <> "s" THEN USER$ = " ":GOTO 1320
1290 LOCATE 13,5:PRINT "Por favor ingrese su nombre (maximo 8
      caracteres):"
1300 PRINT :INPUT "    ==> ",USER$
1310 IF LEN(USER$) > 8 THEN PRINT :PRINT " longitud muy grande!":GOTO
1300
1320 RETURN
1330 `
1340 `
1350 `
1360 `
1370 LOCATE 2,40 - LEN(USER$):PRINT USER$
1380 LINE (8*(40 - LEN(USER$)) - 16,20)- (319,0),,B
1390 RETURN

```

```

10 ' PROGRAM KIKLLIP
20 ' ki, factor de intensidad de esfuerzos, modo abierto '
30 ' Subprograma para plancha con una fisura eliptica interna,
   y-scale: 150=15 mm*0.5 '
40 CLEAR:CLS :KEY OFF:PRINT : PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
50 DIM Y(6,101)
60 GOSUB 1330
70 PI= 3.14159
80 'PRINT " Si usted necesita una copia,ingrese S"
90 'INPUT D$
100 D$ = "N"
110 CLS:LOCATE 5,6:PRINT "Ingrese BETA (0<=BETA<=360) :(angulo
   incluido para el mayor eje y la linea"
120 PRINT "      conectada por el punto de interseccion y el
   centro de la elipse)"
130 PRINT :INPUT "      ==> ",BETA
140 BETA= BETA/180 * PI
150 IF D$="y" OR D$="Y" GOTO 180
160 CLS: SCREEN 1,0: COLOR 0,0
170 GOTO 190
180 CLS: SCREEN 1,0: COLOR 7,0
190 RESTORE:READ Z(0),Z(1),Z(3),W(0),W(1),W(3)
200 Z(2)=-Z(1) : Z(4)=-Z(3) : W(2)=W(1) : W(4)=W(3)
210 FOR I=0 TO 4
220 THETA= PI/4 * ( Z(I) + 1)
230 SIN2THETA(I)=SIN(THETA) * SIN(THETA)
240 NEXT I
250 LINE (0,0) - (319,199),1,B
260 GOSUB 1080      ' determine x-scale
270 LINE(20,170)-(20,10), 3
280 LINE(20,170)-(220,170), 3
290 FOR I=22 TO 220 STEP 2
300 IF (((I-20)/2) MOD 5 )=0 THEN LINE(I,168)-(I,172),3
310 IF (((I-20)/2) MOD 10)=0 THEN LINE(I,166)-(I,174),3
320 LINE(I,169)-(I,171), 3
330 NEXT I
340 FOR J=165 TO 10 STEP -5
350 IF (((170-J)/5) MOD 5)=0 THEN LINE(18,J)-(22,J),3
360 IF (((170-J)/5) MOD 10)=0 THEN LINE(16,J)-(24,J),3
370 LINE(19,J)-(21,J), 3
380 NEXT J
390 LOCATE 23,3 : PRINT "0      a por "; : PRINT USING
   "$.###";XSCALE;      : PRINT " mm " :PSET(24,182)
400 LOCATE 22,2 : PRINT "0" : PSET(16,174)
410 LOCATE 3,1: PRINT "K1"
420 LOCATE 4,2: PRINT "/"
430 LOCATE 5,2: PRINT "S"
440 LOCATE 7,2: PRINT "p"
450 LOCATE 8,2: PRINT "o"
460 LOCATE 9,2: PRINT "r"
470 LOCATE 11,2: PRINT "0"
480 PSET(12, 90) :PSET(12, 91) :PSET(11, 90) : PSET(11,91)
490 LOCATE 13,2: PRINT "5"
500 LOCATE 15,2 : PRINT "m"

```

```

510 LOCATE 16,2 : PRINT "m"
520 LOCATE 17,2 : PRINT "" :PSET(12,138):PSET(12,137):
    PSET(11,137) :PSET(11,138)
530 LOCATE 19,2 : PRINT "5"
540 GOSUB 1450
550 LOCATE 14,20:PRINT "TRABAJANDO"
560 FOR I=20 TO 220 STEP 2
570 A=(I-20)/2 * XSCALE
580 L=(I-18)/2
590 FOR J=1 TO 6
600 IF J=1 THEN ACR=0!
610 IF J=2 THEN ACR=.2
620 IF J=3 THEN ACR=.4
630 IF J=4 THEN ACR=.6
640 IF J=5 THEN ACR=.8
650 IF J=6 THEN ACR=1!
660 WFZ = 0!
670 FOR JX=0 TO 4
680 FZ = PI/4 * SQR((1-(1- ACR * ACR) * SIN2THETA(JX)))
690 WFZ = WFZ + W(JX) * FZ      'phi=wfz
700 NEXT JX
710 B=(SIN(BETA)*SIN(BETA) + ACR*ACR * COS(BETA)* COS(BETA))'
    .25 / WFZ
720 Y(J,L)=B * SQR(PI*A)
730 NEXT J
740 NEXT I
750 LOCATE 14,20:PRINT " "
760 FOR IJ=1 TO 6
770 FOR IL=1 TO 100
780 X=IL*2+18
790 X2=X+2
800 Y1=170-Y(IJ,IL)*10 : Y2=170-Y(IJ,IL+1)*10
810 IJM=IJ MOD 3
820 IF IJM=0 THEN IJM=3
830 LINE(X,Y1)-(X2,Y2), IJM
840 NEXT IL
850 X22=X2+17-IJ*2
860 LINE (X2+3,Y2)-(X22, Y2),IJM :LINE -(X22, 50+IJ*16), IJM
    : LINE -(X2+17, 50+IJ*16), IJM 870 M1X=(X2+17)/8+2 : M1X=(
    50+IJ*16)/8+1
880 LOCATE M1X,M1X
890 IF IJ=1 THEN PRINT "0.0" : LOCATE (M1X-2),M1X : PRINT
    "(a/c)"
900 IF IJ=2 THEN PRINT "0.2"
910 IF IJ=3 THEN PRINT "0.4"
920 IF IJ=4 THEN PRINT "0.6"
930 IF IJ=5 THEN PRINT "0.8"
940 IF IJ=6 THEN PRINT "1.0"
950 NEXT IJ
960 LOCATE 1,4 : PRINT "KI/S vs MITAD-PROFUNDIDAD"
970 LOCATE 2,5 : PRINT "FISURA ELIPTICA INTERNA"
980 BETA= BETA/PI * 180
990 LOCATE 3,7 : PRINT "BETA ="; : PRINT USING "###";BETA;
    :PRINT " grados"

```

```

1000 LOCATE 1,1
1010 GOSUB 1250
1020 IF XX$="R" OR XX$="r" THEN GOTO 110
1030 IF XX$="M" OR XX$="m" THEN RUN"kimenu"
1040 IF XX$="S" OR XX$="s" THEN SYSTEM ELSE GOTO 1010
1050 END
1060 '
1070 '
1080 ' subrutina      determinación de x-scale
1090 BVIP=(SIN(BETA)*SIN(BETA) + COS(BETA)* COS(BETA))^.25
1100 ARANGE= (15 /BVIP)*(15 /BVIP)/ PI
1110 IF ARANGE < .005 THEN RETURN
1120 XSX= INT(ARANGE/100*1000)/5
1130 XSCALE= XSX * 5/1000
1140 RETURN
1150 '
1160 '
1170 'datos para 5 puntos de la cuadratura de Gaussian Legendre
1180 'abscissas x(i)
1190 DATA 0!, 0.5384693101, 0.9061798459
1200 'weight w(i)
1210 DATA 0.5688888889, 0.4786286705, 0.2369268851
1220 '
1230 '
1240 '
1250 ' subrutina para el programa transportación
1260 XX$=INPUT$(1)
1270 SCREEN 0:WIDTH 80:COLOR 13,0
1280 PRINT "Ingrese 'M' para regresar al MENU PRINCIPAL"
1290 PRINT "Ingrese 'S' para salir al SYSTEMA"
1300 PRINT "Ingrese 'R' para correr nuevamente este caso"
1310 XI$ = INPUT$(1)
1320 RETURN
1330 '
1340 SCREEN 0:WIDTH 80:COLOR 13:CLS
1350 LOCATE 10,5:PRINT "Desea imprimir su nombre sobre el
grafico ? (S/N)";
1360 INPUT " ",ANS$
1370 IF ANS$ <> "S" AND ANS$ <> "s" THEN USER$ = " ":GOTO 1410
1380 LOCATE 13,5:PRINT "Por favor ingrese su nombre (maximo 9
caracteres):"
1390 PRINT :INPUT " ===> ",USER$
1400 IF LEN(USER$) > 9 THEN PRINT :PRINT "longitud muy
grande":GOTO 1390
1410 RETURN
1420 '
1430 '
1440 '
1450 '
1460 LOCATE 2,40 - LEN(USER$):PRINT USER$
1470 LINE (8*(40 - LEN(USER$)) - 16,20) - (319,0),,B
1480 RETURN

```

```

10 ' PROGRAM KISURF
20 ' ki, factor de intensidad de esfuerzos, modo abierto '
30 ' Subprograma para plancha con una fisura superficial
40 CLEAR:CLS :KEY OFF: PRINT : PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
50 DIM Y(6,101)
60 GOSUB 1390
70 PI= 3.14159
80 'PRINT " Si usted necesita una copia ingrese Y"
90 'INPUT D$
100 D$ = "N"
110 CLS:LOCATE 10,1
120 PRINT "Ingrese la relacion,S/Sys(<=1):(esfuerzo nominal
    aplicado/esfuerzo de fluencia)"
130 PRINT
140 INPUT "====> ",SSYSR
150 PRINT :PRINT
160 PRINT "Ingrese la relacion a/B,(<1):(altura de fisura
    superficial/espesor del material)"
170 PRINT
180 INPUT "====> ",ATR
190 IF D$="y" OR D$="Y" GOTO 220
200 CLS: SCREEN 1,0: COLOR 0,0
210 GOTO 230
220 CLS: SCREEN 1,0: COLOR 7,0
230 IF ATR <= .5 THEN MX=1! ELSE MX= 1.2 * ATR + .4
240 RESTORE:READ Z(0),Z(1),Z(3),W(0),W(1),W(3)
250 Z(2)=-Z(1) : Z(4)=-Z(3) : W(2)=W(1) : W(4)=W(3)
260 FOR I=0 TO 4
270 THETA= PI/4 * ( Z(I) + 1)
280 SIN2THETA(I)=SIN(THETA) * SIN(THETA)
290 NEXT I
300 LINE (0,0) - (319,199),1,B
310 GOSUB 1130 ' determine x-scale
320 LINE(20,170)-(20,10), 3
330 LINE(20,170)-(220,170), 3
340 FOR I=22 TO 220 STEP 2
350 IF (((I-20)/2) MOD 5 )=0 THEN LINE(I,168)-(I,172),3
360 IF (((I-20)/2) MOD 10)=0 THEN LINE(I,166)-(I,174),3
370 LINE(I,169)-(I,171), 3
380 NEXT I
390 FOR J=165 TO 10 STEP -5
400 IF (((170-J)/5) MOD 5)=0 THEN LINE(18,J)-(22,J),3
410 IF (((170-J)/5) MOD 10)=0 THEN LINE(16,J)-(24,J),3
420 LINE(19,J)-(21,J), 3
430 NEXT J
440 LOCATE 23,3 : PRINT "0 a por "; : PRINT USING
    "#.###";ISCALE; : PRINT " mm " :PSET(24,182)
450 LOCATE 22,2 : PRINT "0" : PSET(16,174)
460 LOCATE 3,1: PRINT "K1"
470 LOCATE 4,2: PRINT "/"
480 LOCATE 5,2: PRINT "S"
490 LOCATE 7,2: PRINT "p"
500 LOCATE 8,2: PRINT "o"
510 LOCATE 9,2: PRINT "r"

```

```

520 LOCATE 11,2: PRINT "0"
530 PSET(12, 90) :PSET(12, 91) :PSET(11, 90) : PSET(11, 91)
540 LOCATE 13,2: PRINT "5"
550 LOCATE 15,2 : PRINT "m"
560 LOCATE 16,2 : PRINT "m"
570 LOCATE 17,2 : PRINT "" : PSET(12,138): PSET(12,137): PSET(11,137)
      :PSET(11,138)
580 LOCATE 19,2 : PRINT "5"
590 GOSUB 1510
600 LOCATE 14,20:PRINT "TRABAJANDO"
610 FOR I=20 TO 220 STEP 2
620 A=(I-20)/2 * XSCALE
630 L=(I-18)/2
640 FOR J=1 TO 6
650 IF J=1 THEN A2CR=0! : ACR=0!
660 IF J=2 THEN A2CR=.1 : ACR=.2
670 IF J=3 THEN A2CR=.2 : ACR=.4
680 IF J=4 THEN A2CR=.3 : ACR=.6
690 IF J=5 THEN A2CR=.4 : ACR=.8
700 IF J=6 THEN A2CR=.5 : ACR=1!
710 WFZ = 0!
720 FOR JX=0 TO 4
730 FZ = PI/4 * SQR((1-(1- ACR * ACR) * SIN2THETA(JX)))
740 WFZ = WFZ + W(JX) * FZ      'phi=wfz
750 NEXT JX
760 QSQR= SQR(WFZ * WFZ - .212 * SSYSR * SSYSR)
770 B=1.1 * MX / QSQR
780 Y(J,L)=B * SQR(PI*A)
790 NEXT J
800 NEXT I
810 LOCATE 14,20:PRINT " "
820 FOR IJ=1 TO 6
830 FOR IL=1 TO 100
840 X=IL*2+18
850 X2=X+2
860 Y1=170-Y(IJ,IL)*10 : Y2=170-Y(IJ,IL+1)*10
870 IJM=IJ MOD 3
880 IF IJM=0 THEN IJM=3
890 LINE(X,Y1)-(X2,Y2), IJM
900 NEXT IL
910 X22=X2+17-IJ*2
920 LINE (X2+3,Y2)-(X22, Y2),IJM :LINE -(X22, 50+IJ*16), IJM :LINE -
      (X2+17, 50+IJ*16), IJM 930 M1X=(X2+17)/8+2 :M1X=( 50+IJ*16)/8+1
940 LOCATE M1X,M1X
950 IF IJ=1 THEN PRINT "0.0" : LOCATE (M1X-2),M1X : PRINT "(a/2c)"
960 IF IJ=2 THEN PRINT "0.1"
970 IF IJ=3 THEN PRINT "0.2"
980 IF IJ=4 THEN PRINT "0.3"
990 IF IJ=5 THEN PRINT "0.4"
1000 IF IJ=6 THEN PRINT "0.5"
1010 NEXT IJ
1020 LOCATE 1,3 : PRINT "KI/S vs PROFUNDIDAD de FISUR-SUPERFI"
1030 LOCATE 5,5 : PRINT "a/B ="; : PRINT USING "##.###";ATR
1040 LOCATE 3,5 : PRINT "S/Sys ="; : PRINT USING "##.###";SSYSR

```

```

1050 LOCATE 1,1
1060 GOSUB 1310
1065 IF XX$<"R" AND XX$<"r" AND XX$<"M" AND XX$<"m" AND XX$<"S"
    AND XX$<"s" THEN GOTO 1060
1070 IF XX$="M" OR XX$="m" THEN RUN "Kinenu"
1080 IF XX$="S" OR XX$="s" THEN SYSTEM
1090 IF XX$="R" OR XX$="r" THEN GOTO 110
1100 END
1110 '
1120 '
1130 ' subrutina    determinación de x-escala
1140 QSQRMAX= SQR(1-.212 * SSYSR * SSYSR) 'phi=1 when a/c=0
1150 BVIP= 1.1 * MX / QSQRMAX
1160 ARANGE= (15 /BVIP)*(15 /BVIP)/ PI
1170 IF ARANGE < .005 THEN RETURN
1180 XSX= INT(ARANGE/100*1000)/5
1190 XSCALE= XSX * 5/1000
1200 RETURN
1210 '
1220 '
1230 'datos para 5 puntos de la cuadratura de Gaussian Legendre
1240 'abscissas x(i)
1250 DATA 0!, 0.5384693101, 0.9061798459
1260 'weight w(i)
1270 DATA 0.5688888889, 0.4786286705, 0.2369268851
1280 '
1290 '
1300 '
1310 ' subrutina para el programa transportación
1320 XX$=INPUT$(1)
1330 SCREEN 0:WIDTH 80:COLOR 12,0:CLS
1340 PRINT "Ingrese 'M' para regresar al MENU PRINCIPAL"
1350 PRINT "Ingrese 'S' para salir al SISTEMA operativo DOS"
1360 PRINT "Ingrese 'R' para volver a correr este caso"
1370 XX$ = INPUT$(1)
1380 RETURN
1390 '
1400 SCREEN 0:WIDTH 80:COLOR 12,0:CLS
1410 LOCATE 10,5:PRINT "Desea imprimir su nombre en el grafico? (S/N)";
1420 INPUT " ",ANS$
1430 IF ANS$ <> "S" AND ANS$ <> "s" THEN USER$ = " ":GOTO 1470
1440 LOCATE 13,5:PRINT "Por favor ingrese su nombre (maximo 5
    caracteres):"
1450 PRINT :INPUT "    ===> ",USER$
1460 IF LEN(USER$) > 5 THEN PRINT ":PRINT " longitud muy grande!": GOTO
    1450
1470 RETURN
1480 '
1490 '
1500 '
1510 '
1520 LOCATE 24,40 - LEN(USER$):PRINT USER$;
1530 LINE (8*(40 - LEN(USER$)) - 16,174) - (319,199),,B
1540 RETURN

```

```

10 * PROGRAM KIWKLD
20 * ki, factor de intensidad de esfuerzos, modo abierto *
30 * Subprograma para plancha soldada con esfuerzos residuales
40 CLEAR:CLS : KEY OFF : PRINT : PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
50 DIM Y(6,101)
60 GOSUB 1150
70 PI= 3.14159
80 *PRINT " Si usted necesita una copia ingrese Y"
90 *INPUT D$
100 D$ = "N"
110 CLS:LOCATE 10,1
120 PRINT "Ingrese So/S (esfuerzo residual maximo/esfuerzo nominal
    aplicado )"
130 PRINT :INPUT "===> ",SOSR
140 IF D$="y" OR D$="Y" GOTO 170
150 CLS: SCREEN 1,0: COLOR 0,0
160 GOTO 180
170 CLS: SCREEN 1,0: COLOR 7,0
180 LINE (0,0) - (319,199),1,B
190 GOSUB 950      * determine x-escala
200 LINE(20,170)-(20,10), 3
210 LINE(20,170)-(220,170), 3
220 FOR I=22 TO 220 STEP 2
230 IF (((I-20)/2) MOD 5 )=0 THEN LINE(I,168)-(I,172),3
240 IF (((I-20)/2) MOD 10)=0 THEN LINE(I,166)-(I,174),3
250 LINE(I,169)-(I,171), 3
260 NEXT I
270 FOR J=165 TO 10 STEP -5
280 IF (((170-J)/5) MOD 5)=0 THEN LINE(18,J)-(22,J),3
290 IF (((170-J)/5) MOD 10)=0 THEN LINE(16,J)-(24,J),3
300 LINE(19,J)-(21,J), 3
310 NEXT J
320 LOCATE 23,3 : PRINT "0      a por "; : PRINT USING
    "#.###";XSCALE;      : PRINT " mm " :PSET(24,182)
330 LOCATE 22,2 : PRINT "0" : PSET(16,174)
340 LOCATE 3,1: PRINT "K1"
350 LOCATE 4,2: PRINT "/"
360 LOCATE 5,2: PRINT "S"
370 LOCATE 7,2: PRINT "p"
380 LOCATE 8,2: PRINT "0"
390 LOCATE 9,2: PRINT "r"
400 LOCATE 11,2: PRINT "1"
410 PSET(12, 90) :PSET(12, 91) :PSET(11, 90) : PSET(11, 91)
420 LOCATE 13,2: PRINT "0"
430 LOCATE 15,2 : PRINT "m"
440 LOCATE 16,2 : PRINT "m"
450 LOCATE 17,2 : PRINT "" : PSET(12,138):PSET(12,137):PSET(11,137)
    :PSET(11,138)
460 LOCATE 19,2 : PRINT "5"
470 GOSUB 1270
480 LOCATE 14,20:PRINT "TRABAJANDO"
490 FOR I=20 TO 220 STEP 2
500 A=(I-20)/2 * XSCALE
510 L=(I-18)/2

```

```

520 FOR J=1 TO 6
530 IF J=1 THEN AFR=.1
540 IF J=2 THEN AFR=.3
550 IF J=3 THEN AFR=.5
560 IF J=4 THEN AFR=.7
570 IF J=5 THEN AFR=.9
580 IF J=6 THEN AFR=1
590 B=1+SOSR*(1-.5*AFR*AFR)
600 Y(J,L)=B * (PI*A)^.5
610 NEXT J
620 NEXT I
630 LOCATE 14,20:PRINT " "
640 FOR IJ=1 TO 6
650 FOR IL=1 TO 100
660 X=IL*2+18
670 X2=X+2
680 Y1=170-Y(IJ,IL)* 5 : Y2=170-Y(IJ,IL+1)* 5
690 IJM=IJ MOD 3
700 IF IJM=0 THEN IJM=3
710 LINE(X,Y1)-(X2,Y2), IJM
720 NEXT IL
730 X22=X2+17-IJ*2
740 LINE (X2+3,Y2)-(X22, Y2),IJM :LINE -(X22, 50+IJ*16), IJM
:LINE -(X2+17, 50+IJ*16), IJM 750 M1X=(X2+17)/8+2 :
M1X=( 50+IJ*16)/8+1
760 LOCATE M1X,M1X
770 IF IJ=1 THEN PRINT "0.1" : LOCATE (M1X-2),M1X : PRINT "(a/f)"
780 IF IJ=2 THEN PRINT "0.3"
790 IF IJ=3 THEN PRINT "0.5"
800 IF IJ=4 THEN PRINT "0.7"
810 IF IJ=5 THEN PRINT "0.9"
820 IF IJ=6 THEN PRINT "1.0"
830 NEXT IJ
840 LOCATE 1,2 : PRINT "XI/S vs Mitad de Longitud-Fisura"
850 LOCATE 2,6 : PRINT " en caso de soldadura "
860 LOCATE 5,5 : PRINT "So/S = "; : PRINT USING "##.###";SOSR
870 LOCATE 10,1
880 GOSUB 1050
890 IF XX$="S" OR XX$="s" THEN SYSTEM
900 IF XX$="M" OR XX$="m" THEN RUN"kimenu"
910 IF XX$="R" OR XX$="r" THEN CLS : GOTO 110
920 END
930 '
940 '
950 ' subrutina determinación de x-escala
960 AFRVIP=.1
970 BVIP= 1 + SOSR * (1 - .5 * AFRVIP * AFRVIP)
980 ARANGE= (30 /BVIP)*(30 /BVIP)/ PI
990 IF ARANGE < 1 THEN XSX=(ARANGE/100)*10000 : XSCALE=XSX/10000
: RETURN
1000 XSX= INT(ARANGE/100*1000)/10
1010 XSCALE= XSX * 10/1000
1020 RETURN
1030 '

```

```
1040 `
1050 ` subrutina para el programa transportación
1060 XX$= INPUT$(1)
1070 SCREEN 0 : WIDTH 80:COLOR 3,0:CLS
1080 PRINT " Ingrese ";:COLOR 9:PRINT "N";:COLOR 3:PRINT "" para
    regresar al Menu-PRINCIPAL"
1090 PRINT " Ingrese ";:COLOR 10:PRINT "S";:COLOR 3:PRINT "" para
    salir al SISTEMA"
1100 PRINT " Ingrese ";:COLOR 11:PRINT "R";:COLOR 3:PRINT "" para
    volver a correr este caso"
1110 PRINT
1120 XX$ = INPUT$(1)
1130 COLOR 13
1140 RETURN
1150 `
1160 SCREEN 0:WIDTH 80:COLOR 13,0:CLS
1170 LOCATE 10,5:PRINT "Desea imprimir su nombre sobre el grafico ?
    (S/N)";
1180 INPUT " ",ANS$
1190 IF ANS$ <> "S" AND ANS$ <> "s" THEN USER$ = " ":GOTO 1230
1200 LOCATE 13,5:PRINT "Por favor ingrese su nombre (maximo 5
    caracteres):"
1210 PRINT :INPUT " ===> ",USER$
1220 IF LEN(USER$) > 5 THEN PRINT :PRINT "Longitud muy grande!"
    :GOTO 1210
1230 RETURN
1240 `
1250 `
1260 `
1270 `
1280 IF USER$ = "" OR USER$ = " " OR USER$ = " " THEN GOTO 1300
1285 LOCATE 2,40 - LEN(USER$):PRINT USER$
1290 LINE (8*(40 - LEN(USER$)) - 16,20) - (319,0),,B
1300 RETURN
```

**BIBLIOGRAFIA**

- 1.- BARSOM S. Y JANLEY R.  
FRACTURE & FATIGUE CONTROL IN STRUCTURES  
(APPLICATIONS OF FRACTURE MECHANICS).
  
- 2.- G.T. HANN  
MACANICA Y METALURGIA DE LA FRACTURA  
BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE EEUU, 1977
  
- 3.- CHON - LIANG TSAI  
COMPUTER AIDED WELDING DESIGN AND ANALISIS.  
DEPARTAMENT OF WELDING ENGINEERING THE OHIO STATE  
UNIVERSITY, COLUMBUS, OHIO, 1988
  
- 4.- HERTZBERG W. RICHARD  
DEFORMATION AND FRACTURE MECHANICS OF ENGINEERING  
MATERIALS
  
- 5.- VICENTE ROJAS A. Y JOSE SACATO C.  
TECNICAS DE FLUJOGRAMAS I. CUARTA EDICION