

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

PROGRAMAS PARA ANALIZAR PROBLEMAS DE
ESTABILIDAD SEGUN EL CRITERIO DE NYQUIST

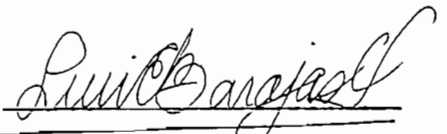
TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITU-
LO DE INGENIERO EN LA ESPECIALIZACION
DE ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES .

EDGAR TORRES PROAÑO

QUITO - JULIO - 1978

C E R T I F I C A C I O N :

Certifico que el presente -
trabajo ha sido realizado por
el Señor Edgar Torres P., ba
jo mi dirección.

A handwritten signature in cursive script, reading "Luis E. Barajas", written over a horizontal line.

Ing. Luis E. Barajas

AGRADECIMIENTO

A mis profesores en la Escuela Politécnica Nacional y en forma particular al Ing. Luis E. Barajas, Director de mi Tesis que con su valiosa dirección hizo posible este trabajo; Ing. Efraín del Pino e Ing. Cristóbal Trujillo, quienes gustosamente atendieron mis inquietudes.

A mis padres que con su ejemplo
han sabido guiarme en la vida.

PROLOGO

El hombre siempre ha tratado de controlar los fenómenos y fuerzas de la naturaleza para que sus recursos puedan ser aprovechados de la mejor manera, surgiendo como un requisito importante el disponer de un sistema que controle y regule estos procesos físicos debido a que cada día se exige mayor rendimiento y precisión de tales procesos. Un sistema de control es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera que su arreglo se pueda regular a sí mismo o a otro sistema.

El control por retroalimentación es un factor fundamental de la industria y de la sociedad moderna, pues en la industria se tiende a reemplazar al hombre por la máquina ya que ésta es más precisa y eficiente. Un sistema de control retroalimentado debe ser estable y por lo tanto, es muy importante el estudio de la estabilidad en estos sistemas. Para llevar a cabo este estudio se dispone de varias técnicas, de entre las cuales tenemos: el criterio de Routh-Hurwitz, el método del lugar geométrico de las raíces, los diagramas de Bode, el criterio de Nyquist, etc.

De entre los métodos para el estudio de la estabilidad, citados anteriormente, se ha escogido el criterio de Nyquist para desarrollar el presente trabajo. Además es un método que estu

dia la estabilidad en el dominio de la frecuencia y constituye un camino muy práctico e importante para el análisis y diseño de un sistema. Este criterio fue desarrollado por Henry Nyquist en 1932 y se mantiene como un método fundamental en la investigación de la estabilidad de los sistemas lineales de control.

Este trabajo desarrolla un programa en FORTRAN IV que permite obtener la gráfica polar de frecuencia real de $GH(s)$ * y estudiar su estabilidad, por lo tanto constituye una herramienta - muy valiosa para el estudio de los sistemas de control realimentados.

* GH es la función de transferencia de lazo abierto.

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO PRIMERO	
ESTUDIO DEL CRITERIO DE NYQUIST	5
1.1 Estabilidad en el dominio de la frecuencia.	7
1.2 Aplicación de los contornos en el plano s .	8
1.3 El principio del argumento o teorema de Cauchy	9
1.4 El criterio de Nyquist.	11
1.5 La estabilidad relativa en el diagrama de Nyquist.	19
1.5.1 Margen de Ganancia	20
1.5.2 Margen de Fase	22
CAPITULO SEGUNDO	
DESARROLLO DEL PROGRAMA	23
2.1 Implementación y descripción del programa.	23
2.2 Diagrama de bloques general	27
2.3 Subrutinas. Diagramas de Flujo.	29
CAPITULO TERCERO	
EJEMPLOS USANDO EL PROGRAMA	62
3.1 Ejemplo 1 . Considerando una función de transferencia de lazo abierto $(GH(s))$; En forma polinomial.	62

	Pág.
3.2 Ejemplo 2 . Para una función de transferencia (GH) en forma de factores solo polos y de tipo 1 . Además se selecciona el rango de la frecuencia ω . Sistema estable.	70
3.3 Ejemplo 3 . Para una función de transferencia $(GH(s))$ en forma de factores, con polos y ceros y de tipo 2 . Sistema estable.	77
3.4 Ejemplo 4 . Para una función de transferencia $GH(s)$ de tipo 2 . Sistema inestable.	83
3.5 Ejemplo 5 . Para un caso especial de función de transferencia de lazo abierto $GH(s)$, donde tenemos un polo en el semiplano.	89

CAPITULO CUARTO

CONCLUSIONES Y PROYECCIONES DEL PROGRAMA	95
--	----

APENDICES

APENDICE A : Forma de uso del programa	97
APENDICE B : Listados	102
APENDICE C : La subrutina RAIZ. Listados. Ejemplos.	114

BIBLIOGRAFIA	124
--------------	-----

INTRODUCCION

Los sistemas de control abundan en el medio ambiente del hombre y pueden clasificarse en dos grandes grupos: a) sistemas de lazo abierto, y b) sistemas de control de lazo cerrado.

Un sistema de control de lazo abierto es aquel en el cual la acción de control o comando es independiente de su salida o respuesta. Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el cual la acción de control es en cierto modo dependiente de la salida.

Los sistemas de control de lazo abierto no tienen el problema de la inestabilidad pero tienen gran sensibilidad y poca precisión. Para solucionar en gran parte este problema se construyen los sistemas de control retroalimentados que presentan un aumento de la exactitud, una reducción de la sensibilidad, aumento del ancho de banda, y una tendencia a la oscilación o a la inestabilidad. Es por esto que es muy importante el estudio de la estabilidad en los sistemas de control con realimentación.

Para estudiar la estabilidad, en este trabajo se ha escogido el método del criterio de Nyquist por cuanto es un método que analiza la estabilidad en el dominio de la frecuencia y con una sola gráfica proporciona bastante información; tal como el -

módulo, el ángulo de $GH(s)$, el margen de ganancia, el margen de fase, la estabilidad absoluta del sistema, etc., que dan un mejor conocimiento del sistema.

La estabilidad de un sistema se determina por la respuesta que presenta a las entradas o a las perturbaciones. Intuitivamente, se puede pensar que un sistema es estable cuando permanece en reposo a no ser que se le excite por una fuente externa y en tal caso, volverá al reposo una vez que hayan desaparecido todas las perturbaciones. Un sistema es estable si cada entrada limitada produce una salida limitada. Además de esto, se pregunta cuán cerca está de ser inestable el sistema, es decir, se considera su estabilidad relativa.

Para que un sistema sea estable, todos los polos⁺ (raíces del denominador de $T(s)$ *) de la función de transferencia deben caer en la parte izquierda del plano s . Por lo tanto, la aplicación del criterio de Nyquist se basa en determinar por medio del teorema de Cauchy si alguno de los polos de la función de transferencia caen en la parte derecha del plano s , en cuyo caso el sistema es inestable. Hay varios métodos experimentales para determinar la función de transferencia de un sistema; uno de estos métodos consiste en deducirla a partir de sus respuesta de frecuencia determinada experimentalmente. La respuesta de frecuencia de un sistema se define como la respuesta del sistema en el estado estacionario a una señal senusoide de entrada.

El presente trabajo establece un programa en lenguaje FORTRAN IV, para ser usado en una computadora y que permite, da

* $T(s)$ = Función de transferencia de lazo cerrado.

da una función $GH(s)$, dibujar el lugar geométrico de $GH(j\omega)$ para $\omega > 0$ y realizar el estudio de la estabilidad, determinando si el sistema es o no estable y su margen de ganancia y fase .

Este programa permite procesar a la función $GH(s)$ cuando ésta viene dada de las dos maneras siguientes: a) como la relación de dos polinomios; b) como un producto de la ganancia K por un producto de factores (ceros) dividido por un producto de factores (polos). Además se da la posibilidad de que se de en forma de datos de entrada, el rango de ω que se desea graficar, así como también el número de puntos que se desea que se calcule para la gráfica polar. Si estos datos no son dados, el programa asume un número de puntos igual a 300 y determina automáticamente el rango de valores para ω .

La capacidad máxima que se puede procesar para $GH(s)$ es la de una función en la que el numerador o denominador tenga un grado inferior a siete, ya que el programa fue hecho de esta manera, tomando en consideración el hecho de que la mayoría de los casos reales que se presentan no sobrepasan este grado.

Con estas posibilidades se ofrece al interesado una manera fácil de aplicar el criterio de Nyquist al estudio de la estabilidad de sistemas retroalimentados, ahorrándole gran cantidad de tiempo y cálculos, muchas veces largos y complicados aún si son realizados con la ayuda de una buena calculadora de escritorio.

La forma de usar el programa es muy fácil y está explicada

da al final de este trabajo en el Apéndice A .

El Capítulo Uno, contiene un estudio resumiendo el criterio de Nyquist. En el Capítulo Dos se encuentra el desarrollo - del programa, con sus correspondientes diagramas de flujo. El Capítulo Tres reúne varios ejemplos de aplicación con la interpre- tación de los resultados. El Capítulo Cuatro contiene las conclusiones y perspectivas. El Apéndice A , como ya se indicó, deta- lla la forma de uso del programa. En el Apéndice B están los - listados del programa, y finalmente el Apéndice C contiene la - subrutina RAIZ desarrollada para calcular las raíces de un poli nomio y que se la reemplazó por la subrutina DPRP ϕ 1 existente en la computadora de la Escuela Politécnica Nacional, en razón de que para las pruebas del programa, no requería de un tiempo de compilación y además es un poco más rápida.

CAPITULO PRIMERO

ESTUDIO DEL CRITERIO DE NYQUIST

CAPITULO PRIMERO

ESTUDIO DEL CRITERIO DE NYQUIST

En el presente capítulo lo que se pretende es realizar un estudio resumiendo el criterio de Nyquist, que sirva como base para la elaboración del programa.

Antes de considerar la estabilidad en el dominio de la frecuencia, veamos qué es un sistema de control retroalimentado.

SISTEMA DE CONTROL DE RED CERRADA (o retroalimentado)

En la figura 1.1 tenemos representado en diagrama de bloques un sistema de control de red cerrada o lazo cerrado, en el que la realimentación está a cargo del bloque $H(s)$.

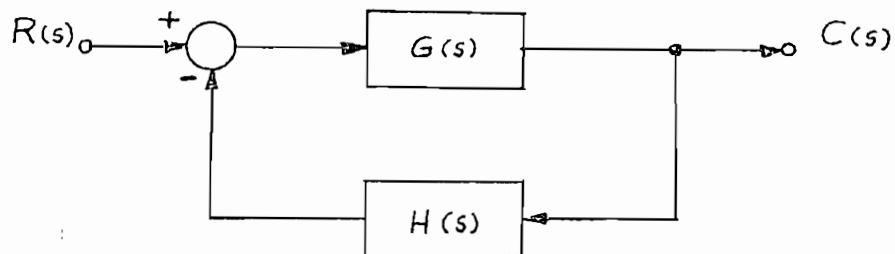


FIG. 1.1

Donde:

$G(s)$ es la función de transferencia directa o hacia adelante.
lante.

$H(s)$ es la función de transferencia de retroalimentación.

$R(s)$ es la función de entrada o excitación.

$C(s)$ es la función de salida o respuesta.

La función de transferencia de lazo cerrado para realimentación negativa viene dada por:

$$T(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s) \cdot H(s)} \quad (1.1)$$

Donde la función de transferencia del lazo abierto está dada por:

$$G(s)H(s) = K \frac{N(s)}{D(s)} \quad (1.2)$$

o desarrollado por:

$$GH(s) = \frac{K(Z_1 + S)(Z_2 + S) \dots (Z_m + S)}{(P_1 + S)(P_2 + S) \dots (P_n + S)} \quad (1.3)$$

$$GH(s) = \frac{A_1 S^n + A_2 S^{n-1} + \dots + A_n S + A_{n+1}}{B_1 s^m + B_2 S^{m-1} + \dots + B_m S + B_{m+1}} \quad (1.4)$$

Donde:

$m \geq n$, debido a las condiciones de funcionamiento de los sistemas prácticos.

En donde: K en la ecuación (1.4) está dada por:

$$K = \frac{A_1}{B_1} = \text{ganancia del sistema independiente de la frecuencia.}$$

cia.

s = frecuencia compleja = $\sigma + j\omega$

n = orden del sistema.

De la ecuación 1.1 obtenemos la ecuación característica que está dada por:

$$F(s) = 1 + GH(s) \quad ; \text{ entonces:} \quad (1.5)$$

$$F(s) = 1 + \frac{KN(s)}{D(s)} = \frac{D(s) + KN(s)}{D(s)} \quad (1.6)$$

Entonces, comparando (1.2) con (1.6) llegamos a la conclusión de que los polos de $GH(s)$ y de $F(s)$ (ecuación característica) son los mismos. Deducción que nos facilita la aplicación del teorema de Cauchy.

1.1 ESTABILIDAD EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.

Nos interesa investigar la estabilidad de un sistema de control en el dominio de la frecuencia real. La respuesta sinusoidal de un sistema en el estado estacionario representa la respuesta de frecuencia del sistema y nos da suficiente información para la determinación de la estabilidad relativa del sistema.

La ventaja fundamental es que la respuesta de frecuencia de un sistema puede obtenerse fácilmente por medios experimentales excitando la entrada del sistema con señales sinusoides. Esto es ventajoso ya que en muchos sistemas no están determinados los valores de sus parámetros.

La ecuación característica de los sistemas de red simple o de redes múltiples puede representarse mediante la ecuación (1.5), en donde $GH(s)$ es una función racional de s . Entonces para garantizar que un sistema sea estable se requiere que los ceros de

$F(s)$ (polos de función de transferencia) caigan totalmente en la parte izquierda del plano. s .

El criterio de Nyquist propone la aplicación de la parte derecha del plano s en el plano $F(s)$ y luego usando el principio del argumento o teorema de Cauchy se puede llegar a el número de ceros que caen en el lado derecho del plano s si los hubiere, y por lo tanto se determinaría la estabilidad del sistema.

1.2 APLICACIÓN DE LOS CONTORNOS* EN EL PLANO s .

El problema que se nos presenta es el siguiente: Aplicar contornos en el plano complejo mediante una función $F(s)$, donde $s = \sigma + j\omega$ (número complejo). De lo anterior se deduce que $F(s)$ va a tener una parte real y una imaginaria, y que va a estar representada en general por: $F(s) = u + jv$. Si se representa esta $F(s)$ en un plano de coordenadas u y v , para valores que toma la variable s en un contorno en el plano s , obtenemos entonces la aplicación de un contorno del plano s , mediante una función $F(s)$.

EJEMPLO.

Dado un :

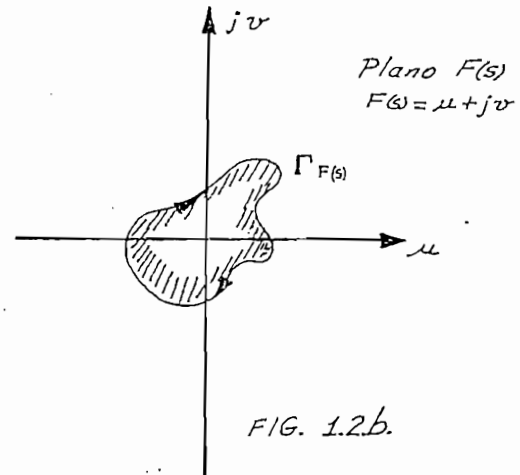
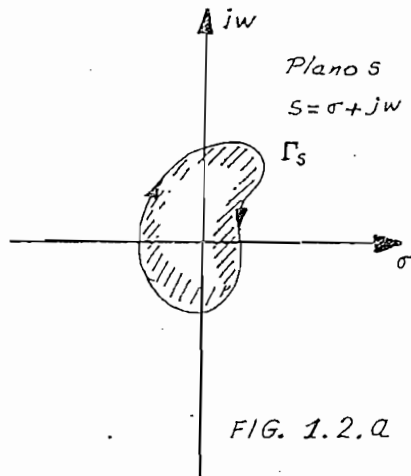
$$F(s) = a + sb$$

y sabiendo que $s = \sigma + j\omega$, reemplazando ésto en $F(s)$

obtenemos :

$$F(s) = a + b\sigma + jbw, \text{ equivalente a}$$

* Contorno cerrado es una curva continua que comienza y termina en el mismo punto.



$$F(s) = u(s) + jv(s).$$

Por lo tanto con un contorno como Γ_s en el plano s , se obtiene un contorno Γ_F en el plano $F(s)$.

Analizando las figuras 1.2.a y 1.2.b vemos que un contorno cerrado en el plano s da como resultado un contorno cerrado en el plano $F(s)$. Por convención, tomamos el recorrido de un contorno en el sentido del movimiento de las manecillas del reloj como positivo y la superficie encerrada dentro del contorno lo que está a la derecha de su recorrido. Por tanto, las superficies encerradas por los contornos de las figuras 1.2.a y 1.2.b son las que están sombreadas.

1.3 EL PRINCIPIO DEL ARGUMENTO O TEOREMA DE CAUCHY.

El principio del argumento o teorema de Cauchy dice lo siguiente:

"Si un contorno Γ_s en el plano s rodea Z ceros y P polos de $F(s)$ y no pasa a través de ningún polo o cero de $F(s)$ cuando el recorrido es en dirección del movimiento del reloj a lo lar

go del contorno, el contorno correspondiente Γ_F en el plano $F(s)$ rodea al origen de dicho plano en N , ($N=Z-P$), veces en la misma dirección."

Para entender mejor este principio, tomemos una función de s , $P_i(s) = \frac{|P_i(s)|}{|P_i(s)|} = \frac{Z_1 + S}{(P_1 + S)(P_2 + S)}$, esto puede ser escrito también como:

$$P_i(s) = \frac{|(z_1 + s)|}{|P_1 + s| |P_2 + s|} \left(\frac{\angle z_1 + s}{\angle P_1 + s - \angle P_2 + s} \right)$$

$$P_i(s) \rightarrow \frac{|P_i(s)|}{\angle z_1 - \theta_{P1} - \theta_{P2}}$$

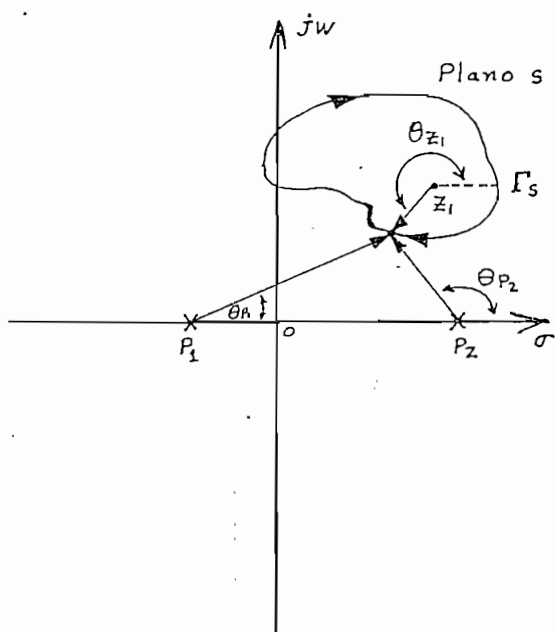


FIG. 1.3a

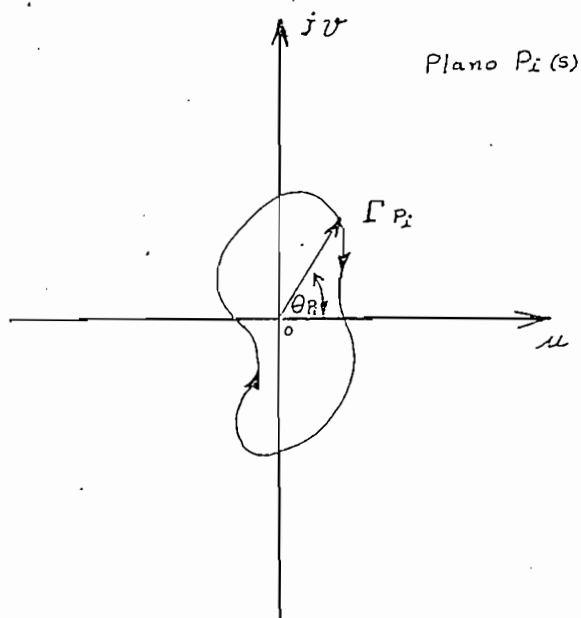


FIG. 1.3b

Analizando la figura 1.3.a se ve claramente que si \underline{s} recorre a lo largo del contorno Γ_s una rotación completa de 360° el ángulo para P_1 o P_2 es de cero grados; si consideramos el Z_1 que está dentro contornorno Γ_s vemos que en una rotación completa que describa \underline{s} a lo largo de Γ_s , el ángulo θ_{z_1} es de 360° . Si son dos los ceros que están dentro del contorno Γ_s , el ángulo será de $2 \times 360^\circ = 720^\circ = 2\pi(Z)$, y en general si hay ceros y polos dentro del contorno Γ_s , el ángulo total θ_{P_z} del contorno en el plano $P_z(s)$ es:

$$\theta_{P_z} = \theta_z - \theta_P \quad , \quad \text{figura (1.3.b)} \quad (1.8)$$

$$2\pi(N) = 2\pi(Z) - 2\pi(P)$$

luego, el número total de rodeos al origen del plano $P_z(s)$ es:

$$N = Z - P \quad (1.9)$$

1.4 EL CRITERIO DE NYQUIST.

Consideremos la ecuación 1.1; para que un sistema de control sea estable todas las raíces de $F(s)$ deben estar en la parte izquierda del plano complejo s , porque de este modo tenemos raíces con parte real negativa, que es lo que interesa para que su respuesta sea estable o limitada a cualquier tipo de excitación.

EL CONTORNO DE NYQUIST.

Para saber si hay o no hay raíces en el semiplano derecho

del plano s escogemos un contorno apropiado, el cual debe encerrar todo el semiplano derecho del plano s y no debe pasar por ninguna singularidad de $F(s)$. Las singularidades son puntos en los cuales la función $F(s)$ se vuelve infinita; un polo de $F(s)$ es un punto singular.

El contorno o trayectoria de Nyquist es entonces un camino cerrado en el plano s que rodea todo el semiplano derecho (SPD) del plano s . Para que la trayectoria de Nyquist no pase por algún polo de $F(s)$, es necesario que la trayectoria describa pequeños semicírculos a lo largo del eje imaginario o en el origen del plano $F(s)$. Los radios de estos semicírculos se los denomina con \mathcal{E} , donde \mathcal{E} tiende a 0. ($\mathcal{E} \rightarrow 0$)

Para poder rodear con la trayectoria de Nyquist el infinito en el S.P.D. se dibuja una gran trayectoria semicircular en el S.P.D. y se hace tender, el radio R del semicírculo, al infinito.

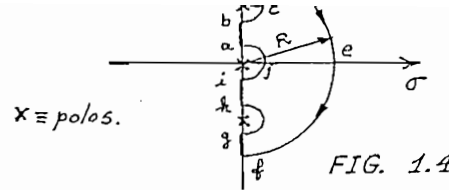
EJEMPLO 1.1 .- El contorno de Nyquist se ilustra por medio del siguiente contorno en el plano s . Figura 1.4

Las diferentes partes de la trayectoria de Nyquist se pueden expresar analíticamente de la siguiente manera:

$$\text{Trayectoria } \overline{ab} : s = j\omega \quad , \quad 0 < \omega < \omega_1$$

$$\text{Trayectoria } \widehat{bc} : s = \lim_{\mathcal{E} \rightarrow 0} (j\omega_1 + \mathcal{E}e^{j\theta}) \quad , \quad -90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

$$\text{Trayectoria } \overline{cd} : s = j\omega \quad , \quad \omega_1 \leq \omega < \infty$$



- Trayectoria \widehat{def} : $s = \lim_{R \rightarrow \infty} R e^{j\theta}$, $+90^\circ \leq \theta \leq -90^\circ$
- Trayectoria \overline{fg} : $s = j\omega$, $-\infty < \omega < -\omega_1$
- Trayectoria \widehat{gh} : $s = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} (-j\omega_1 + \epsilon e^{j\theta})$, $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$
- Trayectoria \overline{hi} : $s = j\omega$, $-\omega_1 < \omega < 0$
- Trayectoria \widehat{ija} : $s = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \epsilon e^{j\theta}$, $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

CONSTRUCCION DE LA GRAFICA POLAR DE GH(jw)

El criterio de Nyquist está asociado con la aplicación de la ecuación característica (1.5) y el número de rodeos del contorno $\Gamma_{F(s)}$ al rededor del origen del plano F(s). En una forma equivalente, y que es la que se usa, podemos definir una función:

$$F(s) = 1 + GH \quad , \text{ despejando obtenemos:}$$

$$GH(s) = F(s) - 1 \quad (1.10)$$

Hay una gran ventaja en usar la función dada por la ecuación (1.10), y es la de que GH(s) generalmente se obtiene en la forma de factores, en tanto que F(s) a menudo no se obtiene de esta manera.

Entonces resulta que la aplicación de Γ_s en el plano s se hace a través de la función GH(s) en el plano GH(s). En este caso nos vemos obligados a considerar las vueltas al rededor del punto (-1 , 0) y no alrededor del origen, ya que ha ocurrido un desplazamiento del eje imaginario en una unidad.

Podemos sacar como conclusión las siguientes propiedades

de la gráfica polar $GH(s)$ y que son:

- (1) La gráfica polar de $GH(s)$ para un rango de ω dado por $-\infty < \omega < 0^-$ es el conjugado de la gráfica para el rango de ω dado por $0^+ < \omega < +\infty$ por tanto la gráfica polar de $GH(s)$ es simétrica respecto del eje u en el plano $GH(s)$. Luego, es suficiente construir el contorno Γ_{GH} para el rango de frecuencias $0^+ < \omega < +\infty$, con el objeto de investigar la estabilidad.
- (2) La magnitud de $GH(s)$ cuando $s = Re^{j\theta}$, $R \rightarrow \infty$, normalmente se aproxima a cero o a una constante, debido a que para sistemas físicos se cumple:
 número de polos \geq número de ceros

Es importante anotar que al realizar los cálculos previos a la construcción de la gráfica polar de $GH(j\omega)$, mediante la computadora, lo que se hace es buscar un rango de ω que permita la construcción de la gráfica y luego se calcula $GH(j\omega)$ con los valores sucesivos de ω que corresponden al rango de ω escogido.

EJEMPLO 1.2 .- En este ejemplo se ilustra como se logra la construcción de la gráfica polar para una función $GH(j\omega)$ dada.

$$\text{Supongamos que } GH(s) = \frac{K}{S(P_1 + S)(P_2 + S)}$$

Como se señaló antes, solo se necesita realizar la gráfica polar de $GH(j\omega)$ para un rango de ω comprendido entre $0^+ < \omega < +\infty$, pero por ser este el único ejemplo se lo va a desarrollar

llar para todo el rango de valores de w . Es decir, para $-\infty < w < \infty$. Consideremos en detalle cada parte del contorno Γ_s de Nyquist y determinemos las secciones correspondientes del contorno Γ_{GH} del plano $GH(s)$

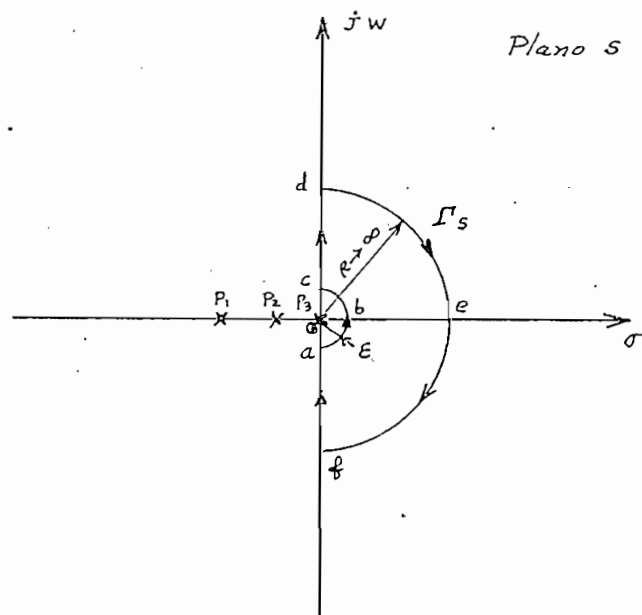


Figura 1.5

Consideremos primeramente la singularidad en el origen - del plano $GH(s)$. Nos vemos obligados a tomar el pequeño semicírculo \widehat{abc} .

Donde como se puede apreciar que $s = \epsilon e^{j\theta}$ y:

en el punto (a) $w = 0^- \quad \therefore \theta = -90^\circ$

$w = 0^-$ corresponde a -90° y

$w = 0^+$ corresponde a 90°

Como ϵ se aproxima a cero, la aplicación GH es:

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} GH(s) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\frac{K}{s(P_1 + S)(P_2 + S)} \right)$$

entonces para $s = \varepsilon e^{j\theta}$ tenemos:

$$= \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\frac{K}{P_1 \times P_2 \varepsilon} \right) e^{-j\theta}$$

Para cuando $w = 0^-$ tenemos:

$$GH = \infty e^{-j(-90^\circ)} = \infty e^{j90^\circ} = \infty / 90^\circ$$

Para cuando $w = 0^+$ tenemos:

$$GH = -\infty e^{-j90^\circ} = -\infty \angle -90^\circ$$

El radio del contorno en el plano $GH(s)$ para esta parte del contorno es infinito y esto está indicado en la figura 1.6

Consideremos ahora la sección \overline{cd} en el contorno Γ_s , en este caso tenemos que el rango de w va desde:

$$w = 0^+ \text{ hasta } w = +\infty$$

La parte del contorno de Γ_s desde $w = 0^+$ hasta $w = +\infty$ se aplica por medio de la función $GH(s)$ como la gráfica polar de frecuencia real ya que:

$$s = jw$$

Entonces tenemos que para esta parte del contorno:

$$GH(s) \Big|_{s=jw} = GH(jw)$$

Cuando w se aproxima a $+\infty$ obtenemos:

$$\lim_{w \rightarrow \infty} GH(jw) = \lim_{w \rightarrow \infty} \frac{k}{jw(P_1 + jw)(P_2 + jw)}$$

$$\lim_{w \rightarrow \infty} GH(jw) = \lim_{w \rightarrow \infty} \left[\frac{K}{(jw)^3} \right]$$

$$= \lim_{\omega \rightarrow 0} \left(\frac{K}{\omega^3} \right) \angle -270^\circ$$

$$= 0 \angle -270^\circ$$

Por lo tanto la magnitud de GH se aproxima a cero en un ángulo de -270° , es decir que debe cortar a eje $(-1, 0)$ en algún punto, dependiendo del valor de K, P_1 y P_2 . Esto se muestra en la gráfica 1.6 .

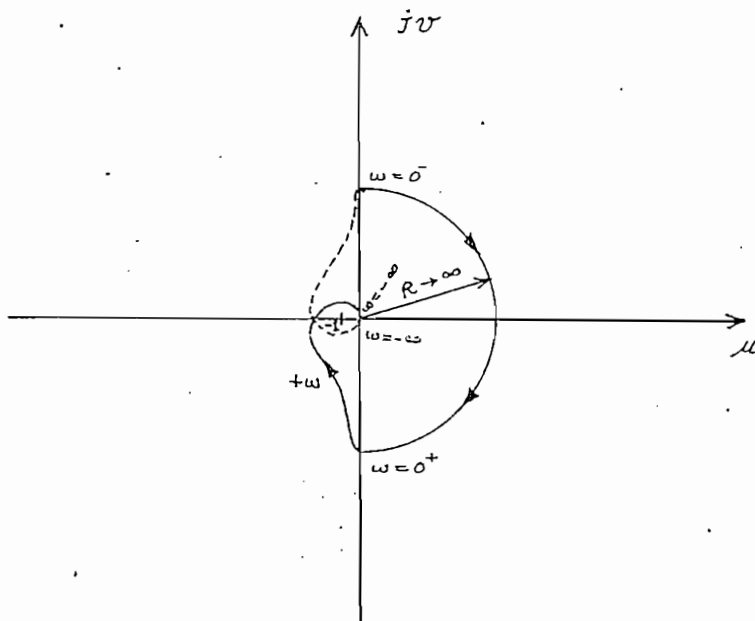


Figura 1.6

La parte que corresponde a la trayectoria Γ_s marcada por def parte desde:

$$\omega = +\infty \quad \text{hasta} \quad \omega = -\infty$$

Esta parte se aplica en el punto cero en el origen del plano GH(s) por la función GH(s). La aplicación se representa por:

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \text{GH}(s) \Big|_s = \text{Re}^{j\theta}$$

$$= \lim_{R \rightarrow \infty} \left[\frac{K}{R^3} \right] e^{-j3\theta} = 0 \cdot e^{-j3\theta}$$

$$w = +\infty, \quad \theta = 90^\circ \quad \text{y} \quad GH = 0 \quad \angle -270^\circ \quad \text{hasta}$$

$$w = -\infty, \quad \theta = -90^\circ \quad \text{y} \quad GH = 0 \quad \angle 270^\circ$$

Por último tenemos la parte que corresponde al segmento \overline{fa} en el contorno Γ_s en el plano s . Esta es la parte del contorno Γ_s desde $w = -\infty$ hasta $w = 0^-$ y se aplica mediante la función $GH(s)$ como:

$$GH(s) \Big|_{s = -jw} = GH(-jw)$$

Es por esta razón que se obtiene el conjugado complejo de $GH(jw)$ y la gráfica para la parte de la gráfica polar desde $w = -\infty$ hasta $w = 0^-$ es simétrica con la gráfica polar desde $w = +\infty$ hasta $w = 0^+$. Esta parte se indica en la gráfica 1.6 en línea entrecortada.

LA GRÁFICA POLAR Y LA APLICACION DEL CRITERIO DE NYQUIST.

Obtenida la gráfica polar siguiendo un procedimiento similar al descrito anteriormente, se procede a aplicar el criterio de estabilidad de Nyquist como sigue:

I. "Un sistema de retroalimentación es estable si y solamente si el contorno Γ_{GH} en el plano GH no rodea al punto $(-1, 0)$ cuando el número de polos de $GH(s)$ en la parte de recha del plano s es cero ($P = 0$)."

II. "Un sistema de control con retroalimentación es estable si y solamente si para el contorno Γ_{GH} el número de rodeos

del punto $(-1, 0)$ en el sentido contrario al movimiento - del reloj, es igual al número de polos de $GH(s)$ con partes reales positivas."

Los criterios I y II señalados anteriormente se deducen directamente del hecho de que para la aplicación de $GH(s)$, el número de ceros (o raíces) de $F(s) = 1 + GH(s)$, en la parte derecha del plano s están dados por:

$$Z = N + P \quad , \text{ donde:}$$

Z = Número de ceros de $F(s) = 1 + GH(s)$ que están en el semi-plano derecho del plano s .

N = Número de rodeos del contorno Γ_{GH} al punto $(-1, 0)$. Si $N > 0$, los rodeos son en la dirección del movimiento de las agujas del reloj. Si $N < 0$, los rodeos son en la dirección contraria.

P = Número de polos de $F(s) = 1 + GH(s)$ (que son los mismos de $GH(s)$) que están en el semiplano derecho del plano s .

1.5 LA ESTABILIDAD EN EL DIAGRAMA DE NYQUIST.

Hasta aquí se ha considerado el criterio de Nyquist solo para obtener una respuesta de si es o no estable, pero en muchas ocasiones es importante conocer su estabilidad relativa, es decir definir la estabilidad en función de la proximidad del lugar geométrico de $GH(s)$ al punto de estabilidad que en nuestro caso viene a ser el punto $(-1, 0)$.

1.5.1 MARGEN DE GANANCIA.

Considerando la gráfica polar de la figura 1.7 vemos que ésta corta a la parte negativa del eje real u en los tres puntos: u_1 ; u_2 ; u_3 ; pero, para este caso sólo, existen dos márgenes de ganancia y está relacionados con los puntos u_2 y u_3 , de la siguiente forma:

$$MG = \text{Margen de ganancia } 1 = \frac{1}{|u_2|}$$

$$MG = \text{Margen de ganancia } 2 = \frac{1}{|u_3|}$$

Entonces, si consideramos el diagrama de Nyquist podemos decir que en general el margen de ganancia nos da una idea de cuanto podemos variar la ganancia K para que el lugar geométrico de $GH(s)$ cambie del estado en que envuelve al punto crítico $(-1,0)$ al estado en que no envuelve a éste punto, o viceversa.

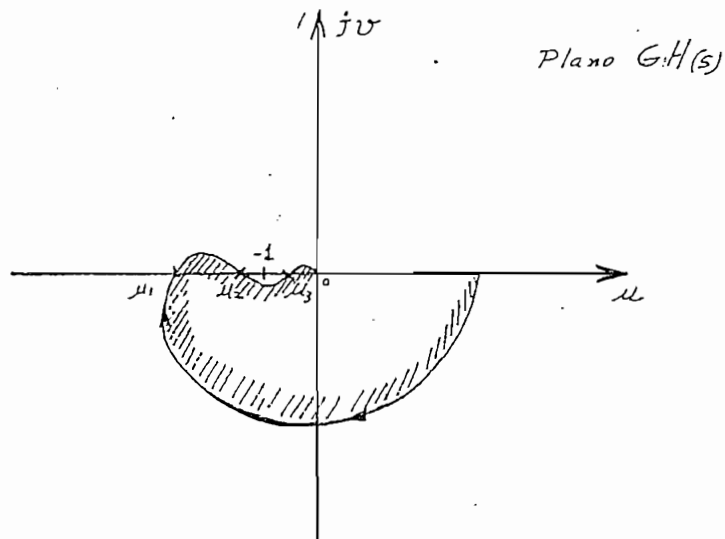


Figura 1.7

Por otro lado, si no existen polos de $GH(s)$ con parte real positiva ($P = 0$), entonces el margen de ganancia nos da una idea de cuanto podemos aumentar la ganancia de la malla abierta teniendo la seguridad de que el sistema de control de malla cerrada será todavía estable. Lo anterior se ilustra en la gráfica 1.8.

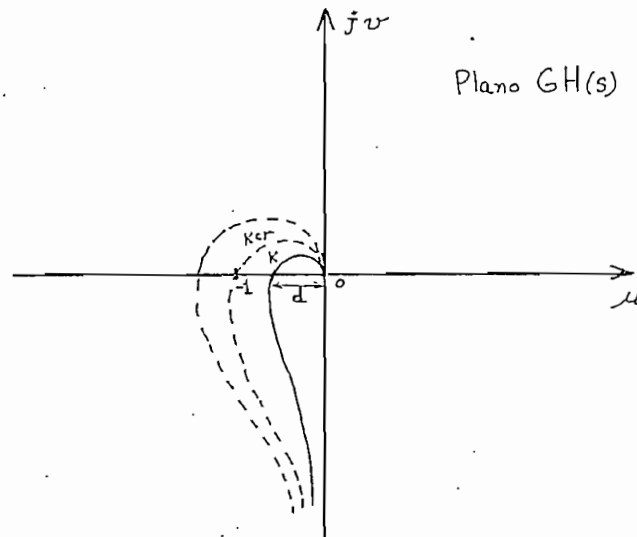


Figura 1.8

donde:

d = distancia del origen al punto donde la gráfica polar de $GH(s)$ usando una ganancia K , corta a la parte negativa del eje real (u).

l = Distancia del origen al punto $(-1, 0)$ donde la gráfica polar de $GH(s)$, usando K crítica (K_{cr}), corta a la parte negativa del eje real (u).

por lo tanto:

$$MG = \text{Margen Ganancia} = l/d$$

Es necesario anotar que en un sistema de control retroali-
mentado (estable) siempre se busca aumentar la ganancia K , aun -
con el peligro de que el sistema se torne inestable, por cuanto es
to disminuye la sensibilidad, mejora el error de regimen, etc.

1.5.2 MARGEN DE FASE.

Margen de Fase es una medida del atraso de fase que hay -
que sumarle a una malla abierta para acarrear inestabilidad.

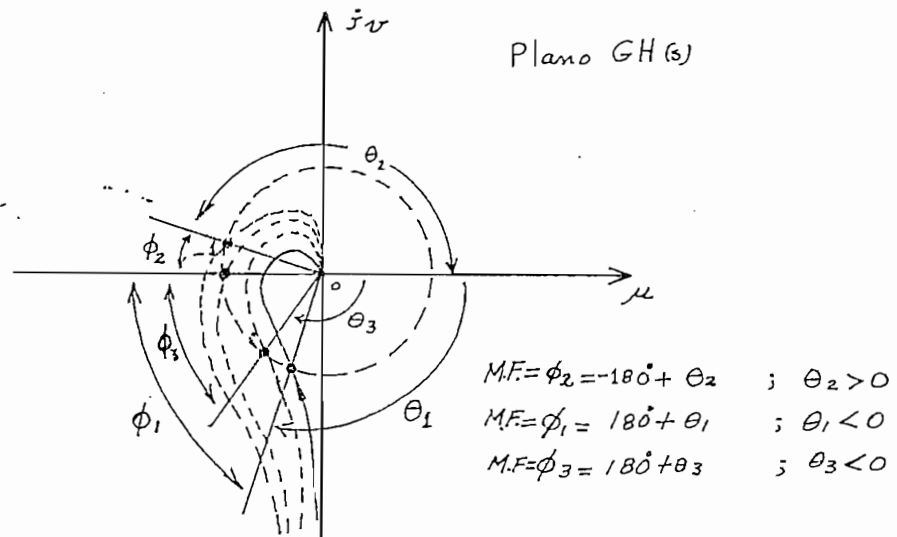


Figura 1.9

Vemos que el girar el diagrama polar como se en la figura 1.9 puede afectar la estabilidad. Entonces el M.F. es una medida de cuanto podemos girar el diagrama polar en el sentido horario - (o atrasar más la fase antes de que éste envuelva el punto $(-1,0)$)

Entonces: si $\theta \geq 0.0$; $M.F. = -(180 - \theta)$ y
 si $\theta < 0.0$; $M.F. = 180 + \theta$

Y según esto: si $M.F. > 0$; el sistema es estable y
 si $M.F. < 0$; el sistema es inestable.

CAPITULO SEGUNDO

DESARROLLO DEL PROGRAMA

CAPITULO SEGUNDO

DESARROLLO DEL PROGRAMA

En este capítulo se presenta el desarrollo del programa . Primeramente hay una descripción del programa acompañado del respectivo diagrama de bloques y luego viene una descripción resumida de cada una de las subrutinas usadas, acompañada de su respectivo diagrama de flujo.

2.1 IMPLEMENTACION Y DESCRIPCION DEL PROGRAMA.

El programa completo está compuesto de un program principal y varias subrutinas. El programa principal es el que se encarga de establecer el orden que se llaman las distintas subrutinas para que todo el conjunto trabaje perfectamente y pueda llevar a cabo su función, cual es la de hacer gráfica polar de $GH(s)$ y luego analizar la estabilidad, dando además como respuestas adicionales el margen de ganancia, el margen de fase y una tabla de valores con los cuales se ha construido la gráfica polar.

Para el cálculo propiamente dicho de los puntos necesarios para la construcción de la gráfica polar, se trabaja $GH(s)$ en la forma de factores:

$$GH(jw) = \frac{K(Z_1 + jw)(Z_2 + jw) \dots (Z_n + jw)}{(P_1 + jw)(P_2 + jw) \dots (P_m + jw)} \quad (2.1)$$

Se da un valor a w y se calcula el valor complejo de -

$GH(j\omega)$, de la forma:

$$GH(j\omega) = |GH| \angle GH \quad \text{ó} \quad (2.2)$$

$$GH(j\omega) = \text{Re}GH + j \text{Im}g (GH) \quad (2.3)$$

Se usa la forma (2.3) para determinar la posición de los puntos que conforman la gráfica polar de $GH(j\omega)$.

En el cálculo de los puntos con los cuales se va a construir el diagrama de Nyquist sería deseable el poder evaluar $GH(j\omega)$ para un rango de ω que comprenda todas las frecuencias positivas:

$$0 \leq \omega \leq \infty$$

pero desafortunadamente la computadora no puede llegar a representar cantidades infinitas. Además una evaluación con $\omega = 0$ para muchas funciones GH , se hace imposible por cuanto al tender ω a cero, GH tiende a infinito, lo cual es un serio inconveniente.

Ventajosamente por otro lado, con un rango de valores para ω , relativamente corto y propio para cada caso en particular se puede obtener una construcción bastante buena de la gráfica y que proporciona suficiente información para poder estudiar a partir de esta gráfica: la estabilidad, el margen de ganancia, el margen de fase. Además puede ser de gran utilidad la tabla de valores con que se ha construido esta gráfica.

El rango de valores de ω usados para cada caso en particular se lo determina automáticamente en el programa. Como es lógico suponer van a existir casos especiales en que el rango de ω

determinado automáticamente no sea el más apropiado en estos casos es posible introducir como datos el WI (W inicial) y el WF (W final) más apropiado para que la gráfica se construya de la mejor manera. Los valores más aconsejables para WI y WF se los puede identificar fácilmente luego de algunos pasados del programa en la computadora.

El programa usa incrementos logarítmicos en el rango de w y lo divide en 300 puntos, lo que proporciona un cierto número de puntos para la gráfica. Pero es posible variar este número de punto, que originalmente se escogió igual a 300 y el valor máximo que se puede dar como dato es de 999 puntos. Con la variación del número de puntos calculados para la gráfica, también varía la acumulación de puntos en la gráfica.

El programa determina además el margen de ganancia y el margen de fase, pero en algunos casos especiales puede suceder que el rango de w determinado automáticamente no permita obtener la información: sea del margen de ganancia, del margen de fase o de ambos. En estos casos aparece un comentario adecuado que aclara la situación y pide que se de mediante datos de entrada los valores de WI y WF , con lo cual se facilita que el programa pueda llegar a determinar el M.G. y M.F. o si no ocurre así, se puede obtener perfectamente esta información a partir de la tabla de valores que aparece luego del diagrama de Nyquist.

El programa está elaborado de tal manera que cuando surgen algunas situaciones especiales, se escriben los mensajes apropiados. Pero de todas maneras es importante que se sigan perfectamen

te las instrucciones de entrada de datos , así como también de los valores límites que pueden alcanzar éstos. En el Apéndice A se establece la forma de uso del programa y además en el capítulo Tres se presentan varios ejemplos indicando la forma en que van perforadas las tarjetas de datos correspondientes. Además ~~en~~ este programa permite procesar varios ejemplos en una sola pasada en la computadora. Si existe algún problema en algún ejemplo se escribe el comentario adecuado y luego se pasa a considerar el siguiente ejemplo, si lo hay.

Los límites dentro de los cuales pueden tomar valores los datos de entrada, así como también algunas restricciones, van indicadas en el Apéndice A.

Además hay que indicar que este programa ha sido probado en la computadora de la Escuela Politécnica Nacional, que es una IBM/370 con memoria de 125 Kbytes. Las hojas de impresión de la computadora son de 130 columnas por 87 filas.

El programa trabaja exclusivamente con precisión sencilla, excepto en la subrutina DPRPQ 1 con que trabaja el programa o la subrutina RAIZ que se usó en las pruebas y cuyo listado está en el Apéndice C. En estas dos subrutinas se usa la modalidad de doble precisión para evitar errores grandes de redondeo en el cálculo de las raíces de un polinomio, y que generalmente estos errores crecen cuando el grado del polinomio es mayor.

2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL

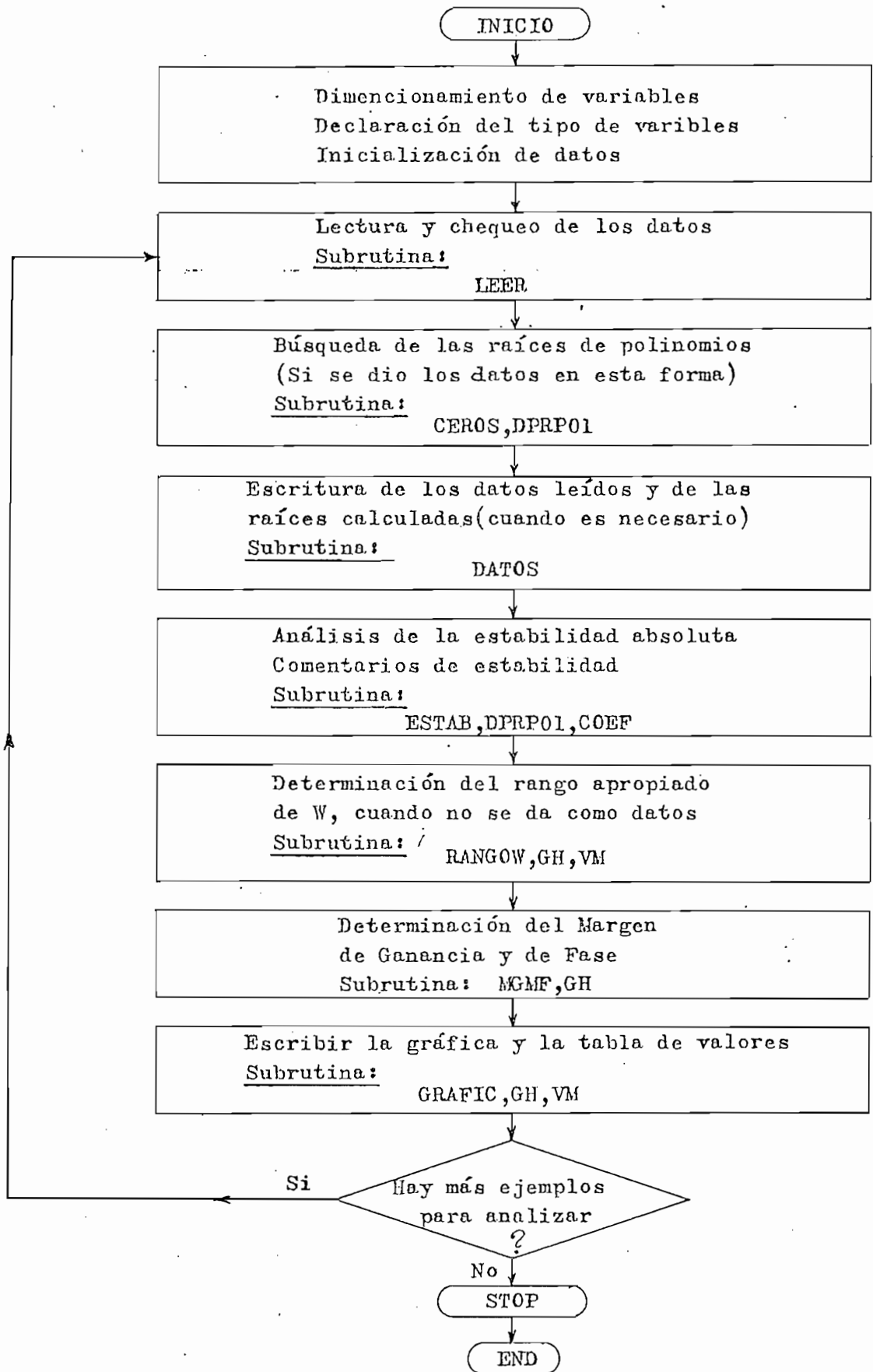
(Ver Fig. 2-1)

DESCRIPCION GENERAL :

El programa principal se ocupa de distribuir las tareas a las diferentes subrutinas, de la siguiente manera: Primero se realiza el dimensionamiento de las variables, declaración de su tipo e inicialización de datos. Luego se llama a la Subrutina LEER - que es la que se encarga de leer los datos de entrada y chequearlos para que en lo posible estén dentro de los límites establecidos. Después, si se ha leído los datos en forma de polinomios se procede a calcular las raíces de estos polinomios mediante la subrutina DPRP01. Seguidamente se escriben, los datos leídos, por intermedio de la subrutina DATOS. Se pasa después a analizar la estabilidad con ayuda de las subrutinas: ESTAB, DPRP01 y COEF. Luego se determina el rango de w apropiado para la gráfica con el concurso de RANGO W, GH y VM.

A continuación se calculan y escriben los márgenes de ganancia y fase por intermedio de las subrutinas y subprograma de función MGME y GH respectivamente. Por último se realiza la gráfica con la ayuda de la subrutina GRAFIC ; se escribe la tabla de valores y si ^{no} hay más ejemplos pendientes se termina el trabajo, de lo contrario se regresa al comienzo, a leer el nuevo grupo de datos con la ayuda de la subrutina LEER.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA TOTAL



2.3 SUBROUTINA. DIAGRAMAS DE FUJO.

En esta sección se recopilan los diferentes subprogramas de que se compone el programa total. Cada subprograma va descrita de una manera resumida y está acompañado de un diagrama de flujo; finalmente, en el apéndice B se reúne los listados de todos estos subprogramas.

SUBROUTINA LEER

Definición: SUBROUTINE LEER (IND, NCOD, NN, ND, GK, CN, CD, Z, P, NPROB, NW, WI, WF, NPCOD, NP, *)

Propósito: Leer los datos.

Subprogramas llamados: CALL LEER (IND, NCOD, NN, ND, GK, CN, CD, Z, P, NPROB, NW, WI, WF, NPCOD, NP, & #)

Explicación:

IND = variable entera que indica la terminación del fichero de da
tos.

NCOD = variable que indica en que forma se debe leer GH(s)

NN = número de ceros o grado del polinomio del numerador de GH(s)

ND = número de polos o grado del polinomio del denominador de GH(s)

GK = valor de la ganancia K independiente de la frecuencia.

CN = arreglo que contiene los coeficientes del polinomio del name
rador en orden decreciente de potencias.

CD = arreglo que contiene los coeficientes del polinomio del deno
minador en orden decreciente de potencias.

Z = ceros de $GH(s)$

P = polos de $GH(s)$

NPROB = indica el número del ejemplo

NW = indicador para ver si se da o no WI y WF como datos.

WI = W inicial

WF = W final

NPCOD = código para ver si se da o no el número NP.

NP = número de puntos

&# = número de una proposición, en el programa que llama a 'S/R LEER

Esta subrutina se encarga de leer los datos de entrada y de analizarlos para ver si están o no de acuerdo a lo que pide - el programa. En caso de que haya problemas con los datos leídos, aparecen unos comentarios que explican el problema.

Diagramas de Flujo: Ver figura 3.2

Datos de entrada: NPROB

Número de instrucciones: 48

Listado: Ver apéndice B , página 103

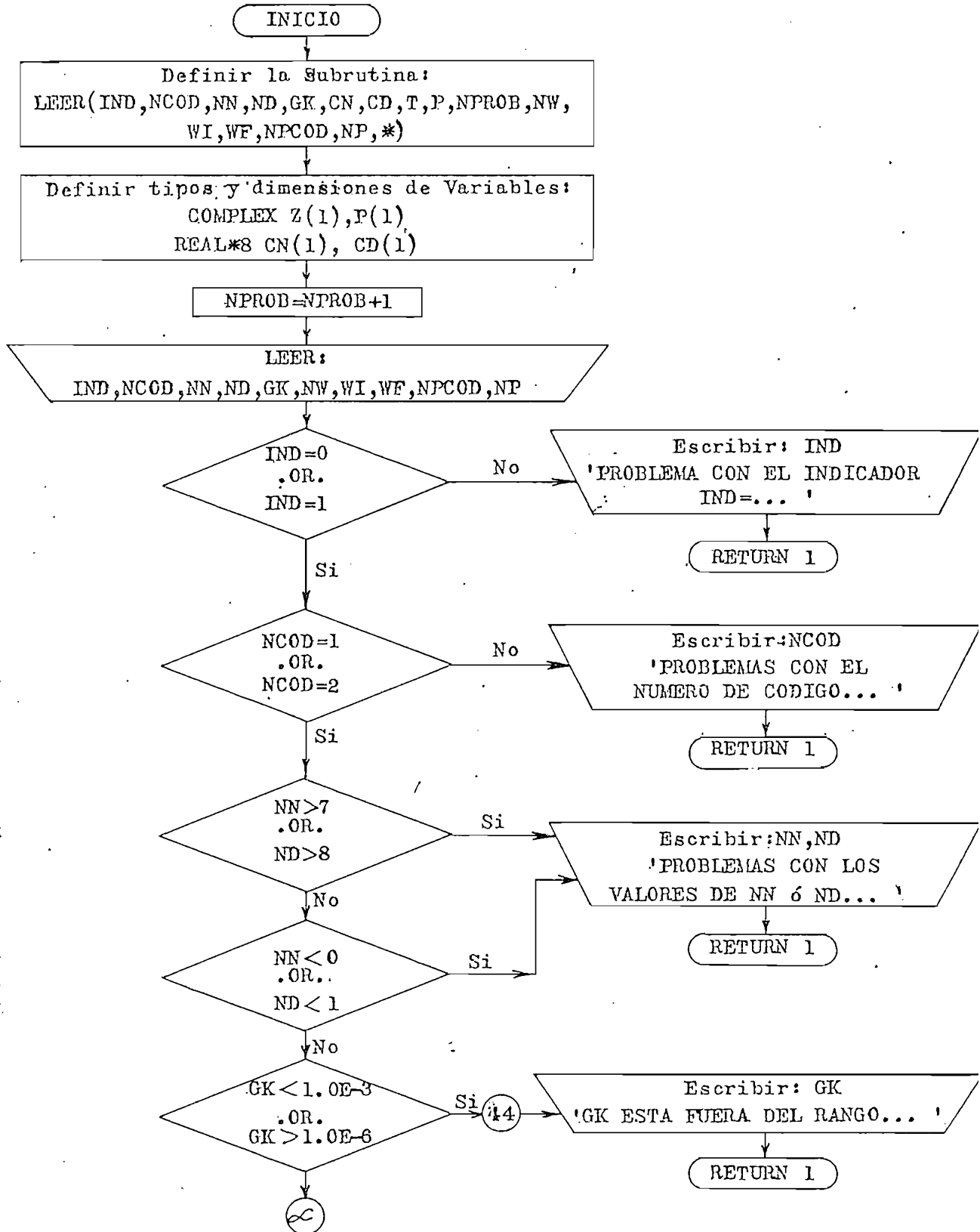


Fig. 2.2

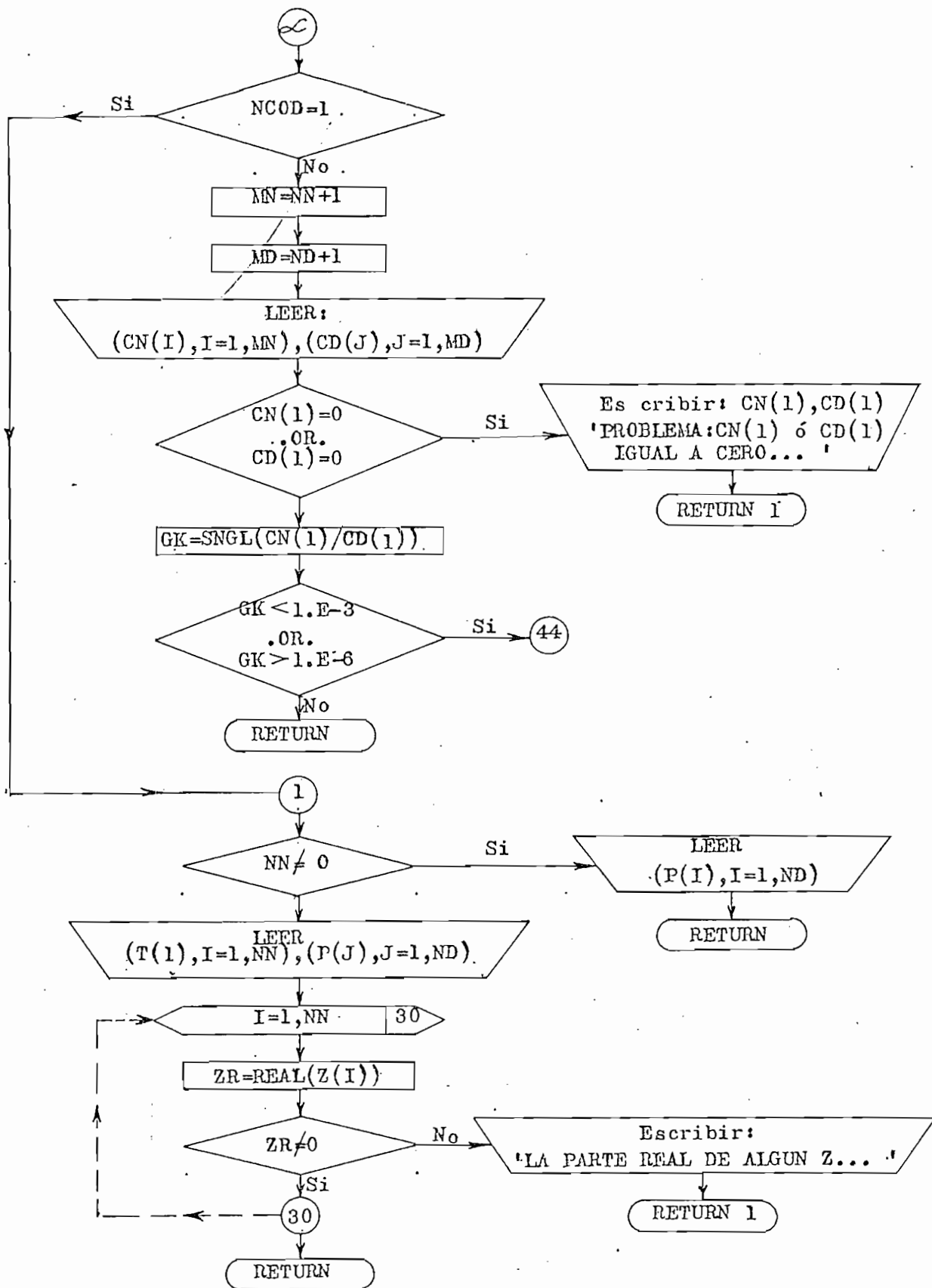


Fig. 2.2

SUBROUTINA CEROS

Definición: SUBROUTINE CEROS (NN, ND, CN, CD, Z, P, \ddagger)

Propósito: Calcular las raíces de los polinomios del numerador y denominador de la función de transferencia de lazo abierto $GH(s)$, cuando sea necesario.

Subprogramas llamados: DPRP~~0~~1

Forma de utilización: CALL CEROS(NN, ND, CN, CD, Z, P, $\&\#$)

Explicación:

NN = grado del polinomio del numerador de $GH(s)$ o # de ceros de $GH(s)$

ND = grado del polinomio del denominador de $GH(s)$ o # de polos de $GH(s)$.

CN = Arreglo de 9 elementos en que se almacenan los valores leídos de los coeficientes del polinomio del denominador de $GH(s)$

Z = Arreglo complejo de 8 elementos para almacenar los ceros calculados.

P = Arreglo complejo de 8 elementos para almacenar los polos calculados.

$\&\#$ = número de una proposición, en el programa que llama a la subrutina CEROS.

Esta subrutina ceros, llama dos veces a la DPRP~~0~~1 para calcular los ceros (Z) y los polos (P) de la función de

transferencia.

Diagramas de Flujo: Ver figura 2.3

Datos de entrada: NN, ND, CN, CD

Datos de salida: Z, P

Número de instrucciones: 22

Listado: Ver Apéndice B , página 104

SUBROUTINA DATOS

Definición: SUBROUTINE DATOS (GK, NN, ND, CN, CD, Z, P, NPROB,
NCOD)

Propósito: Subrutina para escribir los valores leídos para GH(jw)

Subprogramas llamados: Ninguno.

Forma de utilización: CALL DATOS (GK, NN, ND, CN, CD, Z, P ,
NPROB, NCOD)

Explicación: Esta subrutina se encarga de escribir los rotulados,
y luego según sea el valor de NCOD , escribe GH(s)
en la forma de factores o de polinomios y factores.

Diagrama de Flujo: Ver figura 2.4

Datos de Entrada: GK, NN, ND, CN, CD, Z, P, NPROB, NCOD)

Datos de salida: ninguno.

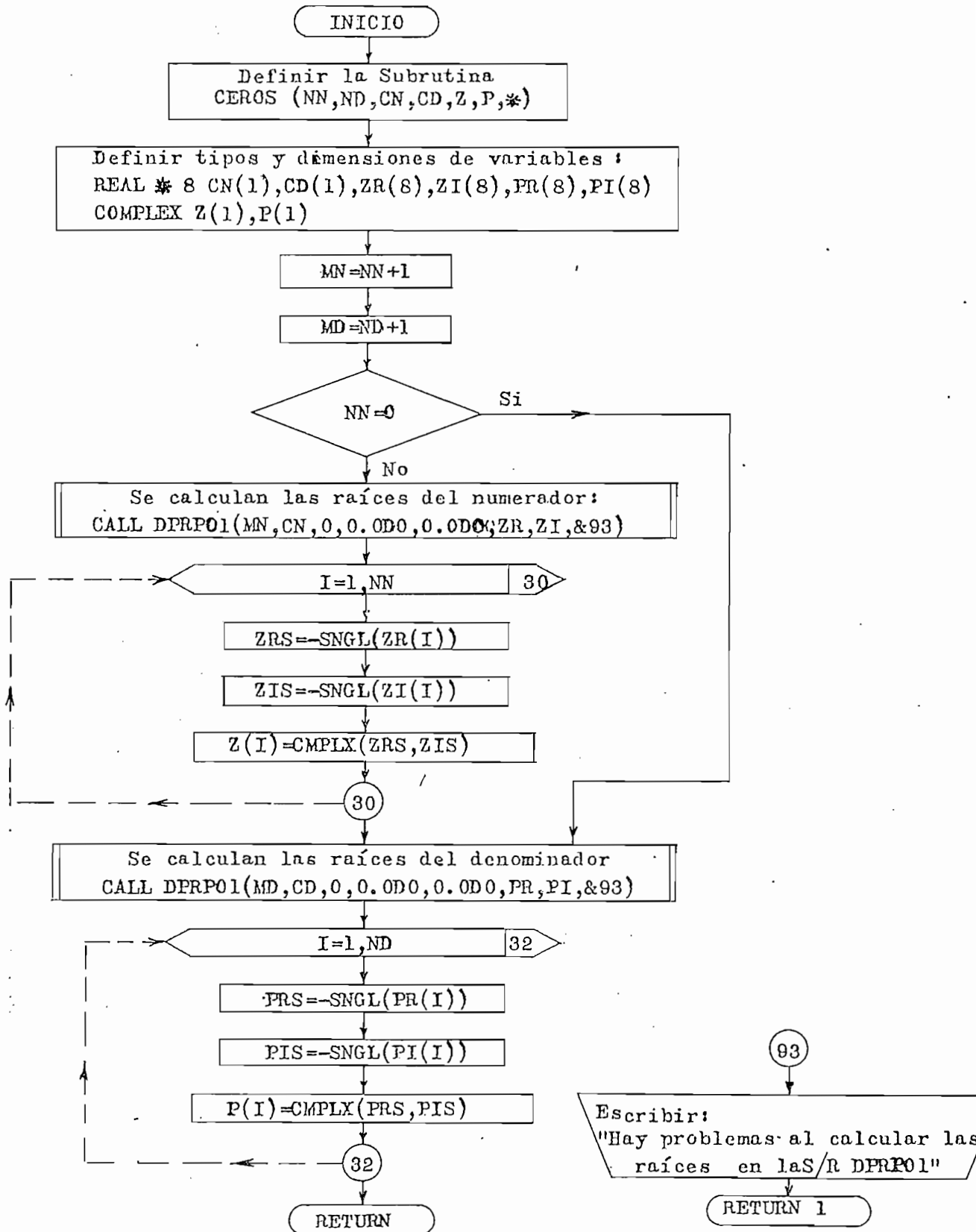


Fig. 2.3

Número de Instrucciones: 45

Listado: Ver Apéndice B, página 105

SUBROUTINA ESTAB

Definición: SUBROUTINE ESTAB (NN, ND, Z, P, GK, NEJE, +)

Propósito: Subrutina para estudiar la estabilidad absoluta.

Subprogramas llamados: OEF y DPRPØ1 .

Forma de utilización: CALL ESTAB(NN,ND, Z, P, GK, NEJE? &#)

Explicación:

NEJE = variable entera que puede valer 2; 1; o 0 .

&# = número de sentencia en el programa principal al cual se -
transfiere el control si hay problemas en la S/R ESTAB.

Esta subrutina, determina el número de raíces de $F(s) = 1 + GH(s)$ con parte real positiva y determina la estabilidad del sistema dando a NEJE un valor de 2; 1; o 0 según el sistema: " inestable; marginalmente estable; o estable respectivamente. En cada caso escribe el comentario de estabilidad.

Diagrama de Flujo: Ver figura 2.5

Datos de Entrada: NN, ND, Z, P, GK.

Datos de salida: NEJE

Número de Instrucciones: 64

Listado: Ver Apéndice B, página 106

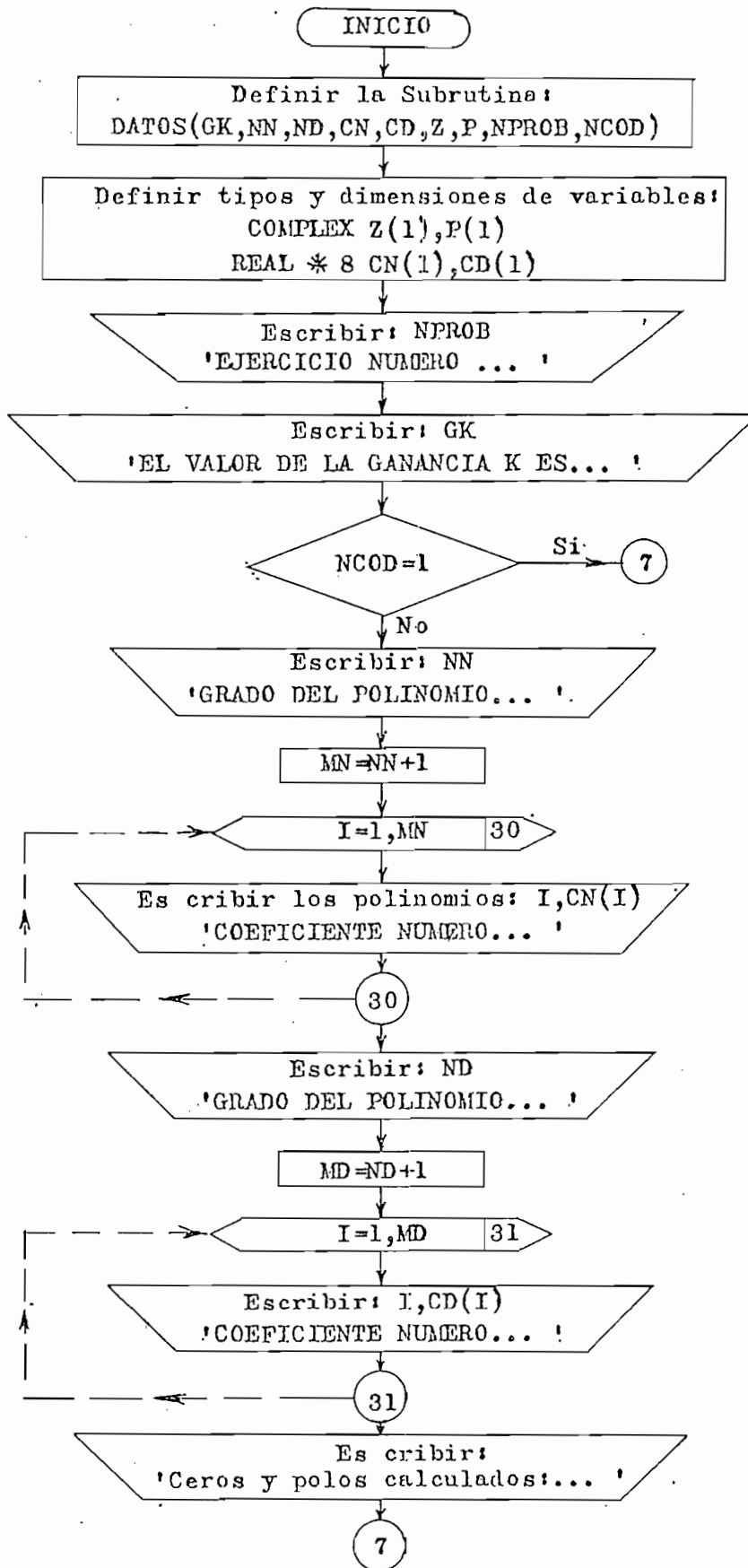
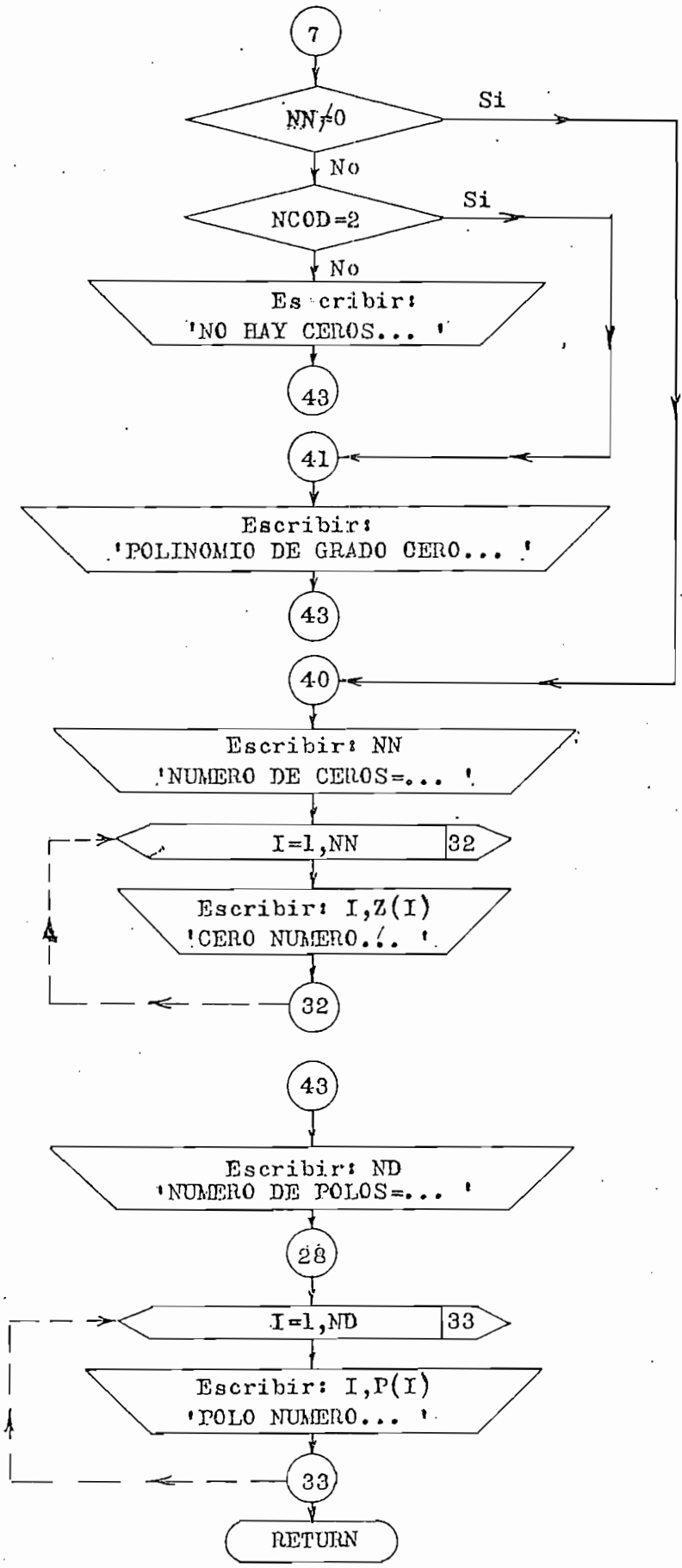


Fig. 2.4



SUBROUTINA ESTAB

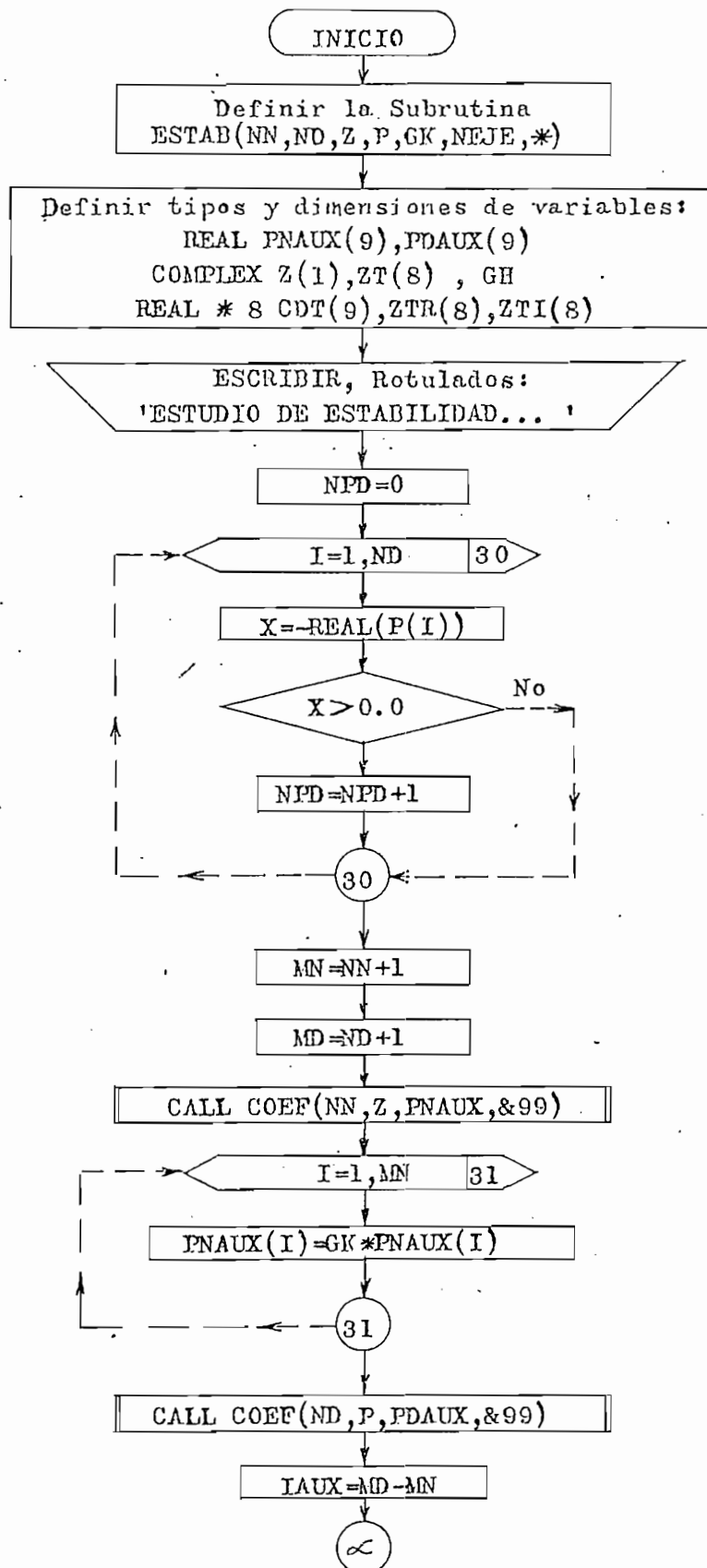


Fig. 2.5

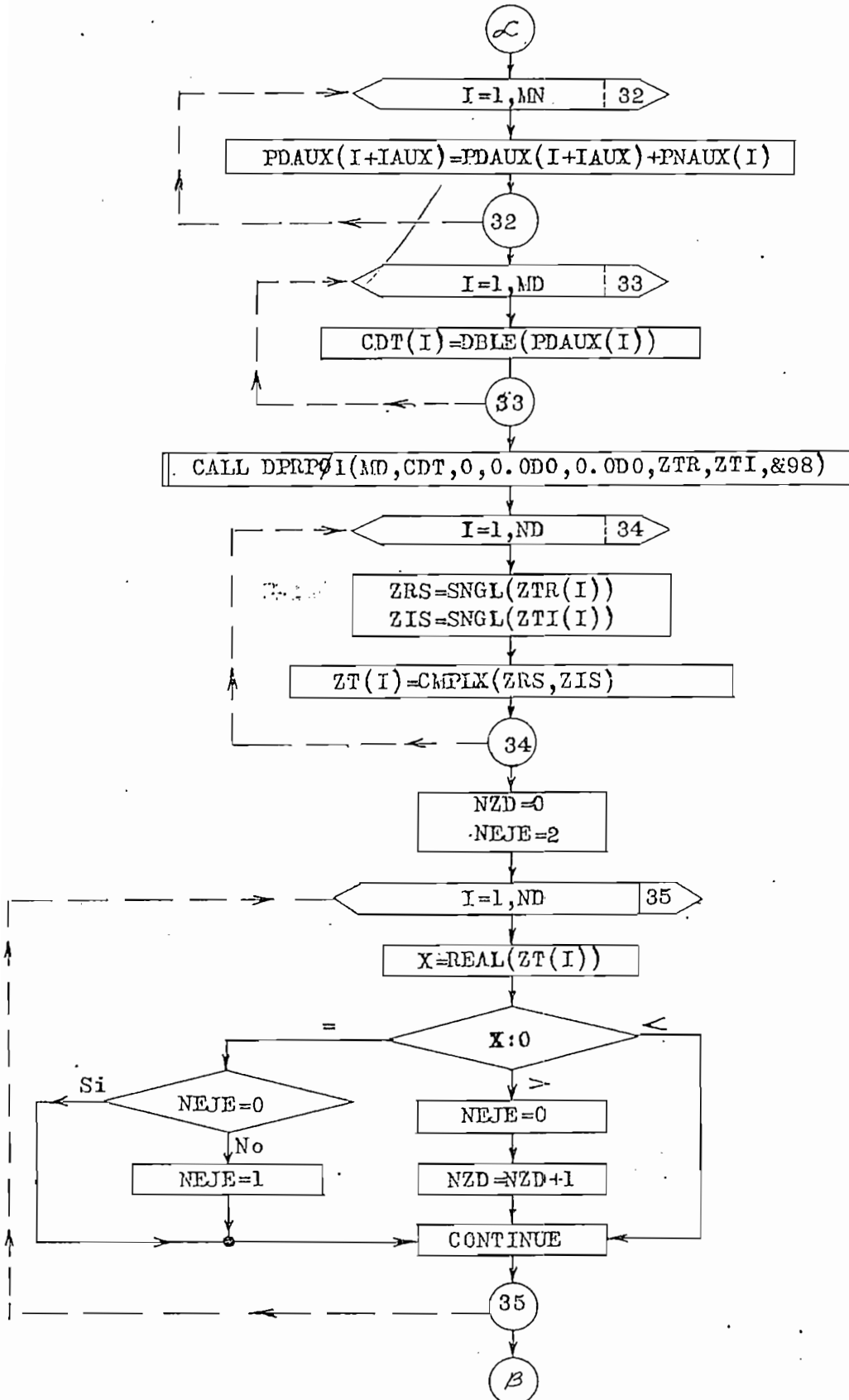


Fig. 2.5

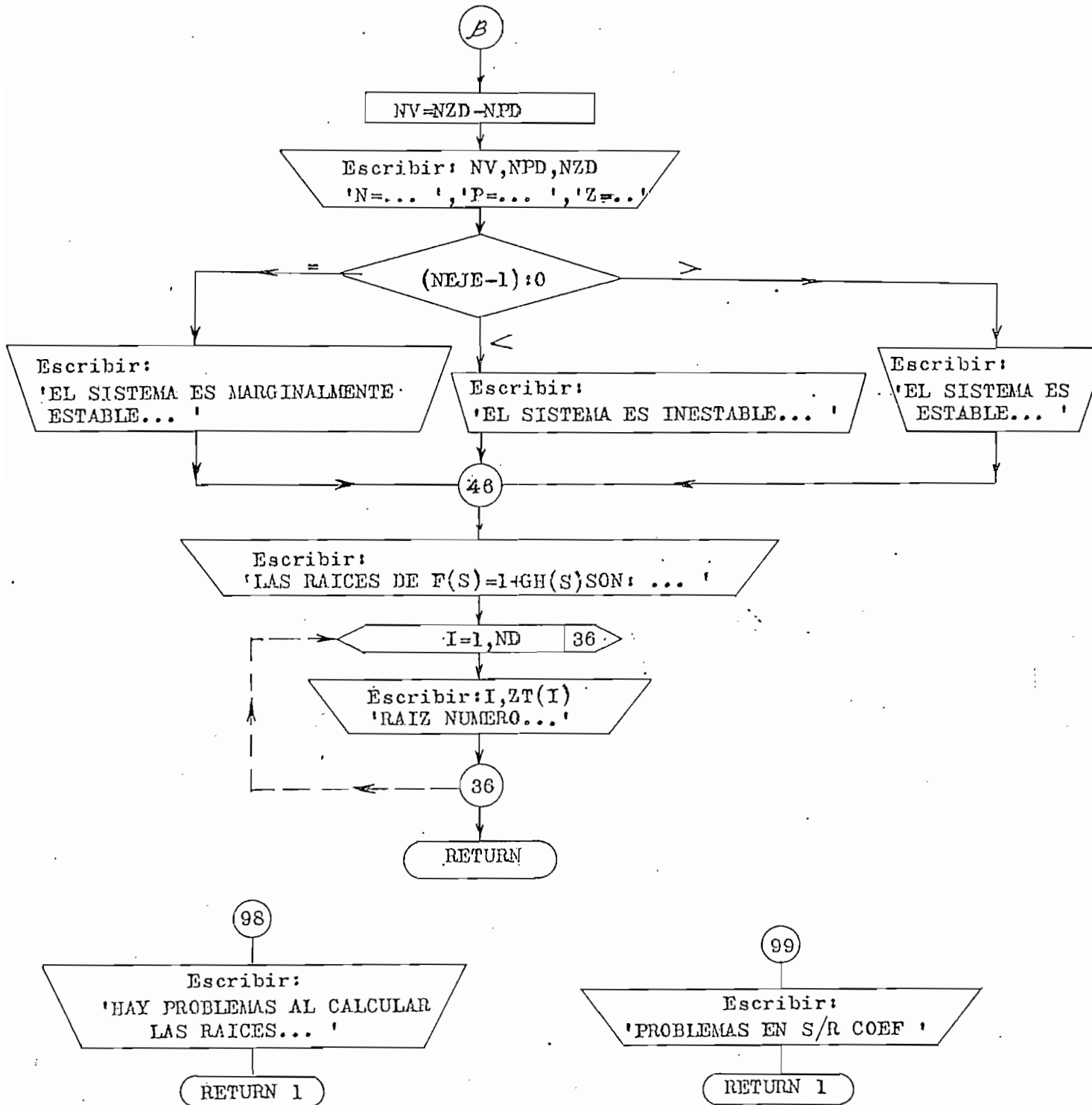


Fig. 2.5

SUBROUTINA RANGOW

Definición: SUBROUTINE RANGOW(NN, ND, GK, Z, P, WI, WF, +)

Propósito: Subrutina para calcular el rango de valores de variable w .

Subprograma llamados: GH

Forma de utilización: CALL RANGOW(NN, ND, GK, Z, P, WI, WF,&#)

Explicación:

WI = valor inicial del rango de W

WF = valor final del rango de W

Esta subrutina busca entre dos límites extremos de W - ($w = 1 \times 10^{-5}$ y $w = 1 \times 10^6$) el valor más apropiado para hacer la gráfica, y devuelve como información el WI y el WF.

Diagramas de Flujo: Ver Figura 2.6

Datos de entrada: NN, ND, GK, Z, P.

Datos de salida: WI y WF

Número de Instrucciones: 65

Listado: Ver apéndice B , página 107

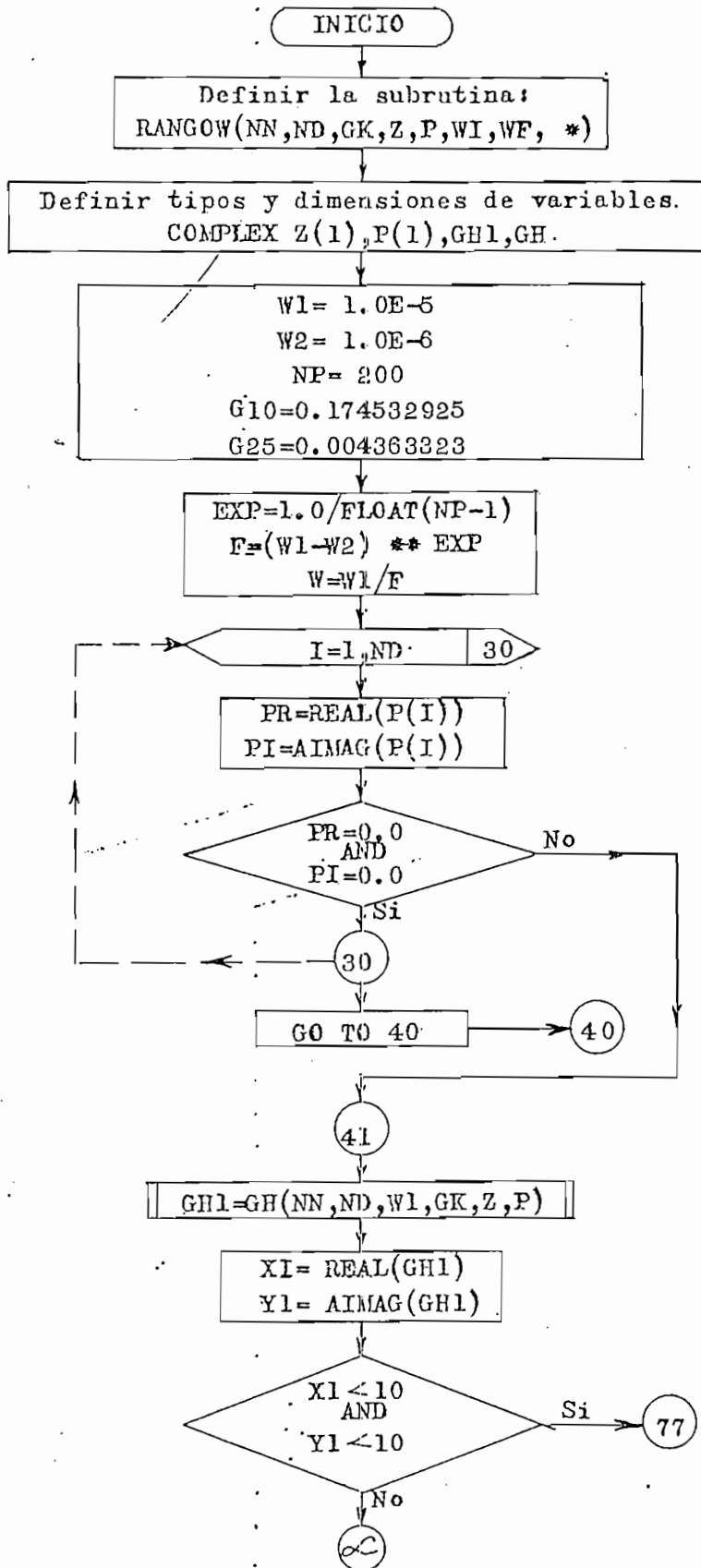
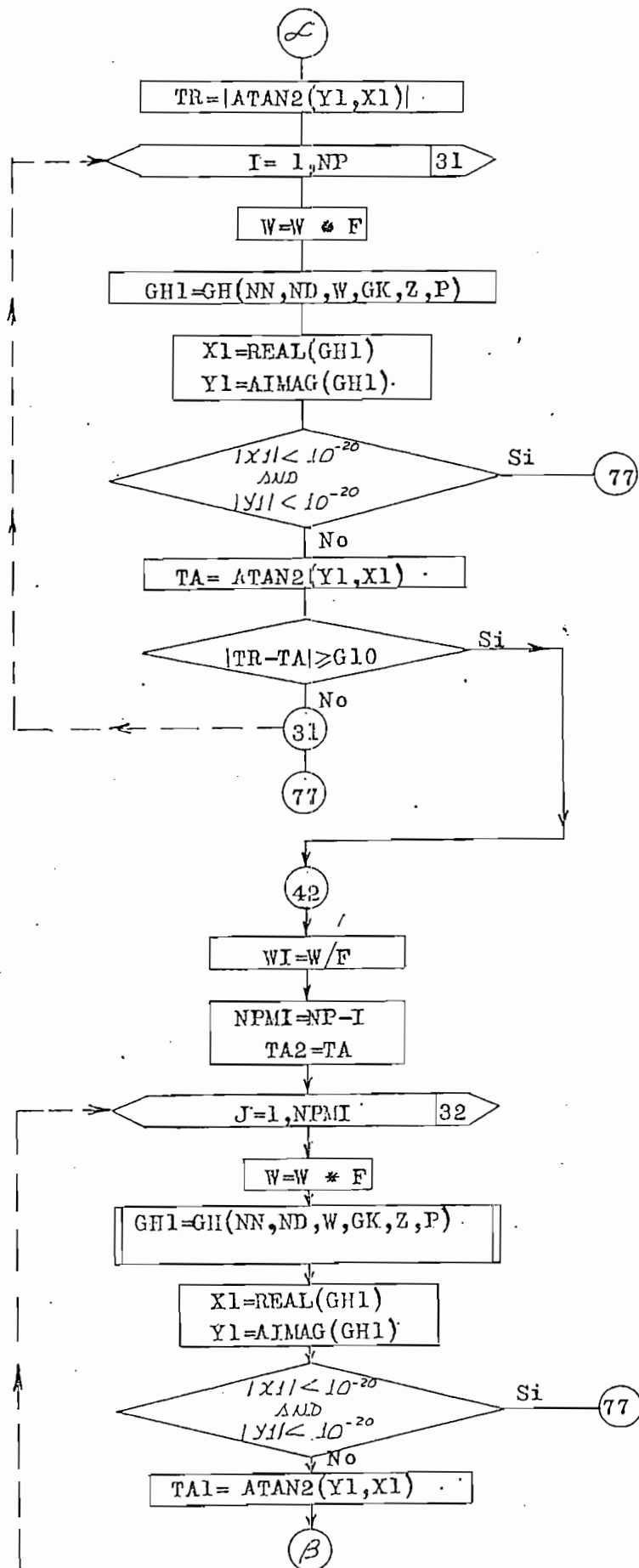


Fig. 2.6



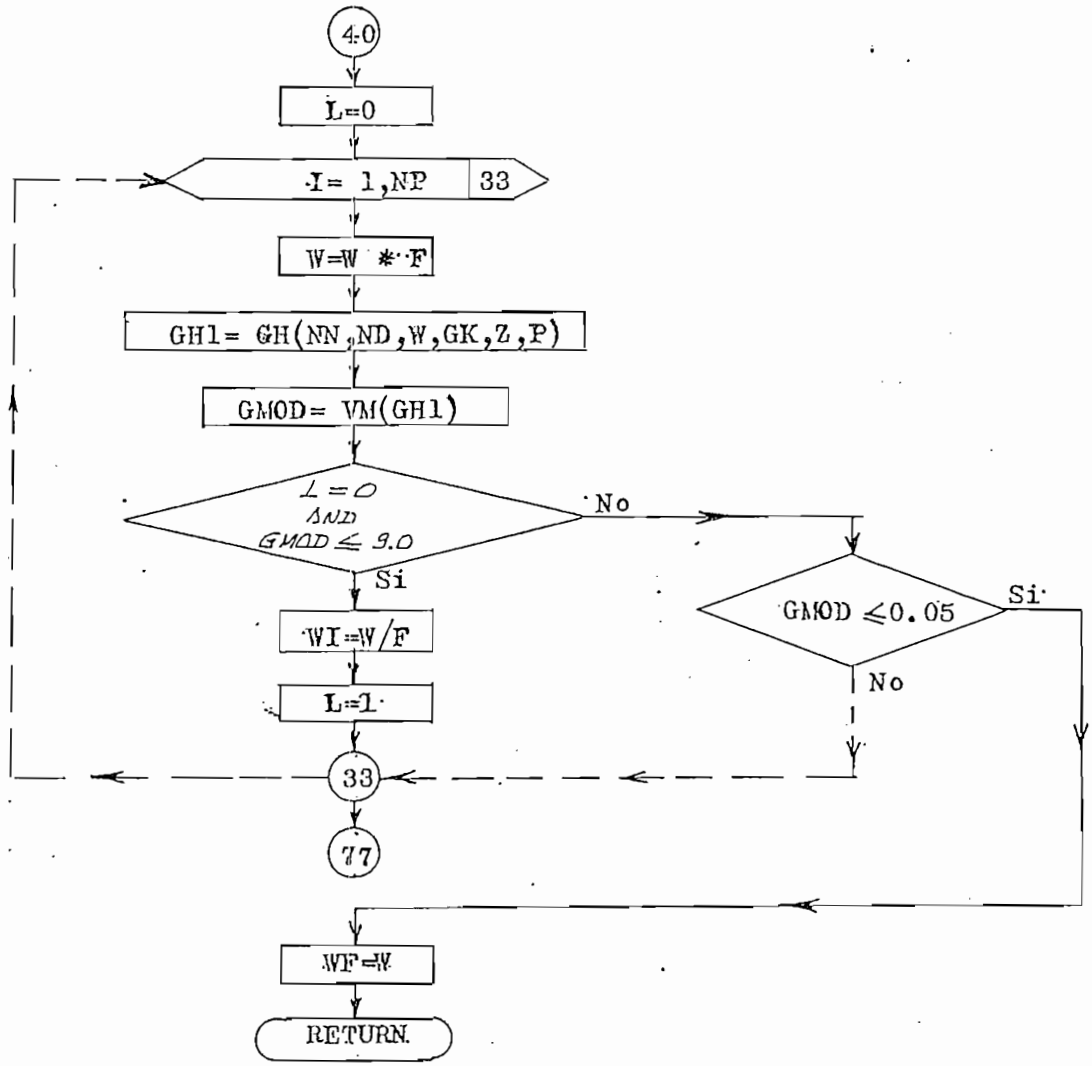
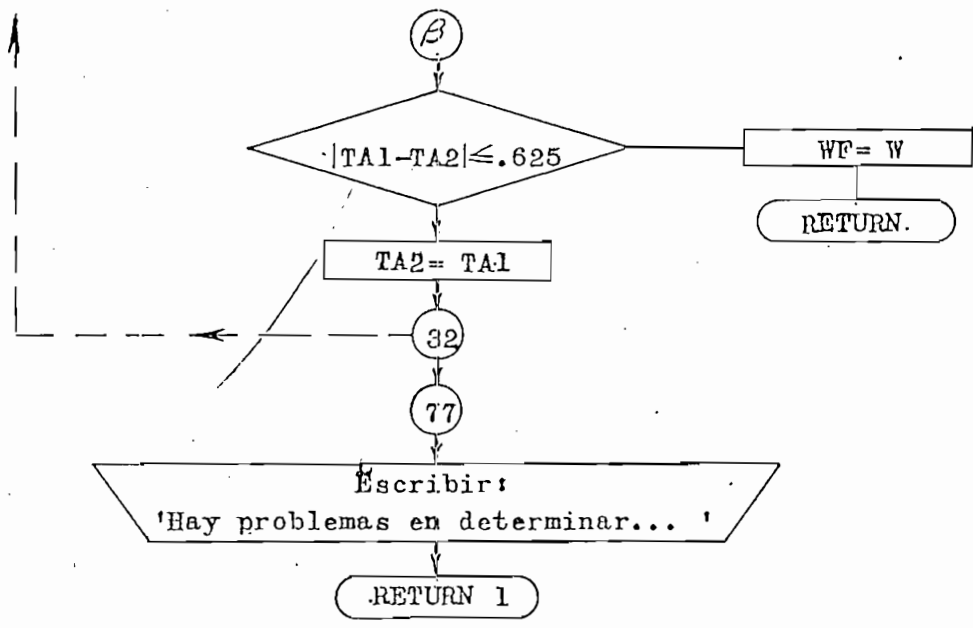


Fig. 2.6

SUBROUTINA COEF

Definición: SUBROUTINE COEF(N, ZOP, C,+)

Propósito: Subrutina para formar un polinomio, dados sus factores

Subprogramas llamados: NINGUNO.

Forma de utilización: CALL COEF (N, ZOP, C, &#)

Explicación:

N = grado del polinomio o número de factores.

ZOP = arreglo complejo de 8 elementos que contiene los factores, en general complejos.

C = arreglo real de 9 elementos en que se guardan los coeficientes calculados del polinomio.

Esta subrutina calcula los coeficientes del polinomio multiplicando el primer factor por el siguiente y así sucesivamente. Los factores que se da como datos a esta subrutina son de la forma: $(S + F_1)(S + F_2) \dots (S + F_N)$, donde $F_1 = -\text{RAIZ } 1$;; $F_N = -\text{RAIZ } N$.

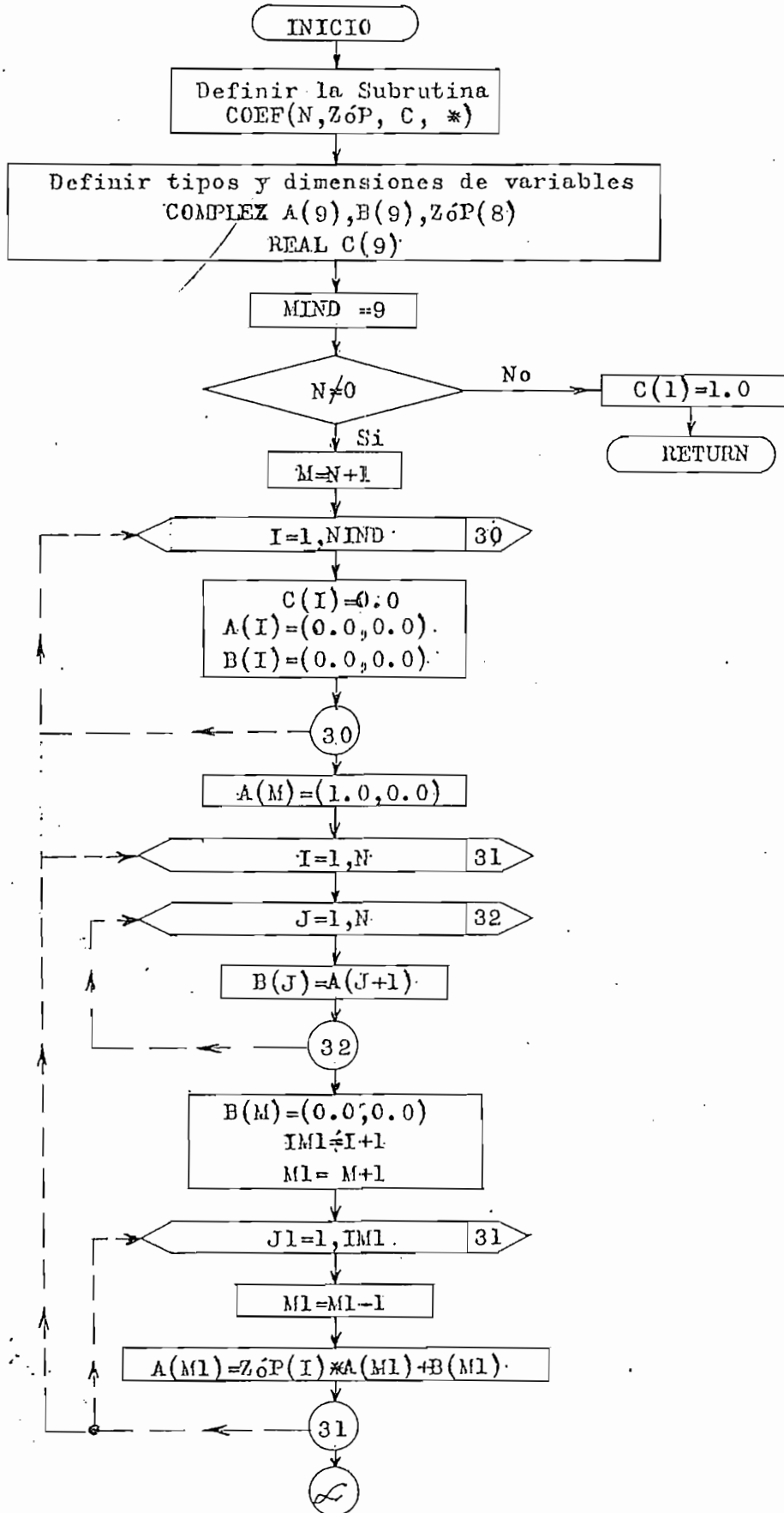
Diagrama de Flujo: Ver ~~Figura~~ Figura 2.7

Datos de entrada: N, ZOP

Datos de salida: C

Número de Instrucciones: 37

Listado: Ver Apéndice B, pág. 108



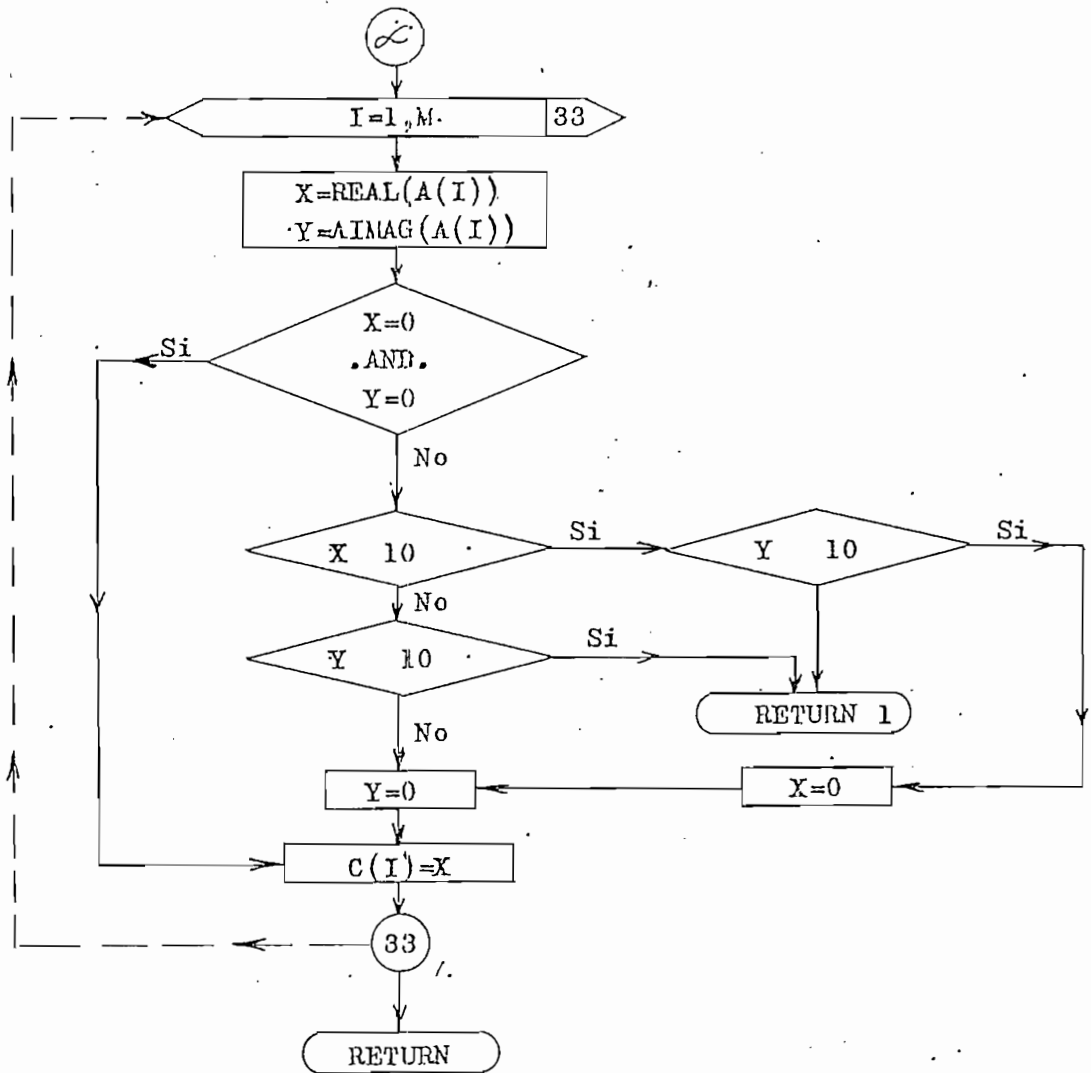


Fig. 2.7

SUBROUTINA MGMF

Definición: SUBROUTINE MGMF(NN,ND, GK, Z, P, WI, WF, NEJE, NW)

Propósito: Calcular el margen de ganancia y margen de fase.

Subprogramas llamados: GH

Forma de utilización: CALL MGMF(NN, ND, GK, Z, P, WI, WF, NEJE,
NW)

Explicación:

NW = variable que indica si WI y WF han sido determinados automáticamente o si han sido dados como datos de entrada.

La subrutina busca y escribe el margen de ganancia y margen de fase en el rango dado de W, si no encuentra alguno de los márgenes buscados o se presenta algún problema, la subrutina escribe un comentario para aclarar la situación.

Diagrama de Flujo: Ver Figura 2.8

Datos de entrada: NN, ND, GK, Z, P, WI, WF, NEJE, NW.

Datos de salida: Ninguno.

Número de Instrucciones: 165

Listado: Ver Apéndice B , página 109

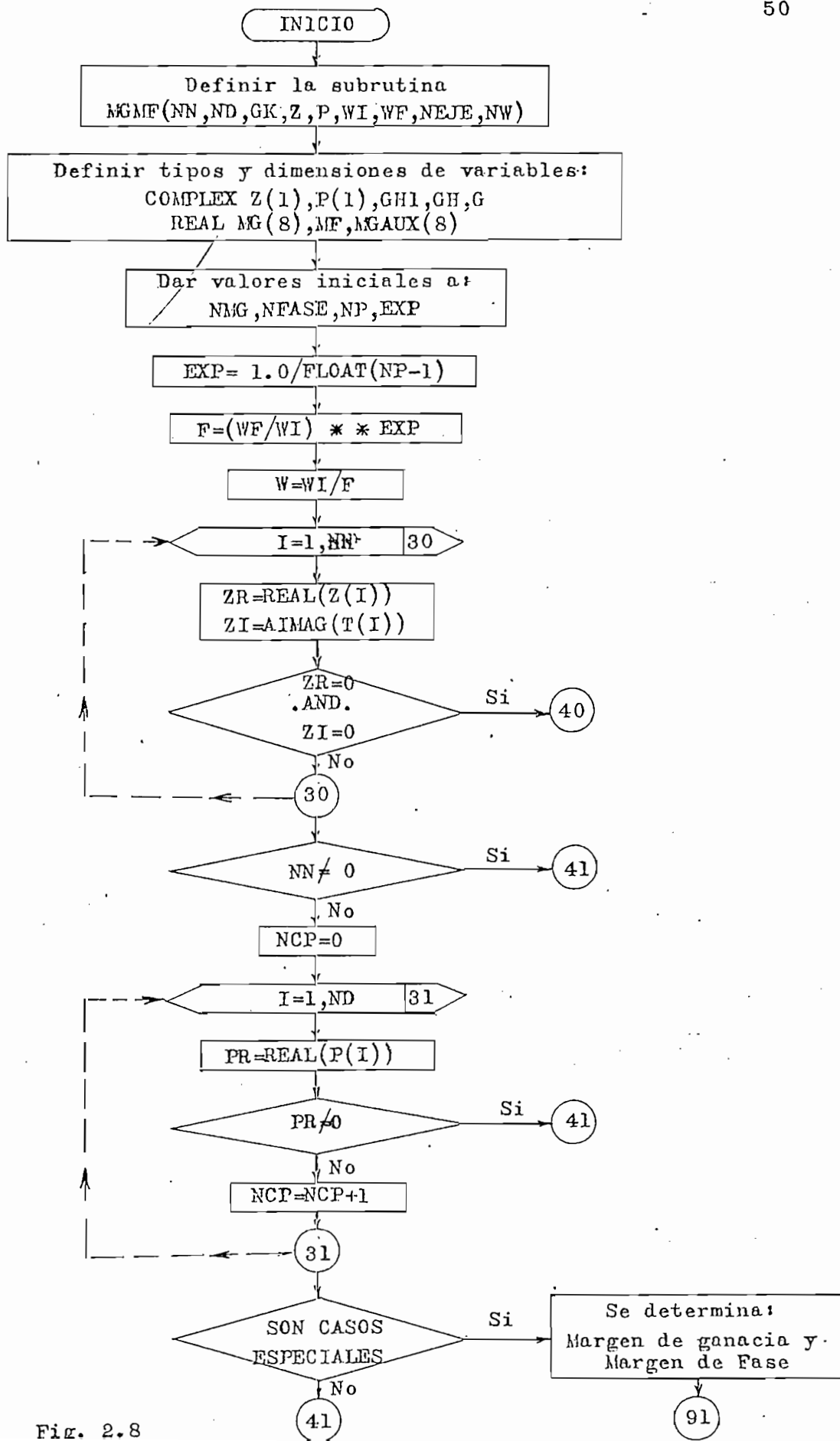


Fig. 2.8

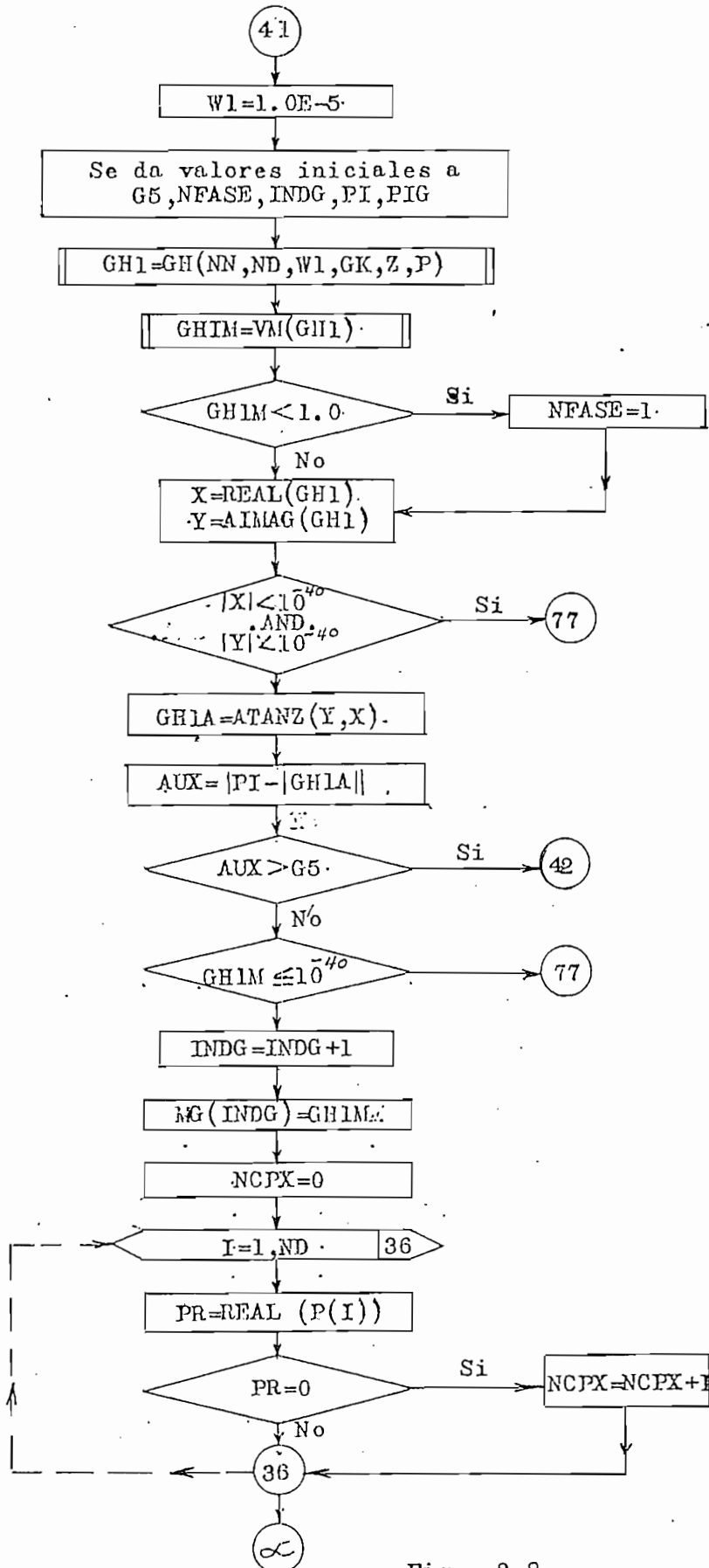
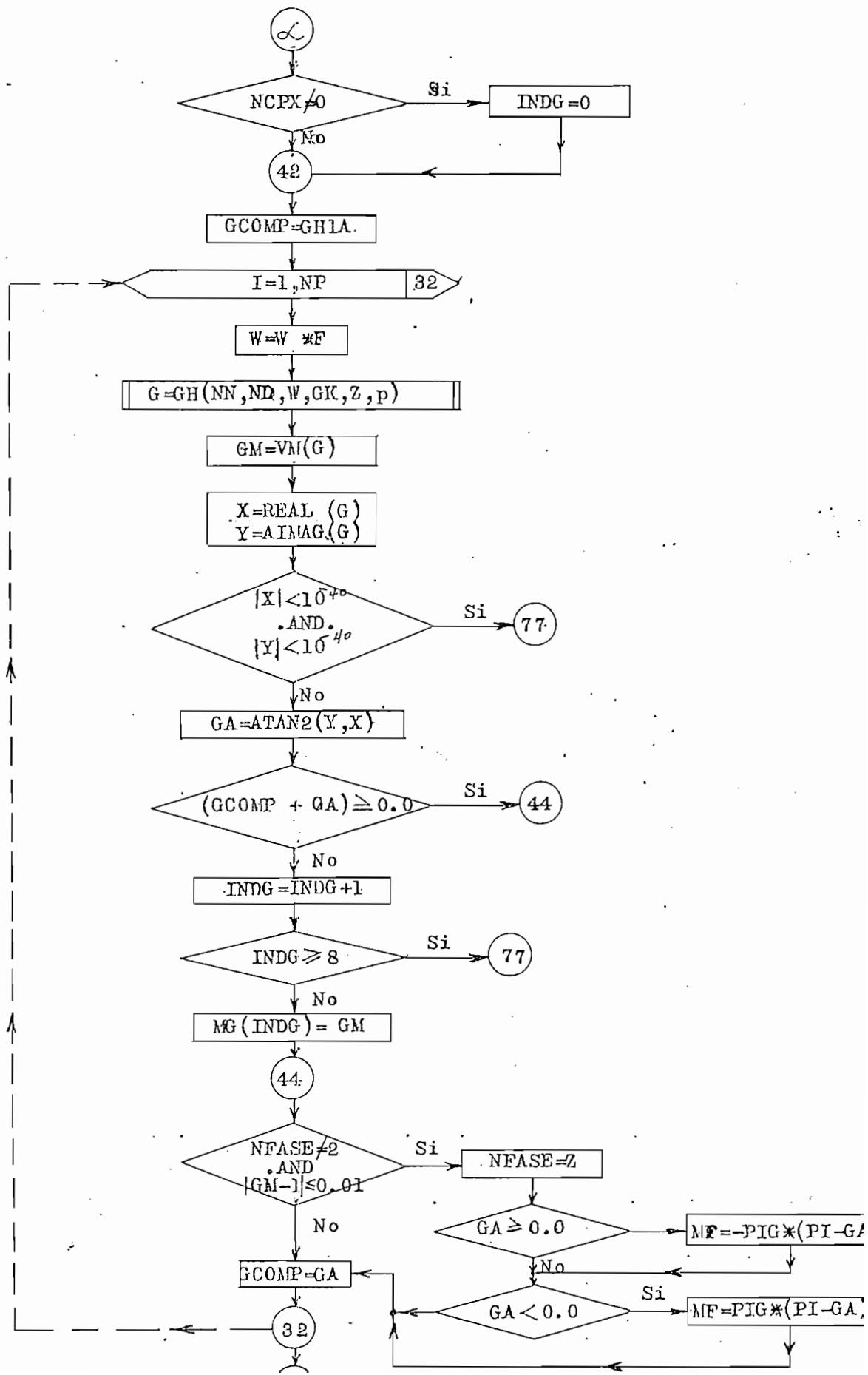


Fig. 2.8



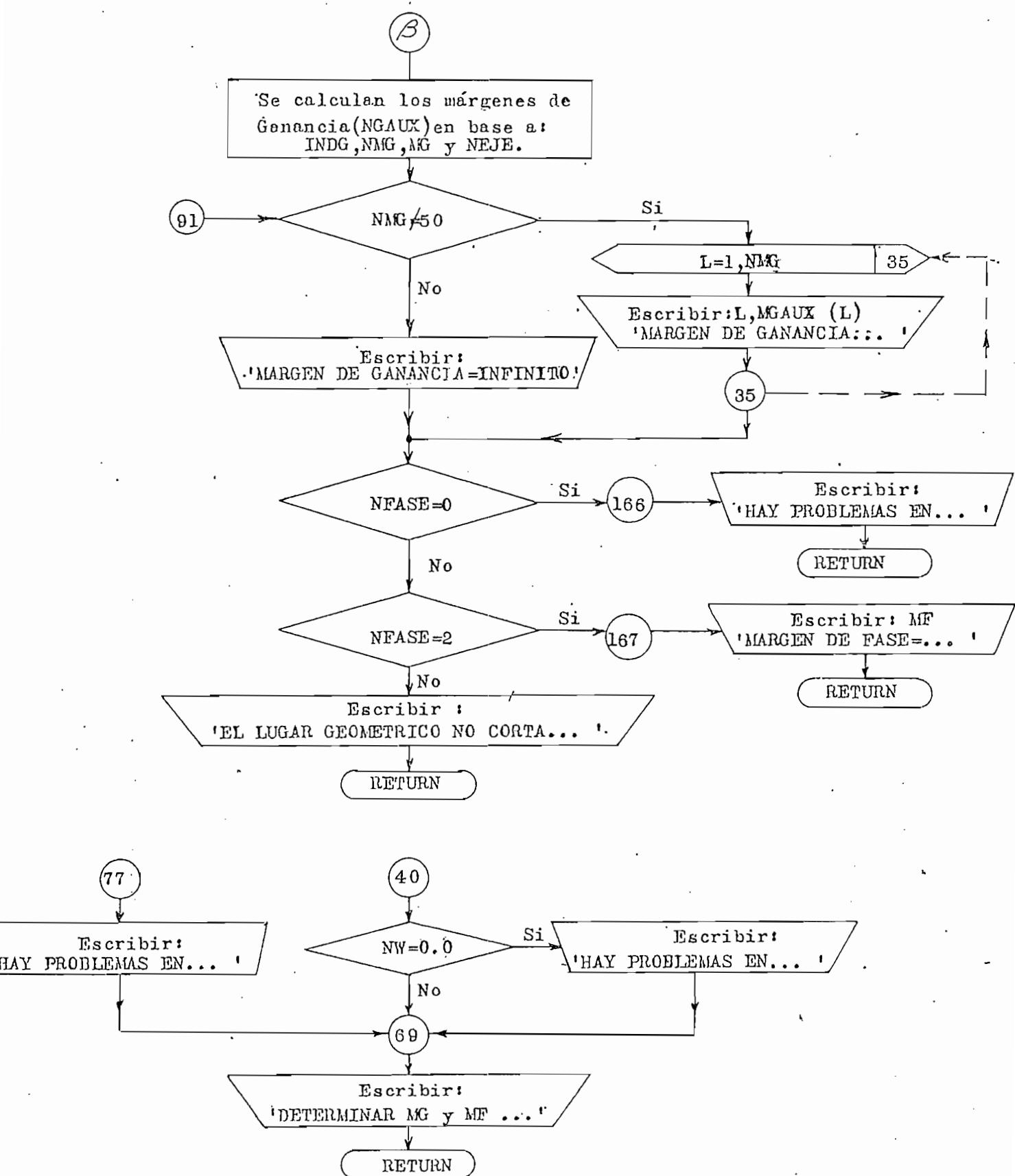


Fig. 2.8

SUBROUTINA GRAFIC

Definición: SUBROUTINE GRAFIC(X, Y, NP, NVS)

Propósito: Realizar la gráfica polar GH(jw)

Subprogramas llamados: Ninguno.

Forma de utilización: CALL GRAFIC (X, Y, NP, NVS)

Explicación:

X = arreglo real de 1000 elementos donde se guarda la información del eje X.

Y = arreglo real de 1000 elementos donde se guarda la información del eje Y.

NP = número de puntos de la gráfica.

NVS = arreglo alfanumérico de 1000 elementos que contiene los símbolos del gráfico.

Esta subrutina en base a X, Y, NP y NVS realiza el gráfico de cualquier función, en este caso, del gráfico de GH(s). Está arreglada la subrutina para que las escalas del eje u y el eje v sean iguales; se impriman siempre los ejes y éstos se desplazan automáticamente dentro de la gráfica según los ejemplos.

Diagrama de Flujo: Ver Figura 2.9

Datos de entrada: X, Y, NP, NVS.

Datos de salida: ninguno

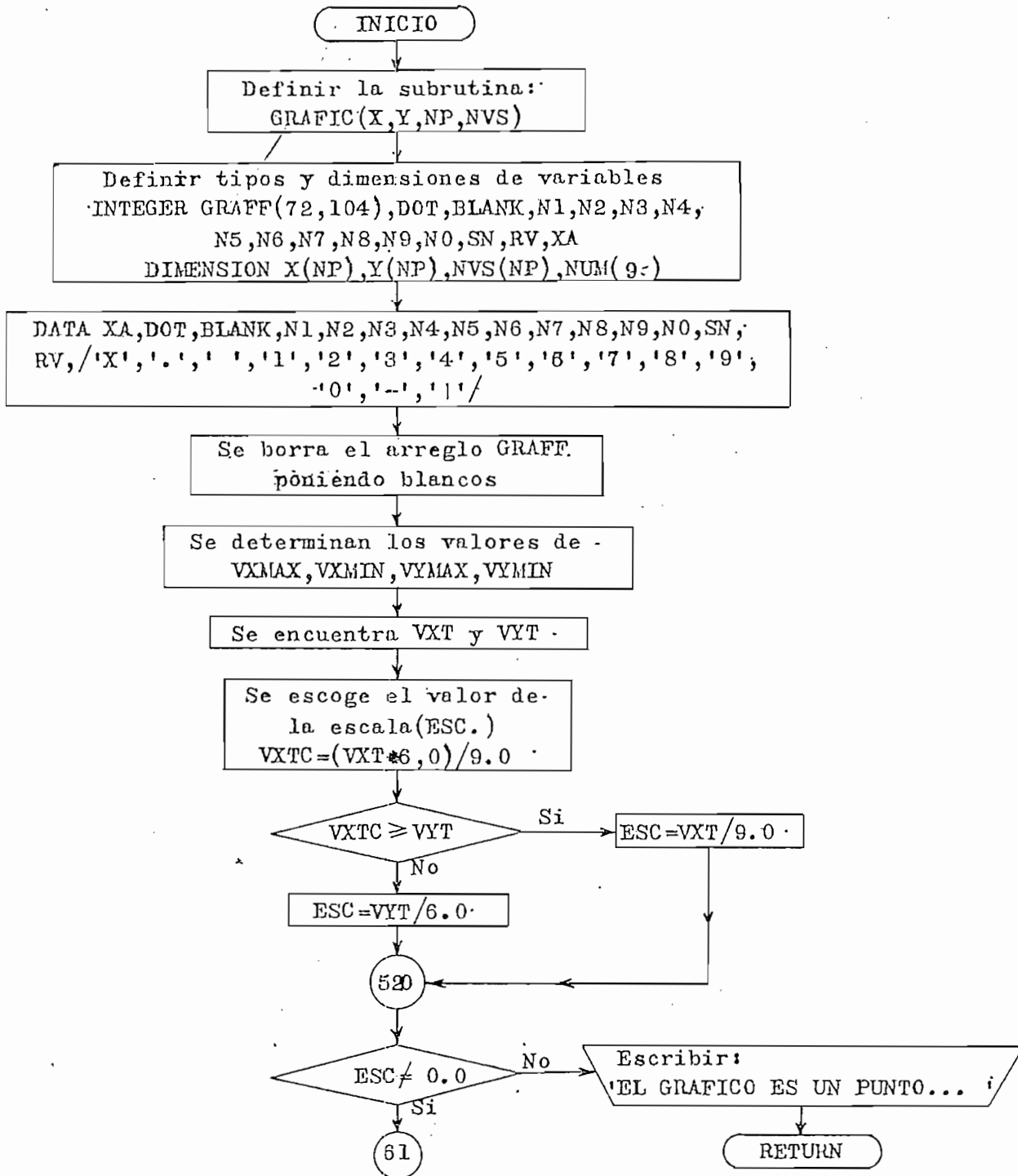


Fig. 2.9

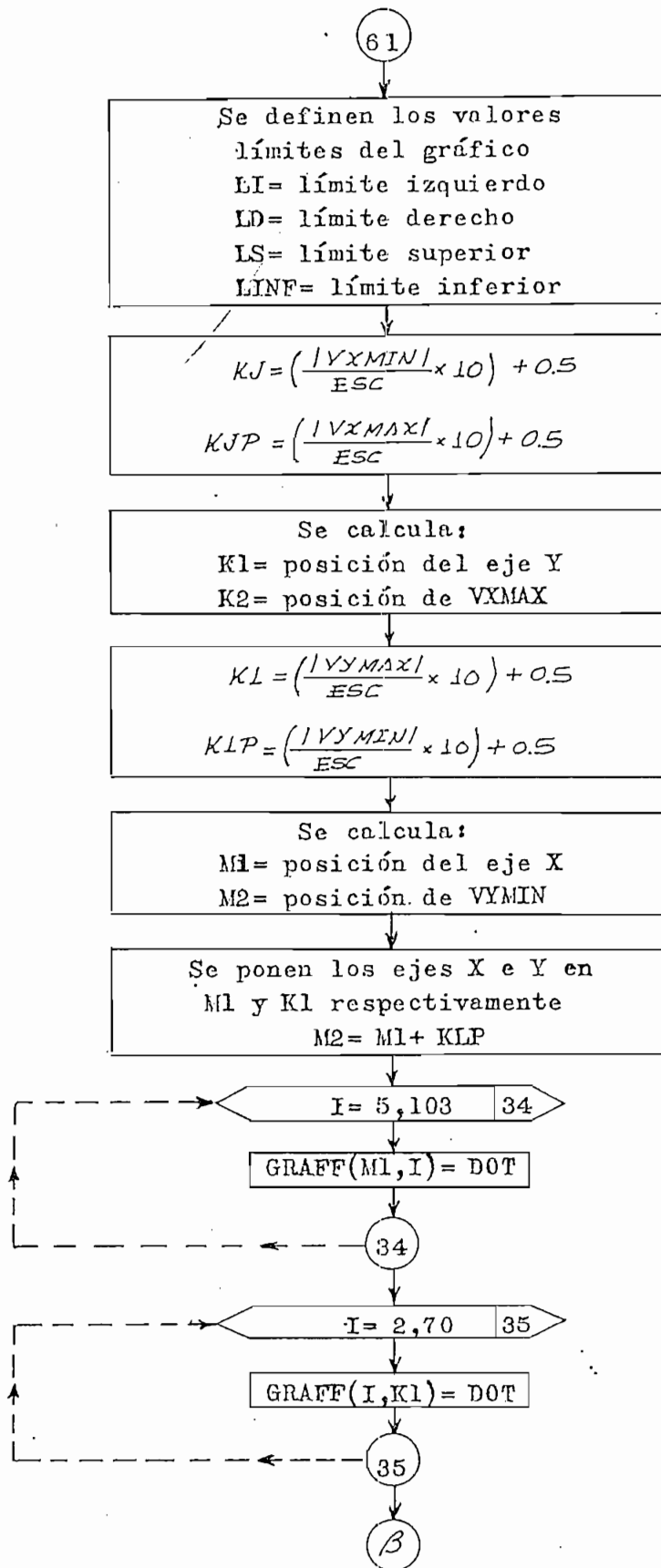


Fig. 2.9

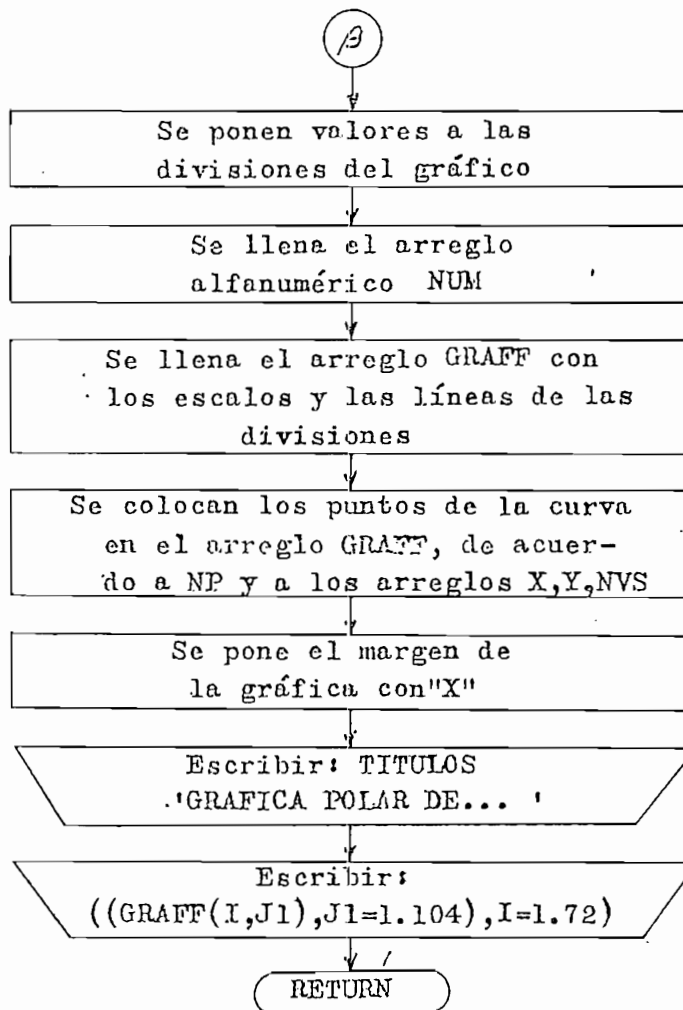


Fig. 2.9

Número de Instrucciones: 154

Listado: Ver Apéndice B, página. 111

SUBPROGRAMA DE FUNCION GH

Definición: COMPLEX FUNCTION GH(NN,ND,W, GK, Z, P)

Propósito: Calcular el valor complejo de GH(jw) para un W dado

Forma de utilización: A = GH(NN, ND, W, GK, Z, P); donde A es alguna variable compleja de \$ bytes.

Explicación:

W = valor de frecuencia W para el cual se desea obtener el valor de GH

Diagramas de Flujo: Ver Figura 2.10

Datos de entrada: NN, ND, W, GK, Z, P.

Datos de salida: A = GH(NN, ND, W, GK, Z, P)

Número de Instrucciones: 13

Listado: Ver Apéndice B , página 113

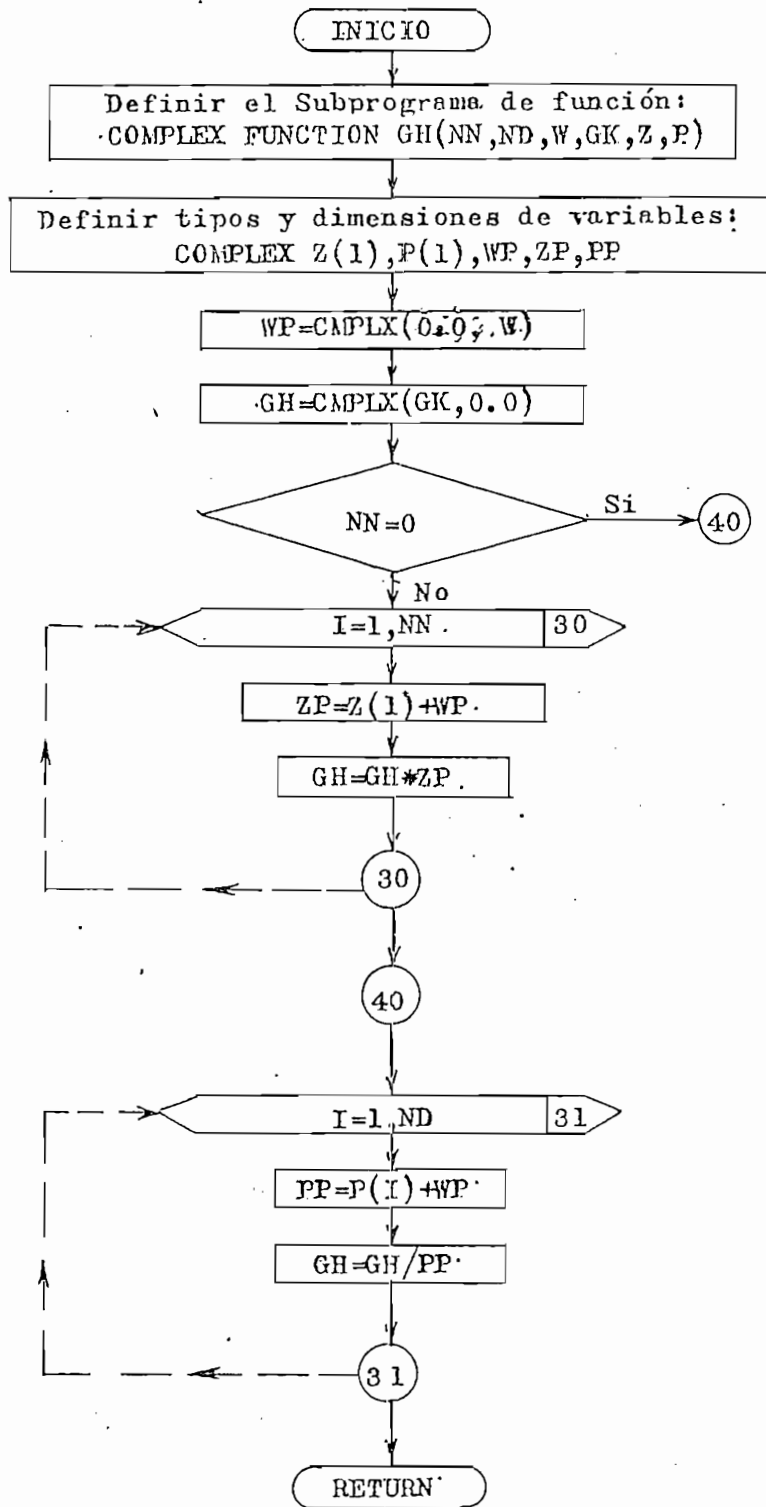


Fig. 2.10

SURPROGRAMA DE FUNCION: VM

Definición: FUNCTION VM(C)

Propósito: Calcular el módulo de un complejo de precisión sencilla, haciendo además algunas consideraciones especiales.

Forma de Utilización: $R = VM(C)$; R es alguna variable real.

Explicación:

C = argumento complejo de 4 bytes.

Diagrama de Flujo: Ver figura 2.11

Datos de Entrada: C

Datos de Salida: $R = VM(C)$

Número de Instrucciones: 11 /

Listado: Ver Apéndice B , página 113

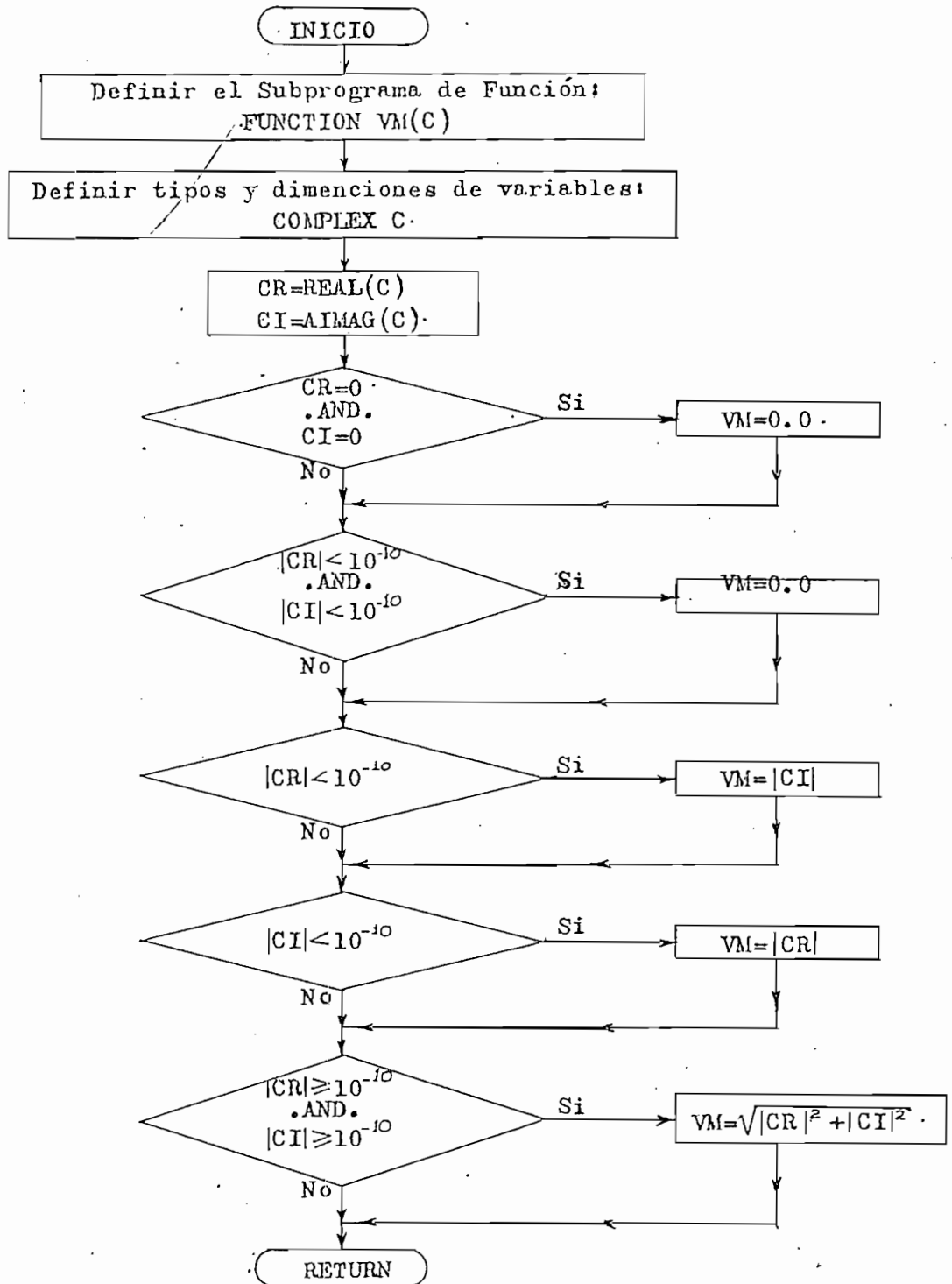


Fig. 2.11

CAPITULO TERCERO

EJEMPLOS USANDO EL PROGRAMA

CAPITULO TERCERO

EJEMPLOS USANDO EL PROGRAMA

En este capítulo se ilustrará mediante la aplicación de varios ejemplos, la manera de usar el programa para obtener la solución de algunas funciones de transferencia de lazo abierto $(GH(s))$ típicas.

Para cada ejemplo, se expone en primer lugar la forma de dar los datos de entrada al programa; a continuación, se analiza los resultados obtenidos y se presenta un diagrama en el que se ilustra cómo debe quedar la gráfica polar luego de dibujar su ramal simétrico* respecto del eje real en el plano $GH(s)$ y de considerar los semicírculos de radio infinito en el caso de que éstos se presenten.

3.1 EJEMPLO 1

$$GH(s) = \frac{1.0}{0.00086777 s^3 + 0.005206625 s^2 + 0.00954547 s + 0.00520662}$$

Para este ejemplo se ha escogido dar la función de trans

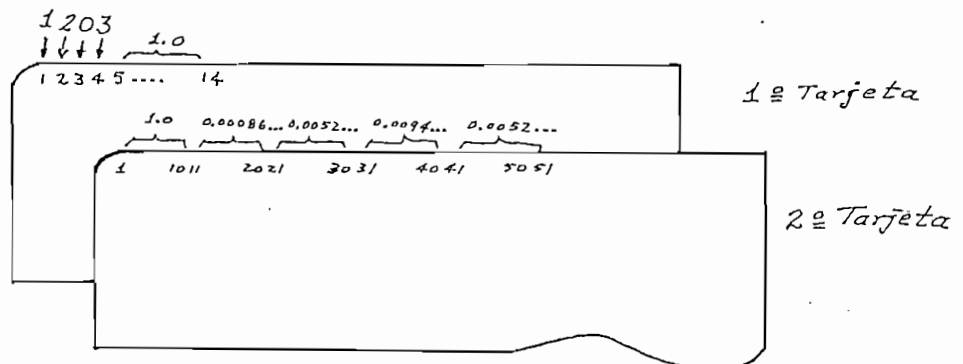
* Este ramal es para el rango de frecuencia: $-\infty < \omega < 0$.

ferencia de lazo abierto $GH(s)$ en forma de una relación de dos polinomios.

Para que el programa acepte la lectura de los datos de $GH(s)$ en forma de la relación de dos polinomios, el número de código (NCOD) es 2, el grado del polinomio del numerador (NN) es 0, y el grado del polinomio del denominador es 3 (ND), y como el valor de K (ganancia del sistema independiente de la frecuencia) en este caso no se necesita como dato de entrada, el programa requiere que se perfore un 1.0 en el campo de la tarjeta de datos, reservado para K. El resto de la tarjeta se deja en blanco puesto que no se proporciona como datos de entrada el rango de w y el número de puntos a calcularse para la construcción de la gráfica polar.

Además como el grado del polinomio del numerador es cero, el programa exige que se perfore el valor del coeficiente del término independiente de s .

De acuerdo a lo establecido en el apéndice A las tarjetas de datos de entrada para aplicar este ejemplo quedan de la siguiente manera:



Observando el cuadro de datos obtenidos (C-D-1)* se concluye que el programa sólo ha calculado los polos de $GH(s)$, (pues para este ejemplo $GH(s)$ no tiene ceros), y el valor de K .

Entonces la función de transferencia $GH(s)$ queda como :

$$GH(s) = \frac{1152.379}{((1+j0) + s) ((1.999999+j0) + s) ((3+j0)+s)} ; \quad s=j\omega$$

$$GH(j\omega) = \frac{1152.379}{(1+j\omega)(1.999999+ j\omega)(3+j\omega)}$$

Por otro lado, analizando el cuadro para la estabilidad (C-E-1)* se observa:

1) Que $N = 2$. El lugar geométrico de $GH(s)$ da dos rodeos en la dirección del movimiento de las agujas del reloj alrededor del punto $(-1, 0)$.

2) Que $P = 0$. Hay cero raíces del denominador de $F(s) = 1 + GH(s)$, (ecuación característica), con parte real positiva.

3) Que $Z = 2$. Hay dos raíces de $F(s) = 1 + GH(s)$, que tienen parte real positiva y que por lo tanto están en el semiplano derecho del plano s , lo que se puede verificar observando el cuadro donde están escritos las raíces de $1+GH(s)$.

* C = cuadro
D = de datos
l = número del ejemplo que se está analizando.

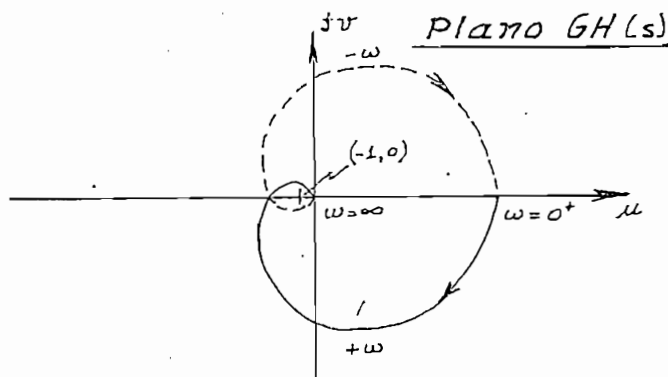
* C = cuadro
E = de estabilidad
l = número del ejemplo que se está analizando.

4) El sistema es inestable, sin embargo, es sistema pue de hacerse estable reduciendo la ganancia K .

5) El margen de ganancia es menor que 1 ($MG = 0.05244109$)

6) El margen de fase es menor que cero ($MF = -57.11671$ grados).

En la gráfica 3-1.a se aprecia cómo es el lugar geométrico de $GH(s)$ para $0^+ < \omega < +\infty$, y en la gráfica 3-1.b se esquematiza cómo debe quedar el diagrama polar al dibujar su si métrico respecto del eje real u .



GRAFICA 3-1.b

Finalmente, en la tabla T-1 se proporcionan los valores usados en la construcción de la gráfica 3-1.a y que son el módulo de $GH(s)$ y el ángulo de $GH(s)$ para una frecuencia (ω) de terminada dentro del rango de valores para ω , que es definido automáticamente por el programa.

Además, es preciso señalar que por no haberse dado como dato el número de puntos que se van a calcular para realizar la gráfica, NP (número de puntos) es asumido con un valor de 300.

GH(JW) PUEDE DARSE DE LAS DOS MANERAS SIGUIENTES:

$$GH(JW) = \frac{K(Z1+JW)(Z2+JW)\dots}{(P1+JW)(P2+JW)\dots} \quad 0 \quad GH(JW) = \frac{(A1*Z**N+A2*Z**(N-1)+\dots+A(N+1))}{(B1*Z**M+B2*Z**(M-1)+\dots+E(M+1))}$$

VALGRES LEIDOS PARA GH(JW).

EL VALOR DE LA GANANCIA K ES 1152.379

GRADO DEL POLINOMIO DEL NUMERADOR= 0 SUS COEFICIENTES EN ORDEN DECRECIENTE DE POTENCIAS SON:

COEFICIENTE NUMERO 1 = 1.000000

GRADO DEL POLINOMIO DEL DENOMINADOR= 3 SUS COEFICIENTES EN ORDEN DECRECIENTE DE POTENCIAS SON:

COEFICIENTE NUMERO 1 = 0.86777000-03
 COEFICIENTE NUMERO 2 = 0.52066200-02
 COEFICIENTE NUMERO 3 = 0.95454700-02
 COEFICIENTE NUMERO 4 = 0.52066200-02

CEROS Y POLOS CALCULADOS:

POLINOMIO DE GRADO CERO.NO HAY RAICES CALCULADAS.

NUMERO DE POLOS= 3 ESTOS SON:

POLO NUMERO 1	=	1.000000	+J(0.0)
POLO NUMERO 2	=	.1.959599	+J(0.0)
POLO NUMERO 3	=	3.000000	+J(0.0)

C-D-1

ESTUDIO DE ESTABILIDAD

Z=N+P , DCNDE:

Z=NUMERO DE RAICES DE $F(S)=1+GH(S)$ CON PARTE REAL POSITIVA.

N=NUMERO DE RODEOS DEL CCNTORNO T GH AL FUNTO (-1,0).
SI N>0, LOS RODEOS SON EN LA DIRECCION DEL MOVIMIENTO DE LAS
AGUJAS DEL RELOJ. SI N<0, LCS RODEOS SON EN LA DIRECCION CCN-
TRARIA.

P=NUMERO DE RAICES DEL DENOMINADOR DE $F(S)=1+GH(S)$, CON PARTE REAL POSITIVA.

N= 2

P= 0

Z= 2

HAY RAICES EN EL SEMIPLANO DERECHO: SISTEMA INESTABLE

A) RAICES DISTINTAS(DOMINANTES): RESPUESTA EXPONENCIAL CRECIENTE.

B) RAICES REPETIDAS(DOMINANTES): RESPUESTA SINUSOIDAL CRECIENTE.

LAS RAICES DE $F(S)=1+GH(S)$ SON:

RAIZ NUMERO 1 = 3.257954 +J(9.051974)
RAIZ NUMERO 2 = 3.257954 +J(-9.051974)
RAIZ NUMERO 3 = -12.51591 +J(0.0)

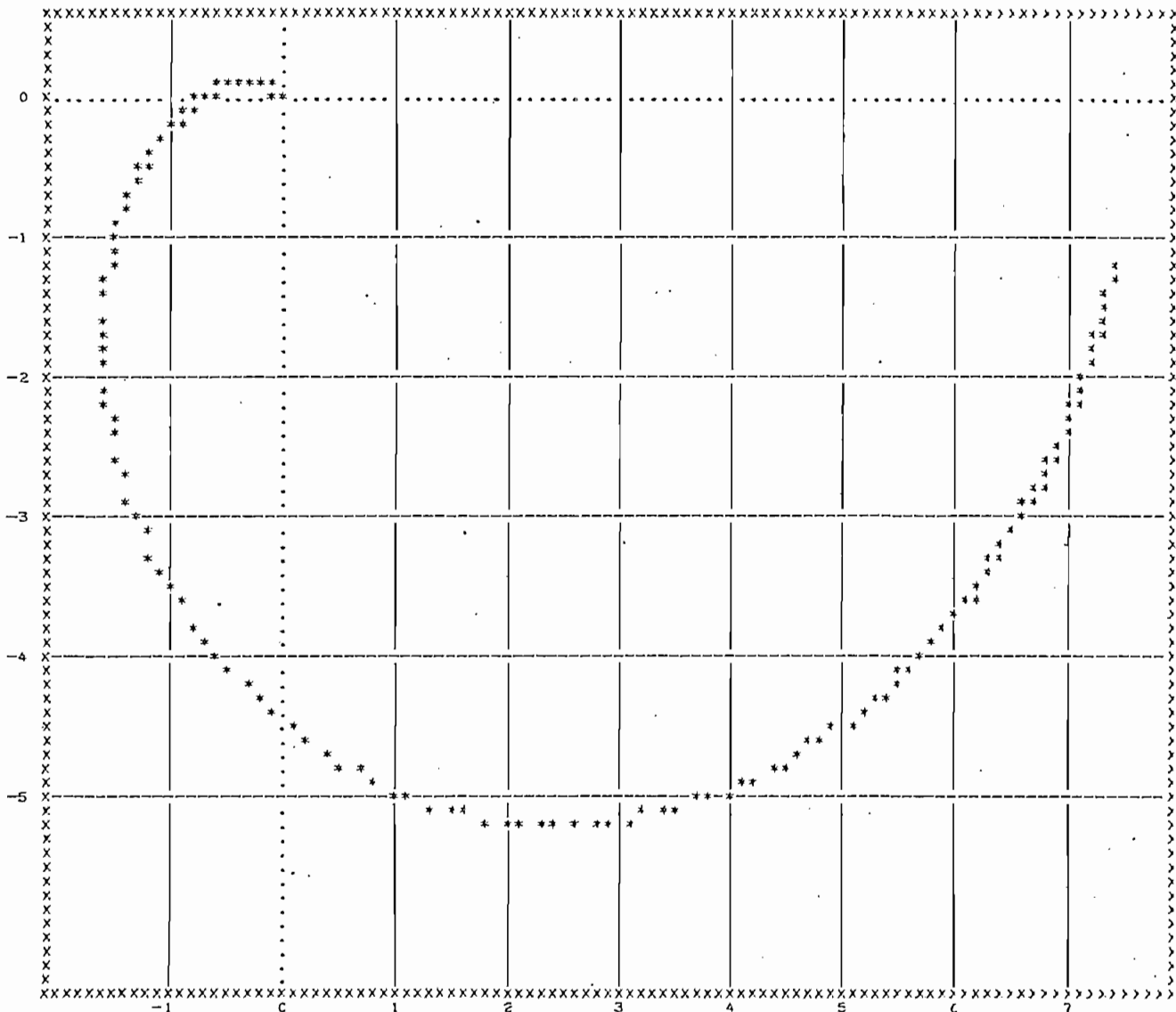
MARGEN DE GANANCIA ,1 = 0.5244109E-01

MARGEN DE FASE = -57.11671 GRADOS

C-E-1

GRAFICA POLAR DE GH(S) EN EL PLANO COMPLEJO GH(S)=U+JV

ESCALAS = EJE REAL X 25.567245
 EJE IMAGINARIO X 25.567245



GRAFICA 3-1.a

3.2 EJEMPLO 2

$$GH(s) = \frac{166.5164}{[(0+j0) + s] [(19.6866+j0) + s] [(0.8333333+j0)+ s]}$$

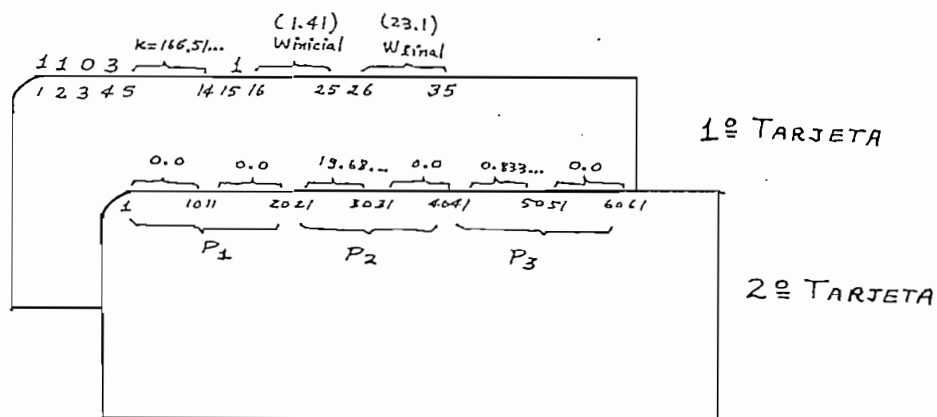
$$s = j\omega$$

$$GH(j\omega) = \frac{166.5164}{j\omega(19.6866 + j\omega)(0.8333333 + j\omega)}$$

En este caso se da la función de transferencia $GH(s)$ en la forma de un producto de la ganancia K por un producto de factores (ceros) dividido por un producto de factores (polos).

Para que el programa acepte la lectura de datos para $GH(s)$ en la forma anteriormente indicada, es preciso que $NCOD$, sea 1. Además $NN = 0$; $ND = 3$ y $k = 166.5164$.

Entonces de acuerdo a las instrucciones dadas en el apéndice A , las tarjetas de datos de entrada para este ejemplo quedan de la siguiente manera:



Es preciso anotar que en este ejemplo se define el rango de valores que toma w por medio de datos, y que son perforados siguiendo las reglas de uso del programa.

En el cuadro (C-D-2) se muestra los datos leídos para este ejemplo:

El cuadro (C-E-2) nos permite observar lo siguiente:

1) $N = 0$. El lugar geométrico de $GH(s)$ no da rodeo alguno alrededor del punto $(-1, 0)$.

2) $P = 0$. No hay polos de $F(s) = 1 + GH(s)$ con parte real positiva.

3) $Z = 0$. Todas las raíces de $1 + GH(s)$ tienen parte real negativa, y por lo tanto, están en el semiplano izquierdo del plano s .

4) El sistema es estable.

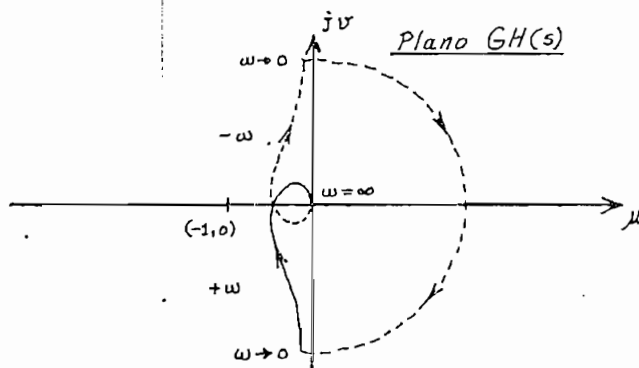
5) El margen de ganancia es menor que (2.025208) . Ello significa que si se aumenta la ganancia K demasiado, el sistema puede volverse inestable.

6) El margen de fase es mayor que cero, $(8.295892$ grados) lo que permite que el diagrama polar gire en el sentido horario - un ángulo igual al anterior, antes de que el sistema se vuelva i nestable.

En la gráfica 3-2.a se aprecia la forma que toma el lugar geométrico $GH(s)$ para el rango de w establecido, y en la gráfica 3-2.b se indica cómo queda el diagrama polar consideran

do su ramal simétrico respecto del eje real u , y el semicírculo de radio infinito.

Por último, en la tabla T-2 se muestra los valores del módulo de $GH(s)$, del ángulo $\angle GH(s)$ y del ω correspondiente.



GRAFICA 3-2.b

GH(JW) PUEDE DARSE DE LAS DOS MANERAS SIGUIENTES:

$$GH(JW) = \frac{K(Z_1+JW)(Z_2+JW)\dots}{(P_1+JW)(P_2+JW)\dots} \quad 0 \quad GF(JW) = \frac{(A_1*Z^{**N}+A_2*Z^{**(N-1)}+\dots+A(N+1))}{(B_1*Z^{**M}+B_2*Z^{**(M-1)}+\dots+E(M+1))}$$

VALORES LEIDOS PARA GH(JW).

EL VALOR DE LA GANANCIA K ES 166.5164

NO HAY CEROS EN EL NUMERADOR.

NUMERO DE POLCS= 3 ESTOS SON:

POLO NUMERO	1	=	0.0	+J(C.0)
POLO NUMERO	2	=	15.68666	+J(C.0)
POLO NUMERO	3	=	0.8333333	+J(C.0)

C-D-2

ESTUDIO DE ESTABILIDAD
 =====

Z=N+P , DONDE:

Z=NUMERO DE RAICES DE F(S)=1+GH(S) CON PARTE REAL POSITIVA.

N=NUMERO DE PÓLOS DEL CANTORNO 1 GH AL PUNTO (-1,0).
 SI N>0, LOS PÓLOS SON EN LA DIRECCION DEL MOVIMIENTO DE LAS
 AGUJAS DEL RELOJ. SI N<0, LOS PÓLOS SON EN LA DIRECCION CON-
 TRARIA.

P=NUMERO DE RAICES DEL DENOMINADOR DE F(S)=1+GH(S), CON PARTE REAL POSITIVA.

N= 0

P= 0

Z= 0

HAY RAICES EN EL SEMIPLANO IZQUIERDO: SISTEMA ESTABLE
 =====

A) RAICES DISTINTAS(DOMINANTES): RESPUESTA EXPONENCIAL DECRECIENTE.

B) RAICES REPETIDAS(DOMINANTES): RESPUESTA SINUSOIDAL DECRECIENTE.

=====

LAS RAICES DE F(S)=1+GH(S) SON:

RAIZ NUMERO 1 = -0.2020217 +J(2.670020)

RAIZ NUMERO 2 = -0.2020217 +J(-2.670020)

RAIZ NUMERO 3 = -20.11594 +J(0.0)

=====

MARGEN DE GANANCIA 1 = 2.025208

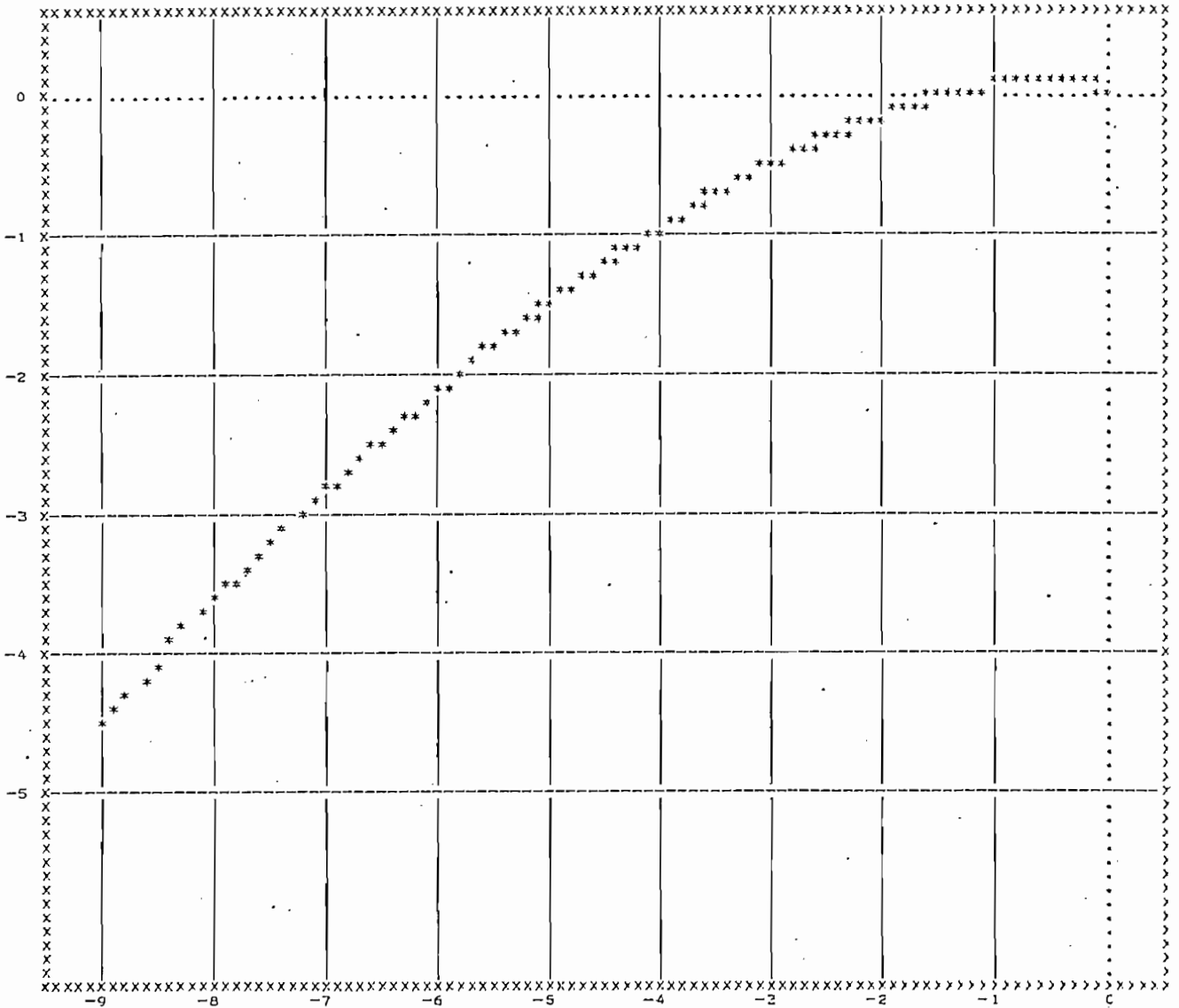
MARGEN DE FASE = 8.295892 GRADOS

=====

C-E-2

GRAFICA PCLAR DE GH(S) EN EL PLANO COMPLEJCO $G(s)=U+JV$

ESCALAS = EJE REAL X 0.36331177
EJE IMAGINAFIC X 0.36331177



GRAFICA 3-2.a

3.3 EJEMPLO 3

En el cuadro (C-D-3) se puede observar la forma en que están dados los datos para este ejemplo. Entonces:

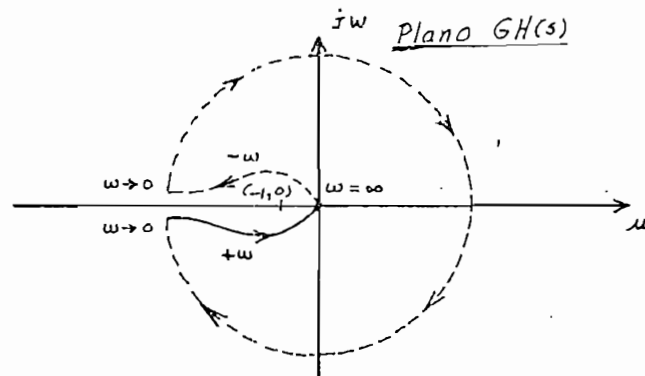
$$GH(j\omega) = \frac{14.28373 (1.276323 + j\omega)}{(j\omega) (1.919017 + j\omega)}$$

Analizando el cuadro (C-E-3) podemos anotar los siguientes puntos importantes:

- 1) El número de rodeos al punto $(-1, 0)$ es cero ($N=0$).
- 2) No hay raíces de $1 + GH(s)$ en la parte derecha del plano s , tampoco las hay sobre el eje imaginario ($j\omega$), por lo tanto, el sistema es estable.
- 3) El margen de ganancia es infinito. Esto es una consecuencia de lo establecido en el punto anterior y de que el lugar geométrico de $GH(s)$ no corta en ningún punto a la parte izquierda del eje real u .
- 4) El margen de fase es de 8.472166 grados.

En la gráfica 3-3.a tenemos el ramal de $GH(s)$ para $0^+ < \omega < +\infty$. Y en la 3-3.b está el diagrama completo de Nyquist.

La tabla T-3 indica los valores de ω , módulo de $GH(s)$, y ángulo de $GH(s)$.



GRAFICA 3-3.b

GH(JW) PUEDE DARSE DE LAS DCS MANERAS SIGUIENTES:

$$GH(JW) = \frac{K(Z_1+JW)(Z_2+JW)\dots}{(P_1+JW)(P_2+JW)\dots} \quad 0 \quad GH(JW) = \frac{(A_1*Z^{**N}+A_2*Z^{**}(N-1)+\dots+A(N+1))}{(B_1*Z^{**N}+B_2*Z^{**}(N-1)+\dots+E(M+1))}$$

VALORES LEIDOS PARA GH(JW).

EL VALOR DE LA GANANCIA K ES 14.28373

NUMERO DE CEROS= 1 ESTOS SON:

CERO NUMERO 1 = 1.276323 +J(0.0)

NUMERO DE POLOS= 3 ESTOS SON:

POLO NUMERO 1 = 0.0 +J(0.0)
 POLO NUMERO 2 = 0.0 +J(0.0)
 POLO NUMERO 3 = 1.919017 +J(0.0)

C-D-3

ESTUDIO DE ESTABILIDAD

Z=N+P , DCNDE:

Z=NUMERO DE RAICES DE $F(S)=1+GH(S)$ CON PARTE REAL POSITIVA.

N=NUMERO DE POLEOS DEL CCNTCFNG Y GH AL PLNTO (-1,0).
 SI N>0, LOS POLEOS SON EN LA DIRECCION DEL MOVIMIENTO DE LAS
 AGUJAS DEL RELOJ. SI N<0, LOS POLEOS SON EN LA DIRECCION CON-
 TRARIA.

P=NUMERO DE RAICES DEL DENOMINADOR DE $F(S)=1+GH(S)$, CON PARTE REAL POSITIVA.

N= 0

P= 0

Z= 0

HAY RAICES EN EL SEMIPLANO IZQUIERDO: SISTEMA ESTABLE

A) RAICES DISTINTAS(DOMINANTES): RESPUESTA EXPONENCIAL DECRECIENTE.

B) RAICES REPETIDAS(DOMINANTES): RESPUESTA SINUSOIDAL DECRECIENTE.

LAS RAICES DE $F(S)=1+GH(S)$ SON:

RAIZ NUMERO 1 = -0.2850351 +J(3.665172)

RAIZ NUMERO 2 = -0.2850351 +J(-3.665172)

RAIZ NUMERO 3 = -1.348946 +J(0.0)

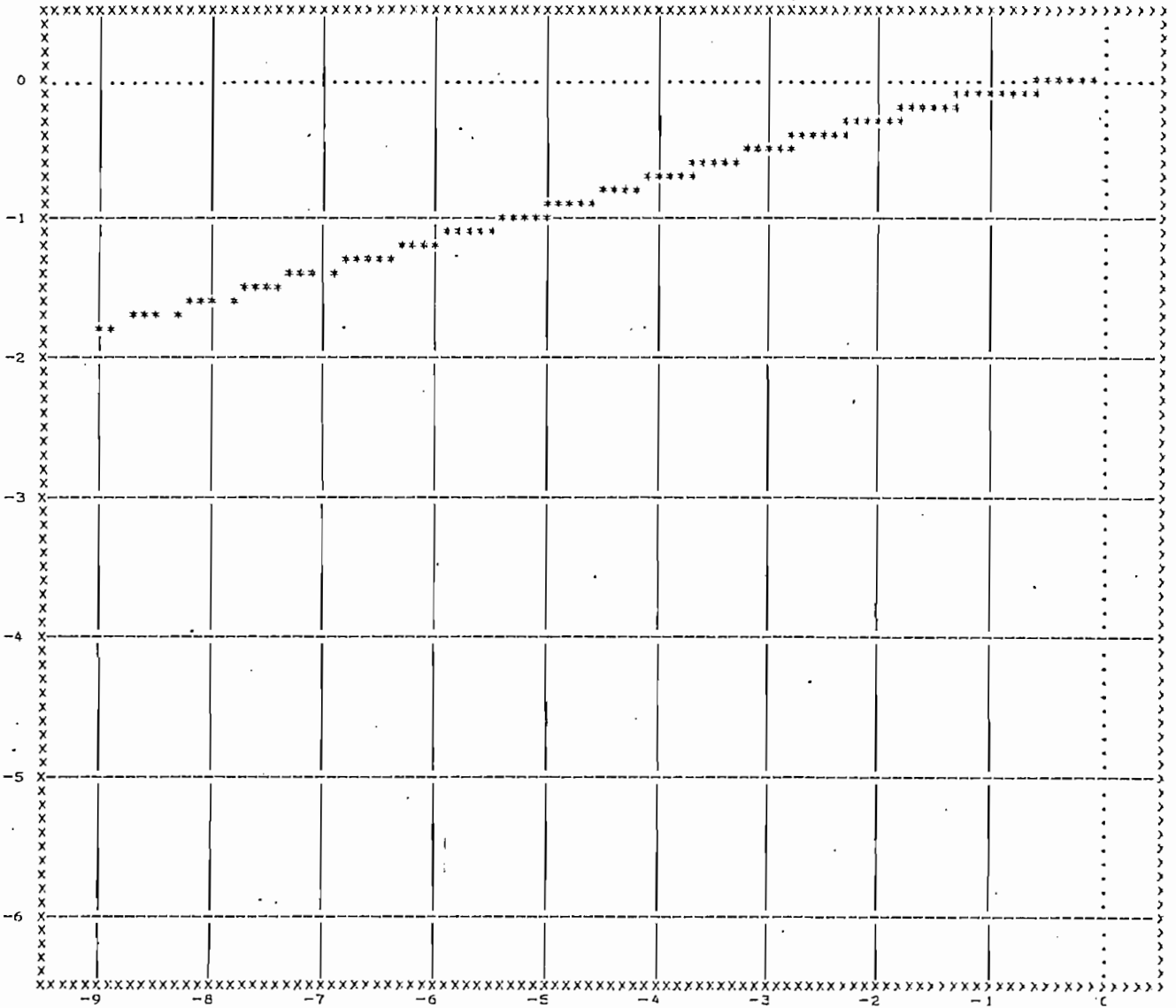
MARGEN DE GANANCIA = INFINITO

MARGEN DE FASE = 8.472166 GRADOS

C-E-3

GRAFICA POLAR DE GH(S) EN EL PLANO COMPLEJO GH(S)=U+JV

ESCALAS = EJE REAL X 0.51469684
EJE INAGINARIO X 0.51469684



GRAFICA 3-3.0

W	MOD (GH)	ANG (GH)	N	MOD (GH)	ANG (GH)	N	MOD (GH)	ANG (GH)						
0.157E	01	0.473E	01	-168.3967	0.156E	01	0.466E	01	-168.3574	C.16CE	01	C.459E	01	-168.355C
0.161F	01	0.452E	01	-168.4013	0.162E	01	0.445E	01	-168.4045	0.164E	01	C.438E	01	-168.403E
0.165F	01	0.431E	01	-168.4132	0.167E	01	0.425E	01	-168.4188	0.166E	01	C.418E	01	-168.412E
0.169E	01	0.412E	01	-168.4325	0.171E	01	0.406E	01	-168.4405	0.172E	01	C.402E	01	-168.440C
0.174E	01	0.394E	01	-168.4590	0.175E	C1	0.388E	01	-168.4694	0.177E	C1	C.382E	C1	-168.448C
0.178F	01	0.376E	01	-168.4926	0.180E	G1	0.370E	01	-168.5054	0.181E	C1	C.366E	C1	-168.515C
0.183E	01	0.359E	01	-168.5333	0.185E	01	0.352E	G1	-168.5484	0.186E	C1	C.350E	C1	-168.543C
0.189E	01	0.343E	01	-168.5810	0.189E	C1	0.333E	01	-168.5984	0.191E	01	C.334E	01	-168.618E
0.193F	01	0.327E	01	-168.6354	0.194E	01	0.322E	01	-168.6551	0.196E	01	C.318E	01	-168.675E
0.198F	01	0.313E	01	-168.6965	0.199E	01	0.309E	01	-168.7183	0.202E	C1	C.302E	C1	-168.743E
0.203E	01	0.298E	01	-168.7641	0.204E	01	0.294E	01	-168.7879	0.204E	C1	C.286E	C1	-168.812E
0.209E	01	0.285E	01	-168.8378	0.210E	01	0.281E	01	-168.8638	0.211E	01	C.270E	01	-168.889E
0.213E	01	0.272E	01	-168.9177	C.215E	C1	C.268E	01	-168.9436	0.217E	01	C.254E	01	-168.977E
0.219E	01	0.260E	01	-169.0033	0.221E	01	0.256E	01	-169.0331	0.223E	C1	C.238E	C1	-169.065E
0.224E	01	0.248E	01	-169.0946	0.226E	01	0.244E	01	-169.1262	0.226E	C1	C.222E	C1	-169.103E
0.230E	01	0.237E	01	-169.1911	0.232E	01	0.232E	01	-169.2245	0.234E	01	C.206E	01	-169.142E
0.236F	01	0.226E	01	-169.2928	0.238E	01	0.222E	01	-169.3278	0.234E	C1	C.190E	C1	-169.181E
0.242E	01	0.216E	01	-169.3963	C.244E	01	0.212E	01	-169.4358	0.246E	01	C.174E	01	-169.220E
0.249E	01	0.206E	01	-169.5103	0.251E	01	0.202E	01	-169.5483	C.253E	01	C.158E	01	-169.259E
0.255E	01	0.196E	01	-169.6256	0.257E	01	0.193E	01	-169.6649	C.259E	C1	C.142E	01	-169.298E
0.262E	01	0.187E	01	-169.7449	0.264E	01	C.184E	01	-169.7885	C.266E	01	C.126E	01	-169.337E
0.268F	01	0.179E	01	-169.8679	0.271E	01	0.176E	01	-169.9097	C.273E	C1	C.110E	01	-169.376E
0.275E	01	0.170E	01	-169.9943	0.278E	01	0.168E	01	-170.0372	C.280E	C1	C.094E	01	-169.415E
0.282E	01	0.163E	01	-170.1239	C.285E	01	0.160E	01	-170.1678	0.287E	01	C.078E	01	-170.211E
0.290E	01	0.155E	01	-170.2563	0.292E	01	0.153E	01	-170.3011	C.294E	01	C.062E	01	-170.259E
0.297E	01	0.148E	01	-170.3914	C.300E	01	0.145E	01	-170.4369	0.302E	01	C.046E	01	-170.307E
0.305E	01	0.141E	01	-170.5287	C.308E	01	C.139E	01	-170.5745	0.310E	C1	C.030E	01	-170.355E
0.313E	01	0.134E	01	-170.6681	0.315E	01	C.132E	01	-170.7150	0.318E	01	C.014E	01	-170.403E
0.321E	01	0.128E	01	-170.8093	0.324E	C1	C.126E	01	-170.8567	0.326E	01	C.000E	01	-170.451E
0.329E	01	0.122E	01	-170.9520	0.332E	01	0.120E	01	-170.9999	0.334E	01	C.000E	01	-170.500E
0.338F	01	0.116E	01	-171.0961	0.341E	01	C.115E	C1	-171.1443	0.344E	01	C.000E	01	-170.549E
0.346E	01	0.111E	01	-171.2411	C.349E	01	0.109E	01	-171.2897	0.352E	01	C.000E	01	-170.598E
0.355E	01	0.106E	01	-171.3870	0.356E	01	0.104E	01	-171.4356	C.359E	C1	C.000E	01	-170.647E
0.355E	01	0.101E	01	-171.5335	0.366E	01	C.095E	00	-171.5825	0.371E	C1	C.000E	01	-170.696E
0.374E	01	0.096E	01	-171.6805	0.377E	01	C.094E	01	-171.7295	C.376E	C1	C.000E	01	-170.745E
0.384E	01	0.091E	01	-171.8275	0.387E	01	C.090E	01	-171.8766	C.382E	C1	C.000E	01	-170.794E
0.394E	01	0.087E	00	-171.9746	C.397E	01	C.085E	01	-172.0236	C.400E	01	C.000E	01	-170.843E
0.404F	01	0.083E	00	-172.1215	C.407E	01	0.081E	01	-172.1704	0.411E	01	C.000E	01	-170.892E
0.414F	01	0.079E	00	-172.2680	0.418E	01	0.078E	01	-172.3167	C.421E	C1	C.000E	01	-170.941E
0.425E	01	0.075E	00	-172.4140	0.429E	C1	0.074E	01	-172.4629	0.431E	01	C.000E	01	-170.990E
0.436E	01	0.071E	00	-172.5594	0.440E	01	0.070E	01	-172.6097	0.446E	01	C.000E	01	-171.039E
0.447E	01	0.068E	00	-172.7039	0.451E	01	0.067E	01	-172.7579	0.459E	01	C.000E	01	-171.088E
0.459E	01	0.065E	00	-172.8474	0.462E	01	0.063E	01	-172.9051	0.467E	01	C.000E	01	-171.137E
0.471E	01	0.061E	00	-172.9899	0.473E	01	0.060E	01	-173.0523	0.475E	01	C.000E	01	-171.186E
0.483E	01	0.058E	00	-173.1312	0.487E	01	0.057E	01	-173.2072	0.485E	01	C.000E	01	-171.235E
0.495E	01	0.056E	01	-173.2712	C.500E	01	0.055E	00	-173.3616	0.491E	01	C.000E	01	-171.284E
0.508E	01	0.053E	00	-173.4099	0.512E	C1	0.052E	00	-173.5166	0.504E	01	C.000E	01	-171.333E
0.521E	01	0.050E	00	-173.5470	0.526E	01	C.050E	00	-173.6717	0.517E	01	C.000E	01	-171.382E
0.535E	01	0.048E	00	-173.6825	0.539E	01	0.047E	01	-173.8273	0.530E	01	C.000E	01	-171.431E
0.549E	01	0.460E	00	-173.8164	0.553E	01	0.045E	01	-173.9836	0.558E	01	C.000E	01	-171.480E
0.563E	01	0.438E	00	-173.9466	0.566E	01	0.043E	01	-174.1407	0.567E	01	C.000E	01	-171.529E
0.577E	01	0.417E	00	-174.0790	0.582E	01	0.041E	00	-174.3011	0.574E	01	C.000E	01	-171.578E
0.592E	01	0.396E	00	-174.2077	0.597E	01	0.039E	01	-174.4594	0.582E	01	C.000E	01	-171.627E
0.608E	01	0.377E	00	-174.3344	C.613E	01	0.037E	00	-174.6218	0.600E	01	C.000E	01	-171.676E
0.623E	01	0.359E	00	-174.4593	0.625E	01	C.035E	00	-174.7850	0.608E	01	C.000E	01	-171.725E
0.639E	01	0.341E	00	-174.5822	0.645E	C1	C.033E	00	-174.9528	0.634E	01	C.000E	01	-171.774E
0.656E	01	0.325E	00	-174.7032	0.661E	01	0.031E	00	-175.1243	0.667E	01	C.000E	01	-171.823E
0.673E	01	0.309E	00	-174.8222	0.679E	01	0.030E	00	-175.2964	0.684E	01	C.000E	01	-171.872E
0.690E	01	0.294E	00	-174.9392	0.696E	01	0.028E	01	-175.4777	C.702E	C1	C.000E	01	-171.921E
0.708E	01	0.279E	00	-175.0541	0.714E	01	0.027E	00	-175.6582	0.720E	01	C.000E	01	-171.970E
0.726E	01	0.266E	00	-175.1671	0.733E	01	0.026E	01	-175.8342	0.735E	01	C.000E	01	-172.019E
0.745E	01	0.253E	00	-175.2779	0.752E	01	C.249E	00	-176.0144	0.758E	01	C.000E	01	-172.068E
0.764E	01	0.240E	00	-175.3868	0.771E	C1	0.236E	00	-176.1928	0.778E	01	C.000E	01	-172.117E
0.784E	01	0.229E	00	-175.4936	0.791E	01	0.225E	00	-176.3726	0.795E	01	C.000E	01	-172.166E
0.805E	01	0.217E	00	-175.5984	C.811E	01	0.214E	00	-176.5539	C.811E	C1	C.000E	01	-172.215E
0.825E	01	0.207E	00	-175.7012	0.832E	01	C.203E	00	-176.7350	C.835E	C1	C.000E	01	-172.264E
0.847E	01	0.197E	00	-175.8019	0.854E	01	0.193E	00	-176.9181	0.861E	C1	C.000E	01	-172.313E
0.869E	01	0.187E	00	-175.9006	0.876E	01	0.184E	00	-177.1031	C.863E	C1	C.000E	01	-172.362E
0.891E	01	0.178E	00	-175.9974	0.899E	01	0.175E	00	-177.2892	0.900E	01	C.000E	01	-172.411E
0.914F	01	0.169E	00	-176.0922	0.922E	01	0.166E	00	-177.4764	0.930E	01	C.000E	01	-172.460E
0.938E	01	0.161E	00	-176.1850	0.946E	01	0.158E	00	-177.6655	0.954E	C1	C.000E	01	-172.509E
0.962E	01	0.153E	00	-176.2759	C.970E	C1	0.150E	00	-177.8567	C.974E	C1	C.000E	01	-172.558E
0.987E	01	0.145E	00	-176.3649	0.995E	01	0.143E	00	-178.0491	0.100E	02	C.000E	02	-172.607E
0.101E	02	0.138E	00	-176.4519	0.102E	02	0.136E	00	-178.2430	0.103E	02	C.000E	02	-172.656E
0.104E	02	0.131E	00	-176.5372	0.105E	02	0.129E	00	-178.4381	0.106E	02	C.000E	02	-172.705E
0.107E	02	0.125E	00	-176.6205	0.107E	02	0.123E	00	-178.6347	0.108E	02	C.000E	02	-172.754E
0.109E	02	0.119E	00	-176.7021	C.110E	02	0.117E	00	-178.8328	C.111E	02	C.000E	02	-172.803E
0.112E	02	0.113E	00	-176.7818	0.113E	02	0.111E	00	-179.0320	0.114E	02	C.000E	02	-172.852E
0.115E	02	0.107E	00	-176.8598	0.116E	02	0.105E	00	-179.2325	0.117E	02	C.000E	02	-172.901E
0.118E	02	0.102E	00	-176.9360	0.119E	02	C.100E	00	-179.4341	0.120E	02	C.000E	02	-172.950E
0.121E	02	0.968F	-01	-177.0105	0.122E	02	C.952E	-01	-177.6350	0.123E	02	C.000E	02	-173.000E
0.124F	02	0.920E	-01	-177.0834	0.125E	02	0.905E	-01	-177.8373	0.126E	02	C		

3.4 EJEMPLO 4-

Para este ejemplo, la forma en que está dada la función de transferencia $GH(s)$ está resumida en el cuadro (C-D-4). Entonces:

$$GH(j\omega) = \frac{28.35672}{(j\omega)(2.835672 + j\omega)}$$

El análisis de la estabilidad está indicado en el cuadro (C-E-4). Se observa como puntos importantes los que a continuación se enumeran:

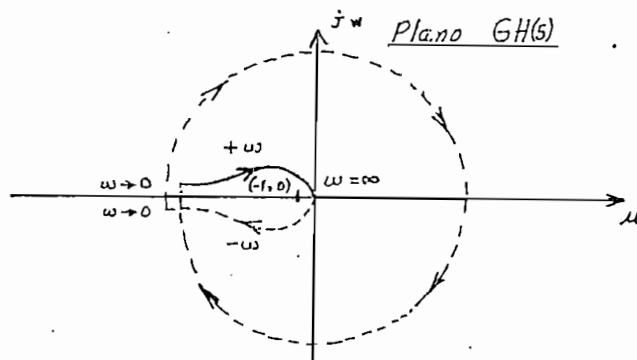
- 1) El número de vueltas del lugar geométrico de $GH(s)$ al rededor del punto $(-1, 0)$ es 2.
- 2) No hay polos de $1 + GH(s)$ con parte real positiva.
- 3) El sistema es inestable, y dos de las tres raíces de $1 + GH(s)$ están en la parte derecha del plano s .
- 4) El margen de ganancia es igual a cero, por cuanto el lugar geométrico de $GH(s)$ corta a la parte negativa del eje real u , en el infinito y el sistema es inestable.

Además el margen de fase es de -43.41338 grados.

En la gráfica 3-4.a está la gráfica parcial de $GH(s)$ y en la 3-4.b, está la gráfica total de $GH(s)$.

La tabla T-4 resume los valores usados para construcción de la gráfica 3-4.a. Cabe anotar que si se analizan detenida-

mente las tablas de w , $GH(s)$, se puede determinar el margen de ganancia y el margen de fase, de acuerdo a las definiciones de éstos.



GRAFICA 3-4.b

GH(JW) PUEDE DARSE DE LAS DOS MANERAS SIGUIENTES:

$$GH(JW) = \frac{K(Z_1+JW)(Z_2+JW)\dots}{(P_1+JW)(P_2+JW)\dots} \quad 0 \quad GH(JW) = \frac{(A_1+Z^{**N}+A_2+Z^{**}(N-1))+\dots+A(N+1))}{(B_1+Z^{**M}+B_2+Z^{**}(M-1))+\dots+E(M+1))}$$

VALORES LEIDOS PARA GH(JW).

EL VALOR DE LA GANANCIA K ES 28.35672

NO HAY CEROS EN EL NUMERADOR.

NUMERO DE POLOS= 3 ESTOS SON:

POLO NUMERO 1	=	0.0	+J(0.0)
POLO NUMERO 2	=	0.0	+J(0.0)
POLO NUMERO 3	=	2.835672	+J(0.0)

C-D-4

ESTUDIO DE ESTABILIDAD

Z=N+P , DONDE:

Z=NUMERO DE RAICES DE F(S)=1+GH(S) CON PARTE REAL POSITIVA.

N=NUMERO DE RODEOS DEL CONTORNO T GH AL PUNTO (-1,0).
SI N>0, LOS RODEOS SON EN LA DIRECCION DEL MOVIMIENTO DE LAS
AGUJAS DEL RELOJ. SI N<0, LOS RODEOS SON EN LA DIRECCION CON-
TRARIA.

P=NUMERO DE RAICES DEL DENOMINADOR DE F(S)=1+GH(S), CON PARTE REAL POSITIVA.

N= 2

P= 0

Z= 2

HAY RAICES EN EL SEMIPLANO DERECHO: SISTEMA INESTABLE

A) RAICES DISTINTAS(DOMINANTES): RESPUESTA EXPONENCIAL CRECIENTE.

B) RAICES REPETIDAS(DOMINANTES): RESPUESTA SINUSOIDAL CRECIENTE.

LAS RAICES DE F(S)=1+GH(S) SON:

RAIZ NUMERO 1 = 0.7525056 +J(2.442644)
RAIZ NUMERO 2 = 0.7525056 +J(-2.442644)
RAIZ NUMERO 3 = -4.340683 +J(0.0)

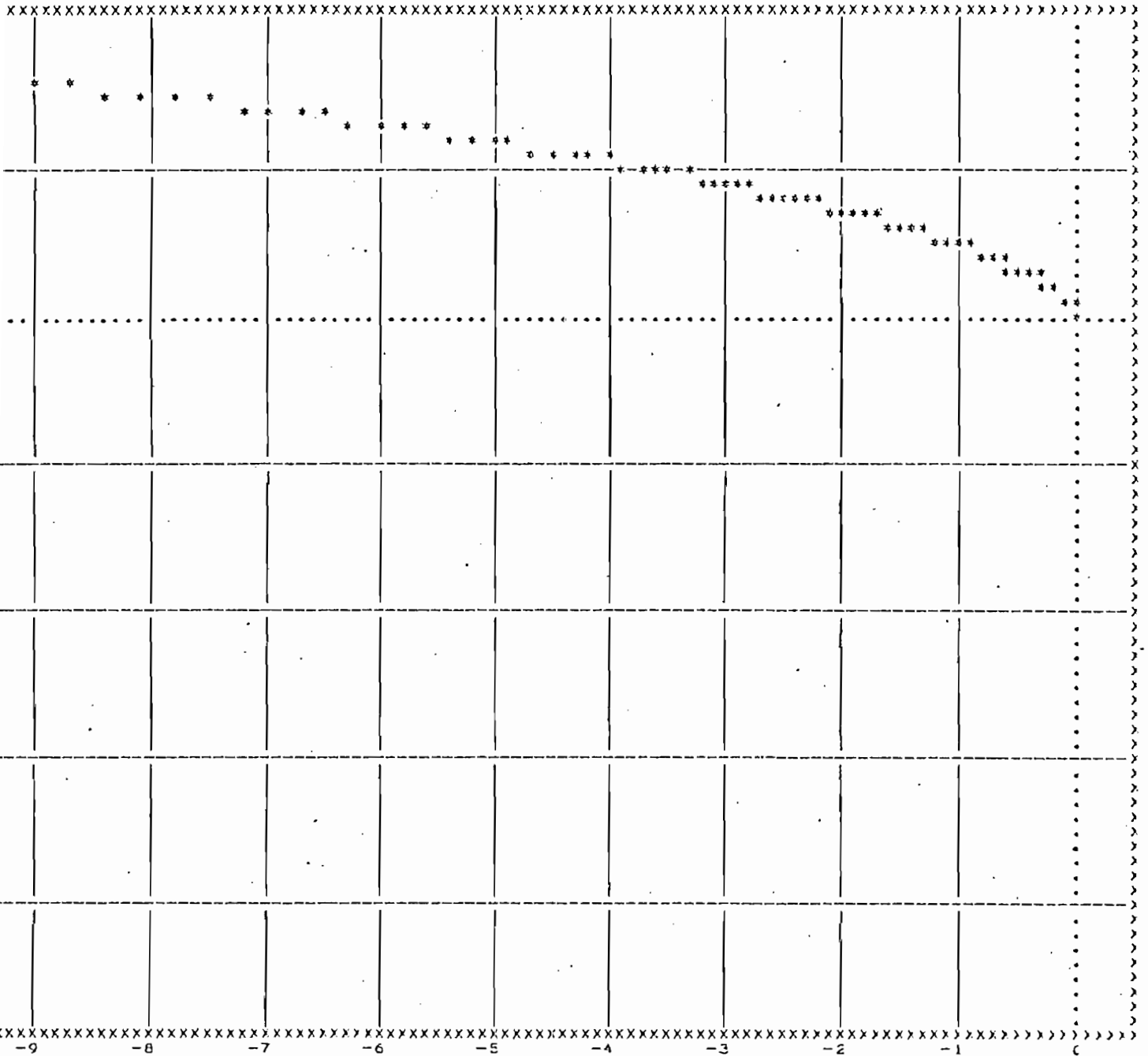
MARGEN DE GANANCIA 1 = 0.0

MARGEN DE FASE = -43.41338 GRADOS

C-E-4

GRAFICA POLAR DE GH(S) EN EL PLANO COMPLEJO GH(S)=U+JV

ESCALAS = EJE REAL X 4.3201628
EJE IMAGINARIO X 4.3201628



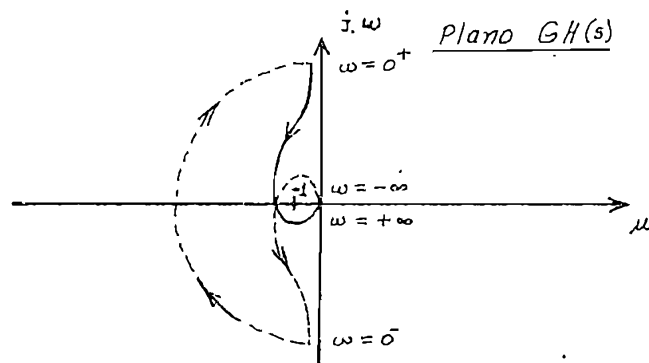
GRAFICA 3-4.a

3.5 EJEMPLO 5

Los datos para este ejemplo están localizados en el cuadro (C-D-5), por lo tanto:

$$GH(j\omega) = \frac{10.000(0.5 + j\omega)}{j\omega (-1.0 + j\omega)}$$

Del cuadro (C-E-5) se puede anotar lo siguiente: el lugar geométrico de $GH(s)$ da un rodeo en la dirección contraria al movimiento de las agujas del reloj ($N = -1$); el sistema es estable y las dos raíces de $1 + GH(s)$ tienen parte real negativa; el margen de ganancia es de 0.1001955, y su margen de fase es igual a 81.33919 grados, en este punto es necesario señalar que si se disminuye lo suficiente la ganancia K , se puede llegar al caso en que el lugar geométrico de $GH(s)$ da un rodeo al punto $(-1, 0)$ en el sentido horario, lo que ocasiona que el sistema se torne inestable, con dos raíces de $1 + GH(s)$ con parte real positiva.



GRAFICA 3-5.6

En la gráfica 3-5.a se presenta la parte del lugar geométrico de $GH(s)$ que se obtiene del programa para $0^+ < w < +\infty$, y en la gráfica 3-5.b está indicado el diagrama de Nyquist total.

Finalmente, la tabla T-5 proporciona una lista de cada w y los valores del módulo de $GH(s)$ y el ángulo de $GH(s)$ usados para hacer la gráfica 3-5.a .

GH(JW) PUEDE CARSE DE LAS OCS MANERAS SIGLIENTES:

$$GH(JW) = \frac{K(Z1+JW)(Z2+JW)\dots}{(P1+JW)(P2+JW)\dots} \quad 0 \quad GH(JW) = \frac{(A1+Z+\dots+N+A2+Z+\dots+(N-1)+\dots+A(N+1))}{(E1+Z+\dots+N+B2+Z+\dots+(N-1)+\dots+E(N+1))}$$

VALORES LEIDOS PARA GH(JW).

EL VALOR DE LA GANANCIA K ES 10.00000

NUMERO DE CEROS= 1 ESTOS SON:

CERO NUMERO 1 = 0.5000000 +J(0.0)

NUMERO DE POLOS= 2 ESTOS SON:

POLO NUMERO 1 = 0.0 +J(0.0)
 POLO NUMERO 2 = -1.0000000 +J(0.0)

C-D-5

=====

ESTUDIO DE ESTABILIDAD

=====

Z=N+P , DONDE:

Z=NUMERO DE RAICES DE $F(S)=1+GH(S)$ CON PARTE REAL POSITIVA.

N=NUMERO DE RODEOS DEL CANTON T GH AL PUNTO (-1,0).
 SI N>0, LOS RODEOS SON EN LA DIRECCION DEL MOVIMIENTO DE LAS
 AGUJAS DEL RELOJ. SI N<0, LOS RODEOS SON EN LA DIRECCION CON-
 TRARIA.

P=NUMERO DE RAICES DEL DENOMINADOR DE $F(S)=1+GH(S)$, CON PARTE REAL POSITIVA.

=====

N=-1

P= 1

Z= 0

HAY RAICES EN EL SEMIPLANO IZQUIERDO: SISTEMA ESTABLE

=====

A) RAICES DISTINTAS(DOMINANTES): RESPUESTA EXPONENCIAL DECRECIENTE.

B) RAICES REPETIDAS(DOMINANTES): RESPUESTA SINUSOIDAL DECRECIENTE.

=====

LAS RAICES DE $F(S)=1+GH(S)$ SON:

RAIZ NUMERO 1 = -0.5948752 +J(0.0)

RAIZ NUMERO 2 = -8.405125 +J(0.0)

=====

MARGEN DE GANANCIA 1 = 0.1001955

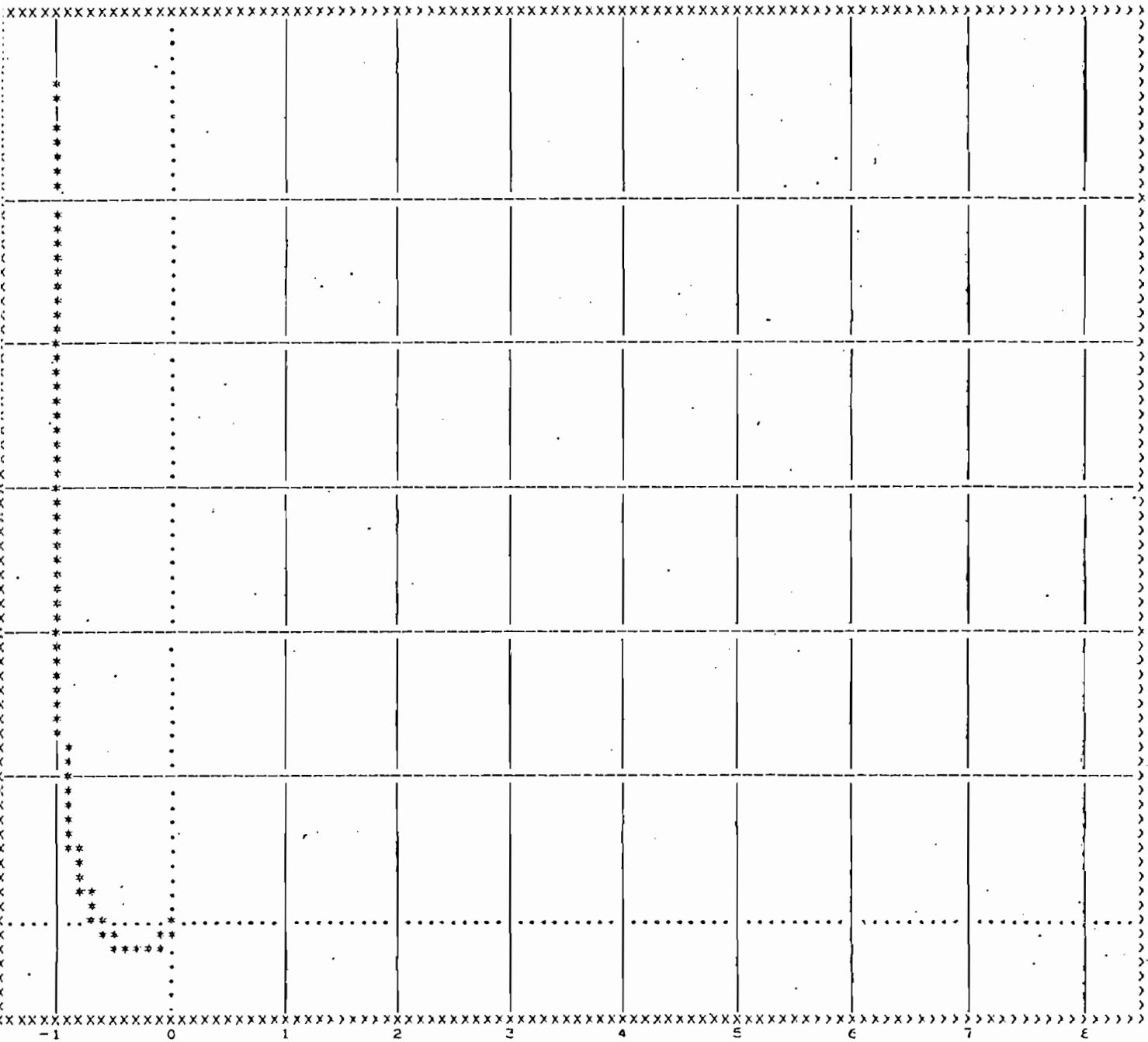
MARGEN DE FASE = 81.33919 GRADOS

=====


C-E-5

GRAFICA POLAR DE GH(S) EN EL PLANO COMPLEJO GH(S)=L+JV

ESCALAS = EJE REAL > 14.981938
EJE INAGINARIO X 14.981938



GRAFICA 3-5.a



CAPITULO CUARTO

CONCLUSIONES Y PROYECCIONES DEL PROGRAMA

CAPITULO CUARTO

CONCLUSIONES Y PROYECCIONES DEL PROGRAMA

Considero que el programa desarrollado en el presente - trabajo realmente constituye una herramienta valiosa para el estudio de la estabilidad de sistemas de control retroalimentados usando el criterio de Nyquist.

Como se puede apreciar en el Capítulo Tres, el programa, permite realizar el estudio de la estabilidad en poco tiempo y - con el mínimo de esfuerzo, lo que permite entonces dedicar más tiempo al estudio del sistema en lugar de detenerse a realizar o peraciones, muchas veces largas, tediosas , que pueden acarrear errores.

Además se debe anotar que en el futuro, el programa po- dría ser ampliado, orientándose el trabajo principalmente hacia los siguientes puntos:

- a) Permitir que el programa pueda procesar funciones de transferencia de lazo abierto ($GH(s)$) de un grado superior a siete
- b) Modificar el programa de manera que se pueda estudiar la esta bilidad de los sistemas de control con atraso de tiempo. El cri- terior de Nyquist es válido para un sistema con un atraso de tiem

po, pues el factor e^{-sT} , ($T =$ tiempo de atraso), no introduce - ningún polo o cero adicional dentro del contorno. El factor agrega un cambio de fase a la respuesta de frecuencia sin alterar la curva de magnitud.

c) Pensar en la posibilidad de hacer los cambios necesarios al - programa para que pueda considerar sistemas con realimentación tanto positiva como negativa.

d) Finalmente permitir que en el programa se varíen también otros parámetros, lo que podría ser de utilidad.

A P E N D I C E S

APENDICE A

FORMA DE USO DEL PROGRAMA

El programa permite procesar a la función de transferencia de lazo abierto ($GH(s)$) de las dos maneras siguientes:

$$a) \quad GH(s) = \frac{K(Z_1 + s)(Z_2 + s) \dots}{(P_1 + s)(P_2 + s) \dots} \quad ; \quad s = j\omega \quad (1)$$

$$b) \quad GH(s) = \frac{A_1 Z^n + A_2 Z^{n-1} + \dots + A_n Z + A_{n+1}}{B_1 Z^m + B_2 Z^{m-1} + \dots + B_m Z + B_{m+1}} \quad ; \quad s = j\omega \quad (2)$$

Donde:

P_i = Polos de $GH(s)$; $i = 1, 2, \dots, 7$

Z_j = Ceros de $GH(s)$; $j = 1, 2, \dots, 7$

Número de $P_i \geq$ Número de Z_j ,

$$1 \leq m \leq 7 \quad \text{y} \quad m > n \\ 0 \leq n < 7$$

El bloque de datos para un problema específico se compone de las siguientes tarjetas:

PRIMERA TARJETA: Se debe perforar en las columnas, (ver fig. 1)

1 ; (IND): El número "00", pero si es el único o último bloque de

datos el número "1", debe perforarse.

2 ; (NCOD): el número "1" si se da $GH(s)$ de la forma de la ecuación (1); el número "2" si se da $GH(s)$ de la forma de la ecuación (2)..

3 ; (NN) : Número que represente: el número de ceros del numerador, o, el grado (n) del polinomio del numerador.

$$0 \leq NN \leq 7$$

4 ; (ND) : Número que representa: el número de polos del denominador o el grado (m) del polinomio del denominador.

$$1 \leq ND \leq 7$$

(5 - 14) ; (GK) : Variable real que representa la ganancia K independiente de la frecuencia. Se debe perforar en las columnas indicadas y de manera que pueda ser leída - conformato F10.0

$$1 \times 10^{-3} \leq GK \leq 1 \times 10^6$$

En el caso de que $GH(s)$ está dada en la forma de la ecuación (2), no se da como dato la ganancia K, (GK), pues ésta es calculada a partir de los coeficientes de los dos polinomios; pero el programa requiere para su funcionamiento que se perfore el número "1.0" en el campo correspondiente a GK.

15 ; (NW) : el número "1" , si se desea dar como dato de entrada el rango de la variable w. Si se desea que el programa seleccione automáticamente este rango se debe perforar un cero o dejar la columna en blanco.

(16 - 25) ; (WI): Variable real que representa el valor inicial del rango de w . Debe perforarse de modo que pueda ser leído con formato F10.0 .

(26 - 35) ; (WF): Variable real que representa el valor final del rango de w . El WF es leído con formato F10.0 .

36 ; (NPCOD) : el número "1" si se desea que el programa reciba como dato de entrada el número de puntos (NP) a calcularse para realizar la gráfica polar $GH(s)$. De otro modo se debe perforar el número cero y NP es asumido por el programa con el valor de 300.

(37 - 39) ; (NP): Variable entera que representa el número de puntos que se calcula para realizar la gráfica polar $GH(s)$. Además representa el número de valores de w , $|GH|$ y $\angle GH$ que se imprimen en la tabla correspondiente.

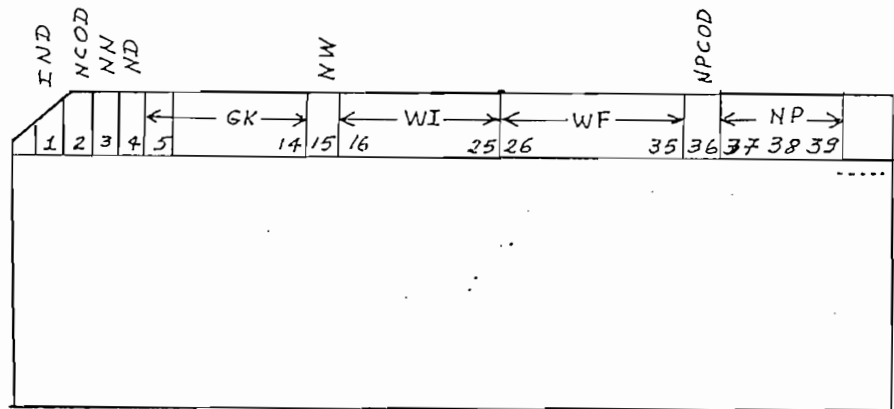


FIG. 1

TARJETAS SIGUIENTES

(Ver Fig. 2)

1) Si $GH(s)$ se da en la forma (1), se debe perforar primero to dos los ceros (si los hay) y luego todos los polos; cada uno de éstos con su parte real y su parte imaginaria, de manera - que puedan ser leídas con formatos. F10.0 . Se emplean el número de tarjetas que se requieran.

Nota: Se debe perforar el valor correspondiente de GK (Ganancia K) en la primera tarjeta.

2) Si $GH(s)$ se da en la forma (2), se debe perforar primero to dos los coeficientes del polinomio del numerador y a continua ción todos los coeficientes del polinomio del denominador, de manera que puedan ser leídos con formato F10.0. Se emplean el número de tarjetas necesarias.

Se debe anotar aquí que, si el grado del polinomio del numerador es cero, se perfora el valor del término independiente

1	10	11	20	21	30	31	40	41	50	51	60	61	70	71	80

FIG. 2

Además si se presenta el caso de una funcióna $GH(s)$ de la siguiente forma:

$$GH(s) = \frac{K(Z_1 + S) \dots}{S (P_1 + S) \dots} \quad \text{entonces } GH(s) \text{ queda como:}$$

$$GH(s) = \frac{K (Z_1 + S) \dots}{\left[\underbrace{(0.0 + j0.0)}_{P_0/0} + S \right] (P_1 + S) \dots}$$

APENDICE B

LISTADOS DEL PROGRAMA

```

0001 C*****PROGRAMA PRINCIPAL. EDGAR TORRES P.
0002 REAL*8 CN(9),CD(5)
0003 COMPLEX Z(8),P(8),GHC,GH,GM
      DIMENSION X(1000),Y(1000),NSIG(1000),WM(1000),GMCD(1000),GARG(1000)
      S)
0004 DATA NAST/'*'/
0005 NPROE=0
0006 81 CALL LEER(IND,NCOD,NN,ND,GK,CN,CC,Z,P,NFRGB,NW,WI,WF,NFCOD,NP,&559
      S)
0007 IF(NCOD.EQ.1)GO TO 80
0008 CALL CEROS(NN,NC,CN,CD,Z,P,&559)
0009 80 CALL DATOS(GK,NN,ND,CN,CC,Z,P,NPFCB,NCOD)
0010 CALL ESTAB(NN,ND,Z,P,GK,NEJE,&999)
      C-----CALCULO DE GH(JW) Y GRAFICA.
0011 IF(NFCOD.EQ.0)NP=300
0012 IF(NW.NE.0)GO TO 3
0013 CALL RANGOW(NN,ND,GK,Z,P,WI,WF,&559)
0014 3 CALL MGWF(NN,ND,GK,Z,P,WI,WF,NEJE,NW)
0015 EXP=1.0/FLOAT(NP-1)
0016 F=(WF/WI)**EXP
0017 W=W/F
0018 DO 30 I=1,NP
0019 W=W*F
0020 WM(I)=W
0021 GHC=GH(NN,NC,W,GK,Z,P)
0022 X(I)=REAL(GHC)
0023 Y(I)=AIMAG(GHC)
0024 NSIG(I)=NAST
0025 30 CONTINUE
0026 CALL GRAFIC(X,Y,NP,NSIG)
0027 WRITE(3,21)
0028 21 FORMAT(1H1,13X,3('W',6X,'MOD (GH)',4X,'ANG (GH)',5X))
0029 WRITE(3,22)
0030 22 FORMAT(//)
0031 DO 31 I=1,NP
0032 IF(X(I).NE.0.0.OR.Y(I).NE.0.0)GO TO 1
0033 GMCD(I)=0.0
0034 GARG(I)=0.0
0035 GO TO 31
0036 1 GM=CPLX(X(I),Y(I))
0037 GMCD(I)=VM(GM)
0038 GARG(I)=57.29577951*ATAN2(Y(I),X(I))
0039 21 CONTINUE
0040 DO 32 I=1,NP,3
0041 IF((NP-I+1).LT.3)GG TO 2
0042 32 WRITE(3,20)(WM(I),GMCD(I),GARG(I)),(WM(I+1),GMCD(I+1),GARG(I+1)),
      S(WM(I+2),GMCD(I+2),GARG(I+2)))
0043 20 FORMAT(10X,3(E9.3,2X,E9.3,2X,F9.4,5X))
0044 2 WRITE(3,20)((WM(J),GMCD(J),GARG(J)),J=I,NP)
0045 999 IF(IND.EQ.0)GO TO 81
0046 WRITE(3,23)
0047 23 FORMAT(//////,10X,'TRABAJO TERMINADO.',10X,'E.F.T.P.')
0048 STOP
0049 END

```

DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8 LEEF DATE 05/07/78 TIME 17.56.45 PAGE 0001

```

0001      SUBROUTINE LEER(IND,NCOD,NN,ND,GK,CN,CD,Z,P,NPRCB,NW,WI,WF,NFCCC,
          SNP,*)
          C*****SUBROUTINA PARA LA LECTURA DE LOS DATOS.
          COMPLEX Z(1),F(1)
          REAL*8 CN(1),CD(1)
          NPRCB=NPRCB+1
          C-----LECTURA Y CONTROL DE LOS VALORES DE LOS PARAMETROS.
          READ(1,10)IND,NCOD,NN,ND,GK,NW,WI,WF,NFCCC,NP
          10 FORMAT(4I1,F10.0,2F10.0,I1,I3)
          IF(IND.EQ.0.OR.IND.EQ.1)GO TO 40
          WRITE(3,20)IND
          20 FORMAT(//////////,10X,'PROBLEMA CON EL INDICADOR IND. IND= ',I3)
          RETURN 1
          40 IF(NCOD.EQ.1.OR.NCOD.EQ.2)GO TO 41
          WRITE(3,21) NCCD
          21 FORMAT(//////////,10X,'PROBLEMA CON EL NUMERO DE CODIGO. NCCD= ',
          SI2)
          RETURN 1
          41 IF(NN.GT.6.OR.ND.GT.8) GO TO 42
          GO TO 43
          42 WRITE(3,22)NN,ND
          22 FORMAT(//////////,10X,'PROBLEMA CON LOS VALORES DE NN O ND. NN= ',
          SI5,5X,'ND= ',I5)
          RETURN 1
          43 IF(NN.LT.0.OR.ND.LT.1)GO TO 42
          IF(GK.LT.1.E-3.CR.GK.GT.1.0E6)GO TO 44
          GO TO 45
          44 WRITE(3,23)GK
          23 FORMAT(//////////,10X,'GK ESTA FUERA DEL RANGO PERMITIDO POR EL PR
          OGRAMA. GK= ',G14.7)
          RETURN 1
          45 IF(NCCD.EQ.1)GO TO 1
          C-----LEER NUMERADOR Y DENOMINADOR EN FORMA DE FOLIOS.
          MN=NN+1
          MD=ND+1
          READ(1,12)(CN(I),I=1,MN),(CD(J),J=1,MD)
          IF(CN(1).EQ.0.OR.CD(1).EQ.0)GO TO 47
          GK=SNGL(CN(1)/CD(1))
          IF(GK.LT.1.E-3.OR.GK.GT.1.0E6)GO TO 44
          RETURN
          47 WRITE(3,24)CN(1),CD(1)
          24 FORMAT(//////////,10X,'PROBLEMA:CN(1) O CD(1) IGUAL A CERO. CN(1)=
          S ',G14.7,' CD(1)= ',G14.7)
          RETURN 1
          C-----LEER NUMERADOR Y DENOMINADOR EN FORMA DE CEROS Y FOLIOS.
          1 IF(NN.NE.0)GO TO 46
          READ(1,12)(F(I),I=1,ND)
          RETURN
          46 READ(1,12)(Z(I),I=1,NN),(F(J),J=1,ND)
          12 FORMAT(8F10.0)
          DO 30 I=1,NN
          ZR=REAL(Z(I))
          IF(ZR.NE.0.0)GO TO 30
          WRITE (3,25)
          25 FORMAT(//////////,10X,'LA PARTE REAL DE ALGUN Z DEL NUMERADOR ES IGUAL
          SGUAL A CERO',/)
          GO TO 48
          30 CONTINUE
          RETURN
          48 RETURN 1
          END

```

DGS FORTRAN IV 360N-FO-475 3-8

CERGS

DATE 05/07/78

TIME

17.57.07

PAGE 0001

```

0001      SUBROUTINE CERGS(NN,ND,CN,CD,Z,P,*)
0002      C**** SUBROUTINA PARA CALCULAR LAS RAICES DE LOS POLINOMIOS LEIDOS.
0003      REAL*8 CN(1),CD(1),ZR(8),ZI(8),PR(8),PI(8)
0004      COMPLEX Z(1),P(1)
0005      MN=NN+1
0006      MD=NC+1
0007      IF(MN.EC.0)GO TO 41
0008      C----- RAICES DEL NUMERADOR.
0009      CALL DPRP01(MN,CN,0.0.000,0.000,ZR,ZI,&S3)
0010      42 DO 30 I=1,NM
0011      . ZRS=-SNGL(ZR(I))
0012      ZIS=-SNGL(ZI(I))
0013      30 Z(I)=CMPLX(ZRS,ZIS)
0014      GO TO 41
0015      92 WRITE(3,21)
0016      21 FORMAT(//////////,1CX,'HAY PROBLEMAS AL CALCULAR LAS RAICES EN LA
0017      SSUBROUTINA DPRFC1.').)
0018      RETURN 1
0019      C----- RAICES DEL DENOMINADOR.
0020      41 CALL DPRP01(MD,CD,0.0.000,0.000,PR,PI,&S3)
0021      DO 32 I=1,ND
0022      PRS=-SNGL(PR(I))
0023      PIS=-SNGL(PI(I))
0024      32 P(I)=CMPLX(PRS,PIS)
0025      RETURN
0026      END

```

DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8 CATOS DATE 05/07/78 TIME 17.57.21 PAGE CCC1

```

0001      SUBROUTINE DATOS(GK,NN,NC,CN,CD,Z,P,NPRCB,NCCD)
C****SUBROUTINA PARA ESCRIBIR LOS VALORES LEIDOS PARA GH(JK).
0002      COMPLEX Z(1),P(1)
0003      REAL*8 CN(1),CD(1)
0004      WRITE(3,20)NPRCB
0005      20 FORMAT(1H1,10X,'EJERCICIO NUMERO ',I4,/,10X,100('-'),/,
S10X,'GH(JK) PUEDE DARSE DE LAS DOS MANERAS SIGUIENTES:',
S/,17X,'K(Z1+JK)(Z2+JK)...',14X,' (A1*Z1+N+2*Z*(N-1)...+A(N+1))
S/,10X,'GH(JK)=' ,18('-'),3X,'Q',3X,'GH(JK)=' ,34('-'),1EX,
S'(P1+JW)(P2+JK)...',15X,'(B1*Z**M+B2*Z*(M-1)+...+B(M+1))',/,
S10X,100('-'),/,10X,'VALORES LEIDOS PARA GH(JK).',/,10X,27('-'),
S/)
0006      WRITE(3,3)GK
0007      3 FORMAT(10X,'EL VALOR DE LA GANANCIA K ES ',G14.7,/)
0008      IF(NCCD.EC.1)GO TO 7
C****SE ESCRIBEN LCS PCLINOMICOS.
0009      WRITE(3,21)NN
0010      21 FORMAT(10X,'GRADO DEL PCLINOMIO DEL NUMERADOR= ',I2,5X,'SUS COEFI
SCIENTES EN ORDEN DECRECIENTE DE POTENCIAS SON:',/)
0011      NN=NN+1
0012      DO 30 I=1,NN
0013      30 WRITE(3,22)I,CN(I)
0014      22 FORMAT(10X,'COEFICIENTE NUMERO ',I2,' = ',G14.7)
0015      WRITE(3,23)ND
0016      23 FORMAT(//////,10X,'GRADO DEL PCLINOMIO DEL DENOMINADOR= ',
S12,5X,'SUS COEFICIENTES EN ORDEN DECRECIENTE DE POTENCIAS SON:',
S/)
0017      ND=ND+1
0018      DO 31 I=1,ND
0019      31 WRITE(3,22)I,CD(I)
0020      WRITE(3,24)
0021      24 FORMAT(//////,10X,100('-'),/,10X,100('-'),/)
0022      WRITE(3,27)
0023      27 FORMAT(10X,'CEROS Y PCLCS CALCULADOS:',/,2(10X,100('-'),/))
C-----SE ESCRIBEN LOS CEROS Y PGLCS.
0024      7 IF(NN.NE.0)GO TO 40
0025      IF(NCCD.EC.2)GC TO 41
0026      WRITE(3,6)
0027      6 FORMAT(10X,'NO HAY CEROS EN EL NUMERADOR.')
```

DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8

ESTAB

DATE 05/07/78

TIME 17.57.40

PAGE CCG1

```

0001      SUBROUTINE ESTAB(NN,ND,Z,P,GK,NEJE,*)
C*****SUBROUTINA PARA ESTUDIAR LA ESTABILIDAD ABSOLUTA.
0002      REAL PNAUX(9),PDAUX(9)
0003      COMPLEX Z(1),F(1),ZT(8),GH
0004      REAL*8 CDT(9),ZTR(8),ZTI(8)
C-----SE ESCRIBEN LOS TITULCS.
0005      WRITE(3,50)
0006      50 FORMAT( 1H1,10X,'ESTUDIO DE ESTABILIDAD',/,10X,22('='),/,10X,
S'Z=N+P , DONDE:',/,10X,'Z=NUMERO DE RAICES DE F(S)=1+GH(S) CON PA
SRTE REAL POSITIVA',/,10X,'N=NUMERO DE RODECS DEL CCATCRAO T G- A
SL PUNTC (-1,0)',/,12X,'SI N>0,LCS RODECS SON EN LA DIRECCION DEL
SMOVIMIENTO DE LAS',/,12X,'AGLJAS DEL RELOJ.SI N<0,LCS RODECS SON E
SN LA DIRECCION CON-',/,12X,'TRARIA',/,10X,'P=NUMERO DE RAICES DE
SL DENOMINADOR DE F(S)=1+GH(S),CON PARTE REAL POSITIVA.',/,10X,
S61('='),/)
      NPD=0
      DO 30 I=1,ND
      X=-REAL(P(I))
      IF(X.LE.0.0)GO TO 30
      NPD=NPD+1
      30 CONTINUE
      MN=MN+1
      MC=MC+1
      CALL COEF(NN,Z,PNAUX,499)
      DO 31 I=1,MN
      31 PNAUX(I)=GK*PNAUX(I)
      CALL COEF(ND,F,PDAUX,499)
      IAUX=ND-MN
      DO 32 I=1,MN
      32 PDAUX(I+IAUX)=PDAUX(I+IAUX)+PNAUX(I)
      DO 33 I=1,MD
      33 CDT(I)=DBLE(PDAUX(I))
      CALL DPRPO1(MC,CDT,0.0,0.000,0.000,ZTR,ZTI,499)
      DO 34 I=1,ND
      34 ZRS=SNGL(ZTR(I))
      ZIS=SNGL(ZTI(I))
      ZT(I)=CMPLX(ZRS,ZIS)
      NZD=0
      NEJE=2
      DO 35 I=1,ND
      X=REAL(ZT(I))
      IF(X) 35,41,40
      41 IF(NEJE.EC.0)GO TO 35
      NEJE=1
      GO TO 35
      40 NEJE=0
      NZD=NZD+1
      35 CONTINUE
      NV=NZD-NPD
      WRITE(3,51)NV,NPD,NZD
      51 FORMAT( 10X,'N=',I2,/,10X,'P=',I2,/,10X,'Z=',I2,/)
      52 IF(NEJE-1)44,42,45
      98 WRITE(3,21)
      21 FORMAT(//,/,10X,'HAY PROBLEMAS AL CALCLLAR LAS RAICES EN LA
SSUBROUTINA DPRPO1.',/)
      RETURN 1
      99 WRITE(3,77)
      77 FORMAT(//,/,10X,'PROBLEMAS EN S/F COEF ',/)
      RETURN 1
      44 WRITE(3,53)
      53 FORMAT( 10X,'HAY RAICES EN EL SEMIPLANO DERECHO:SISTEMA INESTABLE'
S',/,10X,52('='),/,10X,'A) RAICES DISTINTAS(DOMINANTES):RESPUESTA E
SXPONENCIAL CRECIENTE.',/,13X,29('-'),/,10X,'E) RAICES REPETIDAS(D
SOMINANTES):RESPUESTA SINUSOIDAL CRECIENTE.',/,13X,29('-'))
      GO TO 46
      43 WRITE(3,52)
      52 FORMAT( 10X,'HAY RAICES EN EL EJE IMAGINARIO:SISTEMA MARGINALMENTE
S ESTABLE',/,10X,61('='),/,10X,'A) RAICES DISTINTAS(DOMINANTES):',
S',/,13X,29('-'),/,10X,'A ENTRADA PULSO:RESPUESTA CONSTANTE O SINUS
SIDAL CONSTANTE.',/,10X,'A ENTRADA PASC:FUNCIONES DE TIEMPO(CRECI
SENTES)',/,10X,'B) RAICES REPETIDAS(DOMINANTES):',/,13X,29('-'),
S',/,10X,'FUNCIONES DE TIEMPO(CRECIENTES).')
      GO TO 46
      45 WRITE(3,54)
      54 FORMAT( 10X,'HAY RAICES EN EL SEMIPLANO IZQUIERDO:SISTEMA ESTABLE'
S',/,10X,52('='),/,10X,'A) RAICES DISTINTAS(DOMINANTES):RESPUESTA E
SXPONENCIAL DECRECIENTE.',/,13X,29('-'),/,10X,'E) RAICES REPETIDAS
S(DOMINANTES):RESPUESTA SINUSOIDAL DECRECIENTE.',/,13X,29('-'))
      46 WRITE(3,55)
      55 FORMAT(//,10X,61('='),/,10X,'LAS RAICES DE F(S)=1+GH(S) SON:',/)

```

DOS FORTRAN IV 360N-FC-479 3-8

ESTAB

DATE 05/07/78

TIME 17.57.40

PAGE CCG2

```

0060      DO 36 I=1,ND.
0061      36 WRITE(3,56)I,ZT(I)
0062      56 FORMAT( 10X,'RAIZ NUMERO ',I1,' = ',G14.7,' +J( ',G14.7,' )',/)
0063      RETURN
0064      END

```



```

DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8          RANGOM          DATE 05/07/78    TIME 17.58.22    PAGE 0001
0001          SUBROUTINE RANGOM(NN,ND,GK,Z,F,WI,W,F,*)
C*****SUBROUTINA PARA CALCULAR EL RANGO DE VALORES DE LA VARIABLE W.
COMPLEX Z(1),F(1),GH1,GH
0002          W1=1.0E-5
0003          W2=1.0E6
0004          NP=200
0005          G10=0.174532925
0006          G25=0.004363322
0007          EXP=1.0/FLOAT(NP-1)
0008          F=(W2/W1)**EXP
0009          W=W1/F
0010          DO 30 I=1,ND
0011             PR=REAL(P(I))
0012             PI=AIMAG(P(I))
0013             IF(PR.EC.0.0.AND.PI.EC.0.0)GO TO 30
0014             GO TO 41
0015          30 CONTINUE
0016             GO TO 40
0017          41 GH1=GH(NN,ND,W1,GK,Z,F)
0018             X1=REAL(GH1)
0019             Y1=AIMAG(GH1)
0020             IF(ABS(X1).LT.1.0E-20.AND.ABS(Y1).LT.1.0E-20)GO TO 77
0021             TR=ABS(ATAN2(Y1,X1))
0022             DO 31 I=1,NP
0023                 W=W*F
0024             GH1=GH(NN,ND,W,GK,Z,F)
0025             X1=REAL(GH1)
0026             Y1=AIMAG(GH1)
0027             IF(ABS(X1).LT.1.0E-20.AND.ABS(Y1).LT.1.0E-20)GO TO 77
0028             TA=ABS(ATAN2(Y1,X1))
0029             IF(ABS(TR-TA).GE.G10) GO TO 42
0030          31 CONTINUE
0031             GO TO 77
0032          42 WI=W/F
0033             NPMI=NP-I
0034             TA2=TA
0035             DO 32 J=1,NPMI
0036                 W=W*F
0037             GH1=GH(NN,ND,W,GK,Z,P)
0038             X1=REAL(GH1)
0039             Y1=AIMAG(GH1)
0040             IF(ABS(X1).LT.1.0E-20.AND.ABS(Y1).LT.1.0E-20)GO TO 77
0041             TA1=ABS(ATAN2(Y1,X1))
0042             IF(ABS(TA1-TA2).LE.G25)GO TO 43
0043          32 TA2=TA1
0044          77 WRITE(3,50)
0045          50 FORMAT(////////.10X,'HAY PROBLEMAS EN DETERMINAR EL RANGO DE W.',
0046             S////////.10X,'INTRODUCIR W(INICIAL) Y W(FINAL) COMO DATOS.'////////)
0047             RETURN 1
0048          43 W=F
0049             RETURN
0050          40 L=0
0051             DO 33 I=1,NP
0052                 W=W*F
0053             GH1=GH(NN,ND,W,GK,Z,P)
0054             GMOD=VM(GH1)
0055             IF(L.EC.0.AND.GMOD.LE.9.0) GO TO 44
0056             GO TO 45
0057          44 WI=W/F
0058             L=1
0059             GO TO 33
0060          45 IF(GMOD.LE.0.05) GO TO 46
0061          33 CONTINUE
0062             GO TO 77
0063          46 W=F
0064             RETURN
0065             END

```

DOS FORTRAN IV 360N-FG-479 3-8

COEF

DATE 05/07/78

TIME 17.58.05

PAGE CCO1

```

0001      SUBROUTINE COEF(N,ZCP,C,*)
C*****SUBROUTINA PARA FORMAR EL POLINOMIO DADOS SUS FACTORES DE LA FORMA:
C***** $(S+F1)(S+F2)...(S+FN)$ , DONDE  $F1=-RAIZ 1, \dots, FN=-RAIZ N$ .
      COMPLEX A(9),P(9),ZCP(8)
      REAL C(9)
      NIND=5
      IF(N.NE.0)GO TO 43
      C(1)=1.0
      RETURN
      43 M=N+1
      DO 30 I=1,NIND
      C(I)=0.0
      A(I)=(0.0,0.0)
      30 B(I)=(C.C,0.0)
      A(M)=(1.0,0.0)
      DO 31 I=1,N
      DO 32 J=1,N
      32 B(J)=A(J+1)
      E(M)=(0.0,0.0)
      IM1=I+1
      M1=M+1
      DO 31 J1=1,M1
      M1=M1-1
      31 A(M1)=ZCP(I)*A(M1)+E(M1)
      DO 33 I=1,M
      X=REAL(A(I))
      Y=AIMAG(A(I))
      IF(X.EQ.0.0.AND.Y.EQ.0.0)GO TC 33
      IF(ABS(X).LT.1.0E-5) GO TC 40
      IF(ABS(Y).GT.1.0E-3) GO TC 41
      42 Y=0.0
      GO TC 33
      40 IF(ABS(Y).GT.1.0E-3) GO TO 41
      X=0.0
      GO TC 42
      41 RETURN 1
      33 C(I)=X
      RETURN
      END
0002
0003
0004
0005
0006
0007
0008
0009
0010
0011
0012
0013
0014
0015
0016
0017
0018
0019
0020
0021
0022
0023
0024
0025
0026
0027
0028
0029
0030
0031
0032
0033
0034
0035
0036
0037

```

DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-B MGFH DATE 05/07/78 TIME 22.55.25 PAGE 0001

```

0001      SUBROUTINE MGFH(NN,ND,GK,Z,P,WI,WF,NEJE,NN)
C*****SUBROUTINA PARA CALCULAR EL MARGEN DE GANANCIA Y MARGEN DE FASE.
0002      COMPLEX Z(1),P(1),GH1,GH,G
0003      REAL MG(B),MF,MGAUX(E)
0004      NMG=1
0005      NFASE=2
0006      NP=2000
0007      EXP=1.0/FLQAT(NP-1)
0008      F=(WF/WI)**EXP
0009      W=WI/F
0010      DO 30 I=1,NN
0011      ZR=REAL(Z(I))
0012      ZI=AIMAG(Z(I))
0013      IF(ZR.EQ.0.0.AND.ZI.EQ.0.0)GC TO 40
0014      30 CONTINUE
0015      IF(NN.NE.0)GO TO 41
0016      NCP=0
0017      DO 31 I=1,NC
0018      PR=REAL(P(I))
0019      IF(PR.NE.0.0)GO TO 41
0020      31 NCP=NCP+1
0021      IF(NCP.EQ.2.OR.NCP.EQ.6)GO TO 61
0022      GO TO 62
0023      61 MGAUX(1)=0.0
0024      MF=0.0
0025      GO TO 91
0026      62 IF(NCP.EQ.1)GO TO 63
0027      GO TO 64
0028      63 NMG=EO
0029      MF=90.0
0030      GO TO 91
0031      64 IF(NCP.EQ.5)GO TO 65
0032      GO TO 66
0033      65 MGAUX(1)=0.0
0034      MF=90.0
0035      GO TO 91
0036      66 IF(NCP.EQ.3.OR.NCP.EQ.7)GO TO 67
0037      GO TO 68
0038      67 MGAUX(1)=0.0
0039      MF=-90.0
0040      GO TO 91
0041      68 MGAUX(1)=0.0
0042      MF=-180.0
0043      GO TO 91
0044      41 WI=1.0E-5
0045      GS=0.087266462
0046      NFASE=0
0047      INDG=0
0048      PI=3.141592654
0049      PIG=57.25577951
0050      GH1=GH(NN,ND,WI,GK,Z,P)
0051      GH1M=VM(GH1)
0052      IF(GH1M.LT.1.0)NFASE=1
0053      X=REAL(GH1)
0054      Y=AIMAG(GH1)
0055      IF(ABS(X).LT.1.0E-40.AND.ABS(Y).LT.1.0E-40)GO TO 77
0056      GH1A=ATAN2(Y,X)
0057      AUX1=ABS(GH1A)
0058      AUX=ABS(PI-AUX1)
0059      IF(AUX.GT.GS)GO TO 42
0060      IF(GH1M.LE.1.0E-40)GO TO 77
0061      INDG=INDG+1
0062      MG(INDG)=GH1M
0063      NCPX=0
0064      DO 36 I=1,ND
0065      PR=REAL(P(I))
0066      IF(PR.EQ.0.0)NCPX=NCPX+1
0067      36 CONTINUE
0068      IF(NCPX.NE.0)INDG=0
0069      42 GCOMP=GH1A
0070      DO 32 I=1,NC
0071      W=W*F
0072      G=GH(NN,ND,W,GK,Z,P)
0073      GH=VM(G)
0074      X=REAL(G)
0075      Y=AIMAG(G)
0076      IF(ABS(X).LT.1.0E-40.AND.ABS(Y).LT.1.0E-40)GC TO 77
0077      GA=ATAN2(Y,X)
0078      IF((GCOMP*GA).GE.0.0)GC TO 44
0079      INDG=INDG+1

```

DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 2-8 MGMF DATE 05/07/78 TIME 22.55.25 PAGE CCCC

```

0080      IF(INDG.GT.8)GO TO 77
0081      MG(INCG)=GM
0082      44 IF(NFASE.NE.2.AND.ABS(GM-1.0).LE.0.01)GO TO 45
0083      GO TO 46
0084      45 NFASE=2
0085      IF(GA.GE.0.0)MF=-PIG*(FI-GA)
0086      IF(GA.LT.0.0)MF=PIG*(FI+GA)
0087      46 GCOMP=GA
0088      32 CONTINUE
C-----SE ESCOGEN LOS MG.
0089      IF(INDG.NE.0)GO TO 47
0090      INDG=INDG+1
0091      IF(NEJE.EQ.2)NMG=50
0092      IF(NEJE.NE.2)MGAUX(INDG)=0.0
0093      GO TO 51
0094      47 IF(INDG.NE.1)GO TO 101
0095      MGAUX(INDG)=1.0/MG(1)
0096      NMG=1
0097      GO TO 91
0098      101 DD 33 I=1,INDG
0099      IF(MG(I).LE.1.0)GO TO 48
0100      33 CCNTINUE
0101      I=INDG
0102      DO 34 I=1,INDG
0103      MGAUX(I)=1.0/MG(I)
0104      I=I-2
0105      IF(I.GE.1)GO TO 34
0106      NMG=I
0107      GO TO 91
0108      34 CONTINUE
0109      GO TO 77
0110      48 IF(I.NE.1)GO TO 49
0111      J=1
0112      161 MGAUX(I)=1.0/MG(J)
0113      J=J+2
0114      IF(J.LE.INDG)GO TO 60
0115      NMG=I
0116      GO TO 91
0117      60 I=I+1
0118      GO TO 161
0119      49 NCONT=1
0120      MGAUX(NCONT)=1.0/MG(I)
0121      J=I-1
0122      163 NCONT=NCONT+1
0123      MGAUX(NCONT)=1.0/MG(J)
0124      J=J-2
0125      IF(J.LT.1)GO TO 162
0126      GO TO 163
0127      162 J=I+2
0128      102 NCONT=NCONT+1
0129      J=J+2
0130      IF(J.GT.INDG)GO TO 164
0131      MGAUX(NCONT)=1.0/MG(J)
0132      GO TO 102
0133      164 NMG=NCONT-1
C-----SE ESCRIBEN LCS RESULTADOS.
0134      91 WRITE(3,51)
0135      51 FORMAT(//,10X,61('='),//)
0136      IF(NMG.NE.50)GO TO 165
0137      WRITE(3,52)
0138      52 FORMAT(10X,'MARGEN DE GANANCIA = INFINITO',//)
0139      GO TO 52
0140      165 DO 25 L=1,NMG
0141      35 WRITE(3,53)L,MGAUX(L)
0142      53 FORMAT(10X,'MARGEN DE GANANCIA ',I2,' = ',G14.7,/)
0143      92 IF(NFASE.EQ.0)GO TO 166
0144      IF(NFASE.EQ.2)GO TO 167
0145      WRITE(3,54)
0146      54 FORMAT(//,10X,'EL LUGAR GEOMETRICO DE GH NO CORTA EN NINGUN PUNTO
SAL CIRCULO DE RADIO 1.',//,10X,100('='),/)
0147      RETURN
0148      166 WRITE(3,55)
0149      55 FORMAT(//,10X,'HAY PROBLEMAS EN EL CALCULO DEL MARGEN DE FASE.',
S/,10X,'ENCONTRAR M.F. A PARTIR DE LA TABLA DE VALORES DE LA GRAFICA
SA POLAR.',//,10X,100('='),/)
0150      RETURN
0151      167 WRITE(3,56)MF
0152      56 FORMAT(//,10X,'MARGEN DE FASE = ',G14.7,'GRADOS',//,10X,100('='),
S/)
0153      RETURN

```

DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 2-8 MGMF DATE 05/07/78 TIME 22.55.25 PAGE CCCC

```

0154      40 IF(NW.EQ.0)GO TO 168
0155      69 WRITE(3,57)
0156      57 FORMAT(//,10X,100('='),//,10X,'DETERMINAR M.G. Y M.F. A PARTIR D
SE LA TABLA DE VALORES DE LA GRAFICA PCLAR.',//,10X,100('='))
0157      GO TO 777
0158      168 WRITE(3,58)
0159      58 FORMAT(//,10X,100('='),//,10X,'HAY PROBLEMAS EN ENCONTRAR M.G. Y
S M.F. EN LA SUBROUTINA MGMF.',//,10X,'INTRODUCIR W(INICIAL) Y W(FINA
SL) APROPIADOS COMO DATOS Y:')
0160      GO TO 69
0161      77 WRITE(3,59)
0162      59 FORMAT(//,10X,100('='),//,10X,'HAY PROBLEMAS EN DETERMINAR M.G.
SY M.F. EN LA SUBROUTINA MGMF.')
0163      GO TO 69
0164      777 RETURN
0165      END

```

DOO FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8 GRAFIC DATE 05/07/78 TIME 18.01.01 PAGE CCC1

```

0001            SUBROUTINE GRAFIC(X,Y,NF,NVS)
0002            C        SUBROUTINA PARA REALIZAR EL GRAFICO Y PONER TITULOS Y VALORES DE ESCALA.
                 INTEGER GRAFF(72,104) ,DOT,ELANK,N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N0,
0003            SSM,RV ,XA
                 DIMENSION X(NP),Y(NP),NVS(NP),NUM(9)
0004            C        SE DEFINEN LOS ELEMENTOS DE LA GRAFICA.
                 DATA XA,DOT,BLANK,N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N0,SM,FV/'X','.',',',
                 S' ','1','2','3','4','5','6','7','8','9','0','-','/','
0005            C        SE BORRA EL ARREGLO GRAFF PONIENDO ELANCCS=ELANK.
                 DO 31 I=1,72
0006            DO 31 J=1,104
0007            31 GRAFF(I,J)=ELANK
                 SE DETERMINAN LOS VALORES DE VXMAX,VXMIN,VYMAX,VYMIN.
0008            C        VXMIN=X(1)
                 VXMAX=X(1)
0009            DO 32 I=1,NP
0010            IF(X(I).LT.VXMIN)VXMIN=X(I)
0011            IF(X(I).GT.VXMAX)VXMAX=X(I)
0012            32 CONTINUE
                 VYMIN=Y(1)
0013            VYMAX=Y(1)
0014            DO 33 I=1,NP
0015            IF(Y(I).LT.VYMIN)VYMIN=Y(I)
0016            IF(Y(I).GT.VYMAX)VYMAX=Y(I)
0017            33 CONTINUE
0018            C        SE ENCUENTRA VXT Y VYT.
                 IF(VXMAX.GT.0.0.AND.VXMIN.LT.0.0)VXT=VXMAX-VXMIN
0020            IF(VYMAX.GT.0.0.AND.VYMIN.LT.0.0)VYT=VYMAX-VYMIN
0021            IF(VXMAX.LE.0.0)VXT=AES(VXMIN)
0022            IF(VXMIN.GE.0.0)VXT=AES(VXMAX)
0023            IF(VYMAX.LE.0.0)VYT=AES(VYMIN)
0024            IF(VYMIN.GE.0.0)VYT=AES(VYMAX)
0025            C        SE ESCOGE EL VALOR DE LA ESCALA=ESC.
                 VXTC=(VXT*6.C)/9.0
0026            IF(VXTC.GE.VYT)GC TC 60
0027            ESC=VYT/6.0
0028            GO TO 520
0029            60 ESC=VXT/9.0
0030            IF(ESC.NE.0.0)GO TO 61
0031            520 WRITE(3,550)
0032            550 FORMAT(//////,10X,'EL GRAFICO ES UN PUNTO DE COORDENADAS:(VXMAX,VYMAX)
0033            SMAX);ESC=0',//////)
0034            RETURN
                 SE DEFINEN LOS VALORES LIMITES DEL GRAFICO:LD,LI,LS,LINF.
0035            C        61 LI=6
                 LD=99
0036            LS=6
0037            LINF=66
0038            C        SE CALCULA KJ,KJF,KL,KLP,K1,K2,M1,M2.
                 KJ=ABS(VXMIN)/ESC*10.0+C.5
0039            KJP=ABS(VXMAX)/ESC*10.0+0.5
0040            IF(VXMAX.GT.0.0.AND.VXMIN.LT.0.0)GO TC 521
0041            IF(VXMAX.LE.0.0.AND.VXMIN.LT.0.0)GO TC 522
0042            IF(VXMAX.GT.0.0.AND.VXMIN.GE.0.0)GO TC 523
0043            IF(VXMAX.LE.0.0.AND.VXMIN.GE.0.0)GO TC 523
0044            WRITE(3,551)
0045            551 FORMAT(//////,10X,'PROBLEMAS EN LA SUBROUTINA GRAFIC.#1',//////)
0046            RETURN
0047            521 K1=KJ+LI
                 K2=K1+KJP
0048            GO TO 524
0049            522 K1=KJ+LI
                 K2=K1-KJP
0050            GO TC 524
0051            523 K1=LI
                 K2=K1+KJP
0052            524 KL=ABS(VYMAX)/ESC*10.0+C.5
                 KLP=ABS(VYMIN)/ESC*10.0+0.5
0053            IF(VYMAX.GT.0.0.AND.VYMIN.LT.0.0)GO TC 525
0054            IF(VYMAX.GT.0.0.AND.VYMIN.GE.0.0)GO TC 526
0055            IF(VYMAX.LE.0.0.AND.VYMIN.LT.0.0)GO TC 527
0056            WRITE(3,552)
0057            552 FORMAT(//////,10X,'PROBLEMAS EN LA SUBROUTINA GRAFIC.#2',//////)
0058            RETURN
0059            525 M1=KL+LS
                 M2=M1+KLP
0060            GO TO 528
0061            526 M1=KL+LS
                 M2=M1-KLP
0062            GO TO 528
0063            527 M1=LS
0064            GO TO 528
0065            528 M1=LS
0066            GO TO 528
0067            529 M1=LS
0068            GO TO 528
0069            530 M1=LS

```

DOS FORTRAN IV 360N-FD-479 3-B GRAFIC DATE 05/07/78 TIME 18.01.01 PAGE CCC2

```

0070      V2=K1+KLP
          C SE PONEA LOS EJES X E Y EN M1 Y K1 RESPECTIVAMENTE.
0071      528 DD 34 I=5.103
0072      34 GRAFF(M1,1)=DOT
0073      CO 35 I=2.70
0074      35 GRAFF(I,K1)=DOT
          C SE PONEA VALORES A LAS DIVISIONES DEL GRAFICO.
          C PARA EL EJE X.
          C GRAFF(72,K1)=N0
0075      C LLENAMOS EL ARREGLO ALFANUMERICO NUM.
          NUM(1)=N1
0076      NUM(2)=N2
0077      NUM(3)=N3
0078      NUM(4)=N4
0079      NUM(5)=N5
0080      NUM(6)=N6
0081      NUM(7)=N7
0082      NUM(8)=N8
0083      NUM(9)=N9
0084      NCONT=1
0085      NVX=K1
0086      62 NVX=NVX-10
0087      IF(NVX.LT.LI)GO TO 63
0088      GRAFF(72,(NVX-1))=SN
0089      GRAFF(72,NVX)=NUM(NCONT)
0090      DC 131 I=2.70
0091      131 GRAFF(I,NVX)=RV
0092      NCONT=NCONT+1
0093      GO TO 62
0094      63 NCONT=1
0095      NVX=K1
0096      64 NVX=NVX+10
0097      IF(NVX.GT.LD)GO TO 65
0098      GRAFF(72,NVX)=NUM(NCONT)
0099      DC 132 I=2.70
0100      132 GRAFF(I,NVX)=RV
0101      NCONT=NCONT+1
0102      GO TO 64
0103      C PARA EL EJE Y.
0104      65 GRAFF(M1,2)=NC
0105      NCONT=1
0106      NVY=M1
0107      66 NVY=NVY-10
0108      IF(NVY.LT.LS)GO TO 67
0109      GRAFF(NVY,2)=NUM(NCONT)
0110      DC 133 I=5.103
0111      133 GRAFF(NVY,1)=SN
0112      NCONT=NCONT+1
0113      GO TO 66
0114      67 NCONT=1
0115      NVY=M1
0116      68 NVY=NVY+10
0117      IF(NVY.GT.LINF)GO TO 69
0118      GRAFF(NVY,1)=SN
0119      GRAFF(NVY,2)=NUM(NCONT)
0120      DC 134 I=5.103
0121      134 GRAFF(NVY,1)=SN
0122      NCONT=NCONT+1
0123      GO TO 68
          C SE CLOCAN LOS PUNTOS DE LA CURVA DE ACUERDO A X,Y,NP,NVS.
0124      69 DVX=VXMAX-VXMIN
0125      DVY=VYMAX-VYMIN
0126      FJ=FLQAT(K2-L1)
0127      FL=FLQAT(M2-L1)
0128      RLJ=FLQAT(LI-L1)+0.5
0129      RLS=FLQAT(LS-L1)+0.5
0130      DO 36 I=1,NP
0131      IF(VXMAX.NE.VYMIN)GO TO 301
0132      IF(VXMAX.GE.0.0)J=K1+KJ
0133      IF(VXMAX.LT.0.0)J=K1-KJ
0134      GO TO 302
0135      301 J=(X(I)-VXMIN)/DVX+FJ+RLI
0136      302 IF(VYMAX.NE.VYMIN)GO TO 303
0137      IF(VYMAX.GE.0.0)L=M1+KL
0138      IF(VYMAX.LT.0.0)L=M1-KL
0139      GO TO 304
0140      303 L=(VYMAX-Y(I))/DVY+FL+RLS
0141      304 CONTINUE
0142      36 GRAFF(L,J)=NVS(I)
          C SE PONE EL MARGEN DE LA GRAFICA , CCA X.

```

DOS FORTRAN IV 360N-FD-479 3-B GRAFIC DATE 05/07/78 TIME 18.01.01 PAGE CCC2

```

0143      DO 37 I=4.104
0144      GRAFF(I,1)=XA
0145      37 GRAFF(71,1)=XA
0146      CO 38 I=2.70
0147      GRAFF(I,4)=XA
0148      38 GRAFF(I,104)=XA
          C SE ESCRIBEN LOS TITULOS.
0149      WRITE(3,51) ESC,ESC
0150      51 FORMAT(1H,36X,54HGRAFICA POLAR DE GH(S) EN EL PLANO COMPLEJO GH(S)
          S)=U+JV,///,56X,11HEJE REAL X ,GIS.8./,46X,9HESCALAS =,/,56X,
          S17HEJE IMAGINARIO X ,GIS.8.//)
          C SE ESCRIBEN LA MATRIZ GRAFF.
0151      WRITE(3,52)((GRAFF(I,J),J=1,104),I=1,72)
0152      52 FORMAT(1H ,9X,104A1)
0153      RETURN
0154      END

```

IS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8 GH DATE 05/07/78 TIME 18.00.36 PAGE CCC1

```

0001      COMPLEX FUNCTION GH(NN,NC,W,GK,Z,P)
C*****SUB.PROG.DE FUNCION PARA CALCULAR EL VALOR COMPLEJO DE GH(JW).
0002      COMPLEX Z(1),P(1),WP,ZP,PP
0003      WP=CMPLX(C,C,W)
0004      GH=CMPLX(GK,0,C)
0005      IF(NN.EQ.0)GC TC 40
0006      DO 30 I=1,NN
0007      ZP=Z(I)+WP
0008      30 GH=GH*ZP
0009      40 DO 31 I=1,ND
0010      PP=P(I)+WP
0011      31 GH=GH/PP
0012      RETURN
0013      END

```

IS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8 VM DATE 05/07/78 TIME 18.00.10 PAGE CCC1

```

0001      FUNCTION VM(C)
C*****S. DE F. PARA CALCULAR EL MÓDULO DE UN COMPLEJO DE PRECISIÓN SENCILLA.
0002      COMPLEX C
0003      CR=REAL(C)
0004      CI=AIMAG(C)
0005      IF(CR.EQ.0.0.AND.CI.EQ.0.0)VM=0.0
0006      IF(ABS(CR).LT.1.0E-10.AND.ABS(CI).LT.1.0E-10)VM=0.0
0007      IF(ABS(CR).LT.1.0E-10)VM=ABS(CI)
0008      IF(ABS(CI).LT.1.0E-10)VM=ABS(CR)
0009      IF(ABS(CR).GE.1.0E-10.AND.ABS(CI).GE.1.0E-10) VM=SQRT(ABS(CR)**2 +
0010      SABS(CI)**2)
0011      RETURN
0012      END

```

APENDICE C

LA SUBRUTINA RAIZ

En esta sección se presenta la subrutina RAIZ que calcula las raíces de polinomios de grado n , donde $1 \leq n \leq 8$, además los coeficientes de los polinomios deben ser reales.

Esta es la Subrutina con la cual se hizo las pruebas del presente trabajo, pero que luego se la reemplazó por la subrutina DPRPØ1 de que dispone la computadora debido a lo siguiente:

a) Como la subrutina DPRPØ1 está incorporada en la computadora de la Escuela Politécnica Nacional, no requiere de un tiempo de compilación, en tanto que la Subrutina RAIZ requiere un tiempo de compilación de alrededor de 60 segundos. Deste modo usando la S/R DPRPØ1 se ahorra en cada pasada del programa los 60 segundos.

b) El uso de una subrutina incorporada en la computadora permite organizar mejor el programa, pues con una instrucción de llamada se consigue el trabajo requerido.

c) La subrutina DPRPØ1 es un poco más veloz que la subrutina RAIZ en el cálculo propiamente dicho de las raíces de un polinomio, esto es porque la primera usa un algoritmo más veloz que el que usa la segunda.

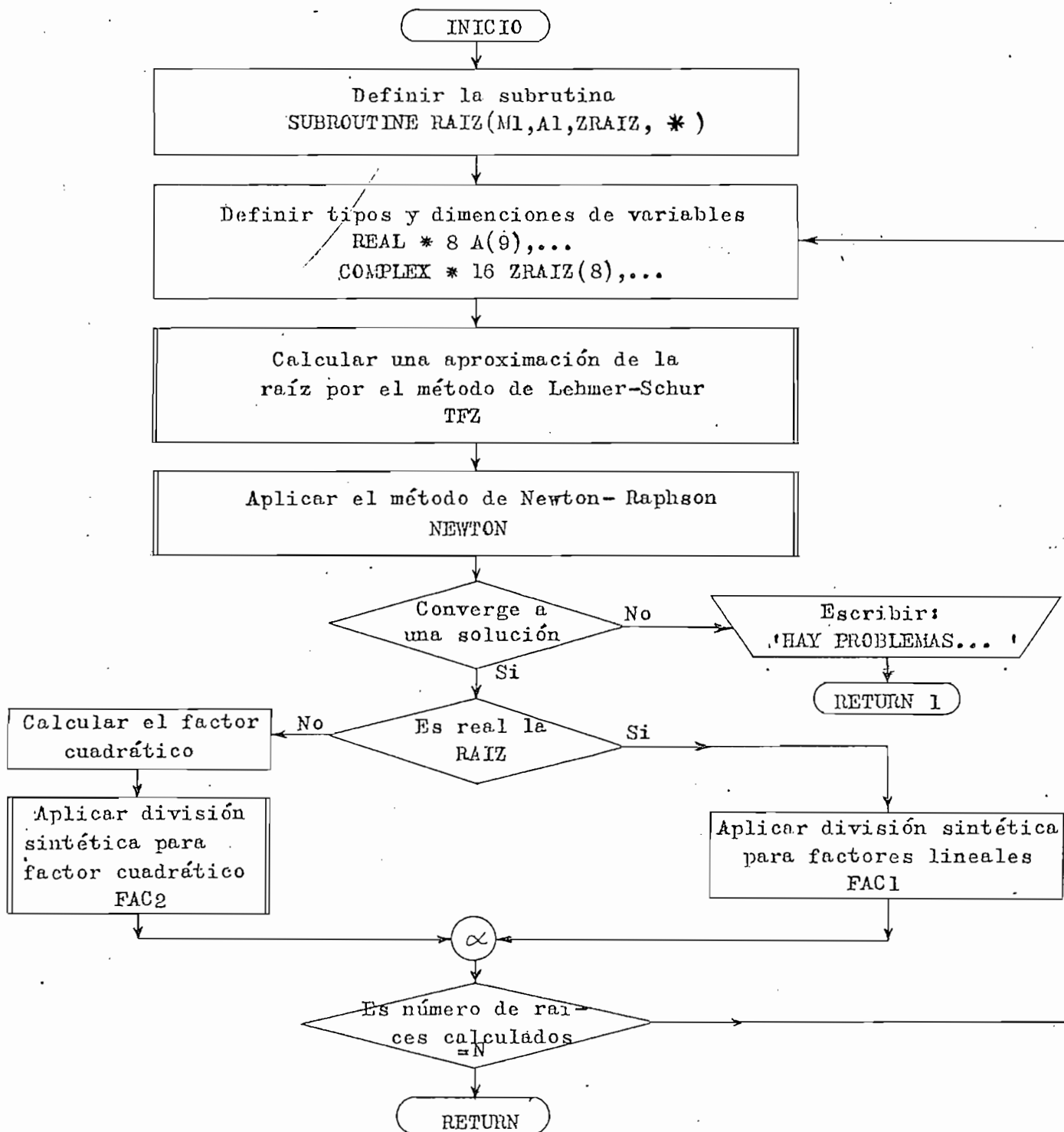


Fig. 1

C****EDGAR TORRES P. DECIMO SEMESTRE DE ING. ELECTRONICA.
 C****PROGRAMA PRINCIPAL PARA USAR LA SUBROUTINA RAIZ.

```

0001     REAL*8 A(9)
0002     COMPLEX*16 ZRAIZ(9)
0003     WRITE(3,50)
0004 50 FORMAT(1H1,////,10X,'ESCUELA POLITECNICA NACIONAL',/,10X,
S'FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA',/,10X,'SUBROUTINA PARA EL CALCULO
SO DE LAS RAICES DE UN POLINOMIO',/,10X,'EDGAR P. TORRES P.',
SSX,'DECIMO SEMESTRE DE INGENIERIA ELECTRONICA',/,10X,100(' '),
S',10X,100(' '),/)
0005     NCONT=0
0006 40 READ(1,10)IND,N
0007     NCONT=NCONT+1
0008 10 FORMAT(2I1)
0009     M=N+1
0010     READ(1,11)(A(I),I=1,M)
0011 11 FORMAT(8F10.0)
0012     CALL RAIZ(M,A,ZRAIZ,890)
0013     WRITE(3,51)NCONT,N
0014 51 FORMAT(/,10X,100(' '),/,10X,'PROBLEMA NUMERO ',I3,/,10X,'DATOS LEI
SDOS:',/,10X,'EL GRADO DEL POLINOMIO ES ',I2,/,10X,
S'SUS COEFICIENTES SON:',/)
0015     DO 30 I=1,M
0016 30 WRITE(3,55)I,A(I)
0017 55 FORMAT(10X,'COEFICIENTE NUMERO ',I2,' = ',G14.7)
0018     IF(N.EQ.0) GO TO 42
0019     WRITE(3,56)
0020 56 FORMAT(/,10X,'LAS RAICES CALCULADAS SON:',/)
0021     DO 31 I=1,N
0022 31 WRITE(3,52)I,ZRAIZ(I)
0023 52 FORMAT(10X,'RAIZ NUMERO ',I2,' = ',G14.7,2X,'+J(',G14.7,')')
0024 41 IF(IND.EQ.0) GO TO 40
0025     WRITE(3,53)
0026 53 FORMAT(/,10X,100(' '),/,10X,'TRABAJO TERMINADO.',5X,
S'E.P.T.P.',/,10X,100(' '),/,10X,100(' '),/)
0027     GO TO 100
0028 90 WRITE(3,54)NCONT
0029 54 FORMAT(/,10X,'HAY PROBLEMAS EN EL CALCULO DE LAS RAICES DEL PO
SLINOMIO NUMERO ',I3,/)
0030     GO TO 41
0031 42 WRITE(3,57)
0032 57 FORMAT(/,10X,'NO HAY RAICES CALCULADAS.',/)
0033     GO TO 41
0034 100 STOP
0035     END

```

```

0001 SUBROUTINE RAIZ(M1,A1,ZRAIZ,*)
0002 COMPLEX*16 ZRAIZ(1),RBK,SUM,ZS,ZS1,ZS2
0003 REAL*8 A(1),A(12),AR(12),PI,CRAD,DELTA,EXP,H,R1,R2,
SRV1,RV,RMODA,RMODB,CRAD1,FUVH1,RB,RBKX,RBKY,FUV,ZSX,ZSY,AP
M=M1
DO 33 I=1,M
A(I)=A1(I)
33 AR(I)=A1(I)
NCONT=0
130 IF(A(M).EQ.0.0D0)GO TO 120
PI=3.141592653589793D0
CRAD=PI/32.0
DELTA=0.1D0
60 AP=A(1)
IF(AP.EQ.0.0D0)GO TO 90
DC 30 I=1,M
30 A(I)=A(I)/AP
EXP=1.0/DFLOAT(M-1)
H=(DABS(A(M)))**EXP
DO 31 K=2,M
31 A(K)=(A(K))/(H**(K-1))
R1=1.0D0
K=0
NCLAVE=0
50 CALL TFZ(M,A,R1,NCLAVE,&90)
IF(NCLAVE.EQ.0)GO TO 51
K=K+1
R1=R1/(2.0**K)
51 R2=2.0*R1
RV1=R1
53 RV=(R2+RV1)/2.0
CALL TFZ(M,A,RV,NCLAVE,&90)
IF(NCLAVE.EQ.1)GO TO 52
RMODA=(R2-RV)/R2
IF(RMODA.LE.DELTA)GO TO 54
RV1=RV
52 RMODB=(RV-RV1)/RV
IF(RMODB.LE.DELTA)GO TO 110
R2=RV
GO TO 53
110 R2=RV
RV=RV1
54 CRAD1=CRAD
FUVH1=1.0D10
K=1
RB=(R2+RV)/2.0
RBKX=DCOS(CRAD1)
RBKY=DSIN(CRAD1)
RBK=DCMPLX(RBKX,RBKY)
SUM=(0.0D0,0.0D0)
DO 32 I=1,M
32 SUM=SUM+A(I)*RBK**(M-I)
FUV=(SUM)+(DCONJG(SUM))
IF(FUV.LT.FUVH1)GO TO 57
58 K=K+1
IF(K.EQ.16)K=17
IF(K.EQ.32)GO TO 56
CRAD1=CRAD*FLCAT(K)
GO TO 55
57 FUVH1=FUV
ZS=REK
GO TO 58
56 CALL NEWTON(M,A,ZS,&90)
ZS=ZS*H
ZSX=0.5*(ZS+DCONJG(ZS))
ZSY=(0.5*(ZS-DCONJG(ZS)))/(0.0D0,1.0D0)
IF(ZSX.EQ.0.0D0)GO TO 62
IF(ZSY.EQ.0.0D0)GO TO 63
IF(DABS(ZSY/ZSX).LT.1.0D-10)GO TO 61
GO TO 64
61 ZSY=0.0D0
GO TO 63
64 IF(DABS(ZSX/ZSY).LT.1.0D-10)GO TO 65
GO TO 62
65 ZSX=0.0D0
62 ZS1=DCMPLX(ZSX,ZSY)
ZS2=DCONJG(ZS1)
NCONT=NCONT+1

```

```

0080 ZRAIZ(NCONT)=ZS1
0081 NCONT=NCONT+1
0082 ZRAIZ(NCONT)=ZS2
0083 IF(M.EQ.3)GO TO 66
0084 CALL FAC2(M,ZSX,ZSY,AR,A)
0085 M=M-2
0086 GO TO 60
0087 63 ZS1=DCMPLX(ZSX,ZSY)
0088 NCONT=NCONT+1
0089 ZRAIZ(NCONT)=ZS1
0090 IF(M.EQ.2)GO TO 66
0091 CALL FAC1(M,ZSX,AR,A)
0092 M=M-1
0093 GO TO 60
0094 120 NCONT=NCONT+1
0095 ZS=(0.0D0,0.0D0)
0096 ZRAIZ(NCONT)=ZS
0097 M=M-1
0098 GO TO 130
0099 90 RETURN
0100 66 RETURN
0101 END

```

DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8

TFZ

DATE 06/07/78

TIME

19.26.54

```

0001      SUBROUTINE TFZ(M,A,P,NCLAVE,*)
0002      REAL*8 A(1),T(12),G(12),R,TP
0003      N=1
0004      M1=M
0005      62 DO 30 I=1,M
0006      30 G(I)=A(I)*R**(M-I)
0007      IF(G(1).EQ.G(M))GO TO 61
0008      60 M1=M1+1
0009      DO 31 K=2,M1
0010      31 T(K-1)=G(M1)*G(K)-G(1)*G(M1-K)
0011      IF(T(M1-1).LT.0.000)GO TO 64
0012      IF(N.EQ.(M-1))GO TO 65
0013      N=N+1
0014      M1=M1-1
0015      IF(T(1).EQ.T(M1))GO TO 63
0016      66 NP=1
0017      TP=T(1)
0018      67 IF(TP.NE.0.000)GO TO 68
0019      TP=T(NP+1)
0020      NP=NP+1
0021      IF(NP.GT.M1)GO TO 90
0022      GO TO 67
0023      68 DO 32 I=1,M1
0024      32 G(I)=T(I)/TP
0025      GO TO 60
0026      61 R=R+0.001*R
0027      GO TO 62
0028      63 R=R+0.001*R
0029      DO 33 I=1,M1
0030      33 G(I)=T(I)*R**(M1-I)
0031      GO TO 66
0032      64 NCLAVE=1
0033      RETURN
0034      65 NCLAVE=0
0035      RETURN
0036      90 WRITE(3,100)NP,TP
0037      100 FORMAT(//,12X,'P. TFZ',I10,011.4,/////)
0038      RETURN 1
0039      END

```

DOS FORTRAN IV J60N-FO-479 J-8

NEWTON

DATE 06/07/78

TIME

19.25.54

```

0001      SUBROUTINE NEWTON(M,A,ZS,*)
0002      REAL*8 DVM
0003      REAL*8 A(1),E,ZSM1,DZSM1,WKR,WKI
0004      COMPLEX*16 ZS,ZSM1,BKM1,CKM1,BK,CK,WK
0005      E=1.0D-12
0006      NCONT=1
0007      NM2=N+1
0008      60 BKM1=DCMPLX(A(1),0.0D0)
0009      CKM1=(0.0D0,0.0D0)
0010      DO 30 K=3,NM2
0011      BK=A(K-1)+ZS*BKM1
0012      CK=BKM1+ZS*CKM1
0013      BKM1=BK
0014      30 CKM1=CK
0015      ZSM1=ZS-BK/CK
0016      ZSM1M=DVM(ZSM1)
0017      WK=ZSM1-ZS
0018      WKR=0.5*(WK+DCONJG(WK))
0019      WKI=(0.5*(WK-DCONJG(WK)))/(0.0D0,1.0D0)
0020      IF(WKR.EQ.0.0D0.AND.WKI.EQ.0.0D0)GO TO 61
0021      DZSM1=DVM(ZSM1-ZS)
0022      IF((DZSM1/ZSM1M).LT.E)GO TO 61
0023      IF(NCONT.GT.50)GO TO 90
0024      NCONT=NCONT+1
0025      ZS=ZSM1
0026      GO TO 60
0027      61 ZS=ZSM1
0028      RETURN
0029      90 WRITE(3,100)DZSM1,ZSM1M
0030      100 FORMAT(//.12X,'P.NEWTON',2D11.4,////)
0031      RETURN 1
0032      END

```

```

DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8          FAC1          DATE 06/07/78      TIME 19.26.17

0001          SUBROUTINE FAC1(M,ZSX,AR,A)
0002          REAL*8 AR(1 ),A(1),ZSX,BKM1
0003          BKM1=0.000
0004          DO 30 K=2,M
0005          A(K-1)=AR(K-1)+ZSX*BKM1
0006          30 BKM1=A(K-1)
0007          MM1=M-1
0008          DO 31 I=1,MM1
0009          31 AR(I)=A(I)
0010          RETURN
0011          END

```

```

DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8          FAC2          DATE 06/07/78      TIME 19.26.35

0001          SUBROUTINE FAC2(M,ZSX,ZSY,AR,A)
0002          REAL*8 AR(1 ),A(1),ZSX,BKM1,BKM2,PS,CS,ZSY
0003          PS=-2.0*ZSX
0004          CS=ZSX**2+ZSY**2
0005          BKM1=0.000
0006          BKM2=0.000
0007          DO 30 K=3,M
0008          A(K-2)=AR(K-2)-PS*BKM1-CS*BKM2
0009          BKM2=BKM1
0010          30 BKM1=A(K-2)
0011          MM2=M-2
0012          DO 31 I=1,MM2
0013          31 AR(I)=A(I)
0014          RETURN
0015          END

```

```

DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8          DVM           DATE 06/07/78      TIME 19.25.36

0001          REAL FUNCTION DVM*8(C)
0002          C*****S.DE F. PARA CALCULAR EL MODULO DE UN COMPLEJO DE COELE PRECISICK.
0003          COMPLEX*16 C
0004          REAL*8 CR,CI
0005          CR=0.5*(C+DCONJG(C))
0006          CI=(0.5*(C-DCONJG(C)))/(0.0,1.0)
0007          IF(CR.EQ.0.000.AND.CI.EQ.0.000)DVM=0.000
0008          IF(DABS(CR).LT.1.0D-20.AND.DABS(CI).LT.1.0D-20)DVM=0.000
0009          IF(DABS(CR).LT.1.0D-20)DVM=DABS(CI)
0010          IF(DABS(CI).LT.1.0D-20)DVM=DABS(CR)
0011          IF(DABS(CR).GE.1.0D-20.AND.DABS(CI).GE.1.0D-20)DVM=DSQRT(DABS(CR)*
0012          S*2+DABS(CI)**2)
0013          RETURN
0014          END

```

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
 SUBROUTINA PARA EL CALCULO DE LAS RAICES DE UN POLINOMIO
 EDGAR P. TORRES P. DECIMO SEMESTRE DE INGENIERIA ELECTRONICA

PROBLEMA NUMERO 1
 DATOS LEIDOS:

EL GRADO DEL POLINOMIO ES 1

SUS COEFICIENTES SON:

COEFICIENTE NUMERO 1 = 3.564250
 COEFICIENTE NUMERO 2 = -45.45280

LAS RAICES CALCULADAS SON:

RAIZ NUMERO 1 = 12.75242 +J(0.0)

PROBLEMA NUMERO 2
 DATOS LEIDOS:

EL GRADO DEL POLINOMIO ES 2

SUS COEFICIENTES SON:

COEFICIENTE NUMERO 1 = 4.452000
 COEFICIENTE NUMERO 2 = 54.45250
 COEFICIENTE NUMERO 3 = 455.6600

LAS RAICES CALCULADAS SON:

RAIZ NUMERO 1 = -6.115510 +J(8.059159)
 RAIZ NUMERO 2 = -6.115510 +J(-8.059159)

PROBLEMA NUMERO 3
 DATOS LEIDOS:

EL GRADO DEL POLINOMIO ES 3

SUS COEFICIENTES SON:

COEFICIENTE NUMERO 1 = 4.000000
 COEFICIENTE NUMERO 2 = -8.000000
 COEFICIENTE NUMERO 3 = -9.000000
 COEFICIENTE NUMERO 4 = 18.00000

LAS RAICES CALCULADAS SON:

RAIZ NUMERO 1 = 1.500000 +J(0.0)
 RAIZ NUMERO 2 = 2.000000 +J(0.0)
 RAIZ NUMERO 3 = -1.500000 +J(0.0)

PROBLEMA NUMERO

PROBLEMA NUMERO 4
DATOS LEIDOS:

EL GRADO DEL POLINOMIO ES 5

SUS COEFICIENTES SON:

COEFICIENTE NUMERO	1	=	45.30000
COEFICIENTE NUMERO	2	=	0.0
COEFICIENTE NUMERO	3	=	0.0
COEFICIENTE NUMERO	4	=	0.0
COEFICIENTE NUMERO	5	=	0.0
COEFICIENTE NUMERO	6	=	5.240000

LAS RAICES CALCULADAS SON:

RAIZ NUMERO	1	=	-0.2007377	+J(0.6178072)
RAIZ NUMERO	2	=	-0.2007377	+J(-0.6178072)
RAIZ NUMERO	3	=	0.5255382	+J(0.3818258)
RAIZ NUMERO	4	=	0.5255382	+J(-0.3818258)
RAIZ NUMERO	5	=	-0.6496009	+J(0.0)

PROBLEMA NUMERO 5
DATOS LEIDOS:

EL GRADO DEL POLINOMIO ES 8


SUS COEFICIENTES SON:

COEFICIENTE NUMERO	1	=	3.452000
COEFICIENTE NUMERO	2	=	-7.654000
COEFICIENTE NUMERO	3	=	-5.560000
COEFICIENTE NUMERO	4	=	0.0
COEFICIENTE NUMERO	5	=	0.0
COEFICIENTE NUMERO	6	=	0.0
COEFICIENTE NUMERO	7	=	0.0
COEFICIENTE NUMERO	8	=	0.0
COEFICIENTE NUMERO	9	=	0.0

LAS RAICES CALCULADAS SON:

RAIZ NUMERO	1	=	0.0	+J(0.0)
RAIZ NUMERO	2	=	0.0	+J(0.0)
RAIZ NUMERO	3	=	0.0	+J(0.0)
RAIZ NUMERO	4	=	0.0	+J(0.0)
RAIZ NUMERO	5	=	0.0	+J(0.0)
RAIZ NUMERO	6	=	0.0	+J(0.0)
RAIZ NUMERO	7	=	0.5765162	+J(0.0)
RAIZ NUMERO	8	=	-2.793782	+J(0.0)

TRABAJO TERMINADO: E.F.T.P.



B I B L I O G R A F I A

1. Eveleigh, Virgil W. : INTRODUCTION TO CONTROL SYSTEMS DESIGN. MCGRAW HILL BOOK COMPANY. 1972
2. Kuo, Benjamín C. : AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS . PRENTICE -HALL ? INC. 1965.
3. Distefano, J.J. ; Stubberud, A.R.; Williams, I.J. : RE - TROALIMENTACION Y SISTEMAS DE CONTROL. MCGRAW HILL, Méxi co, 1972.
4. Dorf, Richard C. : FONDO EDUCATIVO INTERAMERICANO, S.A., 1977 .
5. Shinnars, Stanley M. : CONTROL SYSTEM DESIGN. JOHN WILEY & SONS, INC. , 1964 .
6. McCracken, Daniel D. : PROGRAMACION FORTRAN IV . EDITORIAL LIMUSA, S.A. , 1967