

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TESIS DE GRADO

PROGRAMA DIGITAL PARA EL CALCULO DE ESTABILIDAD TRANSITORIA DE SISTEMAS

ELECTRICOS DE POTENCIA

JULIO 1978

QUITO - ECUADOR

Certifico que el presente trabajo ha
sido realizado en su totalidad por
el Sr. Luis Fernando Gómez Miranda.



ING. ALFREDO MENA

AGRADECIMIENTO

En la realización de cualquier trabajo siempre hay muchas personas que sin interés de ninguna clase, colaboran para sacarlo adelante, a todos ellos mis más sinceros agradecimientos. Deseo sin embargo destacar a las siguientes personas:

ING. ALFREDO MENA, por la dirección de esta tesis

A los personeros de INELIN Cía. Ltda. por la facilidades que me dieron para que pueda realizar este trabajo.

Al ING. JULIO BARRIGA, por su colaboración y apoyo.

A los personeros del Instituto Informática y Computación de la Escuela Politécnica Nacional, por su ayuda en la resolución de los problemas presentados al elaborar el programa.

A la Srta. IVETTE CONTRERAS que realizó el trabajo de mecanografía de esta tesis.

CONTENIDO

El presente trabajo tiene por meta la realización de un programa digital para el estudio de estabilidad transitoria, se halla estructurado de la siguiente forma.

Primero se presentan los modelos matemáticos de los principales componentes de un sistema eléctrico de Potencia esto es: Generadores, Reguladores de voltaje, Líneas de transmisión, Cargas y de varios tipos de disturbios que se presentan en un sistema eléctrico, la modelación está orientada con la idea de implementar en un programa digital, por lo tanto no se incluye el análisis matemático para la obtención de las fórmulas.

En el capítulo siguiente se procura presentar en la forma más clara posible la técnica para la solución del problema de estabilidad, se desarrolla la secuencia de cálculos a efectuar así como se agrupan las ecuaciones obtenidas de la modelación matemática del capítulo II, para representar ahora el funcionamiento dinámico del sistema eléctrico de potencia.

Con lo planteado en los dos capítulos anteriores, se pasa al proceso de elaboración del programa digital, la descripción de su estructura y las funciones que cumplen cada una de las partes del mismo se presentan en el capítulo IV, donde se incluye también el manual de uso del programa con los indicaciones adecuadas para utilizarlo, así como con cuadros y gráficos de los principales parámetros de los generadores y reguladores de voltaje obtenidos de varias referencias.

Por último se presenta un descripción y los resultados del ejemplo, utilizado para comprobar el adecuado funcionamiento de los modelos y de la implementación de estos en el programa digital, este ejemplo consta de dos partes: la primera, se emplea el modelo de generador más simple, básicamente con el afán de comparar con la segunda parte donde los generadores utilizan un modelo un tanto más sofisticado con la inclusión de los reguladores de voltaje, en este capítulo se presenta además un análisis de los resultados obtenidos.

Se anexa dos apéndices, en el uno se presenta la derivación de la fórmula de Runge Kutta, mientras el segundo está conformado por el listado del programa.

I N D I C E

CAPITULO I	Pag.
1.- Introducción	1
1.1 Objetivo	1
1.2 Alcance	2
 CAPITULO II	
2.1 Modelación matemática de los componentes de un SEP	3
2.1.1 Generadores	3
2.1.2 Sistemas de excitación	8
2.1.3 Resumen de las ecuaciones a resolverse variables de estado	14
2.1.4 Modelación de cargas	14
2.1.5 Modelación de líneas de transmisión	15
2.1.6 Simbología empleada en los modelos	18
2.2 Disturbios en sistemas de potencia	19
2.2.1 Fallas trifásicas en barras	19
2.2.2 Fallas en líneas de transmisión	20
2.2.3 Salida de líneas de transmisión	23
2.2.4 Variaciones bruscas de carga	23
2.2.5 Pérdida de unidades de generación	24
2.2.6 Despeje trifásico de fallas	24
2.2.7 Reconexión trifásica de líneas	25
 CAPITULO III	
3.1 Técnica para la solución del problema de estabilidad	27
3.1.1 Introducción	27
3.1.2 Cálculo de las condiciones iniciales	29
3.1.3 Formación de Y barra	30
3.1.4 Proceso Iterativo para el cálculo de voltajes	31
3.1.5 Representación de cargas como Y cte a tierra e inclu sión de barras internas de los generadores	33

	Pag.
3.1.6 Cálculo de valores iniciales	35
3.2 Resolución de las ecuaciones diferenciales	41
3.2.1 Planteamiento de las ecuaciones a resolverse utilizando el método de Runge Kutta de 4to. orden	41
3.2.2 Cálculo de los valores de saturación del sistema de excitación	45

CAPITULO IV

4. Elaboración del programa digital	46
4.1 Descripción del programa principal y las subrutinas empleadas	46
4.1.1 Diagrama de bloques del programa	52
4.2 Manual de Uso del Programa	72
4.2.1 Capacidad e instrucciones para perforar datos	72
4.2.2 Salida entregada por el programa	103

CAPITULO V

5. Ejemplo de aplicación	104
5.1 Preparación de datos	104
5.2 Análisis de resultados	105
5.3 Resultados del computador	110
5.4 Conclusiones y recomendaciones	138

BIBLIOGRAFIA

APENDICE A

Derivación de la fórmula de Runge Kutta con coeficientes Runge

APENDICE B

Listado del programa digital realizado.

1.- INTRODUCCION

La necesidad de dotar al País de la infraestructura básica que posibilite el asentamiento en el mismo de complejos industriales de envergadura constituye un reto para el sector eléctrico en especial, pues los requerimientos de energía van cada vez en aumento, resulta poco novedoso indicar que esta energía debe ser entregada a los usuarios en forma continua y en las mejores condiciones económicas posibles, tanto para estos como para las empresas encargadas de entregar este servicio.

Como consecuencia lógica de esta demanda de energía, comienzan los sistemas eléctricos del País a crecer, es entonces cuando los técnicos encargados de diseñar o planificar estos sistemas deben considerar estudios que anteriormente por el tamaño de los sistemas o la poca presión, al no tener cargas críticas, eran innecesarios entre los estudios que deben considerarse; se puede señalar: estudios de cortocircuitos, coordinación de protecciones, despachos óptimos de carga, estabilidad, etc. este fue el razonamiento para que se intentara profundizar en lo que debe ser un programa digital para la evaluación de la estabilidad transiente de un sistema de potencia.

¿ Qué significa Estabilidad ?

Fundamentalmente, estabilidad es una propiedad de un sistema de potencia que contenga dos o más máquinas sincrónicas. El sistema es estable, bajo un cierto tipo de condiciones, si todas estas máquinas permanecen en sincronismo. Se recalca que dadas ciertas condiciones un sistema puede ser estable para unas e inestable cuando éstas sean diferentes.

En lo que concierne a este trabajo, estabilidad transitoria es la capacidad de un sistema de potencia a mantenerse en servicio, sin pérdidas de sincronismo cuando cambios significativos y bruscos en generación, carga o características del sistema se presentan.

1.1 OBJETIVO

Se aspira con el presente trabajo el desarrollar un programa que incluya un grado de modelación mas sofisticado de máquinas sincrónicas, modelo que tome en cuenta el efecto de la saliencia y las variaciones de densidad de flujo de las máquinas, con esta modelación se tendrá la capacidad de incluir en el estudio la acción de los reguladores de voltaje de los generadores. Adicionalmente se procura implantar la simulación de varios tipos de disturbio o maniobra para poder eventualmente estudiar la estabilidad de un sistema de potencia bajo diversas condiciones.

En cuanto a la realización misma del trabajo se persigue como objetivo importante realizar el programa digital en tal forma que permita futuras modificaciones que lo hagan mas operativo, cambios que pueden ser realizados no sólo por quien lo hizo originalmente, sino por cualquier persona que se lo proponga.

1.2 ALCANCE

Este trabajo comprende la modelación matemática de los componentes del sistema como base para la elaboración del programa digital, se escoge para esto modelos utilizados en otros programas, que se los ha encontrado en artículos o textos que tratan esta materia, luego de presentar la modelación matemática en forma resumida, se pasa a describir el proceso de cálculo de estabilidad con el afán de entenderlo adecuadamente y estar en capacidad de elaborar un programa digital que es el fin perseguido por este trabajo.

2.1 MODELACION MATEMATICA DE LOS COMPONENTES DE UN SEP

Para los estudios de estabilidad transitoria tiene mucha importancia el grado de exactitud con el que se modele lo que en este trabajo se define bajo la denominación de centrales generadoras, y que comprenderá los modelos matemáticos de los generadores y del sistema de excitación.

2.1.1 CENTRALES DE GENERACION

GENERADORES

a) MODELO No. 1

Este modelo es el más simple para representar el funcionamiento en régimen transitorio de un generador, es aplicable para el análisis de estabilidad en períodos de 1 segundo o menores, no es factible en este modelo simular el efecto de los controles de velocidad y voltaje.

Se asume en este modelo "clásico" que, la densidad de flujo es constante para el período de duración del estudio, por lo tanto $E'q = E'$, y que solamente existen pequeños cambios de velocidad, también se desprecia el efecto de los polos salientes; en resumen el modelo queda constituido por lo que se representa en la figura (1), es decir una fuente de voltaje constante detrás de la reactancia transitoria .

En los programas comerciales disponibles para el análisis de estabilidad transitoria y dinámica, el modelo No. 1 es empleado para simular las máquinas que se hallen ubicadas lejos del punto de falla.

b) MODELO No. 2

Del flujo de potencia antes del disturbio nosotros conocemos las condiciones a los terminales del generador V_t (voltaje terminal) e I corriente entregada por el generador al sistema. El voltaje atrás de la reactancia sincrónica en el eje en cuadratura E_q , es obtenido sumando el voltaje a los terminales de la máquina, la caída de voltaje en X_q , es to es:

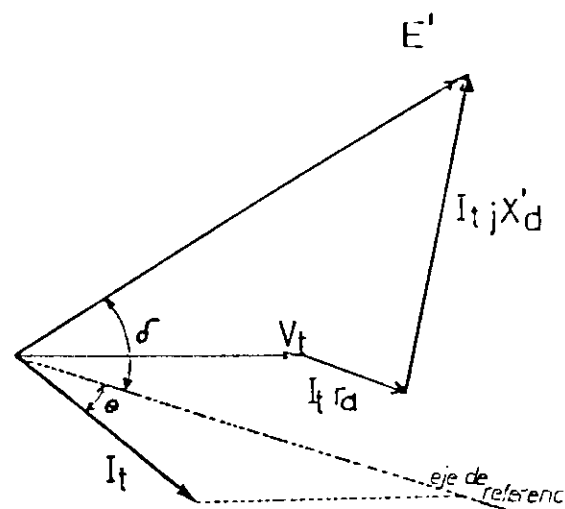
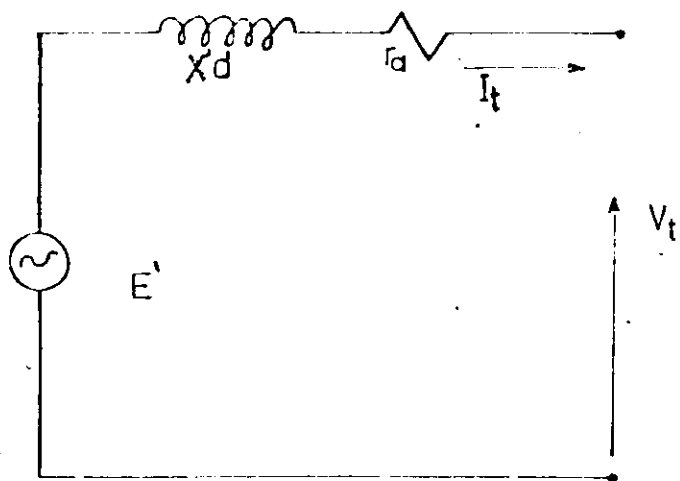


fig (1a)
CIRCUITO EQUIVALENTE

fig (1b)
DIAGRAMA FASORIAL

GENERADORES MODELO I

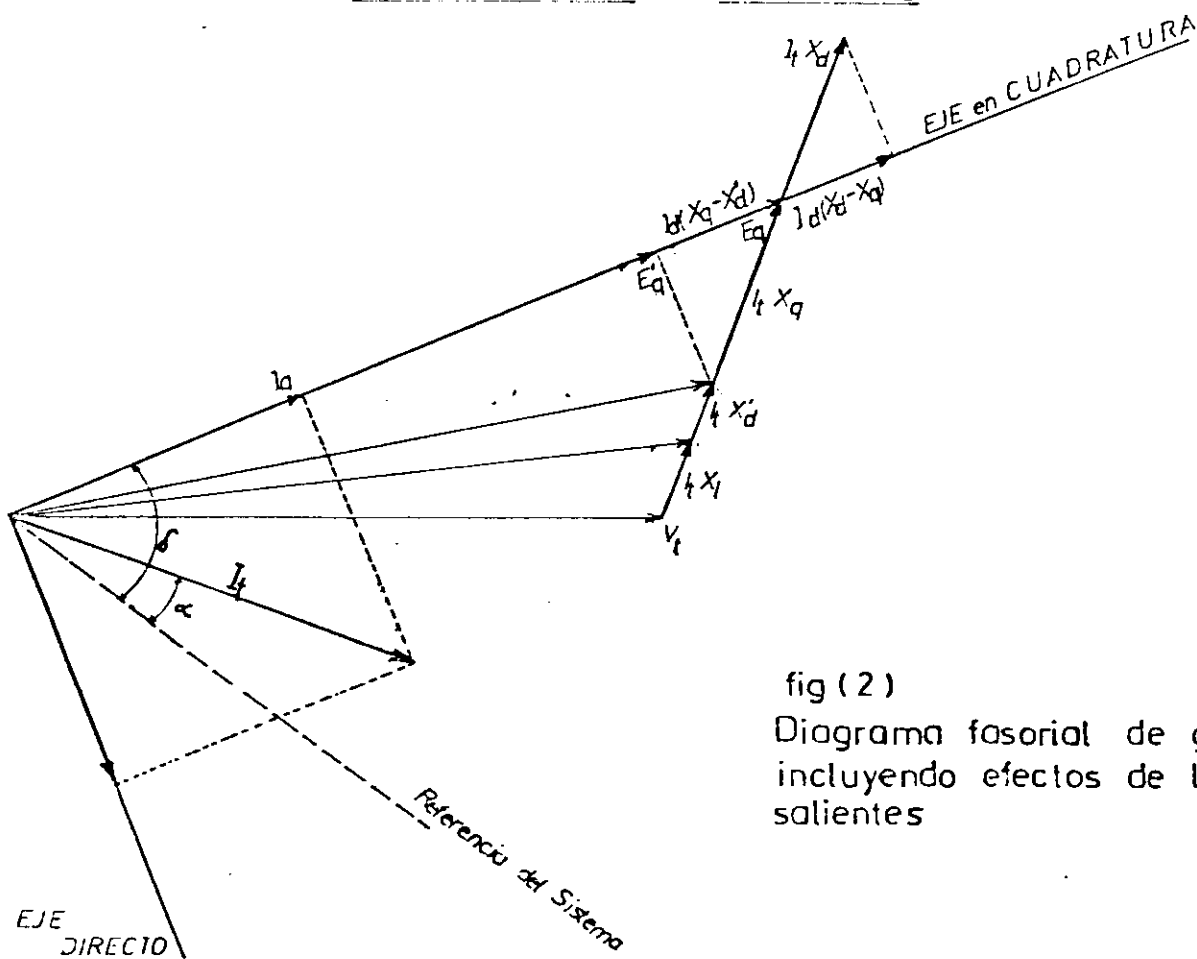


fig (2)
Diagrama fasorial de generador
incluyendo efectos de los polos
salientes

$$E_q = V_t + jX_q I \quad 2.1.1$$

La finalidad de encontrar E_q es determinar el eje en cuadratura del generador que se halla a 90° en adelantado con respecto al eje directo (bobinado de campo). También determinamos el ángulo que está comprendido entre el eje q y el eje de referencia del sistema. El voltaje E' atrás de la reactancia transitoria en el eje directo es obtenido de:

$$E' = V_t + jX'd I \quad 2.1.2$$

La proyección de E' en el eje en cuadratura define $E'q$, voltaje proporcional a los webers vuelta producidos por el bobinado de campo. $E'q$ se asume constante si sólo el efecto de la saliencia es considerado. Durante un disturbio, corrientes son inducidas en los bobinados y corrientes de Eddy son inducidas en el hierro. Estas corrientes se oponen al cambio en las variaciones de flujo magnético. Debido a la resistencia en los caminos donde circulan estas corrientes decaen rápidamente y sólo el voltaje $E'q$ permanece constante, ya que este es mantenido por el bobinado principal de campo. Esta es la asunción principal que se hace al considerar la saliencia.

El efecto de la saliencia es incluido, para permitir la representación de los efectos de la saturación y la respuesta de la máquina a la excitación. Conocido ya el voltaje proporcional a la webers vuelta $E'q$ y el voltaje atrás de la reactancia sincrónica en el eje en cuadratura E_q , es necesario encontrar el voltaje EI , que es el voltaje proporcional a la corriente de campo, en el diagrama fasorial (fig. 2) añadimos el vector IX_d . La proyección del vector $I(X_d - X_q)$ en el eje en cuadratura da $I_d (X_d - X_q)$, siendo I_d la componente en el eje directo de I , obtenemos entonces de este diagrama fasorial (fig 2) las ecuaciones:

$$EI = E_q + I_d (X_d - X_q) j \quad 2.1.3$$

$$E'q = E_q - I_d (X_q - X'd) j \quad 2.1.4$$

La componente en eje directo de la corriente I la obtenemos de la siguiente fórmula derivada del diagrama fasorial de la fig. 2

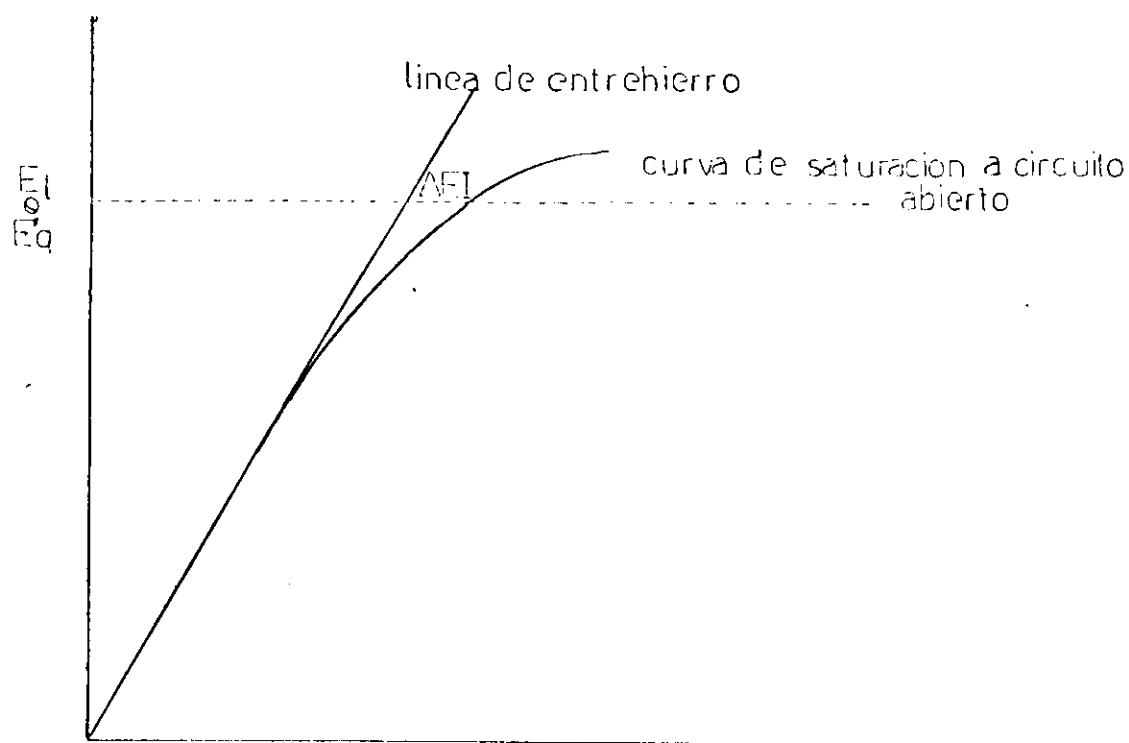
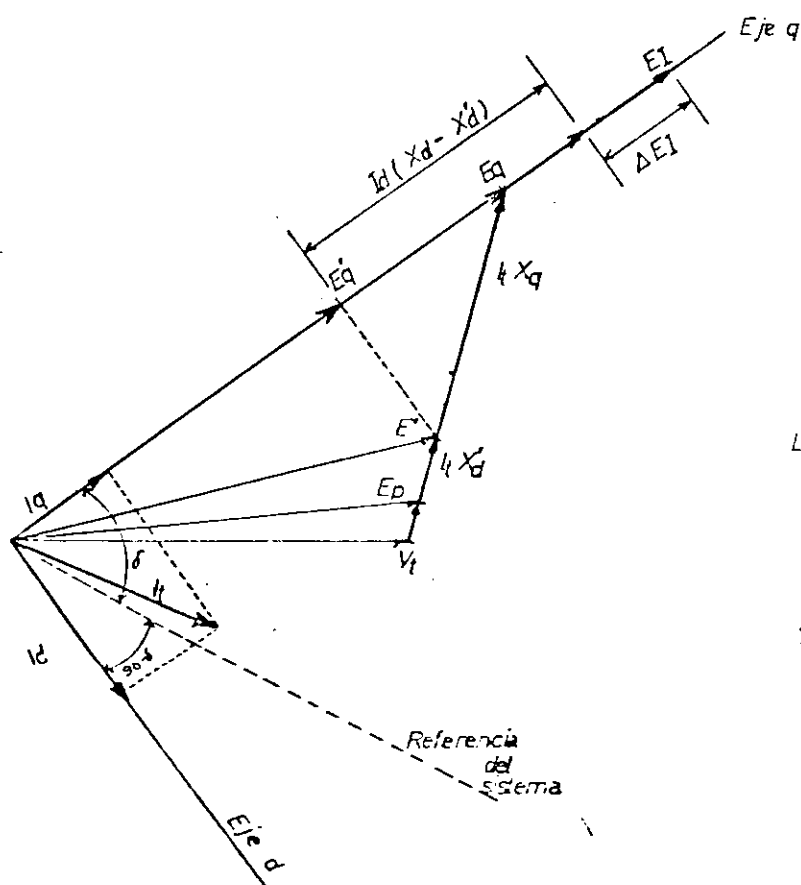


fig (3)

EI (voltaje proporcional a la corriente de campo)

CURVA de SATURACION del GENERADOR

Las Ecuaciones a resolverse son :

$$E_q = V_t + r_a I_a + j X_q I_q$$

$$E'_q = V_t + r_a I_a + j X'_d I_d$$

$$E'_q = E_q - I_d (X_q - X'_d) j$$

$$E_f = E'_q + I_d (X_d - X'_d) j + \Delta E_f$$

Y además la Ecuación Diferencial :

$$\frac{d E'_q}{d t} = \frac{E_f - E_f}{T_{do}}$$

fig(4)

DIAGRAMA FASORIAL del GENERADOR MODELO II

$I_d = I \cos (90 - (\delta - \theta))$ el voltaje de EI podemos poner en función de los voltajes conocidos $E'q$ y E_q eliminado de las ecuaciones 2.1.3 y 2.1.4 que da:

$$EI = \frac{(X_d - X'd)}{(X_q - X'd)} E_q - \frac{(X_d - X_q)}{(X_q - X'd)} E'q \quad 2.1.5$$

Si despreciamos los efectos de la saturación, el valor en P.U. en estado estacionario del voltaje EI es igual a el valor en P.U. de voltaje de campo E_{fd} . Cuando sucede una falla el valor de E_i nuevo se obtiene substituyendo la componente en el eje directo de la corriente entregada por el generador:

$$I_t = \frac{E_q - V_t}{jx_q} \quad 2.1.6$$

En la ecuación 2.1.3

El cambio en el voltaje proporcional a los webers vueltas producidos en el bobinado de campo $E'q$ en un intervalo t se obtiene al resolver la ecuación diferencial.

$$\frac{dE'q}{dt} = \frac{(E_{fd} - EI)}{T'do} \quad 2.1.7$$

donde $T'do$ es la constante de tiempo transitoria a circuito abierto en el eje directo.

E_{fd} voltaje de campo

Para tomar en cuenta la saturación, un índice debe ser introducido generalmente el utilizado se basa en la excitación requerida para producir el voltaje atrás de la reactancia Potier, se encontró en la Ref. (15) que un buen sustituto al voltaje mencionado es $E'q$, por lo tanto en este trabajo se utilizará éste, tomando en cuenta el índice de saturación, el voltaje EI queda:

$$EI = E'q + (X_d - X'd)I_d + \Delta EI \quad 2.1.8$$

Debiendo obtenerse ΔEI , variación de voltaje debido a la excitación extra necesaria para los efectos de saturación, este valor debe ser obtenido de la curva de saturación a circuito abierto indicada en la fig. (3)

A continuación vamos a presentar un resumen del modelo de la máquina sincrónica, (Ecuaciones 2.5) en el que se considera los efectos de los polos salientes, la variación de la densidad de flujo y la saturación del hierro. El diagrama fasorial completo del modelo II se presenta en la figura No. 4.

$$\begin{aligned} E_q &= V_t + r_a I_t + j\lambda_q I_t \\ E' &= V_t + r_a I_t + jX'd I_t \\ E'_q &= E_q - I_d j(\lambda_q - \lambda'd) \\ EI &= E'_q + j(X_d - X'd)I_d + \Delta EI \end{aligned}$$

Y, además la ecuación diferencial

$$\frac{dE'_q}{dt} = \frac{(E_{fd} - EI)}{T'do} \quad 2.1.9$$

2.1.2 REPRESENTACION DEL SISTEMA DE EXCITACION

Para representar los sistemas de excitación existe una normalización presentada por un grupo de trabajo de la IEEE, Ref. (8), por lo tanto utilizaremos uno de los modelos presentados por este grupo; se explicará primero el diagrama de bloques Fig. (5) con las funciones de transferencia, para luego pasar a formular las ecuaciones que se utilizarán en este trabajo.

Del diagrama tenemos:

V_t es el voltaje a los terminales del generador aplicado a la entrada del regulador, la primera función de transferencia es una constante de tiempo T_r , que representa la acción del filtro de entrada al regulador; T_r para la mayoría de sistemas es muy pequeña y puede ser considerada igual a 0.

El primer punto de sumación compara el voltaje de referencia del regulador con la salida del filtro de entrada y determina el error de voltaje que pasará por el amplificador del regulador.

El segundo punto de sumación, compara el error de voltaje con la señal del lazo de realimentación negativa, que tienen un efecto estabi-

lizador en el sistema.

A continuación la señal pasa por la principal función de transferencia del regulador, donde la señal de entrada es amplificada con una ganancia K_a y una constante de tiempo T_a .

La señal obtenida del amplificador es comparada con valores que aseguran no tener voltajes de salida del regulador que sobrepasen los límites prácticos.

El siguiente punto de sumación introduce en el modelo el efecto de la saturación de la excitatriz, un valor $S_E = f(E_{FD})$ se resta de la señal salida del amplificador, y se aplica al último bloque donde se representa la función de transferencia de la excitatriz. Para encontrar el valor de K_E se acostumbra dar un valor igual en magnitud al valor que tendría S_E para un E_{ED} inicial antes del disturbio. A este valor el campo shunt compensa el valor de la saturación de la excitatriz y no hay salida del regulador, obteniéndose el valor de E_{ED} antes del disturbio.

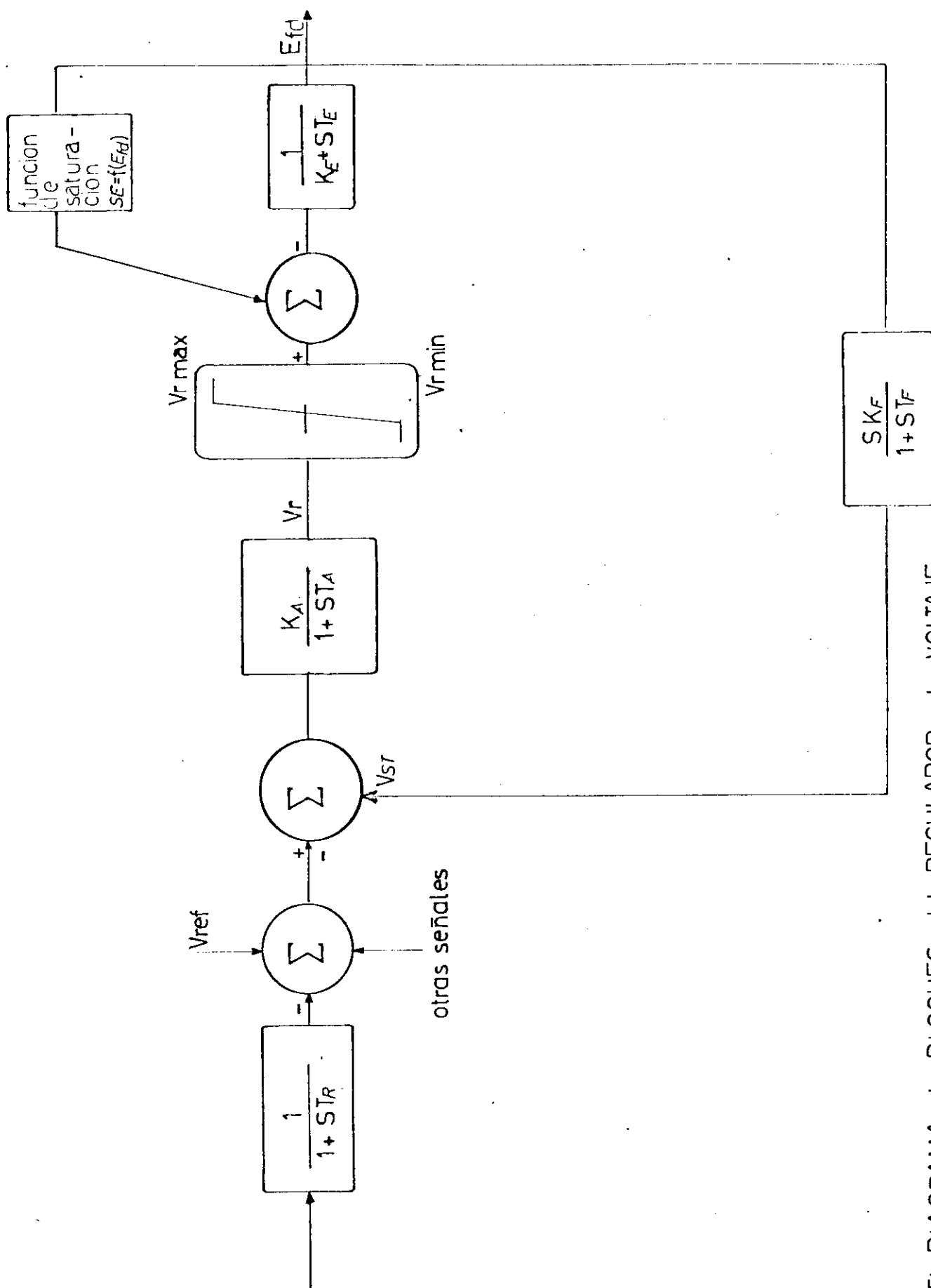
El bloque inferior representa una función de transferencia para la señal de realimentación que se aplica al primer punto de sumación.

Debido a la interrelación que existe entre E_{FDmax} y el voltaje V_{rmax} , y la función de saturación S_E con K_E , debe cumplirse en estado estacionario la relación siguiente:

$$\begin{aligned} V_r - (K_e + S_e) E_{fd} &= 0 \\ E_{fdmin} &\leq E_{fd} \leq E_{fdmax} \\ \text{si: } E_{fd} &= E_{fdmax} \\ V_{rmax} - (K_e + S_{emax}) &= 0 \end{aligned}$$

K_E debe ser siempre especificado como dato o calculado por el programa V_{rmax} , S_{Emax} y E_{FDmax} por el contrario deberán sólo especificarse dos de los tres valores, pues el restante podemos encontrar al satisfacer la condición antes indicada.

FUNCION DE SATURACION.- S_E es definida como el incremento de excitación requerida por la excitatriz debido a los efectos de saturación, para pro-



fig(5) DIAGRAMA de BLOQUES del REGULADOR de VOLTAJE

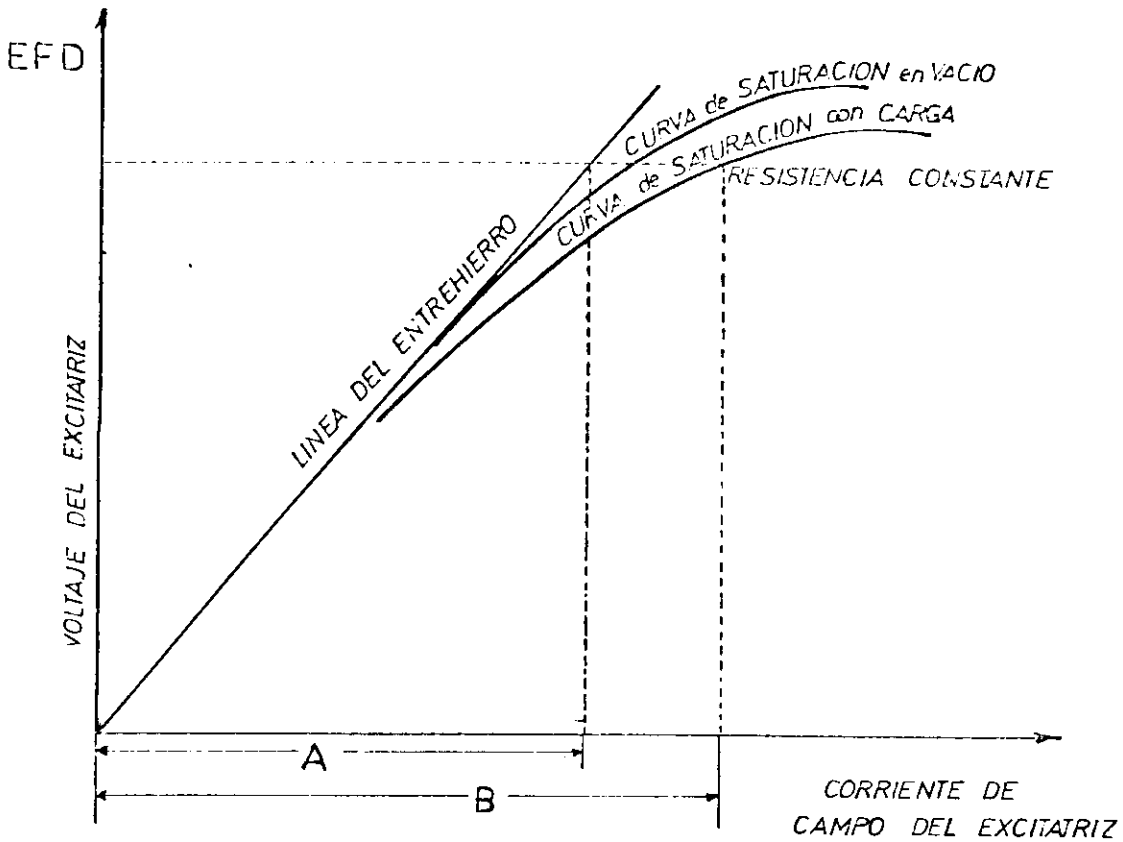


fig (6) -
CURVAS DE SATURACION DEL EXCITATRIZ

$$SE = f(E_{FD}) = \frac{A - B}{B} = \frac{A}{B} - 1$$

VALORES MEDIOS SUGERIDOS EN REF. (8)
PARA LAS CONSTANTES DEL SISTEMA DE
EXCITACION TIPO 1

T_r	0.0 a 0.06
K_a	25 a 50
T_a	0.06 a 0.20
V_{rmax}	1.0
V_{rmin}	-1.0
K_f	0.01 a 0.08
T_f	0.35 a 1.0
K_e	-0.05
T_e	0.5
SE_{max}	0.267
SE_{minmax}	0.074

ducir un valor determinado de E_{FD} a un voltaje dado de salida, las constantes A y B son definidas como la excitación requerida para producir esa salida de voltaje en la curva de saturación a resistencia de carga constante y en la recta correspondiente al entrehierro. Fig. (6)

Como los programas de estabilidad utilizan diferentes y variadas formas para el cálculo del valor de S_E se sugiere en (6) que S_E sea especificada para los siguientes valores:

voltaje		saturación
E_{FDmax}	\longleftrightarrow	SE max
$0,75 E_{FD max}$	\longrightarrow	SE 0,75 max

Con estos datos suministrados el programa calcula las constantes A y B que utilizando alguna relación matemática propia del programa nos dará los valores de S_E

ECUACIONES PARA REPRESENTAR EL SISTEMA DE EXCITACION

De la Fig. (5) tenemos las siguientes ecuaciones en dominio de S.

$$V_r = \left[\left(-V_t \frac{1}{1 + ST_r} \right) + V_{ref} - V_{st} \right] \frac{K_a}{1 + ST_a}$$

$$V_{rmin} \leq V_r \leq V_{rmax}$$

$$E_{fd} = V_r - SE \left(\frac{1}{K_e + ST_e} \right)$$

$$V_{st} = E_{fd} \left(\frac{SK_f}{1 + ST_f} \right) \quad 2.1.10$$

Se indicó ya que $Tr = 0$ con esta consideración

$$V_r = (V_{ref} - V_{st} - V_t) \frac{K_a}{1 + sT_a}$$

$$E_{fd} = V_r - SE \left(\frac{1}{K_e + ST_e} \right)$$

$$V_{st} = E_{fd} \left(\frac{SK_f}{1 + ST_f} \right) \quad 2.1.11$$

Si se reemplaza el operador S por su equivalente $\frac{d}{dt}$ las ecuaciones 2.1.11 quedan:

$$V_r = (v_{ref} - v_{st} - v_t) \frac{K_a}{1 + T_a \frac{d}{dt}}$$

$$E_{fd} = V_r - SE \frac{1}{K_e + T_e \frac{d}{dt}} \quad 2.1.12$$

$$v_{st} = E_{fd} \frac{K_f \frac{d}{dt}}{1 + T_f \frac{d}{dt}}$$

Ordenando e igualando las ecuaciones 2.1.12 con respecto a las variables V_r , E_{fd} y v_{st} tenemos tres ecuaciones diferenciales que son:

$$\frac{d V_r}{dt} = \frac{1}{T_a} \left(K_a (v_{ref} - v_{st} - v_t) - V_r \right)$$

$$\frac{d E_{fd}}{dt} = \frac{1}{T_e} (V_r - SE - K_e E_{fd})$$

$$\frac{d v_{st}}{dt} = \frac{1}{T_f} \left[\frac{K_f}{T_e} (V_r - SE - K_e E_{fd}) - v_{st} \right] \quad 2.1.13$$

y la condición : $V_{rmin} \leq V_r \leq V_{rmax}$

2.1.3 RESUMEN DE LAS ECUACIONES A RESOLVERSE UTILIZANDO VARIABLES DE ESTADO

$$\begin{aligned}\dot{X}_1 &= X_2 \\ \dot{X}_2 &= \frac{\pi f}{H} (P_m - P_e) \\ \dot{X}_6 &= \frac{1}{T_E} (X_7 - SE - KEX_6) \\ \dot{X}_7 &= \frac{1}{T_A} (KA (V_{ref} - E_t - X_8) - X_7) \\ \dot{X}_8 &= \frac{1}{T_F} \left(\frac{F}{T_e} (X_7 - KEX_6) - X_8 \right) \\ \dot{X}_9 &= \frac{1}{T'do} (X_6 - |EI|)\end{aligned}$$

Donde:

$$\begin{aligned}X_1 &= \delta_i \\ X_2 &= \frac{d\delta_i}{dt} = \omega - 2\pi f \\ X_6 &= Efd_i \\ X_7 &= Vri \\ X_8 &= Vsti \\ X_9 &= E'qi\end{aligned}$$

2.1.4 MODELACION DE CARGAS

En muchos programas de estabilidad existen tres modelos importante para las cargas, estos son:

a) IMPEDANCIA CONSTANTE

Es el modelo más simple y que ha sido extensamente utilizado, representa las cargas como de impedancia constante, o su equivalente como una admitancia constante a tierra, el cual se complementa mejor con el sistema de referencia de Y barra escogido para el resto de parámetros del sistema matemáticamente las cargas quedan expresadas como:

$$\begin{aligned}Y_{PO} &= \frac{I_{po}}{E_p} & I_{po} &= \frac{P_{lp} - jQLP}{E_p} & \text{PLP y QLP potencias de carga} \\ & & & & \text{en la barra P} \\ Y_{PO} &= \frac{PLP - jQLP}{|E_p|^2}\end{aligned}$$

o expresado en componentes real o imaginario

$$Y_{po} = G_{po} - jB_{po} = \frac{PLP}{e_p^2 + f_p^2} - j \frac{QLP}{e_p^2 + f_p^2} \quad E_p = e_p + jf_p$$

b) POTENCIA CONSTANTE (MVA cte)

Esta representación es la más severa desde el punto de vista de estabilidad por su efecto de amplificar las oscilaciones de voltaje. Debemos indicar que por el contrario la representación de las cargas como una impedancia constante tiene un efecto de amortiguación en lo que se refiere a las oscilaciones de voltaje. Ref. (9)

$$SLE = PLP + jQLP \quad 2.1.16$$

c) CORRIENTE CONSTANTE

El modelo de corriente constante es hoy poco utilizado pues se ha comprobado que es bastante aproximado el representar una carga, el 50% como impedancia constante, combinado con un 50% como de MVA constante, a representarla como consumiendo corriente constante .

$$I_p = \frac{PLP - jQLP}{E_p} \quad 2.1.17$$

En general cualquier tipo de carga puede ser expresado por una combinación de los tres modelos antes mencionados.

E. W. Kimbark al discutir un artículo de la IEEE (9) presenta una ecuación general para modelar las cargas, y que es factible de representar los tres modelos antes explicados; la ecuación es:

$$\frac{P}{P_n} = \left(\frac{V}{V_n} \right)^k \quad 2.1.18$$

Donde V_n voltaje inicial, P_n es también el valor inicial de la potencia activa o reactiva, k es un exponente que depende del tipo de carga.

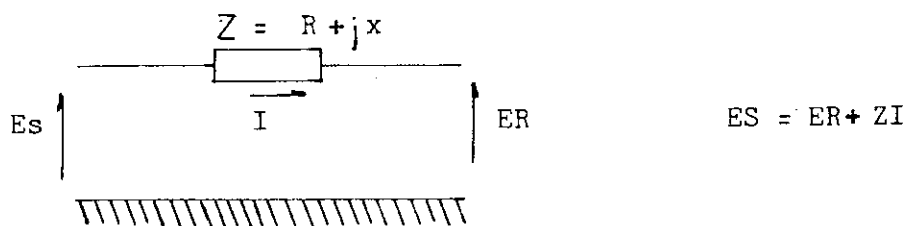
Para potencia constante ($k = 0$), para corriente constante ($k = 1$), para impedancia constante ($k = 2$).

2.1.5 MODELACION DE LINEAS DE TRANSMISION

Se considera que las variaciones de la frecuencia en el sistema

son muy pequeñas, del orden de 1%, por lo tanto es más que aceptable calcular los parámetros eléctricos de los elementos estáticos a frecuencia nominal, en estudios de estabilidad se emplea como modelos de líneas y transformadores, los mismos utilizados en flujos de potencia, primero como una impedancia serie y segundo el conocido como equivalente π .

Impedancia Serie muy utilizada para líneas cortas, su modelo es el siguiente:



Z para líneas de transmisión es igual a:

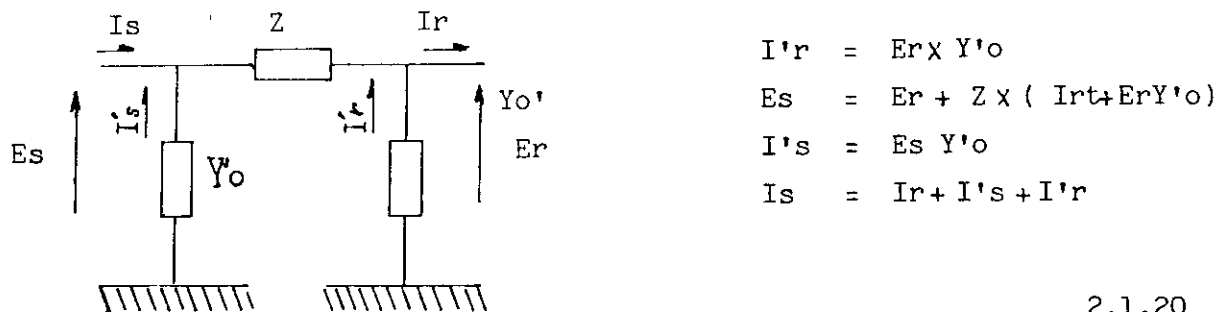
$$Z = z l \quad ; \quad l = \text{longitud de la línea}$$

z encontramos de las tablas de conductores y es igual

$$z = r_a + j(x_a + x_d) \quad 2.1.19$$

z para los transformadores podemos encontrar de los valores de catálogo de los mismos o asumir valores promedios que se dan en las tablas de los manuales.

Equivalente π : Modelo empleado para representar las líneas de transmisión largas. La representación es:



En la práctica se utiliza igualmente los valores disponibles en las tablas de fabricantes de conductores.

z es igual como en el caso anterior a $R_a - j(X_a + X_d)$, el valor de Y_o' es igual a $1/j2(X'a + X'd)$ donde $X_a' = \frac{x'a}{L}$; $X'd = \frac{x'd}{L}$

los valores de $x'a$ y $x'd$ están dados en las tablas en megahomios por kilómetro, en esta representación aproximada se considera un coeficiente 2 por lo cual debemos dividir al inverso de la reactancia capacitiva, para obtener la admitancia shunt de las líneas de transmisión.

No se realiza la deducción exacta del equivalente π de las líneas de transmisión por no tener relevante interés para los fines del presente trabajo.

El programa digital motivo del presente trabajo, utiliza en las ecuaciones que representan el funcionamiento del sistema, el equivalente en las líneas de transmisión, no así en los transformadores; pues no se considera el hecho de tener transformadores con cambiador de taps , o con relación de transformación diferente a la nominal.

2.1.6 SIMBOLOGIA EMPLEADA EN LOS MODELOS

Vt	Voltaje a los terminales del generador
It	Corriente a los terminales del generador
E _l	Voltaje atrás de la reactancia Potier de la máquina
E'	Voltaje atrás de la reactancia transitoria en el eje directo.
E _q '	Voltaje proporcional a los weber-vueltas producidos por el bobinado de campo (concatenaciones de flujo magnético)
E _q	Voltaje atrás de la reactancia sincrónica en el eje en cuadratura .
E _I	Voltaje proporcional a la corriente de campo.
E _I	Voltaje proporcional al efecto de saturación .
E _{fd}	Voltaje de campo
r _a	Resistencia de armadura
X _d	Reactancia sincrónica en el eje directo
X _q	Reactancia sincrónica en el eje en cuadratura
X _l	Reactancia Potier
X' _d	Reactancia transitoria en el eje directo.
I _d	Componente en el eje directo de la corriente terminal
	Angulo entre el eje en cuadratura y referencia
T _{d'o}	Constante de tiempo transitoria de circuito abierto en el eje directo
V _{ref}	Voltaje de referencia
V _{st}	Voltaje correspondiente al efecto de saturación
V _r	Voltaje a la salida del regulador
T _r	Constante de tiempo del filtro de entrada del regulador
K _a	Ganancia del amplificador
T _a	Constante de tiempo del amplificador
K _e	Ganancia de la excitatriz
T _e	Constante de tiempo de la excitatriz
K _f	Ganancia del lazo de realimentación
T _f	Constante de tiempo del lazo de realimentación
Z	Impedancia de línea o transformador
Y _o '	Admitancia shunt de la línea

2.2 DISTURBIOS EN SISTEMAS DE POTENCIA

Los cambios bruscos y de cierta magnitud en las condiciones de operación de un sistema eléctrico de potencia en estado estacionario, pueden conducir a que el sistema no sea capaz de recuperar un nuevo punto de equilibrio, produciendo con ello la pérdida de sincronismo que puede llevar a suspensiones de servicio que siempre son muy costosas. Estos disturbios son: pérdidas de unidades de generación, variaciones bruscas de carga, fallas en líneas de transmisión o en barras de subestaciones, salida de líneas de transmisión. Estas dos últimas pueden ser de diferente gravedad a la vez que de diverso grado de ocurrencia, por ejemplo es por lo general menos grave para el sistema la ocurrencia de una falla fase a tierra que la de un corto circuito trifásico.

Para los fines de este estudio se considerará que los disturbios en el sistema de potencia son todos trifásicos; se ha considerado para analizar los siguientes disturbios:

- a) Corto circuito trifásico en barras de una subestación.
- b) Corto circuito trifásico en líneas de transmisión
- c) Desconexión de líneas de transmisión.
- d) Variaciones bruscas de carga.
- e) Pérdida de unidades de generación.

Por estar concatenado con lo que es un disturbio, en este capítulo se considera además las maniobras más comunes que se realizan con el fin de mejorar la estabilidad del sistema, esto es:

- f) Despeje de fallas por apertura de disyuntores que aislen el tramo fallado.
- g) Reconexión de líneas.

El análisis que se llevará adelante se reduce a la forma en que se simulará en el programa digital los disturbios o maniobras antes mencionados.

2.2.1 FALLAS TRIFASICAS EN BARRRAS

En el programa se puede representar muy fácilmente la ocurrencia de una falla trifásica en las barras de una subestación, pues es suficiente con mantener el voltaje de la barra fallada durante el proceso de cálculo de los voltajes del sistema igual a cero (0.0,0.0), esto se logra mediante la inicialización antes del proceso iterativo de este voltaje en cero, y transfiriendo el control cuando el proceso va a calcular el voltaje en esta barra.

2.2.2. FALLAS EN LINEAS DE TRANSMISION

Las fallas en líneas de transmisión son más frecuentes, cuando sucede una falla muy cerca de una subestación, esta puede ser considerada como ocurrida en las barras de la subestación, para una falla alejada de esta, la consideración anterior ya no es una buena aproximación y por lo tanto será modelada en forma diferente.

Para simular una falla en una línea de transmisión, vamos a considerar los dos casos más comunes, esto es: que la línea sea de simple circuito o de doble terna en los mismos apoyos.

LINEAS DE TRANSMISION DE SIMPLE CIRCUITO.- En términos generales se empleará como modelo la adición de una barra en el punto fallado con un voltaje constante igual a cero, el tratamiento que se le dará en el programa es en todo similar a una falla en barras, pero además debe incluirse el efecto que esta falla y la nueva barra tienen en los parámetros de la red. Especialmente Y barra se modifica, por cuanto al considerar a una línea de transmisión como de parámetros, uniformemente distribuidos, la impedancia que se mira desde la barra (Impedancia de punto motriz) varía cuando por efecto de la falla cambia el valor de la impedancia de transferencia entre los nodos i y j unidos por la línea involucrada en el disturbio. Lo anterior se expresa en forma matemática en el siguiente desarrollo.

La impedancia antes de la ocurrencia de la falla de la línea que une los nodos i y j del sistema será: $Z_{ij} = (r + jx) d$

Donde:

- r = Resistencia en Ω /kilómetro
 x = Reactancia en Ω /kilómetro
 d = Distancia de la línea en kilómetros

La ocurrencia de una falla en la línea de transmisión a una distancia d_1 desde el nodo i , creará una nueva barra p con un voltaje $E_p = 0$ y con unas impedancias de transferencia entre la barra p y los nodos j e i , igual a:

$$Z_{ip} = Z_{pi} = \frac{Z_{ij} d_1}{d}$$

$$Z_{jp} = Z_{pj} = \frac{Z_{ij} (d - d_1)}{d} \quad 2.2.1$$

Donde:

Z_{ij} Impedancia de transferencia entre los nodos i y j antes de la falla. Expresado en función de admitancia los valores serán:

$$Y_{ip} = Y_{pi} = \frac{Y_{ij} * d}{d_1}$$

$$Y_{jp} = Y_{pj} = \frac{Y_{ij} (d)}{(d - d_1)} \quad 2.2.2$$

Lo anterior representa para la matriz admitancia de barra; el tener que cambiar los valores de sus elementos de la diagonal principal Y_{ii} y Y_{jj} matematicamente podemos expresar este cambio como:

$$\begin{aligned} &\text{nuev} \\ Y_{ii} &= Y_{ii} + Y_{ij} - Y_{ip} \\ &\text{nuev} \\ Y_{jj} &= Y_{jj} + Y_{ij} - Y_{jp} \end{aligned} \quad 2.2.3$$

Para algunas líneas, especialmente líneas largas, se emplea el equi

valente , estas líneas serán tratadas en forma diferente por cuanto también los valores de las ramas shunt de este equivalente son cambiados por efecto de la falla.

$$\begin{aligned} \text{nuev} \\ Y_{oi} &= \frac{Y_{oi} d_l}{d} \\ \text{nuev} \\ Y_{oj} &= \frac{Y_{oj} (d - d_l)}{d} \end{aligned} \quad 2.2.4$$

Para facilidad de cálculos y para no tener que proporcionar más datos, al programa podemos expresar el sitio en que se simule la falla, como porcentaje de la longitud total de la línea.

Quedarán las relaciones que representan este tipo de falla con las dos consideraciones últimas en la siguiente forma:

$$\begin{aligned} Y_{ip} &= \frac{Y_{ij} \times 100}{d\%} \\ Y_{ip} &= \frac{Y_{ij} \times 100}{(100 - d\%)} \\ \text{nuev} \\ Y_{ii} &= Y_{ii} + Y_{ij} - Y_{ip} - Y_{oi} \left(1 - \frac{d\%}{100}\right) \\ \text{nuev} \\ Y_{jj} &= Y_{jj} + Y_{ij} - Y_{jp} - Y_{oj} \left(\frac{100 - d\%}{100}\right) \end{aligned} \quad 2.2.5$$

Y_{ij} admitancia de transferencia entre i y j valores fuera de la diagonal de Y barra original.

LINEAS DE TRANSMISION DE DOBLE CIRCUITO.- Cuando se considera una línea de un solo circuito, al ocurrir una falla en la línea no existe impedancia de transferencia entre los nodos entre los que están conectados a ésta, en cambio si la línea es de doble circuito y el disturbio compromete sólo uno de ellos, en este caso si existe transferencia de potencia entre las dos barras que unen esta línea, no se trata este problema en la modelación que se presenta pero se incluye en el programa un indicador para que si en caso la línea es de doble circuito, se pueda especificar como dato la impedancia de transferencia y los demás valores del equivalente π que se

considere adecuado, para representar esta falla.

2.2.3 SALIDA DE LINEAS DE TRANSMISION

La salida o desconexión de líneas de transmisión al igual que el despeje de fallas que implique lo anterior se tratará en el programa en la siguiente forma.

Sea la línea que une los nodos p y q la que va a desconectarse, los cambios en la matriz Y barra serán:

En los elementos de la diagonal

$$\begin{array}{l} \text{nuev} \\ Y_{pp} = Y_{pp} + Y_{pq} - Y_{op} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{nuev} \\ Y_{qq} = Y_{qq} + Y_{pq} - Y_{oq} \end{array}$$

En los elementos fuera de la diagonal

$$\begin{array}{l} \text{nuev} \quad \text{nuev} \\ Y_{pq} = Y_{qp} = 0 \end{array} \quad 2.2.7$$

Lo anterior es válido para líneas de transmisión de simple circuito:

Para las líneas de doble circuito, considerando que están en proceso de investigación el algoritmo para sacar de Y barra un elemento con acoplamiento mutuo, Ref (7) se deja al usuario la posibilidad de especificar el valor que desee de impedancia y admitancia shunt, para el circuito que se asume permanecerá en el estudio.

2.2.4 VARIACIONES BRUSCAS DE CARGA

Considerando que el modelo de carga a utilizar por el programa es

el de una admitancia shunt de valor constante conectada a la barra. Este disturbio afecta como en los casos anteriores a los elementos de Y barra, específicamente en este caso al elemento diagonal Y_{ii} del nodo(s) i afectado por un aumento o desconexión brusca de carga.

Matemáticamente expresamos:

$$Y_{ii}^{\text{nuev}} = Y_{ii} + Y_{Lio} \quad \begin{array}{l} Y_{ii} \text{ elemento de } Y \text{ barra antes del} \\ \text{disturbio} \end{array}$$

$$Y_{Lio} = \frac{\Delta P_i - j \Delta Q_i}{|E_i|^2 \times 100} = \frac{\Delta S_i^*}{|E_i|^2 \times 100} \quad 2.2.8$$

Donde:

ΔP_i y ΔQ_i Variación de la carga MWY MVARs, ocurrido en el nodo i
 E_i = Voltaje de la barra i (Flujo de carga antes del disturbio)

2.2.5 PERDIDA DE UNIDADES DE GENERACION

Quizá es el disturbio que puede tener la forma más simple de representación pues con sacarlo del estudio estará completada la modelación de este disturbio, en caso de que este tipo de disturbio ocurra en un (t \neq o) la salida del generador implica también la modificación de Y barra, como en el caso de la salida de una línea; la impedancia de transferencia entre el nodo, al cual está conectado al generador, y la barra del generador removido.

2.2.6 DESPEJE TRIFASICO DE FALLAS

Es necesariamente una maniobra que puede o no modificar los parámetros del sistema, para el programa, el despeje de una falla será implementado con un código numérico cuya misión será transferir control adecuadamente hacia el proceso de cambio debido a otros disturbios ya explica-

dos. Ej. El despeje por desconexión de líneas será tratado como se explica en el numeral 2.2.3.

2.2.7 RECONEXION TRIFASICA DE LINEAS

Una de las formas más comunes con las que se logra que un sistema sea estable es reconectar líneas que anteriormente han sido sacadas del sistema, con el afán de despejar una falla.

La maniobra de reconexión será simulada en el programa variando los parámetros de la red. Los cambios para el caso de reconexión de una línea de simple circuito serán:

Elemento de la diagonal con reconexión de una línea entre los nodos i y j

$$\begin{aligned} \text{nuev} \\ Y_{ii} &= Y_{ii} - Y_{ij} + Y_{oi} \\ \text{nuev} \\ Y_{jj} &= Y_{jj} - Y_{ij} + Y_{oj} \end{aligned} \quad 2.2.9$$

Elementos fuera de la diagonal

$$Y_{ij} = Y_p$$

Donde:

Y_p es una variable que se utilizará en el programa y que almacenará el valor original de Y_{ij} , esto se almacena con la idea de efectuar la secuencia común, es decir falla, despeje y reconexión de la línea afectada:

Para considerar la reconexión de un circuito en una línea de doble terna los elementos de Y barra se alterarán por los siguientes valores.

Elementos de la diagonal

$$\begin{aligned} Y_{ii} &= Y_{ii} + Y_{int} - Y_p \\ Y_{jj} &= Y_{ji} + Y_{jnt} - Y_p \end{aligned} \quad 2.2.10$$

Los valores de Y_{int} son los que tienen en el momento de la modificaci

ción en estas localizaciones Y barra, datos leídos para el circuito no desconectado.

Elementos fuera de la diagonal

$$Y_{ij} = Y_{ji} = Y_p$$

Y_p es el valor inicial de Y_{ij} y Y_{ji} para $t = 0$, es decir en estado es tacionario.

3. TECNICA PARA LA SOLUCION DEL PROBLEMA DE ESTABILIDAD

3.1.1 Introducción

En el capítulo anterior se modeló aisladamente los componentes del sistema de potencia, falta determinar las relaciones matemáticas que permitan simular al sistema eléctrico de potencia en forma total.

Los métodos de solución, los podemos dividir en dos grandes grupos: los directos y los indirectos. Los métodos de análisis directos tienen poco uso práctico, su utilización es con fines pedagógicos, por ejemplo el bien conocido de Igualdad de área; o están en proceso de estudio como lo es la aplicación del tradicional método de Liapanuv (utilizado en otros campos). Los métodos de solución indirecta son los utilizados en la práctica, por cuanto se pueden aplicar en sistemas de tamaños reales, estos son la simulación analógica o los métodos punto por punto, los últimos emplean un algoritmo de integración numérica aplicable a la solución por medio de un computador digital. La estabilidad del sistema se determina analizando las curvas de oscilación obtenidas como resultado de estos métodos.

En los métodos indirectos con simulación digital, el procedimiento consiste en tomar la variable independiente t como "discreta" en elementos de tiempo $t^{(0)}$, $t^{(1)}$, $t^{(i)}$ que pueden no ser equidistantes. A partir del conocimiento del valor inicial de la variable $x_1^{(0)}$, calculamos mediante algún algoritmo apropiado los nuevos valores $x_1^{(1)}$, $x_1^{(2)}$, $x_1^{(i)}$

Entre los algoritmos de integración más conocidos tenemos: El método de Euler modificado, la familia de métodos llamados de Runge-Kutta, los de predicción-corrección, etc.

La estructura del proceso de cálculo de estabilidad por un método capaz de resolverse con computador digital es: establecer las condiciones iniciales a partir de un flujo de potencia en estado estacionario, luego los sistemas de ecuaciones dependientes del tiempo deben resolverse simultáneamente, hablemos de un sistema de ecuaciones en estado estacio-

nario (algebraicas) que describen el funcionamiento de la red, incluido los modelos de cargas y las ecuaciones algebraicas de las máquinas sincrónicas en forma general:

$$\begin{aligned} g_1 & (x_1, \dots, x_n, Y_1, \dots, y_m) = 0 \\ \vdots \\ g_n & (x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m) = 0 \end{aligned}$$

o en forma matricial (1) 3.1.1.

$$[g ([x], [y])] = 0$$

Un sistema de ecuaciones diferenciales, que describe el funcionamiento dinámico de las máquinas y sus circuitos de control, estas ecuaciones son:

$$\begin{aligned} \dot{y}_j &= f_j (x_1, \dots, x_n, Y_1, \dots, y_m, t) \\ \vdots \\ \dot{y}_m &= f_m (x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m, t) \end{aligned}$$

en forma matricial

$$[\dot{y}] = [F ([x], [Y], t)] \quad (2) \quad 3.1.2$$

La estructura de la ecuación (1) cambiará en ciertos instantes del tiempo debido a: inicialización o despeje de las fallas, operaciones de maniobra, etc; tales cambios requieren doble solución en este tiempo, produciendo discontinuidades del vector $[x]$. No pueden aparecer discontinuidades en $[y]$.

Queda establecido en rasgos generales la técnica de solución del problema de estabilidad, en las líneas siguientes se presenta en forma más particularizada, las ecuaciones del sistema, se mantendrá el criterio antes indicado es decir:

- Cálculo de condiciones iniciales
- Resolución de:
- Ecuaciones algebraicas del sistema
 - Ecuaciones diferenciales.

Se planteará las ecuaciones y se describirá los métodos para resolver

lds.

3.1.2 CALCULO DE LAS CONDICIONES INICIALES

Como se estableció anteriormente, el proceso arranca con un estudio de flujo de potencias, el sistema en estado estacionario es representado por:

$$\bar{I} \text{ Barra} = Y \text{ Barra} \bar{E} \text{ Barra} \quad 3.1.3$$

En el sistema de referencia de barras utilizando Y Barra donde:

\bar{I} Barra = Vector de corrientes inyectadas a los nodos.
 \bar{E} Barra = Vector tensiones de barra

Para un sistema de n barras:

$$\bar{I}_B = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{S_1}{E_1} \right)^* \\ \left(\frac{S_2}{E_2} \right)^* \\ \vdots \\ \left(\frac{S_n}{E_n} \right)^* \end{bmatrix} \quad 3.1.4$$

$$\bar{E}_B = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{bmatrix} \quad 3.1.5$$

Escribiendo la Ecuación (3.1.3) en forma extendida tenemos:

$$\begin{pmatrix} \left(\frac{S_1}{E_1}\right)^* \\ \left(\frac{S_2}{E_2}\right)^* \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \left(\frac{S_n}{E_n}\right)^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ E_n \end{pmatrix}$$

3.1.6

Este sistema de ecuaciones no lineales deberá ser resuelto por alguna técnica iterativa. Por lo que concierne a este trabajo no se profundiza en el problema de flujo de potencias, pasando directamente a una explicación del proceso de cálculo de flujo mediante el método de Gauss-Seidel que es utilizado en el presente programa, tanto para el flujo inicial como para encontrar los valores de voltaje en las barras durante el estudio de estabilidad propiamente dicho.

3. 1. 3 FORMACION DE Y BARRA

En los cálculos de flujos de potencia se consideran los valores de impedancia (Admitancia) de secuencia positiva, asumiremos en el método de formación de Y Barra que no existe acoplamiento mutuo entre los elementos del sistema.

Elementos fuera de la diagonal

$$Y_{ij} = - y_{ij} \quad 3.1.7$$

Y_{ij} elemento de Y Barra

$$y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} \quad \text{admitancia propia del elemento que une los nodos (i y j)}$$

- Elementos de la diagonal

$$Y_{ii} = \sum_{i=1}^n - Y_{ij} + \frac{Y'_{ij}}{2} \quad 3.1.8$$

y'_{ij} admitancia shunt a tierra, valor total para una línea de transmisión.

3.1.4 PROCESO ITERATIVO PARA CALCULO DE VOLTAJES

El valor del voltaje para un nodo, podemos escribirlo como:

$$E_p = \frac{1}{Y_{pp}} \left(\frac{P_p - jQ_p}{E_p^*} - \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n Y_{pq} E_q \right) \quad 3.1.9$$

$P = 1, 2, \dots, n$

$P \neq S$ nodo

El método de Gauss-Seidel calcula el voltaje E_p en la iteración $K + 1$ y lo reemplaza inmediatamente en lugar de E_p de la iteración K , utilizándolo para la solución de los nuevos valores de voltaje en las otras barras en forma matemática, esto lo expresamos como:

$$E_p^{k+1} = \frac{KLP}{(E_p^k)^*} - \sum_{q=1}^{p-1} YLPq E_q^{k+1} - \sum_{q=p+1}^n YLPq E_q^k \quad 3.1.10$$

$$P = 1, 2 \dots \dots \dots n$$

$$P \quad S \quad \text{nodo Slack}$$

Donde:

$$KLP = \frac{Pp - JQP}{Ypp} \quad \text{para cargas representadas como potencia constante.}$$

$$Ylpq = \frac{Ypq}{Ypp}$$

- Cálculo de flujos de potencia y pérdidas en líneas.

Luego de tener la solución de los voltajes de barra completada, los flujos en las líneas pueden ser calculados.

$$ipq = (Ep - Eq) Ypq + Ep \frac{Y'pq}{2} \quad 3.1.11$$

Ypq = Admitancia de la línea

$Y'pq$ = Admitancia shunt total de la línea

$Ep \frac{Y'pq}{2}$ = Contribución de corriente debido a la admitancia shunt.

El flujo de potencia es:

$$Ppq - jQpq = Ep ipq$$

$$Ppq - jQpq = E^*p (Ep - Eq) Ypq + E^*p Ep \frac{Y'pq}{2} \quad 3.1.12$$

donde Ppq , Qpq flujo de potencia activo y reactivo desde la barra p a la q

Además:

$$Pqp - jQqp = E^*q (Eq - Ep) Ypq + E^*q \frac{Y'pq}{2} Eq \quad 3.1.13$$

Las pérdidas en la línea quedan determinadas por la suma algebraica de los flujos arriba determinados.

$$Plpq = Ppq + Pqp - j (Qpq + Qqp) \quad 3.1.14$$

$Plpq$ = Pérdidas de potencia en el elemento p, q

Con los datos obtenidos del flujo de potencia, estamos en capacidad de realizar el siguiente proceso en el cálculo de estabilidad, esto es modificar los parámetros de la red para incluir los efectos de la representación de las cargas como Y_{cte} y en segundo término la inclusión de las nuevas barras de los generadores.

3.1.5 TECNICA PARA SOLUCION DEL PROBLEMA DE ESTABILIDAD

Cambios de la matriz admitancia de barra para representar cargas como Y_{cte} a tierra y la entrada de las barras de los generadores.

a) REPRESENTACION DE LAS CARGAS COMO ADMITANCIA CTE A TIERRA

Para los estudios de estabilidad una de las formas más comunes de modelar las cargas es expresándolas como una admitancia constante a tierra, por lo tanto debemos modificar los parámetros de la red que utilizamos en el cálculo de flujos de potencia.

La Matriz Admitancia de barra se conformó en el estudio de flujos de potencia de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = -y_{ij}$$

Y_{ij} Elementos fuera de la diagonal en la matriz Y barra

y_{ij} Valor de la admitancia propia del elemento i, j

$$Y_{ii} = \sum_{j=1}^n -Y_{ij} + Y_{oi}$$

Y_{ii} Elemento de la diagonal en Y barra

Y_{oi} Admitancia shunt conectadas al nodo i (equivalente π de L/T o transformadores)

Las cargas serán también conectadas al nodo que corresponda como una admitancia constante a tierra. Esto significa para la matriz admi-

tancia de barra, la alteración de sus elementos en la diagonal, es decir se incrementan los valores de la diagonal en un valor expresado por la siguiente relación:

$$Y_{Lio} = \frac{P_{Li} - jQ_{Li}}{E_i^* \times E_i} = \frac{P_{Li} - jQ_{Li}}{|E_i|^2} = \frac{S_{Li}^*}{|E_i|^2} \quad 3.1.15$$

Donde:

- E_i Voltaje obtenido del flujo de carga en el nodo i
 E_i^* Valor conjugado de E_i
 P_{Li} y Q_{Li} Potencia de carga activa y reactiva en el nodo i .
 S_{Li}^* Potencia compleja en el nodo i (conjugada)

Los nuevos valores de la diagonal serán entonces:

$$\begin{array}{l} \text{nuev} \\ Y_{ii} = Y_{ii} + Y_{Lio} \end{array} \quad 3.1.16$$

b) INTRODUCCION DE LAS NUEVAS BARRAS E_q REPRESENTANDO LAS BARRAS INTERNAS DE LOS GENERADORES

Una diferencia más entre los estudios de flujos de potencia y el método de obtener los valores de voltaje en las barras del sistema en los estudios de estabilidad transitoria, constituye el hecho de introducir en el sistema unas nuevas barras que son en su orden: para el modelo que lo tipificamos como I esta barra representa un valor de voltaje constante atrás de la reactancia transitoria, para el Modelo II es una barra que mantiene el voltaje constante durante una iteración y la ubicamos detrás de la reactancia sincrónica en el eje en cuadratura.

Los valores de la admitancia correspondientes vamos a expresar en la siguiente forma:

$$Y_{ikI} = \frac{1}{r_a + jX'd}$$

para el modelo I

$$Y_{ikII} = \frac{1}{r_a + jX_q} \quad 3.1.17$$

para el modelo II

Los elementos que cambiarán de valor en la matriz admitancia de barra original son nuevamente los de su diagonal principal, por lo tanto matematicamente podemos expresar como:

$$\begin{aligned} & \text{nuev} \\ Y_{ii} &= Y_{ii} + Y_{ik} \end{aligned} \quad 3.1.18$$

3.1.6 CALCULO DE LOS VALORES INICIALES

En la fase anterior a la falla tenemos los voltajes en las barras del sistema, para seguir el proceso se necesita la inicialización de voltajes en las nuevas barras creadas por la adición de los generadores en el modelo del sistema, estos valores son:

Para los genradores representados por el modelo I (Voltaje constante atrás de la reactancia transitoria).

$$I_{ti} = \frac{P_{ti} - jQ_{ti}}{E_{ti}} \quad i = 1, 2, 3 \dots \dots \dots m \quad 3.1.19$$

P_{ti} y Q_{ti} Valores de potencia activa y reactiva de generación en la barra i

E_{ti} Tensión en el nodo i (flujo de potencia)

m Número de generadores en el sistema

$$\begin{aligned} E'_{i}(o) &= E_{ti} + (r_{ai} + jX'_{di}) I_{ti} \\ \delta'_{i}(o) &= \tan^{-1} \frac{\text{Imag } E'_{i}(o)}{\text{Real } E'_{i}(o)} \quad \text{rad} \end{aligned}$$

$$\omega_{i}(o) = 2\pi f \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \quad 3.1.20$$

f Frecuencia del sistema (60 CPS)

$$P_{mi}(o) = P_{ei}(o) = P_{ti} + |I_{ti}|^2 r_{ai} \quad 3.1.21$$

Para los generadores que utilizan el modelo II

$$E_{qi} = E_{ti} + r_{ai} I_{ti} + jX_{qi} I_{ti}$$

$$\delta'_{i}(o) = \tan^{-1} \frac{\text{I mag } (E_{qi})}{\text{Real } (E_{qi})} \quad 3.1.22$$

Los valores de $\omega_i(o)$, $P_{mi}(o)$ son calculados como en el modelo I.

Calculamos además los voltajes E'_{qi} , $E_i(i)$ para lo cual necesitamos encontrar los valores de I_d , siguiendo el proceso matemático que se explica:

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{\text{Im}g \ I_{ti}}{\text{Real} \ I_{ti}} \quad 3.1.23$$

θ_i ángulo de I_{ti} con respecto al eje de referencia

$$\begin{aligned} I_{di} &= |I_{ti}| \cos [90 - (\delta - \theta)] \\ I_{di} &= |I_{ti}| \sin (\delta - \theta) \end{aligned} \quad 3.1.24$$

I_{di} componente en el eje directo de I_{ti}

$$\begin{aligned} I_{qi} &= |I_{ti}| \sin [(90 - (\delta - \theta))] \\ I_{qi} &= |I_{ti}| \cos (\delta - \theta) \end{aligned} \quad 3.1.25$$

I_{qi} componente en el eje en cuadratura de I_{ti}

$$\begin{aligned} E'_{qi} &= E_{qi} - I_{dj} (X_q - X'd) \\ E_i &= E'_{qi} + (X_{di} - X'd_i) j I_{di} + \Delta EI \end{aligned} \quad 3.1.26$$

CALCULO DE ΔEI

El índice de saturación comunmente usado está basado en la excitación requerida para producir el voltaje atrás de la reactancia Potier (Diagrama Fasorial Fig. 4 Cap. 2).

La excitación extra requerida por la saturación del hierro es obtenida de la curva de saturación a circuito abierto como se presenta en la Fig. 3 Cap. 2.

Los diferentes programas disponibles para el cálculo de estabilidad utilizan variadas formas de calcular el índice de saturación de ΔEI unos emplean dos rectas con diferentes pendientes, la una que sigue la parte inicial de la curva de saturación de circuito abierto, la otra pendiente trata de ajustarse a la tangente de la curva en el sector que esta tiende a ser asintótica; otros programas emplean directamente para el

cálculo una función logarítmica; en lo que concierne al programa se utiliza la función logarítmica como la empleada en la referencia (15) que matemáticamente queda expresada como:

$$\Delta EI = Ag (e^{Bg(EI - 0.8)}) \quad 3.1.27$$

donde Ag y Bg son especificados por el usuario que a partir de la ecuación presentada calculará estos valores, EI es el voltaje atrás de la reactancia Potier como no se dispondrá del valor del voltaje indicado, en (15) se utiliza en su lugar E'q, que es precisamente el que se usa en este programa, queda por lo tanto:

$$\Delta Ei = Ag (e^{Bg (E'q - 0.8)})$$

- VALORES INICIALES DE LOS PARAMETROS DEL REGULADOR

Al considerar la existencia de reguladores de voltaje en los generadores es necesario inicializar los valores de las ecuaciones diferenciales que representan a los sistemas de excitación, estos valores son:

$$V_{refi} = V_{ti} \text{ para } t = 0 \quad 3.1.28$$

Donde:

Vt i Voltaje a los terminales del generador para t=0 es decir, del cálculo de flujo de carga.

EFD(0)i = EI(0)i En valor por unidad

Otra condición inicial es:

$$V_{st} = 0 \quad 3.1.29$$

Establecidas las condiciones iniciales, entramos realmente al proceso de cálculo de estabilidad, en este momento debemos modificar los parámetros del sistema para simular el o los disturbios a estudiarse, quedó establecido en el capítulo anterior las relaciones que se empleará para representar estas fallas, por lo tanto este proceso no se explicará en más detalle. Con la red modificada debemos resolver las ecuaciones al-

gebráicas del sistema para el tiempo $t = 0$

Las ecuaciones a resolverse son:

$$E_i = - \sum_{j=i}^{n-1} E_j Y_{ij} - \sum_{K=1}^m E_q(k) Y_{ik} \quad 3.1.30$$

Que como se ven son similares a las empleadas en el estudio de flujo de potencia, con la salvedad de que para las cargas simuladas con Y_{cte} a tierra, desaparece el término E_i^* que hacia el sistema de ecuaciones no lineal. Pudiendo emplearse inclusive métodos directos para la solución del sistema, en lugar de los tradicionales métodos iterativos.

$E_q(k)$ voltajes de la barra interna de los generadores

$$\begin{aligned} E_q(k) &= E_q(k) && \text{Modelo II} \\ E_q(k) &= E^*(k) && \text{Modelo I} \end{aligned}$$

Y_{ik} admitancia de transferencia entre la barra a la que está conectado el generador y la barra interna del mismo.

Usando el método de Gauss-Seidel para resolver estas ecuaciones la fórmula nos quedará:

$$E_i^{k+1} = - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{Lij} E_j^{k+1} - \sum_{i=i+1}^n Y_{Lij} E_j^k - \sum_{k=1}^m Y_{LIk} E_q(k) \quad 3.1.31$$

Donde

$$Y_{Lij} = \frac{Y_{ij}}{Y_{ii}}, \quad Y_{LIk} = \frac{Y_{Lk}}{Y_{ii}}$$

Con este juego de ecuaciones que representan a la red cuando se ha considerado a las cargas como impedancias constantes, (para otros modelos de carga son válidas las ecuaciones dadas para el flujo de potencia antes de la falla, cargas P y Q cte o corriente cte)

Se puede ahora encontrar un nuevo perfil de voltajes para el sistema obtenido con el algoritmo de flujo de potencia, pero haciendo las

siguientes consideraciones:

Para los generadores representados por el Modelo I la situación es bastante fácil, pues el voltaje atrás de la reactancia transitoria es mantenido fijo durante el proceso iterativo.

La situación merece un análisis más detallado para los generadores con el modelo No. 2. Se ha encontrado dos formas de tratar en el proceso iterativo a estos generadores: el primero presentado en la referencia (1) (Stagg).

" Cuando la máquina es representada por sus componentes en el eje directo y en cuadratura el voltaje en la barra interna de la máquina permanece fijo durante una iteración. Sin embargo, al término de cada iteración, el voltaje E_{qi} debe ser reevaluado para reflejar los cambios en el voltaje terminal E_{ti} ", el proceso a efectuarse es el siguiente:

$$I_{ti}^{k+1} = \frac{E_{qi}^k - E_{ti}^{k+1}}{r_{ai} + jX_{qi}} \quad 3.1.32$$

$$I_{di}^{k+1} = I_{ti}^{k+1} \sin(\delta_i^k - \theta); \quad \delta_i^k = \tan^{-1} \frac{\text{Im}g(E_{qi}^k)}{\text{Re}d(E_{qi}^k)}$$

$$\theta^k = \tan^{-1} \frac{\text{Im}g(I_{ti}^{k+1})}{\text{Re}d(I_{ti}^{k+1})} \quad E_{qi}^{k+1} = E'_{qi}(0) + (X_{qi} - X'_{di}) I_{di}^{k+1}$$

$E'_{qi}(0)$ Valor antes de la falla o valor que debe tener E'_{qi} para el tiempo en estudio.

$E'_{qi}(0), \delta_i(0)$ El ángulo de E_{qi} deben permanecer fijos.

Lo que significa matemáticamente que:

$$\begin{aligned} e_{qi}^{k+1} &= E_{qi}^{k+1} * \cos(\delta_i^k) \\ f_{qi}^{k+1} &= E_{qi}^{k+1} * \sin(\delta_i^k) \\ E_{qi}^{k+1} &= e_{qi}^{k+1} + j f_{qi}^{k+1} \end{aligned} \quad 3.1.33$$

Valor con el cual seguimos el proceso iterativo.

El segundo es presentado en la referencia (2) "Brown".

"Los voltajes E_q de los generadores son mantenidos constantes en la solución del flujo de carga, pero serán ajustados luego, tal que $E'q$ permanezca constante tanto en magnitud como en ángulo".

Este reajuste se lo realiza mediante los siguientes cálculos:

$$I_{ti}^{nuev} = \frac{E_{qi} - E_{ti}^{nuev}}{r_{ai} + jx_{qi}}$$

$$|E'_{qi}| = |E_{qi}| - \frac{X_{qi} - X'_{di}}{|E_{qi}|} \left\{ \begin{array}{l} \text{Im}(E_{qi}) \text{Re}(I_{ti}^{nuev}) \\ - \text{Real}(E_{qi}) \text{Im}(I_{ti}^{nuev}) \end{array} \right\} \quad 3.1.34$$

Si ($E'q$) no pasa la condición:

$$|E'_{qi}| - |E_{qi}| \leq \eta \quad 3.1.35$$

η valor determinado

Los nuevos valores de E_{qi} son:

$$|E_{qi}| = |E'_{qi}| \frac{|E'_{qi}|}{|E_{qi}|} \quad 3.1.36$$

Los cálculos de las ecuaciones 3.134 a 3.1.36 son repetidas cuantas veces sea necesario antes de pasar a un próximo generador.

Para cualquier Δt en que se haya necesitado realizar las iteraciones para determinar E_q para uno o más generadores, es necesario retornar a la solución del flujo de potencia y encontrar nuevos voltajes con los E_q revisados. El proceso indicado con las ecuaciones anteriores es repetido cuantas veces sea necesario.

Luego de encontrar los nuevos voltajes en el sistema encontramos los valores nuevos de potencia entregada por los generadores, estos son:

MODELO I	MODELO II	
$P_{ei} = \text{Real}(E'_{i} I_{ti})$	$P_{ei} = \text{Real}(E_{qi} I_{ti})$	3.1.37

Calculamos en este punto un nuevo valor de:

$$E_{i1}^{nuev} = E_{qi} + Id_j (X_{di} - X_{qi})$$

Id componente en el eje directo de Iti calculado del flujo de potencias.

3.2 RESOLUCION DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES:

Por el método de Runge-Kutta

En realidad no existe un método de Runge-Kutta, sino una familia de ellos que dependen como se verá en la derivación de la fórmula del número de términos que se tome en la serie de Taylor, así como de la forma como se escojan los coeficientes, Ref. Apéndice A, este programa utilizará el Runge-Kutta de 4to. orden con coeficientes Runge; que matemáticamente se expresa como:

$$Y_{n+1} = Y_n + \Delta Y_n$$

$$\Delta Y_n = \frac{1}{6} (Z_1 + 2Z_2 + 2Z_3 + Z_4) \quad 3.2.1$$

Donde:

$$k_1 = f (X_n, Y_n) \Delta t$$

$$k_2 = f (X_n + \frac{\Delta t}{2}, Y_n + \frac{k_1}{2}) \Delta t$$

$$k_3 = f (X_n + \frac{\Delta t}{2}, Y_n + \frac{k_2}{2}) \Delta t$$

$$k_4 = f (X_n + \Delta t, Y_n + k_3) \Delta t \quad 3.2.2$$

El error por truncamiento de la serie de Taylor para este método es proporcional a Δt^5 .

3.2.1 PLANEAMIENTO DE LAS ECUACIONES A RESOLVERSE UTILIZANDO RUNGE-KUTTA 4to. ORDEN (COEFICIENTES RUNGE)

Las ecuaciones a resolverse como se definió en el capítulo anterior expresadas como variables de estado para un generador i son:

$$\begin{aligned}
\dot{X}_{1i} &= X_{2i} \\
\dot{X}_{2i} &= \frac{\pi f}{H_i} (P_{mi} - P_{ei}) \\
\dot{X}_{6i} &= \frac{1}{T_{ei}} (X_{7i} - |SE_i| - K_{ei} X_{6i}) \\
\dot{X}_{7i} &= \frac{1}{T_{qi}} (K_{Ai} (|V_{ref_i}| - |E_{ti}| - X_{8i}) - X_{7i}) \\
\dot{X}_{8i} &= \frac{1}{T_{fi}} (\frac{K_{fi}}{T_{ei}} (X_{7i} - K_{ei} X_{6i}) - X_{8i}) \\
\dot{X}_{9i} &= \frac{1}{T'_{doi}} (X_{6i} - |E_{i}|) \qquad 3.2.3
\end{aligned}$$

Este juego de ecuaciones debe resolverse simultaneamente para los generadores del Modelo II.

Los que emplean el modelo I necesitan sólo resolver las dos primeras ecuaciones .

Aplicando la fórmula de Runge-Kutta con coeficientes Runge, los valores de las variables para un tiempo $t + \Delta t$ serán:

(aplicando ecuaciones (3.2.1) y con K por Z.

$$\begin{aligned}
X_{1i}(t + \Delta t) &= X_{1i}(t) + \frac{1}{6} (K_{11i} + 2K_{21i} + 2K_{31i} + K_{41i}) \\
X_{2i}(t + \Delta t) &= X_{2i}(t) + \frac{1}{6} (K_{12i} + 2K_{22i} + 2K_{32i} + K_{42i}) \\
X_{6i}(t + \Delta t) &= X_{6i}(t) + \frac{1}{6} (K_{16i} + 2K_{26i} + 2K_{36i} + K_{46i}) \\
X_{7i}(t + \Delta t) &= X_{7i}(t) + \frac{1}{6} (K_{17i} + 2K_{27i} + 2K_{37i} + K_{47i}) \\
X_{8i}(t + \Delta t) &= X_{8i}(t) + \frac{1}{6} (K_{18i} + 2K_{28i} + 2K_{38i} + K_{48i}) \\
X_{9i}(t + \Delta t) &= X_{9i}(t) + \frac{1}{6} (K_{19i} + 2K_{29i} + 2K_{39i} + K_{49i}) \qquad 3.2.4
\end{aligned}$$

Los valores K_{nni} son:

$$\begin{aligned}
K_{11i} &= \Delta t X_{2i} \\
K_{12i} &= \frac{\pi f}{H_i} (P_{mi} - P_{ei}(t)) \Delta t \\
K_{16i} &= \frac{1}{T_{ei}} (X_{7i}(t) - SE_i(t) - K_{ei} X_{6i}(t)) \Delta t \\
K_{17i} &= \frac{1}{T_{ai}} (K_{Ai} (V_{ref_i} - E_{ti}(t) - X_{8i}(t)) - X_{7i}(t)) \Delta t \\
K_{18i} &= \frac{1}{T_{fi}} (\frac{K_{fi}}{T_{ei}} (X_{7i}(t) - K_{ei} X_{6i}(t)) - X_{8i}(t)) \Delta t \\
K_{19i} &= \frac{1}{T'_{doi}} (X_{6i}(t) - |E_{i}(t)|) \Delta t \qquad 3.2.5
\end{aligned}$$

El subíndice t indica que los valores son los calculados para el tiempo anterior por flujo de carga o las ecuaciones algebraicas de los generadores. Si $t=0$ valores de flujo antes de la falla

Ahora se encuentran los valores de la 1ra. aproximación de las variables incluídas en el estudio.

Para facilitar la comprensión del proceso de aquí en adelante suprimiremos el subíndice i

$$\begin{aligned}
 X_1^{(1)} &= X1(t) + \frac{K11}{2} \\
 X_2^{(1)} &= \left(X2(t) + \frac{K12}{2} \right) - 2\pi f \\
 X_6^{(1)} &= \left(X6(t) + \frac{K16}{2} \right) \\
 X_7^{(1)} &= \left(X7(t) + \frac{K17}{2} \right) \\
 X_8^{(1)} &= \left(X8(t) + \frac{K18}{2} \right) \\
 X_9^{(1)} &= \left(X9(t) + \frac{K19}{2} \right)
 \end{aligned}
 \tag{3.2.6}$$

Directamente de los valores anteriores calculamos

$$\begin{aligned}
 \text{Real } E'q^{(1)} &= X_9^{(1)} \cos (X_1^{(1)}) \\
 \text{Imag. } E'q^{(1)} &= X_9^{(1)} \text{sen } (X_1^{(1)}) \quad (5)
 \end{aligned}
 \tag{3.2.7}$$

Con el valor de $E'q^{(1)}$ nuevo, calculamos los valores de $EI^{(1)}$ y $Eq^{(1)}$. De aquí retornamos a las ecuaciones de flujo de potencia para calcular $Eti^{(1)}$, $Pei^{(1)}$.

Debemos además revisar los límites impuestos a

$$X_7 \longrightarrow Vri$$

$$Vrmin \leq X_7^{(1)} \leq Vrmax \tag{3.2.8}$$

Hechos estos cálculos podemos encontrar los valores de la segunda aproximación. Donde

$$\begin{aligned}
K21 &= \Delta t \ X_2^{(1)} \\
K22 &= \frac{\pi f}{H} (P_m - P_{ei}^{(1)}) \Delta t \\
K26 &= \frac{1}{T_e} (X_7^{(1)} - S E^{(1)} - K_e X_6^{(1)}) \Delta t \\
K27 &= \frac{1}{T_a} (K_a (V_{ref} - |E_t^{(1)}| - X_8^{(1)}) - X_7^{(1)}) \Delta t \\
K28 &= \frac{1}{T_f} (\frac{K_f}{T_e} (X_7^{(1)} - K_e X_6^{(1)} - X_8^{(1)}) \Delta t \\
K29 &= \frac{1}{T'do} (X_6^{(1)} - |E I^{(1)}|) \Delta t
\end{aligned} \tag{3.2.9}$$

A continuación se está en capacidad de obtener los valores de la segunda aproximación de las variables, estos son:

$$\begin{aligned}
X_1^{(2)} &= (X_1(t) + \frac{K21}{2}) \\
X_2^{(2)} &= (X_2(t) + \frac{K22}{2}) - 2\pi f \\
X_6^{(2)} &= (X_6(t) + \frac{K26}{2}) \\
X_7^{(2)} &= (X_7(t) + \frac{K27}{2}) \\
X_8^{(2)} &= (X_8(t) + \frac{K28}{2}) \\
X_9^{(2)} &= (X_9(t) + \frac{K29}{2})
\end{aligned} \tag{3.2.10}$$

El nuevo

$$\begin{aligned}
\text{Real } E'q^{(2)} &= X_9^{(2)} \cos (X_1^{(2)}) \\
\text{Imag } E'q^{(2)} &= X_9^{(2)} \text{ sen } (X_1^{(2)})
\end{aligned} \tag{3.2.11}$$

El proceso es idéntico al seguido en la primera aproximación; los cálculos de $E_q^{(2)}$, $E I^{(2)}$, $X_7^{(2)}$, $P_e^{(2)}$ y $E_t^{(2)}$; la tercera y cuarta aproximación son semejantes a las dos anteriores, pero debemos considerar que los valores de:

$$\begin{aligned}
X_1^{(3)} &= (X_1(t) + K31) \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&\cdot \\
X_9^{(3)} &= (X_9(t) + K39)
\end{aligned} \tag{3.2.12}$$

Luego de conocer todos los valores

$$\begin{array}{l} K_{11}, K_{21}, K_{31}, K_{41} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ K_{19}, K_{29}, K_{39} \text{ y } K_{49} \end{array}$$

3.2.13

Podemos calcular con las ecuaciones 3.24 los valores de

$$\begin{array}{l} X_1(t + \Delta t) \\ X_9(t + \Delta t) \end{array}$$

Conocidos estos, y con el procedimiento similar al empleado en las aproximaciones pasamos a calcular en las ecuaciones de los generadores y en las de flujo de potencia, el resto de incógnitas para tener todos los valores para el instante de tiempo $t + \Delta t$. Podemos ya avanzar en el tiempo con t nuevo = $t + \Delta t$, en caso de no llegar a un valor de t en que se tenga una maniobra, entonces el proceso continúa su secuencia normal, en caso contrario deberán modificarse los parámetros del sistema para representar la operación; seguidamente se resuelven las ecuaciones del flujo de potencia, para volver al proceso normal, es decir obtener la primera aproximación para t nuevo = $t + \Delta t$.

3.2.2 CALCULO DE LOS VALORES DE SATURACION DEL SISTEMA DE EXCITACION

Quedo establecido en el capítulo II de este trabajo que la función de saturación del regulador de voltaje es simulada en forma variada según sea el programa, en éste se utiliza la curva logarítmica presentada en Ref. (15) y que tiene como expresión matemática: $SE = A_{ex} e^{B_{ex} X_6}$

Esta por determinar las constantes A_{ex} y B_{ex} para este trabajo se utilizará las fórmulas dadas en la referencia (15) donde:

$$B_{ex} = \frac{\ln [SE(\max) EF(\max)] - \ln [SE(.75 \max) .75 EFD(\max)]}{.25 EFD(\max)}$$

$$A_{ex} = e^{\frac{\ln [SE(\max) EFD(\max)] + \ln [SE(.75 \max) (.75) EFD(\max)]}{2}}$$

$$\left[\frac{B_{ex}(1.75) Efd(\max)}{2} \right]$$

3.2.14

4. ELABORACION DEL PROGRAMA DIGITAL

El Programa Digital para el estudio de Estabilidad Transitoria, utilizando el modelo de generador que incluye los efectos de saturación y variación de densidad de flujo, para permitir la inclusión de los efectos del regulador de voltaje. Está escrito en lenguaje Fortran IV, consta de un programa principal y ocho subrutinas, tiene una capacidad para 60 barras 30 generadores, las cargas son representadas como una admitancia constante a tierra. Se puede simular en el estudio los siguientes disturbios:

- Falla trifásica en barras de subestaciones
- Falla trifásica en líneas de transmisión
- Salida de líneas de transmisión
- Salida de unidades de generación
- Variaciones bruscas de carga

Igualmente puede representarse las maniobras siguientes:

- Desconexión de líneas de transmisión
- Reconexión de líneas de transmisión
- Despeje de fallas en barras

4.1 DESCRIPCION DEL PROGRAMA PRINCIPAL Y LAS SUBRUTINAS EMPLEADAS

a) Programa Principal

La función de este es la de supervisar el proceso de cálculo de estabilidad, consta de los siguientes bloques o secciones definidas:

Bloque 1.- Lectura de constantes generales, especialmente para los flujos de carga, número de barras, número de líneas, número máximo de iteraciones, etc. Además se lee la identificación del caso estudiado.

Bloque 2.- Contiene la lectura de los datos de líneas y con ellos se conforma la matriz YBarra, este programa sólo almacena la Triangular Inferior dejando la restante sección del arreglo para almacenar los valores de las ramas shunt de los equivalentes π de las líneas.

Bloque 3.- Lee y almacena los datos de barras y llama a la subrutina LDFLOW encargada de encontrar los voltajes y flujos de potencia para el

instante antes de la falla. Por medio de un indicador se puede eliminar la solución de voltajes en LDFLOW, especialmente si como es común se dispone de los resultados de un flujo de carga ya realizado entonces se transfiere control para leer estos datos. Coordinando con otros programas de flujo de carga puede eventualmente leerse estos resultados, de una cinta donde se almacene los resultados obtenidos con un programa de flujo más completo que el que dispone este programa.

Bloque 4.- Se encarga de leer los datos de los generadores y reguladores de voltaje. Estos datos son ordenados en forma de tabla y almacenados para su posterior utilización.

Bloque 5.- Efectúa los cambios correspondientes sea en los parámetros de la red o en indicadores apropiados para simular el o los disturbios que se consideran en el estudio; lee datos de tiempo de duración del estudio, de los instantes en que se considera se realizará maniobras tendientes a dejar fallas, etc. Este bloque tiene también a su cargo la inicialización de las variables de estado, subrutina VAIN, como la modificación de los parámetros de la red por efecto de la modelación de las cargas como una admitancia a tierra conectada en las barras del sistema.

Bloque 6.- Es el encargado de supervisar el estudio de estabilidad propia mente dicho, como se explicó en el capítulo anterior, esta sección llama en su orden: primero a la subrutina VTRANS, encargada de encontrar el valor de los voltajes del sistema; luego a Poten que calcula las potencias eléctricas entregadas por los generadores para el instante de tiempo en estudio, a más de encontrar el voltaje EI para los generadores del Modelo II.

A continuación llama a la subrutina RKUTTA que resuelve las ecuaciones diferenciales que representan el funcionamiento dinámico de generadores y reguladores de voltaje; por último la subrutina EQGEN es empleada con el fin de reinicializar las variables de los generadores y reguladores a utilizarse en las aproximaciones siguientes de las variables de estado.

La parte final de esta sección controla el avance del tiempo con el afán de supervisar la adecuada transferencia de control si el tiempo de una maniobra ha llegado.

Bloque 7.- No es más que un conjunto de instrucciones de escritura de mensajes de error que serán impresos cuando alguna condición no se cumple por parte del usuario, en los procesos iterativos de cálculo de voltajes. El diagrama de bloques del programa principal se presenta en la Figura No. 4.1.

SUBROUTINA LDFLOW

Esta subrutina realiza el cálculo de las condiciones del sistema, voltajes, potencias entregadas por los generadores y flujo de potencias entre barras de las subestaciones. Tiene tres bloques bien definidos: el primero, utiliza los valores de la matriz YBarra y calcula los parámetros de líneas y barras a utilizarse en los siguientes cálculos. El segundo, se encarga de realizar el proceso iterativo, en este caso utilizando el método de Gauss-Seidel. El último bloque realiza los cálculos complementarios como son: Potencias de Generación en barra slack y flujos entre barras, además realiza la escritura de resultados. Como se podrá comprobar en el listado del programa, se utiliza la proposición COMMON con el fin de ahorrar localizaciones de memoria en el computador. El diagrama de bloques de la subrutina "LDFLOW" se encuentra en la figura 4.2

SUBROUTINA MPRED

La función que se le encarga a esta subrutina es la de modificar los elementos de la matriz YBarra para simular los disturbios que requieran este proceso. La descripción se realizará con referencia a la Fig. 4.3. Tenemos 4 bloques que realizan las siguientes funciones: el primero, se encarga de modificar la matriz YBarra para incluir en el estudio el efecto de una falla trifásica en cualquier sector de la línea de transmisión. El segundo bloque indistintamente trata tanto el despeje de una falla en una línea de transmisión por desconexión de la misma o la salida de una línea del sistema, de igual manera que en el caso anterior, se modifica la matriz YBarra para simular este disturbio. El tercer bloque está presente para modelar el efecto de la reconexión de una línea de transmisión. Por último el cuarto bloque se encarga de modificar YBarra para simular un incremento brusco de carga. Todos los bloques tienen instrucciones adecuadas de escritura para imprimir mensajes que identifiquen el tipo de operación realizada.

SUBROUTINA LINEPA

La subrutina LINEPA efectúa los procesos de modelación de cargas ^

como una admitancia shunt constante y la inclusión de las admitancias de transferencia de los generadores.. Otra de las funciones que realiza es el cálculo de los parámetros YLPQ utilizados en el proceso iterativo para cálculo de voltajes en las barras del sistema durante el período posterior a la falla. Se ha considerado la posibilidad inminente de realizar maniobras o incluir disturbios adicionales durante el estudio en régimen transitorio del sistema, con esta premisa en mente se tiene un bloque completamente independiente del anterior, que toma la información de la subrutina MPRED encuentra los YLPQ. Sólo trabajando sobre las dos filas afectadas de la matriz YBarra . El Diagrama de Bloques de esta subrutina se encontrará en la Fig. 4.4.

SUBROUTINA VAIN

Esta subrutina como todas las anteriores se describe con referencia a su diagrama de bloques Fig. 4.5. La labor específica encomendada a la subrutina VAIN es la de inicializar adecuadamente las variables y constantes de las ecuaciones diferenciales y algebraicas de los modelos de los generadores, sistemas de excitación y de la ecuación de oscilación de cada máquina. Como se aprecia en la figura 4.5 se elaboraron dos bloques que dependen del número de generadores de cada uno de los modelos disponibles en el programa. La justificación queda sentada si pensamos que para generadores del Modelo I inicializamos cuatro variables y por otra parte para el Modelo II este número de variables se eleva a 12.

SUBROUTINA VTRANS

En esta subrutina se calculará los valores de los voltajes en las barras del sistema, el proceso iterativo utiliza como en el caso de la subrutina LDFLOW el método de Gauss-Seidel, para el caso de que exista la modelación de generadores del modelo II, se utiliza en esta subrutina para la corrección del voltaje en las barras de los generadores, el proceso indicado en la Ref. (1) y reproducido en la página (39) Cap.III del presente trabajo.

El detalle del proceso de cálculo se encontrará en el diagrama de bloques presentado en la Fig. 4.6.

SUBROUTINA POTEN

La subrutina POTEN tiene a su cargo calcular dependiendo del modelo que emplee el generador simplemente la potencia eléctrica entregada por el generador al sistema para el tiempo en estudio, o para el Modelo II calcula el valor del voltaje proporcional a la corriente de campo EI, a más de la potencia eléctrica. El diagrama de bloques de esta subrutina está representado en la Fig. 4.7.

SUBROUTINA RKUTTA

Se encarga de resolver las ecuaciones diferenciales de los modelos de generadores y sus respectivos sistemas de excitación, como en las subrutinas en que se resuelven ecuaciones de las máquinas, se incluyen transferencias de control para manejar las ecuaciones de los dos modelos, se incluye en el programa un examen de los resultados obtenidos en la variación que se obtiene en un intervalo de los ángulos ($\Delta\delta$), de los generadores con el propósito de trabajar dentro del programa con intervalo de tiempo (Δt) variable. Además, existe la posibilidad de que este llegue a ser muy pequeño, lo cual según práctica común en muchos de los programas de Estabilidad es un indicador de que el Sistema es inestable. La técnica seguida cuando se cambia el intervalo Δt es asignar a las variables el valor que tienen en el tiempo t y regresar a calcular los valores de voltajes a la subrutina VTRANS. Como todas las subrutinas anteriores se pone mucha atención en el programa para la utilización del menor número de memoria del computador. El método empleado es el de Runge Kutta, 4to. orden con coeficientes Runge. El correspondiente diagrama de bloques del proceso ejecutado por esta subrutina está presentado en la figura 4.8.

SUBROUTINA EQGEN

La subrutina EQGEN resuelve las ecuaciones algebraicas de generadores y sistemas de excitación igualmente se trabaja sobre los dos modelos incluidos en el programa.

El correspondiente diagrama de bloques se encontrará en la figura

4.9.

Las líneas anteriores resumen la función que cumplen tanto el programa principal como las subrutinas empleadas en el estudio. El funcionamiento y la forma en que fueron concebidos se detalla claramente en los diagramas de bloques.

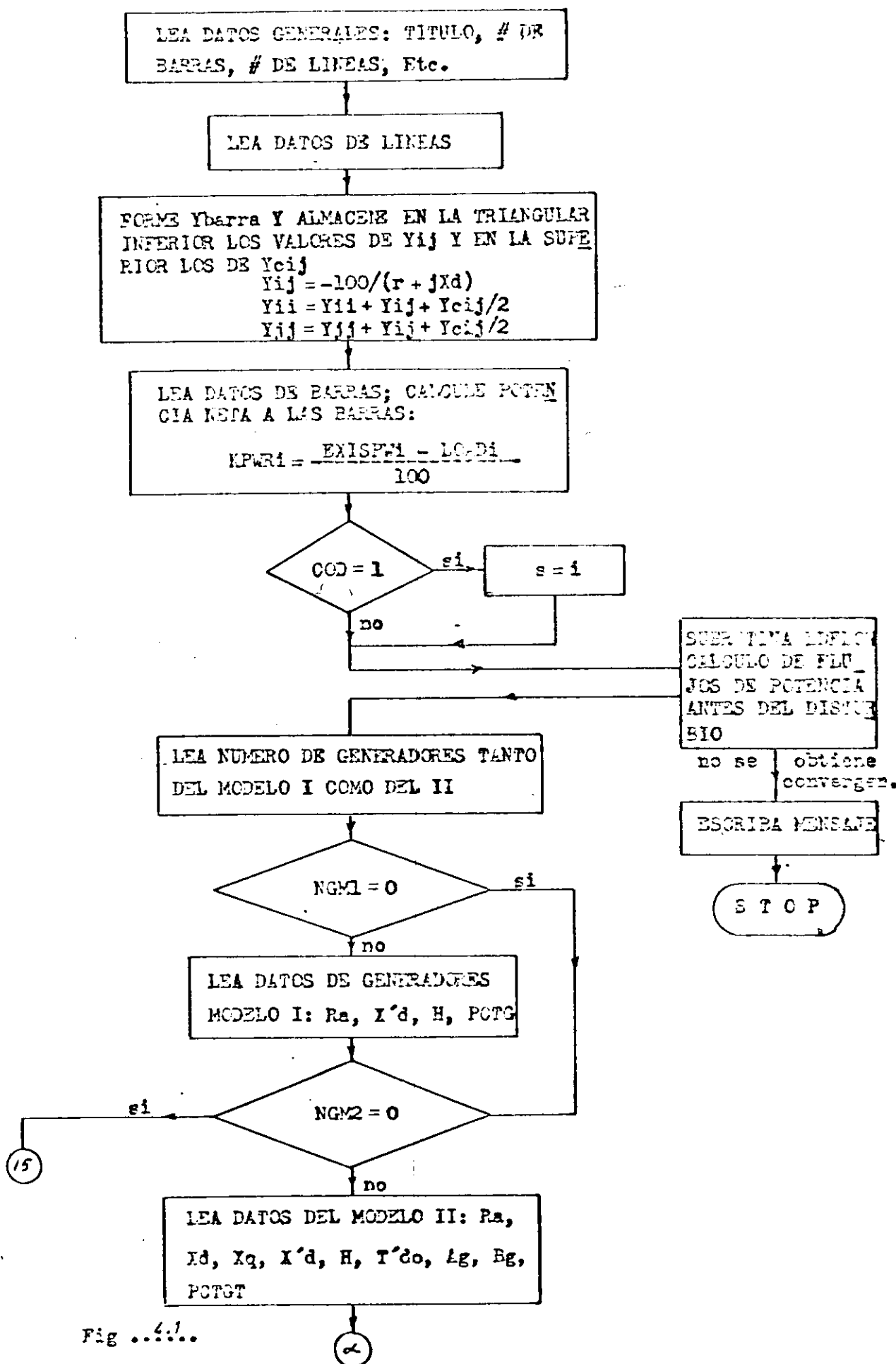


Fig ...4.1...

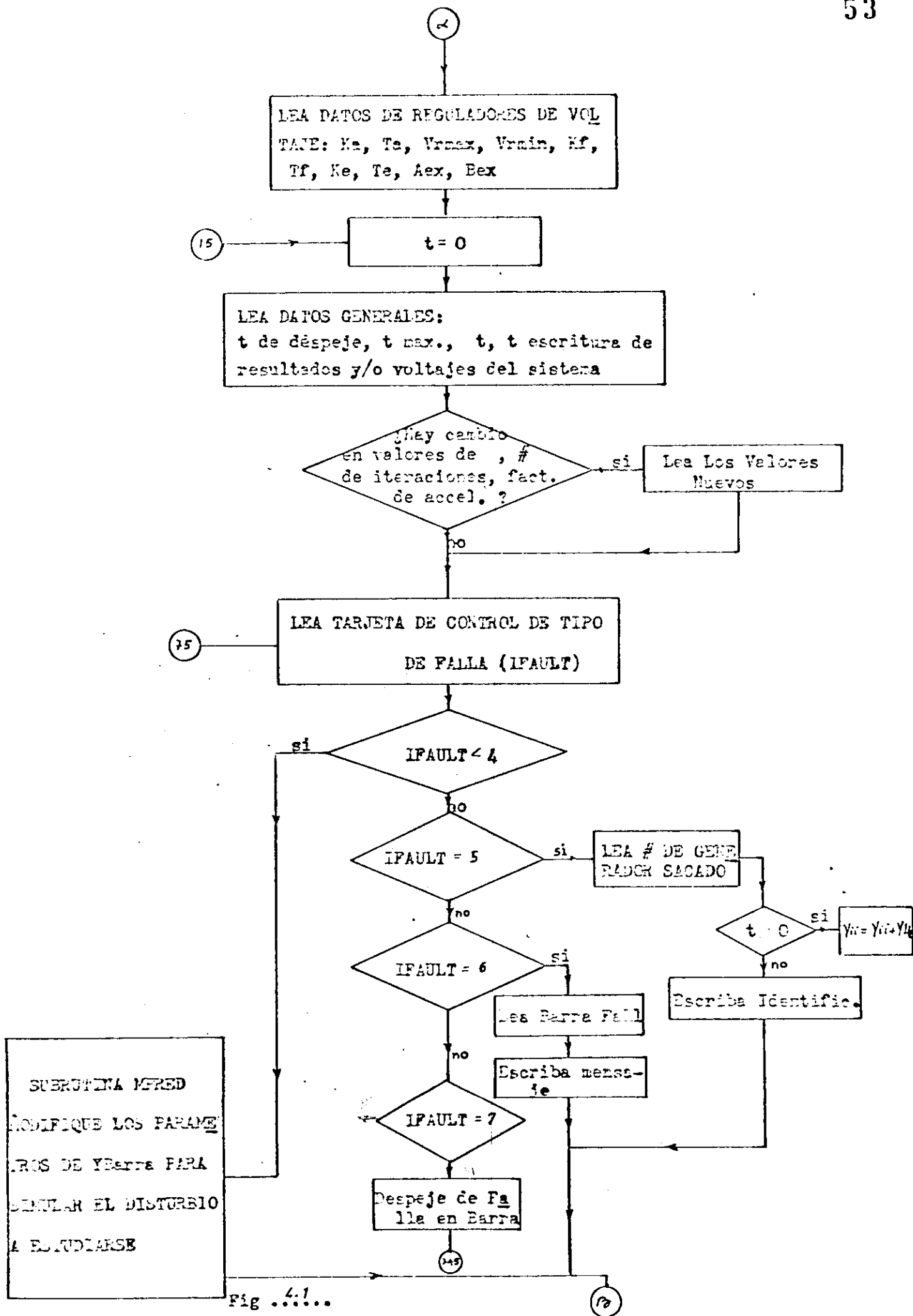


Fig. 4.1...

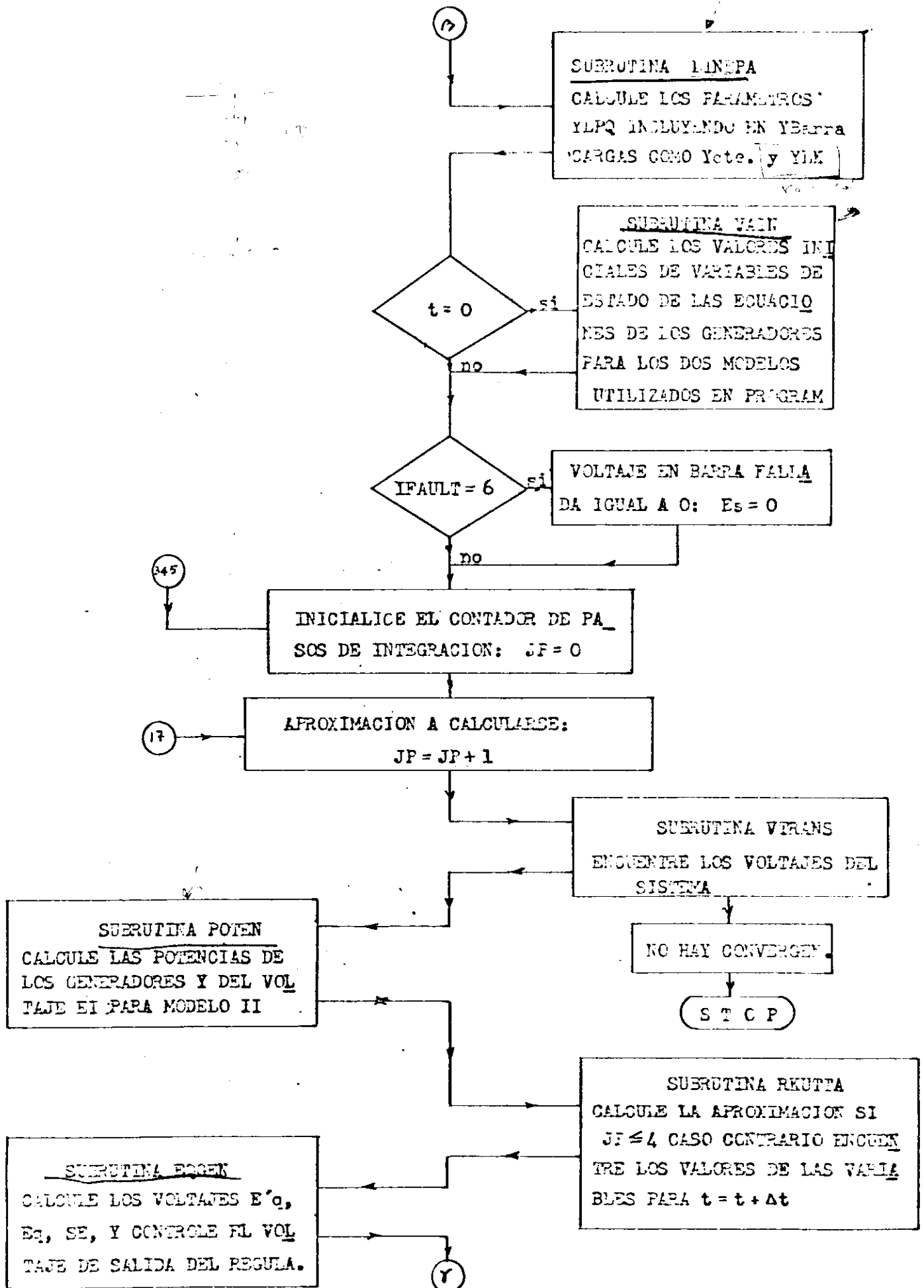


Fig .4.1...

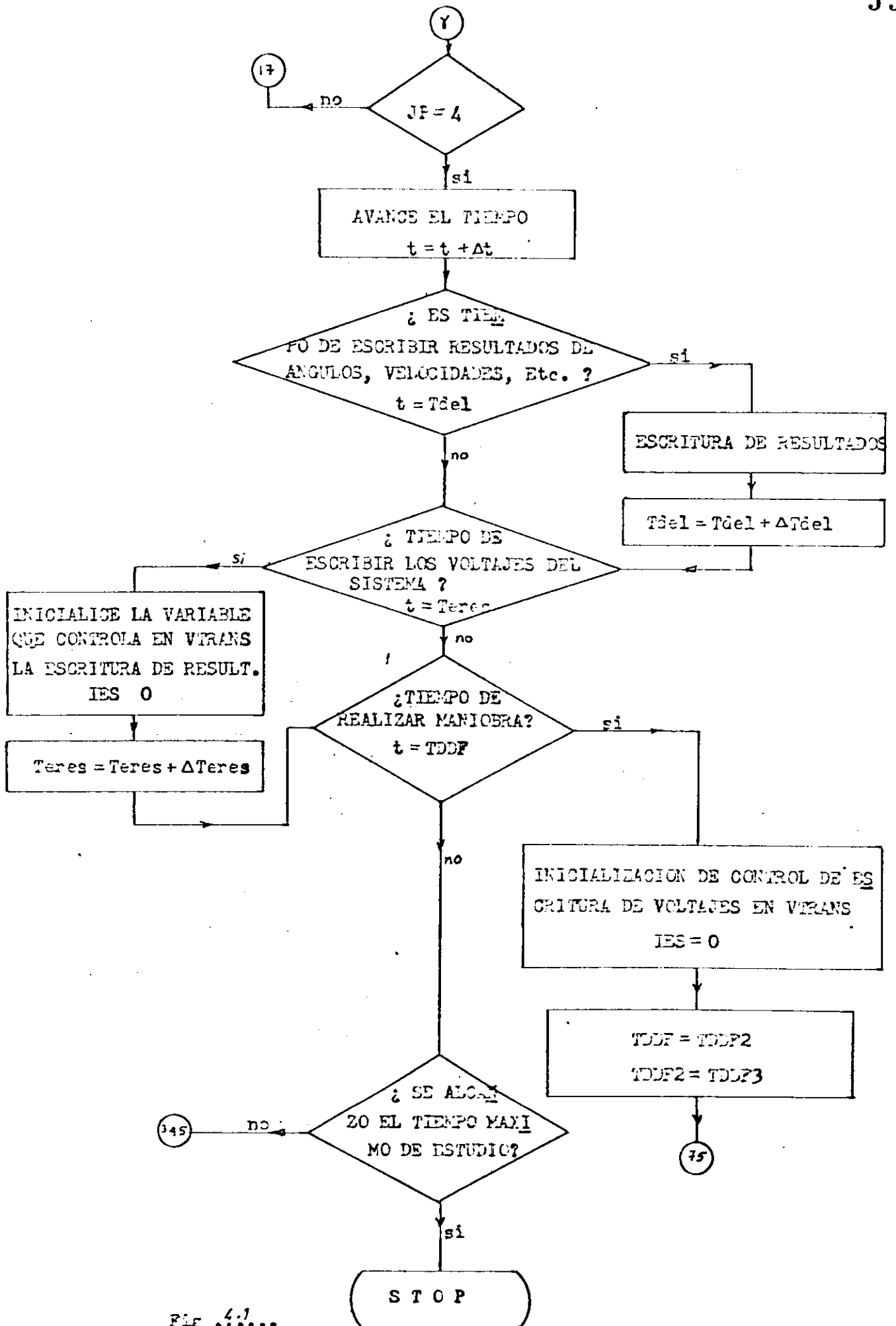
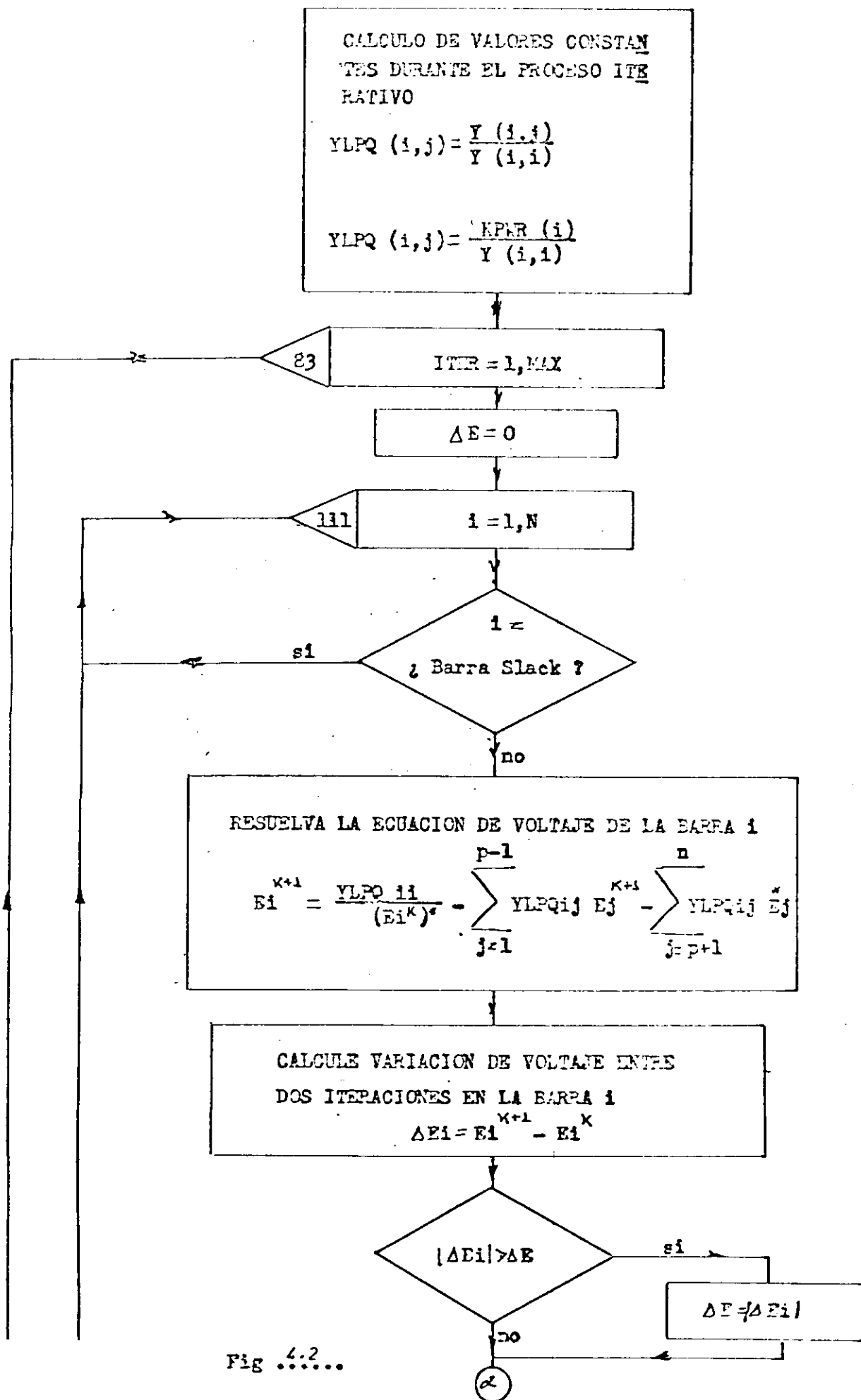


FIG. 4.1...



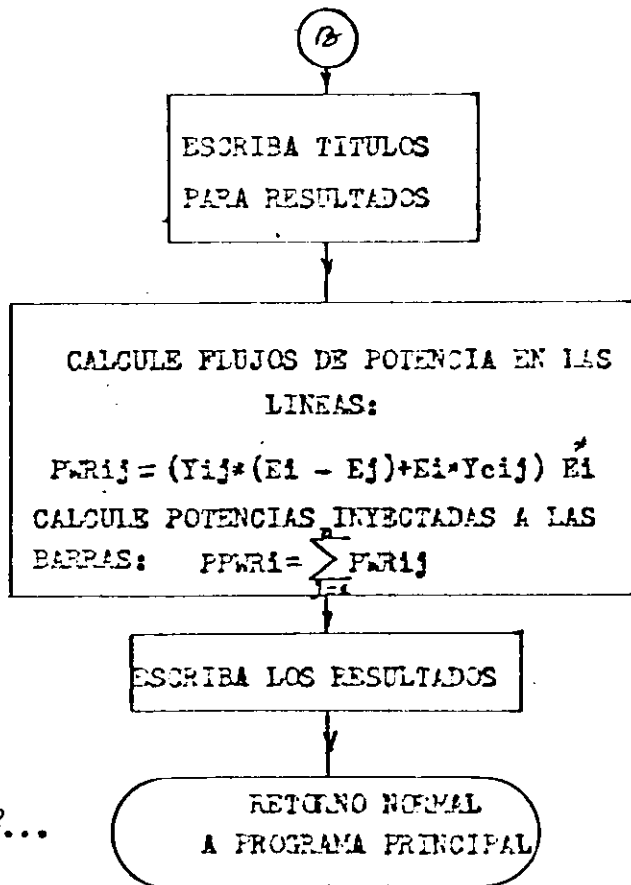
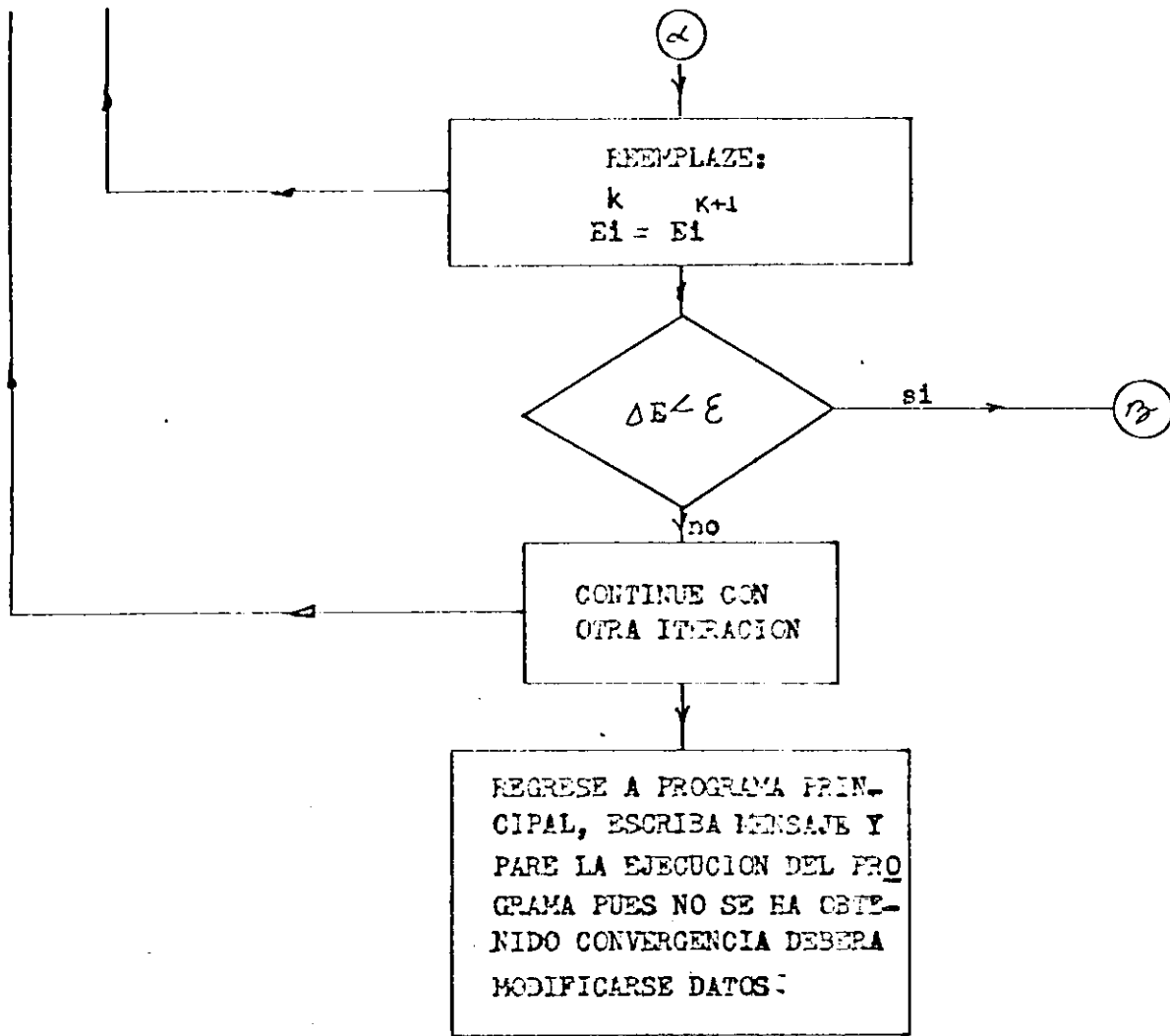


Fig 4.2...

" MIBED "

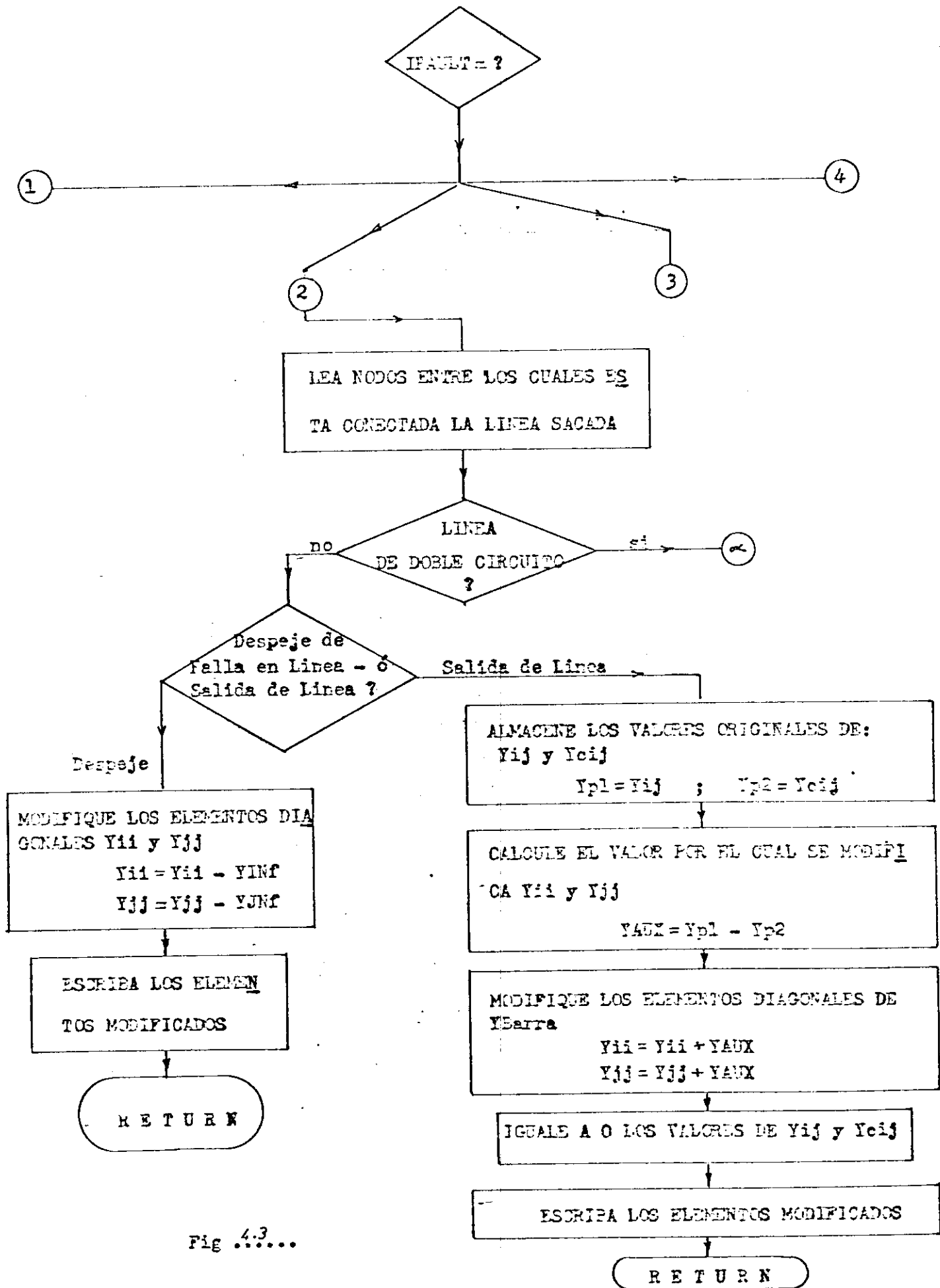


Fig 4.3...

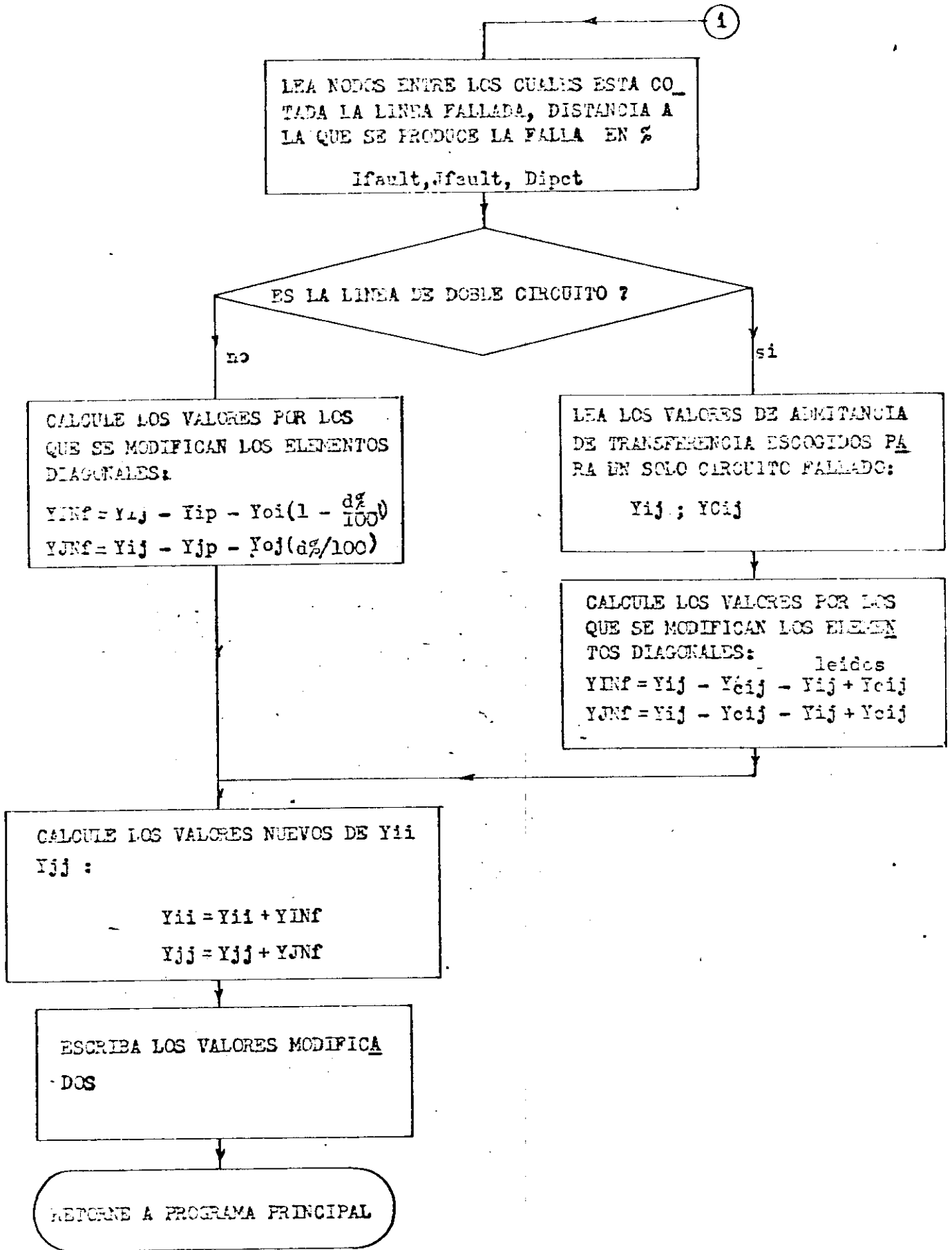


Fig .4.3...

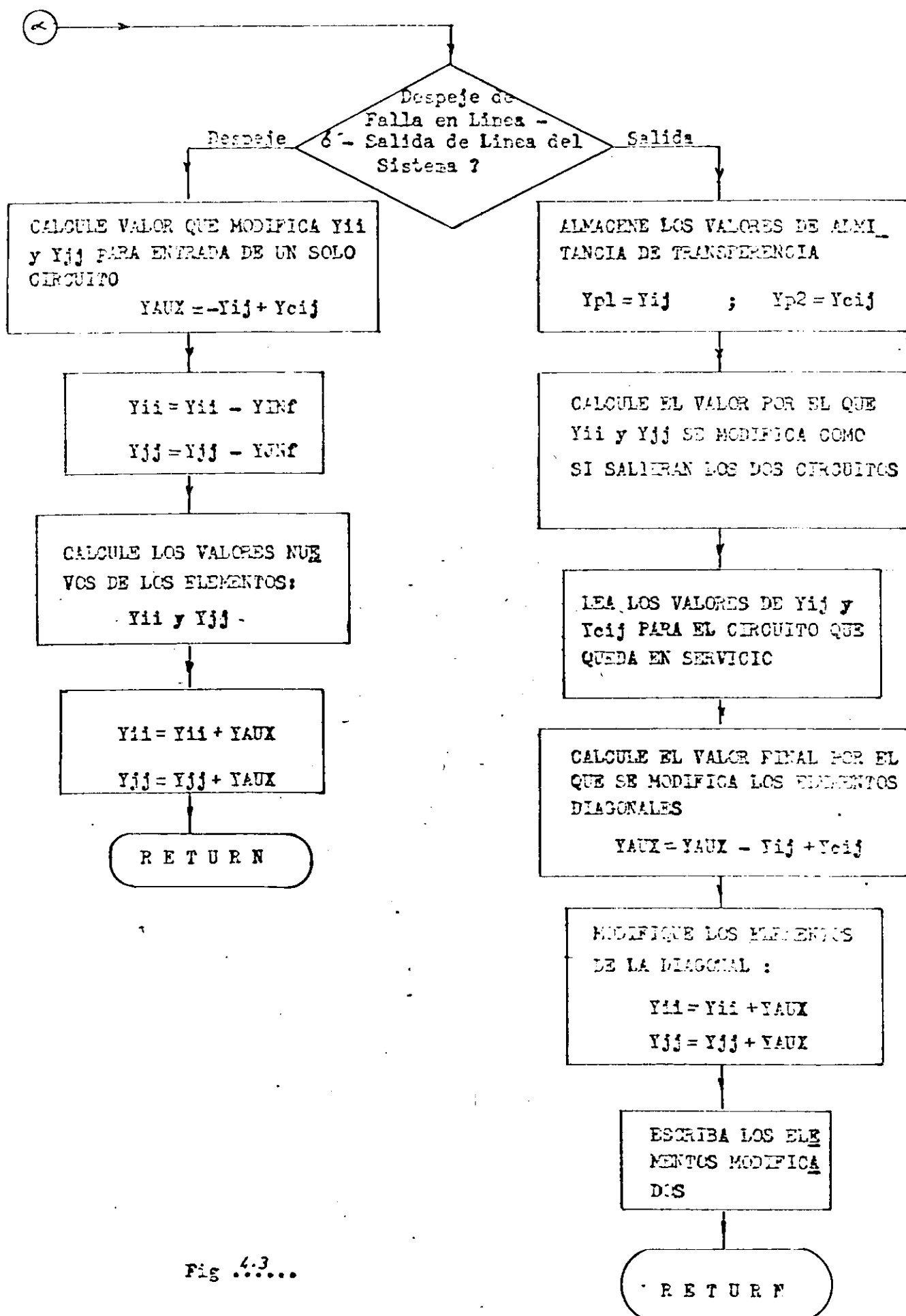


Fig 4.3....

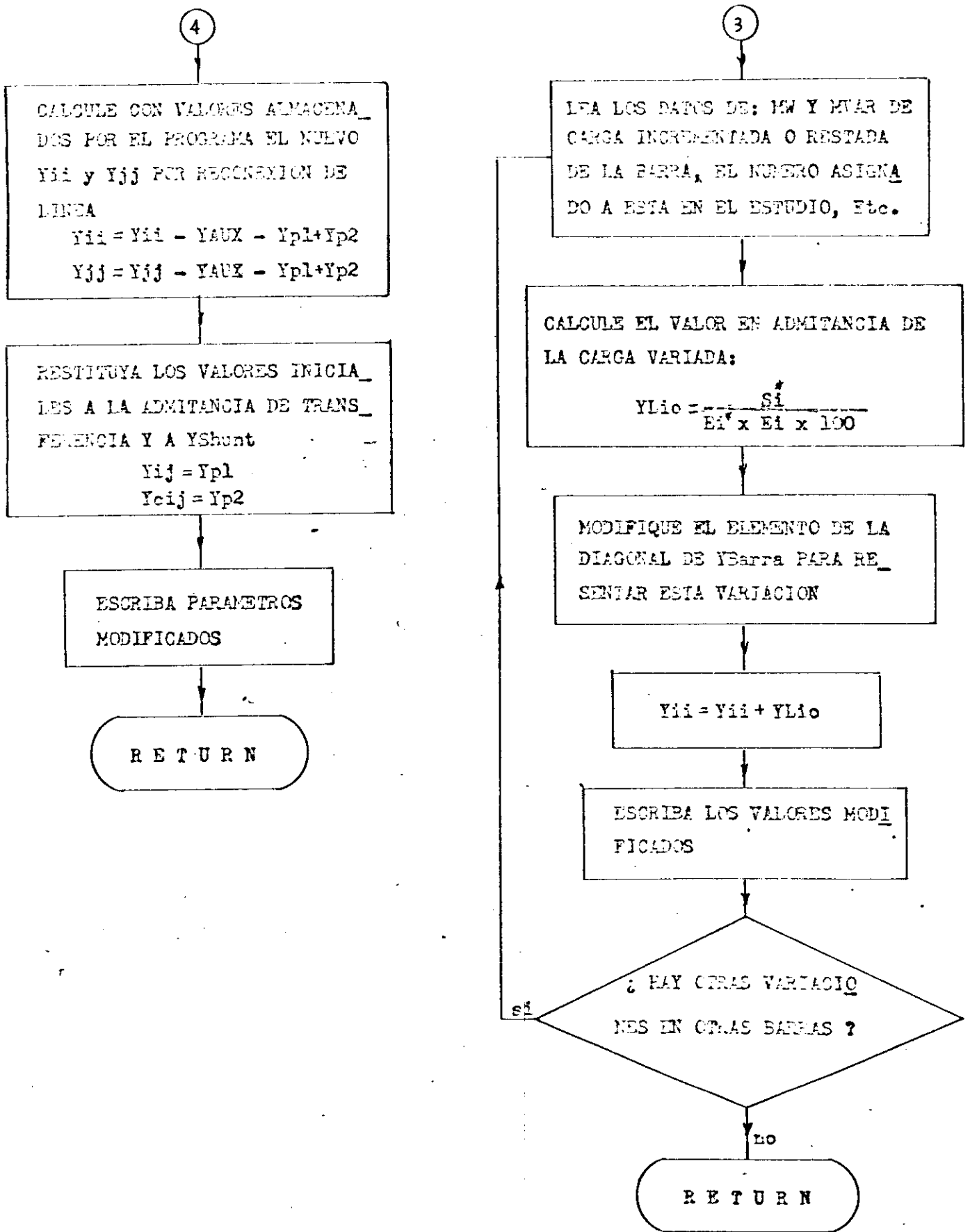


Fig .4.3...

DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA SUBROUTINA

NODCO: nodo al que esta conectado el Generador

JJJ, III: nodos entre los cuales esta conectado la linea donde se realizo manobra o disturbio

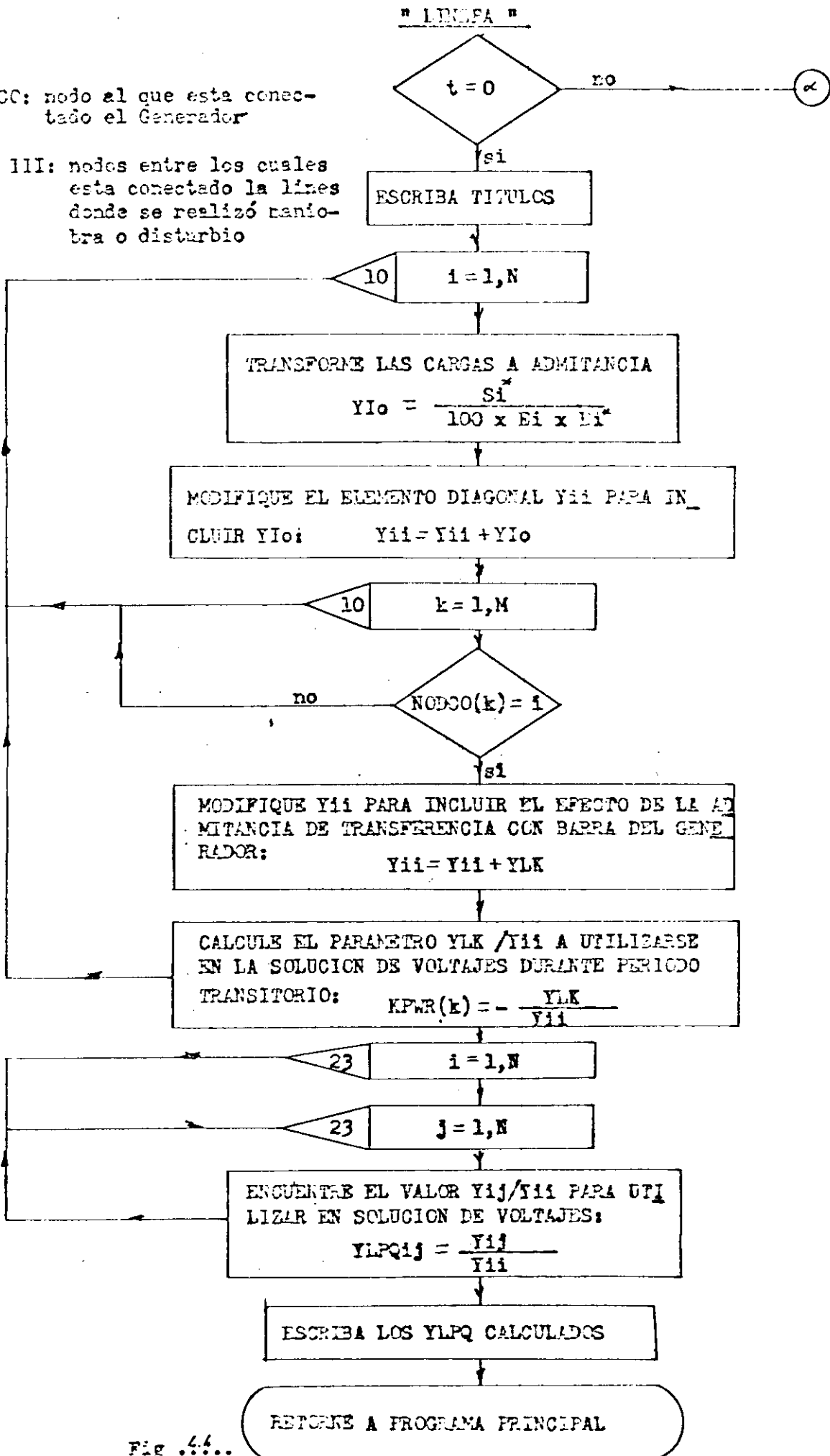


Fig .4.4.

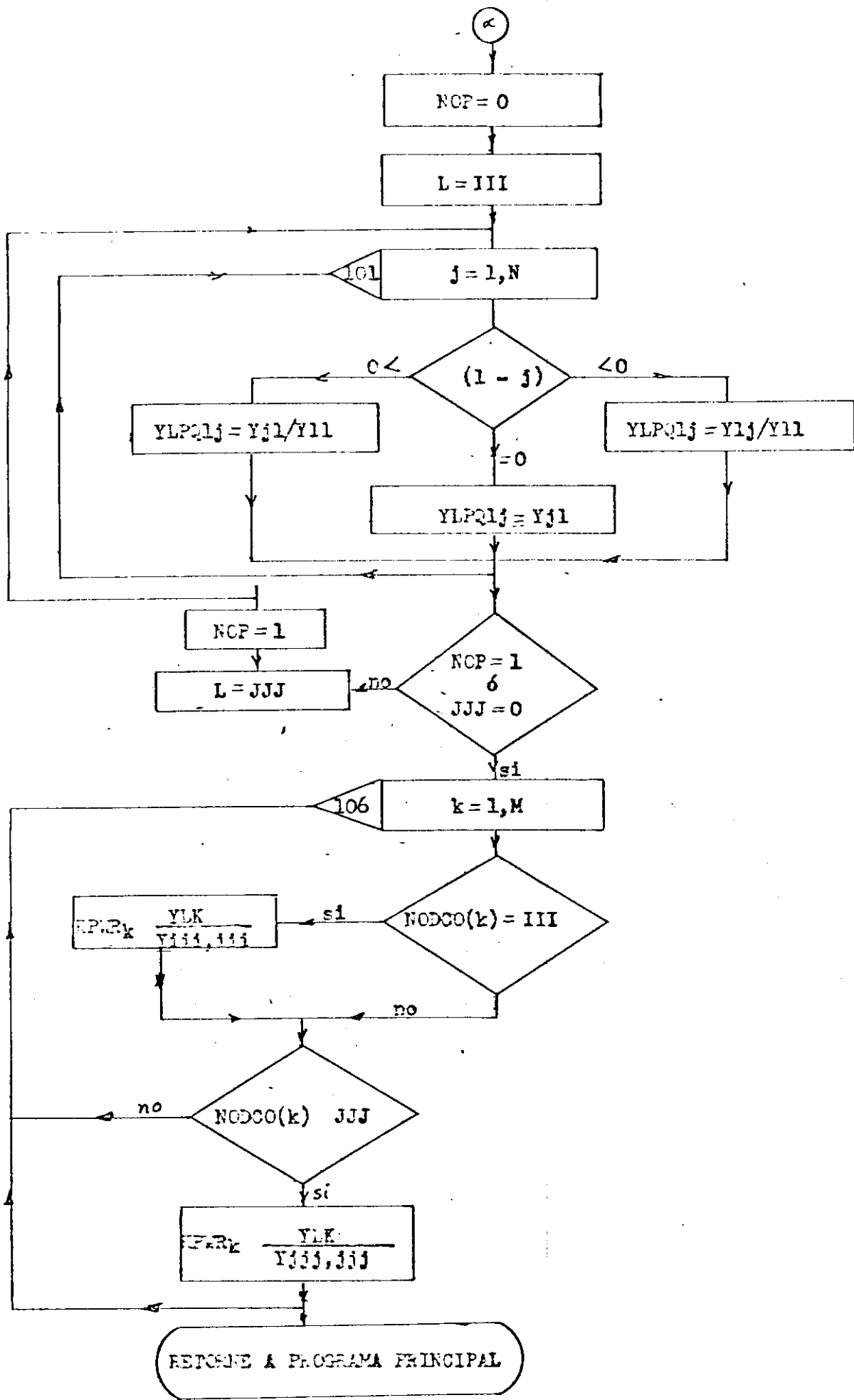


Fig .4.4....

" VAIN "

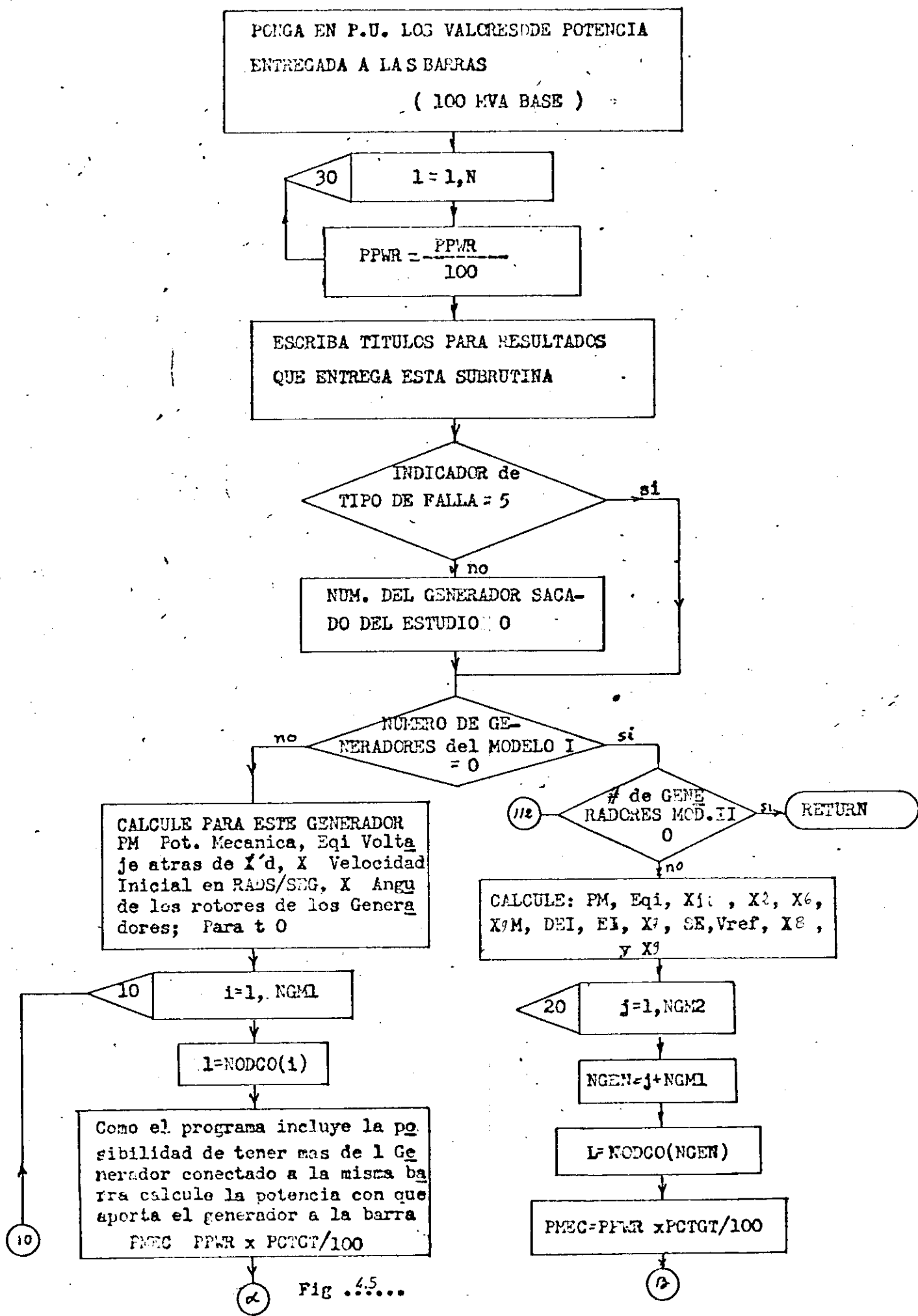


Fig .4.5....

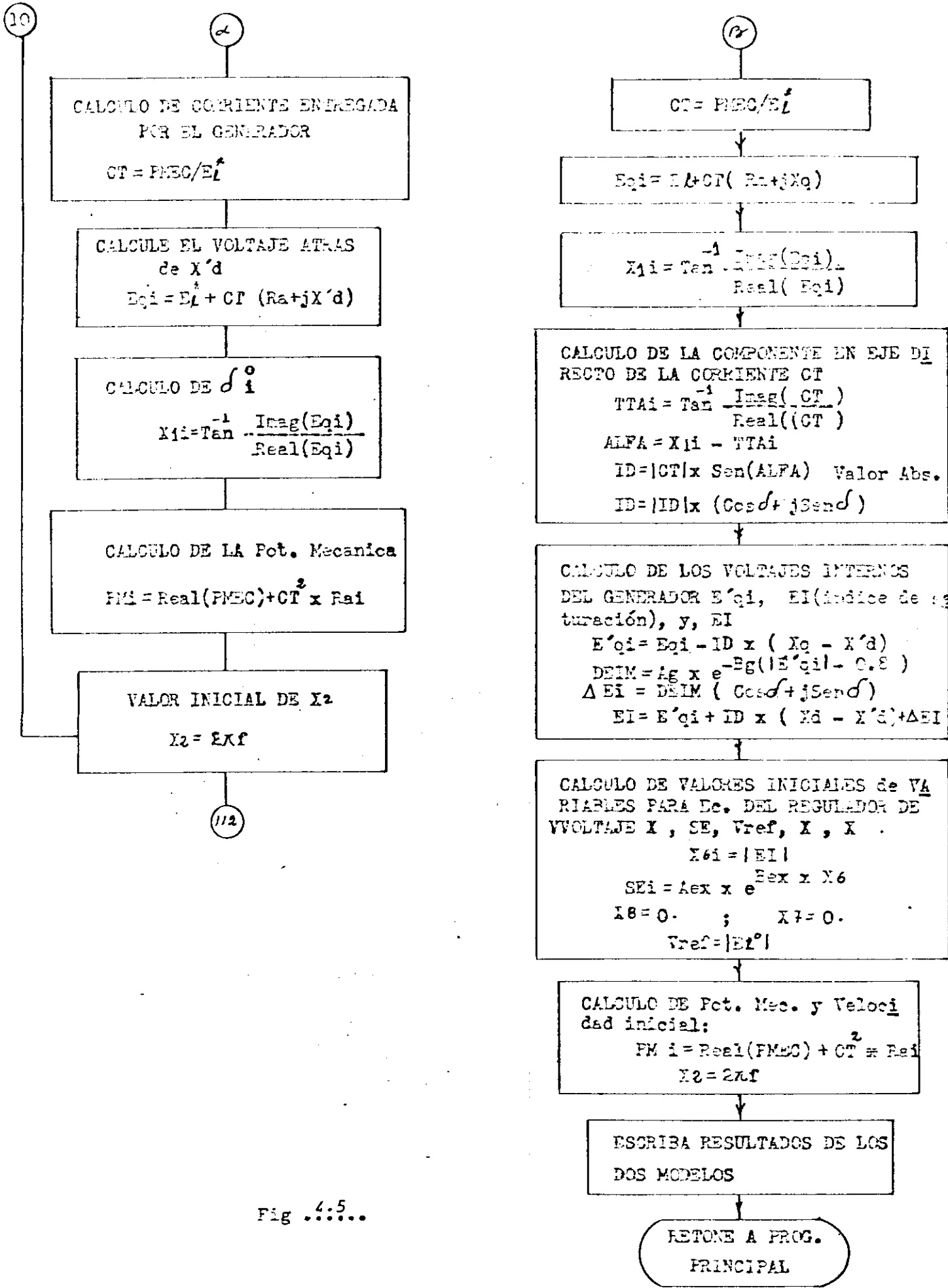


Fig .4:5...

" VIRAS "

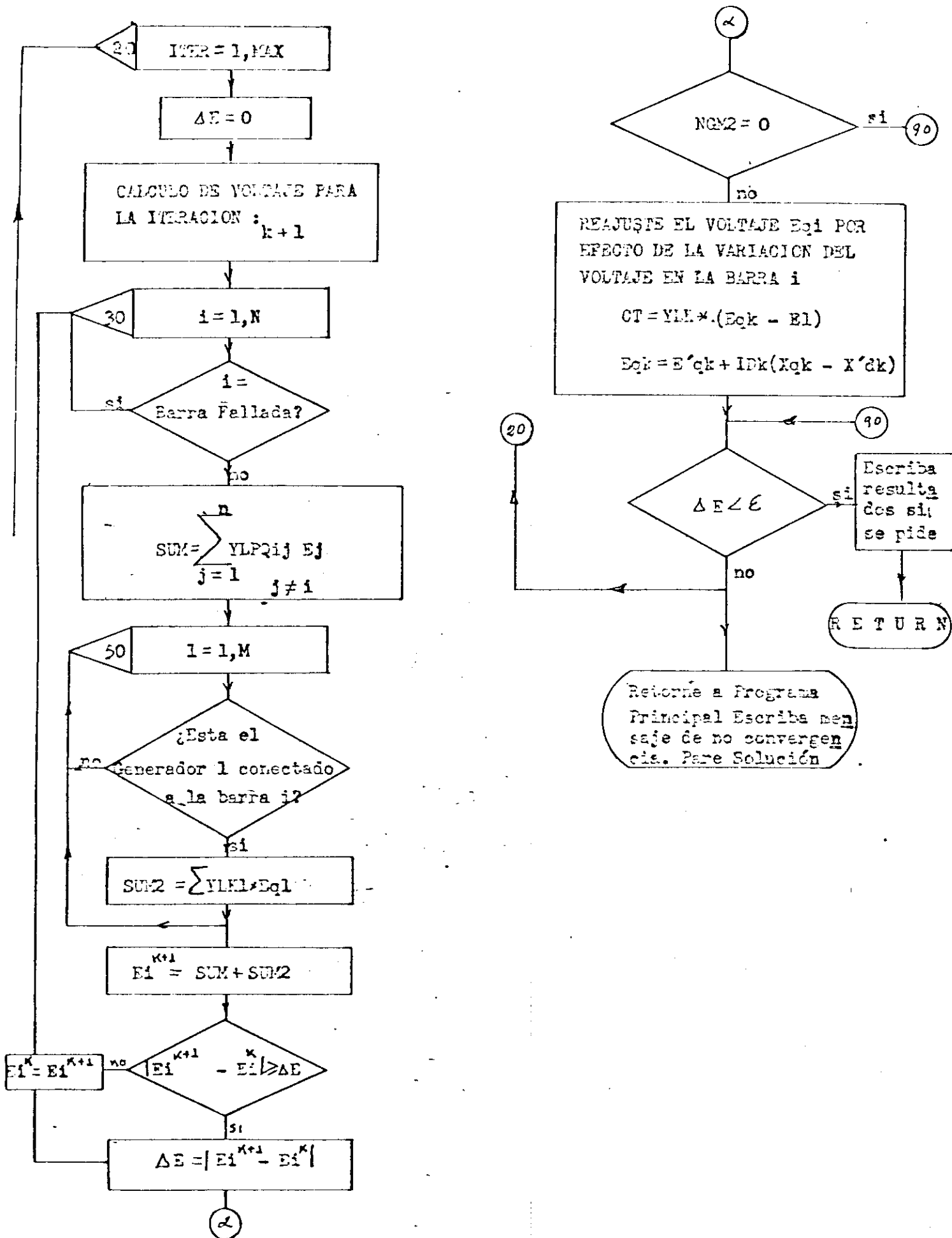


Fig 4.6.

" POTEN "

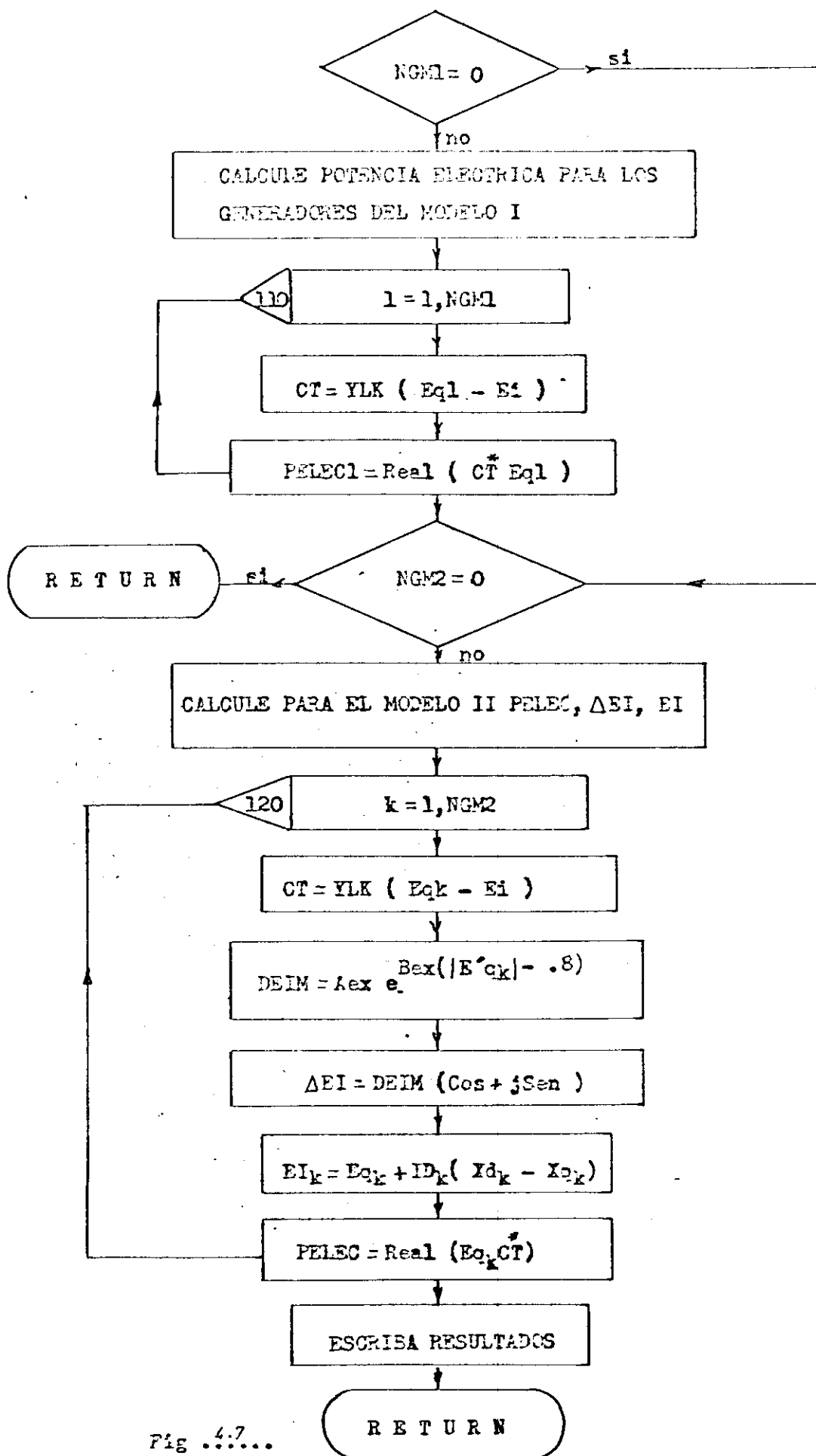


Fig .4.7....

▪ RAUTTA ▪

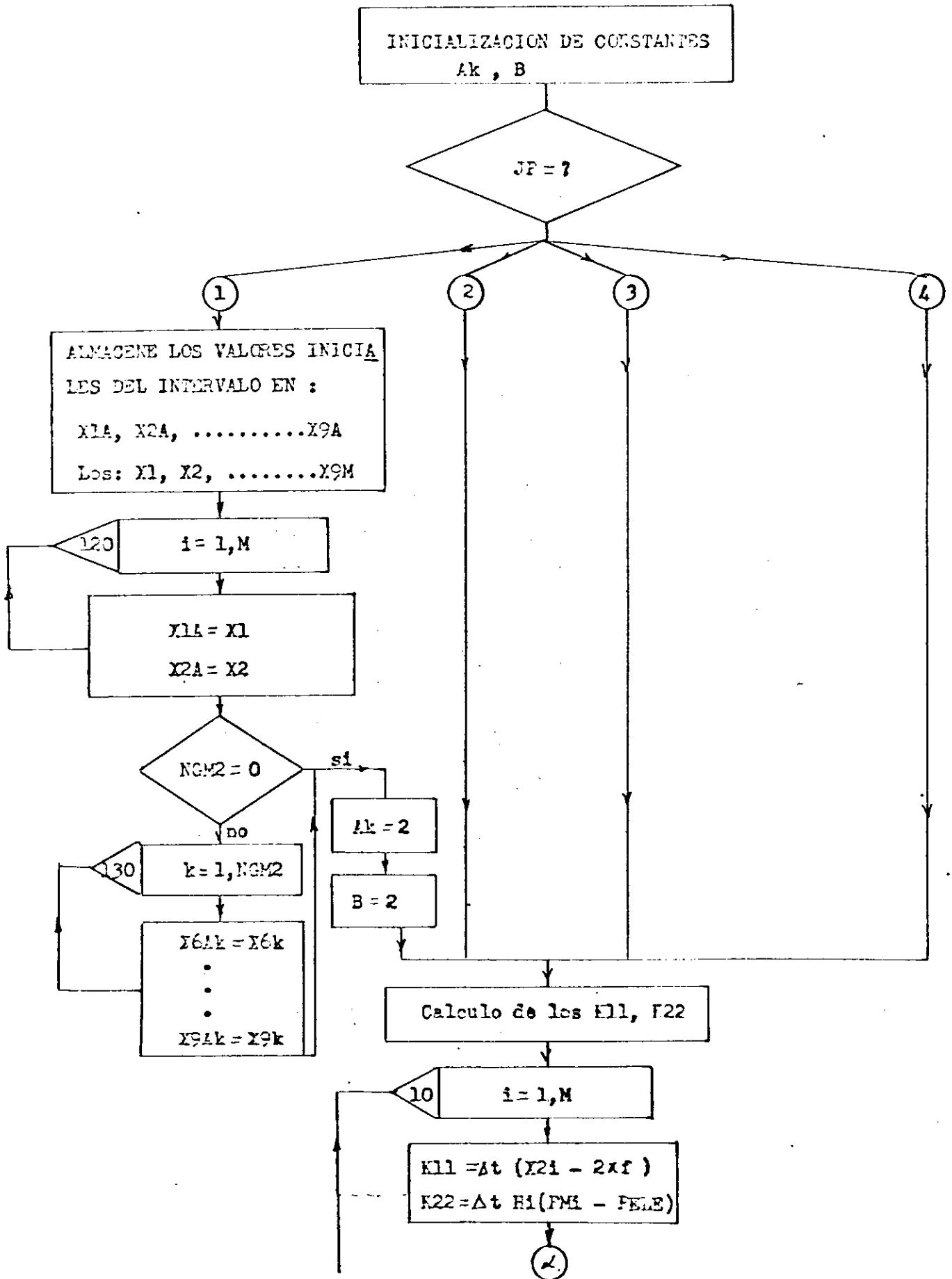


Fig 4.8...

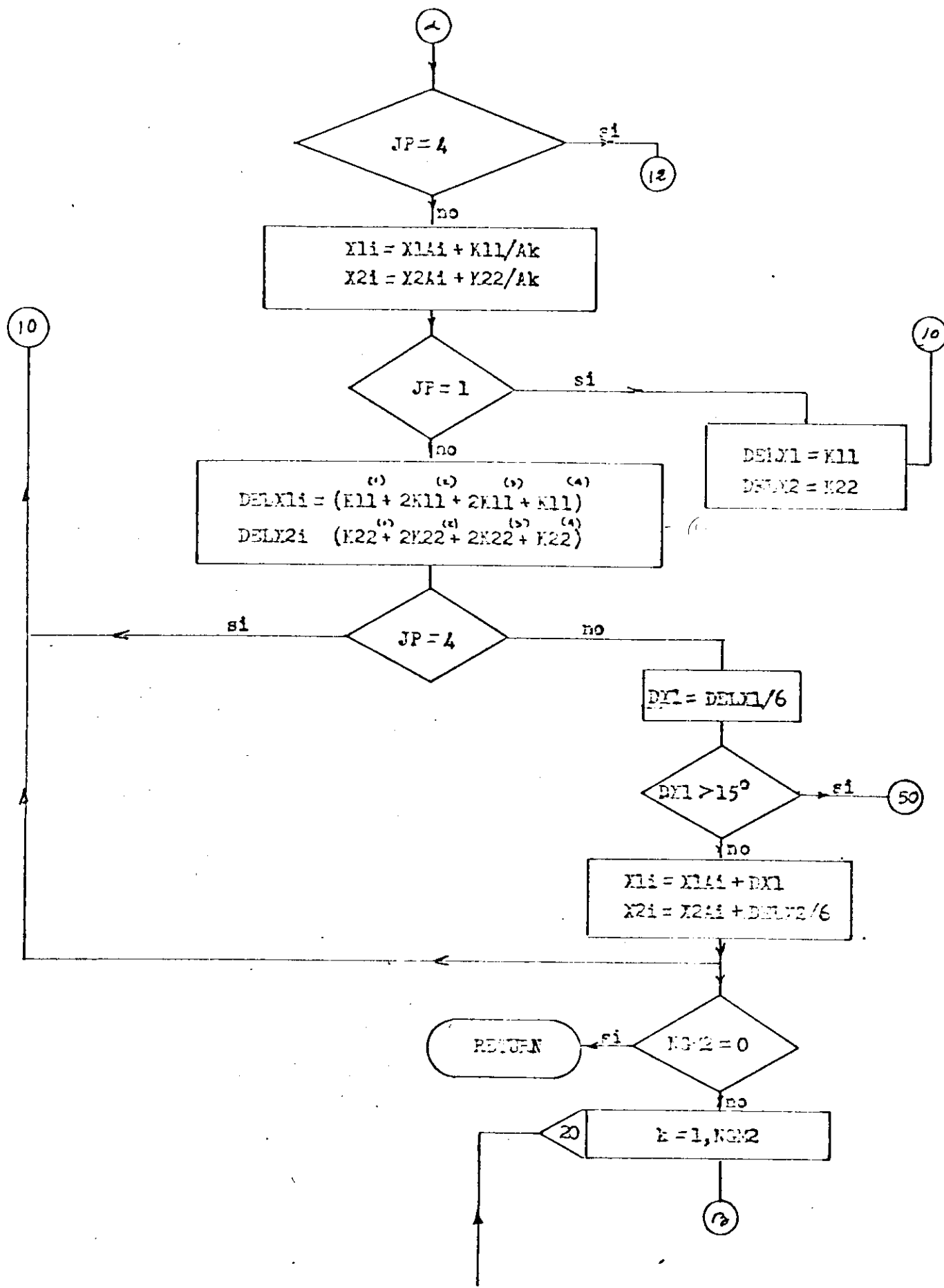


Fig .4.8..

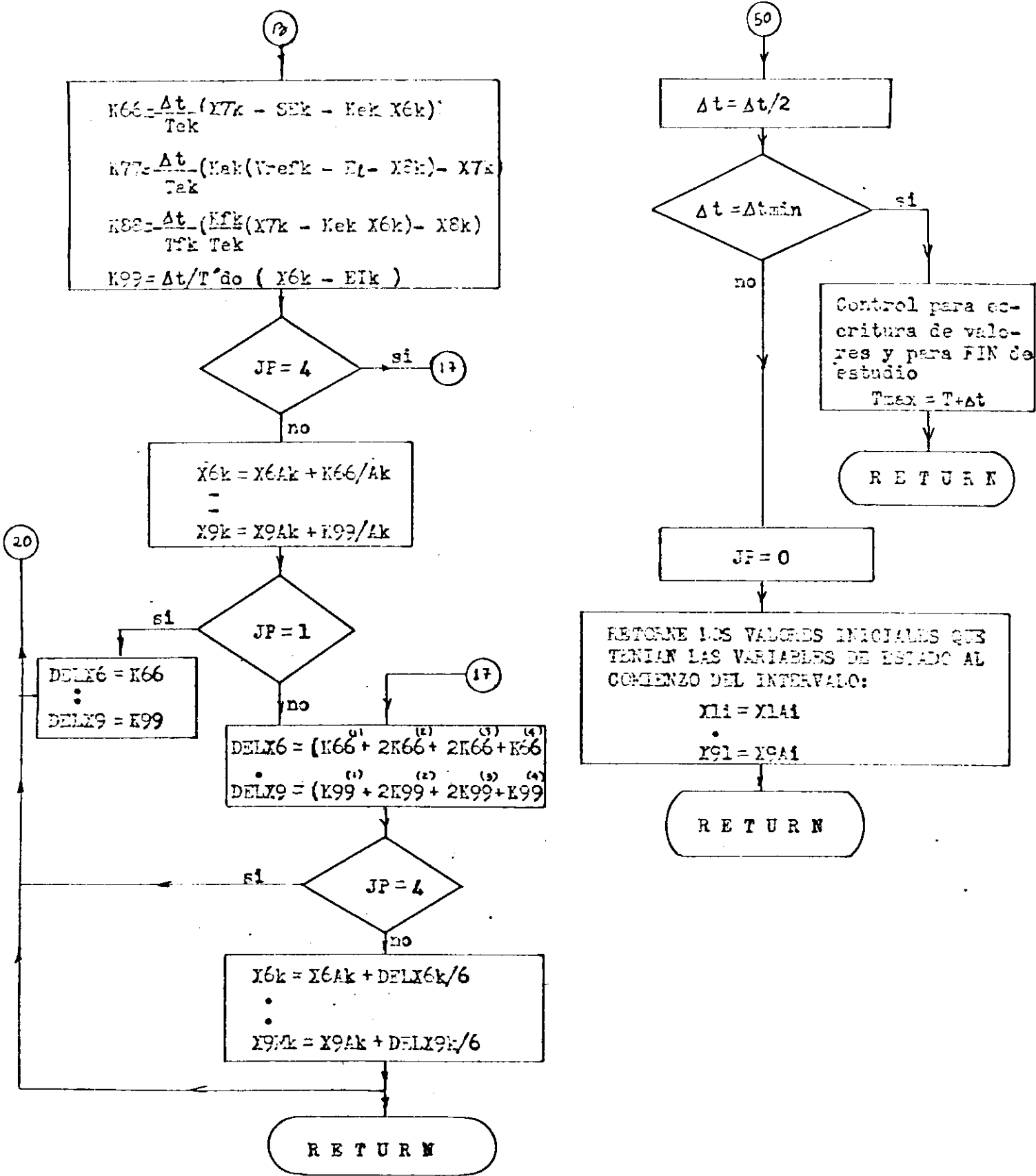


Fig .4.8...

" EIGEN "

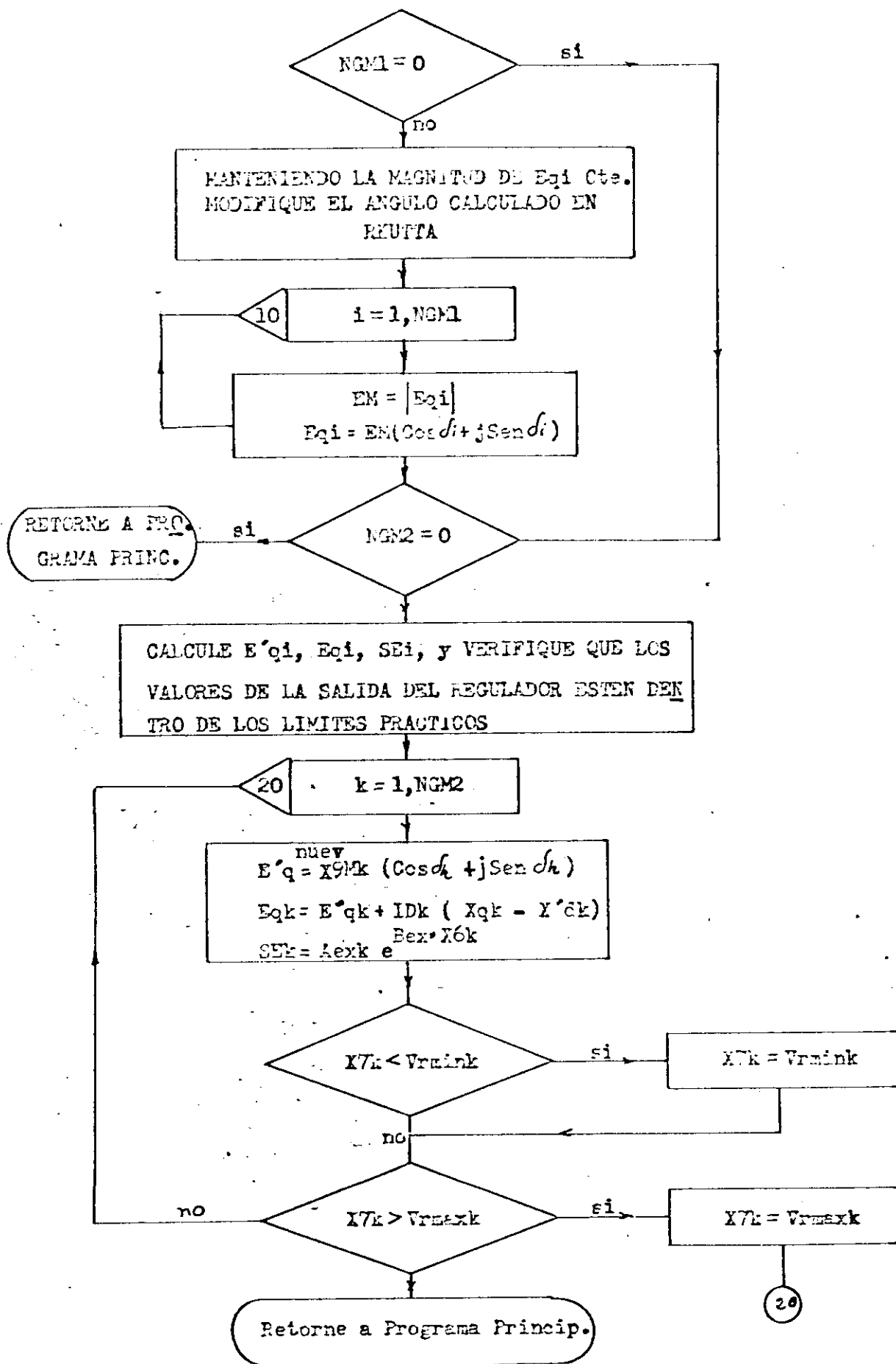


Fig 4.9

4.2 MANUAL DE USO DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA UTILIZANDO
PARA LA SOLUCION DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES
EL METODO DE RUNGE - KUTTA

El programa motivo del presente trabajo se ha realizado tratando de usar los datos más comunes y que presenten poca dificultad para obtenerse, el orden en que deberá prepararse el paquete de datos es el siguiente:

- a) - 2 Tarjetas de identificación del trabajo.
- b) - 1 Tarjeta de datos generales con información a utilizarse en flujos de carga.
- c) - Datos de líneas y/o transformadores
- d) - Datos de barras
- e) - 1 Tarjeta con número de generadores de cada modelo de máquina disponible.
- f) - Datos de generadores
- g) - Datos de reguladores de voltaje de los generadores (si se utiliza el modelo II).
- h) - 1 Tarjeta con información de tiempos: máximo de estudio, intervalo de integración, de despeje, de fallas o maniobras, etc.
- i) - 1 Tarjeta de control para cambiar los valores utilizados en flujo de carga inicial.
 - 1 Tarjeta con los parámetros utilizados especialmente en la solución de voltaje durante el período transitorio.
- j) - Tarjetas para indicar el tipo de falla o maniobra a simularse.
 - Tarjeta con información complementaria si el tipo de falla o maniobra así lo necesita.

A continuación detallamos la información a perforarse en los tipos de tarjeta arriba mencionados.

4.2.1 CAPACIDAD:

Este programa puede procesar sistemas de potencia cuyo número de barras no exceda a 60 y maneja hasta 30 generadores entre los dos modelos disponibles, como las admitancias de las líneas no se ha almacenado en forma de tablas sino que se guarda en forma de matriz trian-

gular inferior, no se especifica el número máximo de estas.

a) IDENTIFICACION DEL TRABAJO (2 TARJETAS)

Las primeras dos tarjetas en el bloque de datos deberá perforarse cualquier leyenda que servirá de identificación del estudio y que serán impresos por el programa al comienzo de cada página.

Puede utilizarse las 80 columnas de las dos tarjetas, en caso de no desearse este título debe incluirse necesariamente las dos tarjetas, que para el caso descrito serán dejadas en blanco.

VARIABLE NOMBRE	TIPO	COLUMNAS	PUNTO EN COL.	DESCRIPCION
Título	Literal	1 - 80	-	2 Tarjetas identificación del estudio.

b) DATOS GENERALES A UTILIZARSE EN FLUJO DE CARGA

Se incluiría necesariamente esta tarjeta que contiene información sobre el número de barras, tolerancia máxima aceptada, número de iteraciones máxima, para obtener la tolerancia indicada, factor de aceleración aplicado tanto a la parte real como a la imaginaria del voltaje con el fin de hacer más rápida la convergencia, sobre este último punto debemos indicar que se ha obtenido resultados satisfactorios con el factor de aceleración de 1.4 . La información detallada de como perforar esta tarjetas está incluida a continuación.

VARIABLE NOMBRE	TIPO	COLUMNAS	PUNTO	DESCRIPCION
N	Entero	1 - 3	-	Número de barras del sistema a estudiarse; <u>no mayor de 60.</u>
NLIN	Entero	4 - 6	-	Número de líneas del sistema.
EPS	Real	7 - 16	8	Tolerancia que se utiliza como indicador de la obtención de convergencia. En flujo de carga antes del disturbio.
MAX	Entero	17 - 19	-	Número máximo de iteraciones para obtener convergencia.
FAC	Real	20 - 25	23	Factor de aceleración.

(1) Para facilitar el trabajo del usuario se incluirá una hoja de codificación con la forma en que debe perforarse los datos.

c) DATOS DE LINEAS Y/O TRANSFORMADORES

Se debe incluir una tarjeta por cada línea o transformador en estudio, se ha tratado en lo posible de utilizar el formato normal en casi todos los programas de flujo de potencia disponibles, debe señalarse que los datos deben estar sea en p.u. o % como se indique pero en una potencia base de 100 MVA. El detalle de la presentación de los datos se da a continuación:

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA DEP. DE POTENCIA
 PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA

GUIA PARA LA PERFORACION DE DATOS

IDENTIFICACION DEL TRABAJO (DOS TARJETAS)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

DOS TARJETAS CON LA IDENTIFICACION DEL CASO ESTUDIADO. USE LAS 80 COLUMNAS.

DATOS GENERALES A UTILIZARSE EN FLUJO DE CARGA (UNA TARJETA)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

N IN/LIN EPS MAX FAC

DATOS DE LINEAS Y TRANSFORMADORES (100 MVA POTENCIA BASE) UNA TARJETA POR CADA LINEA

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

1 J Ra% X% X.P.U.

TARJETA PARA CONTROL DE FLUJO DE CARGA (UNA TARJETA)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

IFR

VARIABLE		COLUMNAS	PUNTO	DESCRIPCION
NOMBRE	TIPO			
I	Entero	3 - 5	-	Nodo de origen de la línea o transformador
J	Entero	8 - 10	-	Nodo de llegada de la línea o transformador.
Ra	Real	13 - 17	15	Resistencia en el % de la línea o transformador. Potencia base 100 MVA.
Xd	Real	18 - 22	20	Reactancia en % de la línea, o transformador. Potencia base 100 MVA
Yc	Real	27 - 30	28	Suceptancia capacitiva total de la línea o transformador en P.U. 100 MVA base.

TARJETA PARA CONTROL DE FLUJO DE CARGA

En caso de poseer ya los resultados de un estudio de flujo de potencias, no se justifica realizarlo, para esto el usuario deberá indicarlo con la siguiente tarjeta de control que debe colocarse antes de las tarjetas con los datos de barra.

VARIABLE		COLUMNAS	PUNTO EN COL	DESCRIPCION
NOMBRE	TIPO			
IFR	Entera	2	-	1 si no se utiliza el flujo de carga del programa . 0 si se emplea este.

d.1 DATOS DE BARRA CON RESULTADOS DE FLUJO DE CARGA

Si IFR = 1 debe incluirse una tarjeta para cada barra, con la información siguiente:

VARIABLE					
NOMBRE	TIPO	COLUMNAS	PUNTO	DESCRIPCION	
NB	Entero	3 - 5	-	Número asignado en el estudio a la barra.	
NBARRA	Literal	6 - 13	-	Nombre asignado a la barra en el estudio.	
E	Real	15 - 19	16	Voltaje de la barra obtenida en flujo de carga.	
ANG	Real	20 - 24	21	Angulo del voltaje en grados.	
MW GEN	Real	25 - 32	29	Megavatios de generación entregados al sistema	
MVAR GEN	Real	33 - 39	36	MVAR de generación de la barra	
MW CARGA	Real	40 - 47	44	Megavatios de carga en la barra.	
MVAR CARGA	Real	48 - 54	51	MVARs de carga en la barra.	

d.2 DATOS DE BARRA

Cuando se emplea la subrutina para realizar el flujo de carga antes del disturbio, a más de la tarjeta de control con un 0 en la columna dos, deberá incluirse una tarjeta por cada barra con la información que se detalla a continuación:

VARIABLE				
NOMBRE	TIPO	COLUMNAS	PUNTO	DESCRIPCION
NB	Entero	3 - 5	-	Número asignado en el estudio a la barra.
NBarra	Literal	6 - 13	-	Nombre asignado a la barra en el estudio.
COD	Entero	14	-	Tipo de barra COD = 0 Barra de carga COD = 1 Barra Slack
E Real	Real	15- 18	17	Voltaje inicial de la barra en P.U. parte real
E Imag	Real	19 - 22	21	Parte imaginaria del voltaje inicial de la barra en P.U.
MW GEN	Real	23 - 27	26	Megavatios de generación de la barra.
MVAR GEN	Real	28 - 33	32	MVAR de generación de la barra.
MW Carga	Real	34 - 38	37	Megawatios de carga en la barra
MVAR Carga	Real	39 - 44	43	MVARS de carga en la barra.

e) NUMERO DE GENERADORES DE LOS 2 MODELOS DISPONIBLES (1 TARJETA)

Por tener cada modelo representado en el programa en muchos procesos de cálculo trato diferente, se deberá perforar con obligación esta tarjeta, cuyo formato se incluye a continuación.

VARIABLE				
NOMBRE	TIPO	COLUMNAS	PUNTO	DESCRIPCION
NGM1	Entera	1 - 3	-	Número de generadores que emplean Modelo I
NGM2	Entera	4 - 6	-	Número de generadores que emplean Modelo II

Se recuerda al usuario que el valor de $NGM1 + NGM2$ no debe ser mayor a 30, pues la capacidad de este programa así lo limita.

f) DATOS DE GENERADORES

Se deberá incluir una tarjeta por cada generador en el Sistema, para la lectura de datos de generadores el programa trata en forma diferente a los del modelo I; voltaje constante atrás de la reactancia transitoria, y a los del modelo II que incluye efecto de saliencia, variación de densidad de flujo, y en el que es factible incorporar el efecto del funcionamiento del regulador de voltaje. El diagrama fasorial de los dos modelos se presentan en las figuras (1 (b) y 4) del capítulo I de este trabajo.

Los datos deberán ser perforados siguiendo el siguiente formato:

f.1) DATOS PARA GENERADORES DE MODELO I ($SINGM1 > 0$)

VARIABLE				
NOMBRE	TIPO	COLUMNAS	PUNTO	DESCRIPCION
NODCO	Entero	1 - 3	-	Barra a la que está conectada el generador.
N Barra	Literal	4 - 11	-	Identificación que se desee para el generador.
H	Real	12 - 17	15	Valor de la constante de inercia en MW-SEG/MVA
Ra	Real	18 - 23	21	Resistencia de armadura del generador en P.U., 100 MVA Base
Xds	Real	24 - 29	27	Reactancia transitoria en P.U., 100 MVA Base.
PCTGT	Real	30 - 35	33	Porcentaje de generación con el que aporta el generador Ej: Si hay un sólo generador PCTGT debe ser 100%, para 2 50% etc.

CONSTANTE DE INERCIA Y PARAMETROS TIPICOS DE MAQUINAS SINCRONICAS

La constante de inercia H está definida por la siguiente fórmula dada para 100 MVA Base, Ref. (15)

$$H = (.231) (WR^2) (RPM)^2 (10^{-11})$$

Donde

WR^2 es la inercia in (Libras - pie)² de el generador y la máquina motriz combinada, referida a la velocidad del generador, RPM es la velocidad sincrónica del generador en revoluciones por minuto.

Quando no se disponga de los datos de WR^2 se puede utilizar las curvas presentados en la referencia (4) que estan calculadas para máqui-

nas cuyos valores de $W R^2$ corresponden a diseños normales de generadores con el afán de facilitar al usuario, reproducimos estas curvas a continuación (fig. 4.2.1 y 4.2.2)

Se incluye además la tabla 4.2.1 con valores promedio de los parámetros de las máquinas sincrónicas.

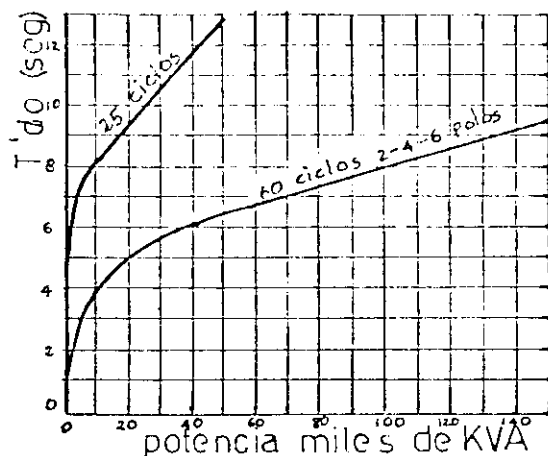
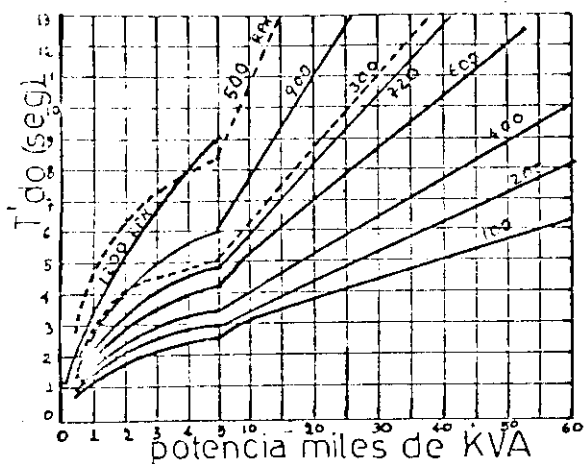
f.2) DATOS PARA GENERADORES DE MODELO II (si $NGM2 > 0$)

NOMBRE	TIPO	COLUMNAS	PUNTO	DESCRIPCION
NODCO	Entero	1 - 3	-	Igual que modelo I
N Barra	Literal	4 - 11	-	Igual que modelo I
H	Real	12 - 17	15	Igual a modelo I
Ra	Real	18 - 23	21	Igual a modelo I
Xq	Real	24 - 29	27	Reactancia sincrónica en el eje en cuadratura en P.U. 100 MVA - Base
Xds	Real	30 - 35	33	Igual a modelo I
Xd	Real	36 - 41	39	Reactancia sincrónica en el eje directo, en P.U. 100 MVA Base
PCTGT	Real	42 - 47	45	Igual a modelo I
TDO	Real	48 - 54	52	Constante de tiempo de circuito abierto en segundos (3).
AG	Real	55 - 60	58	Constante para saturación de generador entre un valor de 0 si no desea considerar el efecto de saturación.(2)
BG	Real	61 - 66	64	Igual a AG.

(2) ΔEI

(3) Ver valores típicos de Máquinas sincrónicas, Tabla 4.2.1.

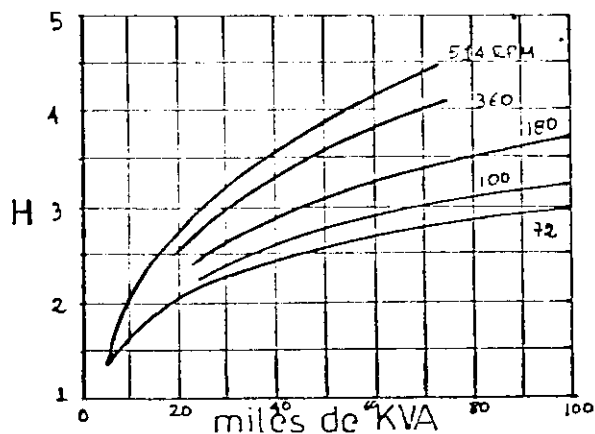
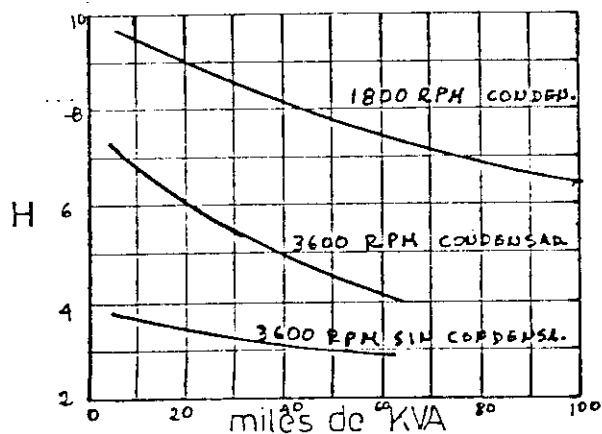
fig 4.2.1



CONSTANTES DE TIEMPO TRANSITORIA A CIRCUITO ABIERTO
 a) generadores y motores de A.C. b) turbo generadores

----- 25 ciclos
 ————— 60 ciclos

fig 4.2.2



CONSTANTES DE INERCIA

a) turbo generadores incluida la turbina

b) generadores hidraulicos tipo vertical

CONSTANTES TIPICAS DE MAQUINAS SINCRONICAS

Cuadro No 1

	1	2	3	4	5	6
	Xd	Xq	X'd	(2)	(2)	T'do
	sin saturación P.U.	Corriente Nominal P.U.	Voltaje Nominal P.U.	ra P.U.	rl P.U.	seg
Turbo Generadores	1.20	1.16	0.15	0.001-0.007	0.004-0.011	5.0
2 polos	0.95 - 1.45	0.92 - 1.42	0.12 - 0.21			
Turbo Generadores	1.20	1.16	0.23	0.001-0.005	0.003-0.008	8.0
4 polos	1.00-1.45	0.92-1.42	0.20-0.28			
Generadores y motores de polos salientes (con bobinas de amortiguamiento)	1.25	0.70	0.30	0.003-0.00150	0.005-0.020	3.0-5.0
	0.60-1.50	0.40-0.80	0.20-0.50(1)			1.5-10
Generadores y motores de polos salientes (sin bobinas de amortiguamiento).	1.25	0.70	0.30	0.003-0.015	0.005-0.020	3.0-5.0
	0.60	0.40-0.80	0.20-0.50(1)			1.5-10

(1) Unidades de alta velocidad tienden a tener bajas reactancias y viceversa
 (2) Rl y Ra varían con la potencia de la máquina, los valores límites dados son para máquinas de 50 MVA-0.5MVA

g) DATOS DE LOS REGULADORES DE VOLTAJE

Para la entrada de los datos de los reguladores se incluirá una tarjeta perforada en la forma que se indica adelante por cada regulador que esté presente en el estudio. Como para el caso de los parámetros de los generadores, se incluirá información para las constantes de los reguladores.

Se incorpora a continuación el detalle de preparación de los datos.

El modelo utilizado corresponde al modelo I presentado en la referencia (8)

NOMBRE	TIPO	COLUMNA	PUNTO	DESCRIPCION
NG	Entera	1 - 3	-	Número del generador al que pertenece el regulador
KA	Real	4 - 9	7	Ganancia del regulador de voltaje
TA	Real	10 - 15	13	Constante de tiempo del regulador
VRMAX	Real	16 - 21	19	Valor máximo del voltaje de salida del regulador en p.u.
VRMIN	Real	22 - 27	25	Valor mínimo del voltaje de salida del regulador en p.u.
KF	Real	28 - 33	31	Ganancia del circuito estabilizador del regulador

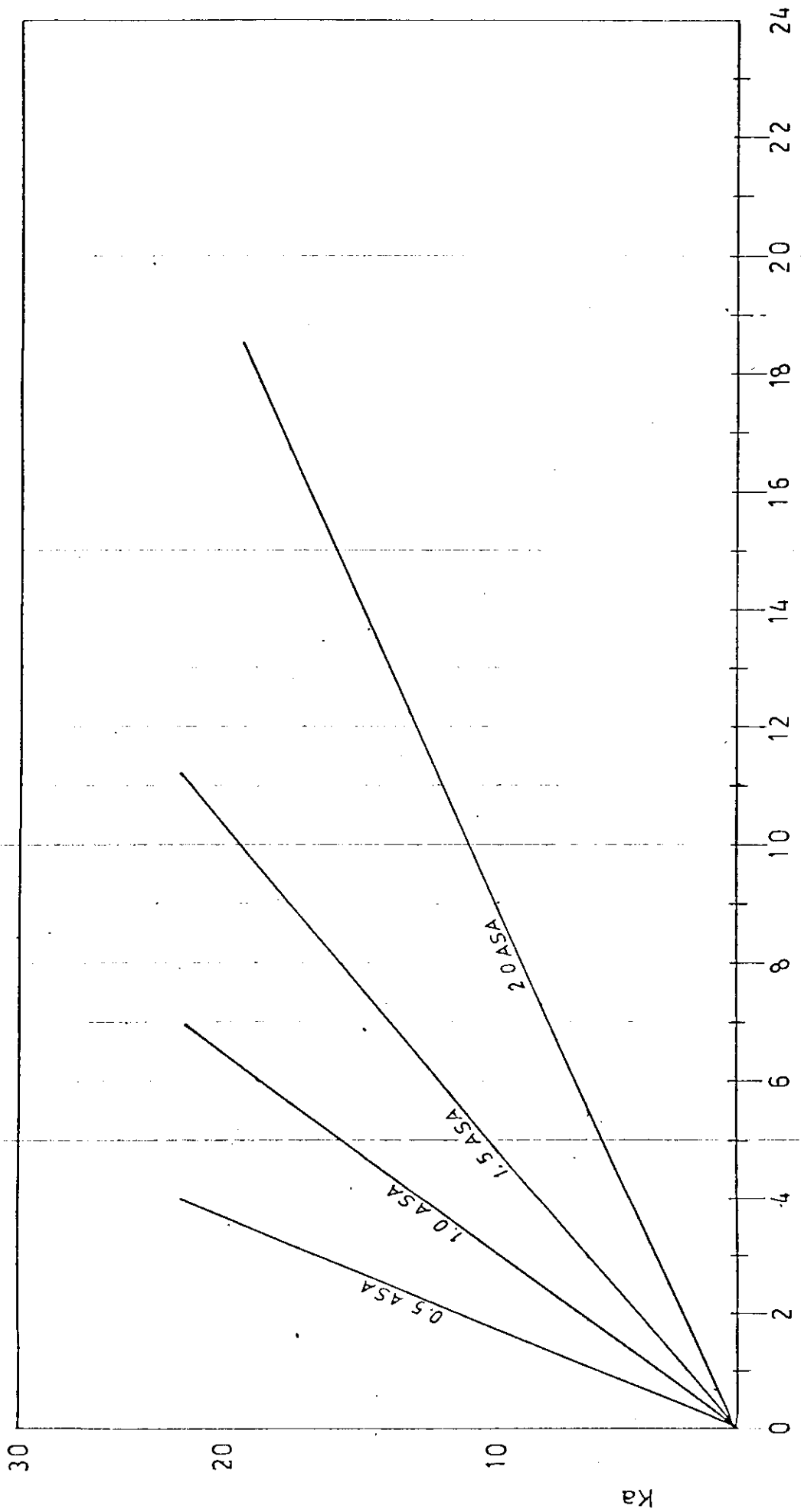


fig:4.2.4 CONSTANTE de CIRCUITO ABIERTO del GENERADOR (seg) T_{do}

VALORES de K_a para REGULADORES TIPO NA-143 (5KW), NA-101 y10

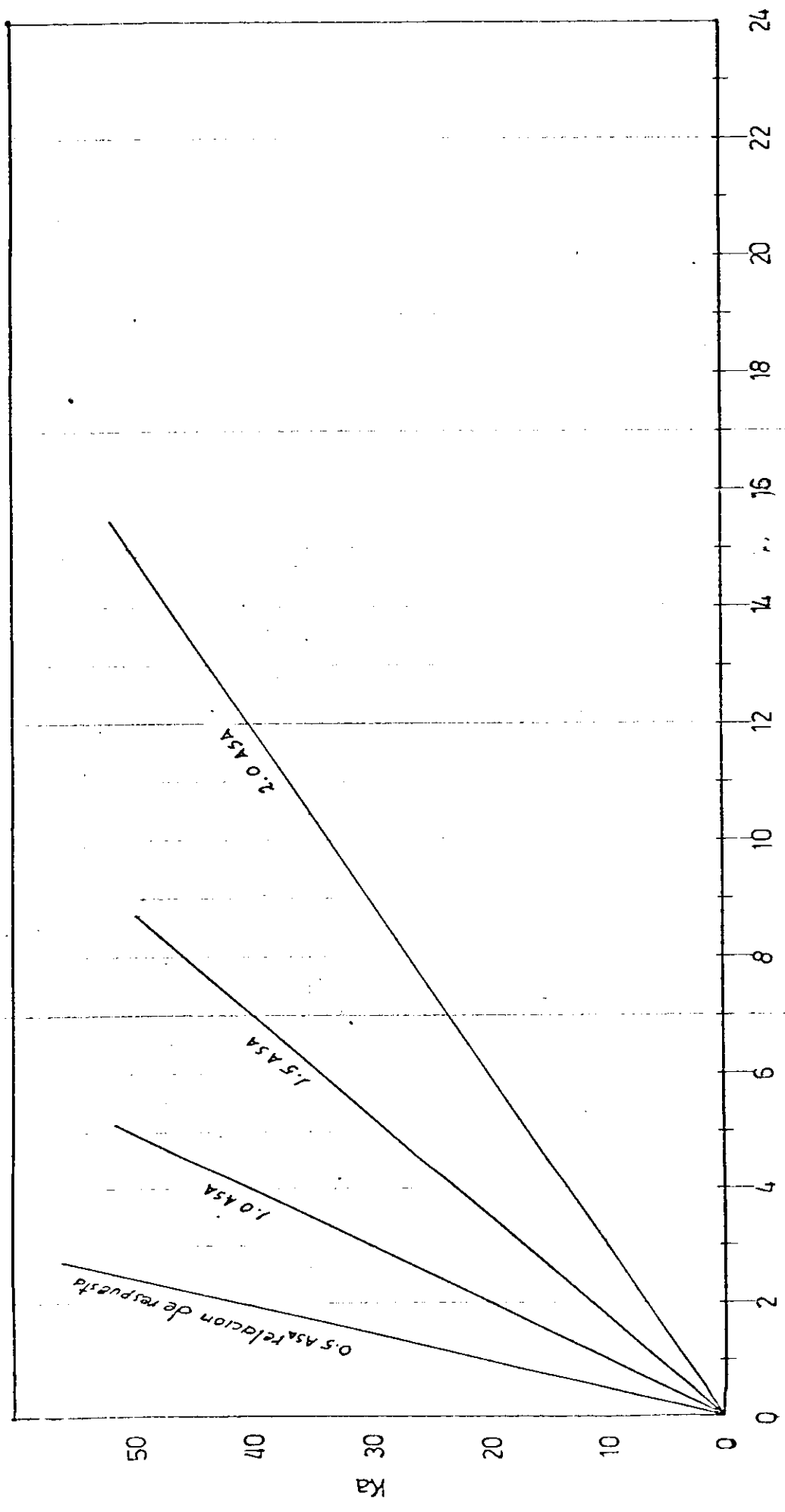


fig: 4.2.3 CONSTANTE de CIRCUITO ABIERTO del GENERADOR (seg) T_{cb}

VALORES de K_a para REGULADOR TIPO NA-143 (> 5 KW.)

CONSTANTES TIPICAS DE LOS SISTEMAS DE EXCITACION

TIPO 1 IEEE

Cuadro No. 2

TIPO DE REGULADOR	KA	TA	Vrmax	Vrmin	KE	TE	TF	KF/TF	AEX	BEX
MAG-A-STAT	400	0.05	3.5	-3.5	-0.17	0.95	1.0	0.04	0.0039	1.555
ROTOTROL	200	0.25	3.5	-3.5	-0.17	0.85	1.25	0.084	0.0039	1.555
SILVERSTAT	200	0.10	3.5	-0.05	-0.17	0.5	0.5	0.056	0.0039	1.555
TRA	400	0.05	3.5	-0.04	-0.17	0.5	0.45	0.056	0.0039	1.555
NA101	(1)	0.2	1.0	-1.0	(3)	(3)	0.35	$\frac{11.5 Te}{KA}$	(3)	(3)
NA108	(1)	0.2	1.0	-1.0	(3)	(3)	1.0	$\frac{4Te}{KA}$	(3)	(3)
NA143 Amplidyne	(1)	0.2	1.0	-1.0	(3)	(3)	1.0	$\frac{4TE}{KA}$	(3)	(3)
NA 143 Amplidyne	(2)	0.06	1.0	-1.0	(3)	(3)	1.0	$\frac{8TE}{KA}$	(3)	(3)
BRUSHLESS 3600 RPM	400	0.02	7.3	-7.8	1.0	0.8	1.0	0.03	0.12	0.8555
BRUSHLESS 1800 RPM	400	0.02	8.2	-8.2	1.0	1.3	1.0	0.03	0.059	1.1

(1) Ver figura 4.2.3

(2) Ver figura 4.2.4

(3) Ver cuadro 3

CONSTANTES TIPICAS DE SISTEMAS DE EXCITACION PARA
EXCITATRICES CON REGULADORES DE VOLTAJE CON AMPLIOYNE (NA 101, NA 108, NA 143)

Cuadro No. 3

RESPUESTA NOMINAL DE LA EXCITATRIZ	KE	TE	AEX	BEX
0.5	-0.0445	0.5	0.0016	1.465
1.0	-0.0333	0.25	0.0058	1.06
1.5	-0.0240	0.1428	0.0093	0.898
2.0	-0.0171	0.0833	0.0108	0.79

Estos valores son obtenidos de la Ref. (15)

NOMBRE	TIPO	COLUMNAS	PUNTO	DESCRIPCION
TF	Real	34 - 39	37	Constante de tiempo del circuito estabilizador del regulador.
KE	Real	40 - 45	43	Constante de la excitatriz relativa a un campo autoexcitado.
TE	Real	46 - 51	49	Constante de tiempo de la excitatriz.
AEX	Real	52 - 57	55	Constante de saturación de la excitatriz.
BEX	Real	58 - 63	61	Igual a la anterior.

- (1) Se incluyen las Fig. 4.2.3 y 4.2.4, los cuadros 4.2.2 y 4.2.3, con valores típicos de las constantes de los reguladores de voltaje.

h) INFORMACION DE TIEMPOS PARA EL ESTUDIO

Esta tarjeta incluye la información sobre el tiempo en que se realizarán sea operaciones tendientes a mejorar la estabilidad del sistema o de simular un disturbio adicional. Además se leen datos como: duración del estudio, intervalo de integración, tiempo al cual se desea se imprima resultados sea de ángulos y velocidades de las máquinas o de voltajes en las barras del sistema. La forma como debe ordenarse los datos se presenta a continuación:

NOMBRE	TIPO	COLUMNA	PUNTO	DESCRIPCION
TDDF1	Real	1 - 6	2	Tiempo al cual se realizará la lra. maniobra o un nuevo disturbio. en seg.
TDDF2	Real	7 - 12	8	Tiempo al cual se realiza una segunda maniobra o un nuevo disturbio, si no hay más que una maniobra para despeje deje el campo en blanco, tiempo en seg.
TDDF3	Real	13 - 18	14	Igual al caso anterior pero para tercera operación o disturbio, tiempo en seg.
TMAX	Real	19 - 24	20	Tiempo máximo de duración del estudio, en seg.
DT	Real	25 - 30	26	Intervalo de integración en seg.
TDEL	Real	31 - 36	32	Intervalo en que se desea se escriban los resultados de ángulos y velocidades de los generadores en seg.
TERES	Real	37 - 42	38	Intervalo en el que se desea se impriman los voltajes de las barras del sistema en seg.

i) TARJETAS DE CONTROL DE CAMBIOS DE VALORES UTILIZADOS EN FLUJO DE CARGA (2 TARJETAS)

Si se desea cambiar los valores de: tolerancia, entre los valores del voltaje en una barra durante dos iteraciones consecutivas en la solución de ecuaciones del sistema, de iteraciones o el factor de aceleración para la solución de voltajes necesario para el estudio de estabilidad, así también si se desea cambiar el valor almacenado por el programa para el "delta T" mínimo, se deberá perforar un 1 en la columna 5 de esta tarjeta, si se desea mantener los mismos valores de los parámetros antes descritos deje esta tarjeta en blanco, pero incluya necesariamente en el paquete de datos.

Si se ha perforado un 1 en la columna 5 de la tarjeta anterior se deberá colocar a continuación una tarjeta que incluya la siguiente información:

NOMBRE	TIPO	COLUMNA	PUNTO	DESCRIPCION
EPS	Real	7 - 16	8	Tolerancia para indicar que se ha obtenido o no la convergencia.
MAX	Entero	17 - 19	-	Número máximo de iteraciones en la solución de voltajes del sistema.
FAC	Real	20 - 25	23	Factor de aceleración a utilizarse en la solución de voltajes en las barras del sistema.
DTMIN	Real	26 - 23	28	Valor mínimo de intervalo de integración <u>en seg. este dato es incluido</u> , pues el programa está construido de tal forma de que si los ángulos entre 2 pasos consecutivos de integración difieren en más de 15° .

El programa disminuye el paso de integración a la mitad del valor previamente almacenado , a continuación "DELTA T" es comparada con el valor almacenado en esta variable y si es menor se interpreta que el usuario considera que el proceso de cálculo debe ser parado, pues según muchas de las referencias consultadas, este es uno de los criterios para determinar que el sistema es inestable, de las mismas fuentes se escogió el valor de 15° como la variación máxima del ángulo de l máquina entre dos intervalos consecutivos sin que se modifique el Δt .

j) DATOS DE TIPO DE DISTURBIO O MANIOBRA A SIMULARSE EN EL ESTUDIO

Los tipos de disturbio o maniobra que pueden ser considerados son:

- TIPO 1.- Falla trifásica en líneas de transmisión.
- TIPO 2.- Salida de una línea de transmisión o despeje de falla por salida de línea de transmisión.
- TIPO 3.- Variación brusca de carga en cualquier barra del sistema.
- TIPO 4.- Reconexión de línea de transmisión previamente sacada.
- TIPO 5.- Salida de generador del sistema.
- TIPO 6.- Falla trifásica en barras de S/E.
- TIPO 7.- Despeje de falla en barra de S/E

TARJETA DE CONTROL PARA TIPO DE DISTURBIO

VARIABLE						
NOMBRE	TIPO	COLUMNA	PUNTO	DESCRIPCION		
				FALLA TIPO	I FAULT	
I FAULT	Entera	3	-	1	1	
				2	2	
				3	3	
				4	4	
				5	5	
				6	6	
				7	7	

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA DEP. DE POTENCIA
 PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA
 GUIA PARA LA PERFORACION DE DATOS

TIPO DE MANIOBRA O DISTURBIO A SIMULARSE (UNA TARJETA)	
1	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	←-FAULT- (1,2,3,4,5,6,7)
FALLA TRIFASICA EN LINEAS DE UN CIRCUITO (UNA TARJETA)	
1	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	J DIPC% ILDC <i>Ademas de la tarjeta de control</i>
FALLA TRIFASICA EN LINEA DE DOBLE CIRCUITO (UNA TARJETA)	
1	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	G(R.U) B (RU) YC(R.U) <i>Incluir luego de la tarjeta anterior</i>
SALIDA DE UNA LINEA DE UN CIRCUITO (UNA TARJETA)	
1	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	J ILDC

Con cada tipo de disturbio se deberá incluir la tarjeta de control, ya descrita, y a continuación de ser necesario las tarjetas con la información explicada para cada tipo de falla como se detalla adelante:

a) FALLA TRIFASICA EN LINEAS DE UN SOLO CIRCUITO

VARIABLE				
NOMBRE	TIPO	COLUMNAS	PUNTO	DESCRIPCION
I	Entero	1 - 3	-	Nodo al que está <u>co</u> nectada la línea.
J	Entero	4 - 6	-	Nodo al que se <u>conec</u> ta el final de la lí <u>ne</u> nea
DIPC	Real	7 - 11	10	Distancia en porcen- taje de la longitud total de la línea, <u>con</u> siderada desde el no- do I si $I < J$ o del <u>no</u> do J si $J < I$
ILDC	Entero	12 - 14	-	Indicador de línea de doble circuito ILDC = 1 línea de doble circuito ILDC = 0 línea de un <u>so</u> lo circuito.

b) LINEA DE DOBLE CIRCUITO

A más de la tarjeta anterior con ILDC = 1 en columna 14 deberá inme
diatamente incluirse en otra tarjeta los siguientes datos:

VARIABLE				
NOMBRE	TIPO	COLUMNAS	PUNTO	DESCRIPCION
G	Real	13 - 17	16	Valor de inmitancia de transferencia entre los nodos I yJ, en P.U 100 MVA Base
B	Real	18 - 22	21	Valor de suceptancia de transferencia entre los nodos I y J, en PU 100 MVA Base(con su propio signo)
YC	Real	27 - 31	30	Valor de suceptancia a tierra del equivalente en p.u y 100 MVA Base

- Todos los datos deberán ser dados para el caso de que se considere una falla en uno de los circuitos de la línea y sacar el equivalente π en esas condiciones.

TIPO 2

La forma de presentar los datos es:

VARIABLE				
NOMBRE	TIPO	COLUMNA	PUNTO	DESCRIPCION
I	Entera	1 - 3	-	Nodo al que está conec <u>t</u> ada la línea a ser re <u>m</u> ovida.

VARIABLE				
NOMBRE	TIPO	COLUMNAS	PUNTO	DESCRIPCION
J	Entera	4 - 6	-	Igual a I
ILDC	Entera	7 - 9	-	ILDC = 0 simple circuito ILDC = 1 doble circuito

Si ILDC = 1 se incluirá además la tarjeta con la información detallada en el tipo 1, pero con los datos correspondientes al equivalente π del circuito sano que queda en el sistema.

TIPO 3

Para este disturbio la información debe estar perforada en una tarjeta en la siguiente forma:

VARIABLE				
NOMBRE	TIPO	COLUMNAS	PUNTO	DESCRIPCION
I	Entero	3 - 5	-	Barra en que se considera la variación de carga.
MW	Real	33 - 38	37	MW incrementados (+) o removidos (-) de la barra I
MVAR	Real	39 - 44	43	MVAR aumentados (+) o disminuidos (-) de la barra I
INAB	Entera	45 - 47	-	INAB= 0 hay otras barras en que se tiene variación de carga. INAB = 1 esta es la última barra en que hay ΔS .

TIPO 4

Para la reconexión de cualquier línea anteriormente retirada del sistema la información al ser almacenada por el programa sólo requiere la tarjeta de control.

TIPO 5

A más de la tarjeta de control se incluye una tarjeta a continuación con el siguiente formato:

VARIABLE				
NOMBRE	TIPO	COLUMNA	PUNTO	DESCRIPCION
NGEF	Entero	3 - 5	-	Número del generador sacado del sistema.

TIPO 6

A continuación de la tarjeta de control se incluiría otra tarjeta con el mismo formato que la empleada en el tipo 5, pero con el número de la barra en que se considera un cortocircuito trifásico.

TIPO 7

Esta maniobra sólo requiere la tarjeta de control perforada en la forma antes explicada.

El programa acepta cuatro fallas o maniobras consecutivas, para cualquier secuencia que se quiera considerar se deberá colocar primero la tarjeta con el indicador del tipo de disturbio y a continuación de ser necesario las tarjetas con los datos complementarios, deberá observarse esta secuencia rigurosamente.

ACLARACION.- En los formatos empleados para explicar la forma en que se

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA DEP. DE POTENCIA
 PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA
 GUIA PARA LA PERFORACION DE DATOS

FALLA TRIFASICA EN BARRA DE S/E (UNA TARJETA)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

NB

DESPEJE DE FALLA EN BARRA DE S/E (UNA TARJETA)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Solo tarjeta con IFAULT = 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

se debe entrar los datos, se utiliza la palabra punto, debe recordarse que si físicamente se perfora el punto éste puede ir en cualquier columna dentro del campo, debe interpretarse por lo tanto que la información contenida en la columna punto indica que desde esa columna exclusive se contabiliza como decimales los dígitos ahí perforados, si como indicamos arriba no se desea perforar el punto; se ha especificado en la columna denominada TIPO, la manera en que trata el programa a la variable correspondiente, como se recuerda para la perforación de variables enteras, estas deben estar ajustadas a la derecha del campo, por Ej.: a la variable I se desea darle el valor de 1 y el campo está entre las columnas 1 y 3 inclusive, este 1 debe estar perforado en la columna 3.

4.2.2 SALIDA

El programa imprime la siguiente información: datos de línea y/ o transformadores en el orden en que estos sean ubicados en el bloque de datos, datos de barras igual al caso anterior, resultados del flujo de carga anterior al disturbio, datos de los generadores y reguladores de voltaje (si los hay), mensaje con el tipo de disturbio simulado cuando $t = 0$, parámetros de la red modificados por la representación de cargas como impedancia constante y la inclusión de barras de los generadores, resultados obtenidos de calcular los valores iniciales de las variables de estado, voltaje en las barras del sistema luego de ocurrir la falla, por último los resultados más importantes, los valores de ángulos de los rotores de las máquinas, velocidades de los mismos y los voltajes en las barras internas de los generadores, en los tiempos en los que el usuario los haya determinado.

Cuando se realiza una maniobra o se simula una nueva falla, el programa automáticamente entrega los valores obtenidos en la solución de las ecuaciones de voltaje del sistema.

Para los casos en que se cometa un error y se supera la capacidad del programa el correspondiente mensaje es presentado, cosa igual sucede si el estudio es anormalmente terminado al no lograrse convergencia en los flujos de potencia antes o después del disturbio.

5.- EJEMPLO DE APLICACION

La realización de un ejemplo de aplicación cuando se desarrolla un programa digital para realizar un determinado proceso de cálculo, cumple dos funciones principales, la primera es determinar la adecuada implementación de los modelos matemáticos y el correcto funcionamiento de los algoritmos utilizados en la resolución de las ecuaciones algebraicas y diferenciales que en este caso conforman el programa; la segunda función del ejemplo es aclarar el modo de utilizar el programa.

Para cumplir este cometido debía pues escogerse un ejemplo en el que se disponga en especial de resultados confiables, con este antecedente se toma para probar el programa el ejemplo desarrollado en la Ref. (1), que es un sistema de cinco barras, siete líneas y dos generadores, para el estudio de estabilidad presentado se modela las cargas como impedancia constante y los generadores como una fuente de tensión constante atrás de la reactancia transitoria en el eje directo, las condiciones descritas concuerdan exactamente con la opción de modelo de generadores que en este programa se ha identificado como Modelo I.

Para el modelo de generadores II, en el cual se puede incluir el efecto del regulador de voltaje se presenta un estudio realizado en el mismo sistema pero empleando tanto el modelo de generador mas sofisticado como la inclusión de los reguladores de voltaje.

5.1.- PREPARACION DE DATOS

Los datos empleados en la primera parte de este ejemplo son exactamente iguales a los empleados en el estudio presentado en la Ref. (1) se elaboró el paquete de datos siguiendo las especificaciones y recomendaciones dadas en el manual de uso de este programa.

Cuando se trabaja con los generadores, empleando el modelo II y los reguladores de voltaje, ya no se cuenta con todos los datos y por lo tanto debía asumirse datos tanto para los generadores como para los reguladores de voltaje, para esto se utiliza valores sacados de las curvas y tablas presentadas conjuntamente con el manual de uso de este programa como puede comprobarse estos valores son promedios de equipos de fabricación normal,

y aún más estos datos fueron comparados con los utilizados con los consultores del Proyecto Paute para el estudio de estabilidad del Sistema Nacional Interconectado.

Los datos empleados en el estudio se indican claramente en las hojas de Codificación presentadas, donde además del orden en que deberán colocarse en el paquete de datos se indica el campo en que deberán perforarse en las tarjetas correspondientes.

Para los dos casos estudiados se considera una falla trifásica en la barra número 2 con despeje trifásico a 0.1 seg.

5.2 ANALISIS DE RESULTADOS

El método utilizado en este trabajo para el análisis de estabilidad transitoria en sistemas eléctricos de potencia, se basa en la obtención de las curvas de oscilación de los generadores, a partir del estudio de éstas se puede determinar si para las condiciones establecidas en el estudio el sistema es estable o no.

Lo más importante desde el punto de vista de la realización de un programa digital es determinar si el método utilizado para el análisis de resultados confiables para realizar el estudio de Estabilidad.

Los resultados obtenidos en la primera parte del ejemplo concuerdan con los valores presentados en el ejemplo de la Ref. (1), entre los hechos importantes a resaltar debemos indicar que en este estudio se utiliza un intervalo de integración $t=0.05$ seg., sensiblemente mayor al $t=0.02$ utilizado en el estudio de la Ref. (1), la cual se justifica pues es conocido que el método de Runge Kutta de cuarto orden permite utilizar intervalos mayores al método de Euler modificado, sin sacrificar la exactitud en la solución de las ecuaciones diferenciales. El tiempo máximo de estudio fue fijado en 3 seg. en especial con el afán de comparar los resultados obtenidos con los modelos de generadores I y II.

Con el afán de comprobar el modelo II de generadores y la inclusión

de los reguladores de voltaje se realiza el estudio en las condiciones ya descritas, los resultados obtenidos luego de analizar las curvas de oscilación fueron satisfactorios, pues como se puede apreciar claramente en las curvas de oscilación presentadas en la Fig. 5.2 cuando se incluye los reguladores de voltaje el margen de estabilidad se aumenta, debido a que las diferencias máximas entre los ángulos de los rotores son menores, la oscilación es más lenta, todas estas conclusiones se realizan lógicamente comparando esta parte del ejemplo con la anterior, generadores con el Modelo I.

Los resultados entregados por el computador que se adjuntan, se presentan complementariamente en las figuras 5.1 y 5.2.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

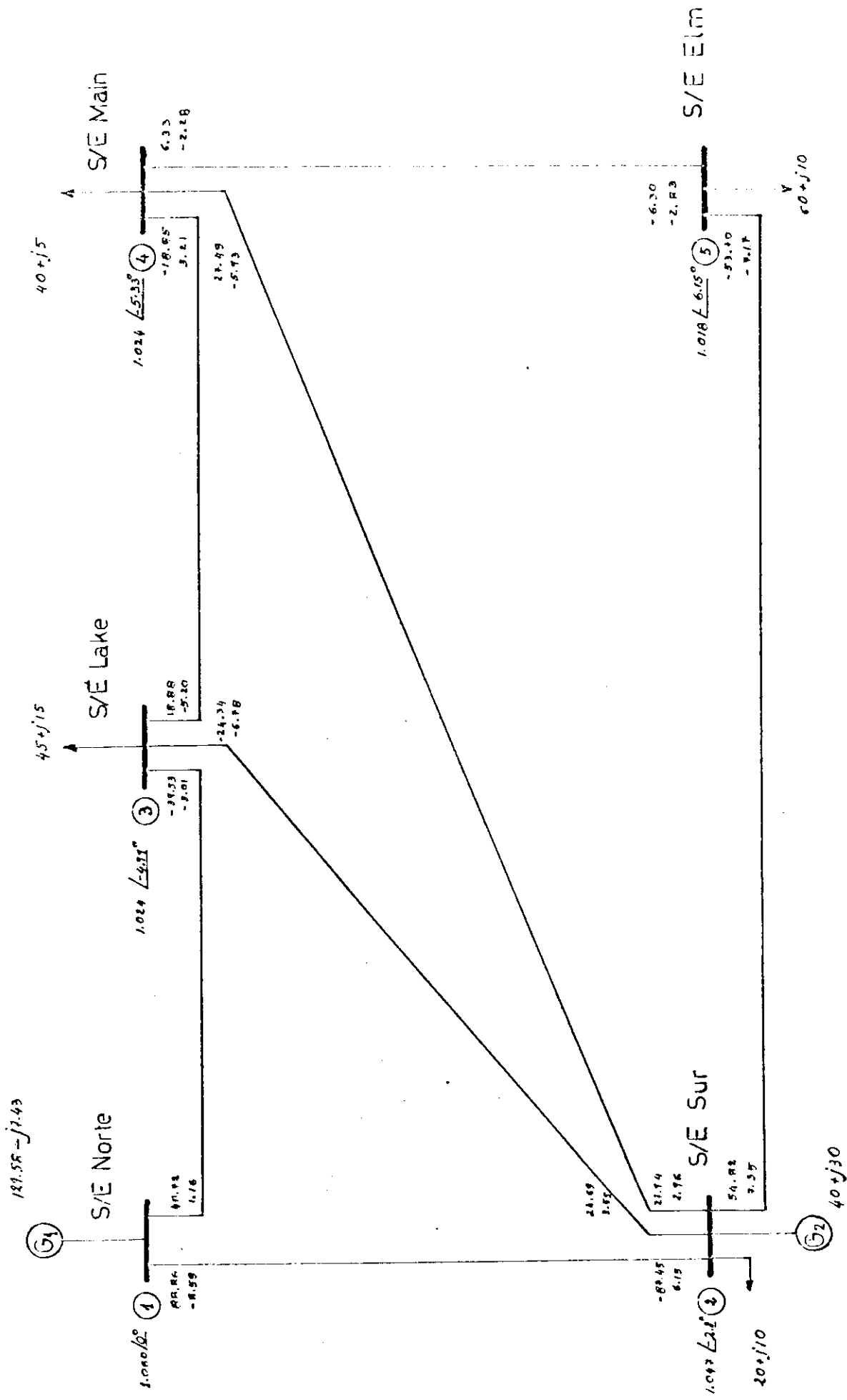
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA DEP. DE POTENCIA

DATOS PARA EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD TRANSITORIA

EJEMPLO DE APLICACION 2da. PARTE : MODELO DE GENERADORES II

CASO ESTUDIADO: FALLA TRIFASICA EN BARRA 2, DESPEJE A O.1 SEG.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
																																	Linea de transmision de potencia																																																																		
																																	Falla trifasica en barra 2																																																																		
																																	Despeje de barra																																																																		
																																	/ *																																																																		
																																	/ &																																																																		
																																	* 98 E0J																																																																		



LOS 3° VALOR EN MODULO Y ANG DEL VOLTAJE EN LA BARRA
 fig 5.1
RESULTADOS de FLUJO de POTENCIA antes del DISTURBIO
 00.0 FLUJO DE POTENCIA ENTRE BARRAS
 30.1 P-Q VALOR SUPERIOR MUY INTER-
 ADE ALVAR SIEMPRE SI SALE DE LA BARRA.

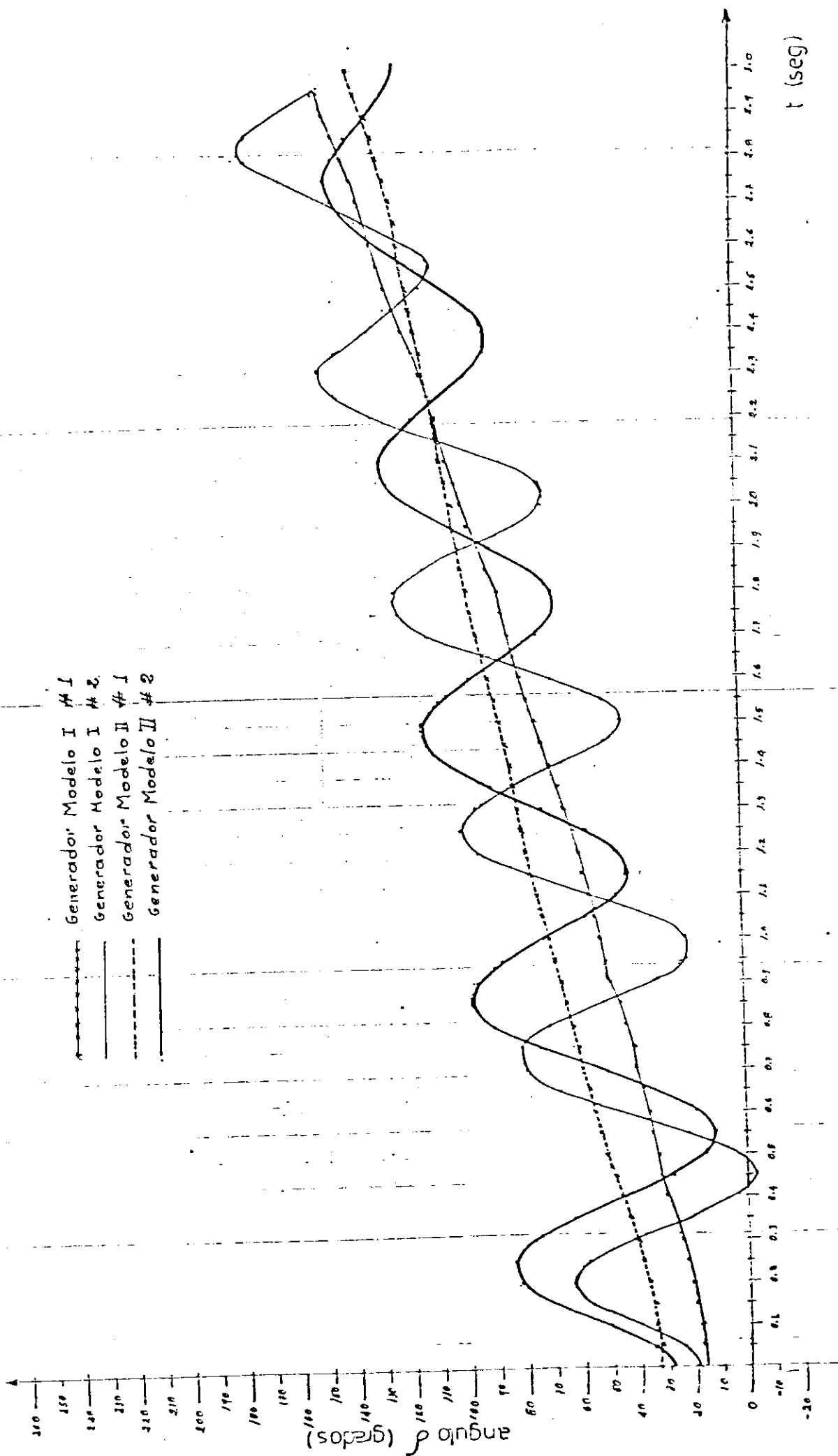


fig: 5.2 CURVAS de OSCILACION de los RESULTADOS del COMPUTADOR

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - PRIMERA PARTE - GENERADORES
 MODELO 1 - SIN REGULADOR DE VOLTAJE
 JULIO 1978

DATOS DE LINEAS Y TRANSFORMADORES

DE	LINEA	A	RESIST.	IMPEDANCIA PCT	REACTAN.	Y SHUNT P.U.	YC/2	G	B	ADMITANCIA P.U.
1	2	2	2.00000		6.00000		0.03000	5.00000		-15.00000
1	3	3	8.00000		24.00000		0.02500	1.25000		-3.75000
2	3	3	5.00000		18.00000		0.02000	1.66667		-5.00000
2	4	4	6.00000		18.00000		0.02000	1.66667		-5.00000
2	5	5	4.00000		12.00000		0.01500	2.50000		-7.50000
3	4	4	1.00000		3.00000		0.01000	10.00000		-30.00000
4	5	5	8.00000		24.00000		0.02500	1.25000		-3.75000

PRUEFA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - PRIMERA PARTE - GENERADORES
 MODELO 1 - SIN REGULADOR DE VOLTAJE
 JULIO 1978

DATOS DE FLUJO DE CARGA YA REALIZADO

NUM	NOMBRE	MOD	VOLTAJE			GENERACION			CARGA		
			ANG	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR		
1	S/F NORTE	1.060	0.0	129.578	-7.429	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2	S/F SUP	1.047	-2.806	40.000	30.000	20.000	20.000	10.000	10.000	10.000	
3	S/F LAKE	1.024	-4.997	0.0	0.0	45.000	45.000	15.000	15.000	15.000	
4	S/F MAIN	1.024	-5.329	0.0	0.0	40.000	40.000	5.000	5.000	5.000	
5	S/F FLM	1.018	-6.150	0.0	0.0	60.000	60.000	10.000	10.000	10.000	

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - PRIMERA PARTE - GENERADORES
 MODELO 1 - SIN REGULADOR DE VOLTAJE
 JULIO 1978

DATOS DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

GEN NUM	BARRA A	CTF	INER	RA	XDS	XD	XO	PCTGT	TDR
	NUMBRE	H		P.U.	P.U.	P.U.	P.U.	PCT	
1	S/NORTE	50.0000		0.0	0.2500				
2	S/E SUR	1.0000		0.0	1.5000				

FALLA TRIFASICA EN LA BARRA NUMERO 2

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - PRIMERA PARTE - GENERADORES
 MODELO 1 - SIN REGULADOR DE VOLTAJE JULIO 1978

PARAMETROS DE LA RED MODIFICADOS POR LA REPRESENTACION DE CARGAS

COMO Y CTF Y LA ADICION DE LAS BARRAS DE LOS GENERADORES'

Y(I,J)		Y(I,J)	
I	J	I	J
1	1	1	2
1	3	1	4
1	5		
2	1	2	2
2	3	2	4
2	5		
3	1	3	2
3	3	3	4
3	5		
4	1	4	2
4	3	4	4
4	5		
5	1	5	2
5	3	5	4
5	5		

6.2500	-22.6950	-0.6707	-0.0356
-0.1677	-0.0089	0.0	0.0
0.0	0.0		
-0.4523	-0.0005	11.0158	-33.1729
-0.1508	-0.0002	-0.1508	-0.0002
-0.2262	-0.0003		
-0.0962	0.0009	-0.1283	0.0012
17.3458	-38.8380	-0.7700	0.0071
0.0	0.0		
0.0	0.0	-0.1287	0.0011
-0.7720	0.0069	13.2981	-38.7427
-0.0965	0.0009		
0.0	0.0	-0.6524	0.0287
0.0	0.0	-0.3262	0.0143
4.3290	-11.3065		

PRIMERA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - PRIMERA PARTE - GENERADORES
 MODELO 1 - SIN REGULADOR DE VOLTAJE
 JULIO 1978

CALCULO DE VALORES INICIALES DE VARIABLES DEL MODELO MATEMATICO DE GENERADORES

GENERADOR	CORRIENTE ENT.		E01	DELTA	PMFC	F'01	E1	VREF		
MOD NOD NUM	REAL P.U.	IMAG P.U.	REAL P.U.	IMAG P.U.	RADS	P.U.	REAL P.U.	IMAG P.U.	REAL P.U.	IMAG P.U.
1	1.2224	0.0701	1.0425	0.3056	0.2852	1.2958				
2	0.7676	-0.3049	1.5031	0.5001	0.3212	0.4000				

VOLTAJE EN LAS BARRAS DEL SISTEMA PARA T=0.0 SEGUNDOS

EL NUMERO DE ITERACIONES PARA ESTE FLUJO FUE DE 9

BARRA NUM	VOLTAJE	
	REAL	IMAG
1	0.1928	0.0032
2	0.0	0.0
3	0.0481	-0.0013
4	0.0382	-0.0014
5	0.0122	-0.0010

POTENCIAS ELECTRICAS ENTREGADAS POR LOS GENERADORES DESPUES DEL DISTURBIO

GEN NUM	POTENCIA P.U.
1	0.2223
2	0.0000

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - PRIMERA PARTE - GENERADORES
 MODELO I - SIN REGULADOR DE VOLTAJE

PAG. 6

NET

ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

GEN NUM	A BARRA	ANGULO GRDS	VELOCIDAD RDS/SEG	FOI		P.U.		E'OI		FFDL P.U.
				REAL	IMAG	IMAG	REAL	REAL	IMAG	
T=0.0										
1	1	16.339	376.991	1.042	0.306					
2	2	18.403	376.991	1.503	0.500					
T=0.0500										
1	1	16.628	377.193	1.041	0.311					
2	2	23.802	380.761	1.449	0.639					
T=0.1000										
1	1	17.499	377.396	1.036	0.327					
2	2	40.001	384.530	1.213	1.018					

DESPEJF DE FALLA EN BARRA 2 T=0.10

VOLTAJE EN LAS BARRAS DEL SISTEMA PARA T=0.1 SEGUNDOS
 EL NUMERO DE ITERACIONES PARA ESTE FLUJO FUE DE 33

BARRA NUM	VOLTAJE	
	REAL	IMAG
1	1.0404	0.0928
2	1.0285	0.0566
3	1.0070	0.0134
4	1.0067	0.0082
5	1.0013	-0.0044

CUPIPA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - PRIMERA PARTE - GENERADORES
 MODELO 1 - SIN REGULADOR DE VOLTAJE

JULIO 1978

ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

T=	GEN NUM	A BARRA	ANGULO GRDS	VELOCIDAD RDS/SEG.	EQI		P.U.		FFDL	
					REAL	IMAG	REAL	IMAG	REAL	P.U.
0.1500	1	1	18.757	377.472	1.029	0.349				
	2	2	57.207	381.213	0.858	1.332				
0.2000	1	1	20.283	377.577	1.019	0.377				
	2	2	63.396	377.039	0.709	1.416				
0.2500	1	1	22.112	377.679	1.006	0.409				
	2	2	57.615	373.014	0.848	1.338				
0.3000	1	1	24.200	377.753	0.991	0.445				
	2	2	41.746	370.186	1.182	1.055				
0.3500	1	1	26.423	377.770	0.973	0.483				
	2	2	20.921	369.745	1.480	0.566				
0.4000	1	1	28.604	377.727	0.954	0.520				
	2	2	3.135	372.287	1.582	0.087				
0.4500	1	1	30.608	377.650	0.935	0.553				
	2	2	-4.020	376.898	1.580	-0.111				
0.5000	1	1	32.371	377.565	0.917	0.582				
	2	2	2.788	381.716	1.582	0.077				
0.5500	1	1	33.917	377.503	0.901	0.606				
	2	2	21.515	384.037	1.474	0.581				
0.6000	1	1	35.351	377.490	0.886	0.628				
	2	2	45.558	385.326	1.109	1.131				

PFT

PAG. 8

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - PRIMERA PARTE - GENERADORES
 MODELO I - SIN REGULADOR DE VOLTAJE JULIO 1978

ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

T	GEN NUM	A BARRA	ANGULO GRDS	VELOCIDAD RDS/SEG	FOI		E'OI		P.U.		EFDL P.U.
					REAL	IMAG	REAL	IMAG	REAL	IMAG	
T=0.6500	1	1	36.837	377.536	0.869	0.651					
	2	2	66.701	383.061	0.626	1.455					
T=0.7000	1	1	38.515	377.625	0.850	0.676					
	2	2	78.934	379.319	0.304	1.554					
T=0.7500	1	1	40.479	377.727	0.826	0.705					
	2	2	79.705	375.219	0.283	1.558					
T=0.8000	1	1	42.719	377.815	0.798	0.737					
	2	2	69.373	371.745	0.558	1.482					
T=0.8500	1	1	45.150	377.861	0.766	0.770					
	2	2	51.317	370.023	0.990	1.236					
T=0.9000	1	1	47.646	377.847	0.732	0.803					
	2	2	32.100	371.034	1.342	0.842					
T=0.9500	1	1	50.021	377.787	0.698	0.832					
	2	2	19.718	374.643	1.491	0.534					
T=1.0000	1	1	52.184	377.704	0.666	0.858					
	2	2	19.736	379.384	1.491	0.535					
T=1.0500	1	1	54.113	377.629	0.637	0.880					
	2	2	32.792	383.454	1.331	0.858					
T=1.1000	1	1	55.873	377.590	0.609	0.899					
	2	2	54.584	385.276	0.918	1.291					

DET

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - PRIMERA PARTE - GENERADORES
 MODELO I - SIN REGULADOR DE VOLTAJE
 JULIO 1978

ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

T	GEN NUM	A BARRA	ANGULO GRDS	VELOCIDAD RDS/SEG	FOI		E'OI		P.U.		EFDL P.U.
					REAL	IMAG	REAL	IMAG	REAL	IMAG	
1.1500	1	1	57.597	377.606	0.582	0.917					
	2	2	77.533	384.290	0.342	1.546					
1.2000	1	1	59.445	377.673	0.552	0.935					
	2	2	94.425	381.244	-0.122	1.579					
1.2500	1	1	61.532	377.768	0.518	0.955					
	2	2	101.087	377.330	-0.305	1.554					
1.3000	1	1	63.896	377.861	0.478	0.975					
	2	2	96.485	373.541	-0.179	1.574					
1.3500	1	1	66.493	377.927	0.433	0.996					
	2	2	82.438	370.925	0.208	1.570					
1.4000	1	1	69.211	377.942	0.385	1.015					
	2	2	67.912	370.577	0.696	1.422					
1.4500	1	1	71.890	377.903	0.338	1.032					
	2	2	48.352	372.965	1.052	1.183					
1.5000	1	1	74.400	377.828	0.292	1.046					
	2	2	42.648	377.208	1.165	1.073					
1.5500	1	1	76.682	377.748	0.250	1.057					
	2	2	49.762	381.628	1.023	1.209					
1.6000	1	1	78.761	377.691	0.212	1.065					
	2	2	67.776	384.554	0.599	1.466					

DET

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - PRIMERA PARTE - GENERADORES
 MODELO I - SIN REGULADOR DE VOLTAJE

JULIO 1978

ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

T	GEN NUM	A BARRA	ANGULO GRDS	VELOCIDAD RDS/SEG	EOI		E.OI		P.U.		EFDL	
					REAL	IMAG	REAL	IMAG	REAL	IMAG	REAL	IMAG
T=1.6500	1	1	80.736	377.679	0.175	1.072						
	2	2	90.558	384.872	-0.015	1.584						
T=1.7000	1	1	82.758	377.722	0.137	1.077						
	2	2	110.562	382.744	-0.556	1.483						
T=1.7500	1	1	84.964	377.804	0.095	1.082						
	2	2	122.193	370.224	-0.844	1.340						
T=1.8000	1	1	87.428	377.897	0.049	1.085						
	2	2	123.058	375.386	-0.864	1.327						
T=1.8500	1	1	90.142	377.974	-0.003	1.086						
	2	2	113.615	372.202	-0.634	1.451						
T=1.9000	1	1	93.026	378.012	-0.057	1.084						
	2	2	97.298	370.770	-0.201	1.571						
T=1.9500	1	1	95.941	377.996	-0.112	1.080						
	2	2	80.461	371.904	0.262	1.562						
T=2.0000	1	1	98.742	377.036	-0.165	1.073						
	2	2	70.399	375.344	0.531	1.492						
T=2.0500	1	1	101.336	377.856	-0.213	1.065						
	2	2	71.909	379.709	0.492	1.505						
T=2.1000	1	1	103.712	377.788	-0.257	1.055						
	2	2	85.286	383.354	0.130	1.578						

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - PRIMERA PARTE - GENERADORES
 MODELO I - SIN REGULADOR DE VOLTAJE JULIO 1978

ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

	GEN NUM	A PARA	ANGULO GRDS	VELOCIDAD RDS/SEG	EOI		P.U.		EFDL	
					REAL	IMAG	REAL	IMAG	P.U.	P.U.
T=2.1500	1	1	105.936	377.754	-0.298	1.044				
	2	2	106.281	384.854	-0.444	1.520				
T=2.2000	1	1	108.135	377.772	-0.338	1.032				
	2	2	127.833	383.778	10.971	1.251				
T=2.2500	1	1	110.456	377.836	-0.379	1.017				
	2	2	143.385	380.845	-1.271	0.944				
T=2.3000	1	1	113.001	377.924	-0.424	1.000				
	2	2	149.100	377.153	-1.360	0.811				
T=2.3500	1	1	115.798	378.007	-0.473	0.978				
	2	2	144.504	373.667	-1.289	0.919				
T=2.4000	1	1	118.797	378.062	-0.523	0.952				
	2	2	131.342	371.427	-1.046	1.189				
T=2.4500	1	1	121.886	378.068	-0.574	0.922				
	2	2	114.778	371.419	-0.664	1.438				
T=2.5000	1	1	124.922	378.026	-0.622	0.890				
	2	2	101.832	373.892	-0.325	1.550				
T=2.5500	1	1	127.787	377.953	-0.665	0.858				
	2	2	98.498	377.893	-0.234	1.566				
T=2.6000	1	1	130.435	377.879	-0.704	0.826				
	2	2	106.999	381.888	-0.463	1.514				

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - PRIMERA PARTE - GENERADORES
 MODELO 1 - SIN REGULADOR DE VOLTAJE

JULIO 1978

ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

T=	GEN NUM	A BARRA	ANGULO GRDS	VELOCIDAD RDS/SEG	FOI		P.U.		E'OI		P.U.		E'OL	
					REAL	IMAG	IMAG	REAL	RFAL	IMAG	RFAL	P.U.		
2.6500	1	1	132.809	377.829	-0.739	0.739	0.795							
	2	2	125.056	384.334	-0.909	0.909	1.296							
2.7000	1	1	135.281	377.824	-0.772	0.772	0.764							
	2	2	146.694	384.333	-1.323	1.323	0.869							
2.7500	1	1	137.722	377.869	-0.803	0.803	0.730							
	2	2	165.006	382.143	-1.529	1.529	0.410							
2.9000	1	1	140.343	377.947	-0.836	0.836	0.693							
	2	2	175.077	378.760	-1.577	1.577	0.136							
2.8500	1	1	143.204	378.031	-0.869	0.869	0.650							
	2	2	174.964	375.188	-1.577	1.577	0.139							
2.9000	1	1	146.285	378.096	-0.903	0.903	0.603							
	2	2	165.483	372.393	-1.533	1.533	0.397							
2.9500	1	1	149.499	378.122	-0.935	0.935	0.551							
	2	2	150.371	371.420	-1.376	1.376	0.783							
3.0000	1	1	152.718	378.000	-0.965	0.965	0.498							
	2	2	135.926	372.879	-1.137	1.137	1.101							

* CON TIEMPO DE UCP UTILIZADO POR EL PROGRAMA ESTAB -----> 318.78 SEGUNDOS FFCHA: 08/08/77 ***

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE
 JULIO 1978

DATOS DE LINEAS Y TRANSFORMADORES

DE	A	RESIST.	IMPEDANCIA PCT	REACTAN.	Y SHUNT P.U.	YC/2	G	R	ADMITANCIA P.U.
1	2	2.000000	6.000000	6.000000	0.030000	0.030000	5.000000	-15.000000	-15.000000
1	3	8.000000	24.000000	24.000000	0.025000	0.025000	1.250000	-3.750000	-3.750000
2	3	6.000000	18.000000	18.000000	0.020000	0.020000	1.666667	-5.000000	-5.000000
2	4	6.000000	18.000000	18.000000	0.020000	0.020000	1.666667	-5.000000	-5.000000
3	5	4.000000	12.000000	12.000000	0.015000	0.015000	2.500000	-7.500000	-7.500000
4	4	1.000000	3.000000	3.000000	0.010000	0.010000	10.000000	-30.000000	-30.000000
4	5	8.000000	24.000000	24.000000	0.025000	0.025000	1.250000	-3.750000	-3.750000

DET

PAG. 2

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE
 JULIO 1978

DATOS DE BARRAS

NUM	BARRA	NOMBRE	COD	VOLTAJE		GENERACION		CARGA	
				REAL	IMAG	MW	MVAR	MW	MVAR
1	S/NORTE	1		1.060	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	S/E SUR	0		1.000	0.0	40.000	0.0	20.000	10.000
4	S/E MAIN	0		1.000	0.0	0.0	0.0	40.000	5.000
3	S/E LAKE	0		1.000	0.0	0.0	0.0	45.000	15.000
5	S/E FLW	0		1.000	0.0	0.0	0.0	60.000	10.000

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE
 JULIO 1978

EL NUMERO DE ITERACIONES FUE 13

RESULTADOS DEL ESTUDIO DE FLUJO DE POTENCIA

BARRA NUM	VOLTAJE		MVAS GENERACION		MVAS CARGA		MVAS ENTRE BARRAS P-O	
	MAG	ANG.	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	1.060	0.0	129.578	-7.429	0.0	0.0	88.86	-8.59
2	1.047	-2.806	40.004	30.008	20.000	10.000	40.72	1.16
3	1.024	-4.997	0.0	0.0	45.000	15.000	-87.45	6.15
4	1.024	-5.329	0.0	0.0	40.000	5.000	24.69	3.55
5	1.018	-6.150	0.0	0.0	60.000	10.000	27.94	2.96
							54.82	7.35
							-39.53	-3.01
							-24.34	-6.78
							18.88	-5.20
							-27.49	-5.57
							-18.85	3.21
							6.33	-2.28
							-53.70	-7.17
							-6.30	-2.83

PFT

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE JULIO 1978

DATOS DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

GEN NUM	BARRA A NUM	CTE INER H	RA P.U.	XDS P.U.	XD P.U.	X0 P.U.	PCTGT PCT	TDD
1	1	50.0000	0.0	0.2500	0.8300	0.5400	100.0000	3.0000
2	2	1.0000	0.0	1.5000	5.0000	3.2500	100.0000	2.5000

PFT

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE JULIO 1978

DATOS DE LOS REGULADORES DE VOLTAJE PARA LOS GENERADORES CON MODELO II

NUM	KA	TA	VRMAX	VRMIN	KF	TF	KE	TF	AEXP	BEXP
1	60.00	0.06	1.00	-1.00	0.07	1.00	-0.04	0.50	0.0016	1.465
2	50.00	0.06	1.00	-1.00	0.08	1.00	-0.04	0.50	0.0016	1.465

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE JULIO 1978

PARAMETROS DE LA RED MODIFICADOS POR LA REPRESENTACION DE CARGAS
 COMO Y CTF Y LA ADICION DE LAS BARRAS DE LOS GENERADORES

I	J	Y(I,J)	I	J	Y(I,J)
1	1	6.2500	1	2	-0.7360
1	3	-0.1840	1	4	0.0
1	5	0.0			
2	1	-0.4568	2	2	11.0156
2	3	-0.1523	2	4	-0.1523
2	5	-0.2284			
3	1	-0.0962	3	2	-0.1283
3	3	13.3457	3	4	-0.7700
3	5	0.0			
4	1	0.0	4	2	-0.1287
4	3	-0.7720	4	4	13.2985
4	5	-0.0065			
5	1	0.0	5	2	-0.6524
5	3	0.0	5	4	-0.3262
5	5	4.3290			

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE JULIO 1978

CALCULO DE VALORES INICIALES DE VARIABLES DEL MODELO MATEMATICO DE GENERADORES

GENERADOR	CORRIENTE ENT.	EQI	DELTA	PMEC	E'OI	EI	VREF				
MOD NUM	REAL P.U.	IMAG P.U.	REAL P.U.	IMAG P.U.	REAL P.U.	IMAG P.U.	P.U.				
1	1.2224	0.0701	1.0222	0.6601	0.5734	1.2958	0.8749	0.5650	1.1694	0.7552	1.0600
2	0.3674	-0.3048	2.0369	1.1429	0.5113	0.4000	1.3568	0.7613	2.7171	1.5245	1.0474

VOLTAJE EN LAS BARRAS DEL SISTEMA PARA T=0.0 SEGUNDOS

EL NUMERO DE ITERACIONES PARA ESTE FLUJO FUE DE R

BARRA NUM	REAL	IMAG	VOLTAJE
	REAL	IMAG	
1	0.1778	0.0505	
2	0.0	0.0	
3	0.0460	0.0105	
4	0.0363	0.0080	
5	0.0123	0.0021	

POTENCIAS ELECTRICAS ENTREGADAS POR LOS GENERADORES DESPUES DEL DISTURBIO

GEN NUM	POTENCIA P.U.
1	0.2041
2	0.0

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE

PAG. 8

PET

JULIO 1978

ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

T=	GEN NUM	A PARRA	ANGULO GROS	VELOCIDAD PDS/SEG	EOI		E.QI		EFDL P.U.
					REAL	IMAG	REAL	IMAG	
0.0	1	1	32.855	376.991	1.715	1.107	0.875	0.565	1.392
	2	2	29.296	376.991	2.973	1.646	1.357	0.761	3.116
0.0500	1	1	33.150	377.198	1.672	1.092	0.850	0.555	1.489
	2	2	34.696	380.761	2.708	1.874	1.247	0.863	3.205
0.1000	1	1	34.039	377.406	1.617	1.092	0.822	0.555	1.594
	2	2	50.896	384.571	2.027	2.493	0.934	1.150	3.301

DESPEJE DE FALLA EN BARRA 2 T=0.10

VOLTAJE EN LAS BARRAS DEL SISTEMA PARA T=0.1 SEGUNDOS

EL NUMERO DE ITERACIONES PARA ESTE FLUJO FUE DE 43

BARRA NUM	VOLTAJE	
	REAL	IMAG
1	0.9882	0.1224
2	0.9808	0.0637
3	0.9614	0.0435
4	0.9611	0.0379
5	0.9564	0.0247

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE JULIO 1978

ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO		FQI		P.U.		E.OI		P.U.		EFDL	
GEN	A	ANGULO	VELOCIDAD	REAL	IMAG	REAL	IMAG	REAL	IMAG	REAL	P.U.
NUM	PARRA	GRDS	RDS/SEG	REAL	IMAG	REAL	IMAG	REAL	IMAG	REAL	P.U.
T=0.1500	1	35.328	377.481	0.905	0.641	0.815	0.578	0.815	0.578	1.700	1.700
	2	60.023	382.406	0.904	2.470	0.507	1.387	0.507	1.387	3.394	3.394
T=0.2000	1	36.875	377.583	0.893	0.670	0.806	0.605	0.806	0.605	1.805	1.805
	2	81.537	379.493	0.403	2.707	0.216	1.451	0.216	1.451	3.485	3.485
T=0.2500	1	38.731	377.694	0.884	0.709	0.794	0.637	0.794	0.637	1.911	1.911
	2	83.976	376.188	0.286	2.710	0.153	1.449	0.153	1.449	3.572	3.572
T=0.3000	1	40.893	377.795	0.869	0.753	0.779	0.674	0.779	0.674	2.017	2.017
	2	77.236	373.196	0.569	2.513	0.321	1.416	0.321	1.416	3.656	3.656
T=0.3500	1	43.313	377.870	0.859	0.810	0.759	0.715	0.759	0.715	2.108	2.108
	2	63.095	371.106	1.071	2.112	0.659	1.299	0.659	1.299	3.721	3.721
T=0.4000	1	45.886	377.900	0.859	0.886	0.735	0.758	0.735	0.758	2.106	2.106
	2	44.888	370.441	1.536	1.531	1.041	1.037	1.041	1.037	3.704	3.704
T=0.4500	1	48.479	377.885	0.852	0.963	0.706	0.798	0.706	0.798	2.017	2.017
	2	27.227	371.498	1.837	0.946	1.323	0.681	1.323	0.681	3.605	3.605
T=0.5000	1	50.975	377.835	0.840	1.036	0.675	0.833	0.675	0.833	1.923	1.923
	2	14.873	374.071	1.977	0.525	1.457	0.387	1.457	0.387	3.492	3.492
T=0.5500	1	53.288	377.758	0.820	1.099	0.643	0.863	0.643	0.863	1.828	1.828
	2	11.314	377.495	2.032	0.407	1.494	0.299	1.494	0.299	3.384	3.384
T=0.6000	1	55.361	377.672	0.774	1.121	0.613	0.887	0.613	0.887	1.734	1.734
	2	17.762	380.917	1.997	0.640	1.465	0.469	1.465	0.469	3.289	3.289

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE

JULIO 1978

ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

	GEN NUM	A BARRA	ANGULO GRDS	VELOCIDAD POS/SEG	FOI REAL	P. U. IMAG	E. OI REAL	P. U. IMAG	EFDL P. U.
T=0.6500	1	1	57.199	377.597	0.720	1.117	0.585	0.907	1.640
	2	2	32.970	383.469	1.809	1.173	1.299	0.843	3.196
T=0.7000	1	1	58.860	377.550	0.663	1.097	0.559	0.925	1.545
	2	2	52.362	384.446	1.368	1.839	0.927	1.247	3.101
T=0.7500	1	1	60.441	377.543	0.612	1.079	0.534	0.941	1.451
	2	2	73.912	387.586	0.689	2.384	0.430	1.490	3.016
T=0.8000	1	1	62.058	377.573	0.571	1.076	0.507	0.956	1.370
	2	2	89.708	381.229	0.014	2.635	0.008	1.539	2.973
T=0.8500	1	1	63.802	377.628	0.536	1.089	0.478	0.971	1.349
	2	2	97.462	378.103	-0.348	2.659	-0.198	1.509	2.992
T=0.9000	1	1	65.713	377.687	0.501	1.111	0.445	0.987	1.383
	2	2	96.078	374.971	-0.276	2.596	-0.160	1.498	3.055
T=0.9500	1	1	67.776	377.733	0.465	1.138	0.410	1.003	1.429
	2	2	86.634	372.604	0.144	2.447	0.088	1.495	3.119
T=1.0000	1	1	69.939	377.752	0.432	1.184	0.372	1.018	1.442
	2	2	72.252	371.583	0.680	2.128	0.456	1.426	3.143
T=1.0500	1	1	72.103	377.735	0.399	1.234	0.333	1.030	1.401
	2	2	57.127	372.098	1.143	1.769	0.816	1.263	3.116
T=1.1000	1	1	74.173	377.689	0.360	1.271	0.295	1.039	1.334
	2	2	45.566	374.015	1.444	1.473	1.059	1.080	3.066

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA, - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE JULIO 1978

		ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO										
GEN NUM	A BARRA	ANGULO GRDS	VELOCIDAD RDS/SEG	E01 REAL	P.U. IMAG	E.01 REAL	P.U. IMAG	EFDL P.U.				
T=1.1500	1	76.083	377.624	0.323	1.302	0.259	1.044	1.274				
	2	40.914	376.802	1.560	1.352	1.149	0.906	3.022				
T=1.2000	1	77.787	377.548	0.283	1.308	0.226	1.045	1.239				
	2	44.580	379.700	1.490	1.468	1.089	1.073	3.002				
T=1.2500	1	79.288	377.485	0.243	1.283	0.198	1.045	1.231				
	2	55.888	382.022	1.203	1.775	0.861	1.271	3.000				
T=1.3000	1	80.639	377.445	0.205	1.244	0.172	1.045	1.237				
	2	72.262	383.156	0.686	2.144	0.468	1.465	3.004				
T=1.3500	1	81.923	377.439	0.171	1.208	0.148	1.045	1.252				
	2	89.784	382.813	0.010	2.404	0.006	1.535	3.012				
T=1.4000	1	83.279	377.467	0.141	1.185	0.124	1.047	1.295				
	2	104.349	381.152	-0.629	2.463	-0.379	1.480	3.037				
T=1.4500	1	84.671	377.518	0.110	1.179	0.098	1.050	1.374				
	2	112.853	378.683	-1.012	2.402	-0.589	1.397	3.095				
T=1.5000	1	86.264	377.576	0.077	1.187	0.069	1.054	1.476				
	2	113.863	376.023	-1.043	2.358	-0.609	1.376	3.175				
T=1.5500	1	88.017	377.627	0.042	1.200	0.037	1.059	1.568				
	2	107.732	373.804	-0.753	2.354	-0.456	1.427	3.248				
T=1.6000	1	89.895	377.661	0.002	1.226	0.002	1.064	1.616				
	2	96.578	372.588	-0.263	2.280	-0.172	1.488	3.284				

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE JULIO 1978

		ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO											
	GEN NUM	A PARRA	ANGULO GRDS	VELOCIDAD RDS/SEG	EQI REAL	P.U. IMAG	E.OI REAL	P.U. IMAG	EFDL P.U.				
T=1.6500	1	1	91.824	377.663	-0.040	1.256	-0.034	1.066	1.596				
	2	2	83.685	372.609	0.240	2.171	0.165	1.495	3.266				
T=1.7000	1	1	93.719	377.638	-0.084	1.286	-0.069	1.066	1.525				
	2	2	72.664	373.869	0.629	2.017	0.451	1.445	3.209				
T=1.7500	1	1	95.509	377.591	-0.126	1.306	-0.102	1.062	1.440				
	2	2	66.671	376.034	0.830	1.926	0.604	1.399	3.145				
T=1.8000	1	1	97.143	377.530	-0.165	1.313	-0.132	1.056	1.369				
	2	2	67.455	378.400	0.811	1.954	0.588	1.416	3.095				
T=1.8500	1	1	98.599	377.470	-0.195	1.288	-0.159	1.049	1.317				
	2	2	74.976	380.645	0.559	2.082	0.399	1.487	3.061				
T=1.9000	1	1	99.906	377.428	-0.218	1.249	-0.182	1.041	1.283				
	2	2	87.581	381.059	0.095	2.234	0.065	1.542	3.037				
T=1.9500	1	1	101.129	377.412	-0.238	1.209	-0.203	1.034	1.266				
	2	2	102.302	382.090	-0.501	2.299	-0.329	1.508	3.022				
T=2.0000	1	1	102.745	377.424	-0.257	1.175	-0.225	1.028	1.275				
	2	2	115.654	381.037	-1.070	2.229	-0.666	1.387	3.024				
T=2.0500	1	1	103.630	377.459	-0.280	1.156	-0.248	1.022	1.220				
	2	2	124.676	379.142	-1.448	2.094	-0.870	1.257	3.054				
T=2.1000	1	1	105.035	377.504	-0.308	1.148	-0.273	1.016	1.394				
	2	2	127.654	376.906	-1.555	2.016	-0.928	1.203	3.110				

PRUEBA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE JULIO 1978

ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

GEN NUM	A PARPA	ANGULO GRDS	VELOCIDAD RDS/SEG	EQI REAL	P.U. IMAG	E.OI REAL	P.U. IMAG	EFDL P.U.
T=2.1500	1	106.569	377.547	-0.341	1.148	-0.301	1.010	1.472
	2	124.375	374.869	-1.396	2.040	-0.853	1.248	3.172
T=2.2000	1	108.212	377.580	-0.379	1.151	-0.330	1.003	1.528
	2	116.210	373.572	-1.043	2.117	-0.666	1.354	3.215
T=2.2500	1	109.922	377.592	-0.423	1.166	-0.361	0.995	1.543
	2	105.807	373.325	-0.607	2.141	-0.412	1.455	3.226
T=2.3000	1	111.631	377.580	-0.466	1.175	-0.391	0.986	1.514
	2	96.214	374.127	-0.234	2.150	-0.164	1.510	3.201
T=2.3500	1	113.275	377.547	-0.508	1.182	-0.419	0.974	1.461
	2	90.198	375.760	-0.008	2.135	-0.005	1.528	3.161
T=2.4000	1	114.803	377.500	-0.546	1.181	-0.444	0.961	1.405
	2	89.509	377.755	0.018	2.141	0.013	1.536	3.121
T=2.4500	1	116.185	377.448	-0.569	1.158	-0.466	0.947	1.359
	2	94.437	379.607	-0.168	2.168	-0.119	1.538	3.089
T=2.5000	1	117.474	377.408	-0.583	1.123	-0.485	0.935	1.323
	2	103.944	380.882	-0.539	2.170	-0.373	1.501	3.064
T=2.5500	1	118.596	377.388	-0.591	1.085	-0.503	0.923	1.300
	2	115.852	381.246	-1.014	2.094	-0.675	1.393	3.046
T=2.6000	1	119.751	377.423	-0.475	0.831	-0.522	0.914	1.323
	2	127.475	380.807	-1.549	2.019	-0.938	1.224	3.065

PFT

PRUEFA DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD TRANSITORIA - SEGUNDA PARTE - GENERADORES
 MODELO II - CON REGULADOR DE VOLTAJE JULIO 1978

ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

GFN NUM	A BARRA	ANGULO GRDS	VELOCIDAD RDS/SEG	EQI REAL	P.U. IMAG	E:QI REAL	P.U. IMAG	EFDL P.U.
T=2.6500								
1	1	121.121	377.517	-0.502	0.832	-0.548	0.909	1.428
2	2	137.277	379.922	-1.904	1.759	-1.126	1.040	3.164
T=2.7000								
1	1	122.771	377.618	-0.532	0.827	-0.580	0.901	1.533
2	2	143.814	378.566	-2.109	1.543	-1.229	0.899	3.260
T=2.7500								
1	1	124.714	377.720	-0.565	0.815	-0.616	0.890	1.638
2	2	146.131	377.031	-2.158	1.448	-1.258	0.844	3.355
T=2.8000								
1	1	126.943	377.817	-0.601	0.799	-0.659	0.876	1.744
2	2	144.182	375.642	-2.066	1.491	-1.225	0.884	3.447
T=2.8500								
1	1	129.440	377.906	-0.639	0.777	-0.706	0.858	1.850
2	2	138.863	374.728	-1.860	1.625	-1.137	0.993	3.535
T=2.9000								
1	1	132.174	377.983	-0.678	0.748	-0.757	0.835	1.955
2	2	131.877	374.500	-1.600	1.784	-1.011	1.128	3.621
T=2.9500								
1	1	135.109	378.046	-0.717	0.714	-0.812	0.809	2.061
2	2	125.287	374.996	-1.360	1.921	-0.880	1.244	3.703
T=3.0000								
1	1	138.209	378.098	-0.757	0.677	-0.870	0.778	2.167
2	2	121.021	376.087	-1.210	2.011	-0.791	1.315	3.781

* CON MENOS TIEMPO DE UCR UTILIZADO POR EL PROGRAMA ESTAR -----> 412.97 SEGUNDOS FECHA: 08/08/77 ***

5.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se indica en el alcance de este trabajo, el fin perseguido era realizar un programa digital para el análisis de estabilidad transitoria de Sistemas Eléctricos de Potencia con la modelación descrita en los capítulos anteriores. Los resultados obtenidos satisfacen los requisitos impuestos pero al margen de lo realizado, se han sacado valiosas enseñanzas tanto en el proceso de investigación de los artículos técnicos consultados, así como en la elaboración y comprobación del programa digital desarrollado, lo que se considera más importante de esto, se presenta a continuación.

- Se debe poner mucho cuidado en la selección de los parámetros, por ejemplo al escoger el índice de convergencia Eps, en algunos casos se utiliza un valor de 1×10^{-5} y el tiempo de computador utilizado se triplica con respecto al tiempo que se necesita cuando el epsilon es 1×10^{-3} , esta diferencia se justifica porque al analizar el record de convergencia en la solución de voltajes se necesita como 10 y 2 iteraciones respectivamente al contrario la diferencia en los valores obtenidos de los ángulos de los rotores de los generadores es insignificante.
- Para el ejemplo estudiado se comprobó que cuando se utiliza intervalos de integración superiores de 0.025 seg. empleado en el estudio que se presenta, por ejemplo con 0.05 seg. utilizado en un análisis bajo las mismas condiciones, no existe una diferencia digna de tomar en cuenta, en los resultados obtenidos, esta conclusión la damos indicando que se debe hacer un muestro más extenso en base a un mayor número de casos estudiados.
- Para los estudios de sistemas de potencia, uno de los puntos más importantes a decidir es el grado de sofisticación con el que debe modelarse los diversos componentes, pues puede escogerse modelos bastante complicados, pero algunos parámetros al no disponer de datos reales, pueden incluir un margen de error que supere al error esperado cuando se emplea modelos simples como es evidente los modelos complicados consumen bastante tiempo tanto de computador así como de preparación de datos, y los resultados como se indica no satisfacen este trabajo extra.
- Uno de los estudios más urgentes que debe emprenderse es la recopilación de información sobre datos y parámetros de los sistemas eléctricos del País

esto principalmente con el afán de producir herramientas para el estudio o diseño de sistemas que tengan las opciones adecuadas de acuerdo a nuestra realidad, digamos por ejemplo que se necesita realizar un estudio de estabilidad existe algún índice que nos indique como modelar las cargas, claro está que un estudio de la sensibilidad de las cargas con respecto al voltaje es complicado y costoso, pero podría pensarse en un método alternativo que nos daría una mejor idea de la situación, podría ser la información de los consumos; residencial, comercial e industrial.

- Del análisis de los artículos y referencias consultadas para la realización de este trabajo se ha sacado en claro lo que a juicio personal merece implementarse en este u otro programa de estabilidad, las opciones que se considera debe contener un programa serían las siguientes:
- Luego de un análisis como ya se indica de la posibilidad de contar con los datos necesarios sería adecuado la implementación del modelo de generador mas sofisticado, que incluye los efectos de los bobinados de campo y de amortiguación en los dos ejes directo y cuadratura, así como los efectos subtransitorios, un modelo similar al número tres de la Ref.(14)
- Sujeto a las mismas condiciones ya indicadas se debe disponer de los modelos de regulador de velocidad y de voltaje que se justifique.
- La implementación de modelos de carga diferentes al de impedancia constante potencia y corriente constante.
- El modelo de los sistemas de protección, y que básicamente serían las de los relés de sobrecorriente y de distancia, esto es importante porque una de las metas del estudio de estabilidad es determinar el adecuado funcionamiento de los equipos de protección.
- Si bien en la mayoría de sistemas la falla trifásica es siempre la más severa, no siempre es la que con más frecuencia ocurre, entonces puede tenderse a sobredimensionar un sistema, entonces sería adecuado poder estudiar otro tipo de falla, lo cual se reafirma si pensamos que en uno de los artículos estudiados se recomienda analizar la estabilidad del sistema con una falla de dos fases a tierra

Los puntos indicados no son en realidad de fácil resolución, pero se debería orientar bien como tesis de grado o como investigación de los departamentos de la Escuela Politécnica Nacional el estudio a estos campos.

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

- 1.- STAGG, G.W. y A. H. EL-ABAID: "Computer Methods in Power System Analysis", 1ra. Edición, McGraw-Hill Book Company, New York, 1968.
- 2.- BROWN, HOMER E: "Solution of Large Networks by Matrix Methods" 1ra. Edición, John Wiley and Sons Inc. USA 1975
- 3.- ELGERD, O.I.: "Electric Energy Systems Theory", 1ra. Edición Mc Graw-Hill Book Company, New York 1971
- 4.- "Electrical Transmission and Distribution Reference Book", Westinghouse Electric Corporation, Pittsburgh, Cuarta Edición, 1964
- 5.- KIMBARK, E.W.: "Power System Stability", 1ra. Edición, John Wiley and Sons, Inc. Londres, 1970
- 6.- KUO, S. SHAN: "Computer Applications of Numerical Methods", 1ra. Edición, Addison-Wesley Publishing Company, Durham, New Hampshire, 1971
- 7.- KASI NAGAPPAN: "Step by Step Formation of Bus Admittance Matrix" IEEE Transactions Power Apparatus and System, Vol. 89, Mayo/Junio; 1970, pp. 812-819
- 8.- "Computer Representation of Excitation System", IEEE Comitee Report, IEEE Transactions Power Apparatus and Systems", vol. 87, Junio de 1968, pp. 1460-1464
- 9.- KENT M.H., SCMUS W.R., MCCRACKIN F.A. y WHEELER L.M.: "Dynamic Modeling of Loads in Stability Studies", IEEE Transactions Power Apparatus and Systems, vol.88, Mayo 1969, pp. 756-763

- 10.- DOMMEL H.W. y SATO N.: "Fast transient Stability Solutions "IEEE Transaction Power Apparatus and Systems, Noviembre/Diciembre 1971, pp. 1643-1650
- 11.- DIRKACZ M.S., YOUNG C. C. y MAGANNIS F.J., " A Digital Transient Stability Program including the effects of Regulator, Exciter and Governor Response AIEE, Febrero de 1961, pp. 1245-1256
- 12.- ISONO A., OKUDA K. y KUBO : "Digital Simulation of Power Disturbances and Protective Relaying", IEEE transactions Power Apparatus and Systems, Noviembre/Diciembre de 1970 pp. 2039-2048
- 13.- SANHUEZA H.: "Análisis del Sistema Eléctrico de Potencia" EPN Departamento de Potencia, 1974.
- 14.- "Power System Stability Program User's Manual" GENERAL ELECTRIC
- 15.- "Power System Stability Program User's Guide" Philadelphia Electric Company.

APENDICE A

DERIVACION DE LA FORMULA DE RUNGE KUTTA CON COEFICIENTES RUNGE

Todas las fórmulas las obtenemos de la expansión de la serie de Taylor

$$Y_{n+1} = Y_n + Y'_n(\Delta t) + \frac{Y''_n}{2!} (\Delta t)^2 + \frac{Y'''_n}{3!} (\Delta t)^3 + \frac{Y^{iv}_n}{4!} (\Delta t)^4 + \dots$$

A.1

$Y'_n; Y''_n; Y'''_n; \dots Y^n$ derivadas de la función

$Y = f(t, y)$, 1ª, 2ª, 3ª enésima derivada

Si llamamos $\Delta Y_n = Y_{n+1} - Y_n$ A.2

Entonces

$$\Delta Y_n = Y'_n(\Delta t) + \frac{Y''_n}{2!} (\Delta t)^2 + \frac{Y'''_n}{3!} (\Delta t)^3 + \frac{Y^{iv}_n}{4!} (\Delta t)^4 + \dots$$

A.3

Anotando que

$$\begin{aligned} Y' &= f(t, y), \\ Y'' &= f' = \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{dt} = f_t + f_y f, \\ Y''' &= f'' = \frac{\partial f'}{\partial t} + \frac{\partial f'}{\partial y} f \\ &= [f_{tt} + (f_{yt} f + f_y f_t)] + [f_{ty} + (f_{yy} f + f_y^2)] f, \\ Y^{iv} &= f_{ttt} + \dots \end{aligned}$$

A.4

Los subíndices t - y representan diferenciación con respecto a t o y.

Reemplazando las ecuaciones (A.4) en la ecuación (A.3)

$$\begin{aligned} \Delta y_n &= f_n(\Delta t) + (1/2!)(f_t + f_y f)_n (\Delta t)^2 \\ &+ (1/3!)[f_{tt} + 2f_{ty} f + f_{yy} f^2 + (f_t + f_y f)f_y]_n (\Delta t)^3 \\ &+ (1/4!)[f_{ttt} + \dots]_n (\Delta t)^4, \end{aligned}$$

A.5

n indica que las funciones serán evaluadas en el punto (t_n, y_n)

Las ecuaciones (A.5) tienen muchas derivadas lo que las hacen poco prácticas para el cálculo de Δy_n .

Para obviar esto arbitrariamente escogemos:

$$\Delta Y_n = (\mu_0 z_0 + \mu_1 z_1 + \mu_2 z_2 + \dots + \mu_m z_m),$$

Donde:

$$\begin{aligned} z_0 &= f(t_n, y_n) \Delta t, \\ z_1 &= f(t_n + \alpha_1 \Delta t, Y_n + \beta_{10} z_0) \Delta t, \\ z_2 &= f(t_n + \alpha_2 \Delta t, Y_n + \beta_{20} z_0 + \beta_{21} z_1) \Delta t, \\ &\vdots \\ z_m &= f(t_n + \alpha_m \Delta t, Y_n + \beta_{m0} z_0 + \beta_{m1} z_1 + \dots) \Delta t, \end{aligned} \quad A.6$$

Se debe determinar pues las constantes μ, α y β

Tomando $m=3$ en la ecuación (A.6) se tendrá la aproximación de cuarto orden, es decir truncando la serie de Taylor en el término con Δt^4 , Y_n es:

$$\begin{aligned} \Delta Y_n &= \mu_0 z_0 + \mu_1 z_1 + \mu_2 z_2 + \mu_3 z_3, \\ z_0 &= f(t_n, Y_n) \Delta t, \\ z_1 &= f(t_n + \alpha_1 \Delta t, Y_n + \beta_{10} z_0) \Delta t, \\ z_2 &= f(t_n + \alpha_2 \Delta t, Y_n + \beta_{20} z_0 + \beta_{21} z_1) \Delta t, \\ z_3 &= f(t_n + \alpha_3 \Delta t, Y_n + \beta_{30} z_0 + \beta_{31} z_1 + \beta_{32} z_2) \Delta t. \end{aligned} \quad A.7$$

Queda por determinar para este caso las constantes

$$\begin{aligned} &\mu_0, \mu_1, \mu_2, \mu_3; \\ &\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3; \\ &\beta_{10}, \beta_{20}, \beta_{30}, \beta_{21}, \beta_{31}, \beta_{32}. \end{aligned}$$

Como la serie de Taylor para dos variables independientes alrededor del punto (a, b) es:

$$f(a+h, b+k) = f(a, b) + f_x(a, b)h + f_y(a, b)k + \frac{1}{2!} [f_{xx}(a, b)h^2 + 2f_{xy}(a, b)hk + f_{yy}(a, b)k^2] + \dots,$$

A.8

Simbolicamente

$$f(a+h, b+k) = f(a, b) + \left(h \frac{\partial}{\partial x} + k \frac{\partial}{\partial y} \right) f(a, b) + \frac{1}{2!} \left(h \frac{\partial}{\partial x} + k \frac{\partial}{\partial y} \right)^2 f(a, b) + \frac{1}{3!} \left(h \frac{\partial}{\partial x} + k \frac{\partial}{\partial y} \right)^3 f(a, b) \dots$$

A.9

Reemplazando z_0, z_1, z_2, z_3 en la ecuación (A.9) y en forma simbólica

$$\begin{aligned} z_0 &= f_n \Delta t, \\ z_1 &= \left[f_n + \left(\alpha_1 \Delta t \frac{\partial}{\partial t} + \beta_{10} z_0 \frac{\partial}{\partial y} \right) f_n + \frac{1}{2!} \left(\alpha_1 \Delta t \frac{\partial}{\partial t} + \beta_{10} z_0 \frac{\partial}{\partial y} \right)^2 f_n + \frac{1}{3!} \left(\alpha_1 \Delta t \frac{\partial}{\partial t} + \beta_{10} z_0 \frac{\partial}{\partial y} \right)^3 f_n + \dots \right] \Delta t, \\ z_2 &= \left\{ f_n + \left[\alpha_2 \Delta t \frac{\partial}{\partial t} + (\beta_{20} z_0 + \beta_{21} z_1) \frac{\partial}{\partial y} \right] f_n + \frac{1}{2!} \left[\alpha_2 \Delta t \frac{\partial}{\partial t} + (\beta_{20} z_0 + \beta_{21} z_1) \frac{\partial}{\partial y} \right]^2 f_n + \frac{1}{3!} \left[\alpha_2 \Delta t \frac{\partial}{\partial t} + (\beta_{20} z_0 + \beta_{21} z_1) \frac{\partial}{\partial y} \right]^3 f_n + \dots \right\} \Delta t, \\ z_3 &= \left\{ f_n + \left[\alpha_3 \Delta t \frac{\partial}{\partial t} + (\beta_{30} z_0 + \beta_{31} z_1 + \beta_{32} z_2) \frac{\partial}{\partial y} \right] f_n + \frac{1}{2!} \left[\alpha_3 \Delta t \frac{\partial}{\partial t} + (\beta_{30} z_0 + \beta_{31} z_1 + \beta_{32} z_2) \frac{\partial}{\partial y} \right]^2 f_n + \frac{1}{3!} \left[\alpha_3 \Delta t \frac{\partial}{\partial t} + (\beta_{30} z_0 + \beta_{31} z_1 + \beta_{32} z_2) \frac{\partial}{\partial y} \right]^3 f_n + \dots \right\} \Delta t \end{aligned}$$

A.10

¡Así obtenemos dos expresiones para Δy_n , una de las ecuaciones (A.9) y la otra de (A.5).

Igualando coeficientes nos queda

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= \beta_{10}, \\
 \alpha_2 &= \beta_{20} + \beta_{21}, \\
 \alpha_3 &= \beta_{30} + \beta_{31} + \beta_{32}; \\
 \mu_0 + \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 &= 1, \\
 \mu_1 \alpha_1 + \mu_2 \alpha_2 + \mu_3 \alpha_3 &= \frac{1}{2}, \\
 \mu_1 \alpha_1^2 + \mu_2 \alpha_2^2 + \mu_3 \alpha_3^2 &= \frac{1}{3}, \\
 \mu_1 \alpha_1^3 + \mu_2 \alpha_2^3 + \mu_3 \alpha_3^3 &= \frac{1}{4}, \\
 \mu_2 \alpha_1 \beta_{21} + \mu_3 (\alpha_1 \beta_{31} + \alpha_2 \beta_{32}) &= \frac{1}{6}, \\
 \mu_2 \alpha_1^2 \beta_{21} + \mu_3 (\alpha_1^2 \beta_{31} + \alpha_2^2 \beta_{32}) &= \frac{1}{12}, \\
 \mu_2 \alpha_1 \alpha_2 \beta_{21} + \mu_3 (\alpha_1 \beta_{31} + \alpha_2 \beta_{32}) \alpha_3 &= \frac{1}{8}, \\
 \mu_3 \alpha_1 \beta_{21} \beta_{32} &= \frac{1}{24}.
 \end{aligned} \tag{A.11}$$

Con once ecuaciones y tres incógnitas para resolver, arbitrariamente escogemos $\mu_1 = \mu_2 = \frac{1}{3}$ y resolviendo el sistema de ecuaciones (A.11) obtenemos los siguientes valores:

$$\begin{array}{lll}
 \mu_0 = \frac{1}{6} & \alpha_1 = \frac{1}{2} & \beta_{10} = \frac{1}{2} \\
 \mu_1 = \frac{1}{3} & \alpha_2 = \frac{1}{2} & \beta_{20} = 0 \\
 \mu_2 = \frac{1}{3} & \alpha_3 = 1 & \beta_{30} = 0 \\
 \mu_3 = \frac{1}{6} & & \beta_{21} = \frac{1}{2} \\
 & & \beta_{31} = 0 \\
 & & \beta_{32} = 1
 \end{array}$$

Reemplazando estos valores en las ecuaciones (A 6) obtenemos la fórmula de Runge Kutta de 4to. orden:

$$\Delta y_n = \frac{1}{6} (z_0 + 2z_1 + 2z_2 + z_3)$$

$$z_0 = f(t_n, y_n) \Delta t$$

$$z_1 = f\left(t_n + \frac{\Delta t}{2}, y_n + \frac{z_0}{2}\right) \Delta t$$

$$z_2 = f\left(t_n + \frac{\Delta t}{2}, y_n + \frac{z_1}{2}\right) \Delta t$$

$$z_3 = f(t_n + \Delta t, y_n + z_2) \Delta t$$

(A.12)


```

0001 INTEGER COD,S
0002 COMPLEX Z,YC,X(60),YI,LREAL,E(60),EXISOW,I,QAD(60),KPWR(60),ZORGE
0003 1,YIK(70),YJMF,YDI,VCS,YAHX,TI(70),YLPQ(60,60),DPWF(60),YINMF
0004 COMPLEX FOI(70),XO(30),IO(70)
0005 PCAL KA(30),KE(30),KF(70)
0006 DIMENSION TITULO(40),NCARRA(2),NOCOC(70),H(70),PCTGT(70),PA(30),XD
0007 1S(70),XO(70),TOD(70),AG(70),RG(70),XO(70),TA(70),VPMAX(30),VRMIN(3
0008 20),TE(70),TE(70),SEM(70),SF75(70),X1(30),X2(70),X6(70),X7(30),XR(3
0009 30),XQM(30),X6A(70),X7A(30),XPA(70),X9A(30),DELXI(30),SF(30),VRFF(3
0010 40),DM(70),PELEC(70),X1A(70),X2A(70),DELXA(30),DELX9(30),DELX7(30)
0011 DIMENSION TOI(30),TD2(70)
0012 COMMON /VOLTAGE
0013 COMMON /MEM1/FOI,FI,XO,VPMAX,VRMIN,SEM,SF75
0014 COMMON /MEM2/EPS,MAX,FAC,S
0015 COMMON /MEM3/ALQAN ,YLPQ,KPWR,N
0016 COMMON /MEM3A/Y
0017 COMMON /MEM12/POWP
0018 COMMON /MEM11/XO,XD,XDS,PA,PCTGT,NGM],NGM2
0019 COMMON /MEMA/YLK,M
0020 COMMON /MEMOZH,TOO,TOI,TD2
0021 COMMON /MEMS/X1,X2,X6,X7,X8,X9M,X6A,X7A,X8A,X9A
0022 COMMON /MEMR/KE,KA,KF,TE,TA,TF
0023 COMMON /MEMA/DELXI,DELX7,DELX8,DELX9
0024 COMMON /MEM14/NOCOC,T
0025 COMMON /MEME/VPFF,OM,PFEFC
0026 COMMON /ME121/X1A,X2A
0027 COMMON /TITULO/TITULO
0028 COMMON /MEMARS/AG,RG,SE
0029 COMMON /MEM19/IOO
0030 WRITE(7,1000)
0031 1000 FORMAT(1H,RS(//),45X,'ESCUELA POLITECNICA NACIONAL',3(//),31X,'PR
0032 2 TESTS DE GRADO',3X,'JULIO 1979',10(//),90X,'L.F.G.M.',)
0033 $EO
0034 DTMIN=0.005
0035 LREAL=(1.,0.)
0036 NPAGE=0
0037 NLTES=0
0038 WRITE(7,1060)
0039 1060 FORMAT(1H,3(//))
0040 DEAR(1,1010)TITULO
0041 1010 FORVAT(2044,/,2044)
0042 NDAGENDAR(1)
0043 WRITE(7,125)NDAG
0044 125 FORMAT(1X,DEFI,90X,'DAG.',12,///)
0045 WRITE(7,1020)TITULO
0046 1020 FORMAT(21X,2044,/,20X,2044)
0047 WRITE(7,11070)
0048 11070 FORVAT(31,64X,'DATOS DE LINEAS Y TRANSFORMADORES',77,22X,'LINEA',
0049 21OF,7X,'A',RX,'RESIST.',7X,'PEACTAN.',8X,'YC/2.',13X,'G.',14X,'B.',/
0050 3)
0051 READ(1,1030)N,NLIN,EPS,MAX,FAC
0052 IF(N.GT.50)GO TO 90
0053 FORVAT(217,F10.8,I3,F6.2)
0054 DO 4 I=1,N
0055 DO 4 J=1,N
0056 4 Y(I,J)=0.0,0.0
0057 DO 1 I=1,NLIN
0058 C LEA DATOS DE LINEAS Y TRANSFORMADORES
0059 C FORMACION DE Y BARRA UTILIZANDO LA MATRIZ TRIANGULAR INFERIOR
0060 C
0061 READ(1,1040)IO,I,J,Z,YC
0062 1040 EFORMAT(12,2(13,2X),2F5.2,2F4.2)
0063 YC=YC+(Z,0.)
0064 YSHEATMAG(YC)
0065 IF(1.GT.J)GO TO 7
0066 GO TO 8
0067 7 Y(I,J)=-LREAL*100./Z
0068 Y(I,J)=YC
0069 Y(I,J)=Y(J,J)-Y(I,J)+Y(J,I)
0070 Y(I,J)=Y(I,I)-Y(I,J)+Y(J,I)
0071 WRITE(3,1160)I,J,Z,YSH,YI
0072 GO TO 1
0073 8 Y(J,I)=-LREAL*100./Z
0074 YI=-Y(J,I)
0075 YI,J)=YC
0076 Y(I,I)=Y(I,I)-Y(I,I)+Y(I,J)
0077 0066

```

```

0057 Y(J,J)Y(J,J)-Y(J,I)+Y(I,J)
0058 WRITE(3,1160)I,J,7,YSH,YI
0059 I CONTINUE
0070 FORMAT(19X,2(17,5X),5(F10.5,5X))
0071 WRITE(3,1060)
0072 NPAG=NPAG+1
0073 WRITE(3,125)NPAG
0074 WRITE(3,1020)TITULO

```

C LECTURA Y ESCRITURA DE DATOS DE BARRAS

```

0075 READ(1,1122)IFR
0076 FORMAT(I2)
0077 IF(IFR.EQ.0)GO TO 099
0078 WRITE(3,1070)
0079 FORMAT(//,53X, DATOS DE BARRAS, //,10X, 'RAPRA', //,10X, 'VOLTAJE', //,17X,
1080 '1. GENERACION', //,10X, 'CAPCA', //,14X, 'NUM', //,5X, 'NOMPRE', //,2X, 'COD', //,4X, 'REA
21.9X, 'IMAG', //,10X, '2. MW', //,10X, 'MWAP', //,10X) /
DO 6 I=1,N
READ(1,1000)NR,NSAPCA,COD,F(NR),FXISPW,LOAD(NR)
IF(NR.EQ.0)NR=NR+CT.N)GO TO 92
FORMAT(2X,17,2A4,11,2F4.1,2(F5.1,F6.1))
KOMP(NR)=(FXISPW-LOAD(NR))/(100.0)
WRITE(3,1100)NR,NRAPRA,COD,F(NR),FXISPW,LOAD(NR)
FORMAT(13X,17,5X,2A4,2X,11,2X,6(FR,1,5X))
6 CONTINUE
IF(S.EQ.0)GO TO 94

```

C CALCULO DE FLUJO ANTES DE LA FALLA

```

0097 NDAG=NDAG+1
0098 WRITE(3,1040)
0099 WRITE(3,125)NPAG
0099 WRITE(3,1020)TITULO
0099 FORMAT(//,73X, DATOS DE LOS GENERADORES QUE INTERVIENEN EN EL ES
1000 '1. TUDIO', //,15X, 'GEN', //,5X, 'BARRA A', //,5X, 'CTE INEP', //,5X, 'PA', //,7X, 'XDS', //,5X,
2, //,2X, 'RY', //,7X, 'PCTGT', //,5X, 'INDI', //,7X, 'NUM', //,2X, 'NUM', //,1X, 'NOMBRE
3, //,6X, 'H', //,6X, 'A', //,6X, 'U', //,6X, 'I', //,6X, 'PCT', //)

```

C LECTURA DE DATOS DE GENERADORES Y REGULADORES DE VOLTAJE

```

0107 READ(1,1110)NGM1,NGM2
0108 FORMAT(2I3)
0109 M=NGM1+NGM2
0110 IF(M.GT.30)GO TO 95
0111 IF(NGM1.GT.0)GO TO 12
0112 IF(NGM2.GT.0)GO TO 14
0113 GO TO 96
0114 CONTINUE
0115 DO 10 I=1,NGM1
0116 READ(1,1130)NGMCO(I),NRAPRA,H(I),ZOGF,PCTGT(I)
0117 FORMAT(13,2A6,4F6.2)
0118 YLX(I)=REAL(ZOGF)
0119 RA(I)=REAL(ZOGF)
0120 XDS(I)=AIMAG(ZOGF)
0121 WRITE(3,1140)I,NGMCO(I),NRAPRA,H(I),RA(I),XDS(I)
0122 H(I)=IRR(49554/H(I))
0123 FORMAT(15X,2(17,2X),2A4,2X,3(FR,4,2X))
0124 IF(NGM2.EQ.0)GO TO 15
0125 DO 11 I=1,NGM2
0126 NGMCO(I)=NGM1
0127 READ(1,1150)NGMCO(NGFN),NRAPRA,H(NGFN),ZOGF,XDS(NGFN),XD(II),PCTGT
0128 I(NGFN),TDO(II),AC(II),RG(II)
0129 FORMAT(13,2A4,9F6.2)
0130 RA(NGFN)=REAL(ZOGF)
0131 X(II)=AIMAG(ZOGF)
0132 YLX(NGFN)=REAL(ZOGF)
0133 WRITE(3,1150)NGFN,NGMCO(NGFN),NRAPRA,H(NGFN),RA(NGFN),XDS(NGFN),XD
0134 I(II),X(II),PCTGT(NGFN),TDO(II)
0135 H(NGFN)=IRR(49556/H(NGFN))
0136 FORMAT(15X,2(17,2X),2A4,2X,7(FR,4,2X))
0137 NPAG=NPAG+1
0138 WRITE(3,125)NPAG
0139 WRITE(3,1020)TITULO
0140 WRITE(3,11230)
0141 FORMAT(5//,25X, DATOS DE LOS REGULADORES DE VOLTAJE PARA LOS GENE
0142

```

```

12ADDD005 CON MODELO II, /24X, NUM, 5X, KA, 5X, TA, 3X, VRMAX VRMIN
21, 2X, KE, 5X, TET, 5X, KE, 5X, TE, 3X, AEXP, REXP, /
00 110 KE1, NGV?
0131 READ(1, 1240) NG, KA(K), TA(K), VPMAX(K), VRMIN(K), KF(K), TF(K), KE(K), TE(
0132 K), SEM(K), SE75(K)
0133 FORMAT(11, 10F6.3)
0134 WRITE(1, 1250) NG, KA(K), TA(K), VPMAX(K), VRMIN(K), KF(K), TF(K), KE(K), TE
0135 K), SEM(K), SE75(K)
0136 FORMAT(3X, 17.4X, 5F6.2, 1X, F6.2, 2X, F6.2, 2X, F6.2, F7.4, F6.3)
0137 /S=0
C
C DATOS GENERALES PARA EL CALCULO DE ESTABILIDAD
C
120 READ(1, 120) TDDF1, TDDF2, TDDF3, TMAX, DT, TDEL, TERES
FORMAT(7F6.4)
TDDF=TOEL
TTER=TERES
TDDF=TDDF1
C
C LECTURA DE INDICE DE TIPO DE DISTURBIO U OPERACION
C
0143 READ(1, 97) INCC
0144 FORMAT(3X, I2)
0145 IF(INCC.EQ.1) READ(1, 98) EFS, MAX, FAC, DTMIN
0146 FORMAT(4X, F10.8, F13, F6.2, F8.5)
0147 75
0148 READ(1, 1190) IFAULT
0149 FORMAT(I)
0150 IF(IFAULT.GT.7) GO TO 99
0151 IF(IFAULT.LE.4) GO TO 101
0152 IFFLT=IFAULT-4
0153 GO TO (51, 61, 71), IFFLT
0154 READ(1, 1190) NGFF
0155 FORMAT(2X, I7)
0156 LENDCC(NGFF)
0157 IF(T.NE.0.) Y(L, L)=Y(L, L)+YLK(NGFF)
0158 I1=1
0159 JJJ=0
0160 YLK(NGFF)=(0., 0.)
0161 WRITE(2, 1210) NGFF, NDDCC(NGFF)
0162 FORMAT(5(/), 24X, 'SAL F DEL SISTEMA EL GENERADOR NUMERO ', I3, ' CONEC
0163 TADO A LA BARRA NUMERO ', I3)
0164 GO TO 102
0165 READ(1, 1190) S
0166 WRITE(3, 1220) S
0167 FORMAT(5(/), 41X, 'FALLA TRIFASICA EN LA BARRA NUMERO ', I3)
0168 GO TO 102
0169 WRITE(3, 220) S, T
0170 FORMAT(//, 42X, 'DESPEJE DE FALLA EN BARRA', I3, ' T=', F4.2)
0171 S=0
0172 GO TO 345
0173 CALL MOPFD (IFAULT, I11, JJJ, Y1NNF, YJNF, IDFL, YP1, YP2, YAUX, &127)
0174 S=0
C
C MODIFICA CARGAS A IMPEDANCIA CTE
C
C CALCULOS PRELIMINARES ANTES DE ESTUDIO DE ESTABILIDAD :
C
C INICIALIZACION DE PARAMETROS PARA EC. DIFERENCIALES.
C
C CALCULO DE POTENCIA M.C., SUBROUTINE VAIN, SUBROUTINE LINEPA
C
102 CALL LINEPA (I11, JJJ, NPAG)
0173 IF(T.FO.0.) CALL VAIN(NGFF, IFAULT, NPAG)
0174 IF(IFAULT.FO.5) E(S)=(0., 0.)
C
C ESTUDIO DE ESTABILIDAD PROPIAMENTE DICHO ADEMÁS
C
C ESCRITURA DE RESULTADOS Y CONTROL DE TIEMPOS DE OPERACION
C
345 JP=0
0175 17 JDEJ=1
0176 CALL VTDANS(IES, NPAG, NLJES, AP?)
0177 CALL POTFN(NPAG, JP)
0178 CALL PKUTTA
0179 CALL EGEN
0180 IF(JB.FO.4) GO TO 16
0181 GO TO 17
0182 TET=DT
0183 IF (T.FO. TDEL) GO TO 18
0184 IF (ARS(T-TDDF), LE., 0.0001) GO TO 19
0185 IF (ARS(T-TDDF), LE., 0.0001) GO TO 20
0186 25 IF(T.GE. TMAX) GO TO 345
0187 GO TO 345

```



```
0257 2090 FORMAT(2X,I3,2A4,I1,2F5.3,2(F8.3,F7.3))
0258 ANGR=ANG/27.26578
0259 FER=FEL*COS(ANGR)
0260 EFT=FEL*SIN(ANGR)
0261 E(NR)=CMPLX(EFR,FFT)
0262 WRITE(3,1111)NB,NRAPRA,FEL-ANG,PPWR(NB),LOAD(NB)
0263 1111 FORMAT(13X,I3,5X,2A4,5X,6(F8.3,5X)/)
0264 89H CONTINUE
0265 888 GO TO 897
0266 STOP
0267 END
```

```

0001 SUBROUTINE LDFLOW(NPAC,*)
0002 INTGEP S
0003 COMPLEX Y(60,60),YLPO(60,60),KPWR(60),E(60),LOAD(60),YII,PPWR(60),
0004 ISUM,ENEW,PWR(60),FEW,FL
0005 DIMENSION TITULO(40)
0006 COMMON /VOLTA/E
0007 COMMON /MEM234/Y
0008 COMMON /MEM24/LOAD,YLPO,KPWR,N
0009 COMMON /MEM02/ERS,MAX,FAC,S
0010 COMMON /MEM03/DWR
0011 COMMON /MEM12/PPWR
0012 COMMON /TITULO/TITULO
0013 DO 77 I = 1, N

```

C CALCULO DE LOS PARAMETROS YLPO A UTILIZAR EN PROCESO ITERATIVO PARA CALCULO DE VOLTAJES

```

0013 DO 77 J=1,N
0014 IF(I-J)75,74,76
0015 YLPO(I,J)=Y(J,I)/Y(I,I)
0016 GO TO 77
0017 YLPO(I,J)=Y(I,J)/Y(I,I)
0018 GO TO 77
0019 YLPO(I,J)=CONJG(KPWR(I))/Y(I,I)
0020 77 CONTINUE

```

C PROCESO ITERATIVO DE CALCULO DE VOLTAJES

```

0021 DO 83 IFE=1,MAX
0022 DELTAE = 0.0
0023 DO 111 I = 1,N
0024 IF (S.EQ.I) GO TO 111
0025 YII = YLPO(I,I)
0026 YLPO(I,I) = (0.0,0.0)
0027 SUM = (0.0, 0.0)
0028 DO 102 J = 1,N
0029 YLPO (I,I) = YLPO(I,J) * F(J)
0030 ENEW=(YLPO(I,I)/CONJG(F(I)))-SUM
0031 FEW=ENW-F(I)
0032 FE(I)=FE(I)+FAC*FEW
0033 IF (DELTA.F.LT.FDS) GO TO 299
0034 83 CONTINUE
0035 RETURN
0036 200 NDAGENDAG+1
0037 WRITE(3,1060)
0038 FORMAT(1H1,3(/))
0039 * WRITE(3,125)NDAG
0040 125 ECRMAT(10X,'DEFI',9CX,'PAG. ',I2,7//)
0041 WRITE(3,1020)TITULO
0042 1020 FORMAT(21X,20A4,7/,20X,20A4)

```

C ESCRITURA DE RESULTADOS DE FLUJO DE CARGA

```

0043 WRITE(3,205)ITER
0044 FORMAT(/,4AX,1FL NUMERO DE ITERACIONES FUE',I4,/)
0045 205 WRITE(3,307)
0046 DO 301 I=1,N
0047 PPWR(I)=(0.,0.)
0048 FE=CARS(F(I))
0049 FE=PEAL(F(I))
0050 EIM=IMAG(F(I))
0051 ANGEATAN(FIM/FE)*57.2957R
0052 DO 302 J=1,N
0053 DWR(J)=(0.,0.)
0054 FL=(F(I)-E(J))*CONJG(F(I))
0055 FLIEF(I)*CONJG(E(I))
0056 IF(I-J)10,302,9
0057 9 DWR(J)=-Y(I,J)*EL+Y(J,I)*FLI)*100.
0058 GO TO 11
0059 10 DWR(J)=-Y(J,I)*FL+Y(I,J)*FLI)*100.
0060 11 PWR(J)=CONJG(PPWR(J))
0061 302 PPWR(I)=DWR(I)+DWR(J)
0062 ESCRITURA DE RESULTADOS DEL FLUJO DE CARGA
0063 PPWR(I)=PPWR(I)+LOAD(I)
0064 PWE=CARS(PPWR(I))
0065 FE(DW.LT.0.)=PPWR(I)
0066 WRITE(3,206)I,FEI,ANG,PPWR(I),LOAD(I)

```



```

0059 DO 304 J=1,N
0070 PW=PEAL(PWR(J))
0071 IE(ARS(PW),EN,0.0,OP,I.EO,J)GO TO 304
0072 WRITE(1,403)J,PWR(J)
0073 304 CONTINUE
0074 301 CONTINUE
0075 303 FORMAT(//,7X,'RESULTADOS DEL ESTUDIO DE FLUJO DE POTENCIA',//,16
1X,'RAPP',7X,'VOLTAJE',10X,'MVAS GENERACION',6X,'MVAS CARGA',6X,'M
2VAS ENFRE BARRAS P-0',//,17X,'NUM',5X,'MAG',6X,'ANG',2(7X,'MW',7X
3,'MVAR'),2X,'BARRA',5X,'MW',7X,'MVAR',//)
0076 206 FORMAT(16X,13.6F10.3,2X,23( '-'))
0077 403 FORMAT(10X,13.2F10.2)
0078 RETURN
0079 END

```

```

0001 SURROUTINE MODER(IFAU,IT,I,J,J,J,YINF,YJNF,IDEF,YPI,YP2,YAUX,*)
0002 COMPLEX Y(60,60),F(60),YINF,YJNF,YPI,YP2,YAUX,YL10,DSI
0003 LAD(60),YLD(60,F0),KWP(60)
0004 DIMENSION TITULO(40)
0005 COMMON /VOLTAJE/VEM234/Y
0006 COMMON /MEMORIA/LDAD,YLPO,KPWR,N
0007 COMMON /TITLE/TITULO
0008 GO TO (11,21,31,A1),IFAULT
C
C MODIFICACION DE LA MATRIZ Y BARRA PARA SIMULAR EL EFECTO DE UNA FALLA EN UN
C UNA LINEA DE TRANSMISION
C
11 READ(1,1160)IFAL,JFAL,DIPCT,ILDC
1160 FORMAT(2I3,F5.2,I3)
1161 WRITE(3,900)DIPCT
800 FORMAT(5/),31X,1SE CONSIDERA UNA FALLA TRIFASICA EN LA LINEA DE T
1 TRANSMISION,77.19X,LA FALLA OCURRE A UNA DISTANCIA IGUAL A ,F4.1,
2, X DE LA LONGITUD TOTAL DE LA LINEA DESDE EL NODO I,
WRITE(3,900)
900 FORMAT(/,35X,LINEA CIPC,19X,PARAMETROS MODIFICADOS,/,35X,1,
12X,I1,7X,NUM,5X,Y(1,J),P.U.,5X,Y(J,J),P.U.,)
IF(IFAL,GT,N,OR,JFAL,GT,N)RETURN 1
RELA=100.-DIPCT
15(ILDC,F0.1)GO TO 200
16(IFAL,LT,JFAL)GO TO 100
Y01=Y(IFAL,JFAL)
Y02=Y(JFAL,IFAL)
YINF=-Y(IFAL,JFAL)*(RELA/DIPCT)-Y(JFAL,IFAL)*(RELA/100.)
YJNF=-Y(IFAL,IFAL)*Y(IFAL,IFAL)+YINF
40 Y(JFAL,JFAL)=Y(JFAL,JFAL)+YJNF
WRITE(3,2) IFAL,JFAL,ILDC,Y(IFAL,IFAL),Y(JFAL,JFAL)
2 FORMAT(35X,2I3,2X,13,2X,4(F8.4,2X)
1)DELE=1
111=IFAL
112=IFAL
JJJ=JFAL
Y(IFAL,JFAL)=(0.,0.)
Y(JFAL,IFAL)=(0.,0.)
RETURN
100 YINF=-Y(JFAL,IFAL)*(RELA/DIPCT)-Y(IFAL,JFAL)*(RELA/100.)
YJNF=-Y(JFAL,IFAL)*(DIPCT/RELA)-Y(IFAL,JFAL)*(DIPCT/100.)
Y01=Y(JFAL,IFAL)
Y02=Y(IFAL,JFAL)
GO TO 40
Y02=Y(IFAL,JFAL)
200 IF(IFAL,LT,JFAL)GO TO 300
Y01=Y(IFAL,JFAL)
Y02=Y(JFAL,IFAL)
READ(1,60) Y(IFAL,JFAL),Y(JFAL,IFAL)
Y(IFAL,JFAL)=Y(IFAL,JFAL)
YINF=Y01-Y(IFAL,JFAL)*(1.+100./DIPCT)-Y02+Y(JFAL,IFAL)*(1.+DIPCT/
1100.)
YJNF=Y01-Y(IFAL,JFAL)*(1.+100./RELA)-Y02+Y(JFAL,IFAL)*(1.+RELA/100
1.)
GO TO 40
Y01=Y(JFAL,IFAL)
Y02=Y(IFAL,JFAL)
READ(1,60) Y(JFAL,IFAL),Y(IFAL,JFAL)
Y(JFAL,IFAL)=Y(JFAL,IFAL)
YINF=Y01-Y(JFAL,IFAL)*(1.+100./DIPCT)-Y02+Y(IFAL,JFAL)*(1.+DIPCT/1
100.)
YJNF=Y01-Y(JFAL,IFAL)*(1.+100./RELA)-Y02+Y(IFAL,JFAL)*(1.+RELA/100
1.)
GO TO 40
C
C MODIFICACION DE LOS ELEMENTOS DE YBARRA PARA SALIDA DE UNA LINEA
C
21 WRITE(3,901)
901 FORMAT(5/),37X, SALIDA DE LINEA DE TRANSMISION O TRANSFORMADOR,
READ(1,10)I1,J,ILDC
10 FORMAT(3I3)
IF(I,GT,N,OR,J,GT,N)RETURN 1
15(ILDC,F0.1)GO TO 50
16(I,GT,J)GO TO 150
IF(IDEF,F0.1)GO TO 350
Y01=Y(I,J)
Y02=Y(I,J)
Y03=Y(I,J)
Y04=Y(I,I)+Y(J,J)+Y(AUX
250 Y(AUX=Y01-Y02
Y(I,J)=Y(I,I)+Y(AUX
Y(J,J)=Y(J,J)+Y(AUX
0051
0052
0053
0054
0055
0056
0057
0058
0059
0060
0061
0062
0063
0064
0065
0066

```

```

0067 Y(I,J)=(0.0,0.0)
0068 Y(I,I)=(0.0,0.0)
0069 WRITE(3,2) I,J, ILOC, Y(I,I), Y(J,J)
0070 III=I
0071 JJJ=J
0072 RETURN
0073 Y(I,I)=Y(I,I)-YINF
0074 Y(J,J)=Y(J,J)-YJNF
0075 GO TO 250
0076 IF(IDEFL.FO.1)GO TO 350
0077 Y(I,J)=Y(I,J)
0078 Y(J,I)=Y(J,I)
0079 GO TO 250
0080 IF(IGT.J)GO TO 450
0081 IF(IDEFL.FO.1)GO TO 500
0082 Y(I,J)=Y(I,J)
0083 Y(J,I)=Y(J,I)
0084 YAU=YP1-YP2
0085 READ(1,50)Y(J,I),Y(I,J)
0086 Y(I,I)=Y(I,I)
0087 FORMAT(12X,2F5.2,2F4.2)
0088 YAU=YAUX-Y(J,I)+Y(I,J)
0089 Y(I,I)=Y(I,I)+YAU
0090 Y(J,J)=Y(J,J)+YAU
0091 WRITE(3,2) I,J, ILOC, Y(I,I), Y(J,J)
0092 RETURN
0093 YAU=-Y(J,I)+Y(I,J)
0094 Y(I,I)=Y(I,I)-YINF
0095 Y(J,J)=Y(J,J)-YJNF
0096 GO TO 550
0097 IF(IDEFL.FO.1)GO TO 600
0098 Y(I,J)=Y(I,J)
0099 Y(J,I)=Y(J,I)
0100 YAU=YP1-YP2
0101 READ(1,60)Y(I,J),Y(J,I)
0102 Y(I,J)=Y(I,J)
0103 YAU=YAUX-Y(I,J)+Y(J,I)
0104 GO TO 550
0105 YAU=-Y(I,J)+Y(J,I)
0106 GO TO 650

```

C MODIFICACION DE LOS ELEMENTOS DIAGONALES POR EFECTO DE INCREMENTO DE CARGA

```

0107 31 WRITE(3,802)
0108 802 FORMAT(5(/),41X,'VARIACION RBUSCA DE CARGA EN EL SISTEM',//,34X,'
      1RPARA',10X,'DELTA S',10X,'PARAMETRO MODIFICADO',//,36X,1,8X,'MW',
      20X,'MVAR',10X,'YLI,1) P.U.>')
0109 25 READ(1,15)I,OSI,INAR
0110 15 FORMAT(2X,13,27X,2F6.1,13)
0111 IF(1.GT.N)RETURN 1
0112 YLI=CONJG(OSI)/E(I)*CONJG(E(I))*100.
0113 Y(I,I)=Y(I,I)+YLI
0114 WRITE(3,35)I,OSI,Y(I,I)
0115 35 FORMAT(36X,13,4X,4(F8.4,4X))
0116 IF(INAR.FO.0)GO TO 25
0117 III=I
0118 JJJ=J
0119 RETURN

```

C MODIFICACION DE LOS PARAMETROS DE LA RED POR RECONEXION DE LINEA DE TRANSMISIO

```

0120 41 WRITE(3,903)
0121 803 FORMAT(5(/),34X,'RECONEXION DE LA LINEA DE TRANSMISION O TRANSFORM
      1ACOR,')
0122 10000)
0123 WRITE(3,900)
0124 I=III
0125 J=JJJ
0126 Y(I,I)=Y(I,I)-YAU
0127 Y(J,J)=Y(J,J)-YAU
0128 IF(1.GT.J)GO TO 222
0129 Y(J,I)=Y(I,J)
0130 Y(I,J)=Y(J,I)
0131 155 WRITE(3,57)I,J,Y(I,I),Y(J,J)
0132 57 FORMAT(35X,213,7X,4(F8.4,2X))
0133 RETURN
0134 222 Y(I,J)=YPI
0135 Y(J,I)=YD2
0136 GO TO 155
0137 END

```

```

0001 SUBROUTINE LINEPA(III,JJJ,NPAG)
0002 COMPLEX F(60),Y(60,60),LOAD(60),YLK(30),KPWR(60),YLP0(60,60),YIO
0003 DIMENSION NODC0(30),TITULO(40)
0004 COMMON /VOLTAGE
0005 COMMON /MEM24/LOAD,YLP0,KPWR,N
0006 COMMON /MEM2347Y
0007 COMMON /MEM14/NODC0,T
0008 COMMON /MEM4/YLK,M
0009 COMMON /TITLE/TITULO
0010 IF(T.NE.0.)GO TO 100
0011 NPAG=NPAG+1
0012 WRITE(3,1060)
0013 FORMAT(1H1,3(/))
0014 WRITE(3,125)NPAG
0015 FORMAT(10X,1P1,50X,1PAG,1,12,///)
0016 WRITE(3,1020)TITULO
0017 FORMAT(21X,20A,/,/,20X,20A4)
0018 WRITE(3,55)
0019 FORMAT(5(/),30X,1PARAMETROS DE LA RED MODIFICADOS POR LA REPRESENTACION DE CARGAS,/,/,32X,1COMO Y CIE Y LA ADICION DE LAS BARRAS DE LOS GENERADORES,/,/,31X,2(1,4X,1J,9X,1Y(1,J),12X),/)

```

C MODIFICACION DE LOS ELEMENTOS DIAGONALES DE YBARRA
C CALCULO E INCLUSION DE LAS CARGAS MODELADAS COMO IMPEDANCIA CONSTANTE
C INCLUSION DE LAS ADMITANCIAS DE TRANSFERENCIA DE LOS GENERADORES

```

0020 DO 10 I=1,N
0021 YIO=CONJG(LOAD(I))/(100.*F(I)*CONJG(E(I)))
0022 Y(I,I)=Y(I,I)+YIO
0023 DO 10 K=1,M
0024 IF(NODC0(K).EQ.1)GO TO 30
0025 GO TO 10
0026 Y(I,I)=Y(I,I)+YLK(K)
0027 KPWR(K)=-YLK(K)/Y(I,I)
0028 CONTINUE
0029 DO 23 I=1,N
0030 DO 23 J=1,N

```

C CALCULO DE LOS PARAMETROS YLP0 A UTILIZARSE EN SOL. DE VOLTAJES EN VTRANS

```

0031 IF(I-J)21,2A,43
0032 YLP0(I,J)=Y(J,I)/Y(I,I)
0033 GO TO 21
0034 YLP0(I,J)=Y(I,J)/Y(I,I)
0035 GO TO 23
0036 YLP0(I,J)=Y(I,I)
0037 CONTINUE
0038 DO 2 I=1,N
0039 K=1
0040 IF(J.GT.N)GO TO 12
0041 WRITE(3,11)I,K,YLP0(I,K),I,J,YLP0(I,J)
0042 KEJ+1
0043 GO TO 3
0044 IF(K.GT.N)GO TO 2
0045 WRITE(3,13)I,K,YLP0(I,K)
0046 CONTINUE
0047 FORMAT(20X,2(13,2X),2(F8.4,2X))
0048 RETURN
0049 STOP
0050 NPAG=0
0051 LE=11
0052 CONTINUE
0053 DO 101 J=1,N
0054 IF(L-J)105,117,102
0055 YLP0(L,J)=Y(L,J)/Y(L,L)
0056 GO TO 101
0057 YLP0(L,J)=Y(J,L)
0058 GO TO 101
0059 YLP0(L,J)=Y(J,L)/Y(L,L)
0060 CONTINUE
0061 IF(NOD.FQ.1.OR.JJJ.EQ.0)GO TO 107
0062 LE=JJJ
0063 NPAG=NPAG+1
0064 GO TO 118
0065 CONTINUE
0066 DO 106 K=1,M
0067 IF(NODC0(K).EQ.1)KPWR(K)=YLK(K)/Y(I,I,III)
0068 IF(NODC0(K).EQ.1)KPWR(K)=YLK(K)/Y(L,L)
0069 CONTINUE
0070

```



```
0056 X9DIF=X0(J)-XDS(NGEN)
0057 FIDIF=X0(IJ)-XDS(NGEN)
0058 X9(J)=EQI(NGEN)-IDI*(X9DIF)
0059 X9M(J)=CAPS(X9(J))
0070 DFIM=AG(J)*(EXP(RG(J))*(X9M(J)-.5))
0071 DEIR=DFIM*COS(DELTA)
0072 FETJ=DFIM*SIN(DELTA)
0073 DEI=CMPLX(DEIR,DEIJJ)
0074 FI(J)=X9(J)+IDI*EIDIF+DEI
0075 XA(J)=CARS(FI(J))
0076 SF(J)=SFM(J)*(EXP(SE75(J))*X6(J))
0077 VREF(J)=CABS(E(L))
0078 XA(J)=0.
0079 X7(J)=0.
0090 X2(NGEN)=376.991118
0091 PM(NGEN)=REAL(PMEC)+REAL(CT*CONJG(CT)*RA(NGEN))
0092 WPTF(3,150)J.L,NGEN,CT,E0I(NGEN),X1(NGEN),PM(NGEN),X9(J),EI(J),VR
15F(J)
20 CONTINUE
0093 150 FORMAT(9X,3I4,4X,11F8.4)
0094 RETURN
0095 END
0096
```

```

0001 SUBROUTINE VTPANS(IFS,NPAG,NLIFS,*)
0002 REAL TMOU, ID
0003 INTEGER S
0004 COMPLEX YLPO(60,60),KPWR(60),IDD(30),FOI(30),F(60),SUM,YII,SUM2,EN
0005 IEN,X2(30),CT
0006 COMPLEX LPEAL,JMAG,DEF1,EFM,LOAD(60),YLK(30),EI(30)
0007 DIMENSION NORDC(30),X1(30),XC(30),XDS(30),TITULO(40)
0008 DIMENSION XD(30),DELX2(30),DELX6(30),VRMAX(30),VRMIN(30),SFM(30),S
0009 I75(30)
0010 DIMENSION X2(30),X6(30),X7(30),X9(30),XCM(30),X6A(30),X7A(30),X8A(
0011 170),X9A(30)
0012 COMMON /VOLTA/E
0013 COMMON /MEMO2/FDS,VAX,FAC,S
0014 COMMON /MEM24/LOAD ,YLPQ,KPWR,N
0015 COMMON /MEM14/NORDC,T
0016 COMMON /MEM01/X0,XD,XDS,DELX2,DELX6,NGM1,NGM2
0017 COMMON /MEM4/YLK,W
0018 COMMON /MEM13/FOI,EI,X9,VRMAX,VRMIN,SFM,SE75
0019 COMMON /MEM5/X1,X2,X6,X7,X8,X9M,X6A,X7A,X8A,X9A
0020 COMMON /MEM19/IDQ
0021 COMMON /TITL/TITULO
0022 LPEAL=(1,0,0)
0023 JMAG=(0,1,0)

```

C SOLUCION DE VOLTAJES DE PARRAS DEL SISTEMA

```

0021 DO 20 ITR=1,MAX
0022 DELTAE=0
0023 DO 30 I=1,N
0024 IF(S.EQ.1)GO TO 30
0025 YII=YLPO(I,I)
0026 YLPQ(I,I)=(0,0,0)
0027 SUME(C,0,0)
0028 DO 40 J=1,N
0029 SUM=SUM+YLPQ(I,J)*E(J)
0030 YLPQ(I,I)=YII
0031 SUM2=(0,0,0)
0032 DO 50 L=1,M
0033 IF(NORDC(L).EQ.1)SUM2=SUM2+KPWR(L)*EOI(L)
0034 CONTINUE
0035 ENWE=-(SUM+SUM2)
0036 EFM=ENWE+E(I)
0037 IF(CABS(EFM).GT.DELTAE)DELTAE=CABS(EFM)
0038 F(I)=E(I)+FAC*EFM
0039 CONTINUE
0040 IF(NGM2.EQ.0)GO TO 90

```

C CORRECCION DEL VALOR DE VOLTAJE ATRAS DE LA REACTANCIA SINCRONICA EN EL PUNTO EN CUADRATURA

```

0041 DO 60 K=1,NGM2
0042 NGEN=NGM1+K
0043 L=NONDC(NGEN)
0044 CT=YLK(NGEN)*(FOI(NGEN)-F(L))
0045 TTAI=ATAN(AIMAG(CT)/REAL(CT))
0046 DELTAE=XI(NGEN)
0047 ALFA=DELTA-TTAI
0048 TMOU=CABS(CT)
0049 ICF=IMOU*SIN(ALFA)
0050 SOEL=SIN(DELTA)*ID
0051 COEL=COS(DELTA)*ID
0052 IOD(K)=CMPLX(CDEL,SDEL)
0053 X9OIE=X9O(K)-XCS(NGEN)
0054 FOI(NGEN)=X9(K)+IOD(K)*X9OIE
0055 F(I)=CABS(FOI(NGEN))
0056 FOI(NGEN)=FOI I*(LREAL*COE(DELTA)+JMAG*SIN(DELTA))
0057 I=I+(DELTA=LT.EPS)GO TO 80
0058 CONTINUE
0059 RETURN 1
0060 IF(IES.EQ.1)RETURN
0061 WRITE(3,10)T,ITER
0062 FORMAT(5/),33X,'VOLTAJE EN LAS BARRAS DEL SISTEMA PARA T=',F3,1,
0063 1 SECONDOS.',7/24X,'EL NUMERO DE ITERACIONES PARA ESTE FLUJO FUE DE
0064 2',I3,7/24X,'BARRAS',15X,'VOLTAJE',7,45X,'NUM',11X,'REAL',9X,'IMAG
0065 3')
0066 WRITE(3,100)(I,E(I),I=1,N)
0067 FORMAT(4X,I3,10X,F8,4,5X,F8,4,7)
0068 IFS=1
0069 IF(T.EQ.0)RETURN
0070 NPAG=NPAG+1

```

```

0071
0072
0073
0074
0075
0076
0077
0078
0079
0080
0081
0082
0083
0084
0085
0086
0087
0088
0089
0090
0091
0092
0093
0094
0095
0096
0097
0098
0099
0100
0101
0102
0103
0104
0105
0106
0107
0108
0109
0110
0111
0112
0113
0114
0115
0116
0117
0118
0119
0120
0121
0122
0123
0124
0125
0126
0127
0128
0129
0130
0131
0132
0133
0134
0135
0136
0137
0138
0139
0140
0141
0142
0143
0144
0145
0146
0147
0148
0149
0150
0151
0152
0153
0154
0155
0156
0157
0158
0159
0160
0161
0162
0163
0164
0165
0166
0167
0168
0169
0170
0171
0172
0173
0174
0175
0176
0177
0178
0179
0180
0181
0182
0183
0184
0185
0186
0187
0188
0189
0190
0191
0192
0193
0194
0195
0196
0197
0198
0199
0200

```

```

0068 WRITE(3,1060)
0069 FORMAT(1H1,3(//))
0070 WRITE(3,125)NPAG
0071 FORMAT(10X,1DEL,90X,1PAG,1,12,1//)
0072 WRITE(3,1020)TITULO
0073 FORMAT(21X,20A4,1//,20X,20A4)
0074 WRITE(3,126)
0075 FORMAT(1//,20X,1ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTER
1VIENEN EN EL ESTUDIO,1//,22X,1GEN,14X,1A,14X,1ANGULO VELOCIDAD,14
2X,1FOI,1D.U.,16X,1HF,101,2X,1P.U.,15X,1EFDL,1//,22X,1NUM BARRA,13X,
31GDS,1,4X,1RDS/SEG,13X,2(1REAL,14X,1MAG,14X),1P.U.,1//)
0076 NLFS=0
0077 RETURN
0078 END

```



```

0001 SURROUTINE POTENFINPAG,JP)
0002 COMPLEX CT, YLK(30), FOI(30), EI(30), LREAL, JIMAG, IDD(30), DEI, E(60), X9
0003 I(30)
0004 COMPLEX YLPQ(60,60), KPWR(60), LDAD(60)
0005 REAL TMOU, ID
0006 DIMENSION NODCO(30), PELEC(30), X1(30), XD(30), X0(30), X2(30), AG(30), B
0007 IG(30), XQM(30), TITULO(40), DELX1(30), DELX7(30), PM(30), X6(30), VREF(30
0008 2), XA(30)
0009 DIMENSION SE75(30), X7(30), X6A(30), X7A(30), X8A(30), X9A(30)
0010 DIMENSION XDS(30), DELX2(30), DELX6(30), VRMAX(30), VRMIN(30), SEM(30)
0011 DIMENSION SE(30)
0012 COMMON /VOLTA/E
0013 COMMON /MEM14/NODCO, T
0014 COMMON /MEM11/X0, XD, XDS, DELX2, DELX6, NGM1, NGM2
0015 COMMON /MEMA/YLK, M
0016 COMMON /MEM13/EOI, FI, XQ, VRMAX, VRMIN, SEM, SE75
0017 COMMON /MEM5/X1, X2, X6, X7, X8, X9M, X6A, X7A, X8A, X9A
0018 COMMON /MEM24/LDAD, YLPQ, KPWR, N
0019 COMMON /MEM10/IDD
0020 COMMON /MEMABS/AG, RG, SE
0021 COMMON /TITLE/TITULO
0022 LREAL=(1.,0.)
0023 JIMAGE=(0.,1.)
0024 IF(NGM1.EQ.0)GO TO 10
0025
0026 C CALCULO DE POTENCIAS ELECTRICAS ENTREGADAS POR LOS GENERADORES
0027 EN FL TIEMPO T EN ESTUDIO
0028
0029 DO 110 L=1,NGM1
0030 I=NODCO(L)
0031 CT=YLK(L)*(FOI(L)-E(I))
0032 PELEC(L)=REAL(FOI(L)*CONJG(CT))
0033 CONTINUE
0034 IF(NGM2.EQ.0)GOTO 30
0035 DO 120 K=1,NGM2
0036 NGEN=K+NGM1
0037 I=NODCO(NGEN)
0038 CT=YLK(NGEN)*(FOI(NGEN)-E(I))
0039 DELTA=XI(NGEN)
0040 DELMAG(K)*(EXPRG(K)*(X9M(K)-.8)))
0041 DELPEDEIM#COS(DELTA)
0042 DELTJ=DEFIM#SIN(DELTA)
0043 FIDIF=X0(K)-X0(NGEN)
0044 FI(K)=FOI(NGEN)+IDD(K)*FIDIF*DEI
0045 PELEC(NGEN)=REAL(FOI(NGEN)*CONJG(CT))
0046 CONTINUE
0047 IF(T.GT.0.0R.JP.GT.1)RETURN
0048 WRITE(3,1000)
0049 FORMAT(5I,20X,'POTENCIAS ELECTRICAS ENTREGADAS POR LOS GENERADOR
0050 15 DESPUES DEL OBTURADOR',4I,20X,'GEN NUM',5X,'POTENCIA P.U.',/)
0051 WRITE(3,1100)I1,PELEC(I1),I1=1,M)
0052 FORMAT(2X,13,13X,F8.4)
0053 NAGENPAG+1
0054 WRITE(3,1060)
0055 FORMAT(1H,3(//))
0056 WRITE(3,1020)TITULO
0057 FORMAT(2X,20A,//,20X,20A4)
0058 WRITE(3,125)NPAG
0059 FORMAT(10X,'PFT',90X,'PAG.',12,//)
0060 WRITE(3,126)
0061 FORMAT(//,20X,'ANGULOS Y VELOCIDADES DE LOS GENERADORES QUE INTER
0062 VIENEN EN EL ESTUDIO',//,22X,'GEN',4X,'A',4X,'ANGULO VELOCIDAD',4
0063 X,'FOI',4X,'HE',4X,'P.U.',5X,'EDEL',//,22X,'NUM BARRA',3X,
0064 3,'GDDS',4X,'PDS/SFG',3X,2('REAL',4X,'IMAG',4X),/P.U.',/)
0065 WRITE(3,127)
0066 FORMAT(13X,'TF',F6.4)
0067 IF(NGM1.EQ.0)GO TO 123
0068 DO 22 I=1,NGM1
0069 ANG=X1(I)*57.29578
0070 WRITE(3,73)I,NODCO(I),ANG,X2(I),FOI(I)
0071 FORMAT(2X,12,4X,12,3X,F7.3,2X,F8.3,2X,2(F6.3,2X))
0072 IF(INGM2.NE.0)GOTO 12:
0073 RETURN
0074 DO 23 K=1,NGM2
0075 LEK+NGM1
0076 ANG=X1(L)*57.29578
0077 WRITE(3,124)I,NODCO(L),ANG,X2(L),FOI(L),X9(K),X6(K)
0078
0079
0080

```

```

0001 SUBROUTINE FKUTTA (DT,TDFL,TFRES,TMAX,AK,R,JP,NGEFF,DTMIN)
0002 COMPLEX F(60),E1(30)
0003 COMPLEX F01(30),X9(30),LCAD(60),YLPQ(50,60),KPMW(60)
0004 REAL K11,X22,K66,K77,KP8,K99,KE(30),KA(30),KF(70)
0005 DIMENSION H(30),SE(30),Y1A(30),X2A(30),X5A(30),X7A(30),X8A(30),X9A
1(30),X1(30),X2(30),X6(30),X7(30),X9(30),X9M(30),PM(30),PELFC(30),D
2(X1(30),DELX2(30),DELX6(30),DELX7(30),DELX9(30),DELX9(30),NDDCC(3
30),YF(30),TDD(30),TF(30),VPEF(30),TITULO(40),TA(30)
0006 DIMENSION VPMAX(30),VFMIN(30),SFM(30),SE75(30),X0(30),X0(30)
0007 DIMENSION TD1(30),TD2(30)
0008 DIMENSION X05(30),AG(30),RG(30)
0009 COMMON /MEM2/H,TD1,TD2
0010 COMMON /MEVF/VREF,PM,PELFC
0011 COMMON /MEM5/X1,X2,X6,X7,X8,X9M,X5A,X7A,X8A,X9A
0012 COMMON /MEM6/DELX1,DELX7,DELX8,DELX9
0013 COMMON /MEM13/EO1,FI,X9,VPMAX,VRMIN,SEM,SF75
0014 COMMON /VOLTA/E
0015 COMMON /MEM24/LOAD
0016 COMMON /ME121/X1A,X2A
0017 COMMON /MEM8/KF,KA,KF,TE,TA,TF
0018 COMMON /MEM11/X0,XD,XDS,DELX2,DELX6,NGM1,NGM2
0019 COMMON /MEM14/NGRCD,T
0020 COMMON /MEMARS/AG,RG,SE
0021 V=NGM1+NGM2
0022 GO TO (1,5,3,11),JP
0023 11 9=1.
0024 GO TO 5
0025 1 CONTINUE
0026 DO 120 I=1,M
0027 X1A(I)=X1(I)
0028 X2A(I)=X2(I)
0029 IF(NGM2.EQ.0)GO TO 4
0030 DO 130 K=1,NGM2
0031 X5A(K)=X5(K)
0032 X7A(K)=X7(K)
0033 X9A(K)=X9(K)
0034 X9M(K)=X9M(K)
0035 4 9=2.
0036 GO TO 5
0037 3 AK=1.
0038 5 CONTINUE
0039

```

C SOLUCION PARA TODOS LOS GENERADORES DE LAS ECUACIONES DE OSCILACION

```

0040 DO 10 I=1,M
0041 IF(NGEFF.EQ.1)GO TO 10
0042 X1=DT*(X2(I)-375.091118)
0043 K22=DT*(H(I)*PM(I))-PELEC(I))
0044 IF(JP.EQ.4)GO TO 12
0045 X1(I)=X1A(I)+K11/AK
0046 X2(I)=X2A(I)+K22/AK
0047 IF(JP.EQ.1)GOTO 8
0048 DELX1(I)=DELX1(I)+R*K11
0049 DELX2(I)=DELX2(I)+P*K22
0050 IF(JP.NE.4)GO TO 10
0051 X1=DELX1(I)/6.
0052 IF(DX1.GT..261799)GO TO 50
0053 X1(I)=X1A(I)+DX1
0054 X2(I)=X2A(I)+DELX2(I)/6.
0055 GO TO 10
0056 8 DELX1(I)=K11
0057 DELX2(I)=K22
0058 CONTINUE
0059 10 IF(NGM2.EQ.0)RETURN

```

C SOLUCION DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES DEL REGULADOR DE VOLTAJE Y DE LA ECUACION DIFERENCIAL PARA ENCONTRAR LA VARIACION DEL VOLTAJE EN FUNCION DEL TIEMPO . PARA GENERADORES DEL MODELO 2

```

0060 DO 20 K=1,NGM2
0061 NGE=K+NGM1
0062 IF(NGEFF.EQ.NGF)GO TO 20
0063 K6A=DT*(X7(K)-SE(K)-KE(K)*X6(K))/TE(K)
0064 L=NDDCC(K)
0065 FM=CABS(F(L))
0066 K77=DT*(KA(K)*(VREF(K)-EM-X9(K))-X7(K))/TA(K)
0067 FN=CABS(F(L))
0068 X8R=DT*(KE(K)*(X7(K)-SE(K))-X6(K)+X6(K))/TE(K)-X8(K))/TF(K)
0069 K99=DT*(X6(K)-EM)/TDD(K)

```

```

0070 IF(JP.FO.4)GO TO 17
0071 X6(K)=X6A(K)+K56/AK
0072 X7(K)=X7A(K)+K77/AK
0073 X8(K)=X8A(K)+K88/AK
0074 X9M(K)=X9A(K)+K99/AK
0075 IF(JP.FO.1)GO TO 18
0076 DELX6(K)=DELX6(K)+R*K56
0077 DELX7(K)=DELX7(K)+R*K77
0078 DELX8(K)=DELX8(K)+R*K88
0079 DELX9(K)=DELX9(K)+R*K99
0080 IF(JP.NF.4)GO TO 20
0081 X6(K)=X6A(K)+DELX6(K)/6.
0082 X7(K)=X7A(K)+DELX7(K)/6.
0083 X8(K)=X8A(K)+DELX8(K)/6.
0084 X9M(K)=X9A(K)+DELX9(K)/6.
0085 GO TO 20

```

```

18 DELX6(K)=K66
DELX7(K)=K77
DELX8(K)=K88
DELX9(K)=K99
20 CONTINUE

```

```

50 DT=DT/2.
IF(OT.LT.OTMIN)GO TO 75
J2=0

```

```

0055 I=1,M
X1(I)=X1A(I)
X2(I)=X2A(I)
IF(WGM2.FO.0)RETURN

```

```

0065 K=1,NGM2
X6(K)=X6A(K)
X7(K)=X7A(K)
X8(K)=X8A(K)
X9M(K)=X9A(K)
65 RETURN

```

C CONTROL DEL INTERVALO DE INTEGRACION

```

75 TMAX=TDT
TDLE=TDT
RETURN
END

```

0105
0106
0107
0108

