

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"NUEVOS METODOS DE FLUJO DE POTENCIA Y SU APLICACION
A SISTEMAS MAL CONDICIONADOS"

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO
ELECTRICO EN LA ESPECIALIZACION DE POTENCIA

NESTOR ARTURO DUQUE DOMINGUEZ



QUITO, AGOSTO DE 1984

CERTIFICACION

CERTIFICO QUE LA PRESENTE TESIS HA SIDO REALIZADA
EN SU TOTALIDAD POR EL SEÑOR NESTOR A. DUQUE D.



ING. GABRIEL ARGUELLO R.

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

MIS SINCEROS AGRADECIMIENTOS AL ING. GABRIEL ARGUELLO R.
POR EL ASESORAMIENTO BRINDADO PARA LA ELABORACION DE
ESTE TRABAJO.

I N D I C E

	<u>Página</u>
RESUMEN OBJETIVO Y ALCANCE	1
CAPITULO I	
EL FLUJO DE POTENCIA	
1.1 Definición	3
1.2 Planteamiento matemático del flujo de potencia	4
1.2.1 Tipos de barras del sistema eléctrico de potencia	4
1.2.2 Ecuación nodal del SEP	5
1.2.3 Ecuaciones del flujo de potencia	6
1.3 Método de Newton-Raphson en coordenadas rectangulares para la solución del flujo de potencia	8
CAPITULO II	
EL FLUJO DE POTENCIA DE SEGUNDO ORDEN	
2.1 Planteamiento matemático del flujo de potencia de Segundo Orden	16
2.1.1 Ecuaciones del flujo de potencia	16
2.1.2 Expansión en series de Taylor de un conjunto de ecuaciones cuadráticas.....	17
2.2 Método de solución del flujo de potencia de Segundo Orden	20
2.3 Extensiones del flujo convencional comparadas con el de Segundo Orden	21
2.4 Aplicaciones del flujo de Segundo Orden	23

2.5	Formulación del multiplicador óptimo en el flujo de potencia para la solución de sistemas mal condicionados.	24
2.5.1	Derivación del multiplicador óptimo	25
2.5.2	Aplicación del multiplicador óptimo al método de N-R	27

CAPITULO III

ALGORITMOS DEL FLUJO DE POTENCIA

3.1	Algoritmo del flujo de N-R en coordenadas rectangulares	29
3.2	Algoritmo del flujo de Segundo Orden	32
3.3	Algoritmo del flujo con el Multiplicador Optimo	34

CAPITULO IV

PROGRAMA DIGITAL

4.1	Descripción del programa	38
4.1.1	Características del programa principal	38
4.1.2	Descripción de las subrutinas	40
4.2	Diagramas de flujo: programa principal y subrutinas	45

CAPITULO V

ANALISIS DE RESULTADOS DE LOS EJEMPLOS DE APLICACION

5.1	Ejemplos de flujo de potencia en los que se utiliza los métodos de Gauss-Seidel, Newton-Raphson en coordenadas polares tanto completo como desacoplado,	
-----	---	--

	<u>Página</u>
N-R en coordenadas rectangulares, flujo de Segundo	
Orden y flujo con el Multiplicador Optimo	64
5.1.1 Ejemplo N° 1	65
5.1.2 Ejemplo N° 2	73
5.2 Ejemplos con sistemas mal condicionados	80
5.3 Comparaciones entre los distintos métodos	88
5.3.1 Confiabilidad de convergencia	88
5.3.2 Requerimiento de memoria	89
5.3.3 Velocidad de solución	90
5.3.4 Facilidad de programación	92
 CAPITULO VI	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1 Características computacionales	107
6.2 Utilización de los métodos según el SEP	108
6.3 Recomendaciones	109
 ANEXO I	
DETALLES DE ANALISIS Y DE MODELACION DE LOS METODOS	
A Demostración de los elementos del jacobiano.....	112
B.1 Clarificación de la ecuación (41)	116
B.2 Derivación de (44)	117
 ANEXO II	
DETALLES DE PROGRAMACION	121

	<u>Página</u>
ANEXO III	
MANUAL DE USO DEL PROGRAMA	
3.1 Título	122
3.2 Objetivo	122
3.3 Variables utilizadas	122
3.3.1 Variables de entrada	122
3.3.2 Variables de salida	125
3.4 Características	126
3.5 Forma de proporcionar los datos	127
ANEXO IV	
LISTADO DEL PROGRAMA	134
B I B L I O G R A F I A	163

RESUMEN: OBJETIVO Y ALCANCE

El estudio de flujos de potencia es uno de los tópicos más importantes en el análisis de un sistema eléctrico de potencia en régimen permanente balanceado; es así que en los últimos 25 años se ha venido desarrollando un enorme esfuerzo por encontrar, relizar y optimizar un proceso o método numérico lo más adecuado posible, utilizando el computador digital.

De los muchos métodos de flujos de potencia hasta ahora desarrollados, aquí se presentará el método Formal de Newton-Raphson en coordenadas rectangulares y como una extensión de éste, se desarrollarán los flujos de Segundo Orden y con el Multiplicador Optimo.

En el método Formal de N-R en coordenadas rectangulares, las ecuaciones de flujo de potencia resultan ser un conjunto de ecuaciones algébricas cuadráticas, que al ser expandidas en series de Taylor, éstas son expresadas completamente hasta el tercer término, lo que constituye la base fundamental para la derivación de los otros métodos.

El Método de Segundo Orden al partir de la expansión en series de Taylor completa y no tener aproximaciones matemáticas, sus estimados iniciales permanecen constantes en el proceso iterativo, consiguiendo así disminuir considerablemente el tiempo de solución especialmente para sistemas de gran escala.

El Método con el Multiplicador Optimo realiza las correcciones del vector de incógnitas ayudado de un multiplicador, el mismo que tiene la

función de ajustar las correcciones a la solución de tal manera que se consiga convergencia para sistemas mal condicionados o sistemas que no convergen normalmente con los métodos convencionales.

Lo importante de los métodos de Segundo Orden y con el Multiplicador Optimo es que son de fácil formación y simples extensiones del método Formal de N-R en coordenadas rectangulares, tanto en modelación matemática cuanto en programación.

El Objetivo y Alcance de esta Tesis es: el desarrollo, prueba e implementación de un programa digital para la solución de flujos de potencia por estos nuevos métodos de solución.

C A P I T U L O I

EL FLUJO DE POTENCIA

1.1 DEFINICION

El flujo de potencia es la solución de estado estacionario de un sistema de potencia bajo ciertas condiciones preestablecidas de generación, carga y topología de red.

El flujo de potencia proporciona los niveles de tensión en magnitud y ángulo de todas las barras del sistema, el flujo por todos los elementos de la red y sus pérdidas.

El análisis del flujo de potencia nos permite:

- En planificación.- Programar ampliaciones del sistema eléctrico de potencia, teniendo en cuenta posibles nuevas cargas, nuevas líneas, o nuevas centrales generadoras.
- En operación.- Estudiar los efectos sobre la distribución de potencia cuando se producen pérdidas temporales de generación o líneas de transmisión. Ubicar en la posición óptima al cambiador de taps de los transformadores. La influencia que produce el cambio del tamaño en los conductores. Programar el despacho económico de carga.

1.2 PLANTEAMIENTO MATEMATICO DEL FLUJO DE POTENCIA

Para el análisis del flujo de potencia de un sistema, se asume una red trifásica balanceada, de tal manera que se lo representa por su diagrama unifilar de secuencia positiva equivalente. El sistema de referencia nodal constituye la base para el planteamiento de las ecuaciones del flujo de potencia, lo cual requiere el modelo de la red en términos de Y_B y la especificación de las características de cada barra.

1.2.1 TIPOS DE BARRAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA

En un sistema eléctrico de potencia se tienen tres tipos de barras:

a) Barras de Carga (P,Q.)

Son aquellas en las que se especifican las potencias netas tanto activa, como reactiva, y se debe calcular el voltaje en magnitud y ángulo de fase.

Las potencias netas se definen así:

$$\begin{aligned} P_p &= P_{Gp} - P_{Lp} \\ Q_p &= Q_{Gp} - Q_{Lp} \end{aligned} \quad (1)$$

donde:

P_{Gp} y Q_{Gp} representan la potencia activa y reactiva de generación, y

P_{Lp} y Q_{Lp} son las potencias activa y reactiva de carga.

b) Barras de Tensión Controlada (P, V)

Son aquellas en las que se especifican el módulo de voltaje y la potencia activa neta, siendo incógnita el ángulo de voltaje y la potencia reactiva neta.

c) Barra Flotante (V, δ)

Es aquella barra en la que se especifica el voltaje tanto en módulo como en ángulo y se desconocen las potencias netas activa y reactiva. A esta barra hay conectado normalmente por lo menos un generador. La necesidad de definir esta barra nace del hecho de que no es posible fijar de antemano la potencia generada en el sistema, porque no se conocen inicialmente las pérdidas. La barra flotante debe suministrar la diferencia entre la potencia inyectada al sistema por el resto de barras y la carga total más las pérdidas del sistema eléctrico de potencia (SEP).

1.2.2 ECUACION NODAL DEL SEP

La ecuación de equilibrio de la red en el sistema de referencia nodal es:

$$\bar{I}_B = Y_B \bar{E}_B \quad (2)$$

en la que para cualquier barra p se tiene:

$$\bar{I}_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} \bar{E}_q \quad ; \quad p = 1, \dots, n \quad (3)$$

donde: E_q es el voltaje de la barra q .

Y_{pq} es el elemento pq de la matriz admitancia de barra.

\bar{I}_p es el flujo de corriente neta inyectada a la barra p .

Relacionando corrientes y potencias inyectadas tenemos:

$$\bar{S}^*_{*p} = \bar{E}^*_{*p} \bar{I}_p = P_p - j Q_p \quad (4)$$

en la cual si se reemplaza el valor de \bar{I}_p , se tiene:

$$\left(\frac{\bar{S}_p}{\bar{E}_p} \right)^* = \sum_{q=1}^n Y_{pq} \bar{E}_p \quad ; \quad p = 2, \dots, n \quad (5)$$

si 1 es la flotante

El sistema de ecuaciones (5) es no lineal, por la presencia de los términos complejos \bar{E}_p y \bar{E}_q . Para la solución de este sistema de ecuaciones se recurre a las técnicas iterativas de Gauss - Seidel o Newton Raphson.

1.2.3 ECUACIONES DE FLUJO DE POTENCIA

Una vez determinado el vector de incógnitas \bar{E}_q , fácilmente

se determina el flujo de potencia por cada uno de los elementos, así como la generación de la barra flotante y las pérdidas del sistema.

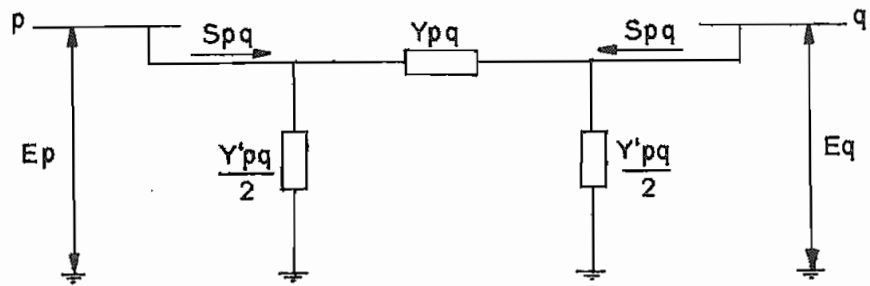


FIG. 1.

Así el flujo de potencia que fluye desde p a q está dado por:

$$\bar{S}^*_{pq} = \bar{E}^*_p \bar{I}_{pq} = P_{pq} - j Q_{pq} \quad (6)$$

De la figura 1. se tiene que:

$$\bar{I}_{pq} = (\bar{E}_p - \bar{E}_q) Y_{pq} + \bar{E}_p Y'_{pq}/2 \quad (7)$$

reemplazando (7) en (6) se obtiene:

$$\bar{S}^*_{pq} = \bar{E}^*_p (\bar{E}_p - \bar{E}_q) Y_{pq} + \bar{E}^*_p \bar{E}_p Y'_{pq}/2 \quad (8)$$

a su vez la potencia que fluye desde q hacia p será:

$$\bar{S}^*_{qp} = \bar{E}^*_q (\bar{E}_q - \bar{E}_p) Y_{pq} + E^*_q E_q Y'_{pq}/2 \quad (9)$$

La potencia generada por la barra flotante será:

$$S^*_f = E^*_1 I_1 = E^*_1 \sum_{q=1} Y_{1q} \bar{E}_q \quad (10)$$

considerando que la barra 1 es flotante.

La potencia de pérdidas teniendo en cuenta los sentidos adoptados para \bar{S}_{pq} y \bar{S}_{qp} está dada por:

$$S_{per} = \sum_{p \neq q} (S_{pq} + S_{qp}) \quad (11)$$

1.3 METODO DE NEWTON RAPHSON EN COORDENADAS RECTANGULARES PARA LA SOLUCION DEL FLUJO DE POTENCIA

Para un conjunto de ecuaciones no lineales de la forma $\bar{Y} = f(\bar{x})$, éstas pueden linealizarse por series de Taylor de tal forma que se llega a la siguiente ecuación matricial

$$\bar{\Delta Y} = J \bar{\Delta X} \quad (12)$$

donde: $\bar{\Delta Y}$ es el vector que contiene los elementos $Y_i - f(\bar{x}^0)$

J es la matriz Jacobiana que contiene las derivadas parciales.

$\bar{\Delta X}$ es el vector de corrección, incógnita de la ecuación matricial.

El sistema de ecuaciones (12) puede resolverse para $\Delta\bar{X}$ empleando cualquier método de solución aplicable a sistemas de ecuaciones lineales. Una vez obtenidos los valores de las correcciones ΔX , los nuevos valores de las incógnitas serán:

$$x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} + \Delta x_i^{(k)} ; \quad i = 1, \dots, n \quad (13)$$

El proceso se repite hasta que dos valores sucesivos de cada x_i difieran en una tolerancia especificada, así:

$$\left| x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)} \right| < \epsilon \quad (14)$$

Para un sistema eléctrico de potencia, la potencia compleja neta en una barra p es dada por la ecuación (4), y que a su vez reemplazando en ésta la ecuación (3) se tiene:

$$\bar{S}^*p = Pp - j Qp = \bar{E}^*p \sum_{q=1}^n Ypq \bar{E}q \quad (15)$$

Como esta ecuación es compleja, para facilidad de aplicación del método de Newton Raphson, es conveniente disponer de dos ecuaciones no lineales reales para cada barra de carga, para lo cual definimos en coordenadas rectangulares E_p y Y_{pq} :

$$E_p = e_p + j f_p \quad (16)$$

$$Y_{pq} = G_{pq} + j B_{pq} \quad (17)$$

y reemplazando éstas en la ecuación (15) se tiene:

$$P_p - j Q_p = (e_p - j f_p) \sum_{q=1}^n (G_{pq} + j B_{pq}) (e_q + j f_q) \quad (18)$$

que desarrollando y separando sus partes real e imaginaria se tiene:

$$P_p = \sum_{q=1}^n \left[e_p(e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) + f_p (f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \right] \quad (19)$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^n \left[f_p(e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) - e_p(f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \right] \quad (20)$$

Para cuando existan barras de tensión controlada en el sistema, se deberá sustituir las ecuaciones de potencia reactiva por sus respectivas ecuaciones de módulo de voltaje al cuadrado, ya que en estas barras no se especifica la potencia reactiva, sino su módulo; la ecuación sera:

$$|E_p|^2 = e_p^2 + f_p^2 \quad (21)$$

Esta formulación da como resultado un sistema no lineal de ecuaciones de dimensión $2(n - 1)$.

Aplicando el método de solución de ecuaciones no lineales de Newton Raphson a las ecuaciones (19), (20) o (21), se forma un sistema de ecuaciones lineales que relaciona las variaciones de potencia activa, variaciones de potencia reactiva o del módulo de voltaje, con las variaciones de las componentes real e imaginaria del voltaje, así:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_p \\ \text{-----} \\ \Delta Q_p \\ \text{-----} \\ \Delta |E_p|^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_p}{\partial e_q} & \frac{\partial P_p}{\partial f_q} \\ \text{-----} & \text{-----} \\ \frac{\partial Q_p}{\partial e_q} & \frac{\partial Q_p}{\partial f_q} \\ \text{-----} & \text{-----} \\ \frac{\partial |E_p|^2}{\partial e_q} & \frac{\partial |E_p|^2}{\partial f_q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e_p \\ \text{-----} \\ \Delta f_p \end{bmatrix} \quad (22)$$

$p, q = 1, 2, \dots, n ; p, q \neq n_s$

$n_s = \#$ de la barra flotante

ver la ecuación (36)

O en la forma más compacta:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \text{-----} \\ \Delta Q \\ \text{-----} \\ \Delta |E|^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ \text{-----} & \text{-----} \\ J_3 & J_4 \\ \text{-----} & \text{-----} \\ J_5 & J_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e \\ \text{-----} \\ \Delta f \end{bmatrix} \quad (23)$$

Donde la matriz coeficiente es el jacobiano del sistema cuyo orden es: $2(n-1) \times 2(n-1)$. Las submatrices J_1, J_2, J_3, J_4, J_5 y J_6 representan las derivadas parciales de P_p, Q_p y $|E_p|^2$ con respecto a cada una de las incógnitas e_q y f_q .

Los elementos del jacobiano son calculados a partir de las ecuaciones (19), (20) y (21) y los cálculos en detalle son presentados en el Anexo I.

- Subjacobiano J_1

Sus elementos no-diagonales y diagonales son:

$$\frac{\partial P_p}{\partial e_q} = e_p G_{pq} + f_q B_{pq} \quad (24)$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial e_p} = e_p G_{pp} + f_p B_{pp} + c_p \quad (25)$$

- Subjacobiano J_2

Sus elementos no-diagonales y diagonales son:

$$\frac{\partial P_p}{\partial f_q} = f_p G_{pq} - e_p B_{pq} \quad (26)$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial f_p} = f_p G_{pp} - e_p B_{pp} + d_p \quad (27)$$

- Subjacobiano J_3

Sus elementos no-diagonales y diagonales son:

$$\frac{\partial Q_p}{\partial e_q} = f_p G_{pq} - e_p B_{pq} \quad (28)$$

$$\frac{\partial Q_p}{\partial e_p} = f_p G_{pp} - e_p B_{pp} - d_p \quad (29)$$

- Subjacobiano J_4

Sus elementos no-diagonales y diagonales son:

$$\frac{\partial Q_p}{\partial f_q} = - e_p G_{pq} - f_p B_{pq} \quad (30)$$

$$\frac{\partial Q_p}{\partial f_p} = - e_p G_{pp} - f_p B_{pp} + c_p \quad (31)$$

- Subjacobiano J_5

Sus elementos no-diagonales y diagonales son:

$$\frac{\partial |E_p|^2}{\partial e_q} = 0 \quad (32)$$

$$\frac{\partial |E_p|^2}{\partial e_p} = 2 e_p \quad (33)$$

- Subjacobiano J_6

Sus elementos no-diagonales y diagonales son:

$$\frac{\partial |E_p|^2}{\partial f_q} = 0 \quad (34)$$

$$\frac{\partial |E_p|^2}{\partial f_p} = 2 f_p \quad (35)$$

Dado un conjunto de voltajes iniciales en las barras, se calculan las potencias activa y reactiva o el módulo de voltaje al cuadrado con las ecuaciones (19), (20) y (21). Los desbalances de potencia y voltaje son las diferencias entre los valores especificados y los calculados.

$$\begin{aligned}\Delta P_p &= P_p(\text{esp}) - P_p(e, f) & p = 1, \dots, n; p \neq n_s \\ \Delta Q_p &= Q_p(\text{esp}) - Q_p(e, f) & p = 1, \dots, n; p \neq n_s \text{ y } p \neq n_t \\ \Delta |E_p|^2 &= |E_p(\text{esp})|^2 - |E_p(e, f)|^2 & p = 1, \dots, n; p \neq n_s \text{ y } p \neq n_c\end{aligned}\tag{36}$$

n_t = número de las barras P.V.

n_c = número de las barras P.Q.

Los elementos del jacobiano son evaluados con los valores iniciales de los voltajes. El sistema de ecuaciones (23), se resuelve para Δe_p y Δf_p , $p = 1, 2, \dots, n; p \neq n_s$, por un método directo o iterativo. Entonces, las nuevas estimaciones para los voltajes de barra son:

$$\begin{aligned}e_p^{(k+1)} &= e_p^{(k)} + \Delta e_p^{(k)} & p = 1, 2, \dots, n; p \neq n_s \\ f_p^{(k+1)} &= f_p^{(k)} + \Delta f_p^{(k)}\end{aligned}\tag{37}$$

El proceso se debe repetir hasta que ΔP_p y ΔQ_p para todas las barras estén dentro de una tolerancia especificada.

El haber presentado el método de N-R en coordenadas rectangulares tiene su razón de ser. Pues a pesar que tiene un mayor número de

ecuaciones y variables por el número de barras P.V. presentes en el sistema; tiene la ventaja de que las ecuaciones de flujo de potencia, pueden ser expresadas completamente por la expansión en series de Taylor hasta el tercer término, lo cual no es posible en coordenadas polares, ya que esta expansión es infinita por la presencia de las funciones seno y coseno. Esto ha originado el surgimiento de un nuevo método de cálculo de flujo de potencia, que es el flujo de Segundo Orden y con éste el apareamiento del flujo con el Multiplicador Optimo, los cuales se presentan en capítulo siguiente.

C A P I T U L O I I

EL FLUJO DE POTENCIA DE SEGUNDO ORDEN

Uno de los métodos más reconocidos y utilizados de flujos de potencia es el método de Newton Raphson, pero este tiene la desventaja de que el tiempo requerido para la solución del flujo de potencia de un sistema es largo. Con propósitos de reducir este tiempo, se han desarrollado otros métodos, siendo uno de ellos el método de Segundo Orden, el cual tiene la misma complejidad matemática, precisión y requerimientos de memoria que el método de N-R, pero en cambio es varias veces más rápido. Este hace uso del hecho de que las ecuaciones del flujo de potencia son un grupo de ecuaciones algébricas cuadráticas cuando son expresadas en coordenadas rectangulares.

2.1 PLANTEAMIENTO MATEMATICO DEL FLUJO DE POTENCIA DE SEGUNDO ORDEN

2.1.1 ECUACIONES DEL FLUJO DE POTENCIA

Estas ecuaciones del flujo de potencia fueron desarrolladas en el capítulo anterior, y las volvemos a escribir desarrollándolas más, para hacer un análisis de las mismas.

$$P_p = \sum_{q=1}^n (e_{peq}G_{pq} - e_{pfq}B_{pq} + f_{pfq}G_{pq} + f_{peq}B_{pq}) \quad (38)$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^n (f_{peq}G_{pq} - f_{pfq}B_{pq} - e_{pfq}G_{pq} - e_{peq}B_{pq}) \quad (39)$$

$$|E_p|^2 = e_p^2 + f_p^2 \quad (21)$$

En el cálculo de flujos de potencia dos cantidades son dadas: P y Q o P y $|E|^2$ para cada una de las barras de carga o de tensión controlada respectivamente, excepto pa ra la barra flotante en la que se dan los voltajes e y f; mientras que para las demás barras estos voltajes no son conocidos.

De las ecuaciones (38), (39) y (21) se observa fácilmente que las ecuaciones de potencia son expresadas por cantidades cuadráticas de los voltajes e y f tales como: $e_p e_q$, $e_p f_p$, $f_p f_q$, $f_p e_q$, e_p^2 y f_p^2 , de lo que se concluye que el problema de flujo de potencia, no es más que resolver un grupo de ecuaciones algébricas cuadráticas cuando están expresadas en coordenadas rectangulares.

2.1.2 EXPANSION EN SERIES DE TAYLOR DE UN CONJUNTO DE ECUACIONES CUADRATICAS

Una función cuadrática puede ser expresada exactamente por series de Taylor como una función escalar lineal.

$$Y(\bar{X}) = Y(\bar{X}_0) + \bar{\nabla}x^t \Delta\bar{X} + \frac{1}{2} \Delta\bar{X}^t H \Delta\bar{X} \quad (40)$$

donde:

$\bar{\nabla}x$ es el gradiente de la función Y.

H es la matriz Hesiana de Y.

Un conjunto de ecuaciones cuadráticas puede ser expresado como:

$$\bar{Y}_s = [A] \begin{bmatrix} X_1 & X_1 \\ X_1 & X_2 \\ \vdots & \vdots \\ X_i & X_j \\ \vdots & \vdots \\ X_n & X_n \end{bmatrix} \quad (41)$$

(como se indica en el Anexo I).

donde:

\bar{Y}_s es un vector de valores dados.

A es la matriz de coeficientes constantes de dimensión $(n \times n^2)$.

\bar{X} es el vector de incógnitas.

La expansión en series de Taylor de (41) está dada por la siguiente expresión:

$$\bar{Y}_s = \bar{Y}(\bar{X}_0) + J \bar{\Delta X} + 1/2 H_1 \begin{bmatrix} \Delta X_1 \Delta X_1 \\ \Delta X_1 \Delta X_2 \\ \vdots \\ \Delta X_i \Delta X_i \\ \vdots \\ \Delta X_n \Delta X_n \end{bmatrix} \quad (42)$$

en la que:

\bar{X} son los valores reales.

\bar{X}_0 son los estimados iniciales.

$\bar{\Delta X}$ son las correcciones.

J es la matriz Jacobiana de dimensión $(n \times n)$

H_1 es la matriz compuesta de los Hessianos de Y y tiene

la siguiente forma:

$$H_1 \equiv \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 Y_1}{\partial X_1 \partial X_1} & \frac{\partial^2 Y_1}{\partial X_1 \partial X_2} & \dots & \frac{\partial^2 Y_1}{\partial X_n \partial X_n} \\ \vdots & & & \vdots \\ \frac{\partial^2 Y_n}{\partial X_1 \partial X_1} & \frac{\partial^2 Y_n}{\partial X_1 \partial X_2} & \dots & \frac{\partial^2 Y_n}{\partial X_n \partial X_n} \end{bmatrix} \dots (n \times n^2) \quad (43)$$

Un hecho importante es que la expansión en series de Taylor de una función cuadrática es expresada completamente hasta el tercer término y no tiene aproximaciones matemáticas, ya que las derivadas de orden superior son iguales a cero. Esto no sucede si las ecuaciones de flujo de potencia fueran expresadas en coordenadas polares, debido a que la expansión es infinita por la presencia de las funciones seno y coseno. Como se puede apreciar de la ecuación (43), el tercer término de la expansión en series de Taylor es complicado para ser tratado en una expresión numérica básica; pero como se puede ver en el Anexo I, éste se transforma en un vector como en (44), lo que constituye un hecho de gran importancia.

$$\bar{Y}_s = \bar{Y}(\bar{X}_0) + J \bar{\Delta X} + \bar{Y}(\bar{\Delta X}) \quad (44)$$

La expresión anterior hasta el segundo término constituye el método de Newton Raphson, por lo que se concluye que el método de Segundo Orden es más exacto.

2.2 METODO DE SOLUCION DEL FLUJO DE POTENCIA DE SEGUNDO ORDEN

El método de solución del flujo de potencia de Segundo Orden se basa en el hecho de que las ecuaciones del flujo de potencia son un grupo de ecuaciones algébricas cuadráticas cuando son expresadas en coordenadas rectangulares. De la expansión en series de Taylor de las ecuaciones del flujo de potencia vemos que las ecuaciones son expresadas completamente hasta el tercer término, el cual tiene la misma forma que el primero pero con variables diferentes ; pues si el primer término tiene como variable a \bar{X}_0 , la del tercero es $\bar{\Delta X}$, tal como se observa en (44).

Reescribiendo la ecuación (44) se tiene:

$$J \bar{\Delta X} = \bar{Y}_s - \bar{Y}(\bar{X}_0) - \bar{Y}(\bar{\Delta X}) \quad (45)$$

Con lo cual la expresión numérica básica será:

$$J \Delta X^{(r+1)} = \bar{Y}_s - \bar{Y}(\bar{X}_0) - Y(\Delta X^{(r)}) \quad (46)$$

En (46), \bar{Y}_s es constante ya que contiene los valores de P y Q o P y $|E|^2$ especificados. Ya que la expresión numérica es derivada desde la expansión exacta, los estimados iniciales X_0 permanecen constantes durante el proceso iterativo y en consecuencia $\bar{Y}(\bar{X}_0)$ y J permanecen constantes luego de que ellos fueron calculados en la primera iteración, solamente $\bar{\Delta X}$ y $\bar{Y}(\bar{\Delta X})$ cambian sus valores en el proceso iterativo.

En el método de Newton Raphson, por otra parte, el tercer término $\bar{Y}(\Delta\bar{X})$ no existe y así los estimados X_0 cambian de valor en cada i iteración. Por lo tanto, también $Y(X_0)$ y J cambian sus valores en el proceso iterativo.

Para una mayor simplicidad de la ecuación numérica, definimos:

$$\Delta Y^{(r)} = \bar{Y}_s - \bar{Y}(\bar{X}_0) - Y(\Delta X^{(r)}) \quad (47)$$

Con lo que la expresión numérica final queda así:

$$J \Delta X^{(r+1)} = \Delta Y^{(r)} \quad (48)$$

Al resolver la ecuación matricial anterior por un método iterativo, en la primera iteración todas las operaciones requeridas para la obtención de los valores de las correcciones $\Delta\bar{X}$ son almacenadas en memoria, de tal manera que en el resto del proceso iterativo, al ir cambiando los valores de $\Delta Y^{(r)}$ estas operaciones puedan ser utilizadas para la obtención de los nuevos valores de $\Delta\bar{X}$ sin tener que volver a realizar todos los cálculos requeridos para el efecto.

2.3 EXTENSIONES DEL FLUJO CONVENCIONAL COMPARADAS CON EL DE SEGUNDO ORDEN

Comparando el flujo convencional o de Newton-Raphson con el de Segundo Orden, vemos que la diferencia básica entre estos dos métodos es que de la expansión en series de Taylor de las ecuaciones de

flujo de potencia, sólo los dos primeros términos son considerados en el flujo convencional, mientras que en el flujo de segundo orden se toman todos los términos; así:

$$\bar{Y}_s = Y(\bar{X}_0) + J \Delta\bar{X} \quad \text{para el flujo convencional, y}$$

$$\bar{Y}_s = Y(X_0) + J \Delta\bar{X} + Y(\Delta\bar{X}) \quad \text{para el flujo de segundo orden.}$$

También, como la expresión numérica del método de segundo orden es derivada desde la expansión exacta, los estimados iniciales X_0 permanecen constantes durante el proceso iterativo, en consecuencia $Y(\bar{X}_0)$ y los elementos del jacobiano son calculados una sola vez, luego de lo cual permanecen constantes; mientras que el método de Newton-Raphson al no poseer el tercer término, hace que X_0 cambie los valores en cada iteración lo que implica que $Y(\bar{X}_0)$ y los elementos del jacobiano deben ser calculados en el resto del proceso iterativo.

Respecto a los valores de corrección $\Delta\bar{X}$, mientras que para el flujo de segundo orden $\Delta\bar{X}$ será siempre medido desde el estimado inicial X_0 ; para el flujo de Newton-Raphson como el estimado inicial va cambiando su valor en cada iteración, el valor de $\Delta\bar{X}$ es medido desde el nuevo valor estimado. De esto se deduce que el criterio de convergencia no es el mismo para los dos métodos, y éstos son:

- para el método de N-R:

$$\left| \Delta X_i^{(r)} \right| < \epsilon \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (49)$$

- para el método de segundo orden:

$$\left| \Delta X_i^{(r+1)} - \Delta X_i^{(r)} \right| < \epsilon ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (50)$$

Además, respecto al criterio de convergencia se tiene que, mientras para el método de Newton-Raphson se puede realizar la prueba de convergencia ya sea por desbalances de potencia o por correcciones de voltaje, para el método de segundo orden la prueba de convergencia se la deberá hacer necesariamente por correcciones de voltaje.

Por último, relacionando número de iteraciones y tiempo de solución entre estos dos métodos, tenemos que, mientras en el método de N-R el número de iteraciones es pequeño, en el método de segundo orden es más bien grande; pero en cambio el tiempo de solución del método de segundo orden es mucho menor que el de N-R especialmente en sistemas de gran escala.

2.4 APLICACIONES DEL FLUJO DE POTENCIA DE SEGUNDO ORDEN

Las aplicaciones que en la actualidad se tienen de este método de Segundo Orden son:

- El cálculo de los flujos de potencia de sistemas eléctricos comunes y corrientes o que convergen normalmente, igual función que el método de Newton-Raphson.
- La principal aplicación de este método es que con la ayuda de

un factor de aceleración o multiplicador óptimo aplicado al método de N-R se pueden calcular los flujos de potencia de sistemas mal condicionados. En otros términos, con el flujo de segundo orden y con la aplicación del multiplicador óptimo al método de Newton-Raphson se asegura la convergencia de aquellos sistemas que no convergen normalmente con los métodos convencionales.

Las propiedades de este método y sus aplicaciones no han sido totalmente exploradas todavía y con futuros trabajos, algunos resultados útiles adicionales pueden emerger.

2.5 FORMULACION DEL MULTIPLICADOR OPTIMO EN EL FLUJO DE POTENCIA PARA LA SOLUCION DE SISTEMAS MAL CONDICIONADOS

El método es simple, no requiere aproximaciones matemáticas y no requiere almacenamiento y tiempo de computación adicional cuando es incorporado dentro del programa formal de Newton-Raphson.

Con este método la solución del flujo de potencia nunca diverge. Este hace uso del hecho que "la expansión en series de Taylor de la ecuación de flujo de potencia es expresada completamente hasta el tercer término y el término final tiene la misma forma que el primero pero sus variables son diferentes".

La ecuación de flujo de potencia en coordenadas rectangulares es un grupo de ecuaciones cuadráticas sin términos de primer orden como se mostró en las ecuaciones (38), (39) y (21) y que pueden ser

representadas como la ecuación (41), cuya expansión en series de Taylor da como resultado la ecuación (44), la cual la volvemos a escribir a continuación:

$$\bar{Y}_s = \bar{Y}(\bar{X}_0) + J \Delta\bar{X} + \bar{Y}(\Delta\bar{X}) \quad (44)$$

2.5.1 DERIVACION DEL MULTIPLICADOR OPTIMO

Suponiendo que el vector de corrección $\Delta\bar{X}$, es obtenido de alguna manera nos permitimos derivar el multiplicador óptimo:

Pasando todos los términos de (44) del lado derecho al izquierdo tenemos:

$$\bar{Y}_s - \bar{Y}(\bar{X}_0) - J \Delta\bar{X} - \bar{Y}(\Delta\bar{X}) = 0 \quad (51)$$

Con el objeto de ajustar la longitud del vector $\Delta\bar{X}$, multiplicamos la cantidad escalar μ por $\Delta\bar{X}$, con lo que (51) será

$$\bar{Y}_s - \bar{Y}(\bar{X}_0) - J \mu \Delta\bar{X} - \bar{Y}(\mu \Delta\bar{X}) = 0 \quad (52)$$

De la ecuación anterior, μ en el tercer término puede aparecer al frente de J ya que μ es un escalar y el cuarto término llega a ser: $\mu^2 \bar{Y}(\Delta\bar{X})$, ya que $\bar{Y}(\bar{X})$ es una expresión cuadrática, entonces se tiene:

$$\bar{Y}_s - \bar{Y}(\bar{X}_0) - \mu J \Delta\bar{X} - \mu^2 \bar{Y}(\Delta\bar{X}) = 0 \quad (53)$$

002643

Por simplicidad se definen los vectores a, b y c como sigue:

$$a = \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \bar{Y}_s - \bar{Y}(\bar{X}_0); \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} = -J\bar{\Delta X}; \quad c = \begin{bmatrix} c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} = -\bar{Y}(\bar{\Delta X}) \quad (54)$$

entonces la ecuación (53) puede ser escrita simplemente como:

$$a + \mu b + \mu^2 c = 0 \quad (55)$$

Con objeto a determinar el valor de μ en una mínima expresión cuadrática, la siguiente función de costo es considerada:

$$F = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (a_i + \mu b_i + \mu^2 c_i)^2 \quad a \longrightarrow \text{minimizar} \quad (56)$$

La solución óptima μ^* de la ecuación anterior, puede ser obtenida resolviendo la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial F}{\partial \mu} = 0 \quad (57)$$

$$= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[2 a_i b_i + 2(b_i^2 + 2 a_i c_i) \mu + 6 b_i c_i \mu^2 + 4 c_i^2 \mu^3 \right] = 0$$

Es decir:

$$g_0 + g_1\mu + g_2\mu^2 + g_3\mu^3 = 0 \quad (58)$$

donde:

$$\begin{aligned} g_0 &= \sum_{i=1}^n a_i b_i & ; & & g_1 &= \sum_{i=1}^n (b_i^2 + 2 a_i c_i) \\ g_2 &= 3 \sum_{i=1}^n b_i c_i & ; & & g_3 &= 2 \sum_{i=1}^n c_i^2 \end{aligned} \quad (59)$$

Se puede observar claramente que la ecuación (58) es una ecuación escalar cúbica con respecto a μ . Así, la ecuación puede ser resuelta fácilmente por cualquier método de solución de raíces de polinomios.

2.5.2 APLICACION DEL MULTIPLICADOR OPTIMO AL METODO DE NEWTON-RAPHSON

El método de cálculo de flujo de potencia más ampliamente usado es el método de Newton-Raphson, y la aplicación del multiplicador óptimo a éste lo hace más efectivo, ya que así la solución nunca diverge.

En el método de N-R el vector de corrección $\bar{\Delta X}$ se lo obtiene por un método directo o iterativo de la siguiente ecuación:

$$J^{(r)} \Delta X^{(r)} = \bar{Y}_s - \bar{Y}(X_0^{(r)}) \quad (60)$$

Las cantidades requeridas para calcular el multiplicador óptimo μ^* son dadas por (54) como sigue:

$$a^{(r)} = \bar{Y}_s - \bar{Y}(X_0^{(r)}) \quad (61)$$

$$b^{(r)} = -(\bar{J}^{(r)} \Delta X^{(r)}) = -a^{(r)} \quad [\text{desde (60)}] \quad (62)$$

$$c^{(r)} = -\bar{Y}(\Delta X^{(r)}) \quad (63)$$

Note el importante hecho que $b^{(r)} = -a^{(r)}$ en (62). Esos cálculos son efectuados automáticamente en el proceso del método de N-R, y así, no son requeridos necesariamente cálculos adicionales para ellos.

Una vez obtenido el multiplicador óptimo se realizan las respectivas correcciones, así:

$$X_p^{(r+1)} = X_p^{(r)} + \mu^* \Delta X^{(r)} \quad (64)$$

$$p = 1, \dots, n, \quad p \neq ns$$

si la solución ha convergido se detiene la computación, en caso contrario se repite nuevamente el proceso hasta que se obtenga la convergencia.

Hasta el momento se han expuesto los tres métodos de solución del flujo de potencia, con sus características propias, pero para una mejor visualización de ellos se presentarán en el capítulo siguiente los algoritmos de solución de cada uno de ellos.

C A P I T U L O I I I

ALGORITMOS DEL FLUJO DE POTENCIA

Los algoritmos de solución del flujo de potencia de cada uno de los métodos expuestos anteriormente son presentados a continuación con los pasos requeridos por cada uno de ellos.

3.1 ALGORITMO DE FLUJO DE N-R EN COORDENADAS RECTANGULARES

El algoritmo de flujo de potencia por el método de N-R en coordenadas rectangulares tiene los pasos siguientes:

1. Formación de la matriz admitancia de barra Y_{bus} .
2. Asumir los estimados iniciales de los voltajes de barra, e inicializar el contador de iteraciones r en cero.

Se asumen como voltajes iniciales:

$$\begin{aligned} e_p^{(0)} &= 1.0 \\ f_p^{(0)} &= 0.005 \quad p = 1, 2, \dots, n ; p \neq ns \end{aligned} \quad (65)$$

La parte imaginaria del voltaje $f_p^{(0)}$ se asume igual a 0.005 debido a que como se utiliza la técnica numérica de la Bi - Factorización para la solución de sistemas de ecuaciones lineales de matriz de coeficientes porosas, los elementos diagonales de esta matriz necesariamente deben ser distintos de cero; ya que al ser expresadas las ecuaciones de flujos de potencia en coor-

denadas rectangulares y tener como valor inicial de $f_p^{(0)} = 0.0$, se producen elementos diagonales igual a cero cuando la conductancia de algún elemento del sistema es cero.

3. Calcular la potencia activa, potencia reactiva o el módulo de voltaje al cuadrado según las siguientes ecuaciones:

$$P_p^{(r)} = \sum_{q=1}^n \left[e_p^{(r)} (e_q^{(r)} G_{pq} - f_q^{(r)} B_{pq}) + f_p^{(r)} (f_q^{(r)} G_{pq} + e_q^{(r)} B_{pq}) \right] = P_p^{(r)}(e, f) \quad (66)$$

$$Q_p^{(r)} = \sum_{q=1}^n \left[f_p^{(r)} (e_q^{(r)} G_{pq} - f_q^{(r)} B_{pq}) - e_p^{(r)} (f_q^{(r)} G_{pq} + e_q^{(r)} B_{pq}) \right] = Q_p^{(r)}(e, f) \quad (67)$$

$$\left| E^{(r)} \right|^2 = (e_p^{(r)})^2 + (f_p^{(r)})^2 = \left| E_p^{(r)}(e, f) \right|^2 \quad (68)$$

4. Calcular las diferencias entre los valores especificados y los calculados de las potencias y voltajes:

$$\Delta P_p^{(r)} = P_p(\text{esp}) - P_p^{(r)}(e, f) \quad (69)$$

$$\Delta Q_p^{(r)} = Q_p(\text{esp}) - Q_p^{(r)}(e, f) \quad (70)$$

$$\Delta \left| E_p^{(r)} \right|^2 = \left| E_p(\text{esp}) \right|^2 - \left| E_p^{(r)}(e, f) \right|^2 \quad (71)$$

5. Determinar el máximo desbalance de potencia y voltaje: $\max \Delta p^{(r)}$, $\max \Delta Q_p^{(r)}$ y $\max \left| E_p^{(r)} \right|^2$.

6. Evaluar la prueba de convergencia:

$$\left| \max \Delta P_p^{(r)} \right| \leq \epsilon \quad p = 1, 2, \dots, n ; p \neq ns \quad (72)$$

$$\left| \max \Delta Q_p^{(r)} \right| \leq \epsilon \quad \epsilon = 0.001 \quad (73)$$

$$\left| \max \Delta E_p^{(r)} \right|^2 \leq \epsilon \quad (73.a)$$

Si se satisface el criterio de convergencia, se realiza la prueba de violación de generación de MVAR máximos y mínimos, si uno de los límites es violado, la barra de tensión controlada (P, V) se convierte en una barra de carga (P, Q) por lo que se debe volver al paso 3. Si ninguno de los límites es violado, se calcula la generación de la barra flotante y los flujos de potencia en las líneas y así la solución es obtenida.

Si no se satisface el criterio de convergencia se debe seguir el paso 7.

7. Calcular los elementos de jacobiano $J^{(r)}$ con las fórmulas expuestas en el capítulo I desde la (24) hasta la (35).

8. Resolver el sistema de ecuaciones lineales:

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(r)} \\ \Delta Q^{(r)} \\ \Delta |E^{(r)}|^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J^{(r)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e^{(r)} \\ \Delta f^{(r)} \end{bmatrix} \quad (74)$$

Para obtener los voltajes de corrección $\Delta e^{(r)}$ y $\Delta f^{(r)}$.

9. Calcular los nuevos voltajes de barra:

$$e_p^{(r+1)} = e_p^{(r)} + \Delta e_p^{(r)} \quad (75)$$

$$f_p^{(r+1)} = f_p^{(r)} + \Delta f_p^{(r)} \quad p = 1, 2, \dots, n \quad (76)$$

10. Incrementar el número de iteraciones y regresar al paso 3 para empezar una nueva iteración.

3.2 ALGORITMO DEL FLUJO DE SEGUNDO ORDEN

El algoritmo del flujo de potencia por el método de Segundo Orden tiene los pasos siguientes:

1. Formación de la matriz admitancia de barra Y_{bus} .
2. Asumir los estimados de los voltajes de barra $e_p^{(0)}$ y $f_p^{(0)}$ e inicializar el contador de iteraciones r en cero al igual que en el algoritmo anterior. Además inicializar los estimados de las correcciones en la primera iteración:

$$\begin{aligned} \Delta e_p^{(0)} &= 0.0 \\ \Delta f_p^{(0)} &= 0.0 \end{aligned} \quad (77)$$

3. Calcular los elementos del Jacobiano $J^{(0)}$ con las fórmulas desde la (24) hasta la (35).
4. Calcular la potencia activa, potencia reactiva o el módulo de voltaje al cuadrado con las ecuaciones: (66), (67) y (68).

5. Determinar los valores del vector independiente $\Delta Y^{(r)}$, según las siguientes ecuaciones:

$$\Delta P_p^{(r)} = P_p(\text{esp}) - P_p^{(0)}(e, f) - P_p^{(r)}(\Delta e, \Delta f) \quad (78)$$

$$\Delta Q_p^{(r)} = Q_p(\text{esp}) - Q_p^{(0)}(e, f) - Q_p^{(r)}(\Delta e, \Delta f) \quad (79)$$

$$\Delta |E_p^{(r)}|^2 = |E_p(\text{esp})|^2 - |E_p^{(0)}(e, f)|^2 - |E_p^{(r)}(\Delta e, \Delta f)|^2 \quad (80)$$

6. Resolver el sistema de ecuaciones lineales (74) para obtener las correcciones de voltaje $\Delta e^{(r)}$ y $\Delta f^{(r)}$.
7. Determinar el máximo desbalance de voltaje: $\max \Delta e_p^{(r)}$ y $\max \Delta f_p^{(r)}$.
8. Evaluar la prueba de convergencia:

$$\left| \max(\Delta e_p^{(r+1)} - \Delta e_p^{(r)}) \right| \leq \epsilon ; p = 1, 2, \dots, n; p \neq ns \quad (81)$$

$$\left| \max(\Delta f_p^{(r+1)} - \Delta f_p^{(r)}) \right| \leq \epsilon ; \epsilon = 0.0001 \quad (82)$$

si la solución converge, seguir al paso 9, en caso contrario se debe volver al paso 5 para realizar una nueva iteración.

9. Calcular los nuevos voltajes de barra con las ecuaciones (75) y (76).
10. Calcular la potencia reactiva de generación de las barras de

tensión controlada.

11. Evaluar la prueba de generación de MVAR máximos y mínimos; si uno de los dos límites es violado, la barra de tensión controlada (P.V.) se convierte en barra de carga y se debe regresar al paso 3. Si no son violados los límites, se calcula la generación de la barra flotante y los flujos de potencia en las líneas, con lo que la solución es obtenida.

3.3 ALGORITMO DEL FLUJO CON EL MULTIPLICADOR OPTIMO

El algoritmo de flujo de potencia por el método con el Multiplicador Optimo es bastante similar al flujo de potencia por el método de N-R en coordenadas rectangulares con algunos cambios y aumentos como se puede ver a continuación, siendo los pasos requeridos para éste los siguientes:

1. Formación de la matriz admitancia Y_B .
2. Asumir los estimados iniciales de los voltajes de barra $e_p^{(0)}$ y $f_p^{(0)}$, $p = 1, 2, \dots, n$, e inicializar el contador de iteraciones al igual que el algoritmo de N-R.
3. Calcular la potencia activa, potencia reactiva o el módulo de voltaje al cuadrado con las ecuaciones (66), (67) y (68).
4. Calcular las diferencias entre los valores especificados y calculados de las potencias y voltajes según las ecuaciones (69),

(70) y (71) y a la vez determinar los valores de los vectores de $a^{(r)}$ y $b^{(r)}$ así:

$$a^{(r)} = \begin{bmatrix} \Delta P_p^{(r)} \\ \Delta Q_p^{(r)} \\ \Delta |E_p^{(r)}|^2 \end{bmatrix} \quad (83)$$

$$b^{(r)} = -a^{(r)} \quad (84)$$

5. Determinar el máximo desbalance de potencia: $\max \Delta p^{(r)}$; $\max \Delta Q_p^{(r)}$ y $\max \Delta |E_p^{(r)}|^2$.
6. Evaluar la prueba de convergencia según las ecuaciones (72), (73) y (73.a).

Si se satisface el criterio de convergencia, se debe realizar la prueba de violación de generación de MVAR máximos y mínimos, si se viola uno de los límites la barra PV se convierte en una barra PQ y en tal caso se debe volver al paso 3. Si ninguno de los límites es violado, se calcula la generación de la barra flotante y los flujos de potencia en las líneas y así la solución es obtenida.

Si no satisface el criterio de convergencia, se debe seguir al paso 7.

7. Calcular los elementos del jacobiano $J^{(r)}$ con las fórmulas desde la (24) hasta la (35).
8. Resolver el sistema de ecuaciones lineales (74), para obtener los voltajes de corrección $\Delta e^{(r)}$ y $\Delta f^{(r)}$.
9. Calcular el vector $c^{(r)}$ que contiene a los elementos del tercer término de la expansión en series de Taylor, según la siguiente ecuación:

$$c^{(r)} = \begin{bmatrix} Pp^{(r)} (\Delta e, \Delta f) \\ Qp^{(r)} (\Delta e, \Delta f) \\ |Ep^{(r)} (\Delta e, \Delta f)|^2 \end{bmatrix} \quad (85)$$

10. Calcular los coeficientes de la ecuación cúbica.

$$g_0 + g_1\mu + g_2\mu^2 + g_3\mu^3 = 0 \quad (86)$$

con las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} g_0^{(r)} &= \sum_{i=1}^n (a_i b_i) ; & g_1^{(r)} &= \sum_{i=1}^n (b_i^2 + 2a_i c_i) \\ g_2^{(r)} &= 3 \sum_{i=1}^n (b_i c_i) ; & g_3^{(r)} &= 2 \sum_{i=1}^n c_i^2 \end{aligned} \quad (87)$$

11. Determinar el valor del multiplicador óptimo $\mu^*(r)$.

12. Calcular los nuevos voltajes de barra:

$$e_p^{(r+1)} = e_p^{(r)} + \mu^*(r) \Delta e_p^{(r)} \quad (88)$$

$$f_p^{(r+1)} = f_p^{(r)} + \mu^*(r) \Delta f_p^{(r)} \quad p = 1, 2, \dots, n \quad p \neq ns \quad (89)$$

13. Incrementar el número de iteraciones y regresar al paso 3 para iniciar una nueva iteración.

Estos han sido los algoritmos de solución de los flujos de potencia por los tres métodos, que como se puede apreciar el método de N-R en coordenadas rectangulares es la base fundamental para la derivación de los otros dos métodos; pues, haciendo cambios y aumentos adicionales respectivos al método de N-R, se obtienen los Métodos de Segundo Orden y con el Multiplicador Optimo.

C A P I T U L O I V

PROGRAMA DIGITAL

En este capítulo se presenta en detalle el programa digital en lenguaje FORTRAN IV, el cual ha sido desarrollado en el computador PRIME de INECEL, luego de lo cual ha sido grabado y probado en el computador IBM 370-125 de la Escuela Politécnica Nacional.

El programa elaborado para la solución de flujos de potencia, tiene tres métodos de solución y consta de una rutina principal y 18 subrutinas, las mismas que se mencionan a continuación en el orden que van apareciendo: INPUT, REACT, ACTUAL, VARP, ENCERO, JACOB, ORDEM, SIMORD, REDUC, SOLUC, CORREC, VARVOL, DELTA, CONST, MULOP, QGEN, VIOLA, GOFLUP.

4.1 DESCRIPCION DEL PROGRAMA

A continuación se describen las principales características y funciones del programa principal y de las subrutinas.

4.1.1 CARACTERISTICAS DEL PROGRAMA PRINCIPAL

TITULO: "NUEVOS METODOS DE FLUJOS DE POTENCIA Y SU APLICACION A SISTEMAS MAL CONDICIONADOS".

LENGUAJE: FORTRAN IV.

ELABORADO EN: El computador PRIME de INECEL.

PROBADO Y GRABADO EN: El computador IBM 370-125 de la Escuela Politécnica Nacional.

CAPACIDAD: Máximo número de barras = 100

Máximo número de elementos = 125

Capacitores o reactores a tierra = 100

Datos requeridos en p.u. o en cualquier base.

El programa funciona con cualquier número de barras de tensión controlada, con por lo menos una barra de carga y además de la lógica presencia de una barra flotante.

La numeración de las barras es indiferente y cualquiera puede ser flotante, de tensión controlada o de carga.

FUNCIONES:

- Lee los datos generales del sistema con los que inicializa variables auxiliares y controla el llamado de las subrutinas requeridas para el cálculo del flujo de potencia por el método deseado.
- Calcula la potencia neta especificada, verifica la prueba de convergencia para cada uno de los métodos y el límite del número máximo de iteraciones.

4.1.2 DESCRIPCION DE LAS SUBRUTINAS

Subrutina INPUT

Sirve para leer y escribir los datos de barras, con los que identifica el tipo de barra e inicializa las componentes real e imaginaria del voltaje.

Lee y escribe los datos de los elementos de intercorrección (líneas de transmisión, transformadores, reactores y capacitores), con los que forma la matriz admitancia de barra $|Y_B|$. Por último imprime los valores de la matriz $|Y_B|$ si se desea.

Esta subrutina es común para los tres métodos.

Subrutina REACT

Actualiza los datos de potencias y voltajes de barra, en el caso de que se desee la solución del flujo de potencia por los tres métodos de solución a la vez.

Subrutina ACTUAL

Inicializa los valores de la correcciones de voltaje así: para el método de segundo orden haciendo iguales a cero en la primera iteración y para el método con el *multiplicador* óptimo igualando a su valores correspondientes en cada *ite*

ración.

Subrutina VARP

Calcula el término independiente para los tres métodos, el cual está formado por los desbalances de: potencia activa ΔP_p , potencia reactiva ΔQ_p y cuadrados del módulo de voltaje $\Delta |E_p|^2$, también determina el mayor desbalance de potencia activa y reactiva para los métodos de N-R y con el multiplicador óptimo, con el objeto de compararlos con el criterio de convergencia de éstos. A la vez que determina el vector independiente almacena dos de los tres vectores requeridos para el cálculo de los coeficientes de la ecuación cúbica para el método con el multiplicador óptimo.

Subrutina ENCERO

Es una subrutina auxiliar que inicializa con cero varios arreglos unidimensionales utilizados.

Subrutina JACOB

Calcula todos los elementos del jacobiano en coordenadas rectangulares y estos valores son almacenados en los diferentes arreglos unidimensionales previstos para el efecto.

Subrutina ORDEM

Sirve para ordenar de acuerdo a columnas los elementos del

jacobiano planteados en la ejecución.

Subrutinas SIMORD, REDUC y SOLUC

Son subrutinas especiales que sirven para resolver sistemas de ecuaciones lineales de matriz coeficiente porosa. Utilizan el método numérico llamado Bi-Factorización y criterios de ordenamiento óptimo. Estas subrutinas son utilizadas por los tres métodos de solución, con la particularidad de que las subrutinas SIMOR, REDUC al igual que las tres anteriores son utilizadas sólo en la primera iteración cuando el método de solución es el de segundo orden.

Subrutina CORREC

Realiza las correcciones de las componentes real e imaginaria del voltaje, según las ecuaciones:

$$e_p^{(r+1)} = e_p^{(r)} + \Delta e_p^{(r)}$$

$$f_p^{(r+1)} = f_p^{(r)} + \Delta f_p^{(r)} \quad p = 1, 2, \dots, n \ ; \ p \neq ns$$

para los métodos de N-R y de segundo orden y

$$e_p^{(r+1)} = e_p^{(r)} + \mu^{(r)} \Delta e_p^{(r)}$$

$$f_p^{(r+1)} = f_p^{(r)} + \mu^{(r)} \Delta f_p^{(r)} \quad p = 1, 2, \dots, n \ ; \ p \neq ns$$

para el método con el multiplicador óptimo.

Subrutina VARVOL

Esta es utilizada por el método de segundo orden y sirve para calcular el mayor desbalance del voltaje tanto en su parte real como imaginaria, para luego compararlo con el criterio de convergencia respectivo.

Subrutina DELTA

Calcula el tercer término de la expansión en series de Taylor y es almacenado en un vector para luego realizar el cálculo de los coeficientes de la ecuación cúbica, requeridos para el método con el multiplicador óptimo.

Subrutina CONST

Con los vectores almacenados, dos en la subrutina VARP y uno en la anterior se procede aquí a calcular los coeficientes de la ecuación cúbica para el método con el multiplicador óptimo.

Subrutina MULOP

Una vez que se han obtenido los coeficientes de la ecuación cúbica, en esta subrutina se determina el valor del multiplicador óptimo por el método de N-R de la determinación de

raíces de una ecuación polinomial.

Subrutina QGEN

Utilizada por el método de Segundo Orden para calcular la potencia reactiva de generación de las barras de tensión controlada una vez que se ha obtenido convergencia y han sido realizadas las correcciones respectivas de las componentes de voltaje.

Subrutina VIOLA

Subrutina encargada de comprobar los límites de máxima y mínima generación de reactivos. En el caso de que el valor calculado Q_p viole uno de los dos límites establecidos, éste deberá ser reemplazado por el valor que ha sido violado y la barra de tensión controlada se convierte en una barra de carga, y con fines de identificar qué límite ha sido violado se especificará a que sea una barra de carga tipo 4 si ha violado el límite superior y tipo 5 si el límite inferior ha sido el violado. En el caso de que se haya violado uno de los límites, el proceso iterativo debe reiniciarse hasta que las soluciones se ajusten a las nuevas condiciones planteadas.

Subrutina GOFLUP

Sirve para calcular los flujos de potencia en líneas, trans

formadores, así como reactivos en capacitores y reactores y sus pérdidas. Calcula la potencia de generación necesaria de la barra flotante para mantener el equilibrio en el sistema eléctrico de potencia. Se realiza la conversión de las componentes de voltaje de rectangulares a polares y además la reducción de radianes a grados sexagesimales de las unidades del ángulo, se retorna a los valores reales y finalmente se imprimen los resultados de los diferentes cálculos realizados.

4.2 DIAGRAMAS DE FLUJO. PROGRAMA PRINCIPAL Y SUBROUTINAS

A continuación se presentan: el diagrama de bloques del programa principal, los diagramas de flujo del programa principal, subrutinas y de cada uno de los métodos en sus partes no comunes, lo cual permite visualizar en mejor forma los pasos seguidos en el programa principal por cada uno de los métodos.

Debido a que las subrutinas INPUT, ENCERO, ORDEM, SIMORD, REDUC y SOLUC fueron desarrolladas en la referencia (6), sus diagramas de flujo no son presentados aquí.

DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL

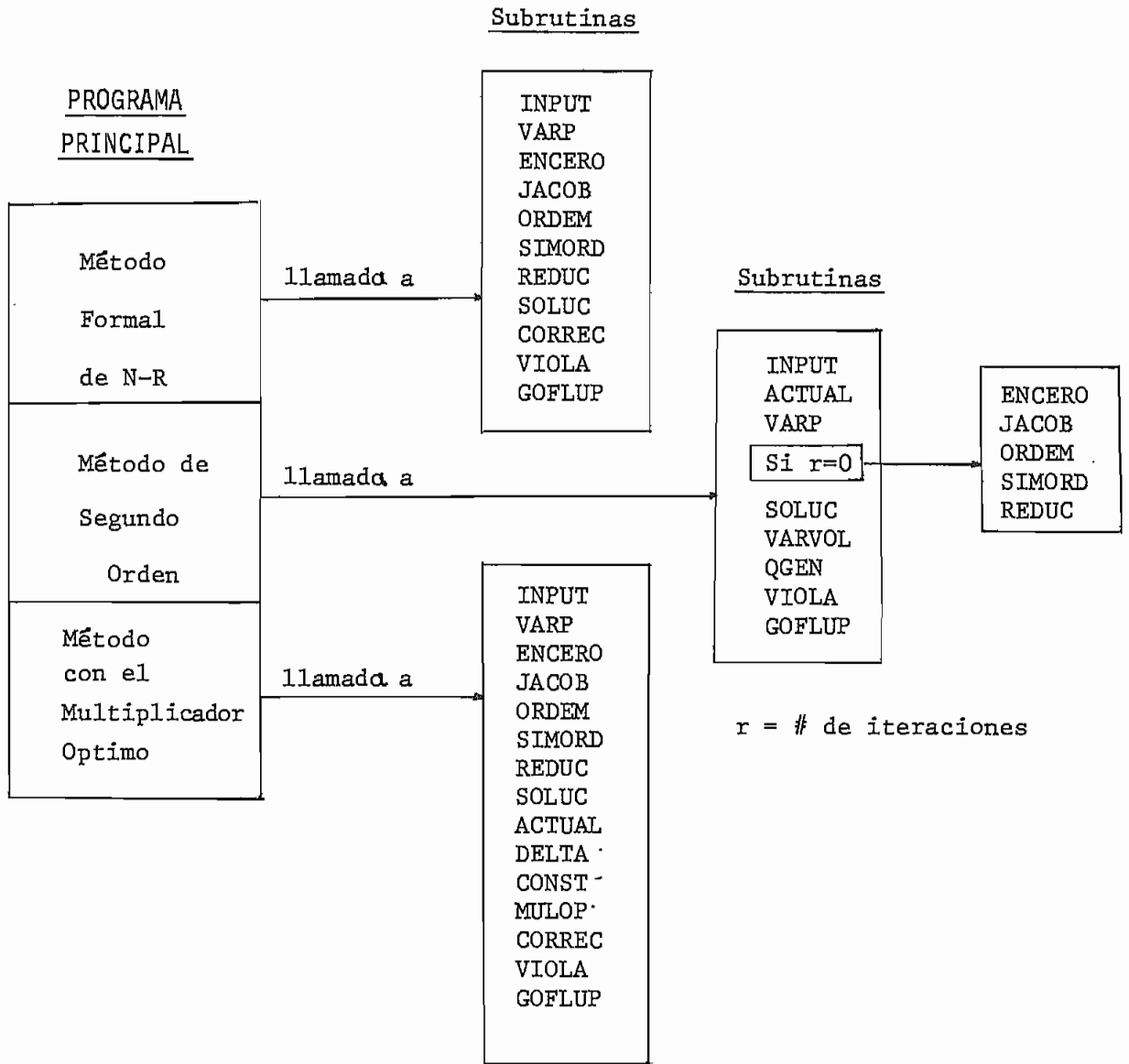
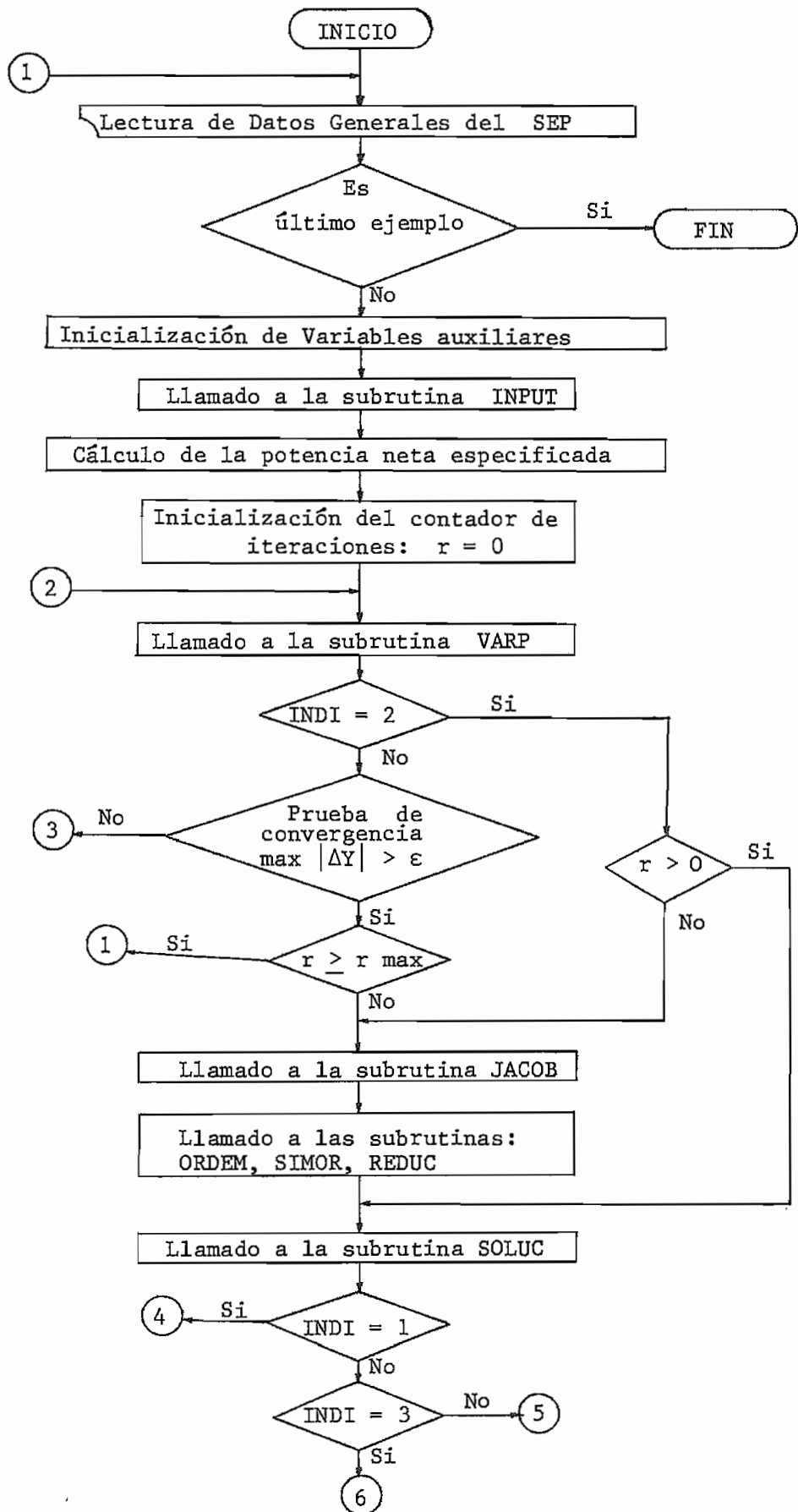
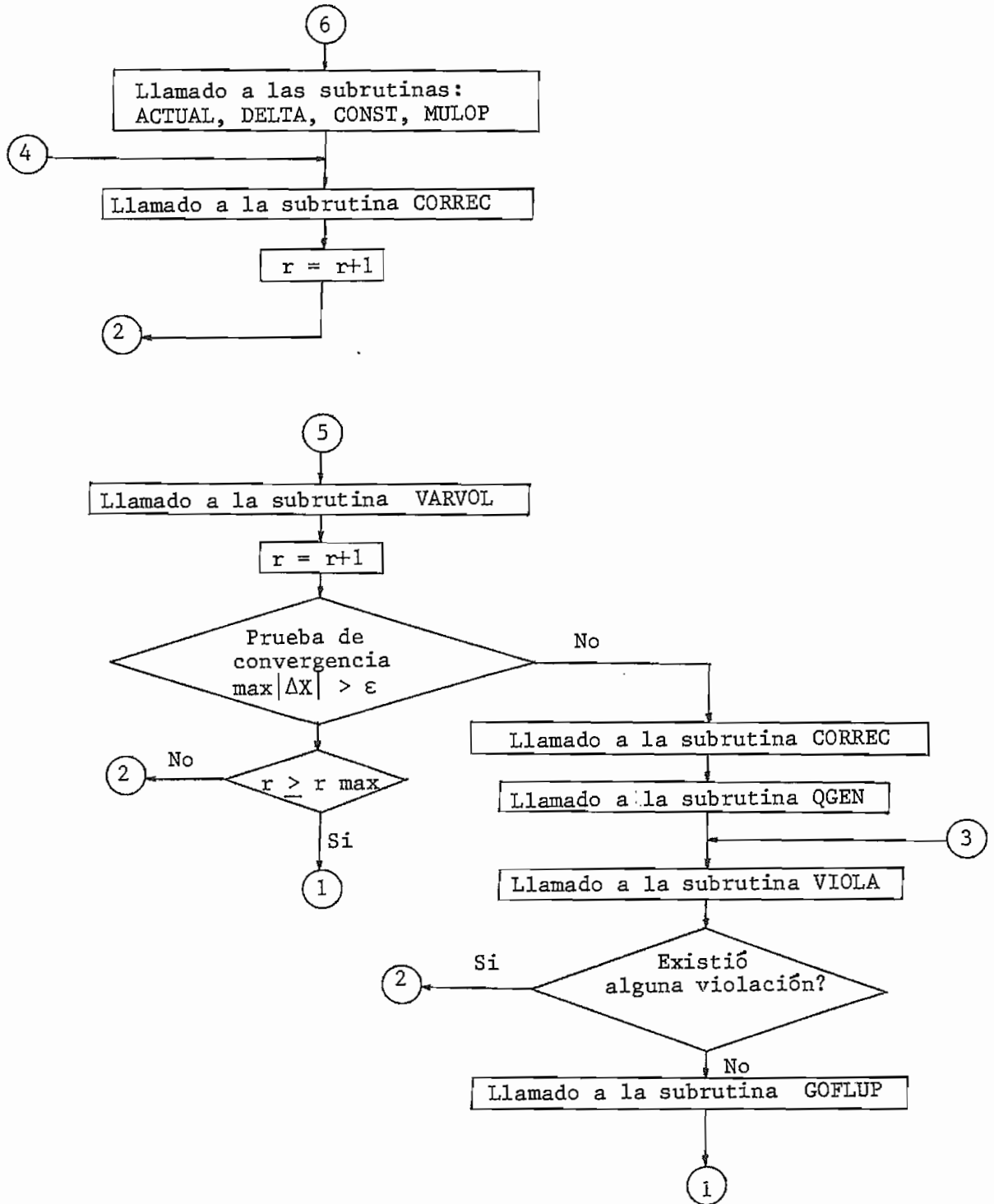


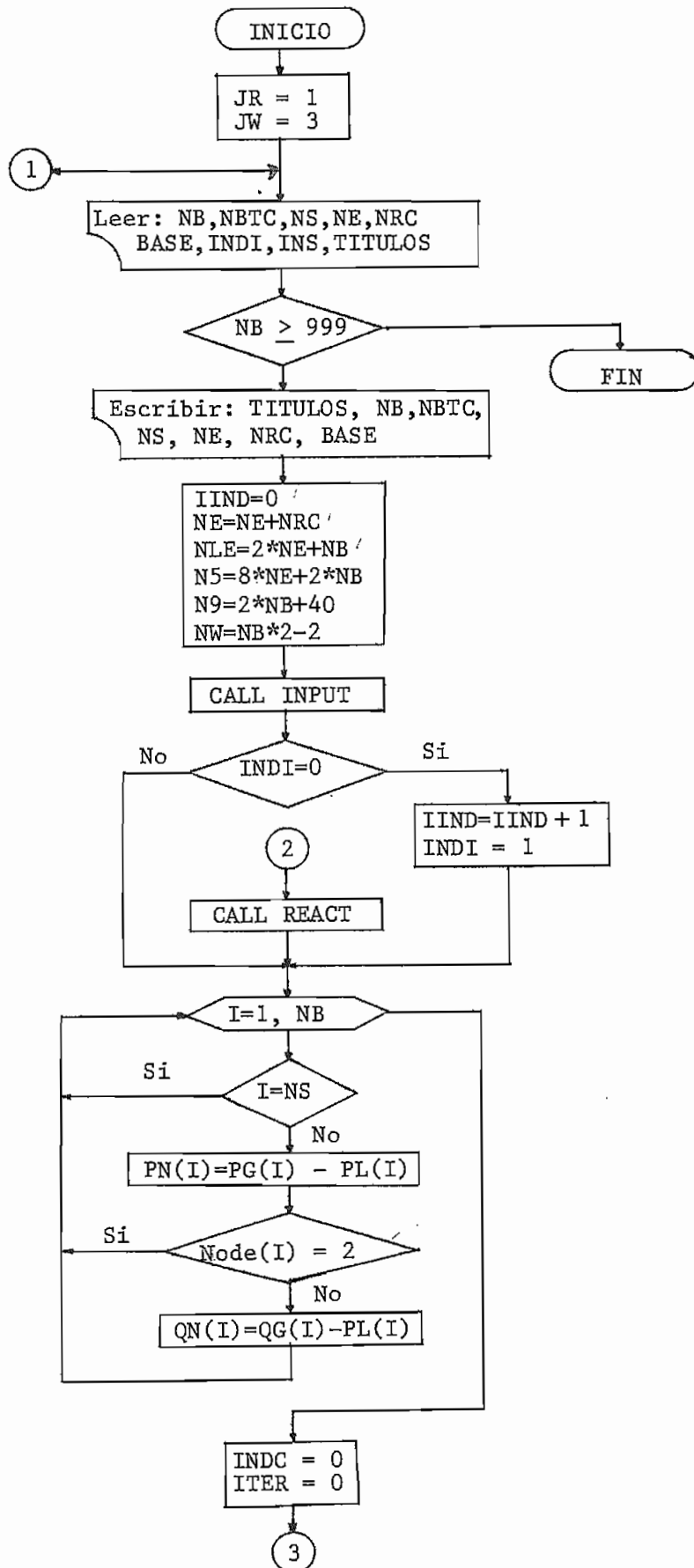
DIAGRAMA DE BLOQUES
PROGRAMA PRINCIPAL



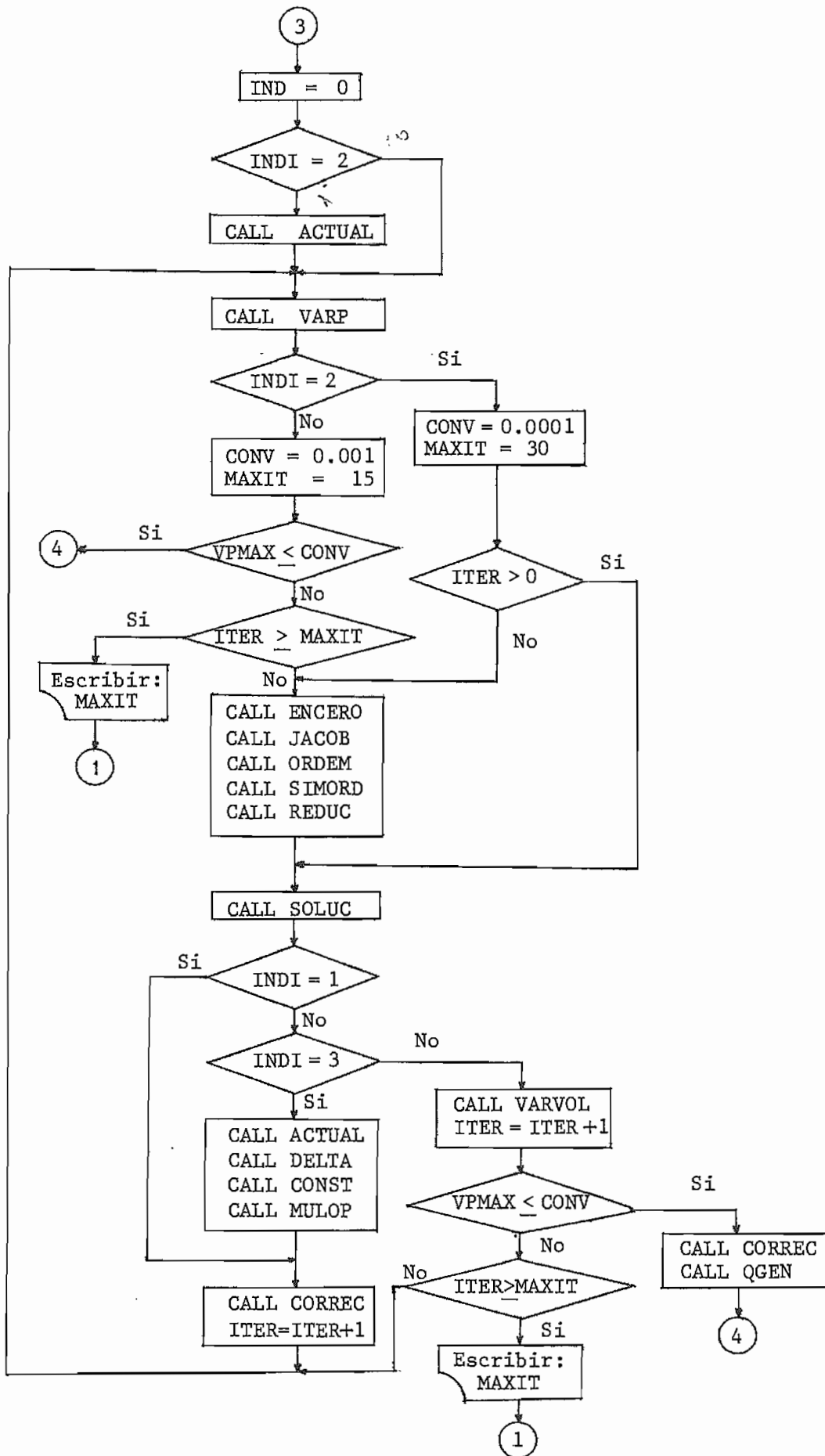
(continuación)



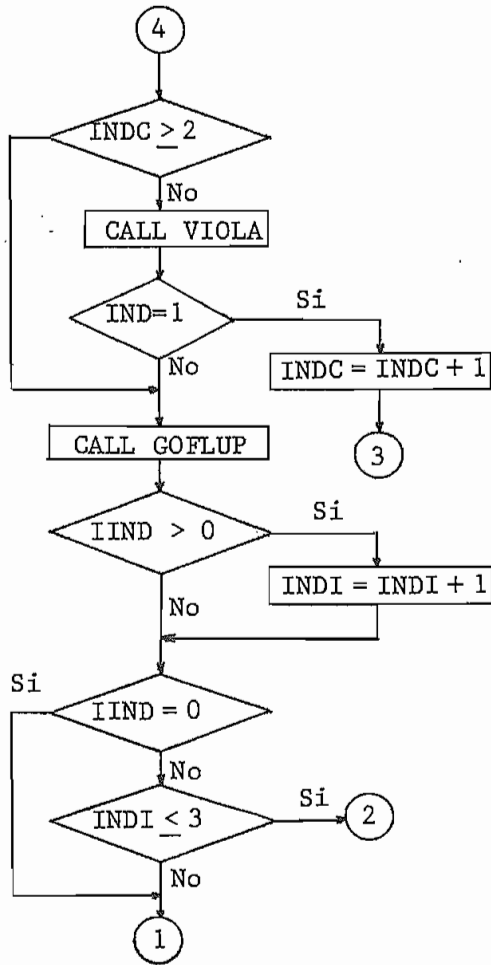
DIAGRAMAS DE FLUJO: PROGRAMA PRINCIPAL



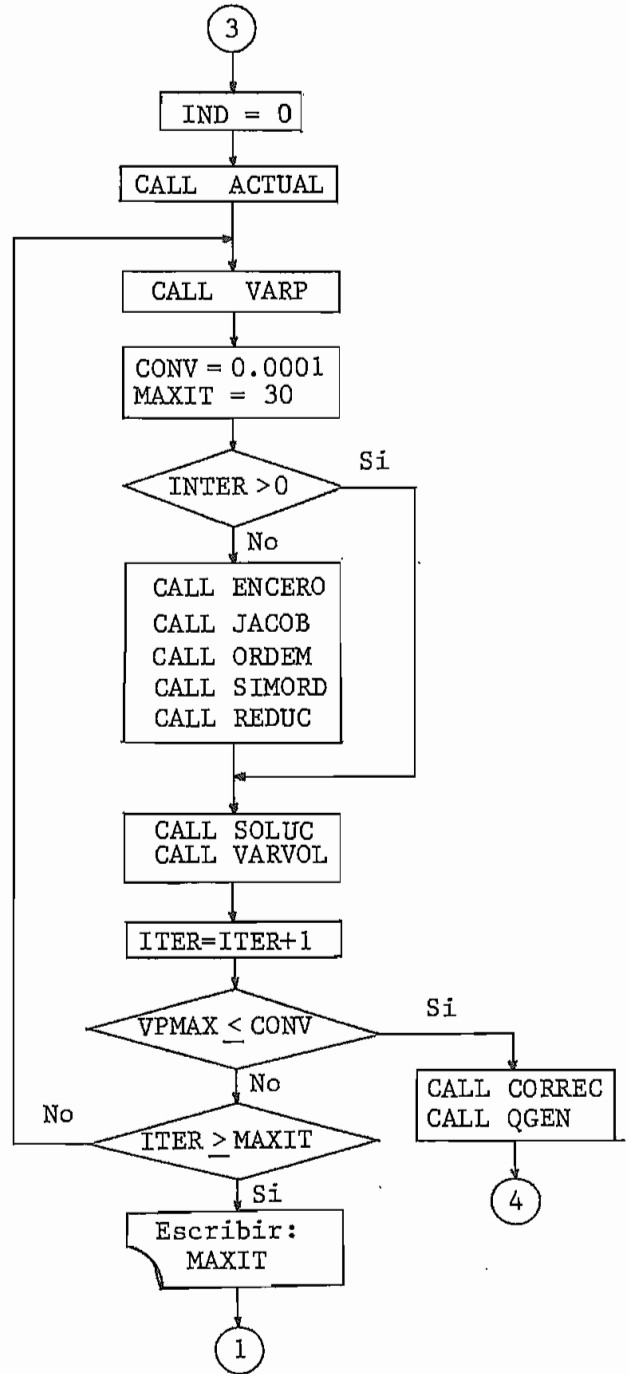
PROGRAMA PRINCIPAL (Continuación)



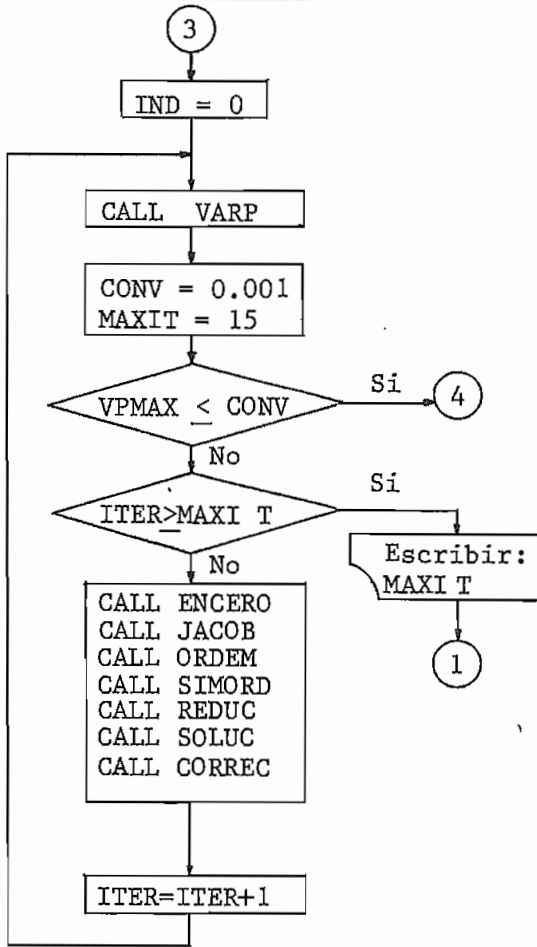
PROGRAMA PRINCIPAL
(continuación)



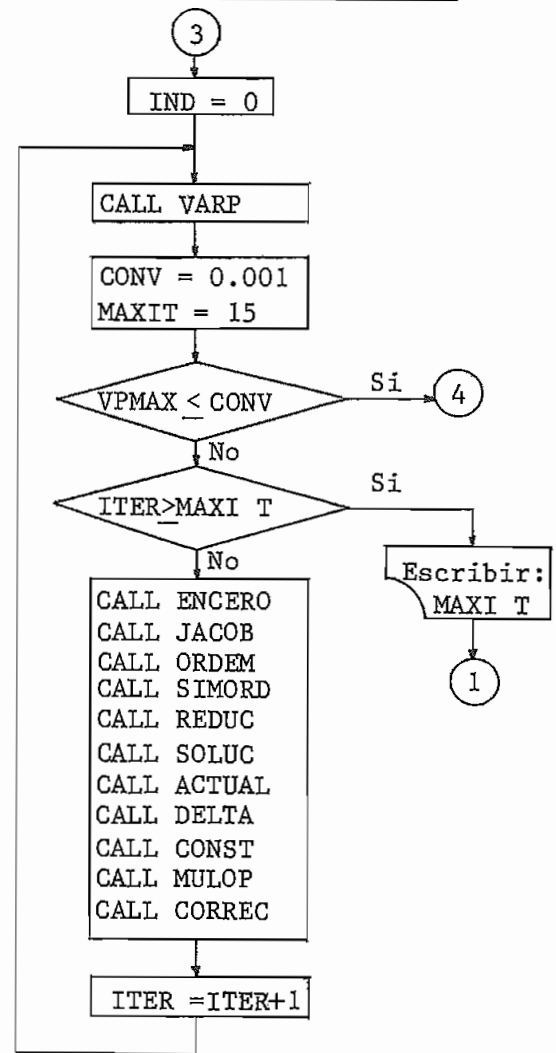
METODO DE SEGUNDO ORDEN



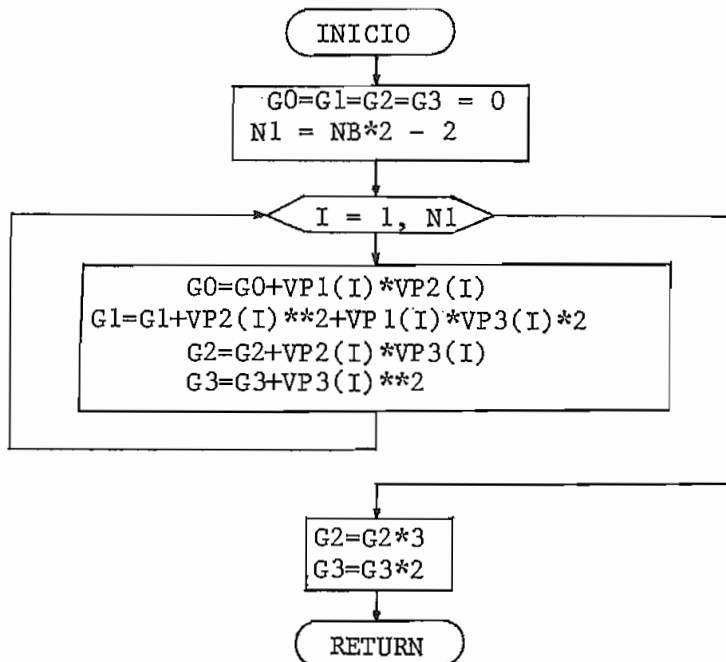
METODO DE N-R



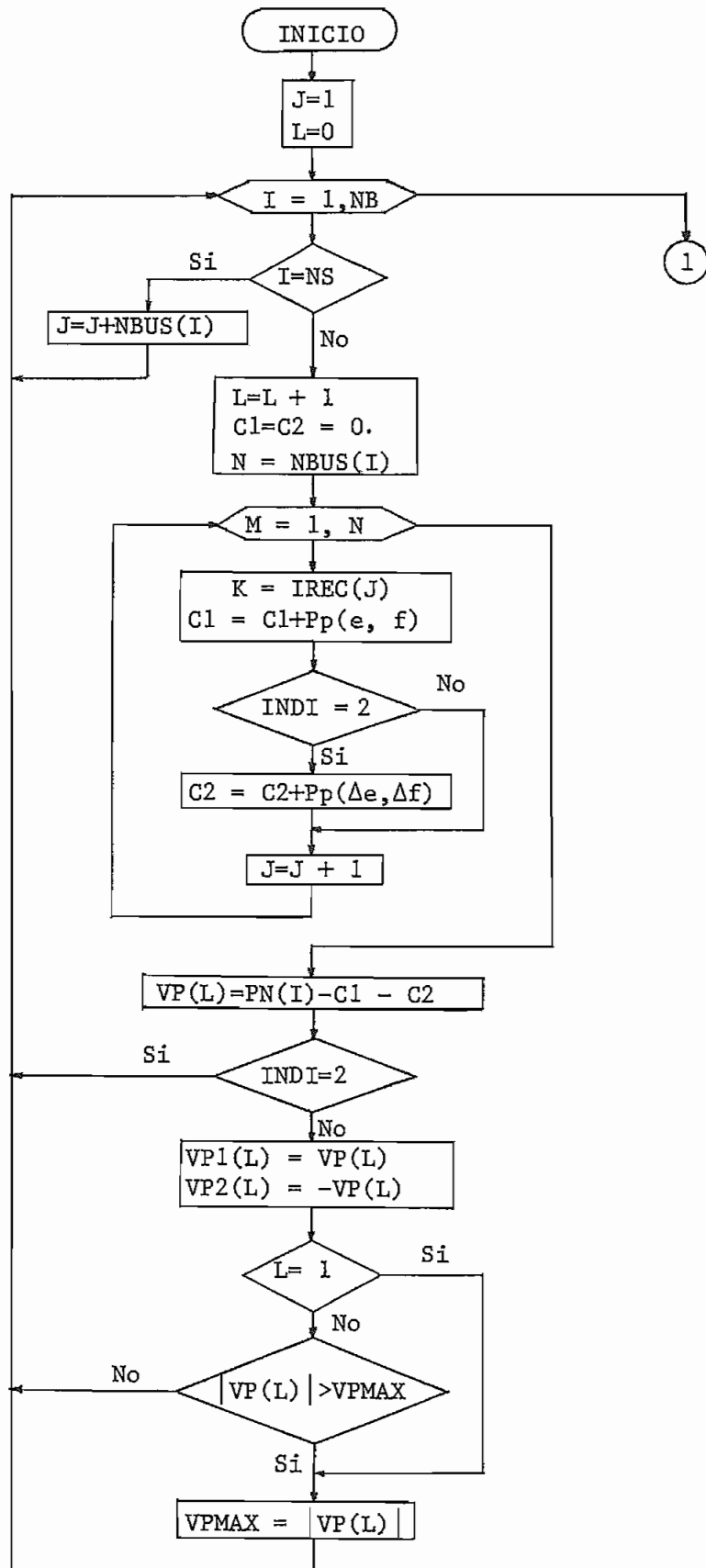
METODO CON EL MULTIPLICADOR OPTIMO



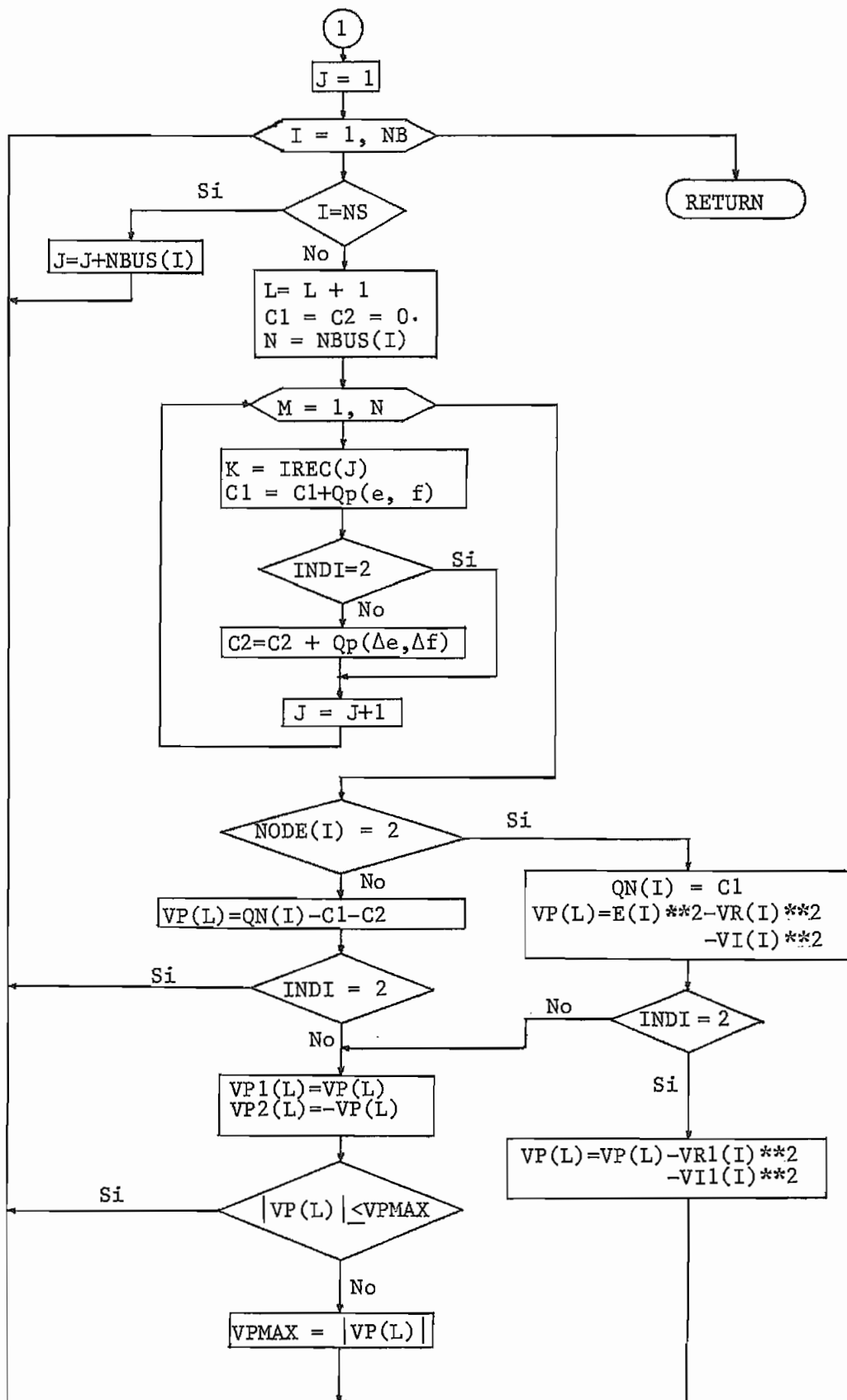
SUBROUTINA CONST



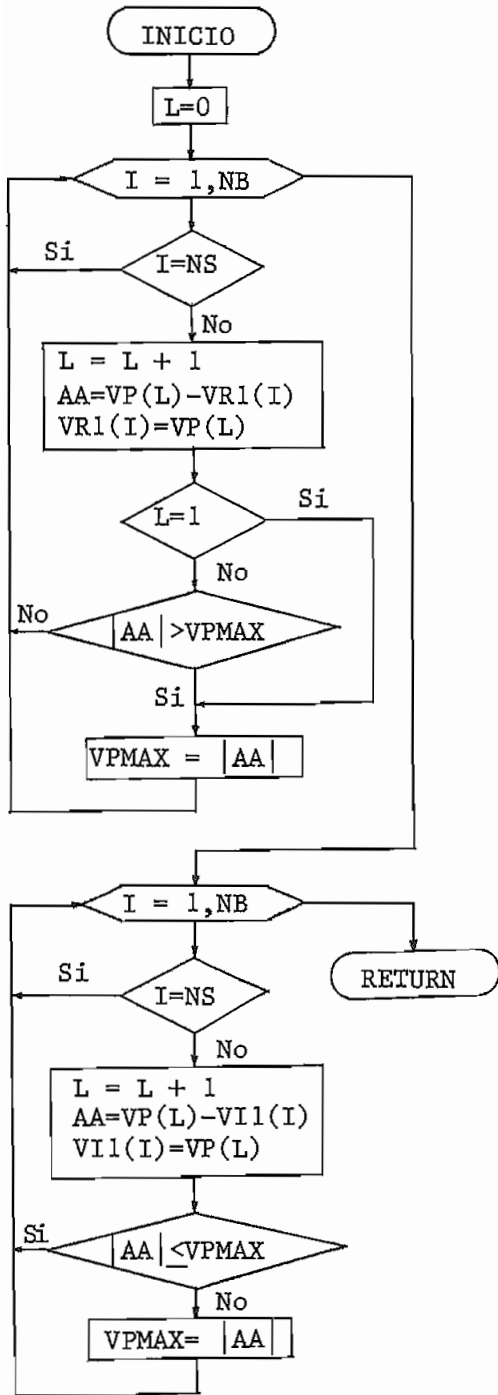
SUBROUTINA VARP



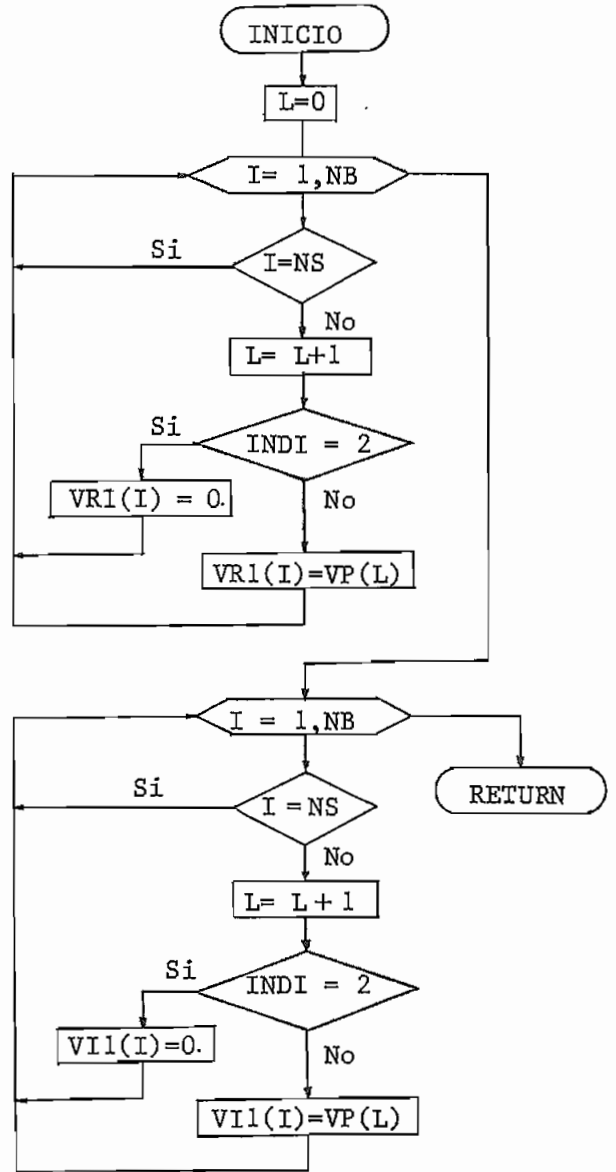
SUBROUTINA VARP (Continuación)



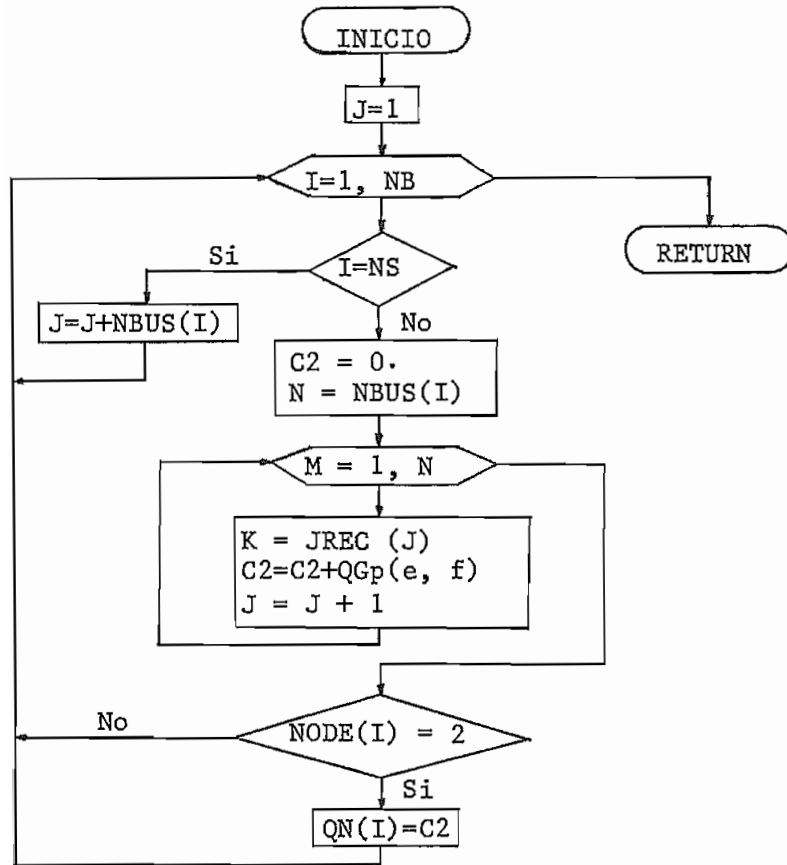
SUBROUTINA VARVOL



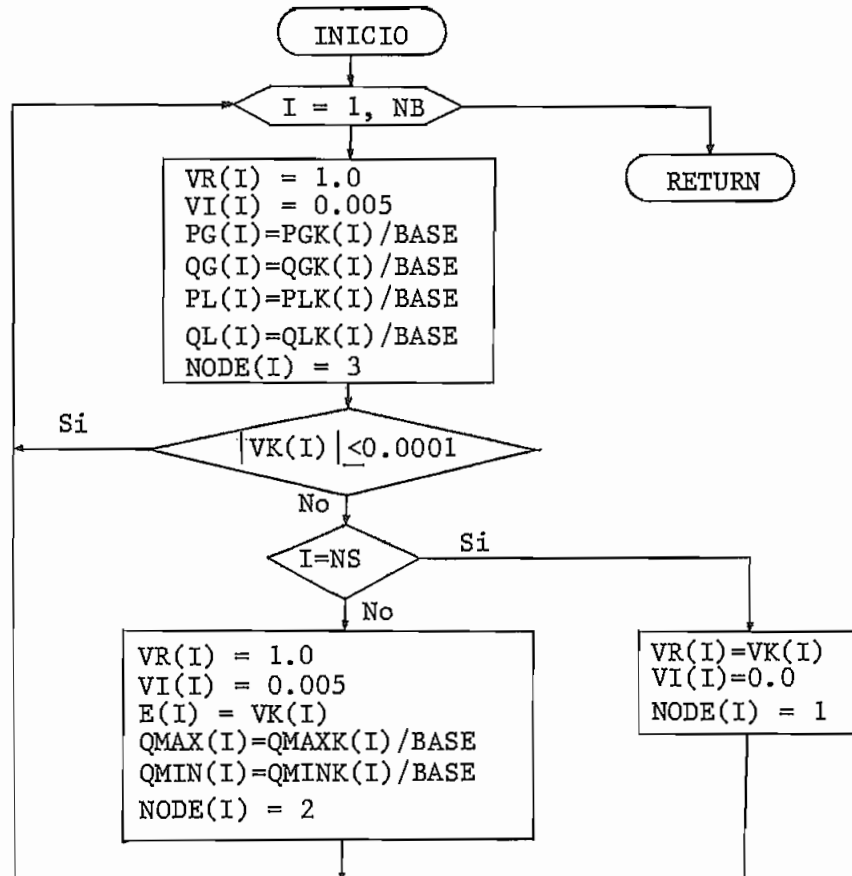
SUBROUTINA ACTUAL



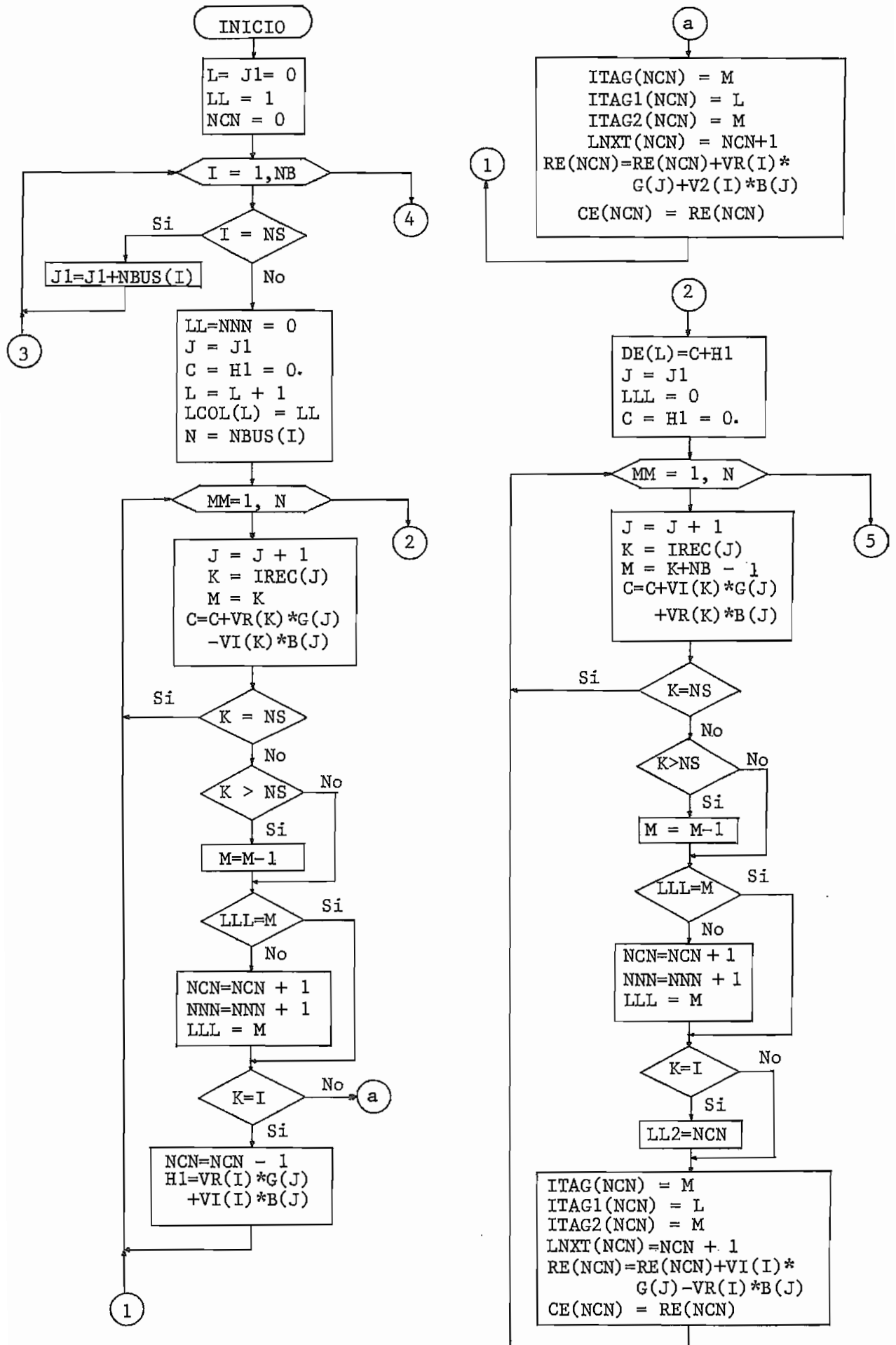
SUBROUTINA QGEN



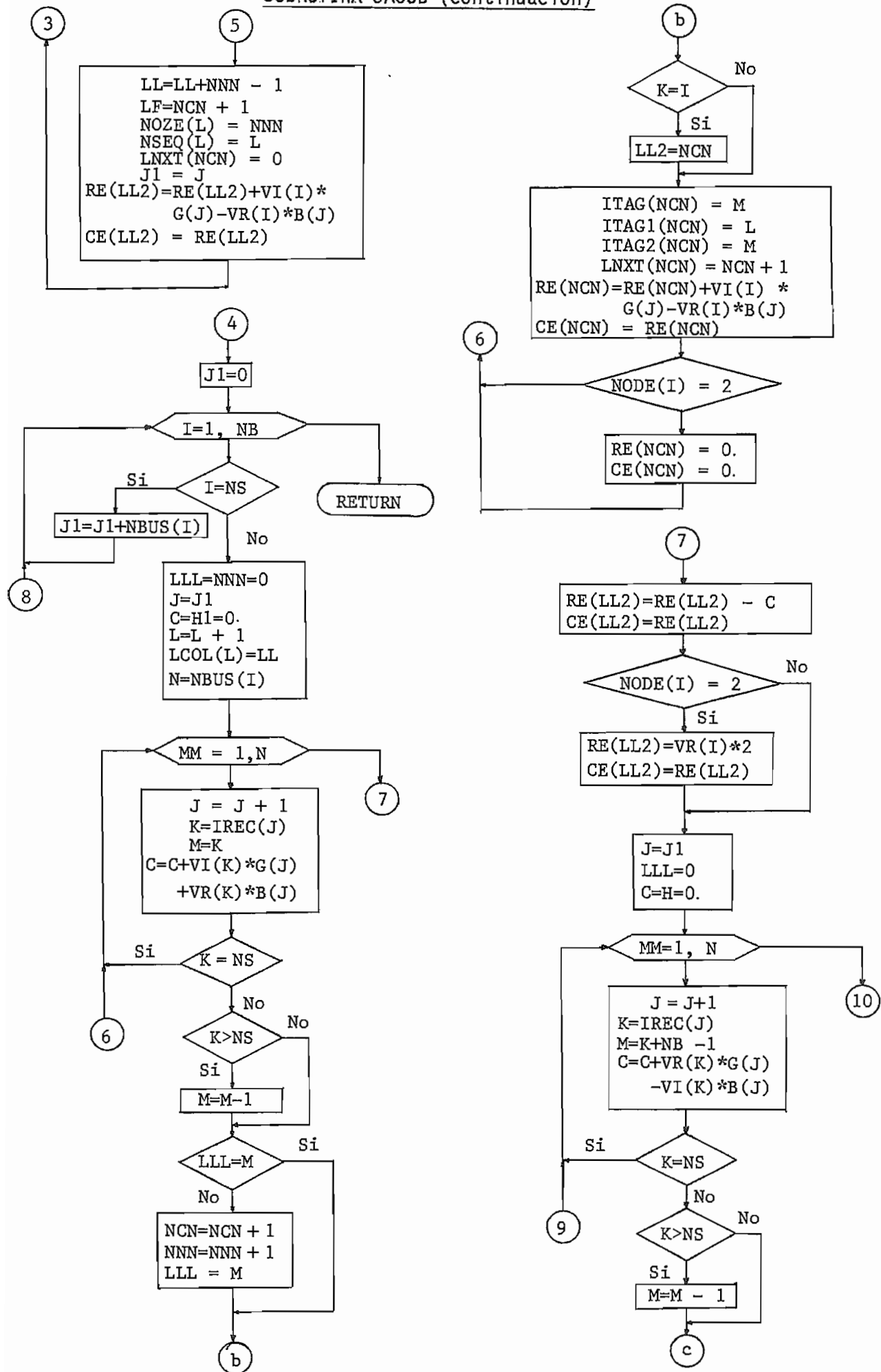
SUBROUTINA REACT



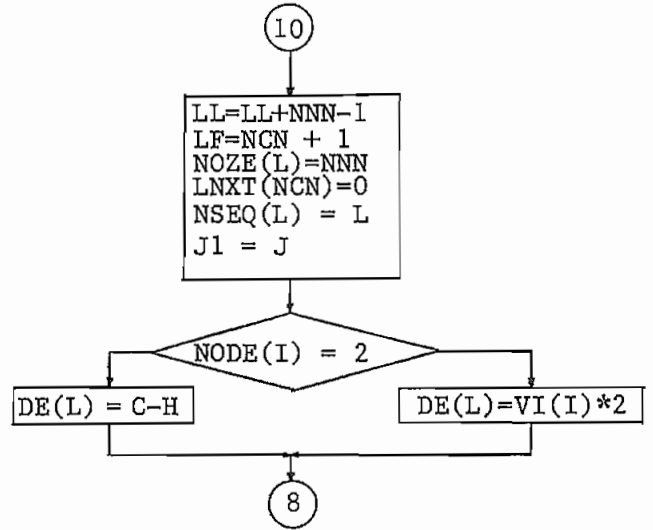
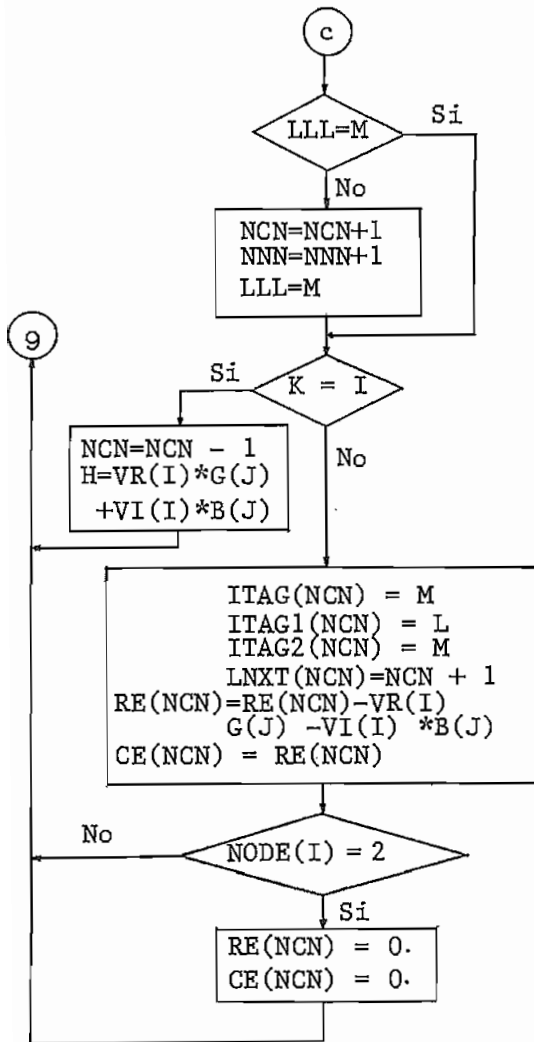
SUBROUTINA JACOB



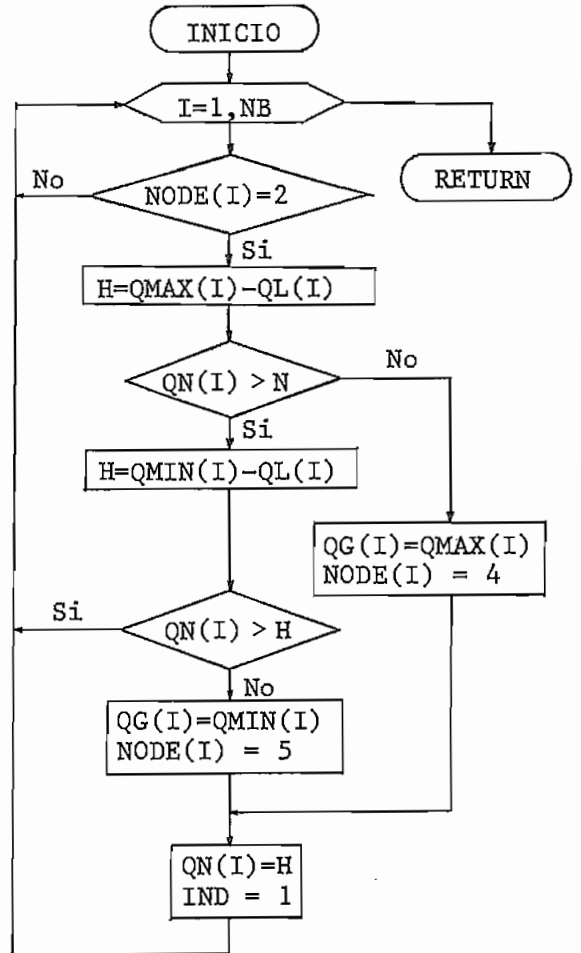
SUBROUTINA JACOB (continuación)



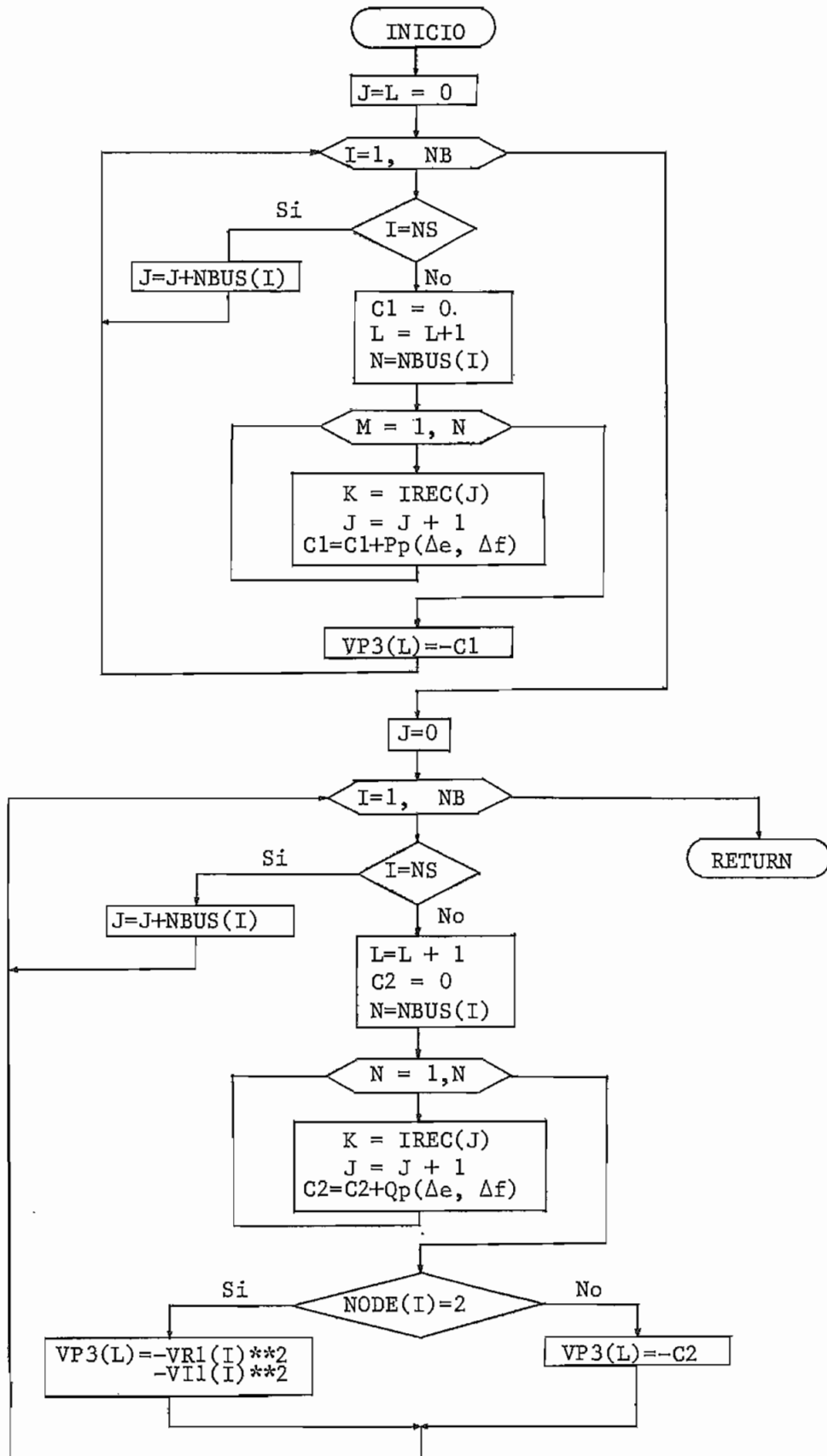
SUBROUTINA JACOB (continuación)



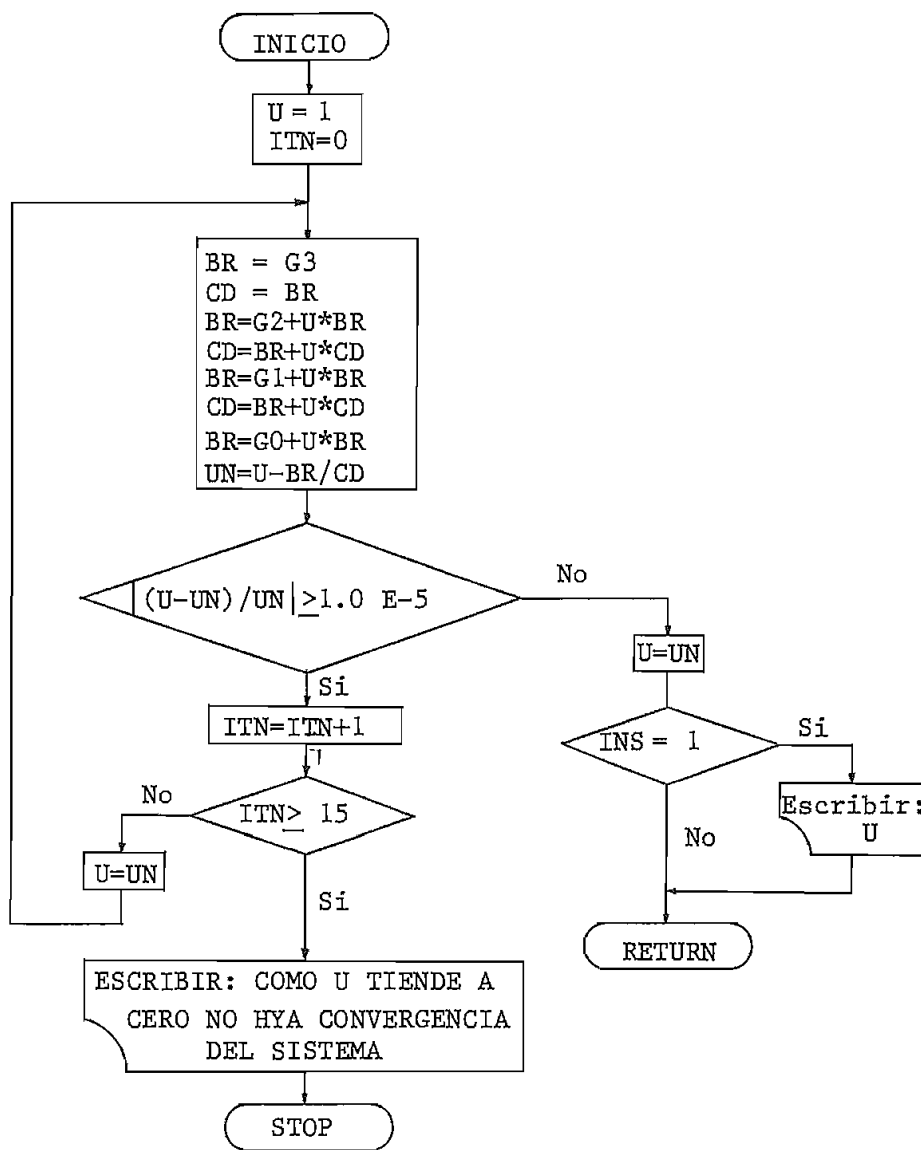
SUBROUTINA VIOLA



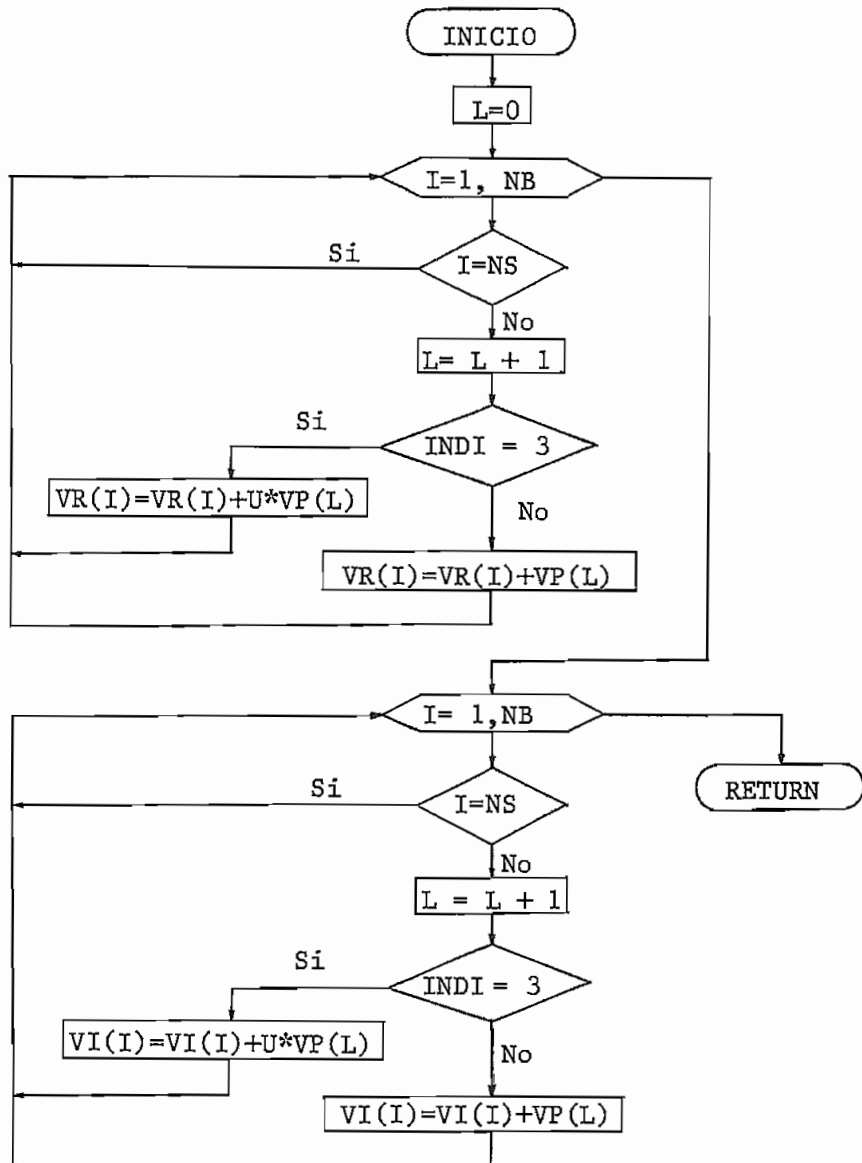
SUBROUTINA DELTA



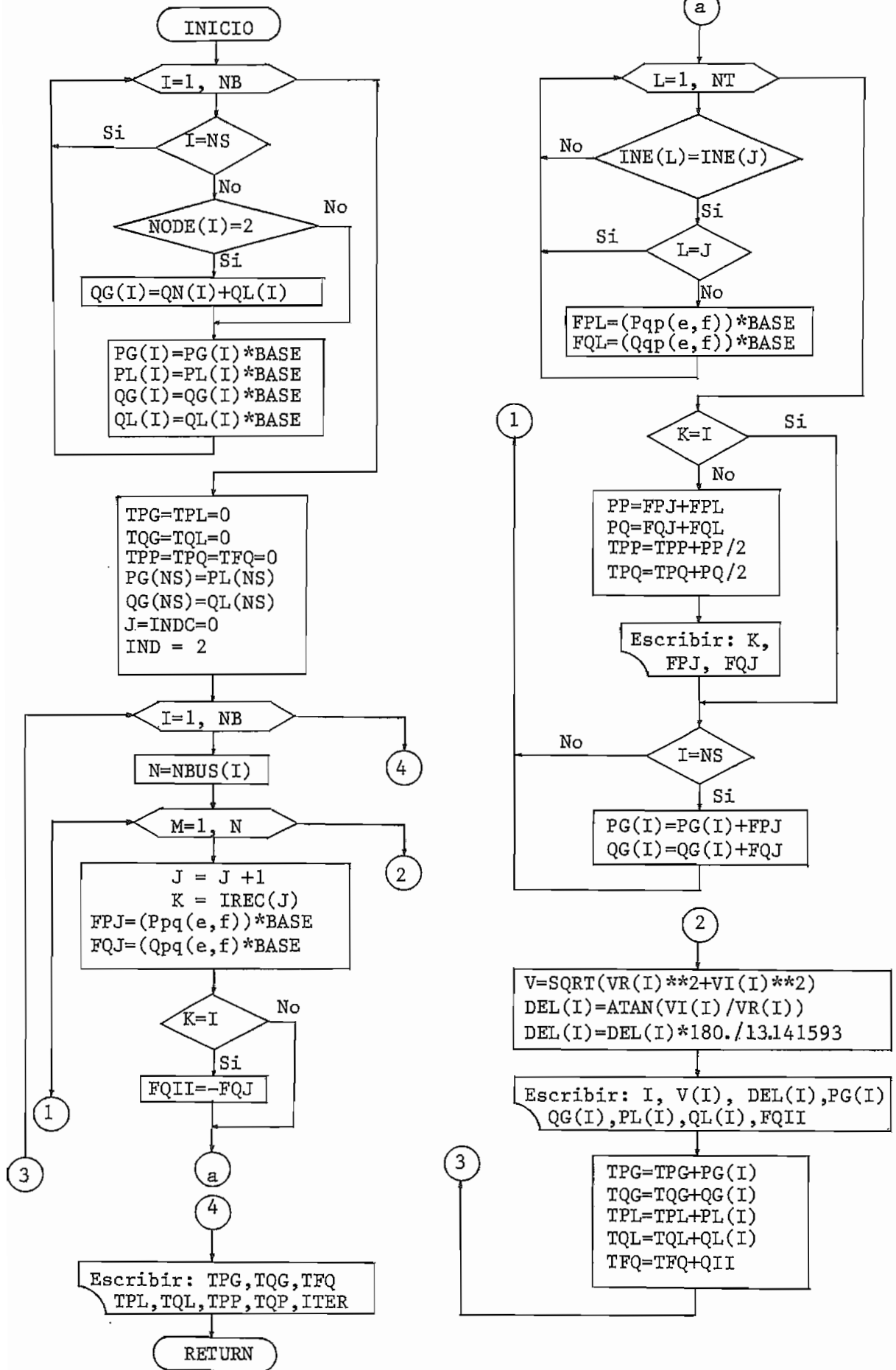
SUBROUTINA MULOP



SUBROUTINA CORREC



SUBROUTINA GOFLUP



C A P I T U L O V

ANALISIS DE RESULTADOS DE EJEMPLOS DE APLICACION

A continuación se presentan varios ejemplos, los cuales ayudan a evaluar las características de cada uno de los métodos desarrollados en esta tesis.

5.1 EJEMPLOS DE FLUJOS DE POTENCIA EN LOS QUE SE UTILIZAN LOS METODOS DE GAUSS-SEIDEL, N-R EN COORDENADAS POLARES TANTO COMPLETO COMO DESACOPLADO, N-R EN COORDENADAS RECTANGULARES, FLUJO DE SEGUNDO ORDEN Y FLUJO CON EL MULTIPLICADOR OPTIMO

Con el fin de evaluar las propiedades de los métodos aquí desarrollados, dos ejemplos han sido analizados con cada uno de los seis métodos antes mencionados.

Los valores más importantes de los resultados obtenidos con los distintos métodos serán tabulados.

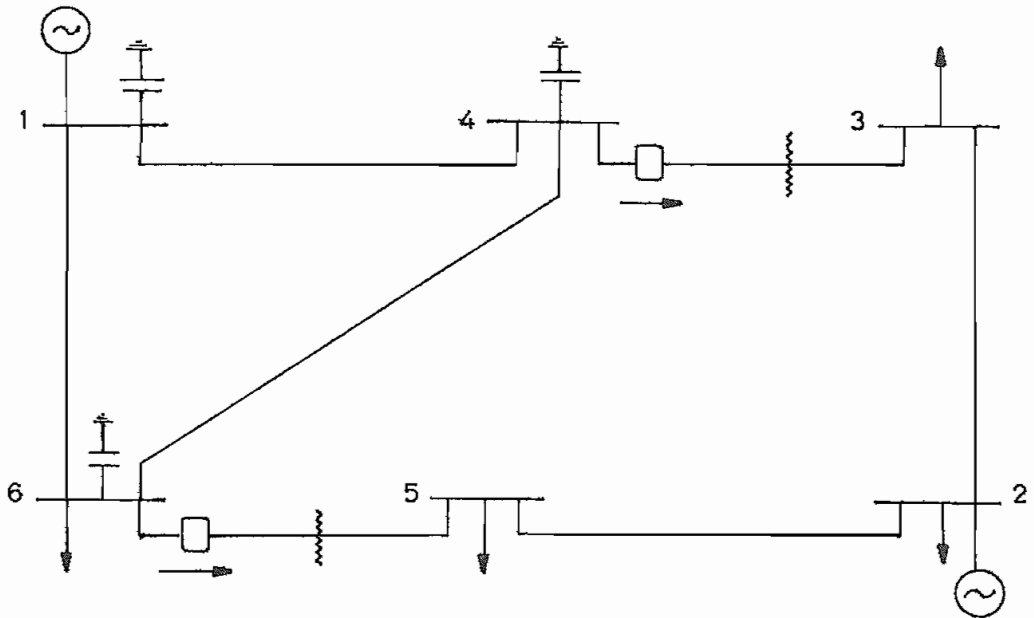
Para una mejor comprensión se detallan para cada ejemplo lo siguiente:

- Diagrama unifilar.
- Características generales del sistema.
- Datos de líneas, transformadores, reactores, capacitores.
- Datos de barras.
- Límites de generación de las barras PV.

- Hojas de los resultados del programa digital.
- Tabulación de los resultados.
- Análisis de resultados.

5.1.1 EJEMPLO N° 1 Tomado de la referencia [7]

- Diagrama Unifilar



- Características Generales del Sistema

Número de barras	6
Número de elementos	7
Número de capacitores	3

Número de la barra flotante 1
 Número de barras de tensión controlada 1
 Datos de Potencia en Valores reales
 Base 100 MVA.

DATOS DE LINEAS Y TRANSFORMADORES

LINEA		RESISTENCIA	REACTANCIA	SUSCEPTANCIA
P	Q	(%)	(%)	(MVAR)
1	- 6	12.3	51.8	0.0
1	- 4	8.0	37.0	0.0
4	- 6	9.7	40.7	0.0
6	- 5	0.0	30.0	0.0
2	- 5	2.82	64.0	0.0
2	- 3	7.23	105.0	0.0
4	- 3	0.0	13.3	0.0

DATOS DE TAPS

BARRA P	BARRA Q	TAP EN P
6	5	0.97561
4	3	0.90909

DATOS DE CONDENSADORES

BARRA Nº	SUSCEPTANCIA
	(MVAR)
4	2.9326
1	3.3898
6	3.5088

DATOS DE BARRAS

BARRA TIPO	BARRA Nº	VOLTAJE	GENERACION		CARGA	
		(P.U.)	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)
S	1	1.05				
T	2	1.1	50.0			
C	3				55.0	13.0
C	4				0.0	0.0
C	5				30.0	18.0
C	6				50.0	5.0

S: flotante T: tensión controlada C: carga

LIMITES DE GENERACION DE LAS BARRAS PV

BARRA Nº	MVAR max	MVAR min
2	25.0	0.0

- HOJAS DE RESULTADOS DEL PROGRAMA DIGITAL

Estos resultados se presentan al final del capítulo.

- TABULACION DE LOS RESULTADOS

Para realizar la tabulación de los resultados de la mejor manera posible, se enunciarán cada uno de los métodos utilizados y la referencia con sus símbolos respectivos:

- Gauss-Seidel G-S
- N-R Formal en coordenadas polares N-R(FP)
- N-R Desacoplado en coordenadas polares N-R(DP)
- N-R Formal en coordenadas rectangulares N-R(CR)
- N-R Segundo Orden N-R(SO)
- N-R con el Multiplicador Optimo N-R(MO)
- Referencia REF.

La tabulación de los resultados se presenta en los cuadros números: 1, 2 y 3.

CARACTERISTICAS COMPUTACIONALES

METODO	TIEMPO	Nº DE ITERACIONES	TIEMPO POR ITERACION
G-S		15	
N-R(FP)		4	
N-R(DP)	1.491	3.5	0.426
N-R(CR)	2.009	3	0.6697
N-R(SO)	1.818	5	0.3636
N-R(MO)	1.897	3	0.6323
REF		54	

CUADRO Nº 1

POTENCIAS

METODO	POTENCIA EN LA BARRA FLOTANTE		POTENCIA TOTAL PERDIDAS	
	MW	MVAR	MW	MVAR
G-S	95.218	43.547	10.218	---
N-R(FP)	95.221	43.705 *	10.238 *	35.380 *
N-R(DP)	95.228 *	43.596	10.228	35.354
N-R(CR)	95.217	43.540	10.224	35.331
N-R(SO)	95.215	43.522	10.221	35.323
N-R(MO)	95.221	43.553	10.223	35.333
REF	95.220	43.551	10.223	---
max dif.	0.013	0.0183	0.017	0.057

CUADRO N° 2

VOLTAJES Y ANGULOS DE BARRA

METODO→ BARRA #	G-S		N-R(FP)		N-R(DP)		N-R(CR)		N-R(SO)		N-R(MO)		REF	
	V	θ°	V	θ°	V	θ°	V	θ°	V	θ°	V	θ°	V	θ°
1	1.0500	0.00	1.0500	0.00	1.0500	0.00	1.0500	0.00	1.0500	0.00	1.0500	0.00	1.0500	0.00
2	1.1000	- 3.36	1.1000	- 3.36	1.1000	- 3.37*	1.1000	- 3.36	1.1000	- 3.36	1.1000	- 3.36	1.1000	- 3.36
3	1.0005	-12.79	1.0003	-12.79	1.0003	-12.78	1.0006	-12.79	1.0006	-12.79	1.0005	-12.79	1.0005	-12.79
4	0.9296	- 9.84	0.9294	- 9.84	0.9295	- 9.84	0.9296	- 9.84	0.9297	- 9.84	0.9296	- 9.84	0.9296	- 9.84
5	0.9193	-12.34	0.9188*	-12.34	0.9191	-12.34	0.9193	-12.34	0.9193	-12.34	0.9193	-12.34	0.9193	-12.34
6	0.9191	-12.24	0.9187	-12.24	0.9190	-12.24	0.9191	-12.24	0.9191	-12.24	0.9191	-12.24	0.9191	-12.24
max.dif			0.0005			0.01								

CUADRO N° 3

* Valor que produce la máxima diferencia comparada con el método base.

- ANALISIS DE RESULTADOS

Para realizar el análisis de resultados de estos dos ejemplos previamente se debe indicar que para obtener los resultados de los mismos, se han utilizado tres tipos de computadores diferentes así:

- Computador PRIME de INECEL para los métodos de: N-R Desacoplado en polares, N-R Formal en coordenadas rectangulares, Segundo Orden y con el Multiplicador Optimo.
- Computador TEKTRONIX de la Facultad de Ingeniería Eléctrica para el método de Gauss-Seidel, con programa elaborado en el DOSNI de INECEL.
- Computador IBM de la E.P.N. para el método Formal de N-R en Coordenadas polares.

Además, para los métodos de N-R Formal y Desacoplado en coordenadas polares, N-R Formal en coordenadas rectangulares y con el Multiplicador Optimo se utilizó el mismo criterio de convergencia por potencia; en cambio para los métodos de Segundo Orden y Gauss-Seidel la prueba de convergencia se analiza por voltaje.

Para realizar la comparación de los resultados de los distintos métodos, se debe considerar un método como base o de referencia, el método de Segundo Orden al considerar todos los

términos de la expansión en series de Taylor, no tiene aproximaciones matemáticas, razón por la cual este método es considerado como base o referencia.

Con todos estos antecedentes se procede al análisis de los resultados tabulados en los cuadros 1, 2 y 3.

En cuanto a precisión, como se puede apreciar los resultados son bastante similares con todos los métodos empleados, existiendo pequeñas diferencias de las cuales las máximas son producidas por los métodos de N-R Formal y Desacoplado en coordenadas polares.

En lo referente a tiempo total de ejecución de los resultados obtenidos en el computador de INECCEL, tenemos que el método más rápido o que menos tiempo utiliza para la ejecución es el N-R Desacoplado en polares, seguido en orden de rapidez por los Métodos de Segundo Orden, con el Multiplicador Optimo y N-R Formal en coordenadas rectangulares.

En lo que respecta al tiempo por iteración que se demora cada uno de los métodos, se ve que el método de Segundo Orden es el que menos tiempo por iteración requiere, seguido en orden de rapidez por los métodos de N-R Desacoplado en polares, con el Multiplicador Optimo y N-R Formal en coordenadas rectangulares.

Más adelante se hará un análisis más detallado de cada uno de estos métodos.

5.1.2 EJEMPLO N° 2 Tomado de la referencia [8]

SISTEMA AEP-IEEE DE 14 BARRAS

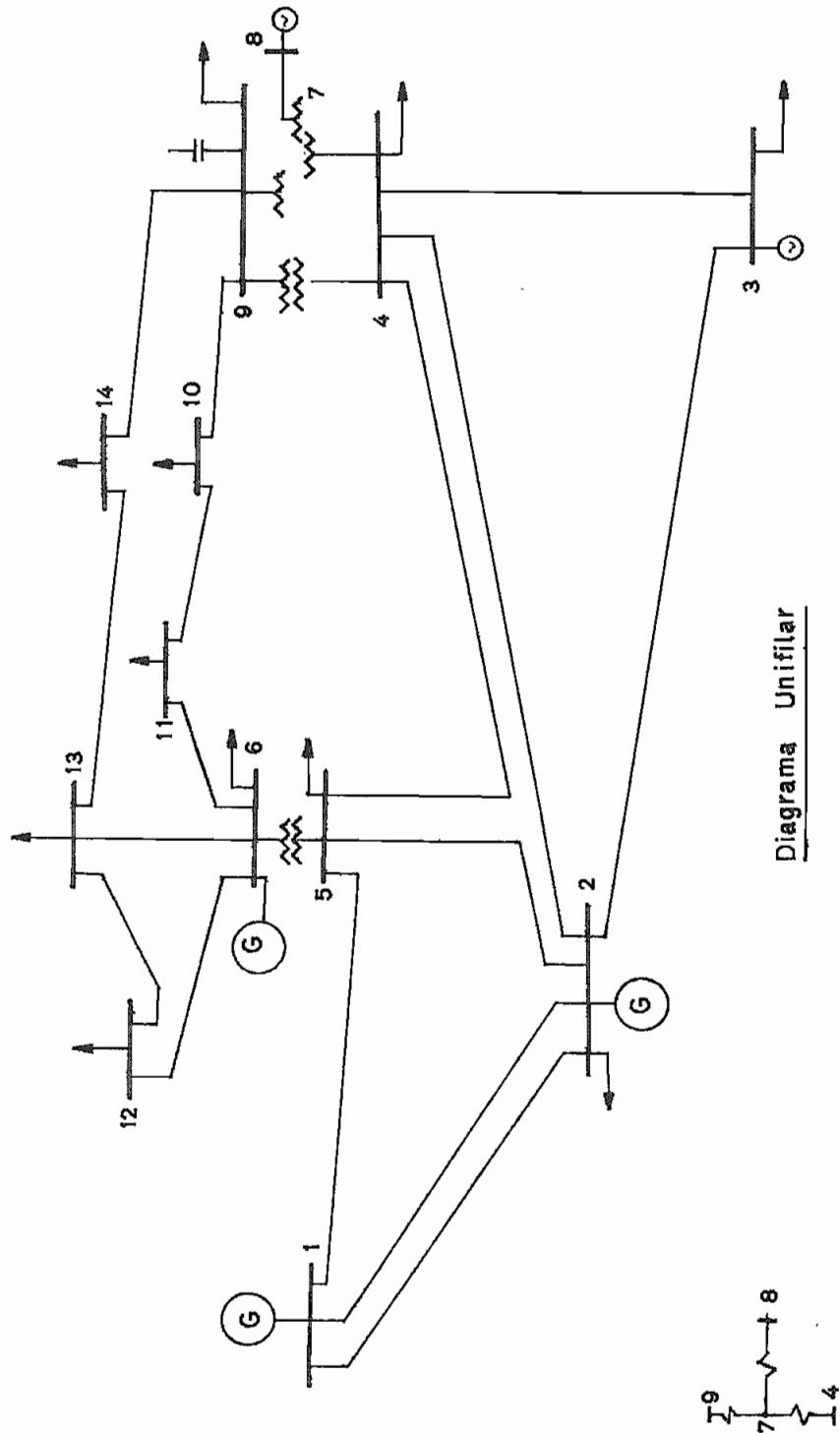


Diagrama Unifilar

Características generales del sistema

Número de barras	14
Número de elementos	20
Número de capacitores	1
Número de la barra flotante	1
Número de barras de tensión controlada	4
Datos de potencia en	Valores reales
Base	100 MVA

Datos de Líneas y Transformadores

P	BARRA		RESISTENCIA	REACTANCIA	SUSCEPTANCIA
		Q	(%)	(%)	(MVAR)
1	-	2	1.983	5.917	5.28
2	-	3	4.699	19.797	4.38
2	-	4	5.811	17.632	3.74
1	-	5	5.403	22.304	4.92
2	-	5	5.695	17.388	3.40
3	-	4	6.701	17.103	3.46
4	-	5	1.335	4.211	1.28
5	-	6	0.0	25.202	0.0
4	-	7	0.0	20.912	0.0
7	-	8	0.0	17.615	0.0
4	-	9	0.0	55.618	0.0
7	-	9	0.0	11.001	0.0
9	-	10	3.181	8.450	0.0
6	-	11	9.498	19.89	0.0
6	-	12	12.291	25.581	0.0
6	-	13	6.615	13.027	0.0
9	-	14	12.711	27.038	0.0
10	-	11	8.205	19.207	0.0
12	-	13	22.092	19.988	0.0
13	-	14	17.093	34.802	0.0

Datos de taps

BARRA P	BARRA Q	TAP EN P
4	7	0.978
4	9	0.969
5	6	0.932

Datos de condensadores

BARRA N°	SUSCEPTANCIA (MVAR)
9	19.0

Datos de barras

BARRA TIPO	BARRA N°	VOLTAJE	GENERACION		CARGA	
		(PU)	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)
S	1	1.06				
T	2	1.045	40.0		21.7	12.7
T	3	1.01			94.2	19.0
C	4				47.8	-3.9
C	5				7.6	1.6
T	6	1.07			11.2	7.5
C	7				0.0	0.0
T	8	1.09			0.0	0.0
C	9				29.5	16.6
C	10				9.0	5.8
C	11				3.5	1.8
C	12				6.1	1.6
C	13				13.5	5.8
C	14				14.9	5.0

S: flotante

T: tensión controlada

C: carga

Límites de generación de las barras PV

BARRA Nº	MVAR max	MVAR min
2	50.0	-45.0
3	40.0	0.0
6	24.0	- 6.0
8	24.0	- 6.0

- Hojas de los resultados del programa digital

Estos resultados se presentan al final del capítulo.

- Tabulación de los resultados

La tabulación de los resultados de este ejemplo se presentan en los cuadros número 4, 5 y 6.

CARACTERISTICAS COMPUTACIONALES

METODO	TIEMPO	Nº DE ITERACIONES	TIEMPO POR ITERACION
G-S	-	32	-
N-R(FP)	-	4	-
N-R(DP)	4.130	4.5	0.9178
N-R(CR)	5.297	3	1.7657
N-R(SO)	4.015	5	0.803
N-R(MO)	5.288	3	1.7627
REF	-	-	-

CUADRO Nº 4

POTENCIAS

METODO	POTENCIA EN LA BARRA FLOTANTE		POTENCIA TOTAL DE PERDIDAS	
	MW	MVAR	MW	MVAR
G-S	232.03 *	- 16.18 *	13.03 *	-
N-R (FP)	232.39	- 16.90	13.39	26.20
N-R (DP)	232.38	- 16.89	13.38	26.20
N-R (CR)	232.39	- 16.89	13.39	26.20
N-R (SO)	232.38	- 16.89	13.39	26.20
N-R (MO)	232.39	- 16.89	13.39	26.20
REF	232.4	- 16.90	-	-
max.dif.	0.35	0.71	0.36	

CUADRO N° 5

- Análisis de resultados

Teniendo en cuenta los mismos antecedentes mencionados para el ejemplo N° 1 se procede a realizar el análisis de los resultados tabulados en los cuadros 4, 5 y 6.

En general como se puede observar de los resultados de este ejemplo tienen las mismas características que las del ejemplo N° 1 con pequeñas variantes, así tenemos que:

En cuanto a precisión, las máximas diferencias son dadas por el método de Gauss-Seidel y los métodos de N-R en coordenadas polares; de estos dos ejemplos los métodos desarrollados en esta tesis tienen los resultados casi exactamente iguales.

En lo referente a tiempo total de ejecución vemos que el método más rápido es el de Segundo Orden, seguido en orden de rapidez por los métodos de N-R Desacoplado, con el multiplicador Optimo y N-R Formal en coordenadas rectangulares. Se debe hacer notar que el método de Segundo Orden es más rápido que el de N-R Desacoplado cuando se tiene un sistema de mayor número de barras.

En cuanto a tiempo por iteración el orden de rapidez se mantiene igual que en el ejemplo N° 1.

Un análisis más detallado se presentará más adelante.

VOLTAJES Y ANGULOS DE BARRA

METODO→	G-S		N-R(FP)		N-R(DP)		N-R(CR)		N-R(SO)		N-R(MO)		REF	
	V	θ°	V	θ°	V	θ°	V	θ°	V	θ°	V	θ°	V	θ°
BARRA #														
1	1.06	0.0	1.06	0.0	1.06	0.0	1.06	0.0	1.06	0.0	1.06	0.0	1.06	0.0
2	1.045	- 4.97	1.045	- 4.98	1.045	- 4.98	1.045	- 4.98	1.045	- 4.98	1.045	- 4.98	1.045	- 4.98
3	1.01	-12.70	1.01	-12.72	1.01	-12.72	1.01	-12.72	1.01	-12.72	1.01	-12.72	1.01	-12.72
4	1.019	-10.31	1.019	-10.33	1.019	-10.32	1.019	-10.32	1.019	-10.32	1.019	-10.32	1.019	-10.33
5	1.020	- 8.77	1.020	- 8.78	1.020	- 8.78	1.020	- 8.78	1.020	- 8.78	1.020	- 8.78	1.020	- 8.78
6	1.07	-14.20	1.070	-14.22	1.07	-14.22	1.070	-14.22	1.070	-14.22	1.070	-14.22	1.070	-14.22
7	1.062	-13.34*	1.062	-13.37	1.062	-13.37	1.062	-13.37	1.062	-13.37	1.062	-13.37	1.062	-13.37
8	1.09	-13.35	1.090	-13.37	1.090	-13.37	1.090	-13.37	1.090	-13.37	1.090	-13.37	1.090	-13.36
9	1.056	-14.92*	1.057*	-14.95	1.056	-14.95	1.056	-14.95	1.056	-14.95	1.056	-14.95	1.056	-14.94
10	1.051	-15.08*	1.051	-15.11	1.051	-15.10	1.051	-15.10	1.051	-15.11	1.051	-15.10	1.051	-15.10
11	1.057	-14.78	1.057	-14.80	1.057	-14.80	1.057	-14.80	1.057	-14.80	1.057	-14.80	1.057	-14.79
12	1.055	-15.06	1.055	-15.08	1.055	-15.08	1.055	-15.08	1.055	-15.08	1.055	-15.08	1.055	-15.07
13	1.050	-15.14	1.050	-15.16	1.051*	-15.16	1.050	-15.16	1.050	-15.16	1.050	-15.16	1.050	-15.16
14	1.036	-16.02	1.036	-16.04	1.036	-16.04	1.036	-16.04	1.036	-16.04	1.036	-16.04	1.036	-16.04
max.dif		0.03	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

CUADRO N° 6

* Valor que produce la máxima diferencia comparada con el caso base.

5.2 EJEMPLOS CON SISTEMAS MAL CONDICIONADOS

El sistema nacional interconectado (S.N.I.) con demanda máxima ha demostrado en varias ocasiones condiciones de mal condicionamiento, lo cual se afirma por experiencia propia y por referencias del personal de INECEL; por este motivo se investiga y se prueba la aplicación del método con el Multiplicador Optimo en el análisis.

Previamente se debe indicar en qué consiste el mal condicionamiento y qué tipos existen. Hay dos tipos de mal condicionamiento: Mal condicionamiento matemático y físico; un sistema con mal condicionamiento físico puede ser ocasionado por error en los datos de entrada poniendo valores que en la realidad son imposibles de que se den o cumplan, razón por la cual es imposible de que estos sistemas lleguen a una solución por ningún método por más sofisticado que éste sea; un sistema con mal condicionamiento matemático en cambio, es aquel sistema que por su estructura misma, o porque los valores en los datos de entrada están fuera de los límites de convergencia con los métodos convencionales, pero que con otros métodos apropiados para este tipo de sistema es posible llegar a la solución. El mal condicionamiento de los sistemas consiste en la dificultad que tienen algunos sistemas en llegar a la solución convergiendo en un alto número de iteraciones o no convergiendo definitivamente. Justamente para este tipo de sistemas es aplicable el método con el Multiplicador Optimo.

Un caso base del S.N.I. para el cual hay convergencia por los tres métodos aquí desarrollados y con el programa de INECEL es presentado primeramente; se lo denomina como base ya que los resultados de los voltajes de barra están dentro de los límites especificados para ellos. De este caso base se presenta lo siguiente:

- Características generales del sistema.
- Diagrama unifilar.
- Hojas de resultados del programa digital.
- Tabulación de los resultados más significativos.

- Características generales del Sistema

Número de barras	38
Número de elementos	46
Número de capacitores	1
Número de la barra flotante	1
Número de barras de tensión controlada	8
Datos de potencia en	Valores reales
Base	100 MVA

- Hojas de resultados del programa digital

Se presentarán los resultados de los tres métodos y con el programa de INECEL al final del capítulo.

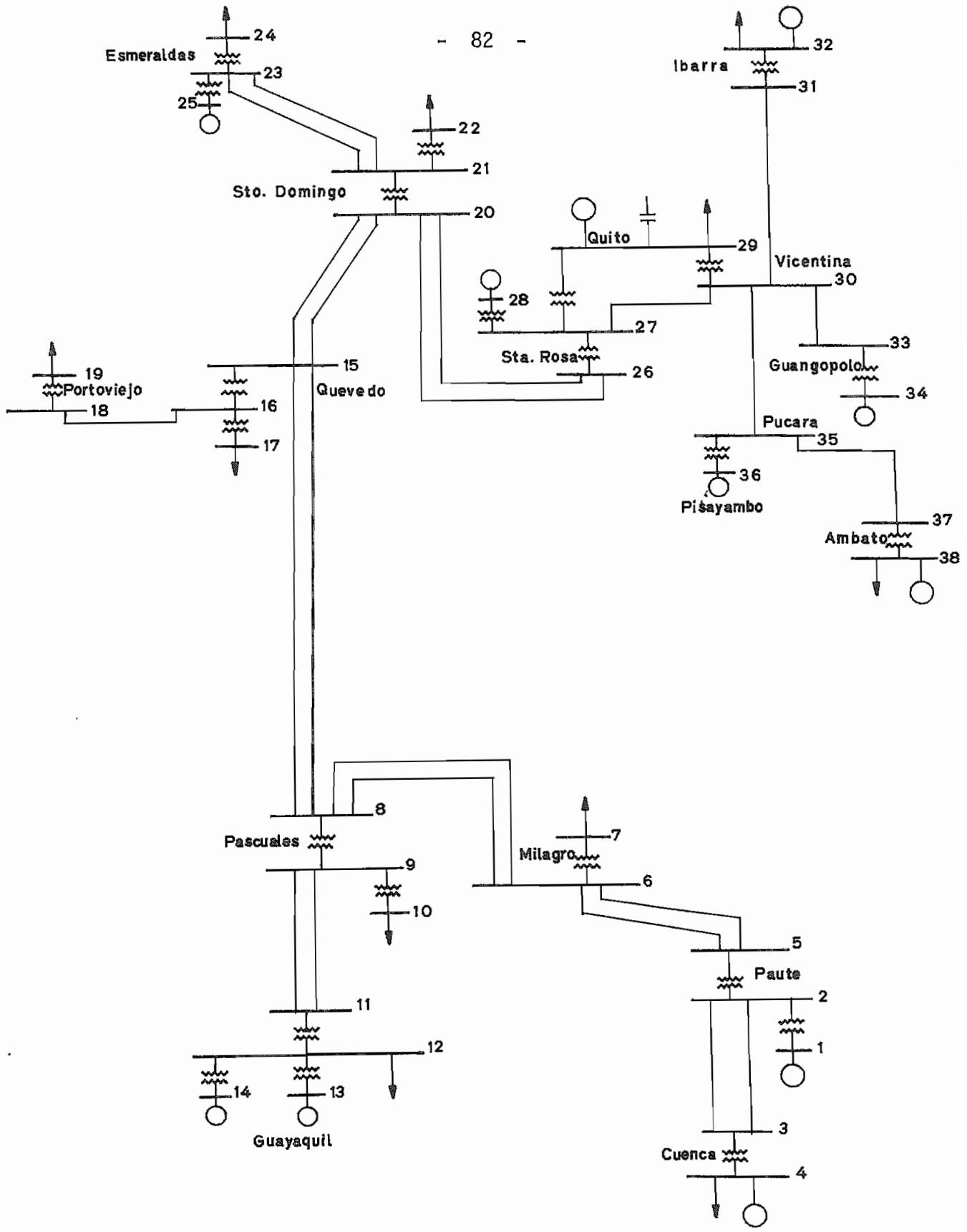


DIAGRAMA UNIFILAR
SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO
AÑO 1984

- Tabulación de resultados más significativos

POTENCIAS

METODO	POTENCIA DE LA BARRA FLOTANTE		POTENCIA TOTAL DE PERDIDAS	
	MW	MVAR	MW	MVAR
N-R (CR)	303.3	33.5	14.9	- 67.3
N-R (SO)	303.0	38.5	14.9	- 67.3
N-R (MO)	303.3	38.5	14.9	- 67.4
PROG. INECEL	303.9	41.6	--	---

CUADRO N° 7

VOLTAJES Y ANGULOS DE BARRA

METODO→	N-R (CR)		N-R (SO)		N-R (MO)		PROG. INECEL	
BARRA #	V	θ°	V	θ°	V	θ°	V	θ°
3	1.030	- 3.5	1.030	- 3.5	1.030	- 3.5	1.031	- 3.5
4	1.019	- 3.8	1.019	- 3.8	1.019	- 3.8	1.020	- 3.9
13	1.016	- 18.8	1.016	- 18.8	1.016	- 18.8	1.013	- 18.9
14	1.020	- 14.7	1.020	- 14.7	1.020	- 14.7	1.020	- 14.8
27	1.013	- 30.7	1.013	- 30.7	1.013	- 30.7	1.008	- 31.0
29	0.994	- 35.0	0.994	- 35.0	0.994	- 35.0	0.989	- 35.4
36	1.020	- 24.2	1.020	- 24.2	1.020	- 24.1	1.020	- 24.5
37	0.983	- 29.8	0.983	- 29.8	0.983	- 29.8	0.981	- 30.1

CUADRO N° 8

De los cuadros 7 y 8 se puede observar que los resultados de los tres métodos desarrollados aquí son casi exactamente iguales, y comparando con los resultados del programa de INECEL, existen pe

pequeñas diferencias en los valores de voltaje, lo que ocasiona que las diferencias de potencia reactiva sean mayores que las diferencias de potencia activa. Las diferencias de los resultados de los tres métodos comparados con el programa de INECEL se pueden deber: al algoritmo de solución empleado, criterio de convergencia, tratamiento de las barras de tensión controlada que violan límites de potencia reactiva del programa de INECEL. En todo caso debido a que las diferencias son pequeñas se puede afirmar que los tres métodos desarrollados en esta tesis son aceptables en cuanto a precisión se refiere.

Partiendo del caso base del S.N.I., y haciendo algunos cambios en: módulo de voltajes, potencias de generación y carga y quitando algunas líneas, se han analizado algunos casos con los tres métodos, para comprobar la funcionalidad de cada uno de ellos.

A continuación se hace la descripción de los cambios hechos para cada caso referidos al caso base:

CASO N°	DESCRIPCION
1	- Sin violación de límites de generación de potencia reactiva de las barras PV.
2	- Aumentando 5MW de generación y disminuyendo 10 MW y 5MVAR de carga en la barra 29 - Disminuyendo 5MW y 7MVAR de carga de la barra 12
3	Caso Base

CASO N°	DESCRIPCION
4	<ul style="list-style-type: none">- Disminuyendo 5MW de generación en la barra 29- Aumentando 5MW y 3MVAR de carga en la barra 12- Quitando una de las líneas 20-26
5	<ul style="list-style-type: none">- Aumentando 3.5 MW de generación en la barra 29- Aumentando 5 MW y 3 MVAR de carga en la barra 12- Disminuyendo 0.02 en los módulos de voltaje de las barras 4 y 13 y 0.01 en la barra 14- Quitando una de las líneas: 9-11, 15-20 y 20-26
6	<ul style="list-style-type: none">- Disminuyendo 2.1 MW y 5 MW de generación en las barras 13 y 29 respectivamente- Aumentando 15 MW y 3 MVAR de carga en la barra 12- Quitando una de las líneas 6-8 y 9-11

Los resultados de potencia y voltajes más significativos del caso N° 4 son presentados en los cuadros 9 y 10.

POTENCIAS

METODO	POTENCIA DE LA BARRA FLOTANTE		POTENCIA TOTAL DE PERDIDAS	
	MW	MVAR	MW	MVAR
N-R (CR)	316.517	75.584	18.119	2.358
N-R (SO)	316.527	75.660	18.124	2.462
N-R (MO)	316.528	75.667	18.125	2.472

CUADRO N° 9

VOLTAJES Y ANGULOS DE BARRA

METODO →	N-R (CR)		N-R (SO)		N-R (MO)	
BARRA #	V	θ°	V	θ°	V	θ°
2	1.037	- 3.47	1.037	- 3.47	1.037	- 3.47
4	1.020	- 4.10	1.020	- 4.10	1.020	- 4.10
13	0.977	-20.54	0.977	- 20.54	0.977	- 20.54
14	1.020	-16.51	1.020	- 16.51	1.020	- 16.51
27	0.933	-33.66	0.933	- 36.67	0.933	- 36.67
29	0.911	-42.06	0.911	- 42.07	0.911	- 42.07
36	1.020	-30.84	1.020	- 30.86	1.020	- 30.86
37	0.959	-36.66	0.959	- 36.67	0.959	- 36.67

CUADRO N° 10

Como se puede ver en los cuadros 9 y 10 los resultados son bastante similares con los tres métodos al igual que en el caso base; con lo que se puede concluir que la precisión de los tres métodos es la misma.

En el cuadro N° 11 se presentan las características computacionales de tiempo y número de iteraciones de cada uno de los 6 casos analizados.

CARACTERISTICAS COMPUTACIONALES

METODO →	N-R (CR)		N-R (SO)		N-R (MO)	
CASO #	# de its	tiempo	# de its	tiempo	# de its	tiempo
1	4	18.436	9	11.203	3	16.009
2	5	21.967	12	14.503	4	19.300
3	6	25.494	12	14.636	4	19.430
4	8	31.142	19	18.054	7	28.321
5	NC en 15	--	NC en 30	--	8	32.410
6	NC en 15	--	NC en 30	--	9	33.691

NC = no converge

CUADRO Nº 11

En el cuadro Nº 11 se puede la funcionalidad de los métodos de Segundo Orden y con el Multiplicador Optimo; así tenemos que para los sistemas que convergen normalmente con los tres métodos, el de Segundo Orden es mucho más rápido que los otros dos, y el método con el Multiplicador Optimo comparado con el Método Formal de N-R en coordenadas rectangulares realiza un menor número de iteraciones, y en consecuencia necesita menos tiempo para llegar a la solución; para los 2 últimos casos que son mal condicionados se obtiene convergencia sólo por el método con el Multiplicador Optimo, con lo cual se verifica que este método ayuda a la convergencia de los sistemas haciéndolos converger más rápidamente a algunos sistemas y obteniendo convergencia de los sistemas mal condicionados o que no convergen normalmente con los métodos

convencionales.

5.3 COMPARACION ENTRE LOS DISTINTOS METODOS

Se hará una comparación entre los seis métodos utilizados según los ejemplos analizados con cada método y la comparación se hará en base a las siguientes características computacionales:

- Confiabilidad de convergencia
- Requerimientos de memoria
- Velocidad de solución
- Facilidad de programación

5.3.1 CONFIABILIDAD DE CONVERGENCIA

En general, para los sistemas normales o que no son mal condicionados todos los métodos son altamente confiables en cuanto llegan a una convergencia en la solución. La forma de converger de cada método difiere de acuerdo al algoritmo utilizado, así:

- Los algoritmos Formal de N-R tanto en coordenadas rectangulares como en polares y con el Multiplicador Optimo al ser bastante similares, convergen en un número de iteraciones más bien bajo, y éste no es dependiente del tamaño del sistema, manteniéndose constante.
- El algoritmo de Gauss-Seidel realiza un número elevado de iteraciones hasta llegar a obtener la solución y el número de iteraciones aumenta si el tamaño del sistema es mayor.

- El algoritmo de N-R Desacoplado en polares es parecido al Formal de N-R, pero con la diferencia que éste al considerar las submatrices no diagonales del Jacobiano iguales a cero requiere un mayor número de iteraciones para llegar a la solución y éste es dependiente del tamaño del sistema.
- El algoritmo de Segundo Orden tiene similitud con el algoritmo Desacoplado de Rápido, ya que éstos mantienen el Jacobiano constante en el proceso iterativo, por lo que el número de iteraciones de éstos es elevado y depende del tamaño del sistema.

Para los sistemas mal condicionados, la confiabilidad de convergencia disminuye considerablemente, hasta llegar a ser cero para todos los métodos excepto para el método con el Multiplicador Optimo, el cual mantiene su confiabilidad de convergencia para este tipo de sistemas.

5.3.2 REQUERIMIENTO DE MEMORIA

El requerimiento de memoria es referido a los distintos arreglos y variables utilizadas para la resolución de los algoritmos empleados.

El requerimiento de memoria de el algoritmo de Gauss-Seidel es pequeño debido a que éste no requiere de almacenamiento de memoria para los elementos del Jacobiano para la resolución del problema.

En cuanto a los algoritmos de N-R Formal tanto en polares como en rectangulares, el requerimiento de memoria de éstos es el mismo, ya que necesitan los mismos arreglos y variables para la resolución del problema.

El algoritmo de N-R Desacoplado en polares tiene un ligero menor espacio de almacenamiento de memoria respecto al algoritmo Formal de N-R, debido a que las submatrices no diagonales del Jacobiano son consideradas iguales a cero.

Los algoritmos de Segundo Orden y con el Multiplicador Optimo al ser extensiones del algoritmo de N-R Formal en coordenadas rectangulares, requieren de un poco más de almacenamiento de memoria, ya que para su formación se requiere de algunos arreglos y variables adicionales por los cambios y aumentos que se deben realizar para cada algoritmo.

5.3.3 VELOCIDAD DE SOLUCION

Dentro de los aspectos válidos para realizar un análisis comparativo relacionado con la velocidad de convergencia a la solución entre los distintos métodos tenemos, entre otros: el grado de dificultad del sistema dado, y el algoritmo o método utilizado.

El grado de dificultad o condicionamiento inicial del sistema eléctrico de potencia, tiene que ver con el número de iteraciones que los métodos deben ejecutar, pues cuanto más mal condicionado esté un sistema, más iteraciones requerirá para llegar a la solu

ción, o entrar a un proceso oscilatorio o divergente.

El método utilizado tiene que ver con los pasos que realiza cada algoritmo hasta llegar a la solución, así tenemos:

El algoritmo de Gauss-Seidel, a pesar de que requiere un tiempo bastante pequeño por iteración, el tiempo total por ejecución es más bien grande por el número elevado de iteraciones que requiere para obtener la solución, hecho por el cual este método ha de jado de ser utilizado en la actualidad dando paso al aparecimiento de métodos más eficientes y rápidos.

El algoritmo de N-R Desacoplado en polares al trabajar solamente con las submatrices diagonales reduce su tiempo de solución com parado con el algoritmo Formal de N-R.

El método de Segundo Orden al mantener los estimados iniciales constantes durante el proceso iterativo, los elementos del Jacobiano son calculados solamente en la primera iteración, y en la resolución de la ecuación matricial todas las operaciones requ eridas para obtener los valores de las correcciones en la primera iteración son almacenados de tal manera que, éstas puedan ser u tilizadas en el resto del proceo iterativo para obtener los nue vos valores de las correcciones cambiando solamente el término independiente en cada iteración; este hecho hace que se obtenga más rápidamente la solución, ya que se reducen considramente el número de cálculos y operaciones en cada iteración; este mé todo es comparable o tiene similares características que el método

de N-R Desacoplado Rápido.

Los métodos de N-R Formal tanto en polares como en rectangulares difieren con el método con el Multiplicador Optimo solamente en la manera de realizar las correcciones de las incógnitas, así: mientras que los métodos formales realizan las correcciones normalmente, el método con el Multiplicador Optimo realiza las correcciones con la ayuda de un multiplicador, el cual tiene por objeto ajustar las correcciones a la solución, de tal manera que sistemas mal condicionados converjan más rápidamente en unos casos y en otros que converjan solamente con este método.

5.3.4 FACILIDAD DE PROGRAMACION

En cuanto a facilidad de programación se hará un análisis comparativo solamente de los tres métodos desarrollados en esta tesis. El método de N-R Formal en coordenadas rectangulares tiene una ligera ventaja respecto a los métodos de Segundo Orden y con el Multiplicador Optimo, ya que estas son extensiones del primero, y para su formación requieren de ciertos cambios e implementación de nuevas subrutinas, los mismos que son de fácil formación; con lo que se puede afirmar que los nuevos métodos son de fácil extensión del método de N-R y nada complicados.

TESIS DE GRADO

TITULO: NUEVOS METODOS DE FLUJOS DE POTENCIA Y SU
 APLICACION EN SISTEMAS MAL CCNDICIONADOS

METODOS: NEWTON RAPHSON EN COORDENADAS RECTANGULARES,
 FLUJO DE SEGUNDO ORDEN Y FLUJO CON
 EL MULTIFICADOR OPTIMO

FECHA: AGOSTO DE 1984

REALIZADO POR: NESTOR A. DUQUE DOMINGUEZ

DIRIGIDO POR: ING. GABRIEL ARGUELLO R.

OBJETIVO: EL PROGRAMA SIRVE PARA EL CALCULO DE FLUJOS DE
 POTENCIA APLICANDO A LA CONVERGENCIA DE LOS
 SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

PROBLEMA DE FLUJOS TOMADO DEL ARTICULO DE WARD AND MALLE (1966)

 DATOS GENERALES

NO. TOTAL DE BARRAS: 6
 NO. DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA: 1
 NO. DE LA BARRA FLOTANTE: 1
 NO. DE LINEAS, CAP/REAC EN SERIE
 Y/O TRANSFORMADORES: 7
 NO. DE CAP/REAC EN PARALELO: 3
 MVA. BASE: 100.000
 TIPOS DE BARRA: S FLOTANTE
 Y VOLTAGE CONTROLADO
 C CARGA

 DATOS DE BARRAS

BARRA NO.	TIPO DE BARRA	VOLTAJE MAGNITUD	POT ACTIVA GENERACION	POT REACTIVA GENERACION	POT ACTIVA CARGA	POT REACTIVA CARGA	POT REACT MAX GENERACION	POT REACT MIN GENERACION
1	S	1.05000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	Y	1.10000	50.00000	0.00000	0.00000	0.00000	25.00000	0.00000
3	C	0.00000	0.00000	0.00000	55.00000	13.00000	0.00000	0.00000
4	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	C	0.00000	0.00000	0.00000	30.00000	18.00000	0.00000	0.00000
6	C	0.00000	0.00000	0.00000	50.00000	5.00000	0.00000	0.00000

 DATOS DE LINEAS, TRANSFORMADORES Y/O CAP/REACTORES

NO.	BAR P	BAR Q	RESISTEN	REACTANC	SUSCEPTAN	MVA T	TAP P	TAP Q	CAP/REAC
1	1	6	12.30000	51.80000	0.00000				
2	1	4	8.00000	37.00000	0.00000				
3	4	6	9.70000	40.70000	0.00000				
4	4	5	0.00000	30.00000	0.00000	100.00	0.9756	1.0000	
5	2	5	28.20000	64.00000	0.00000				
6	2	3	72.29999	105.00000	0.00000				
7	4	3	0.00000	13.30000	0.00000	100.00	0.9051	1.0000	
8	4	4	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	0.0000	2.533
9	1	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	0.0000	3.390
10	6	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	0.0000	3.509

RESULTADOS
=====

UTILIZANDO EL METODO DE NEWTON RAPHSON EN COORDENADAS RECTANGULARES
=====

BARRA	VOLTAJE		GENERACION		CARGA		*CAP/REAC*	A	FLUJOS EN LINEAS			
	#	PAC.	ANG.	MW	MVAR	MW			MVAR	MVAR	*BARRA*	MW
S 1	1.0500	0.000	95.217	43.540	0.000	0.000	3.737	4	50.512	27.030		
								6	44.305	20.248		
T 2	1.1000	-3.356	50.000	18.543	0.000	0.000	-0.000	3	17.180	0.007		
								5	32.822	18.536		
C 3	1.0006	-12.786	0.000	0.000	55.000	13.000	-0.000	2	-15.417	2.554		
								4	-39.584	-15.546		
C 4	0.9296	-9.836	0.000	0.000	0.000	0.000	2.534	1	-48.511	-15.879		
								3	39.576	17.554	0.9051	
								6	8.915	0.464		
C 5	0.9153	-12.336	0.000	0.000	30.000	18.000	-0.000	2	-29.519	-11.018		
								6	-0.483	-6.981		
C 6	0.9151	-12.240	0.000	0.000	50.000	5.000	2.964	1	-41.658	-9.099		
								4	-8.826	-0.089		
								5	0.483	7.155	0.9756	

MW MVAR
 TOTAL GENERACION: 145.217 62.084
 TOTAL MVAR CAP/REAC: 9.235
 TOTAL CARGA: 135.000 36.000
 TOTAL PERDIDAS: 10.224 35.331

CONVERGE EN 3 ITERACIONES

TIEMPO DE OCUPACION DE CPU= 2.0091130

RESULTADOS
=====

UTILIZANDO EL FLUJO DE SEGUNDO ORDEN
=====

BARRA	VOLTAJE		GENERACION		CARGA		*CAP/REAC*	A	FLUJOS EN LINEAS			
	#	PAC.	ANG.	MW	MVAR	MW			MVAR	MVAR	*BARRA*	MW
S 1	1.0500	0.000	95.215	43.522	0.000	0.000	3.737	4	50.911	27.019		
								6	44.304	20.240		
T 2	1.1000	-3.355	50.000	18.530	0.000	0.000	-0.000	3	17.177	0.004		
								5	32.829	18.527		
C 3	1.0006	-12.785	0.000	0.000	55.000	13.000	-0.000	2	-15.414	2.557		
								4	-39.575	-15.552		
C 4	0.9297	-9.836	0.000	0.000	0.000	0.000	2.535	1	-48.501	-15.871		
								3	39.576	17.554	0.9091	
								6	8.915	0.463		
C 5	0.9153	-12.336	0.000	0.000	30.000	18.000	-0.000	2	-29.518	-11.011		
								6	-0.484	-6.983		
C 6	0.9151	-12.240	0.000	0.000	50.000	5.000	2.964	1	-41.657	-9.093		
								4	-8.825	-0.080		
								5	0.484	7.157	0.9756	

MW MVAR
 TOTAL GENERACION: 145.215 62.052
 TOTAL MVAR CAP/REAC: 9.236
 TOTAL CARGA: 135.000 36.000
 TOTAL PERDIDAS: 10.221 35.323

CONVERGE EN 5 ITERACIONES

TIEMPO DE OCUPACION DE CPU= 1.8182017

RESULTADOS
=====

CON EL MULTIPLICADOR OPTIMO
=====

BARRA	A	VCLTAJE		GENERACION				CARGA			*CAP/REAC*	A	FLUJCS EN LINEAS		
		MAG.	ANG.	MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR	MVAR	*BARRA*	MW	MVAR	TAP		
S	1	1.0500	0.000	95.221	43.553	0.000	0.000	3.737			4	50.914	27.037		
											6	44.308	20.253		
T	2	1.1000	-3.359	50.000	18.546	0.000	0.000	-0.000			3	17.176	0.010		
											5	32.825	18.536		
C	3	1.0005	-12.786	0.000	0.000	55.000	13.000	-0.000			2	-15.413	2.550		
											4	-35.527	-18.551		
C	4	0.9256	-9.837	0.000	0.000	0.000	0.000	2.534			1	-48.502	-15.884		
											3	35.587	17.554	0.9091	
											6	8.916	0.464		
C	5	0.9193	-12.337	0.000	0.000	30.000	18.000	-0.000			2	-29.513	-11.020		
											6	-0.487	-6.980		
C	6	0.9151	-12.241	0.000	0.000	50.000	5.000	2.964			1	-41.660	-9.102		
											4	-8.826	-0.989		
											5	0.487	7.154	0.9756	

	MW	MVAR
TOTAL GENERACION:	145.221	62.099
TOTAL MVAR CAP/REAC:		9.235
TOTAL CARGA:	135.000	36.000
TOTAL PERDIDAS:	10.223	35.333

CONVERGE EN 3 ITERACIONES

TIEMPO DE OCUPACION DE CPU= 1.8969948

TESIS DE GRADO

TITULO: NUEVOS MÉTODOS DE FLUJOS DE POTENCIA Y SU APLICACION EN SISTEMAS MAL CONDICIONADOS

MÉTODOS: NEWTON RAPHSON EN COORDENADAS RECTANGULARES, FLUJO DE SEGUNDO ORDEN Y FLUJO CON EL MULTIPLICADOR OPTIMO

FECHA: AGOSTO DE 1984

REALIZADO POR: NESTOR A. DUQUE DOMINGUEZ
 DIRIGIDO POR: ING. GABRIEL ARGUELLO R.
 OBJETIVO: EL PROGRAMA SIRVE PARA EL CALCULO DE FLUJOS DE POTENCIA AYUDANDO A LA CONVERGENCIA DE LOS SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

SISTEMA DE PRUEBA DE LA AEP-IEEE (14 BARRAS)

DATOS GENERALES

NO. TOTAL DE BARRAS: 14
 NO. DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA: 4
 NO. DE LA BARRA FLUCTANTE: 1
 NO. DE LINEAS, CAP/REAC EN SERIE, Y/O TRANSFORMADORES: 20
 NO. DE CAP/REAC EN PARALELO: 1
 MVA. BASE: 100.000
 TIPO DE BARRA: S FLOTANTE
 T VOLTAJE CONTROLADO
 C CARGA

DATOS DE BARRAS

BARRA NO.	TIPO DE BARRA	VOLTAJE MAGNITUD	POT ACTIVA GENERACION	POT REACTIVA GENERACION	POT ACTIVA CARGA	POT REACTIVA CARGA	POT REACT MAX GENERACION	POT REACT MIN GENERACION
1	S	1.06000	0.00000	0.00000	0.60000	0.00000	0.00000	0.00000
2	T	1.04500	40.00000	0.00000	21.70000	12.70000	50.00000	-40.00000
3	T	1.01000	0.00000	0.00000	94.20000	19.00000	40.00000	0.00000
4	C	0.00000	0.00000	0.00000	47.80000	-3.50000	0.00000	0.00000
5	C	0.00000	0.00000	0.00000	7.60000	1.60000	0.00000	0.00000
6	T	1.07000	0.00000	0.00000	11.20000	7.50000	24.00000	-6.00000
7	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.60000	0.00000	0.00000	0.00000
8	T	1.09000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	24.00000	-6.00000
9	C	0.00000	0.00000	0.00000	29.50000	16.60000	0.00000	0.00000
10	C	0.00000	0.00000	0.00000	9.60000	5.80000	0.00000	0.00000
11	C	0.00000	0.00000	0.00000	3.50000	1.80000	0.00000	0.00000
12	C	0.00000	0.00000	0.00000	6.10000	1.60000	0.00000	0.00000
13	C	0.00000	0.00000	0.00000	13.50000	5.80000	0.00000	0.00000
14	C	0.00000	0.00000	0.00000	14.90000	5.00000	0.00000	0.00000

DATOS DE LINEAS, TRANSFORMADORES Y/O CAP/REACTORES

NO.	BAR P	BAR Q	RESISTEN	REACTANC	SUSCEPTAN	MVA T	TAP P	TAP Q	CAP/REAC
1	1	2	1.53800	5.91700	5.28000				
2	2	3	4.69900	19.79700	4.38000				
3	2	4	5.61100	17.63200	3.74000				
4	1	5	5.40300	22.31400	4.92000				
5	2	5	5.69500	17.38800	3.40000				
6	3	4	6.70100	17.10300	3.46000				
7	4	5	1.33500	4.21100	1.28000				
8	9	6	0.00000	25.20200	0.00000	100.00	0.9320	1.0000	
9	4	7	0.00000	20.91200	0.00000	100.00	0.5780	1.0000	
10	7	8	0.00000	17.61500	0.00000				
11	4	9	0.00000	55.61800	0.00000	100.00	0.9690	1.0000	
12	7	9	0.00000	11.00100	0.00000				
13	9	9	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000	0.0000	19.000
14	9	10	3.18100	8.45000	0.00000				
15	6	11	9.49800	19.89000	0.00000				
16	6	12	12.29100	25.58100	0.00000				
17	6	13	6.61500	13.02700	0.00000				
18	9	14	12.71100	27.02800	0.00000				
19	10	11	8.20500	18.27000	0.00000				
20	12	13	22.19200	19.98800	0.00000				
21	13	14	17.09300	34.80199	0.00000				

RESULTADOS

UTILIZANDO EL METODO DE NEWTON RAPHSON EN COORDENADAS RECTANGULARES

BARRA	VCLTAJE		GENERACION		CARGA		*CAP/REAC*	A	FLUJOS EN LINEAS		
#	VAG.	ANG.	PW	PVAR	MW	MVAR	MVAR	*BARRA*	PL	PVAR	TAP
S 1	1.0600	0.000	232.385	-16.887	0.000	0.000	-0.000	2	156.833	-20.392	
								5	75.552	3.505	
								1	-152.538	27.656	
								3	73.188	3.565	
T 2	1.0450	-4.981	40.000	42.399	21.700	12.700	-0.001	4	56.138	-2.287	
								5	41.512	0.764	
T 3	1.0100	-12.718	0.000	23.395	94.200	19.000	-0.000	2	-70.868	1.584	
								4	-23.332	2.010	
								2	-54.461	3.393	
								3	23.703	-5.422	
								5	-61.219	15.669	
								7	22.087	-9.421	0.9780
C 4	1.0186	-10.324	0.000	0.000	47.800	-3.900	-0.001	9	16.050	-0.321	0.9690
								1	-72.788	2.580	
								2	-40.610	-1.635	
								4	61.736	-15.370	
C 5	1.0203	-8.783	0.000	0.000	7.600	1.600	0.001	6	44.063	12.823	0.9320
								5	-44.063	-8.354	
								11	7.341	3.473	
								12	7.782	2.492	
T 6	1.0700	-14.223	0.000	12.243	11.200	7.500	-0.001	13	17.740	7.171	
								4	-28.087	11.113	
								8	-0.000	-16.911	
								9	28.087	5.798	
C 7	1.0619	-13.368	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	7	0.000	17.358	
T 8	1.0900	-13.368	0.000	17.358	0.000	0.000	0.000	4	-16.090	1.625	
								7	-28.087	-4.595	
								10	5.239	4.306	
C 9	1.0563	-14.947	0.000	0.000	29.500	16.600	21.201	14	9.438	3.666	
								9	-5.226	-4.271	
								11	-3.774	-1.529	
C 10	1.0513	-15.104	0.000	0.000	9.000	5.800	0.000	6	-7.287	-3.358	
								10	3.787	1.528	
C 11	1.0571	-14.795	0.000	0.000	3.500	1.800	-0.000	6	-7.710	-2.343	
								13	1.610	0.743	
C 12	1.0552	-15.077	0.000	0.000	6.100	1.600	-0.000	6	-17.528	-6.755	
								12	-1.604	-0.737	
C 13	1.0504	-15.159	0.000	0.000	13.500	5.800	-0.000	14	5.633	1.692	
								9	-9.321	-3.417	
C 14	1.0258	-16.835	0.000	0.000	14.900	5.000	-0.000	13	-5.579	-1.583	

	MW	MVAR
TOTAL GENERACION:	272.385	78.507
TOTAL PVAR CAP/REAC:		21.198
TOTAL CARGAS:	259.000	73.500
TOTAL PERDIDAS:	13.387	26.201

CONVERGE EN 3 ITERACIONES

TIEMPO DE EJECUCION DE CPU= 5.2969780

RESULTADOS

UTILIZANDO EL FLUJO DE SEGUNDO ORDEN

BARRA	VOLTAJE		GENERACION		CARGA		*CAP/REAC*	A	FLUJOS EN LINEAS			
	#	PAC.	ANG.	MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR	*BARRA*	PL	MVAR	TAP
S	1	1.0600	0.000	232.382	-16.886	0.000	0.000	-0.000	2	156.831	-20.391	
									5	75.551	3.505	
									1	-152.536	27.654	
									3	73.188	3.565	
T	2	1.0450	-4.981	40.000	42.397	21.700	12.700	-0.000	4	56.138	-2.287	
									5	41.511	0.763	
T	3	1.0100	-12.718	0.000	23.394	94.200	19.000	-0.000	2	-70.868	1.584	
									4	-23.332	2.810	
									2	-54.461	3.393	
									3	23.703	-5.421	
									5	-61.222	15.671	
C	4	1.0186	-10.324	0.000	0.000	47.800	-3.900	-0.001	7	28.045	-9.419	0.9780
									9	16.052	-0.324	0.9690
									1	-72.788	2.579	
									2	-40.609	-1.635	
C	5	1.0203	-8.782	0.000	0.000	7.600	1.600	0.001	4	61.739	-15.571	
									6	44.056	12.824	0.9320
									5	-44.056	-8.396	
									11	7.348	3.145	
T	6	1.0700	-14.222	0.000	12.214	11.200	7.500	-0.000	12	7.787	2.487	
									13	17.753	7.157	
									4	-28.665	11.110	
									8	-0.013	-16.513	
C	7	1.0619	-13.368	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	9	28.163	5.777	
T	8	1.0900	-13.367	0.000	17.360	0.000	0.000	-0.000	7	0.013	17.360	
									4	-16.052	1.628	
									7	-28.163	-4.574	
C	9	1.0564	-14.947	0.000	0.000	29.500	16.600	21.202	10	5.243	4.308	
									14	5.442	3.658	
									9	-5.230	-4.273	
C	10	1.0513	-15.105	0.000	0.000	9.000	5.800	-0.900	11	-3.778	-1.523	
									6	-7.253	-3.350	
C	11	1.0571	-14.795	0.000	0.000	3.500	1.800	-0.000	10	3.750	1.551	
									6	-7.715	-2.337	
C	12	1.0552	-15.077	0.000	0.000	6.100	1.600	-0.000	13	1.611	0.741	
									6	-17.541	-6.740	
C	13	1.0504	-15.155	0.000	0.000	13.500	5.800	-0.000	12	-1.665	-6.735	
									14	5.636	1.683	
C	14	1.0358	-16.041	0.000	0.000	14.900	5.000	-0.000	9	-9.325	-3.410	
									13	-5.582	-1.574	

	MW	MVAR
TOTAL GENERACION:	272.382	78.479
TOTAL MVAR CAP/REAC:		21.200
TOTAL CARGA:	259.000	73.500
TOTAL PERDIDAS:	13.387	26.201

CONVERGE EN 5 ITERACIONES

TIEMPO DE OCLPACION DE CPU: 4.0151939

RESULTADOS

=====

CON EL MULTIPLICADOR OPTIMO
=====

BARRA	VOLTAJE		GENERACION		CARGA		CAP/REAC		A	FLUJOS EN LINEAS		
	#	PAG.	ANG.	MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR		BARRA*	MW	MVAR
S	1	1.0600	0.000	232.385	-16.887	0.000	0.000	-0.000	2	156.833	-20.392	
									5	75.552	3.504	
									1	-152.538	27.656	
									3	73.188	3.565	
									4	56.138	-2.287	
T	2	1.0450	-4.981	40.000	42.399	21.700	12.700	-0.001	5	41.512	0.763	
									2	-70.868	1.585	
T	3	1.0100	-12.718	0.000	23.395	94.200	19.000	-0.000	4	-23.332	2.810	
									2	-54.461	3.393	
									3	23.703	-5.422	
									5	-61.219	15.669	
									7	28.087	-9.421	0.9780
C	4	1.0186	-10.324	0.000	0.000	47.800	-3.900	-0.001	9	16.050	-0.321	0.9690
									1	-72.788	2.580	
									2	-40.610	-1.635	
									4	61.736	-15.370	
C	5	1.0203	-8.783	0.000	0.000	7.600	1.600	0.000	6	44.063	12.823	0.9320
									5	-44.063	-8.394	
									11	7.341	3.473	
									12	7.782	2.492	
T	6	1.0700	-14.223	0.000	12.243	11.200	7.500	-0.001	13	17.740	7.171	
									4	-28.087	11.112	
									8	-0.000	-16.911	
C	7	1.0619	-13.368	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	9	28.087	5.798	
									4	-16.050	1.625	
									7	-28.087	-4.595	
T	8	1.0900	-13.368	0.000	17.358	0.000	0.000	-0.000	7	0.000	17.358	
									4	-16.050	1.625	
									7	-28.087	-4.595	
									10	5.239	4.306	
C	9	1.0563	-14.947	0.000	0.000	29.500	16.600	21.201	14	9.438	3.665	
									9	-5.226	-4.271	
									11	-3.774	-1.529	
C	10	1.0513	-15.104	0.000	0.000	9.000	5.800	-0.000	6	-7.287	-3.358	
									10	3.787	1.558	
C	11	1.0571	-14.795	0.000	0.000	3.500	1.800	-0.000	6	-7.710	-2.343	
									13	1.610	0.743	
C	12	1.0552	-15.077	0.000	0.000	6.100	1.600	-0.000	6	-17.528	-6.755	
									12	-1.604	-0.737	
C	13	1.0504	-15.159	0.000	0.000	13.500	5.800	-0.000	14	5.633	1.692	
									9	-9.321	-3.417	
C	14	1.0398	-16.035	0.000	0.000	14.900	5.000	-0.000	13	-5.579	-1.583	

	MW	MVAR
TOTAL GENERACION:	272.385	78.507
TOTAL MVAR CAP/REAC:		21.198
TOTAL CARGA:	259.000	73.500
TOTAL PERDIDAS:	13.387	26.201

CONVERGE EN 3 ITERACIONES

TIEMPO DE OCUPACION DE CPU= 5.2879362

TESIS DE GRADO

TÍTULO: NUEVOS MÉTODOS DE FLUJOS DE POTENCIA Y SU APLICACIÓN EN SISTEMAS MAL CONECTADOS

MÉTODOS: NEWTON RAPHSON EN CUADRIÁNGULOS RECTANGULARES, FLUJO DE SEGUNDO ORDEN Y FLUJO CON EL MULTIPLICADOR OPTIMO

FECHA: AGOSTO DE 1984

REALIZADO POR: NESTOR A. BUCHE DOMÍNGUEZ
DIRECCION POR: ING. GABRIEL AROVELLO R.
OBJETIVO: EL PROGRAMA SIRVE PARA EL CALCULO DE FLUJOS DE POTENCIA APLICANDO LA CONDUCTANCIA DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE MÁXIMA MAYO 1984

DATOS GENERALES

NO. TOTAL DE BARRAS: 38
NO. DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA: 8
NO. DE LA BARRA FLOTANTE: 1
NO. DE LINEAS, CAP/PEAC EN SERIE: 46
% TRANSFORMADORES: 46
NO. DE CAP/PEAC EN PARALELO: 1
PV, BASE: 100.000
TIPOS DE BARRA: S FLOTANTE
T VOLTAJE CONTROLADO
C CARGA

DATOS DE BARRAS

BARRA	TIP	EL	VOLTAJE	POT ACTIVA	POT REACTIVA	POT ACTIVA	POT REACTIVA	POT PEACI MAX	POT REACT MIN
NO.	DIBRA	FACTIBLE	GENERACION	GENERACION	CARGA	CARGA	DEPRECIACION	DEPRECIACION	GENERACION
1	S	1.05000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	T	1.00000	25.00000	0.00000	0.00000	35.00000	12.00000	15.00000	0.00000
5	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
6	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
7	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	12.00000	3.00000	0.00000	0.00000
8	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
9	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
10	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	14.00000	4.00000	0.00000	0.00000
11	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
12	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	205.00000	85.00000	0.00000	0.00000
13	T	1.05000	140.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	15.00000	11.00000
14	T	1.02000	30.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	10.00000	1.00000
15	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
16	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
17	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
18	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
19	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	53.00000	6.00000	0.00000	0.00000
20	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
21	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
22	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	10.00000	5.00000	0.00000	0.00000
23	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
24	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	11.00000	6.00000	0.00000	0.00000
25	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
26	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
27	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
28	T	1.07000	35.00000	0.00000	0.00000	21.00000	7.00000	11.00000	1.00000
29	T	1.01000	75.00000	0.00000	0.00000	192.00000	82.00000	35.00000	0.00000
30	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
31	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
32	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
33	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
34	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
35	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
36	T	1.02000	80.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
37	C	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
38	T	1.01000	14.00000	0.00000	0.00000	53.10000	22.70000	8.00000	0.00000

DATOS DE LINEAS, TRANSFORMADORES Y/O CAPRÉACTORES

NO.	BAR	BAR	RESISTEN	REACTANC	SUSCEPTAN	PVA	T	TAP	BAR	CAP/PEAC
1	1	2	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
2	2	3	0.15000	18.45000	0.40000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
3	3	4	0.15000	18.45000	0.40000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
4	4	5	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
5	5	6	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
6	6	7	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
7	7	8	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
8	8	9	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
9	9	10	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
10	10	11	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
11	11	12	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
12	12	13	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
13	13	14	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
14	14	15	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
15	15	16	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
16	16	17	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
17	17	18	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
18	18	19	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
19	19	20	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
20	20	21	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
21	21	22	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
22	22	23	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
23	23	24	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
24	24	25	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
25	25	26	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
26	26	27	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
27	27	28	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
28	28	29	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
29	29	30	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
30	30	31	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
31	31	32	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
32	32	33	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
33	33	34	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
34	34	35	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
35	35	36	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
36	36	37	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
37	37	38	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	
38	38	39	0.00000	0.00000	0.00000	100.00	1.00000	1.00000	1.00000	

UTILIZANDO EL METODO DE NEWTON RAPHSON EN COORDENADAS RECTANGULARES

BARRA	VOLTAJE	GENERACION	CARGA	CAPACITAD	PH	PVAR	TAP
A	MVA	MVA	MVA	MVA	MVA	MVA	MVA
S 1	1.0000	0.000	203.315	36.505	0.000	0.000	-0.001
C 2	1.0441	-2.299	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.004
C 3	1.0363	-3.524	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.006
LJ 4	1.0189	-5.848	25.000	-5.000	35.000	12.000	-0.010
C 5	1.0433	-4.018	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001
C 6	1.0167	-14.926	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001
C 7	0.9905	-15.246	0.000	0.000	12.200	3.000	-0.000
B 8	1.0027	-18.148	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.002
C 9	1.0236	-19.328	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C 10	1.0117	-20.058	0.000	0.000	19.900	9.200	-0.000
C 11	1.0025	-20.210	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C 12	1.0109	-22.820	0.000	0.000	255.000	87.000	-0.000
LS 13	1.0162	-18.797	140.000	65.000	0.000	0.000	-0.000
T 14	1.0200	-14.729	30.000	-1.203	0.000	0.000	-0.000
L 15	1.0127	-24.256	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001
C 16	1.0116	-25.429	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001
C 17	0.9975	-27.278	0.000	0.000	6.200	3.400	-0.000
C 18	0.9607	-30.763	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000
C 19	0.9749	-33.292	0.000	0.000	33.500	6.500	-0.000
L 20	1.0114	-27.596	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.002
C 21	1.0150	-28.129	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001
C 22	1.0113	-28.548	0.000	0.000	10.000	5.000	-0.000
C 23	1.0143	-29.505	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000
C 24	0.9815	-30.291	0.000	0.000	11.200	6.500	-0.000
C 25	1.0143	-29.505	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000
C 26	0.9928	-29.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000
C 27	1.0128	-30.698	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001
T 28	1.0200	-29.747	15.000	6.530	0.000	0.000	-0.000
LS 29	0.9928	-30.032	75.000	35.000	192.300	82.200	11.000
C 30	0.9928	-31.940	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001
C 31	0.9724	-34.160	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000
LS 32	0.9783	-37.495	3.000	2.000	71.000	7.000	-0.000
C 33	0.9528	-31.240	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000
C 34	0.9928	-31.940	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000
C 35	1.0514	-28.453	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000
T 36	1.0200	-26.148	60.000	17.000	0.000	0.000	-0.000
C 37	0.9928	-29.790	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000

	PV	PVAR
TOTAL DEGENERACION	665.314	165.049
TOTAL NYAR CAPACIDAD	11.433	
TOTAL CARGA	850.408	245.000
TOTAL PERDIDAS	14.913	-67.329

LS- BTC TRANSFORMADA EN BARRA DE CARGA DEBIDO A LA VIOLACION DEL LIMITE DE PUNTO DE GENERACION DE POTENCIA NYAR

LI- BTC TRANSFORMADA EN BARRA DE CARGA DEBIDO A LA VIOLACION DEL LIMITE DE PUNTO DE GENERACION DE POTENCIA PESE

UTILIZANDO EL FLUJO DE SEGUNDO ORDEN

BARRA		GENERACION				CARGA				CAPACIDAD				FLUJOS EN LINEAS				TAP
Nº	WPG	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	
1	1.0566	0.000	305.517	30.512	0.000	0.000	-0.001	2	303.217	38.511	1.0000							
C 2	1.0441	-3.299	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.005	3	294.651	17.892	1.0000							
C 3	1.0323	-3.524	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	4	8.440	17.259	1.0000							
LS 4	1.0119	-3.848	25.000	-8.000	35.000	12.000	-0.000	5	-8.506	-17.000								
C 5	1.0423	-4.818	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	6	-794.651	-5.070								
C 6	1.0167	-14.926	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	7	147.326	2.553								
C 7	0.9905	-15.244	0.000	0.000	12.700	3.000	-0.001	8	12.200	-3.000								
C 8	1.0087	-16.148	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.002	9	-137.121	-3.127								
C 9	1.0230	-19.325	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.002	10	-137.121	-3.127								
C 10	1.0113	-19.658	0.000	0.000	19.200	4.200	-0.000	11	19.200	4.200								
C 11	1.0665	-20.210	4.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	12	-42.500	-22.604								
C 12	1.0109	-22.923	0.000	0.000	255.000	87.000	-0.001	13	-92.500	-22.604								
LS 13	1.0162	-16.757	140.000	65.000	0.000	0.000	-0.000	14	140.000	65.999	0.9756							
T 14	1.0200	-14.729	30.000	-1.203	0.000	0.000	-0.000	15	-85.263	6.588								
C 15	1.0157	-24.256	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	16	-85.263	6.588								
C 16	1.0114	-25.429	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	17	-85.263	6.588								
C 17	0.9975	-27.278	0.000	0.000	8.200	3.400	-0.000	18	8.200	3.400								
C 18	0.9607	-10.763	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	19	-35.500	-6.111								
C 19	0.9749	-33.592	0.000	0.000	53.000	6.900	-0.000	20	-35.500	-6.500	1.0250							
C 20	1.0114	-27.594	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.003	21	-61.412	-5.189								
C 21	1.0100	-28.109	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	22	-61.412	-5.189								
C 22	1.0113	-28.548	0.000	0.000	10.000	5.000	-0.000	23	10.000	5.000	1.0000							
C 23	1.0143	-29.505	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	24	-10.000	-5.000								
C 24	0.9816	-28.293	0.000	0.000	19.200	4.200	-0.000	25	-10.000	-5.000								
C 25	1.0142	-29.505	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	26	0.000	0.000	1.0000							
C 26	0.9925	-29.600	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	27	-50.976	-21.287								
C 27	1.0182	-10.698	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	28	-50.976	-21.287								
T 28	1.0200	-24.747	15.000	6.537	0.000	0.000	-0.000	29	15.000	6.537	1.0000							
LS 29	0.9970	-35.035	75.000	35.000	192.300	80.200	11.000	30	-66.191	19.292	1.0000							
C 30	0.9928	-31.940	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	31	-66.191	19.292								
C 31	0.9724	-44.160	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	32	19.292	6.880	0.9750							
LS 32	0.9783	-37.495	3.000	2.000	21.400	7.500	-0.000	33	-18.400	-5.500								
C 33	0.9928	-31.940	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	34	-18.400	-5.500								
C 34	0.9928	-31.940	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	35	0.000	0.000	1.0000							
C 35	1.0016	-28.423	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	36	20.570	-5.609								
T 36	1.0200	-24.148	60.000	17.030	0.000	0.000	-0.000	37	60.000	17.030	1.0000							
C 37	0.9888	-25.790	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	38	-25.790	-17.878								
LS 38	0.9822	-33.392	14.000	8.000	83.100	22.700	-0.000	39	14.000	22.700	0.9750							

TOTAL GENERACION:	MW	MVAR
TOTAL PVAR CAPACIDAD:	655.516	145.954
TOTAL CARGA:	650.000	245.000
TOTAL FENOMENOS:	19.514	-67.374

LS - PIC TRANSFORMADA EN BARRA DE CARGA DENTRO A LA VIOLACION DEL LIMITE DE MAXIMA GENERACION DE POTENCIA REAC
 LI - PIC TRANSFORMADA EN BARRA DE CARGA DENTRO A LA VIOLACION DEL LIMITE DE MAXIMA GENERACION DE POTENCIA REAC

CON EL MULTIPLICADOR OPTIMO

BARRA	VOLTAJE	GENERACION	CARGA	CAP/PERC	FLUJOS EN LINEAS						
Z	MAG.	ANG.	MU	PVAR	MU	PVAR	MU	PVAR			
S 1	1.0500	0.000	203.270	38.405	0.000	0.000	-0.001	7	503.590	38.404	1.0000
C 2	1.0441	-3.299	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.026	1	-305.290	-20.850	1.0000
C 3	1.0305	-3.524	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.010	2	-4.200	-0.617	1.0000
LI 4	1.0219	-3.845	25.000	-5.000	33.600	12.000	-0.010	3	4.332	3.984	1.0000
C 5	1.0425	-4.818	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.022	4	4.232	3.984	1.0000
C 6	1.0167	-14.924	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.012	5	298.625	12.878	1.0000
C 7	0.9905	-15.244	0.000	0.000	12.200	3.000	-0.010	6	-4.200	-0.617	1.0000
C 8	1.0067	-16.117	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7	-4.332	-3.984	1.0000
C 9	1.0210	-15.353	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	8	4.232	3.984	1.0000
C 10	1.0117	-20.656	0.000	0.000	19.900	9.200	-0.010	9	4.232	3.984	1.0000
C 11	1.0085	-20.208	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.010	10	4.232	3.984	1.0000
C 12	1.0109	-22.819	0.000	0.000	255.000	87.000	-0.011	11	4.232	3.984	1.0000
LS 13	1.0112	-16.756	180.000	29.000	0.000	0.000	-0.010	12	4.232	3.984	1.0000
T 14	1.0200	-14.725	30.000	-1.199	0.000	0.000	-0.000	13	4.232	3.984	1.0000
C 15	1.0167	-21.354	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	14	4.232	3.984	1.0000
C 16	1.0116	-25.426	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.010	15	4.232	3.984	1.0000
C 17	0.9975	-27.275	0.000	0.000	8.700	3.400	0.010	16	4.232	3.984	1.0000
C 18	0.9807	-30.760	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.010	17	4.232	3.984	1.0000
C 19	0.9745	-33.288	0.000	0.000	33.500	6.500	-0.010	18	4.232	3.984	1.0000
C 20	1.0114	-27.592	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	19	4.232	3.984	1.0000
C 21	1.0150	-26.126	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.009	20	4.232	3.984	1.0000
C 22	1.0113	-26.844	0.000	0.000	19.000	5.000	-0.010	21	4.232	3.984	1.0000
C 23	1.0143	-29.501	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.010	22	4.232	3.984	1.0000
C 24	0.9816	-16.787	0.000	0.000	11.700	6.900	-0.010	23	4.232	3.984	1.0000
C 25	1.0143	-29.281	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.010	24	4.232	3.984	1.0000
C 26	0.9968	-29.596	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	25	4.232	3.984	1.0000
C 27	1.0129	-30.693	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	26	4.232	3.984	1.0000
LS 28	1.0200	-29.739	15.000	6.576	0.000	0.000	-0.010	27	4.232	3.984	1.0000
LS 29	0.9930	-35.032	75.000	35.000	192.300	02.200	11.851	28	4.232	3.984	1.0000
C 30	0.9920	-31.936	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	29	4.232	3.984	1.0000
C 31	0.9724	-34.157	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.010	30	4.232	3.984	1.0000
LS 32	0.9723	-37.492	3.000	7.000	71.400	7.000	0.010	31	4.232	3.984	1.0000
C 33	0.9928	-31.936	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.010	32	4.232	3.984	1.0000
C 34	0.9982	-31.936	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.010	33	4.232	3.984	1.0000
C 35	1.0017	-22.427	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.010	34	4.232	3.984	1.0000
T 36	1.0280	-24.140	80.000	16.965	0.000	0.000	-0.010	35	4.232	3.984	1.0000
C 37	0.9829	-29.786	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	36	4.232	3.984	1.0000
LS 38	0.9854	-33.390	14.000	8.000	55.100	22.700	-0.010	37	4.232	3.984	1.0000

TOTAL GENERACION MW 465.289 PVAR 165.777
 TOTAL PVAR CAP/PERC 11.830
 TOTAL CARGAS 650.400 PVAR 289.800
 TOTAL PERDIDAS 14.911 PVAR -4.7361

LS= RTE TRANSFORMADA EN BARRA DE CARGA DEBIDO A LA VIOLACION DEL LIMITE DE PARIJA DENSIDAD DE POTENCIA REAC

LI= RTE TRANSFORMADA EN BARRA DE CARGA DEBIDO A LA VIOLACION DEL LIMITE DE MINIMA DENSIDAD DE POTENCIA REAC

CONVERG EN 4 ITERACIONES
 TIEMPO DE CONVERGENCIA DE CPU 14.494760

REPORT OF POWER FLOW CALCULATIONS FOR ARFA 1

5 ITERATIONS, SWING BUS IS 1.

X-----BUS-----DATA-----LOAD-----Y-----CAPACITANCE-----TO-----X

Y--GENERATION--X Y--LOAD--Y CAPACITANCE TO BUS NAME VOLTS ANGLE P MW MVAR P MW MVAR TAP SHIFT

1 1.050 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 303.87 41.62 1.000

2 1.043 -3.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 -305.87 -23.88 4.33 3.43

3 1.031 -3.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 4.33 3.43 295.21 17.02 1.000

4 1.020 -3.9 25.0 0.0 -3.9R 33.6 12.0 0.0 0.0 8.60 16.16 1.000

5 1.042 -4.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 -8.60 -15.94 -295.21 -9.15

6 1.013 -15.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 147.60 4.58 147.60 4.58

7 0.987 -15.3 0.0 0.0 0.0 12.2 3.0 12.20 3.07 1.025

8 1.005 -18.2 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 138.29 3.98 138.25 3.98

9 1.019 -19.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 -105.41 -52.77 1.025

10 1.007 -20.8 0.0 0.0 0.0 19.9 9.2 19.89 9.77 1.000

11 1.004 -20.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 42.76 21.50 42.76 21.50

12 1.008 -22.9 0.0 0.0 0.0 255.0 87.0 84.96 43.25 0.975

13 1.013 -18.9 140.0 65.0H 0.0 0.0 0.0 -84.96 -38.46

14 -30.00 4.81

12 139.90 65.13 0.975

REPORT OF POWER FLOW CALCULATIONS FOR AREA 1;

P U S - D A T A
X--GENERATION--X
Y--LOAD--Y
Z--CAP/PLAC--Z
BUS TO BUS
MVAR MVAR TAP SHIFT
LINE FLOW

BUS	NAME	VOLTS	ANGLE	PW	PVAR	QVAR	QCAP	QIND	MVAR	TAP	SHIFT
14		1.020	-14.8	30.0	-0.58	0.0	0.0	0.0	30.00	-0.52	1.025
15		1.009	-24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-83.48	5.03	
16		1.002	-25.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-83.48	5.03	
17		0.988	-27.5	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	42.91	16.64	1.000
18		0.941	-30.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.02	-13.35	
19		0.954	-33.7	0.0	0.0	33.5	6.5	0.0	62.02	-13.35	
20		1.004	-27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-42.91	-15.70	
21		1.007	-28.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.20	3.72	1.000
22		1.003	-28.8	0.0	0.0	10.0	5.0	0.0	34.71	11.99	
23		1.006	-29.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-8.20	-3.40	
24		0.973	-30.6	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	-33.49	-8.18	
25		1.006	-29.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.48	8.18	
26		0.990	-29.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-33.48	-6.50	1.025
27		1.008	-31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-61.37	-2.90	
28									-61.37	-2.90	
29									21.28	-7.57	1.000
30									50.73	6.74	
31									50.73	6.74	
32									-21.28	7.90	
33									10.00	5.09	1.000
34									5.64	-6.49	
35									5.64	-6.49	
36									-10.00	-5.00	
37									-5.60	-3.35	
38									-5.60	-3.35	
39									11.20	6.71	
40									-0.00	-0.00	1.000
41									-11.20	-6.50	0.975
42									0.00	0.00	
43									0.00	0.00	
44									-50.50	-18.77	
45									-50.50	-18.77	
46									100.99	37.54	0.975
47									-100.99	-35.34	
48									-15.00	-10.35	1.000
49									66.17	19.13	1.000

REPORT OF POWER FLOW CALCULATIONS FOR AREA 1,

P U S - D A T A

5 ITERATIONS, SWING BUS IS 1.

X--GENERATION--X--LOAD--X--TAP--X--FLOW--X

BUS	NAME	VOLTS	ANGLE	LOAD	GEN	VAR	LOAD	VAR	TAP	SHIFT
28		1.020	-30.0	15.0	10.7R	0.0	0.0	0.0		
29		0.989	-35.4	75.0	35.0H	132.3	82.2	11.7		
30		0.988	-32.2	0.0	0.0	0.0	0.0			
31		0.968	-34.5	0.0	0.0	0.0	0.0			
32		0.974	-37.8	3.0	2.0H	21.4	7.5			0.975
33		0.988	-32.2	0.0	0.0	0.0	0.0			
34		0.988	-32.2	0.0	0.0	0.0	0.0			1.000
35		1.000	-28.8	0.0	0.0	0.0	0.0			
36		1.020	-24.5	60.0	18.1R	0.0	0.0			
37		0.981	-30.1	0.0	0.0	0.0	0.0			1.000
38		0.981	-33.7	14.0	8.0H	53.1	22.7			0.975
AREA TOTALS				665.9	176.0	650.4	245.0	11.7		

SOLUTION TIME 0.00 CPU SECONDS.
TOTAL TIME 0.00 CPU SECONDS.

C A P I T U L O V I

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los ejemplos de aplicación planteados y al análisis de resultados de los mismos se procede a realizar las conclusiones, las mismas que estarán basadas en las características computacionales de cada método y a la utilización de los métodos según el SEP.

6.1 CARACTERISTICAS COMPUTACIONALES

En cuanto a confiabilidad de convergencia para cualquier tipo de sistemas según el análisis del capítulo anterior, se concluye que el algoritmo de solución más confiable en converger a la solución es el método con el Multiplicador Optimo.

En lo referente a requerimiento de memoria, se tiene que el algoritmo de Gauss-Seidel es el que menor almacenamiento de memoria requiere, comparando el requerimiento de la memoria entre todos los algoritmos de N-R se puede concluir que con el empaquetamiento y bi-factorización del Jacobiano, prácticamente todos los métodos requieren la misma cantidad de memoria, siendo ligeramente menor la de los métodos desacoplados.

Refiriéndose a velocidad de solución se concluye que el método de Segundo Orden es el que más rápidamente llega a la solución.

Por último, en cuanto a facilidad de programación se concluye que todos los algoritmos son de fácil programación.

Concluyendo en base a todas estas características y de los distintos métodos utilizados, los métodos de Segundo Orden y con el Multiplicador Optimo son los más recomendados a utilizar.

El método de Segundo Orden tiene similitud con el método de N-R Desacoplado Rápido debido al tratamiento del Jacobiano constante, y en cuanto a rapidez estimo que pueden ser iguales; pero el método de Segundo Orden tiene la ventaja que no tiene aproximaciones matemáticas y en consecuencia los resultados son más confiables.

6.2 UTILIZACION DE LOS METODOS SEGUN EL SEP

Según las características y cualidades de cada uno de los tres métodos desarrollados en esta tesis se concluye:

El método de N-R en coordenadas rectangulares no es conveniente ser utilizado para la solución de ningún tipo de sistemas ante la presencia de los métodos de Segundo Orden y con el Multiplicador Optimo.

El método de Segundo Orden es conveniente utilizarlo para todo tipo de sistemas bien condicionados, especialmente para sistemas de gran escala.

El método con el Multiplicador Óptimo es adecuado utilizarlo especialmente para sistemas eléctricos de potencia mal condicionados o para aquellos sistemas que presentan dificultad para converger a la solución.

6.3 RECOMENDACIONES

La capacidad del programa de resolver sistemas de hasta 100 barras puede ser aumentada en caso necesario, para lo cual se deben cambiar los dimensionamientos de los arreglos y la inicialización de las variables auxiliares adecuadamente.

En futuros trabajos se debería investigar métodos alternativos de Segundo Orden que sean más eficientes que el desarrollado aquí o que tengan alguna otra funcionalidad o aplicación importante.

También se debería investigar si es factible o no realizar el flujo de Segundo Orden en coordenadas polares.

Uno de los métodos de similares características al de Segundo Orden es el método de N-R Desacoplado Rápido, razón por la cual sería importante que se estudie si es posible aplicar el Multiplicador Óptimo a este método, con lo que se conseguiría con un solo método las dos características principales de los métodos de Segundo Orden y con el Multiplicador Óptimo: rapidez en obtener la solución y aplicación a sistemas mal condicionados.

Otro aspecto importante recomendable a ser investigado es el determinar ciertos índices de comportamiento de los sistemas eléctricos de potencia de tal manera que éstos demuestren si los sistemas pueden tener características de mal condicionamiento y de esta forma saber qué método de solución debe ser utilizado.

A N E X O I

DETALLES DE ANALISIS Y DE MODELACION DE LOS METODOS

PARTE A

Demostración de los Elementos del Jacobiano.

PARTE B

B1. Clarificación de la ecuación (41).

B2. Derivación de (44).

P A R T E A

DEMOSTRACION DE LOS ELEMENTOS DEL JACOBIANO

Los elementos del jacobiano son calculados a partir de las ecuaciones (19), (20) y (21), las cuales las reescribimos a continuación:

$$P_p = \sum_{q=1}^n \left[e_p (e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) + f_p (f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \right] \quad (19), (A-1)$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^n \left[f_p (e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) - e_p (f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \right] \quad (20), (A-2)$$

$$|E_p|^2 = e_p^2 + f_p^2 \quad (21), (A-3)$$

Los elementos diagonales de los subjacobianos J_1, J_2, J_3 y J_4 son los únicos que requieren una demostración detallada pues los demás elementos son obvios de derivar directamente desde sus respectivas ecuaciones.

Como parte de la demostración, primero se desarrollará el valor de la corriente en la barra p que está dada por:

$$I_p = \sum_{q=1}^n (G_{pq} + j B_{pq}) (e_q + j f_q) \quad (A-4)$$

$$o: I_p = c_p + j d_p = \sum_{q=1}^n (e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) + j \sum_{q=1}^n (f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \quad (A-5)$$

y separando las partes real e imaginaria se tiene:

$$c_p = \sum_{q=1}^n (e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) \quad (A-6)$$

$$d_p = \sum_{q=1}^n (f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \quad (A-7)$$

Sacando fuera del sumatorio los elementos con subíndice p de las ecuaciones (A-1) y (A-2) se tiene:

$$P_p = (e_p^2 + f_p^2)G_{pp} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n \left[e_p(e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) + f_p(f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \right] \quad (A-8)$$

$$Q_p = -(e_p^2 + f_p^2)B_{pp} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n \left[f_p(e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) - e_p(f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \right] \quad (A-9)$$

- Elementos diagonales de J_1

$$\frac{\partial P_p}{\partial e_p} = 2e_p G_{pp} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n (e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) \quad (A-10)$$

sumando y restando $f_p B_{pp}$ a la ecuación anterior ésta queda:

$$\frac{\partial P_p}{\partial e_p} = e_p G_{pp} + f_p B_{pp} + e_p G_{pp} - f_p B_{pp} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n (e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) \quad (A-11)$$

e introduciendo el término $e_p G_{pp} - f_p B_{pp}$ en el sumatorio se tiene:

$$\frac{\partial P_p}{\partial e_p} = e_p G_{pp} + f_p B_{pp} + \sum_{q=1}^n (e_q G_{pq} - f_q B_{pq}) \quad (A-12)$$

como se puede apreciar el sumatorio es igual a la parte real de la corriente, con la cual la expresión final será:

$$\frac{\partial f_p}{\partial e_p} = e_p G_{pp} + f_p B_{pp} + c_p \quad (25), (A-13)$$

- Elementos diagonales de J_2

$$\frac{\partial P_p}{\partial f_p} = 2 f_p G_{pp} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n (f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \quad (A-14)$$

sumando y restando $e_p B_{pp}$ a la ecuación anterior e introduciendo en el sumatorio el término $f_p G_{pp} + e_p B_{pp}$ ésta queda:

$$\frac{\partial P_p}{\partial f_p} = f_p G_{pp} - e_p B_{pp} + \sum_{q=1}^n (f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \quad (A-15)$$

en esta ecuación el sumatorio es igual a la parte imaginaria de la corriente, con lo que la expresión final será:

$$\frac{\partial P_p}{\partial f_p} = f_p G_{pp} - e_p B_{pp} + d_p \quad (27), (A-16)$$

- Elementos diagonales de J_3

$$\frac{\partial Q_p}{\partial e_p} = -2e_p B_{pp} + f_p G_{pp} - f_p G_{pp} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n -(f_q B_{pq} + e_q B_{pq}) \quad (A-17)$$

$$\frac{\partial Q_p}{\partial e_p} = f_p G_{pp} - e_p B_{pp} - \sum_{q=1}^n (f_q G_{pq} + e_q B_{pq}) \quad (\text{A-18})$$

$$\frac{\partial Q_p}{\partial e_p} = f_p G_{pp} - e_p B_{pp} - d_p \quad (29), (\text{A-19})$$

- Elementos diagonales de J_4

$$\frac{\partial Q_p}{\partial f_p} = -2f_p B_{pp} + e_p G_{pp} - e_p G_{pp} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n (e_p G_{pq} - f_q B_{pq}) \quad (\text{A-20})$$

$$\frac{\partial Q_p}{\partial f_p} = -e_p G_{pp} - f_p B_{pp} + \sum_{q=1}^n (e_p G_{pq} - f_q B_{pq}) \quad (\text{A-21})$$

$$\frac{\partial Q_p}{\partial f_p} = -e_p G_{pp} - f_p B_{pp} + c_p \quad (31), (\text{A-22})$$

P A R T E B

B.1 CLARIFICACION DE LA ECUACION (41)

Reescribimos (41),

$$\bar{Y}_s = [A] \begin{bmatrix} X_1 & X_1 \\ X_1 & X_2 \\ \vdots & \\ X_i & X_j \\ \vdots & \\ X_n & X_n \end{bmatrix} \quad (41), (B-1)$$

Esta ecuación representa un conjunto de ecuaciones cuadráticas, para verla con mayor claridad a continuación se presenta un ejemplo de un conjunto de dos ecuaciones cuadráticas:

$$Y_1 = a_{11}X_1^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_2X_1 + a_{14}X_2^2$$

$$Y_2 = a_{21}X_1^2 + a_{22}X_1X_2 + a_{23}X_2X_1 + a_{24}X_2^2 \quad (B-2)$$

este conjunto de ecuaciones se puede expresar como:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ \\ \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 & X_1 \\ X_1 & X_2 \\ X_2 & X_1 \\ X_2 & X_2 \end{bmatrix} \quad (B-3)$$

como se ve (B-3) tiene la misma forma de (B-1), con lo cual queda claro que (41) representa un conjunto de ecuaciones cuadráticas.

B.2 DERIVACION DE (44)

Expresando los valores verdaderos de X por su valor inicial y su respectivo valor de corrección ΔX , tenemos para $X_i X_j$:

$$\begin{aligned} X_i X_j &= (X_{0i} + \Delta X_i) (X_{0j} + \Delta X_j) \\ &= X_{0i} X_{0j} + X_{0i} \Delta X_j + \Delta X_i X_{0j} + \Delta X_i \Delta X_j \end{aligned} \quad (B-4)$$

entonces (41) puede expresarse como sigue:

$$\begin{aligned} \bar{Y}_s = [A] & \begin{bmatrix} X_{01} & X_{01} \\ X_{01} & X_{02} \\ \vdots & \vdots \\ X_{0j} & X_{0j} \\ \vdots & \vdots \\ X_{0n} & X_{0n} \end{bmatrix} + [A] \begin{bmatrix} X_{01} & \Delta X_1 \\ X_{01} & \Delta X_2 \\ \vdots & \vdots \\ X_{0j} & \Delta X_j \\ \vdots & \vdots \\ X_{0n} & \Delta X_n \end{bmatrix} + [A] \begin{bmatrix} \Delta X_1 & X_{01} \\ \Delta X_1 & X_{02} \\ \vdots & \vdots \\ \Delta X_j & X_{0j} \\ \vdots & \vdots \\ \Delta X_n & X_{0n} \end{bmatrix} + \\ & + [A] \begin{bmatrix} \Delta X_1 & \Delta X_1 \\ \Delta X_1 & \Delta X_2 \\ \vdots & \vdots \\ \Delta X_j & \Delta X_j \\ \vdots & \vdots \\ \Delta X_n & \Delta X_n \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (B-5)$$

De la expresión anterior se tiene que el primer término resulta ser $\bar{Y}(\bar{X}_0)$, sumando el segundo y tercer término se tiene $J\Delta X$. Finalmente el último término resulta ser $\bar{Y}(\Delta X)$, el cual tiene la misma forma que el primero pero con variables diferentes. Así (44) es obtenido como:

$$\bar{Y}_s = \bar{Y}(\bar{X}_0) + J \bar{\Delta X} + \bar{Y}(\Delta X) \quad (44), (B-6)$$

Reescribiendo la expansión en series de Taylor de (41) se tiene:

$$\bar{Y}_s = \bar{Y}(\bar{X}_0) + J \bar{\Delta X} + \frac{1}{2} H_i \begin{bmatrix} \Delta X_1 \Delta X_1 \\ \Delta X_1 \Delta X_2 \\ \vdots \\ \Delta X_i \Delta X_j \\ \vdots \\ \Delta X_n \Delta X_n \end{bmatrix} \quad (42), (B-7)$$

como se puede apreciar de las dos ecuaciones anteriores se tiene que:

$$\bar{Y}(\Delta X) = \frac{1}{2} H_i \begin{bmatrix} \Delta X_1 \Delta X_1 \\ \Delta X_1 \Delta X_2 \\ \vdots \\ \Delta X_i \Delta X_j \\ \vdots \\ \Delta X_n \Delta X_n \end{bmatrix} \quad (B-8)$$

con lo que se ha demostrado que el tercer término de la expansión en series de Taylor, el cual es complicado puede ser expresado como un vector el cual tiene la misma forma que el primero pero con variables diferentes.

Como no es tan obvio que la suma del segundo y tercer término de (B-5) es igual a $J \Delta X$; a continuación se realizará una demostración rápida utilizando el conjunto de dos ecuaciones cuadráticas (B-2).

Los elementos del Jacobiano son:

$$\left. \frac{\partial Y_1}{\partial X_1} \right|_{X_0} = 2a_{11} X_{01} + (a_{12} + a_{13}) X_{02} \quad (\text{B-9})$$

$$\left. \frac{\partial Y_1}{\partial X_2} \right|_{X_0} = (a_{12} + a_{13}) X_{01} + 2a_{14} X_{02} \quad (\text{B-10})$$

$$\left. \frac{\partial Y_2}{\partial X_1} \right|_{X_0} = 2a_{21} X_{01} + (a_{22} + a_{23}) X_{02} \quad (\text{B-11})$$

$$\left. \frac{\partial Y_2}{\partial X_2} \right|_{X_0} = (a_{22} + a_{23}) X_{01} + 2a_{24} X_{02} \quad (\text{B-12})$$

La matriz Jacobiana evaluada en X_0 es:

$$J = \begin{bmatrix} \left. \frac{\partial Y_1}{\partial X_1} \right|_{X_0} & \left. \frac{\partial Y_1}{\partial X_2} \right|_{X_0} \\ \left. \frac{\partial Y_2}{\partial X_1} \right|_{X_0} & \left. \frac{\partial Y_2}{\partial X_2} \right|_{X_0} \end{bmatrix} \quad (\text{B-13})$$

multiplicando esta matriz Jacobiana por el vector de correcciones $\bar{\Delta X}$ se obtiene un vector con dos elementos, en el que cada elemento tiene ocho términos, y así de esta manera, este producto de $J\Delta X$ puede ser expresado como:

$$J. \begin{bmatrix} \Delta X_1 \\ \Delta X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{01}\Delta X_1 \\ X_{01}\Delta X_2 \\ X_{02}\Delta X_1 \\ X_{02}\Delta X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_1 & X_{01} \\ \Delta X_1 & X_{02} \\ \Delta X_2 & X_{01} \\ \Delta X_2 & X_{02} \end{bmatrix} \quad (B-14)$$

con lo que se verifica que efectivamente $J \Delta X$ es igual a la suma de los segundo y tercer término de (B-5).

A N E X O I I

DETALLES DE PROGRAMACION

Con el propósito de reducir memoria y tiempo de ejecución el programa utiliza arreglos unidimensionales almacenando solamente los elementos distintos de cero tanto para la matriz admitancia de barra como para la Jacobiana. Además se utilizan subrutinas especiales para el tratamiento de matrices porosas, las mismas que se basan en la aplicación del método numérico llamado Bi-Factorización, el que tiene por objeto resolver sistemas de ecuaciones lineales de matriz coeficiente porosa. El tipo de matriz porosa necesariamente debe tener los elementos diagonales diferentes de cero y su estructura tiene que ser simétrica, aunque sus valores no lo sean; estas subrutinas son:

Subrutina SIMORD.- Ordena la matriz porosa de tal manera que en el posterior proceso, el número de elementos nuevos creados sea lo más pequeño posible y además para que el número de operaciones que se realicen sea el mínimo.

Subrutina REDUC.- Es la aplicación misma de la Bi-Factorización.

Subrutina SOLUC.- Rescata el vector solución.

En general la programación utilizada para la elaboración de este programa es sencilla y no tiene nada de complicación.

A N E X O I I I

MANUAL DE USO DEL PROGRAMA

3.1 TITULO

"NUEVOS METODOS DE CALCULO DE FLUJOS DE POTENCIA Y SU APLICACION A SISTEMAS MAL CONDICIONADOS".

3.2 OBJETIVO

Calcular los flujos de potencia de los sistemas eléctricos por los métodos: N-R en coordenadas rectangulares, Segundo Orden y con el Multiplicador Optimo y la aplicación de éste último a los sistemas eléctricos mal condicionados.

3.3 VARIABLES UTILIZADAS

A continuación se detallan las variables de entrada y salida, características, forma de proporcionar los datos, esquemas de datos y de tarjetas de control del programa digital.

3.3.1 VARIABLES DE ENTRADA

Las variables de entrada están agrupadas en aquellas que re presentan a los datos generales del sistema, identificación del problema en tratamiento, datos de barras y datos de ele mentos de interconexión, las cuales mencionamos a continua-

ción:

DATOS GENERALES:

<u>Símbolo</u>	<u>Descripción</u>
NB	Número total de barras.
NBTC	Número de barras de tensión controlada.
NS	Número de la barra flotante.
NE	Número de elementos serie del sistema (líneas, transformadores, reactores y/o capacitores-serie).
NRC	Número de elementos paralelos del sistema (reactores y/o capacitores-paralelo).
BASE	MVA base del sistema, si se trabaja en p.u. se debe poner 1.0.
INDI	Indicador que según su valor indica qué método de solución se desea: Cero (0) por los tres métodos a la vez. Uno (1) por el método de N-R en coordenadas rectangulares. Dos (2) por el método de Segundo Orden. Tres (3) por el método con el Multiplicador Optimo.
INS	Indicador que según su valor indica: Cero (0) si se desea imprimir los resultados Y _B y de los multiplicadores óptimos. Uno (1) si no se desea imprimir esos resultados.

Finalmente como datos generales se leen dos tarjetas destinadas a mensajes de identificación del problema en tratamiento.

DATOS DE BARRAS:

<u>Símbolo</u>	<u>Descripción</u>
K	Número de cada barra.
VK	Magnitud de voltaje especificado de cada barra. <u>Da</u> do un p.u. Sirve para identificar el tipo de ba- rra: si $VK = 0$ barra de carga $VK \neq 0$ y $K = NS$ barra flotante $VK \neq 0$ y $K \neq NS$ barra de tensión contro- lada.
PGK	Potencia activa de generación, de la barra K.
Q GK	Potencia reactiva de generación, de la barra k.
PLK	Potencia activa de carga, de la barra K.
QLK	Potencia reactiva de carga, de la barra K.
QMAXK	Potencia reactiva de máxima generación, de la ba- rra K.
QMINK	Potencia reactiva de mínima generación, de la ba- rra K.

Las unidades de la potencia estarán dadas según se haya definido los MVA base.

DATOS DE ELEMENTOS DE INTERCONEXION:

<u>Símbolo</u>	<u>Descripción</u>
L	Número de la barra de partida (barra p)
M	Número de la barra de llegada (barra q)
RR	Según los valores L, M y BK representa:

<u>Símbolo</u>	<u>Descripción</u>
	<ul style="list-style-type: none">- Resistencia de la línea en %, si: $L \neq M$ y $BK = 0$.- Reactancia de un transformador en %, si $L \neq M$ y $BK \neq 0$.- Potencia de un capacitor o reactor a tierra en MVAR o p.u., si: $L = M$.
XX	Según los valores de L, M y BK representa: <ul style="list-style-type: none">- Reactancia de la línea expresada en %, si: $L \neq M$ y $BK = 0$.- Potencia base de un transformador, en MVA o p.u. si: $L \neq M$ y $BK \neq 0$.
SS	Según los valores de L, M y BK representa: <ul style="list-style-type: none">- La susceptancia total de la línea en MVAR si: $L \neq M$ y $BK = 0$.- La relación de transformación vista desde el lado de envío: si $L \neq M$ y $BK \neq 0$.
BK	Relación de transformación vista del lado de recepción.

3.3.2 VARIABLES DE SALIDA

Para la salida del programa que comprende: datos del sistema, resultados de voltajes de barra, flujos de potencia, valor de los taps, etc., se ha utilizado la siguiente nomenclatura.

<u>Símbolo</u>	<u>Descripción</u>
I	Número de cada barra.
VBASEV	Módulo de voltaje de barra en p.u.
DELTA θ	Angulo de cada barra en grados.
P _G	Potencia activa de generación.
Q _G	Potencia reactiva de generación.
P _L	Potencia activa de carga.
Q _L	Potencia reactiva de carga.
FQII	Potencia reactiva de un capacitor o reactor.
FPJ	Flujo de potencia activa en cada línea.
FQJ	Flujo de potencia reactiva en cada línea.
TPG	Potencia activa total de generación.
TQG	Potencia reactiva total de generación.
TFQ	Potencia reactiva total de reactores y/o capacitores.
TPL	Potencia activa total de carga.
TQL	Potencia reactiva total de carga.
SUMPP	Potencia activa total de pérdidas.
SUMPQ	Potencia reactiva total de pérdidas.
SS1	Valores de taps, de los transformadores.
ITER	Número de iteraciones en las que converge el flujo de potencia de cada uno de los métodos.
MAXIT	Máximo número de iteraciones, en el caso de que no haya convergencia por alguno de los métodos.

3.4 CARACTERISTICAS

El programa acepta sistemas de hasta 100 barras, con un número

máximo de 125 elementos serie, pudiendo tener cada barra un reactor o capacitor a tierra. Si entre las barras existen líneas con dos o más circuitos en paralelo, cada uno de ellos se contará como un elemento.

El programa funciona con cualquier número de barras de tensión controlada, con por lo menos una barra de carga y además de la lógica presencia de una barra flotante.

La numeración de las barras es indiferente y cualquiera de ellas puede ser flotante, de tensión controlada o de carga, pudiendo tener cualquiera de ellas un valor entre uno y el número de barras del sistema.

En el desarrollo del programa se realiza el control de posibles errores en los datos de ingreso y en la resolución misma del problema en tratamiento, dando los respectivos mensajes de error, con los cuales se puede corregir o interpretar fácilmente éstos. Cabe anotar que si por cualquier motivo ocurriera un error, la ejecución del programa se detiene.

El programa puede ejecutar cualquier número de ejercicios de flujo por corrida.

3.5 FORMA DE PROPORCIONAR LOS DATOS

Para el cálculo de cualquier problema, se deben introducir todos los datos indicados en las variables de entrada de la siguiente ma

nera:

- El nombre o identificación del sistema, se da en dos tarjetas. Si no se desea esto se deben dejar las dos tarjetas en blanco.
- Los datos generales del sistema, se indican en una sola tarjeta.
- Los datos de líneas, transformadores, reactores y/o capacitores serie y paralelo, se indican en una tarjeta por cada línea o elemento, si se trata de un capacitor la cantidad debe ser positiva y si es un reactor debe ser negativa.

A continuación se presenta el esquema de ingreso de datos con sus respectivos formatos y los esquemas con las tarjetas de control que indican la forma de utilizar el programa grabado en cinta y disco.

Esquema Nº 1 Forma de proporcionar los datos y codificación de un ejemplo.

Esquema Nº 2 Forma de utilizar el programa grabado en disco.

Esquema Nº 3 Forma de utilizar el programa grabado en cinta.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA Y COMPUTACIÓN

NOMBRE DEL PROGRAMA NESTOR A. DUQUE D. Hoja No. 1 de 2
 Prueba de AGOSIO - 1984

	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
1	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	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																									

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA Y COMPUTACIÓN

NOMBRE DEL PROGRAMA NIUEVOS METODOS DE FILIJOS DE POTENCIA Y SU APLICACION A SISTEMAS MAL CONDICIONADOS No. 2 de 2
 Proyecto NESTOR A. DUQUE D. Fecha: AGOSTO - 1984 Hoja No. 2 de 2

	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	
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																										

A N E X O I V

LISTADO DEL PROGRAMA

A continuación se presenta un listado sacado en el computador de INECEL.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA

TESIS DE GRADO

TITULO: NUEVOS METODOS DE FLUJO DE POTENCIA Y SU
APLICACION EN SISTEMAS MAL CONDICIONADOS

METODOS: NEWTON RAPHSON EN COORDENADAS RECTANGULARES,
FLUJO DE SEGUNDO ORDEN Y FLUJO CON EL
MULTIPLICADOR OPTIMO

FECHA: AGOSTO DE 1984

REALIZADO POR: NESTOR A. DUQUE DOMINGUEZ

DIRIGIDO POR: ING. GABRIEL ARGUELLO R.

OBJETIVO: EL PROGRAMA SIRVE PARA EL CALCULO DE FLUJOS DE
POTENCIA Y AYUDA A LA CONVERGENCIA DE LOS
SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

VARIABLES PRINCIPALES

NR: NUMERO DE BARRAS
NBTC: NUMERO DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA
NS: NUMERO DE LA BARRA FLOTANTE
NRC: NUMERO DE REACTORES Y/O CAPACITORES A TIERRA
NE: NUMERO DE ELEMENTOS DE INTERCONEXION
ITER: ITERACION CORRIENTE
MAXIT: NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES
INDI: INDICADOR QUE SEGUN SU VALOR NOS INDICA QUE METODO DE
SOLUCION SE DESEA
INS: INDICADOR DE SALIDA, SI SE DESEA YB Y U O NO
BASE: MVA BASE
CONV: CRITERIO DE CONVERGENCIA
VR(): COMPONENTE REAL DEL VOLTAJE
VI(): COMPONENTE IMAGINARIA DEL VOLTAJE
VR1(): COMPONENTE REAL DE LA CORRECCION DEL VOLTAJE
VI1(): COMPONENTE IMAGINARIA DE LA CORRECCION DEL VOLTAJE
E(): MODULO DEL VOLTAGE ESPECIFICADO
DEL(): ANGULOS DE VOLTAGE
NODE(): TIPO DE BARRA
G(): CONDUCTANCIAS DE LOS ELEMENTOS DE YB
B(): SUSCEPTANCIAS DE LOS ELEMENTOS DE YB
SUS(): SUSCEPTANCIAS A TIERRA
ISEND(): SUBINDICES DE POSICION EN FILA DE LOS ELEMENTOS DE YB
IREC(): SUBINDICES DE POSICION EN COLUMNA DE LOS ELEMENTOS DE YB
INE(): VECTOR AUXILIAR PARA TRATAR LINEAS CON CIRCUITOS EN
PARALELO
NBUS(): NUMERO DE ELEMENTOS POR FILA DE YB
PG(): POTENCIA ACTIVA GENERADA
PL(): POTENCIA ACTIVA DE CARGA
QG(): POTENCIA REACTIVA GENERADA

QL(): POTENCIA REACTIVA DE CARGA
 PN(): POTENCIA ACTIVA NETA ESPECIFICADA
 QN(): POTENCIA REACTIVA NETA ESPECIFICADA
 VP1(): YS-Y(XE)
 VP2(): -VP1()
 VP3(): -Y(DX)

 G0:
 G1: COEFICIENTES DE LA ECUACION CUBICA UTILIZADOS EN EL
 G2: METODO CON EL MULTIPLICADOR OPTIMO
 G3:

 GMAX(): POTENCIA REACTIVA MAXIMA DE GENERACION
 GMIN(): POTENCIA REACTIVA MINIMA DE GENERACION
 VP(): TERMINO INDEPENDIENTE EN LA ECUACION MATRICIAL
 JACOBIANA, VECTOR SOLUCION DE DICHA ECUACION EN
 SEGUNDA INSTANCIA
 DE(): ELEMENTOS DIAGONALES DE LA MATRIZ JACOBIANA
 RE(): ELEMENTOS NO DIAGONALES DEL JACOBIANO ORDENADOS DE
 ACUERDO A FILAS
 CE(): ELEMENTOS NO DIAGONALES DEL JACOBIANO ORDENADOS DE
 ACUERDO A COLUMNAS
 LCOL(): POSICIONES EN CE() DE LOS PRIMEROS TERMINOS DE LAS
 COLUMNAS
 NOZE(): NUMERO DE ELEMENTOS POR COLUMNA DEL JACOBIANO
 ASEG(): SECUENCIA DE LOS INDICES DE LOS PIVOTES
 ITAG(): INDICES DE FILA DE LOS ELEMENTOS DE CE()
 LNXT(): POSICION DEL SIGUIENTE TERMINO EN CE()
 LF: PROXIMO REGISTRO VACANTE

SE PLANTEAN ECUACIONES MATRICIALES DEL TIPO $J \cdot Y = X$
 CONDE: J=JACOBIANO DEL SISTEMA
 Y=DESBALANCE DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA
 X=CORRECCIONES DE LAS COMPONENTES REAL E IMAGINARIA DEL
 VOLTAJE

PROGRAMA PRINCIPAL

DIMENSION VR(100),E(100),G(350),B(350),NODE(100),NBUS(350)
 DIMENSION PG(100),QG(100),PL(100),QL(100),QMAX(100),QMIN(100)
 DIMENSION VP(200),SUS(350),QN(100),PN(100),IREC(350),VI(100)
 DIMENSION ISEN(350),INE(350),LCOL(240),NOZF(240),DE(240)
 DIMENSION NSEC(240),ITAG(900),ITAG1(900),ITAG2(900),LNXT(900)
 DIMENSION CE(900),RE(900),DEL(100),VR1(100),VI1(100),SS1(240)
 DIMENSION VP1(100),VP2(100),VP3(100),VK(100),PGK(100),QGK(100)
 DIMENSION PLK(100),GLK(100),GMAXK(100),QMINK(100),IP(240),IQ(240)
 DIMENSION IG1(350),VR2(100),VI2(100),DTA(100),IQ2(240)

JR=1
 JW=3
 WRITE(JW,325)

LECTURA DE DATOS DEL SISTEMA
 READ(JR,340)NB,NBTC,NS,RE,NRC,BASE,INDI,INS
 IF(NB.GE.999) GO TO 310

TITULOS
 DO 20 J=1,2
 READ(JR,320)(E(I),I=1,80)
 WRITE(JW,330)(E(I),I=1,80)
 CONTINUE

WRITE(JW,360)

IMPRESION DE DATOS DEL SISTEMA
WRITE(JW,370)NB,NBTC,NS,NE,NRC,BASE

INICIALIZACION DE VARIABLES AUXILLARES

IIND=0
CERC=0.
NE=NE+NRC
NLE=2*NE+NB
N5=8*NE+2*NB
N9=2*NB+40
NTDA=N5
NW=NB*2-2

DETECCION DE ERRORES EN DATOS GENERALES

NER=0
IF(NB.GT.2) GO TO 30
NER=NER+1
WRITE(JW,380)
30 IF(NB.LT.101) GO TO 40
NER=NER+1
WRITE(JW,390)
40 IF(NS.GT.0.AND.NS.LE.NB) GO TO 50
NER=NER+1
WRITE(JW,400)
50 IF(NRC.LE.NB) GO TO 60
NER=NER+1
WRITE(JW,410)
60 IF(NRC.GE.0) GO TO 70
NER=NER+1
WRITE(JW,420)
70 IAUX=NB-2
IF(NBTC.GE.0.AND.NBTC.LE.IAUX) GO TO 80
NER=NER+1
WRITE(JW,430)
80 IAUX=NB-1
IF(NE.GE.IAUX) GO TO 90
NER=NER+1
WRITE(JW,440)
90 IF(PASE.GT.CERO)GO TO 100
NER=NER+1
WRITE(JW,450)
100 IF(INCI.LE.3)GO TO 110
NER=NER+1
WRITE(JW,460)
110 IF(NE.LE.125) GO TO 120
NER=NER+1
WRITE(JW,470)
120 IF(NER.GT.0) GO TO 310
WRITE(JW,350)

SUBROUTINA DE INGRESO DE DATOS Y FORMACION DE LA MATRIZ
ADMITANCIA DE BARRA

CALL INPUT(NB,JR,JW,NS,BASE,VI,G,B,SUS,QMAX,QMIN,PG,PL,GG,QL,NO
1DE,NBUS,CERO,VR,E,NE,NT,ISEND,IREC,NLE,INE,NSEQ,VK,PGK,GGK,PLK,
2GLK,QMAXK,QMINK,INS,IP,IQ,SS1,K5,IQ1,IQ2)

RESOLUCION DEL FLUJO POR LOS TRES METODOS

IF(INCI.NE.0)GO TO 140
IIND=IIND+1


```
INDI=1
GO TO 140

C
C      ACTUALIZACION DE LOS DATOS DE BARRAS EN EL CASO EN QUE DESEE
C      EL CALCULO DE LOS FLUJOS DE POTENCIA POR LOS TRES METODOS
130 CALL REACT(NB,NS,VR,VI,PG,QG,PL,QL,PGK,QGK,PLK,QLK,BASE,NODE
1,VK,E,QMAX,QMIN,QMAXK,QMINK)

C
C      CALCULO DE LA POTENCIA NETA ESPECIFICADA
140 DC 150 I=1,NB
    IF(I.EQ.NS) GO TO 150
    PN(I)=PG(I)-PL(I)
    IF(NODE(I).EQ.2) GO TO 150
    QN(I)=QG(I)-QL(I)
150 CONTINUE
    INDC=0
    IZ=0
    ITER=0
    IF(INDI.NE.3)GO TO 160
    IF(INS.NE.0)GO TO 160
    WRITE(JW,49C)
160 IND=0
    IF(INDI.NE.2)GO TO 170

C
C      ACTUALIZACION DE LAS CORRECCIONES DE VOLTAJE VR1 Y V11
CALL ACTUAL(NB,NS,VR1,V11,VP,N9,INDI,ITER,IZ)

C
C      DETERMINACION DE LAS VARIACIONES DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA
C      ASI COMO EL MAYOR DESBALANCE DE POTENCIA Y VOLTAJE
170 CALL VARP(NB,NS,NBUS,IREC,VR,VI,G,B,VP,PN,QN,E,NODE,VPMAX,NLE,N9,
1,VP1,VP2,INDI,VR1,V11)
    IF(INDI.EQ.2)GO TO 200

C
C      CRITERIO DE CONVERGENCIA DE POTENCIA Y MAXIMO #DE ITERACIONES
C      PARA LOS METODOS DE N-R Y CON EL MULTIPLICADOR OPTIMO
CONV=0.001
MAXIT=15

C
C      PRUEBA DE CONVERGENCIA DEL MAYOR DESBALANCE DE POTENCIA
C      PARA LOS METODOS DE N-R Y CON EL MULTIPLICADOR OPTIMO
IF(VPMAX.LE.CONV)GO TO 270

C
C      PRUEBA DEL LIMITE DE MAXIMO # DE ITERACIONES
IF(ITER.GE.MAXIT)GO TO 300
GO TO 210

C
C      CRITERIO DE CONVERGENCIA DE VOLTAJE Y MAXIMO # DE ITERACIONES
C      PARA EL METODO DE SEGUNDO ORDEN
200 CONV=0.0005
    MAXIT=30
    IF(IZ.NE.0)GO TO 210
    IF(ITER.GT.0)GO TO 220

C
C      ENCERAMIFNTO DE ALGUNOS ARREGLOS
210 CALL ENCERO(N5,ITAG,ITAG1,ITAG2,LNXT,CE,RE,LF)
    IZ=0

C
C      CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL JACOBIANO EN COORDENADAS
C      RECTANGULARES
CALL JACOB(NB,NS,NBUS,LCOL,IREC,VR,VI,G,B,ITAG,ITAG1,ITAG2,LNXT,RE
1,CE,DE,NOZE,NSEQ,NODE,LF,NLE,N9,N5)

C
```

```
C      CALCULO DE LAS CORRECCIONES DE LOS VOLTAJES VR Y VI
CALL CRDEM(LF,ITAG1,ITAG2,CE,N5)
CALL SIMORD(NW,LF,LCOL,NOZE,ITAG,LNXT,CE,RE,N5,N9,JW,NSEQ)
CALL REDUC(NW,LCOL,DE,ITAG,LNXT,CE,RE,N5,N9,NSEQ)
220 CALL SOLUC(NW,LCOL,DE,ITAG,LNXT,CE,RE,VP,N5,N9,NSEQ)
IF(INDI.EQ.1)GO TO 230
GO TO 250
230 IF(INDI.EQ.3)GO TO 240
C
C      DETERMINACION DEL MAYOR DESBALANCE DE VOLTAJE PARA EL
C      METODO DE SEGUNDO ORDEN
CALL VARVCL(NB,NS,VR1,VI1,VP,VPMAX,N9,NODE)
ITER=ITER+1
C
C      PRUEBA DE CONVERGENCIA DEL MAYOR DESBALANCE DE VOLTAJE
IF(VPMAX.LE.CONV)GO TO 260
C
C      PRUEBA DEL LIMITE DE MAXIMO # DE ITERACIONES
IF(ITER.GE.MAXIT)GO TO 300
GO TO 170
C
C      ACTUALIZACION DE LAS CORRECCIONES DE VOLTAJE VR1 Y VI1
240 CALL ACTUAL(NB,NS,VR1,VI1,VP,N9,INDI,ITER,IZ)
C
C      CALCULO DEL TERCER TERMINO DE LA EXPANCIION EN SERIES DE TAYLOR
CALL DELTA(NB,NS,NBUS,IREC,VR1,VI1,G,B,VP3,NODE,N9,NLE)
C
C      DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES G0,G1,G2 Y G3
CALL CONST(NB,VP1,VP2,VP3,G0,G1,G2,G3,N9)
C
C      DETERMINACION DEL MULTIPLICADOR OPTIMO U
CALL MULCF(LW,NB,G0,G1,G2,G3,U,VP1,VP2,VP3,N9,INS)
C
C      CORRECCIONES DE LA PARTE REAL E IMAGINARIA DEL VOLTIAJE
250 CALL CORREC(NB,NS,VR,VI,VP,U,N9,INDI)
ITER=ITER+1
GO TO 170
C
C      CORRECCIONES DE LA PARTE REAL E IMAGINARIA DEL VOLTIAJE
260 CALL CORREC(NB,NS,VR,VI,VP,U,N9,INDI)
C
C      CALCULO DE LA POTENCIA REACTIVA DE GENERACION DE LAS BARRAS
C      DE TENSICN CONTROLADA PARA EL FLUJO DE SEGUNDO ORDEN
CALL QGEN(NB,NS,NBUS,IREC,VR,VI,G,B,QN,NLE,NODE)
270 IF(INDC.GE.3) GO TO 280
C
C      PRUEBA DE VIOLACION DE MAXIMA Y MINIMA GENERACION DE REACTIVOS
CALL VIOLA(NB,NODE,GMAX,QMIN,QL,QN,QG,IND)
IF(IND.EQ.1) INDC=INDC+1
IF(IND.EQ.1) IZ=IZ+1
IF(IND.EQ.1) GO TO 160
C
C      CALCULO DE LA POTENCIA DE GENERACION DE LA BARRA SLACK,
C      CALCULO DE LOS FLUJOS DE POTENCIA Y LAS PERDIDAS EN LINEAS E
C      IMPRESION DE RESULTADOS
280 CALL GOFLUP(NB,NS,NODE,GG,QN,PG,PL,QL,BASE,NBUS,IREC,VR,VI,G,
IB,SUS,NT,INE,JW,DEL,NLE,ITER,INDI,IP,IQ,SS1,K5,IQ1,IQ2)
290 IF(IIND.GT.C)INDI=INDI+1
IF(IIND.EQ.C)GO TO 10
IF(INDI.LE.3)GO TO 130
GO TO 10
```

```
300 IF(INDI.NE.1)GO TO 301
WRITE(JW,480)MAXIT
GO TO 303
301 IF(INCI.EG.3)GO TO 302
WRITE(JW,481)MAXIT
GO TO 303
302 WRITE(JW,482)MAXIT
303 IF(IIND.GT.0)GO TO 290
GO TO 10
310 STOP
```

```
C
C FORMATOS DE ESCRITURA DE DATOS GENERALES Y MENSAJES DE ERROR
C
```

```
320 FORMAT(80A1)
325 FORMAT(////,10X,*ESCUELA POLITECNICA NACIONAL*,/,10X,*FACULTAD DE
* INGENIERIA ELECTRICA*,/,10X,*DEPARTAMENTO DE POTENCIA*,//,10X,*TE
*SIS DE GRADO*,//,18X,*TITULO: NUEVOS METODOS DE FLUJOS DE POTENCIA
* Y SU*,/,26X,*APLICACION EN SISTEMAS MAL CONDICIONADOS*,//,17X,*ME
*TCDCS: NEWTON RAPHSON EN COORDENADAS RECTANGULARES,*,/,26X,*FLUJO
*DE SEGUNDO CRDEN Y FLUJO CON*,/,26X,*EL MULTIPLICADOR OPTIMO*,//,1
*9X,*FECHA: AGOSTO DE 1984*,//,11X,*REALIZADO POR: NESTOR A. DUGUE
*DOMINGUEZ*,/,12X,*DIRIGIDO POR: ING. GABRIEL ARGUELLO R.*/,,16X,*O
*BJETIVO: EL PROGRAMA SIRVE PARA EL CALCULO DE FLUJOS DE*,/,26X,*PO
*TENCIA AYUDANDO A LA CONVERGENCIA DE LOS*,/,26X,*SISTEMAS ELECTRIC
*OS DE POTENCIA*,////)
330 FORMAT(/20X,80A1)
340 FORMAT(5I10,F10.5,2I5)
350 FORMAT(20X,28HTIPOS DE BARRA: S FLOTANTE,/,37X,21HT VOLTAJE CON
1TROLADO,/,37X,10HC CARGA )
360 FORMAT(///,20X,*DATOS GENERALES*,/,20X,15(1F-))
370 FORMAT(/,20X,*NO. TOTAL DE BARRAS:*,/16X,I5,//,20X,*NO. DE BARRAS D
1E TENSION CONTROLADA:*,/I5,//,20X,*NO. DE LA BARRA FLOTANTE:*,/11X,I
25,//,20X,*NO. DE LINEAS, CAP/REAC FN SERIE,*,/,20X,*Y/O TRANSFORMA
3DCRES:*,/16X,I5,//,20X,*NO. DE CAP/REAC EN PARALELO:*,/8X,I5,//,20X,
4*MVA. BASE:*,/24X,F11.3,//)
380 FORMAT(10X,*ERROR: NO. DE BARRAS MENOR QUE 3*)
390 FORMAT(10X,*ERROR: NO. DE BARRAS MAYOR QUE 100*)
400 FORMAT(10X,*ERROR: NO. DE BARRA FLOTANTE > NO. BARRAS 0 < 1*)
410 FORMAT(10X,*ERROR: NO. DE CAP/REAC MAYOR QUE NO. DE BARRAS*)
420 FORMAT(10X,*ERROR: NO. DE CAP/REAC MENOR QUE 0*)
430 FORMAT(10X,*ERROR: NO. DE BTC > NO. BARRAS - 2 0 < 0*)
440 FORMAT(10X,*ERROR: NO. ELEMENTOS INTERCONEXION, < NO. BARRAS - 1*)
450 FORMAT(10X,*ERROR: MVA BASE < 0*)
460 FORMAT(10X,*ERROR: INDICADOR > 3*)
470 FORMAT(10X,*ERROR: NO. ELEMENTOS INTERCONEXION MAYOR QUE 125*)
480 FORMAT(///,20X,2HEN,I6,53H ITERACIONES NO HAY CONVERGENCIA POR EL
1METODO DE N-R,////)
481 FORMAT(///,20X,2HEN,I6,63H ITERACIONES NO HAY CONVERGENCIA POR EL
1METODO DE SEGUNDO ORDEN,////)
482 FORMAT(///,20X,2HEN,I6,64H ITERACIONES NO HAY CONVERGENCIA POR EL
1METODO CON EL MULT. OPT.,////)
490 FORMAT(////,20X,*VALORES DEL MULTIPLICADOR OPTIMO (U) Y DE LA FUN
1CION DE CCSTO (F)*,/,20X,65(1H-))
END
```

SUBROUTINA INPUT

SIRVE PARA EL INGRESO DE DATOS DE BARRAS Y DE ELEMENTOS DE INTERCONEXION. ADEMAS CALCULA LA MATRIZ ADMITANCIA DE BARRA ALMACENANDO SOLAMENTE LOS ELEMENTOS DISTINTOS DE CERO EN VECTORES

```
SUBROUTINE INPUT(NB,JR,JW,NS,BASE,VI,G,B,SUS,GMAX,QMIN,PG,PL,GG
1,QL,NODE,NBUS,CERO,VR,E,NE,NT,ISEND,IREC,NLE,INE,IAUXI,VK,PGK,
2QGK,PLK,QLK,QMAXK,QMINK,INS,IP,IQ,SS1,K5,IQ1,IQ2)
DIMENSION VR(NB),VI(NB),G(NLE),B(NLE),NODE(NB),NBUS(NLE),IQ2(NLE)
DIMENSION ISEND(NLE),GMAX(NB),QMIN(NB),PG(NB),PL(NB),QG(NB),QL(NB)
DIMENSION E(NB),SUS(NLE),IREC(NLE),INE(NLE),IAUXI(NB),VK(NB)
DIMENSION PGK(NB),QGK(NB),PLK(NB),QLK(NB),QMAXK(NB),QMINK(NB)
DIMENSION IP(NLE),IQ(NLE),SS1(NLE),IQ1(NLE)
DO 10 I=1,NB
IAUXI(I)=0
NBUS(I)=0
```

LECTURA E IMPRESION DE DATOS DE BARRA,
IDENTIFICACION DEL TIPO DE BARRA Y REDUCCION A
CANTIDADES EN P.U. DE LOS VALORES DE POTENCIA

```
WRITE(JW,260)
DO 60 N=1,NB
READ(JR,270) K,VK(N),PGK(N),QGK(N),PLK(N),QLK(N),QMAXK(N),QMINK(N)
WRITE(JW,280) K,VK(N),PGK(N),QGK(N),PLK(N),QLK(N),QMAXK(N),QMINK(N)
```

DETECCION DE ERRORES EN DATOS DE BARRAS

```
NER=0
IF(K.GT.0.AND.K.LE.NB) GO TO 20
NER=NER+1
WRITE(JW,390)
CALL EXIT
20 IF(VK(K).GE.CERO.AND.VK(K).LT.1.5) GO TO 30
NER=NER+1
WRITE(JW,400)
30 CCNTINUE
NBUS(K)=1
VR(K)=1.0
VI(K)=0.005
PG(K)=PGK(K)/BASE
QG(K)=QGK(K)/BASE
PL(K)=PLK(K)/BASE
QL(K)=QLK(K)/BASE
NODE(K)=3
IF(ABS(VK(K)).LT.0.0001) GO TO 40
IF(K.EQ.NS) GO TO 50
VR(K)=1.0
VI(K)=0.005
E(K)=VK(K)
QMAX(K)=QMAXK(K)/BASE
QMIN(K)=QMINK(K)/BASE
NODE(K)=2
WRITE(JW,310)
GO TO 60
40 WRITE(JW,290)
GO TO 60
50 VR(K)=VK(K)
VI(K)=0.
```

```
NODE(K)=1
WRITE(JW,300)
60 CONTINUE
DO 70 I=1,NB
IF(NBUS(I).EQ.1) GO TO 70
NER=NER+1
WRITE(JW,410) I
70 NBUS(I)=0
C
C LECTURA E IMPRESION DE DATOS DE LINEAS,TRANSFORMADORES,
C CAPACITORES Y/O REACTORES
C CALCULO DE LAS ADMITANCIAS DE LOS ELEMENTOS Y REDUCCION
C A CANTIDADES EN P.U. DE LOS VALORES DE LAS ADMITANCIAS
DC 80 I=1,NLE
ISEND(I)=0
IREC(I)=0
G(I)=0.
B(I)=0.
SUS(I)=0.
IG(I)=0
IQ1(I)=0
IQ2(I)=0
80 CONTINUE
WRITE(JW,320)
J=0
K5=0
DO 150 NL=1,NE
GL=0.
BL=0.
READ(JR,330) L,M,RR,XX,SS,BK
IAUXI(L)=1
IAUXI(M)=1
KB=L+M
IF(BK.LT.0.0001) GO TO 90
K5=K5+1
IF(K5)=L
IQ(M)=M
IQ2(KB)=KB
SS1(K5)=SS
BL=(-1./RR)*((BK*BASE*100)/(SS*XX))
SUSC1=BL*((BK-SS)/SS)
SUSC2=(-1./RR)*((BASE*100)/XX)*((SS-BK)/SS)
WRITE(JW,350)NL,L,M,GL,RR,GL,XX,SS,BK
GO TO 110
90 IF(L.NE.M) GO TO 100
SUSC1= RR/BASE
SUSC2= RR/BASE
WRITE(JW,360) NL,L,M,GL,GL,GL,GL,GL,RR
GO TO 110
100 KA=L+M
IQ1(KA)=KA
WRITE(JW,340) NL,L,M,RR,XX,SS
RR=RR/100.00
XX=XX/100.00
SS=SS/BASE
Z=XX*XX+RR*RR
GL=RR/Z
BL=-XX/Z
SUSC1=SS/2.
SUSC2=SS/2.
110 J=J+1
```

```
C
C      DETECCION DE ERRORES EN DATOS DE LEMENTOS DE INTERCONEXION
IF(L.GT.0.AND.L.LE.NB) GO TO 120
NER=NER+1
WRITE(JW,420)
120 IF(M.GT.0.AND.M.LE.NB) GO TO 130
NER=NER+1
WRITE(JW,430)
130 CONTINUE
INE(J)=NL
ISEND(J)=L
IREC(J)=M
G(J)=GL
B(J)=BL
SUS(J)=SUSC1
IF(L.NE.M) GO TO 140
NBUS(L)=L
GC TO 150
140 J=J+1
INE(J)=NL
ISEND(J)=M
IREC(J)=L
G(J)=GL
B(J)=BL
SUS(J)=SUSC2
150 CONTINUE
K=J
DC 170 I=1,NB
IF(IALXI(I).EQ.1) GO TO 160
NER=NER+1
WRITE(JW,440) I
160 CONTINUE
IF(NBUS(I).EQ.I) GO TO 170
K=K+1
NL=NL+1
INE(K)=NL
ISEND(K)=I
IREC(K)=I
170 CONTINUE
IF(NER.GT.0) CALL EXIT
NT=K
NTI=NT-1
```

```
C
C      FORMACION DE LA MATRIZ ADMITANCIA DE BARRA
DC 190 I=1,NTI
J=I+1
DO 180 L=J,NT
IF(ISEND(I).LE.ISEND(L)) GO TO 180
IN=INE(I)
M=ISEND(I)
N=IREC(I)
G1=G(I)
B1=B(I)
SUS1=SUS(I)
IN(I)=INE(L)
ISEND(I)=ISEND(L)
IREC(I)=IREC(L)
G(I)=G(L)
B(I)=B(L)
SUS(I)=SUS(L)
INE(L)=IN
```

```
ISEND(L)=M
IREC(L)=N
G(L)=G1
B(L)=B1
SUS(L)=SUS1
180 CCNTINUE
190 CCNTINUE
C
C      ORDENAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE YB EN FORMA ASCENDENTE
C      DE ACUERDO A FILAS Y COLUMNAS
J=1
DC 210 I=1,NB
N=0
G1=0.
B1=0.
DO 200 L=J,NT
IF (ISEND(L).NE.I) GO TO 200
N=N+1
G1=G1+G(L)
B1=B1+B(L)+SUS(L)
G(L)=-G(L)
B(L)=-B(L)
IF (ISEND(L).EQ.IREC(L)) M=L
200 CONTINUE
G(M)=G1
B(M)=B1
NBUS(I)=N
J=J+N
210 CONTINUE
DO 230 I=1,NTI
J=I+1
DO 220 K=J,NT
IF (ISEND(I).NE.ISEND(K)) GO TO 220
IF (IREC(I).LE.IREC(K)) GO TO 220
IN=INE(I)
L=IREC(I)
G1=G(I)
B1=B(I)
SUS1=SUS(I)
INE(I)=INE(K)
IREC(I)=IREC(K)
G(I)=G(K)
B(I)=B(K)
SUS(I)=SUS(K)
INE(K)=IN
IREC(K)=L
G(K)=G1
B(K)=B1
SUS(K)=SUS1
220 CONTINUE
230 CONTINUE
IF (INS.NE.0) GO TO 255
WRITE (JW,370)
G1=0.
B1=0.
C
C      IMPRESION DE LA MATRIZ ADMITANCIA DE BARRA
DC 250 J=1,NT
L=J+1
G1=G1+G(J)
B1=B1+B(J)
```

```
IF(J.EQ.NT) GO TO 240
IF(ISEND(J).EQ.ISEND(L).AND.IREC(J).EQ.IREC(L)) GO TO 250
240 WRITE(JW,380) ISEND(J),IREC(J),G1,B1
    G1=0.
    B1=0.
250 CONTINUE
255 RETURN
C
C      FORMATOS DE ESCRITURA DE DATOS DE BARRAS, LINEAS, TRANSFORMADOR
C      CAP/REACTORES Y DE LA MATRIZ ADMITANCIA DE BARRA
260  FORMAT(/////20X,15H DATOS DE BARRAS,/20X,15(1H-),//10X,5HBARRA,2X,7
1HTIPO DE,2X,7HVOLTAJE,1X,2(2X,10HPOT ACTIVA,2X,12HPOT REACTIVA),2X
2,13HPOT REACT MAX,2X,13HPOT REACT MIN,/,10X,3HNO.,4X,5HBARRA,4X,8H
3MAGNITUD,2(2X,10HGENERACION),4X,5HCARGA,7X,5HCARGA,4X,2(5X,10HGENE
4RACION),/)
270  FORMAT(I10,7F10.5)
280  FORMAT(10X,I3,10X,2(1X,F10.5),2X,F10.5,2X,2(2X,F10.5),2(5X,F10.5))
290  FORMAT(1H+,19X,°C°)
300  FORMAT(1H+,19X,°S°)
310  FORMAT(1H+,19X,°T°)
320  FORMAT(/////20X,°DATOS DE LINEAS, TRANSFORMADORES Y/O CAP/REACTOR
1EE°,/,20X,4(1H-),//,10X,°NO.°,3X,°BAR P°,2X,°BAR Q°,2X,°RESISTEN°
2,3X,°REACTANC°,2X,°SUSCEPTAN°,2X,°MVA T°,3X,°TAP P°,3X,°TAP Q°,3X,
3°CAP/REAC°,/)
330  FORMAT(2I10,4F10.5)
340  FORMAT(9X,I3,2(4X,I3),2X,3(F11.5))
350  FORMAT(9X,I3,2(4X,I3),2X,3(1X,F9.5),1X,F7.2,2(1X,F7.4))
360  FORMAT(9X,I3,2(4X,I3),2X,3(1X,F9.5),1X,3(1X,F7.4),1X,F9.3)
370  FORMAT(/////20X,20H MATRIZ ADMITANCIA YB,/20X,20(1H-),//10X,4HFILA,
15X,7HCOLUMNA,4X,7HYB REAL,5X,7HYB IMAG,/)
380  FORMAT(10X,I3,7X,I3,7X,F10.5,2X,F10.5,1(3X,F10.5))
390  FORMAT(10X,°ERROR: NO. DE BARRA > NO. DE BARRAS O < 1°)
400  FORMAT(10X,°ERROR: VOLTAJE ESPECIFICADO < 0. 0 >> 1°)
410  FORMAT(10X,°ERROR: NO EXISTE DATOS DE BARRA°,I4)
420  FORMAT(10X,°ERROR: BARRA P > NO. DE BARRAS O < 1°)
430  FORMAT(10X,°ERROR: BARRA Q > NO. DE BARRAS O < 1°)
440  FORMAT(10X,°ERROR: BARRA°,I4,° AISLADA DEL SISTEMA°)
END
```


C
C
C
C
C
C
C

SUBROUTINA REACT

SUBROUTINA QUE SIRVE PARA ACTUALIZAR LOS DATOS DE VOLTAJES Y POTENCIAS DE BARRAS EN EL CASO EN QUE SE DESEE EL CALCULO DEL FLUJO DE POTENCIA POR LOS TRES METODOS

```
SUBROUTINE REACT(NB,NS,VR,VI,PG,QG,PL,QL,PGK,QGK,PLK,QLK,BASE,
1 NCDE,VK,E,QMAX,QMIN,QMAXK,QMINK)
DIMENSION VR(NB),VI(NB),PG(NB),QG(NB),PL(NB),QL(NB),PGK(NB)
DIMENSION QGK(NB),PLK(NB),QLK(NB),NCDE(NB),VK(NB),E(NB)
DIMENSION QMAX(NB),QMIN(NB),QMAXK(NB),QMINK(NB)
DO 20 I=1,NB
VR(I)=1.0
VI(I)=0.005
PG(I)=PGK(I)/BASE
QG(I)=QGK(I)/BASE
PL(I)=PLK(I)/BASE
QL(I)=QLK(I)/BASE
NCDE(I)=3
IF(ABS(VK(I)).LT.0.0001)GO TO 20
IF(I.EQ.NS)GO TO 10
VR(I)=1.0
VI(I)=0.005
E(I)=VK(I)
QMAX(I)=QMAXK(I)/BASE
QMIN(I)=QMINK(I)/BASE
NCDE(I)=2
GO TO 20
10 VR(I)=VK(I)
VI(I)=0.
NCDE(I)=1
20 CONTINUE
RETURN
END
```

10
20

C
C
C
C
C
C

SUBROUTINA CONST

SUBROUTINA QUE DETERMINA LOS COEFICIENTES G0,G1,G2 Y G3 DE LA ECLACION CUBICA PARA EL METODO CON EL MULTIPLICADOR OPTIMO

```
SUBROUTINE CONST(NB,VP1,VP2,VP3,G0,G1,G2,G3,N9)
DIMENSION VP1(N9),VP2(N9),VP3(N9)
NC=NB*2-2
G0=0.
G1=0.
G2=0.
G3=0.
DO 10 I=1,NC
G0=G0+VP1(I)*VP2(I)
G1=G1+VP2(I)**2+VP1(I)*VP3(I)*2
G2=G2+VP2(I)*VP3(I)
G3=G3+VP3(I)**2
10 CONTINUE
G2=G2*3
G3=G3*2
RETURN
END
```

10

C
C
C
C
C
C
C
SUBROUTINA ACTUAL

SUBROUTINA DE ACTUALIZACION DE VALORES DE LOS VOLTAJES VR1 Y V11
UTILIZADA POR EL FLUJO DE SEGUNDO ORDEN PARA LA PRIMERA ITERA-
CION Y POR EL FLUJO CON EL MULTIPLICADOR OPTIMO

SUBROUTINE ACTUAL(NB,NS,VR1,V11,VP,N9,INDI,ITER,IZ)

DIMENSION VR1(NB),V11(NB),VP(N9)

L=0

DO 20 I=1,NB

IF(I.EQ.NS)GO TO 20

L=L+1

IF(INDI.NE.2)GO TO 10

IF(IZ.EG.1)GO TO 5

IF(ITER.GT.0)GO TO 10

5 VR1(I)=0.

GO TO 20

10 VR1(I)=VP(L)

20 CCNTINUE

DO 40 I=1,NB

IF(I.EQ.NS)GO TO 40

L=L+1

IF(INDI.NE.2)GO TO 30

IF(IZ.EG.1)GO TO 25

IF(ITER.GT.0)GO TO 30

25 V11(I)=0.

GO TO 40

30 V11(I)=VP(L)

40 CCNTINUE

RETURN

END

C
C
C
C
C
C
SUBROUTINA QGEN

SUBROUTINA QUE CALCULA LA POTENCIA REACTIVA DE LAS BARRAS DE
TENSION CONTROLADA PARA EL FLUJO DE SEGUNDO ORDEN

SUBROUTINE QGEN(NB,NS,NBUS,IREC,VR,VI,G,B,QN,NLE,NODE)

DIMENSION NBUS(NLE),IREC(NLE),VR(NB),VI(NB),G(NLE),B(NLE),QN(NB)

DIMENSION NODE(NB)

J=1

DO 20 I=1,NB

IF(I.EQ.NS)J=J+NBUS(I)

IF(I.EQ.NS)GO TO 20

C2=0.

N=NBUS(I)

DO 10 M=1,N

K=IREC(J)

C2=C2+VI(I)*(VR(K)*G(J)-VI(K)*B(J))-VR(I)*(VI(K)*G(J)+VR(K)*B(J))

J=J+1

10 CONTINUE

IF(NODE(I).NE.2)GO TO 20

QN(I)=C2

20 CONTINUE

RETURN

END

C
C
C
C
C
C

SUBROUTINA VARP

SUBROUTINA QUE DETERMINA LAS VARIACIONES DE POTENCIAS ACTIVA
Y REACTIVA, ASI COMO EL MAYOR DESBALANCE DE POTENCIA

5
10
20
30

```
SUBROUTINE VARP(NB,NS,NBUS,IREC,VR,VI,G,B,VP,PN,QN,E,NODE,VPMAX,NL
1E,N9,VP1,VP2,INDI,VR1,VI1)
DIMENSION NBUS(NLE),IREC(NLE),VR(NB),VI(NB),G(NLE),B(NLE),VP(N9)
DIMENSION PN(NB),QN(NB),E(NB),NODE(NB),VP1(N9),VP2(N9),VR1(NB)
DIMENSION VI1(NB)
J=1
L=0
DO 30 I=1,NB
IF(I.EQ.NS) J=J+NBUS(I)
IF(I.EQ.NS) GO TO 30
L=L+1
C1=0.
C2=0.
N=NBUS(I)
DO 10 M=1,N
K=IREC(J)
C1=C1+VR(I)*(VR(K)*G(J)-VI(K)*B(J))+VI(I)*(VI(K)*G(J)+VR(K)* B(J))
IF(INDI.NE.2)GO TO 5
C2=C2+VR1(I)*(VR1(K)*G(J)-VI1(K)*B(J))+VI1(I)*(VI1(K)*G(J)+VR1(K)*
1B(J))
5 J=J+1
10 CONTINUE
VP(L)=PN(I)-C1-C2
IF(INDI.EG.2)GO TO 30
VP1(L)=VP(L)
VP2(L)=-VP(L)
IF(L.EG.1) GO TO 20
IF(ABS(VP(L))-VPMAX)30,30,20
20 VPMAX=ABS(VP(L))
30 CCNTINUE
J=1
DO 60 I=1,NB
IF(I.EQ.NS) J=J+NBUS(I)
IF(I.EQ.NS) GO TO 60
L=L+1
HII=0.
C2=0.
N=NBUS(I)
DO 40 M=1,N
K=IREC(J)
HIK=VI(I)*(VR(K)*G(J)-VI(K)*B(J))-VR(I)*(VI(K)*G(J)+VR(K)*B(J))
HII=HII+HIK
IF(INDI.NE.2)GO TO 35
C2=C2+VI1(I)*(VR1(K)*G(J)-VI1(K)*B(J))-VR1(I)*(VI1(K)*G(J)+VR1(K)*
1B(J))
35 J=J+1
40 CONTINUE
IF(NODE(I).NE.2) GO TO 50
QN(I)=HII
IF(INDI.EG.2) GO TO 45
VP(L)=E(I)**2-(VR(I)**2+VI(I)**2)
GO TO 55
45 VP(L)=E(I)**2-(VR(I)**2+VI(I)**2)-(VR1(I)**2+VI1(I)**2)
GO TO 60
```

```
50 VP(L)=QN(I)-HII-C2
   IF(INCI.EG.2)GO TO 60
55 VP1(L)=VP(L)
   VP2(L)=-VP(L)
   IF(ABS(VP(L)).LE.VPMAX) GO TO 60
   VPMAX=ABS(VP(L))
60 CONTINUE
   RETURN
   END
```

C
C
C
C
C
C

SUBROUTINA ORDEM

SUBROUTINA PARA ORDENAR ASCENDENTEMENTE EL JACOBIANO DE ACUER
A FILAS

SUBROUTINE CRDEM(LF,ITAG1,ITAG2,CE,N5)

DIMENSION ITAG1(N5),ITAG2(N5),CE(N5)

LFI=LF-1

LFII=LF-2

DO 20 I=1,LFII

J=I+1

DO 10 L=J,LFI

IF(ITAG2(I).LE.ITAG2(L)) GO TO 10

M=ITAG2(I)

N=ITAG1(I)

CEE=CE(I)

ITAG2(I)=ITAG2(L)

ITAG1(I)=ITAG1(L)

CE(I)=CE(L)

ITAG2(L)=M

ITAG1(L)=N

CE(L)=CEE

10

CONTINUE

20

CONTINUE

DO 40 I=1,LFII

J=I+1

DO 30 L=J,LFI

IF(ITAG2(I).NE.ITAG2(L)) GO TO 30

IF(ITAG1(I).LE.ITAG1(L)) GO TO 30

M=ITAG1(I)

CEE=CE(I)

ITAG1(I)=ITAG1(L)

CE(I)=CE(L)

ITAG1(L)=M

CE(L)=CEE

30

CONTINUE

40

CONTINUE

RETURN

END

C
C
C
C
C
C

SUBROUTINA ENCERO

SUBROUTINA PARA ENCERAR DIFERENTES ARREGLOS

10

```
SUBROUTINE ENCERO(N5,ITAG,ITAG1,ITAG2,LNXT,CE,RE,LF)
DIMENSION ITAG(N5),ITAG1(N5),ITAG2(N5),LNXT(N5),CE(N5),RE(N5)
DO 10 I=1,N5
ITAG(I)=0
ITAG1(I)=0
ITAG2(I)=0
CE(I)=0.
RE(I)=0.
LNXT(I)=I+1
CONTINUE
LNXT(N5)=0
RETURN
END
```

C
C
C
C
C

SUBROUTINA MULOP

SUBROUTINA QUE DETERMINA EL VALOR DEL MULTIPLICADOR OPTIMO U

10

20

30

40

50

55

60

70

75

```
SUBROUTINE MULOP(JW,NB,GC,G1,G2,G3,U,VP1,VP2,VP3,N9,INS)
DIMENSION VP1(N9),VP2(N9),VP3(N9)
NC=NB*2-2
F=0.
U=1.0
ITN=0.
BR=GC
CD=BR
B4=G2+U*BR
CD=2P+U*CD
BR=G1+U*BR
CD=BR+U*CD
B5=GC+U*BR
UNEW=U-BR/CD
IF(ABS((U-UNEW)/UNEW)-1.0E-5)50,20,20
ITN=ITN+1
IF(ITN-15)30,40,40
U=UNEW
GO TO 10
WRITE(JW,70)
STOP
U=UNEW
IF(INS.NE.0) GO TO 75
DO 55 I=1,NC
F1=VP1(I)+U*VP2(I)+U**2*VP3(I)
F=F+F1**2
CONTINUE
F=F/2
WRITE(JW,60)U,F
FORMAT(///,20X,'U=',2X,F13.7,10X,'F=',2X,F14.11)
FORMAT(///,20X,'COMO EL VALOR DE U TIENDE A CERO NO HAY CONVER
10CIA PARA ESTE SISTEMA',2//)
RETURN
END
```

C
C
C
C
C
C

SUERUTINA JACOB

SUERUTINA PARA CALCULAR LOS ELEMENTOS DEL JACOBIANO
EN COORDENADAS RECTANGULARES

```
SUBROUTINE JACOB(NB,NS,NBUS,LCOL,IREC,VR,VI,G,B,ITAG,ITAG1,ITAG2,
1LNXT,RE,CE,DE,NOZE,NSEQ,NODE,LF,NLE,N9,N5)
DIMENSION NBUS(NLE),LCOL(N9),IREC(NLE),VR(NB),VI(NB),G(NLE),B(NLE)
DIMENSION ITAG(N5),ITAG1(N5),ITAG2(N5),LNXT(N5),CE(N5),RE(N5)
DIMENSION DE(N9),NOZE(N9),NSEQ(N9),NODE(NB)
J1=0
NCN=0
L=0
LL=1
DO 40 I=1,NB
LLL=0
IF(I.EQ.NS) J1=J1+NBUS(I)
IF(I.EQ.NS) GO TO 40
J=J1
L=L+1
LCOL(L)=LL
NNN=0
HII=0.
H1=0.
N=NBUS(I)
DO 20 MM=1,N
J=J+1
K=IREC(J)
M=K
HIK=VR(K)*G(J)-VI(K)*B(J)
HII=HII+HIK
IF(K.EQ.NS) GO TO 20
IF(K.GT.NS) M=M-1
IF(LLL.NE.M) NCN=NCN+1
IF(LLL.NE.M) NNN=NNN+1
LLL=M
IF(K.EQ.I) GO TO 10
ITAG(NCN)=M
ITAG1(NCN)=L
ITAG2(NCN)=F
LNXT(NCN)=NCN+1
RE(NCN)=RE(NCN)+VR(I)*G(J)+VI(I)*B(J)
CE(NCN)=RE(NCN)
GO TO 20
10 H1=VR(I)*G(J)+VI(I)*B(J)
NCN=NCN-1
20 CONTINUE
DE(L)=HII+H1
25 J=J1
LLL=0
HII=0.
H1=0.
DO 30 MM=1,N
J=J+1
K=IREC(J)
M=K+NE-1
HIK=VI(K)*G(J)+VR(K)*B(J)
HII=HII+HIK
IF(K.EQ.NS) GO TO 30
```

```
IF(K.GT.NS) M=M-1
IF(LLL.NE.M) NCN=NCN+1
IF(LLL.NE.M) NNN=NNN+1
LLL=M
ITAG(NCN)=M
ITAG1(NCN)=L
ITAG2(NCN)=M
LNXT(NCN)=NCN+1
IF(K.EQ.I) LL2=NCN
RE(NCN)=RE(NCN)+VI(I)*G(J)-VR(I)*B(J)
CE(NCN)=RE(NCN)
30 CONTINUE
LL=LL+NNN-1
LF=NCN+1
NOZE(L)=NNN
NSEG(L)=L
LNXT(NCN)=0
J1=J
RE(LL2)=RE(LL2)+HII
CE(LL2)=RE(LL2)
40 CONTINUE
J1=0
DO 90 I=1,NB
LLL=0
IF(I.EQ.NS) J1=J1+NBUS(I)
IF(I.EQ.NS) GO TO 90
J=J1
L=L+1
LCOL(L)=LL
NNN=0
HII=0.
H1=0.
N=NBUS(I)
DO 50 MM=1,N
J=J+1
K=IREC(J)
M=K
HIK=VI(K)+G(J)+VR(K)*B(J)
HII=HII+HIK
IF(K.EQ.NS) GO TO 50
IF(K.GT.NS) M=M-1
IF(LLL.NE.M) NCN=NCN+1
IF(LLL.NE.M) NNN=NNN+1
LLL=M
ITAG(NCN)=M
ITAG1(NCN)=L
ITAG2(NCN)=M
LNXT(NCN)=NCN+1
IF(K.EQ.I) JJ=J
IF(K.EQ.I) LL2=NCN
RE(NCN)=RE(NCN)+VI(I)*G(J)-VR(I)*B(J)
CE(NCN)=RE(NCN)
IF(NODE(I).NE.2) GO TO 50
RE(NCN)=0.
CE(NCN)=0.
50 CONTINUE
RE(LL2)=RE(LL2)-HII
CE(LL2)=RE(LL2)
IF(NODE(I).NE.2) GO TO 60
RE(LL2)=VR(I)*2
CE(LL2)=RE(LL2)
```

```
60 J=J1
   LLL=0
   HII=0.
   H1=0.
   DO 80 MM=1,N
   J=J+1
   K=IREC(J)
   M=K+NB-1
   HIK=VR(K)*G(J)-VI(K)*B(L)
   HII=HII+HIK
   IF(K.EQ.NS) GO TO 80
   IF(K.GT.NS) M=M-1
   IF(LLL.NE.M) NCN=NCN+1
   IF(LLL.NE.M) NNN=NNN+1
   LLL=M
   IF(K.EQ.I) GO TO 70
   ITAG(NCN)=M
   ITAG1(NCN)=L
   ITAG2(NCN)=M
   LNXT(NCN)=NCN+1
   RE(NCN)=RE(NCN)-(VR(I)*G(J)+VI(I)*B(J))
   CE(NCN)=RE(NCN)
   IF(NODE(I).NE.2) GO TO 80
   RE(NCN)=0.
   CE(NCN)=0.
   GO TO 80
70 NCN=NCN-1
   H1=VR(I)*G(J)+VI(I)*B(J)
80 CONTINUE
   LL=LL+NNN-1
   LF=NCN+1
   NOZE(L)=N/N
   LNXT(NCN)=0
   NSEG(L)=L
   J1=J
   DE(L)=HII-H1
   IF(NODE(I).NE.2) GO TO 90
85 DE(L)=VI(I)*2
90 CONTINUE
   RETLRA
   END
```


SUBROUTINA SIMORD

SUBROUTINA DE SIMULACION Y REORDENAMIENTO

PRIMERA SUBROUTINA ESPECIAL PARA EL TRATAMIENTO DE MATRICES POROSAS SIMULA UNA RESOLUCION DE LA ECUACION MATRICIAL MEDIANTE EL METODO NUMERICO DE LA BI-FACTORIZACION, PARA DETERMINAR LOS NUEVOS ELEMENTOS DIFERENTES DE CERO A CREARSE. ORDENA SEMIOPTI-MAMENTE LAS BARRAS PARA MINIMIZAR EL NUMERO DE OPERACIONES A EJECUTAR

VARIABLES PRINCIPALES .
N: NUMERO DE BARRAS

SUBROUTINE SIMORD(N,LF,LCOL,NOZE,ITAG,LNXT,CE,RE,N5,N9,JW,NSEG)
DIMENSION LCOL(N9),NOZE(N9),ITAG(N5),LNXT(N5),CE(N5),RE(N5)
DIMENSION NSEQ(N9)

NI=N-1
IND=0
DO 290 J=1,NI
IF(IND.GE.1) GO TO 290
K=NSEG(J)
MIN=NCZE(K)
M=J
JS=J+1
DO 10 I=JS,N
K=NSEG(I)
IF(NOZE(K).GE.*IN) GO TO 10
MIN=NCZE(K)
M=I

10 CONTINUE
KP=NSEG(M)
NSEG(M)=NSEG(J)
NSEG(J)=KP
LK=LCCL(KP)
20 IF(LK.LE.0) GO TO 290
K=ITAG(LK)
LA=0
LI=LCOL(KP)
IF=ITAG(LI)
L=LCOL(K)
I=ITAG(L)

30 IF(I-IP)40,150,220
40 IF(I-KP)50,110,50
50 LA=L
L=LNXT(L)
60 IF(L)70,70,100
70 IF(LI)80,80,90
80 LK=LNXT(LK)
GO TO 20

90 I=N+1
GO TO 30
100 I=ITAG(L)
GO TO 30
110 LA=LNXT(L)
IF(LA)120,120,130
120 LCOL(K)=LA
GO TO 140
130 LNXT(LA)=LN
140 LNXT(L)=LF

```
LF=L
CE(L)=0.
RE(L)=0.
NCZE(K)=NCZE(K)-1
L=LN
GO TO 60
150 LA=L
L=LNXT(L)
IF(L)160,160,170
160 I=N+1
GO TO 180
170 I=ITAG(L)
180 LI=LNXT(LI)
IF(LI)190,190,210
190 IF(L)80,80,200
200 IP=N+1
GO TO 30
210 IP=ITAG(LI)
GO TO 30
220 IF(IP-K)230,180,230
230 IF(LF)240,240,250
240 WRITE(JW,300)
IND=1
STOP
250 LN=LF
IF(LA)260,260,270
260 LCOL(K)=LN
GO TO 280
270 LNXT(LA)=LN
280 LF=LNXT(LN)
LAXT(LN)=L
ITAG(LN)=IP
NOZE(K)=NCZE(K)+1
LA=LN
GO TO 180
290 CCNTINUE
RETURN
300 FORMAT(//,10X,*FALTA CAMPO*)
END
```

C
C
C
C
C
C
C

SUBROUTINA REDUC

SUBROUTINA DE REDUCCION

SEGUNDA SUBROUTINA ESPECIAL PARA EL TRATAMIENTO DE MATRICES POR
ES LA APLICACION MISMA DE LA BI-FACTORIZACION

```
SUBROUTINE REDUC(N,LCOL,DE,ITAG,LNXT,CE,RE,N5,N9,NSEQ)
DIMENSION LCOL(N9),DE(N9),ITAG(N5),LNXT(N5),CE(N5),RE(N5)
DIMENSION NSEQ(N9)
DO 150 J=1,N
  KP=NSEQ(J)
  D=1./DE(KP)
  DE(KP)=D
  LK=LCOL(KP)
  IF(LK.LE.0) GO TO 150
10  RE(LK)=D*RE(LK)
  LK=LNXT(LK)
  IF(LK.GT.0) GO TO 10
  LK=LCOL(KP)
20  K=ITAG(LK)
  CF=RE(LK)
  RF=CE(LK)
  LI=LCOL(KP)
  IP=ITAG(LI)
  L=LCOL(K)
30  IF(L)45,40,50
40  I=N+1
  GO TO 60
50  I=ITAG(L)
60  IF(I-IP)70,80,140
70  L=LNXT(L)
  GO TO 30
80  CE(L)=CE(L)-CF*CE(LI)
  RE(L)=RE(L)-RF*RE(LI)
  L=LNXT(L)
  IF(L)90,90,100
90  I=N+1
  GO TO 110
100 I=ITAG(L)
110 LI=LNXT(LI)
  IF(LI)120,120,130
120 LK=LNXT(LK)
  IF(LK)150,150,20
130 IP=ITAG(LI)
  GO TO 60
140 IF(IP.NE.K) GO TO 110
  DE(K)=DE(K)-CF*CE(LI)
  GO TO 110
150 CONTINUE
  RETURN
  END
```

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

SUBROUTINA SOLUC

SUBROUTINA DE RESOLUCION
TERCERA SUBROUTINA ESPECIAL PARA EL TRATAMIENTO DE MATRICES POROS
RESCATA EL VECTOR SOLUCION

VARIABLES PRINCIPALES

N: NUMERO DE BARRAS
V(): VECTOR SOLUCION

```
SUBROUTINE SOLUC(N,LCOL,DE,ITAG,LNXT,CE,RE,VP,N5,N9,NSEQ)
DIMENSION LCOL(N9),DE(N9),ITAG(N5),LNXT(N5),CE(N5),RE(N5)
DIMENSION VP(N5),NSEQ(N5)
DO 20 J=1,N
K=NSEQ(J)
CF=DE(K)*VP(K)
VP(K)=CF
L=LCOL(K)
10 IF(L.LE.0) GO TO 20
I=ITAG(L)
VP(I)=VP(I)-CE(L)*CF
L=LNXT(L)
GO TO 10
20 CONTINUE
NI=N-1
DO 60 NN=1,NI
J=N-NN
K=NSEQ(J)
SUM=VP(K)
L=LCOL(K)
30 IF(L)40,40,50
40 VP(K)=SUM
GO TO 60
50 I=ITAG(L)
SUM=SUM-RE(L)*VP(I)
L=LNXT(L)
GO TO 30
60 CONTINUE
RETURN
END
```

```
C
C      SUBROUTINA DELTA
C
C      SUBROUTINA QUE CALCULA EL TERCER TERMINO DE LA EXPANSION EN
C      SERIES DE TAYLOR, UTILIZADA POR EL METODO CON EL
C      MULTIPLICADOR OPTIMO
C
SUBROUTINE DELTA(NB,NS,NBUS,IREC,VR1,VI1,G,B,VP3,NODE,N9,NLE)
DIMENSION NEUS(NLE),IREC(NLE),VR1(NB),VI1(NB),G(NLE),B(NLE)
DIMENSION VP3(N9),NODE(NB)
J=1
L=0
DC 20 I=1,NB
IF(I.EQ.NS)J=J+NBUS(I)
IF(I.EQ.NS)GO TO 20
L=L+1
C1=0.
N=NBUS(I)
DC 10 M=1,N
K=IREC(J)
C1=C1+VR1(I)*(VR1(K)*G(J)-VI1(K)*B(J))+VI1(I)*(VI1(K)*G(J)+VR1(K)*
1B(J))
J=J+1
10  CCONTINUE
VP3(L)=-C1
20  CONTINUE
J=1
DC 40 I=1,NB
IF(I.EQ.NS)J=J+NBUS(I)
IF(I.EQ.NS)GO TO 40
L=L+1
C1=0.
N=NBUS(I)
DC 30 M=1,N
K=IREC(J)
C1=C1+VI1(I)*(VR1(K)*G(J)-VI1(K)*B(J))-VR1(I)*(VI1(K)*G(J)+VR1(K)*
1B(J))
J=J+1
30  CCONTINUE
IF(NODE(I).NE.2)VP3(L)=-C1
IF(NODE(I).NE.2)GO TO 40
VP3(L)=-((VR1(I)**2+VI1(I)**2)
40  CONTINUE
RETURN
END
```

C
C
C
C
C
C

SUBROUTINA CORREC

SUBROUTINA QUE REALIZA LAS CORRECCIONES DE LAS PARTES REAL
E IMAGINARIA DEL VOLTAJE PARA LOS TRES METODOS

```
SUBROUTINE CORREC(NB,NS,VR,VI,VP,U,N9,INDI)
DIMENSION VR(NB),VI(NB),VP(N9)
L=0
DO 20 I=1,NE
IF(I.EQ.NS)GO TO 20.
L=L+1
IF(INDI.EG.3)GO TO 10
VR(I)=VR(I)+VP(L)
GC TO 20
10 VR(I)=VR(I)+U*VP(L)
20 CONTINUE
DO 40 I=1,N2
IF(I.EQ.NS)GO TO 40
L=L+1
IF(INDI.EG.3)GO TO 30
VI(I)=VI(I)+VP(L)
GO TO 40
30 VI(I)=VI(I)+U*VP(L)
40 CONTINUE
RETURN
END
```

C
C
C
C
C
C

SUBROUTINA VIOLA

SUBROUTINA QUE REALIZA LA PRUEBA DE VIOLACION DE MAXIMA Y
MINIMA GENERACION DE REACTIVOS

```
SUBROUTINE VIOLA(NB,NODE,QMAX,QMIN,QL,QN,GG,IND)
DIMENSION NCDE(NB),QMAX(NB),QMIN(NB),QL(NB),GG(NB),QN(NB)
DO 20 I=1,NB
IF(NODE(I).NE.2)GO TO 20
QNE=QMAX(I)-QL(I)
IF(QN(I).LE.QNE)GO TO 10
QG(I)=QMAX(I)
GN(I)=QNE
NCDE(I)=4
IND=1
GO TO 20
10 QNE=QMIN(I)-QL(I)
IF(QN(I).GE.QNE)GO TO 20
GN(I)=QNE
QG(I)=QMIN(I)
NODE(I)=5
IND=1
20 CONTINUE
RETURN
END
```

SUBROUTINA GOFLUP

SUPRUTINA QUE REALIZA EL CALCULO DE LA POTENCIA DE GENERACION DE LA BARRA OSCILANTE, LOS FLUJOS DE POTENCIA, LAS PERDIDAS Y ADEMAS EL RETORNO A CANTIDADES REALES DE LOS VALORES EN P.U. Y LA IMPRESION DE LOS RESULTADOS.

C
C
C
C
C
C
C

10
20

21
22
23

30

```

SUBROUTINE GOFLUP(NB,NS,NODE,GG,QN,PG,PL,QL,BASE,NBUS,IREC,VR,
1VI,G,B,SUS,NT,INE,JW,DEL,NLE,ITER,INDI,IP,IQ,SS1,K5,IQ1,IQ2)
DIMENSION NCDE(NB),GG(NB),QN(NB),QL(NB),PG(NB),PL(NB),IP(NLE)
DIMENSION NBUS(NLE),IREC(NLE),VR(NB),VI(NB),G(NLE),B(NLE),SUS(NLE)
DIMENSION INE(NLE),DEL(NB),IQ(NLE),SS1(NLE),IQ1(NLE),IQ2(NLE)
DO 20 I=1,NB
IF(I.EG.NS) GO TO 20
IF(NODE(I).NE.2) GO TO 10
GG(I)=QN(I)+QL(I)
PG(I)=PG(I)*BASE
QC(I)=QG(I)*BASE
PL(I)=PL(I)*BASE
QL(I)=QL(I)*BASE
CONTINUE
SUMPP=0.
SUMPQ=0.
TFG=0.
TGG=0.
TFL=0.
TGL=0.
TFQ=0.
PG(NS)=PL(NS)
QG(NS)=QL(NS)
IF(INDI.EG.2)GO TO 21
IF(INDI.EG.3)GO TO 22
WRITE(JW,200)
GO TO 23
21 WRITE(JW,201)
GO TO 23
22 WRITE(JW,202)
23 WRITE(JW,203)
J=0
INDC=0
IND=2
DO 120 I=1,NB
N=NBUS(I)
DO 50 M=1,N
J=J+1
K=IREC(J)
FPJ=(-(VR(I)**2+VI(I)**2-VR(I)*VR(K)-VI(I)*VI(K))*G(J)+(VR(K)
1*VI(I)-VR(I)*VI(K))*B(J))*BASE
FGJ=((VR(I)**2+VI(I)**2)*(B(J)-SUS(J))-(VR(I)*VR(K)+VI(I)*V
1I(K))*B(J)+(VR(K)*VI(I)-VR(I)*VI(K))*G(J))*BASE
IF(K.EQ.I) FQII=-FGJ
DO 30 L=1,NT
IF(INE(L).NE.INE(J)) GO TO 30
IF(L.EQ.J) GO TO 30
FPL=(-(VR(K)**2+VI(K)**2-VR(K)*VR(I)-VI(K)*VI(I))*G(L)+(VI
1(K)*VR(I)-VR(K)*VI(I))*B(L))*BASE
FGL=((VR(K)**2+VI(K)**2)*(B(L)-SUS(L))-(VR(K)*VR(I)+VI(K)
1*VI(I))*B(L)+(VI(K)*VR(I)-VR(K)*VI(I))*G(L))*BASE
CONTINUE

```

```
IF(K.EQ.I) GO TO 40
PP=FPJ+FPL
PQ=FQJ+FQL
SUMPP=SUMPP+PP/2.
SUMPQ=SUMPQ+PQ/2.
WRITE(JW,170)K,FPJ,FQJ
KA=I+K
DO 35 J5=1,K5
IF(I.NE.IP(J5))GO TO 35
IF(K.NE.IG(K))GO TO 35
IF(IQ1(KA).EQ.IQ2(KA))GO TO 33
IF(IQ1(KA).EQ.KA)GO TO 35
33 WRITE(JW,175)SS1(J5)
35 CONTINUE
40 IF(I.NE.NS) GO TO 50
PG(I)=PG(I)+FPJ
QG(I)=QG(I)+FQJ
50 CONTINUE
VBASEV=SQRT(VR(I)**2+VI(I)**2)
DEL(I)=ATAN(VI(I)/VR(I))
DELTAG=DEL(I)*180./3.14159265
NO=NODE(I)
GO TO (60,70,80,90,100),NO
60 WRITE(JW,210)
GO TO 110
70 WRITE(JW,220)
GO TO 110
80 WRITE(JW,230)
GO TO 110
90 WRITE(JW,240)
IND=1
GO TO 110
100 WRITE(JW,260)
INDC=1
110 WRITE(JW,160)I,VBASEV,DELTAG,PG(I),QG(I),PL(I),QL(I),FGII
WRITE(JW,165)
TPG=TPG+PG(I)
TQG=TQG+QG(I)
TPL=TPL+PL(I)
TQL=TQL+QL(I)
TFQ=TFQ+FGII
120 CONTINUE
WRITE(JW,180)TPG,TQG,TFQ,TPL,TQL,SUMPP,SUMPQ
IF(IND.NE.1) GO TO 130
WRITE(JW,250)
130 IF(INDC.NE.1) GO TO 140
WRITE(JW,270)
140 WRITE(JW,190) ITER
RETURN
160 FORMAT(1H+,6X,I3,5X,F7.4,2X,F7.3,2(2X,F8.3,1X,F8.3),3X,F8.3,/)
165 FORMAT(1X,119(1H-))
170 FORMAT(83X,I3,5X,F8.3,3X,F8.3)
175 FORMAT(1H+,112X,F7.4)
180 FORMAT(//,48X,2HMW,8X,4HMMVAR,/,20X,17HTOTAL GENERACION:,7X,F9.3,1X
1,F9.3,/,20X,21HTOTAL MVAR CAP/REAC:,13X,F9.3,/,20X,12HTOTAL CARGA
2:,12X,F9.3,1X,F9.3,/,20X,15HTOTAL PERDIDAS:,9X,F9.3,1X,F9.3)
190 FORMAT(///,20X,*CONVERGE EN*,I5,* ITERACIONES*,//)
200 FORMAT(/////20X,10HRESLLTADOS,/,20X,10(1H=),///,20X,67HUTILIZANDO
1.EL METODO DE NEWTON RAPSHON EN COORDENADAS RECTANGULARES,/,20X,67
2(1H=))
201 FORMAT(/////20X,10HRESULTADOS,/,20X,10(1H=),///,20X,36HUTILIZANDO
```



```

1 EL FLUJO DE SEGUNDO ORDEN,/,20X,36(1H=))
202  FORMAT(/////,20X,10HRESLLTADOS,/,20X,10(1H=),///,20X,27HCON EL MUL
1 TIPLICADOR OPTIMO,/,20X,27(1H=))
203  FORMAT(///,1X,119(1H=),/,7X,5HBARRA,9X,7HVOLTAJE,6X,1H*,3X,10HGENE
1 RACION,3X,1H*,2X,1H*,5X,5HCARGA,7X,10H*CAP/REAC*,3X,1HA,3X,1H*,2X,
2 16HFLUJOS EN LINEAS,2X,1H*,/,1X,119(1H=),/,5X,1H#,8X,4HMAG,6X,4HA
3 NG,2X,5H* MW,5X,4HMVAR,3X,8H* * MW,5X,4HMVAR,4X,7H* MVAR,3X,7
4 H*BARRA*,7X,2HMW,5X,4HMVAR,6X,3HTAP,/,1X,119(1H=),//)
210  FCRMAT(1H+,3X,1HS)
220  FCRMAT(1H+,3X,1HT)
230  FCRMAT(1H+,3X,1HC)
240  FCRMAT(1H+,2X,2HLS)
250  FCRMAT(//,10X,*LS.- BTC TRANSFORMADA EN BARRA DE CARGA DEBIDO A LA
1 VIOLACION DEL LIMITE DE MAXIMA GENERACION DE POTENCIA REACTIVA*,/
2/)
260  FCRMAT(1H+,2X,2HLI)
270  FCRMAT(//,10X,*LI.- BTC TRANSFORMADA EN BARRA DE CARGA DEBIDO A LA
1 VIOLACION DEL LIMITE DE MINIMA GENERACION DE POTENCIA REACTIVA*,/
2/)
END

C
C SUBROUTINA VARVOL
C
C SUBROUTINA QUE DETERMINA EL MAYOR DESBALANCE DE VOLTAJE TANTO
C DE LA PARTE REAL COMC DE LA IMAGINARIA,UTILIZADA POR EL FLUJO
C DE SEGLNCO ORDEN
C
SUPRCLTIME VARVOL(NB,NS,VR1,VI1,VP,VPMAX,N9,NODE)
DIMENSION VR1(NB),VI1(NB),VP(N9),NODE(NB)
L=0
DO 20 I=1,NB
IF(I.EQ.NS)GO TO 20
L=L+1
AA=VP(L)-VR1(I)
5 VR1(I)=VP(L)
IF(L.EQ.1)GO TO 10
IF(ABS(AA)-VPMAX)20,20,10
10 VPMAX=ABS(AA)
20 CONTINUE
DO 30 I=1,NB
IF(I.EQ.NS)GO TO 30
L=L+1
AB=VP(L)-VI1(I)
25 VI1(I)=VP(L)
IF(ABS(AB).LE.VPMAX)GO TO 30
VPMAX=ABS(AB)
30 CONTINUE
RETURN
END

```

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

- |1| S. Iwamoto, Y. Tamura, "A FAST LOAD FLOW METHOD RETAINING NONLINEARITY", IEEE, Trans. Power. App. Syst., Vol. PAS-97, Nº 5, pp 1586 - 1599, Sep/Oct. 1978.
- |2| S. Iwamoto, Y. Tamura, "A LOAD FLOW CALCULATION METHOD FOR ILL-CONDITIONED POWER SYSTEMS", IEEE, Trans. Power. App. Syst., Vol. PAS-100, Nº 4, pp. 1736 - 1743, Abril 1981.
- |3| G. Enriquez, H., "ANALISIS MODERNO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA", Editorial Limusa - Wiley S.A., México 1981.
- |4| H. Sanhuenza, H., "ANALISIS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA", E.P.N., Quito - Ecuador, 1974.
- |5| G. W. Stagg, A.M. El-Abiad, "COMPUTER METHODS IN POWER SYSTEMS ANALYSIS", editorial Mc Graw-Hill Book Comapny, 1968.
- |6| E. Marmol, H., "ESTUDIO DE LOS FLUJOS DE CARGA MEDIANTE LOS METODOS DE NEWTON RAPHSON", Tesis, E.P.N., Quito - Ecuador, 1983.
- |7| Ward, Hale, "DIGITAL COMPUTER SOLUTION OF POWER-FLOW PROBLEMS", Trans. AIEE, vol. 75 pp. 398 - 404, Junio 1956.
- |8| Pai, M.A., "COMPUTER TECHNIQUES IN POWER SYSTEM ANALYSIS", Tata Mc Graw-Hill, New York, 1973.

- |9| D.D. Mc Cracken, W.S. Dorn, "METODOS NUMERICOS Y PROGRAMACION FOR TRAN", Editorial Limusa S.A., México 1980.

- |10| INECEL, Demanda Máxima Mayo 1984, Sistema Nacional Interconectado, Archivos de 1a DOSNI, Mayo 1984.