

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

"OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN
SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA"

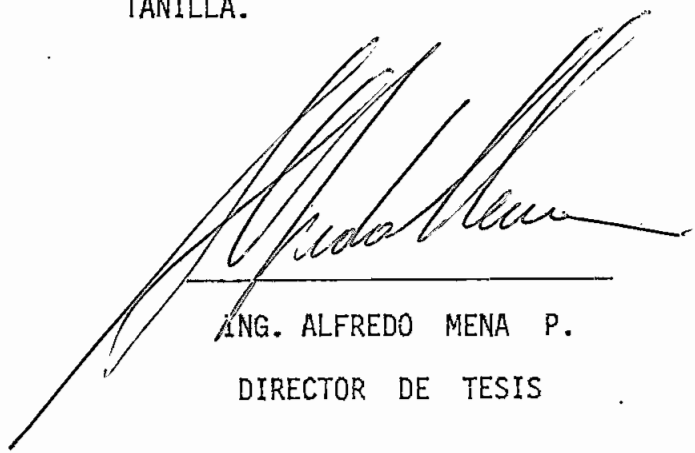
TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO EN LA ESPECIALIZACIÓN
DE POTENCIA

MARIO RAMIRO GONZÁLEZ QUINTANILLA

QUITO, AGOSTO DE 1.983



Certifico que la presente Tesis ha
sido realizada en su totalidad por
el Sr. MARIO RAMIRO GONZALEZ QUIN
TANILLA.



ING. ALFREDO MENA P.
DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO:

Mis sinceros agradecimientos al Ing. Alfredo Mena P. por el asesoramiento brindado para la elaboración de la presente Tesis.

Al Dr. Ramiro Rodas, a los ingenieros Edgar MármoI y Juan Cruz que colaboraron de una u otra manera en el desarrollo de esta Tesis.

INDICE

Pág.

CAPITULO I.-

Introducción.

| | | |
|------|---------------------------------------|---|
| 1.1. | Generalidades ----- | 1 |
| 1.2. | Objetivos y alcance de la tesis ----- | 3 |

CAPITULO II.-

Desarrollo teórico.

| | | |
|--------|---|----|
| 2.1. | Introducción ----- | 6 |
| 2.2. | Simbología ----- | 7 |
| 2.3. | Modelo matemático básico de un S.E.P. ----- | 9 |
| 2.4. | Determinación del Jacobiano ----- | 11 |
| 2.5. | Relación de compatibilidad ----- | 14 |
| 2.6. | Curvas de costos de generación ----- | 15 |
| 2.7. | Problema simplificado (despacho económico de potencia activa) ----- | 19 |
| 2.7.1. | Efecto de los términos de segundo orden ----- | 23 |
| 2.8. | Algoritmo de solución del problema simplificado ----- | 24 |
| 2.9. | Problema General (despacho económico de potencia activa y reactiva) ----- | 25 |
| 2.10. | Algoritmo de solución del problema general ----- | 30 |

../...

CAPITULO III.-

Desarrollo del programa digital.

| | | |
|--------|-------------------------------------|----|
| 3.1. | Introducción ----- | 32 |
| 3.2. | Algoritmo de cálculo ----- | 33 |
| 3.3. | Descripción del programa ----- | 36 |
| 3.3.1. | Características ----- | 36 |
| 3.3.2. | Descripción de las subrutinas ----- | 37 |
| 3.4. | Diagrama de flujo ----- | 40 |

CAPITULO IV.-

Aplicaciones.

| | | |
|------|----------------------------------|----|
| 4.1. | Introducción ----- | 52 |
| 4.2. | Ejemplos de aplicación ----- | 53 |
| 4.3. | Análisis de los resultados ----- | 73 |

CAPITULO V.-

Conclusiones y Recomendaciones.

77

APENDICE A.

| | | |
|------|--|----|
| A.1. | Propiedades del Jacobiano ----- | 80 |
| A.2. | Propiedades de las matrices singulares ----- | 82 |

APENDICE B.-

Manual de uso del programa digital

| | | |
|--------|---|-----|
| B.1. | Título ----- | 85 |
| B.2. | Objetivo ----- | 85 |
| B.3. | Variables utilizadas ----- | 85 |
| B.3.1. | Variables de entrada ----- | 86 |
| B.3.2. | Variables de salida ----- | 90 |
| B.4. | Características ----- | 92 |
| B.5. | Forma de proporcionar los datos ----- | 92 |
| B.6. | Esquemas de datos y formas de utilizar el programa grabado en disco y cinta ----- | 94 |
| B.7. | Listado del programa ----- | 97 |
| | BIBLIOGRAFIA. | 125 |

CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

1.1. GENERALIDADES

Para satisfacer la demanda de sus consumidores, todas las compañías generadoras y distribuidoras de energía eléctrica hacen uso de varios medios de producción, entre los cuales se tiene: centrales térmicas de varios tipos, centrales hidráulicas, etc. las cuales forman parte de los sistemas eléctricos de potencia (SEP), los mismos que en condiciones normales de operación, deben suministrar energía eléctrica a todas las cargas conectadas, cumpliendo los dos siguientes requisitos básicos:

1. Mantener un alto grado de confiabilidad del servicio que se dá a los usuarios, esto es:

- a. Mantener la frecuencia y los voltajes constantes y dentro de los límites permitidos.
 - b. Garantizar un nivel adecuado de continuidad de servicio.
2. El segundo requisito es obtener una eficiencia máxima de explotación, y mejorarla continuamente para mantener una relación razonable entre lo que paga el consumidor por el kilowatio/hora y lo que le cuesta a la compañía generadora su suministro, frente a los precios constantemente crecientes de los combustibles, mano de obra, materiales y mantenimiento.

Las empresas encargadas del suministro de la energía eléctrica en nuestro medio, cada día van logrando poner en funcionamiento calderos, turbinas y generadores de un mayor grado de eficiencia, de tal forma que se puede decir que, cada nueva unidad que se añade a una central térmica, trabaja con mejor rendimiento que cualquiera de las unidades viejas.

Estas empresas se han preocupado en cumplir con el primer requisito indicado anteriormente; en cambio, el segundo requisito lo tratan de cumplir en base a la experiencia del personal técnico de dicha empresa, ó también, lo hacen en base a un método primitivo para reducir al mínimo el costo de operación, el cual consiste en suministrar la energía para pequeñas cargas desde la central de mayor rendimiento. Luego, al ir aumentando la carga, se comienza a suministrar la energía desde la segunda central de mejor rendimiento, no entrando a operar la tercera central mientras no se sobrepase el punto de rendimiento óptimo de la segunda, y así sucesivamente.

En la actualidad el uso de las computadoras digitales, permiten realizar análisis en los S.E.P., con los cuales, se pueden conocer las condiciones de operación del sistema y cumplir con el primer requisito indicado, y además, permiten encontrar la condición mediante la cual se obtiene la operación óptima del sistema desde el punto de vista económico; a ésta condición de operación se la conoce como "despacho económico". Por lo tanto, se entiende por despacho económico al reparto de carga entre las varias unidades de generación del sistema, de manera que el costo neto total de producción sea mínimo.

1.2. OBJETIVO Y ALCANCE DE LA TESIS

Uno de los problemas que deben ser resueltos para obtener la operación más satisfactoria de los sistemas eléctricos de potencia, es el de determinar el papel que cada central generadora debe desempeñar en la producción total.

Asumiendo que se conoce la energía producida por las centrales hidroeléctricas, y que han sido escogidas las centrales térmicas que van a ser puestas en servicio, todavía queda por determinar la mejor distribución de generación entre ellas.

El presente trabajo tiene por objetivo básico realizar un estudio que determine la metodología a seguirse para asignar potencia activa y reactiva a las distintas centrales térmicas de los sistemas eléctricos de potencia, con el propósito de que el costo total de operación sea mínimo y que al mismo tiempo cumplan con las restricciones normales de los sistemas de potencia: de-

manda y voltajes (se asume que la frecuencia se mantiene constante, debido a que se está operando en condiciones estables).

En tesis anteriores (Ref. 7 y 11), han sido realizados estudios semejantes a éste, mediante otros métodos, pero tomando en cuenta únicamente el despacho económico de potencia activa (real); en cambio, en el presente estudio se considera el problema general, es decir, se determinará la potencia activa (P_{Gi}) y la potencia reactiva (Q_{Gi}), las cuales deben ser suministradas por cada central térmica en servicio, con el objeto de reducir el costo neto total de operación al mínimo.

Este estudio se basa en las Ref. 1 y 2, en las cuales se desarrollan dos algoritmos para la solución del problema planteado anteriormente mediante la utilización de un computador digital. El primer algoritmo se refiere al despacho de potencia activa, problema que será únicamente descrito y explicado; mientras que, el segundo algoritmo se refiere al problema de despacho económico de potencia activa y reactiva, denominado problema general, en base al cual, se desarrolla un programa digital para realizar la "OPTIMIZACION DE LA PRODUCCION DE ENERGIA EN SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA", lo cual corresponde al título de esta tesis.

En base al análisis de las referencias indicadas, se desarrolla un programa digital, el cual se basa en una función lineal de costos de generación de cada unidad térmica, la cual es una buena aproximación de la función cuadrática de costos, que es la más cercana a la función real de costos; a estas funciones lineales se las minimiza mediante programación lineal (se usa el método

do Simplex), sujeto a restricciones lineales de compatibilidad y a restricciones de potencia (demanda) y voltajes. El método utilizado para la solución de flujos de carga es el de Newton-Raphson Desacoplado.

CAPITULO II

DESAROLLO TEORICO

2.1. INTRODUCCION

Los sistemas eléctricos de potencia (S.E.P.) pueden ser representados mediante modelos matemáticos, los cuales permiten hacer predicciones sobre su comportamiento real en cualquier estado de operación.

En base a un modelo matemático básico de un sistema eléctrico de potencia y a las características reales del mismo, es posible determinar un programa de operación que minimice los costos de producción de la energía eléctrica.

Mediante un estudio de flujos de carga, se puede obtener un punto de operación, el cual no es el óptimo en el aspecto económico,

al cual se lo toma como punto de partida para llegar a determinar la condición final de operación, la cual será óptima.

La idea básica es, convertir el problema de optimización no lineal en una secuencia de problemas de optimización lineal, a ser resueltos mediante programación lineal.

2.2. SIMBOLOGIA

| | |
|------------|---|
| a_i | Costo de funcionamiento de puesta en marcha, de la <u>un</u> idad i . |
| b_i | Costo diferencial de funcionamiento, de la unidad i . |
| C_i | Costo individual de generación. |
| C | Costo total de generación. |
| ΔF | Variación del costo total de generación. |
| \dot{I} | Corriente de barra, en forma fasorial. |
| m | Número de barras de generación. |
| n | Número de barras del sistema. |
| P_i | Potencia activa neta, en la barra i . |
| P_{Gi} | Potencia activa de generación, en la barra i . |

- P_{Gi} máx. Potencia activa máxima de generación, en la barra i .
- P_{Gi} mín. Potencia activa mínima de generación, en la barra i .
- Q_i Potencia reactiva neta, en la barra i .
- Q_{Gi} Potencia reactiva de generación, en la barra i .
- Q_{Gi} máx. Potencia reactiva máxima de generación, en la barra i .
- Q_{Gi} mín. Potencia reactiva mínima de generación, en la barra i .
- S_i Potencia compleja, en la barra i .
- S_i^* Potencia compleja conjugada, en la barra i .
- \dot{V} Voltaje de barra, en forma fasorial.
- V_i Magnitud del voltaje, de la barra i .
- V_i máx. Magnitud del voltaje máximo, de la barra i .
- V_i mín. Magnitud del voltaje mínimo, de la barra i .
- θ_i Angulo del voltaje, de la barra i .
- Y_{ij} Elemento ij de la matriz admitancia de barra.
- $\langle x, y \rangle$ Producto escalar de los vectores x e y .

2.3. MODELO MATEMATICO DE UN S.E.P.

En un sistema de n nodos, al aplicar la Ley de Kirchoff a cada uno de ellos, se tiene:

$$\sum_{i=1}^n \dot{I}_i = 0 \quad (2.1)$$

Del análisis de sistemas eléctricos de potencia, se tiene la siguiente relación matricial:

$$\dot{I} = \dot{Y}_{bus} \dot{V} \quad (2.2)$$

Por lo tanto, la corriente total en el nodo i , puede ser expresado como

$$\dot{I}_i = \sum_{j=1}^n \dot{Y}_{ij} \dot{V}_j \quad (2.3)$$

Los valores de las cargas, así como también los valores de generación, son normalmente expresados en función de potencias, por lo que es más conveniente transformar la ecuación (2.3) a potencias, con lo cual se obtiene que:

$$\dot{V}_i^* \sum_{i=1}^n \dot{I}_i = \sum_{i=1}^n \dot{S}_i^* = 0 \quad (2.4)$$

en la cual, si se reemplaza el valor de \dot{I}_i , se tiene

$$\dot{S}_i^* = P_i - jQ_i = \dot{V}_i^* \sum_{j=1}^n \dot{Y}_{ij} \dot{V}_j \quad (2.5)$$

Considerando el problema en coordenadas polares, se tiene que:

$$\dot{V}_i = V_i e^{j\theta_i}$$

$$\dot{Y}_{ij} = Y_{ij} e^{-j\delta_{ij}} \quad (2.6)$$

Sustituyendo en la ecuación (2.5), la potencia compleja en la barra i , es

$$P_i - j Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| e^{-j(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j)} \quad (2.7)$$

Sabiendo que

$$e^{-j(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j)} = \cos(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j) - j \operatorname{Sen}(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j)$$

Separando las componentes real e imaginaria de la potencia, se tiene que

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j) \quad (2.8)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \operatorname{Sen}(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j)$$

Las variables P_i y Q_i son las potencias activa y reactiva neta en cada barra del sistema, las mismas que equivalen a la diferencia entre las potencias de generación y de carga de cada una de las barras, lo cual se expresa como

$$(a) \quad P_{Gi} - P_{Ci} = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j) \quad (2.9)$$

$$(b) \quad Q_{Gi} - Q_{Ci} = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \operatorname{Sen}(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j)$$

donde: $i = 1, \dots, n$.

Para cada barra del sistema, existen dos ecuaciones. El conjunto completo de las $2n$ ecuaciones constituye el modelo matemático básico del sistema, y es el que será utilizado en este estudio. Del modelo descrito por las ecuaciones (2.9), se puede realizar algunas observaciones:

- a. El sistema está descrito por un conjunto de $2n$ ecuaciones algebraicas no-lineales.
- b. La variable frecuencia no aparece explícitamente en estas ecuaciones, debido al hecho de que se asume estado estacionario.
- c. Las pérdidas de potencia por transmisión, se presentan únicamente como función de los voltajes.

Considerando que la potencia de carga P_{Ci} y Q_{Ci} se mantienen invariables, las ecuaciones (2.9) se convierten en:

$$P_{Gi} = \psi(V, \theta) \quad (2.10)$$

$$Q_{Gi} = \Psi(V, \theta) \quad i = 1, \dots, n$$

2.4. DETERMINACION DEL JACOBIANO

La relación existente entre los cambios de potencia activa y reactiva y los componentes de los voltajes de barra, está dada por el jacobiano J .

El jacobiano J del conjunto de ecuaciones (2.8) o de las ecuaciones (2.9), es una matriz cuadrada de orden $2n$, la cual se la escribe como sigue:

$$J = \begin{vmatrix} H & M \\ N & L \end{vmatrix} \quad (2.11)$$

donde H , M , N y L son matrices $n \times n$, cuyos elementos son:

$$\begin{aligned} H_{ij} &= \frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} \\ M_{ij} &= \frac{\partial P_i}{\partial V_j} \\ N_{ij} &= \frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j} \\ L_{ij} &= \frac{\partial Q_i}{\partial V_j} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Los elementos del jacobiano J son calculados a partir de las ecuaciones (2.8) y son:

Subjacobiano H

Los elementos no-diagonales y los elementos diagonales, se calculan como:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} &= |V_i V_j Y_{ij}| \text{ Sen } (\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j) \quad i \neq j \quad (2.13) \\ \frac{\partial P_i}{\partial \theta_i} &= - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i V_j Y_{ij}| \text{ Sen } (\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{aligned}$$

Subjacobiano M

Los elementos no-diagonales y los elementos diagonales, se calculan como:

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_j} = |V_i Y_{ij}| \cos(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j) \quad i \neq j \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_i} = 2 \cdot |V_i Y_{ii}| \cos \delta_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_j Y_{ij}| \cos(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j)$$

Subjacobiano N

Los elementos no-diagonales y los elementos diagonales, se calculan como:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j} = - |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j) \quad i \neq j \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j)$$

Subjacobiano L

Los elementos no-diagonales y los elementos diagonales, se calculan como:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_j} = |V_i Y_{ij}| \sin(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j) \quad i \neq j \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = 2 |V_i Y_{ii}| \sin \delta_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_j Y_{ij}| \sin(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j)$$

Por otra parte, se debe indicar que las matrices H y N son matrices singulares, lo cual hace que también J sea una matriz singular, es decir, su determinante es igual a cero, para cualquier valor de V y θ . También se tiene que el valor cero es una raíz característica simple de H y N , y por lo tanto, también de J . Esto se demuestra en el Apéndice A-1.

2.5. RELACION DE COMPATIBILIDAD (Ref. 1)

Si se hacen las variaciones de las potencias activa ΔP y potencia reactiva ΔQ bien pequeñas, las variaciones del ángulo de fase θ y de la magnitud V del voltaje, en el segundo orden, están dados por la ecuación:

$$\begin{vmatrix} H & M \\ N & L \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta\theta \\ \Delta V \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{vmatrix} \quad (2.17)$$

Por cuanto el jacobiano J es una matriz singular, es decir, no se la puede invertir, el vector $(\Delta P \ \Delta Q)$ no puede ser arbitrario, por lo que, éste debe cumplir una relación de compatibilidad, la cual, se la determina en base al teorema dado en el Apéndice A-2.

Siendo (λ, μ) el vector característico (eigen-vector) asociado con la raíz característica simple (eigen-valor) de valor cero de la matriz singular jacobiana transpuesta J^T .

$$\begin{vmatrix} H^T & N^T \\ M^T & L^T \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \lambda \\ \mu \end{vmatrix} = 0 \quad (2.18)$$

Se debe satisfacer la siguiente relación de compatibilidad

$$\langle \lambda, \Delta P \rangle + \langle \mu, \Delta Q \rangle = 0 \quad (2.19)$$

relación que permite que la ecuación (2.17) tenga solución. Ver apéndice A-2.

2.6. CURVAS DE COSTOS DE GENERACION

Considerando que los sistemas en estudio están funcionando, no interesa para resolver el problema de optimización la utilización de los costos de operación que son prácticamente fijos, tales como: salarios, costos de construcción, costos de equipos; además se considera que el costo de mantenimiento es prácticamente igual para todas las unidades generadoras, por lo tanto, se toma únicamente en cuenta los costos que son factibles controlar, como son los costos de combustible en los diversos grupos de generación.

Para determinar la mejor distribución económica de la carga entre las diferentes unidades térmicas, formadas por un caldero, una turbina y un generador, se debe conocer el consumo de combustible - Kcal/h (o Btu/h) de cada una de ellas, en función de la salida de potencia eléctrica en Mw. (ref. 8 y 11).

La curva que relaciona la potencia térmica del combustible con la potencia eléctrica de salida, se denomina Curva de Entrada-Salida la cual, es determinada experimentalmente, de la siguiente forma: "se mantiene la generación (Mw) de la unidad en un valor fijo y se mide el consumo de combustible para cada hora de operación -

(Kcal/h) correspondiente a esa generación". La medición del consumo de combustible se repite para diferentes valores de generación, y de esta forma se obtiene una serie de puntos, los cuales permiten trazar la curva de entrada-salida, como la indicada en la figura 2.1.

Lógicamente, el combustible requerido para obtener una salida de potencia dada, fácilmente se convierte en dólares o sucres por megawatio-hora, lo cual permite que, a partir de la curva entrada-salida se obtenga la Curva de Costos de Generación. En la figura 2.2. se tiene una representación típica del costo-Mw. La función costo, es idéntica en la forma (no en la magnitud) para centrales con combustibles de carbón, gas, derivados de petróleo, y también se puede incluir a las centrales nucleares; en cambio, las centrales hidroeléctricas, por obvias razones no se incluyen, por lo cual, los análisis que se hacen posteriormente se aplican únicamente a la generación de tipo térmica y nuclear.

Un sistema eléctrico compuesto por centrales térmicas con suficiente almacenamiento de combustible y/o por centrales hidráulicas con reservorios suficientemente grandes (regulación por estaciones), puede operar cualquiera de sus centrales a plena carga, cualquier instante y teóricamente por cualquier lapso de tiempo. Opuestamente, aquellos sistemas con centrales hidráulicas con pequeños reservorios (permiten plena carga solamente por pocas horas) deben acumular energía y entregarla al sistema de tal forma de obtener máxima utilidad; en este caso se diría que el proceso de "llenado" y de "vaciado" de los reservorios representarían una función de costos de generación hidráulica.

Considerando en este estudio únicamente a la generación de carácter térmica, sus costos de producción pueden ser representados mediante una función analítica, para lo cual se asume un polinomio de segundo grado que ajusta adecuadamente los puntos obtenidos en las pruebas. El costo de generación de la unidad i es:

$$C_i(P_{Gi}) = u_i + V_i * P_{Gi} + W_i * P_{Gi}^2 \quad (2.20)$$

Para determinar las constantes u , v , w , se requieren por lo menos tres mediciones en la curva de entrada-salida; en la práctica se acostumbra un mayor número de mediciones. (Ref. 7).

En el presente estudio, se considera a la curva de costos de generación como una función lineal, la misma que es una buena aproximación de la curva real (cuadrática); esta función está representada con la línea de trazos de la figura 2.2. En dicha figura, puede observarse que la variación del costo es sensiblemente lineal respecto a la salida de potencia en un amplio intervalo. La ecuación del costo lineal es:

$$C_i(P_{Gi}) = a_i + b_i * P_{Gi} \quad (2.21)$$

De ahora en adelante, a esta última relación se la considerará como la función de costos de generación de la unidad " i "; es decir, la ecuación (2.20) será transformada mediante un proceso específico en la ecuación (2.21).

En las dos ecuaciones anteriores, se observa que los costos de

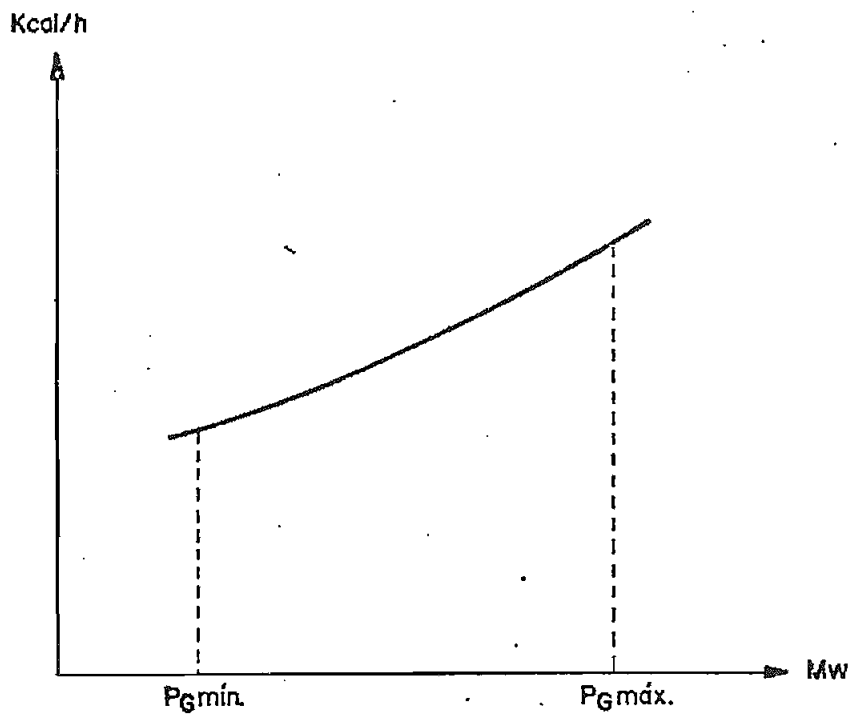


Figura 2.1... CURVA DE ENTRADA - SALIDA

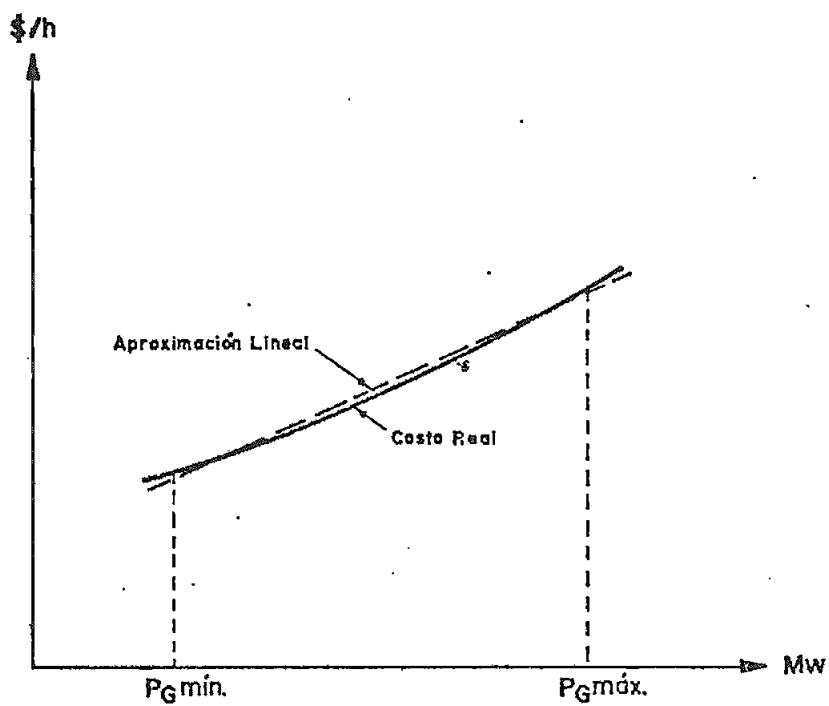


Figura 2.2... CURVA DE COSTO DE GENERACION

generación son solamente función de la potencia activa generada, esto se debe a que se considera que la generación de la potencia reactiva no tiene ninguna influencia medible en C_i , porque ella es controlada mediante la variación de la corriente de campo.

2.7. PROBLEMA SIMPLIFICADO

Se denomina problema simplificado al despacho económico de potencia activa únicamente, tomando como función de costos de generación a la expresión (2.21). Con la cual, la función a ser minimizada es:

$$C = \sum_{i=1}^m (a_i + b_i * P_{Gi}) \quad (2.22)$$

Es claro que buscar el mínimo de la ecuación (2.22) es equivalente a buscar el mínimo de la función:

$$F = \sum_{i=1}^m b_i * P_{Gi} \quad (2.23)$$

Se asume que lo siguiente es conocido para cada barra:

- la potencia activa y reactiva de demanda.
- la magnitud del voltaje V_i .
- los límites superior e inferior de la potencia activa de generación.
- la función lineal de costos de cada central generadora.

Se tratará de determinar la potencia activa P_{Gi} , la cual debe ser suministrada por cada central térmica en servicio, para re

ducir el costo total de generación, tomando en cuenta que esta potencia debe satisfacer las siguientes desigualdades:

$$P_{Gi} \text{ m\u00edn} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi} \text{ m\u00e1x} \quad (2.24)$$

y adem\u00e1s, debe ser satisfecha la ecuaci\u00f3n (2.9.a).

Suponiendo que existe un grupo de valores P_{Gi} que satisfacen la ecuaci\u00f3n (2.24) para todos los i . Se dice que este grupo forma una soluci\u00f3n realizable si existe un grupo θ_j ($i=1, \dots, n$) tal que, se satisface la ecuaci\u00f3n (2.9.a) con estos valores de P_{Gi} .

Partiendo del supuesto que existe una soluci\u00f3n realizable, y que ∂P_{Gi} es una variaci\u00f3n infinitesimal de la producci\u00f3n de cada central generadora, la variaci\u00f3n del costo de generaci\u00f3n ser\u00e1:

$$\partial F = \sum_{i=1}^m b_i * \partial P_{Gi} \quad (2.25)$$

Se ha visto que los ∂P_{Gi} no son independientes. En el punto m\u00ednimo se tiene $\partial F \geq 0$ para cualquier grupo de ∂P_{Gi} . Lo anterior puede ser mostrado con la relaci\u00f3n de la matriz jacobiana:

$$H_{ij} * \partial \theta_j = \partial P_i \quad i, j = 1, \dots, n \quad (2.26)$$

expresi\u00f3n que es v\u00e1lida siempre y cuando los voltajes de generaci\u00f3n sean considerados constantes. Adem\u00e1s, H es una matriz singular. Al resolver la ecuaci\u00f3n (2.26), los ∂P_i no pueden ser arbitrarios, por lo cual, deben cumplir la siguiente relaci\u00f3n de compatibilidad.

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i * \partial P_i = 0 \quad (2.27)$$

donde λ , es el vector característico correspondiente al valor ca racterístico cero de la matriz H^T .

$$H^T \cdot \lambda = 0 \quad (2.28)$$

de la cual, un elemento de λ puede ser escogido arbitrariamente, y el resto de elementos obtenidos de la ecuación (2.28).

Suponiendo que existe una variación de la producción ∂P_i en la barra "i", y como la ecuación (2.27) debe ser cumplida, para - que la ecuación (2.9.a) sea verdad, se puede asumir que el ba- lance del sistema está asegurado por una central generadora de la barra j. Y así se tiene que:

$$\lambda_i * \partial P_i + \lambda_j * \partial P_j = 0$$

de donde se tiene que:

$$\partial P_j = \frac{-\lambda_i}{\lambda_j} \partial P_i$$

la variación del costo, es por lo tanto:

$$\partial F = b_i * \partial P_i + b_j * \partial P_j$$

$$\partial F = (b_i - b_j * \frac{\lambda_i}{\lambda_j}) \partial P_i$$

Así que la razón de las dos componentes λ_i y λ_j del vector λ ,

nos permite determinar la variación del costo total de generación, cuando la producción en las barras i y j varían en cantidades infinitamente pequeñas, tal que la ecuación (2.9.a) siempre se satisface.

Asumiendo que ha sido escogido un vector λ , tal que:

$$\lambda_j = b_j$$

la variación del costo de generación, viene a ser:

$$\partial F = (b_i - \lambda_i) \partial P_i \quad (2.29)$$

y se ve que: λ_i representa el costo de la energía en la barra i , siendo ésta producida en la barra j .

Hasta aquí se ha considerado variaciones infinitesimales sobre una solución realizable. Ahora, se hará que las variaciones ΔP_i de cada central, sea finita, además, se tiene que en barras que no existe generación, los ΔP_i son iguales a cero.

Por lo tanto, la variación del costo, será:

$$\Delta F = \sum_{i=1}^m b_i * \Delta P_i \quad (2.30)$$

La expansión de la ecuación (2.9.a), ignorando los términos de orden superior a uno, dá:

$$H \cdot \Delta \theta = \Delta P \quad (2.31)$$

y la relación de compatibilidad del segundo miembro, de acuerdo al teorema dado en el Apéndice A-2, es:

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i * \Delta P_i = 0 \quad (2.32)$$

donde λ se calcula a partir de la ecuación (2.28).

El método propuesto, consiste en la construcción, comenzando desde una solución realizable, de otra solución realizable de costo más bajo; por lo tanto, se debe solucionar el siguiente problema de programación lineal:

Minimizar:

$$\Delta F = \sum_{i=1}^m (b_i - \lambda_i) \Delta P_i \quad (2.33)$$

Sujeta a:

$$P_{Gi} \text{ mfn} - P_{Gi} \leq \Delta P_i \leq P_{Gi} \text{ máx} - P_{Gi} \quad (2.34)$$

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i * \Delta P_i = 0 \quad (2.32)$$

problema en el cual, los ΔP_i ($i=1, \dots, m$) son las variables a ser determinadas.

2.7.1. Efecto de los términos de segundo orden

En la expansión de las ecuaciones (2.9.a) se ha ignorado la influencia de los términos de segundo orden. En general, a la ge

neración inicial se la debe sumar las nuevas correcciones, de esta forma:

$$P_{Gi}^{(k+1)} = P_{Gi}^{(k)} + \Delta P_i \quad i=1, \dots, n$$

Así se encuentra un nuevo valor de P_{Gi} y un nuevo valor para la función F . Debido a los efectos de los términos de segundo orden, y a que las ecuaciones (2.9) son no-lineales, es posible que el nuevo valor de F pudiera ser mayor que el valor previo (viejo), lo cual significa que las correcciones ΔP_i son demasiado grande, se debe entonces, tomar un nuevo valor de estas correcciones, por ejemplo: $\frac{1}{2} \Delta P_i$, y recomenzar el cálculo de distribución.

Cuando se haya determinado los ΔP_i , tales que, la nueva solución realizable cueste menos que la anterior (previa), se pueda recalcular y recomenzar el proceso anterior, hasta que toda variación compatible ΔP_i lleve a un incremento de la función costo.

2.8. ALGORITMO DE SOLUCION DEL PROBLEMA SIMPLIFICADO

El algoritmo de solución para realizar el despacho económico de la potencia activa, es como sigue:

1. Resolver un flujo de carga, para obtener una condición inicial de operación. Evaluar la ecuación (2.23) para obtener F .
2. Encontrar el vector λ . Poner $k=1$.

3. Resolver el problema de programación lineal para los ΔP_i . Si todos los ΔP_i son menores que cierta tolerancia, el mínimo ha sido encontrado.
4. Corregir todos los P_{G_i} por $k\Delta P_i$, $i=1, \dots, m$, excepto para la barra slack.
5. Resolver un flujo de carga, para obtener P_{G_i} de la barra slack. Si su límite es violado, regresar al paso 2.
6. Evaluar la ecuación (2.23) para obtener nuevo F . Si F nuevo $< F$ previo, regresar al paso 2; de lo contrario, reducir k y regresar al paso 4.

2.9. PROBLEMA GENERAL

El problema general consiste en realizar el despacho económico de la potencia activa y de la potencia reactiva. Como ahora se está yendo a controlar tanto a los ΔP_i como a los ΔQ_i , la relación matricial jacobiana es:

$$\begin{bmatrix} H & M \\ N & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$$



En el apéndice A-1 se demuestra que H y N son matrices singulares, lo cual, significa que las primeras n columnas de J son linealmente dependientes, lo que hace que el jacobiano J sea una matriz singular. Además, si una columna de M y L son eli

minadas, la matriz J resultante, es todavía singular. Esta situación se presenta cuando un elemento de ΔQ es determinado. El resto de elementos de ΔP y ΔQ no son independientes y están relacionados con el jacobiano reducido, mediante una relación de compatibilidad. Esta relación, para el jacobiano de la ecuación (2.17) es obtenido a partir de:

$$\begin{vmatrix} H^T & N^T \\ M^T & L^T \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \lambda \\ \mu \end{vmatrix} = 0 \quad (2.18)$$

y se obtiene la relación de compatibilidad:

$$\langle \lambda, \Delta P \rangle + \langle \mu, \Delta Q \rangle = 0 \quad (2.19)$$

Además, existen otras relaciones de compatibilidad, las cuales se determinan a continuación:

Las variaciones de la producción de potencia activa y reactiva son:

$$\Delta P^T = (\Delta P_1, \dots, \Delta P_n) \quad (2.35)$$

$$\Delta Q^T = (\Delta Q_1, \dots, \Delta Q_n)$$

Siendo ΔV_n una variación dada de la magnitud del voltaje de la barra n (la barra n es tomada por conveniencia).

Se define a los vectores $\tilde{\Delta V}$ y $\tilde{\Delta Q}$, como:

$$\Delta \tilde{V}^T = (\Delta V_1, \dots, \Delta V_{n-1}) \quad (2.36)$$

$$\Delta \tilde{Q}^T = (\Delta Q_1, \dots, \Delta Q_{n-1})$$

Por lo tanto, se está buscando una relación de compatibilidad para el ΔV_n dado.

Se tiene que:

$$\begin{vmatrix} H & M^{(n)} & M_n \\ N^{(n)} & L^{(n)} & L_n \\ N_n' & L_n' & L_{nn}' \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta \theta \\ \Delta \tilde{V} \\ \Delta V_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta P \\ \Delta \tilde{Q} \\ \Delta Q_n \end{vmatrix} \quad (2.37)$$

donde:

$$\begin{vmatrix} M_n \\ L_n \\ L_{nn}' \end{vmatrix} \quad \text{y} \quad \begin{vmatrix} N_n' & L_n' & L_{nn}' \end{vmatrix}$$

son la última columna y fila del jacobiano J , respectivamente.

Es claro que el sistema de ecuaciones (2.37) no tiene una solución en general, para cualquier ΔP , ΔQ y ΔV_n .

El vector $(\Delta \theta \ \Delta \tilde{V})^T$ es también solución de aquel sistema de ecuaciones.

$$J^{(n)} \begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta\tilde{V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta\tilde{Q} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} M_n \\ L_n \end{bmatrix} \Delta V_n \quad (2.38)$$

donde $J^{(n)}$ es la matriz jacobiana J sin la fila y columna n , y además, es singular; por lo tanto, si $(\lambda^{(n)} \mu^{(n)})$ es el vector característico asociado al valor característico cero de $J^{(n)T}$, se tiene que:

$$J^{(n)T} \begin{bmatrix} \lambda^{(n)} \\ \mu^{(n)} \end{bmatrix} = 0 \quad (2.39)$$

y aplicando el teorema dado en el Apéndice A-2, la relación de compatibilidad para el sistema de ecuaciones (2.38) es:

$$\langle \lambda^{(n)}, \Delta P - M_n \cdot \Delta V_n \rangle + \langle \mu^{(n)}, \Delta\tilde{Q} - L_n \Delta V_n \rangle = 0 \quad (2.40)$$

la cual es equivalente a:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i^{(n)} (\Delta P_i - M_n \cdot \Delta V_n) + \sum_{i=1}^{n-1} \mu_i^{(n)} (\Delta Q_i - L_n \cdot \Delta V_n) = 0$$

Es decir, deben existir n relaciones adicionales de compatibilidad, lo cual, producen los vectores $(\lambda^{(k)} \mu^{(k)})$ cuando la fila y la columna $n+k$ de (2.17) son eliminados, y es resuelta la correspondiente relación (2.18). La eliminación exacta mencionada es hecha mediante la transferencia de la columna $n+k$ de la ecuación (2.17) al lado derecho. Las relaciones de compatibilidad son como sigue:

$$\sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot \Delta P_i + \mu_i \cdot \Delta Q_i) = 0 \quad (2.41)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i^{(k)} (\Delta P_i - M^{(k)} \Delta V_k) + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n \mu_i^{(k)} (\Delta Q_i - L^{(k)} \Delta V_k) = 0$$

$$k = 1, \dots, n \quad (2.42)$$

donde el super-índice k , indica el efecto de la transferencia de la k -ésima columna de 2.17 al lado derecho de la ecuación. También $M^{(k)}$ y $L^{(k)}$ significa la columna k -ésima de las matrices subjacobianas M y L . La ecuación (2.42) es equivalente a la ecuación (2.40) pero de carácter general.

Observación: En la optimización de la potencia activa únicamente, era fácil dar un significado económico a la relación $\langle \lambda, \Delta P \rangle = 0$.

Ahora las relaciones (2.41) y (2.42) deber ser verificadas, y es claro que, cualquier variación de la potencia activa o reactiva en una central generadora es balanceada por la producción de otra central del sistema eléctrico, y por variaciones de la magnitud del voltaje en algunas barras. (Ref. 1).

Por lo tanto, el problema de programación lineal a ser resuelto, es el siguiente:

Minimizar:

$$\Delta F = \text{Ecuac. (2.30)} - \text{Ecuac. (2.41)} - n \text{ Ecuac.s (2.42)} \quad (2.43)$$

Sujeto a:

Ecuación (2.41)

Ecuación (2.42) $k=1, \dots, n$

$$P_{Gi \min} - P_{Gi} \leq \Delta P_i \leq P_{Gi \max} - P_{Gi} \quad (2.34)$$

$$Q_{Gi \min} - Q_{Gi} \leq \Delta Q_i \leq Q_{Gi \max} - Q_{Gi} \quad (2.44)$$

$$V_i \min - V_i \leq \Delta V_i \leq V_i \max - V_i \quad (2.45)$$

también se tiene que $\Delta P_i = \Delta Q_i = 0$ para las barras en las cuales no existe generación.

Las ecuaciones (2.30), (2.41), (2.42) y (2.43) son lineales respecto a las variables ΔP_i , ΔQ_i y ΔV_i .

2.10. ALGORITMO DE SOLUCION DEL PROBLEMA GENERAL

El algoritmo a seguirse para obtener la solución del despacho económico de la potencia activa y reactiva, es como sigue:

1. Resolver un flujos de carga, para obtener una condición inicial de operación. Evaluar la ecuación (2.23) para obtener F.
2. Encontrar los vectores λ , μ , $\lambda^{(k)}$, $\mu^{(k)}$. Poner $K=1$.
3. Resolver el problema de programación lineal, para determinar los ΔP_i , ΔQ_i y ΔV_i . Si todas las correcciones están dentro de ciertas tolerancias, el mínimo ha sido determinado.

4. Corregir todos los datos variables del flujo de carga, que son: P_{Gi} y V_i de generación y V de la barra slack, por $K\Delta P$ y $K\Delta V$.
5. Resolver un flujo de carga, para obtener Q_{Gi} de generación, V_i de carga, P_G y Q_G de la barra slack. Si estas cantidades violan sus límites, regresar al paso 2.
6. Evaluar la ecuación (2.23) para obtener nuevo F . Si F nuevo $<$ F previo, regresar al paso 2; de lo contrario, reducir K y regresar al paso 4.

CAPITULO III

DESARROLLO DEL PROGRAMA DIGITAL

3.1. INTRODUCCION

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

El Programa elaborado para realizar la optimización de la producción de energía en Sistemas Eléctricos de Potencia, se basa en las referencias 1 y 2 y en el algoritmo general desarrollado en el Capítulo II de esta tesis, éste consta de un programa principal y de catorce subrutinas, las mismas que se mencionan a continuación.

- Subrutina INPUT

- Subrutina PRUEBA
- Subrutina LINEAL
- Subrutina SOLVE
- Subrutina VALOR
- Subrutina JACOB
- Subrutina EIGEN
- Subrutina COEFI
- Subrutina SMPLX
- Subrutina ENCERO
- Subrutina ORDEM
- Subrutina SIMORD
- Subrutina REDUC
- Subrutina SOLUC

3.2. ALGORITMO DE CALCULO

El programa consta básicamente de las siguientes partes:

A.- Se leen datos del sistema.

- Se leen datos de: líneas, transformadores, reactores y capacitores, con los cuales se forma la matriz admitancia de barra Y_{BUS} , mediante el uso de una subrutina de entrada de datos, denominada "INPUT".
- Se leen valores de criterios de convergencia E_{psi} y E_{spiv} .
- Se leen datos de límites de generación y de voltaje.
- Se leen datos de costos de generación, los cuales son linealizados mediante el uso de la subrutina "LINEAL".

- B.- Se calcula flujos de carga para obtener la condición inicial de operación, mediante el uso de la subrutina "SOLVE" y se verifica si las potencias de generación y los voltajes de las barras cumplen sus límites establecidos.
- Se calcula los costos iniciales de generación con la ecuación (2.21) mediante el uso de la subrutina "VALOR".
- C.- Se calcula el jacobiano completo con las ecuaciones (2.12 a 2.16) mediante el uso de la subrutina "JACOB". Se pone $K = 1$
- En un proceso iterativo se calcula el vector característico del jacobiano completo con la ecuación (2.18) y los vectores característicos del jacobiano reducido sin fila y columna $n+k$ con la ecuación (2.18), mediante el uso de la subrutina "EIGEN".
 - Se calculan los coeficientes de la función objetivo a ser minimizada, a partir de la ecuación (2.43); además, se calculan los coeficientes de las restricciones de igualdad, con las ecuaciones (2.41) y (2.42), mediante la utilización de la subrutina "COEFI".
- D.- Se resuelve el problema de programación lineal, con lo cual se determinan las variaciones de la potencia activa (ΔP_i), las variaciones de la potencia reactiva (ΔQ_i), las variaciones del voltaje (ΔV_i), y la variación del costo de generación, mediante el uso de la subrutina "SMPLX".
- Se verifica si todas las correcciones ΔP_i , ΔQ_i y ΔV_i , se en

cuentran dentro de una determinada tolerancia.

- Si lo anterior es verdad, se realiza un flujo de carga para determinar las condiciones finales de operación mediante el uso de la subrutina "SOLVE". Además, se calcula el costo total final de generación, mediante la subrutina "VALOR", con lo cual, se da por terminado el proceso de cálculo, ya que el punto de funcionamiento óptimo ha sido determinado. Luego, se realiza la impresión de los resultados.

E.- En cambio, si la verificación realizada no es cumplida, se calculan los nuevos valores de la potencia activa y del voltaje de generación, sumando a los valores antiguos las correcciones determinadas anteriormente, de ésta forma:

$$P_{Gi} = P_{Gi} + k \cdot \Delta P_i$$

$$V_i = V_i + k \cdot \Delta V_i \quad i=1, \dots, m$$

F.- Se realiza un nuevo flujo de carga, para obtener la potencia reactiva de generación (Q_{Gi}), el voltaje de las barras de carga (V_c), la potencia activa de generación de la barra slack.

- Se verifica si todas estas cantidades se encuentran dentro de sus límites, establecidos previamente.
- Si violan dichos límites, el proceso regresa al primer paso del literal C.

G.- En cambio, si cumplen sus límites, se verifica si el nuevo costo de generación es menor que el costo anterior, en este caso, el proceso regresa al primer paso del literal C.

- En caso contrario, se reduce el valor de k y el proceso regresa al paso E.

3.3. DESCRIPCION DEL PROGRAMA

A continuación se describe las principales características del programa y de las subrutinas utilizadas.

3.3.1. CARACTERISTICAS

Título: "OPTIMIZACION DE LA PRODUCCION DE ENERGIA EN SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA"

Lenguaje: FORTRAN IV

Probado y Grabado en: Computador IBM 370-125 de la Escuela Politécnica Nacional.

Capacidad:

Número máximo de barras : 50

Número máximo de elementos : 100

Para un computador de mayor memoria, la capacidad indicada puede ser aumentada, cambiando los dimensionamientos.

Datos requeridos en : p.u. o cualquier base

Barras de generación: Las primeras m barras del sistema.

Barra oscilante : La barra 1

Flujo de Carga usado: Métodos Newton-Raphson Desacoplado, desarrollado en la referencia 5.

3.3.2. DESCRIPCION DE LAS SUBRUTINAS

El programa digital consta de un programa principal y de catorce subrutinas, las cuales se detallan a continuación y se describen en el orden establecido en el programa principal.

SUBRUTINA INPUT : Lee y describe los datos requeridos para la solución de flujos de carga: parámetros de líneas, transformadores, capacitores, reactores.

Lee y escribe los datos requeridos para la optimización: coeficientes de la función de costos de generación; límites máximo y mínimo de generación de cada unidad; límites máximo y mínimo del voltaje de cada barra.

Forma la matriz admitancia de barra Y_{bus} , la cual la desarrolla en forma de vector, tomando en cuenta únicamente a los elementos distintos de cero. Esta subrutina fue desarro-

llada en la referencia 5 y modificada en este programa.

SUBROUTINA PRUEBA : Verifica si todos los datos han sido proporcionados al programa de una manera correcta. En caso de error en los datos, se detiene la ejecución del programa y dá el respectivo mensaje del error.

SUBROUTINA LINEAL : Transforma la función cuadrática de costos leída en la subrutina "INPUT" mediante regresión lineal (método de los mínimos cuadrados) en una función lineal de costos.

SUBROUTINA SOLVE : Calcula y escribe los resultados de flujos de carga, para lo cual utiliza el Método de Newton Raphson Desacoplado. Además, verifica los límites de operación iniciales del sistema. Esta subrutina y las que a continuación se indican, las cuales intervienen en el cálculo de flujos de carga, fueron desarrollada en la referencia 5.

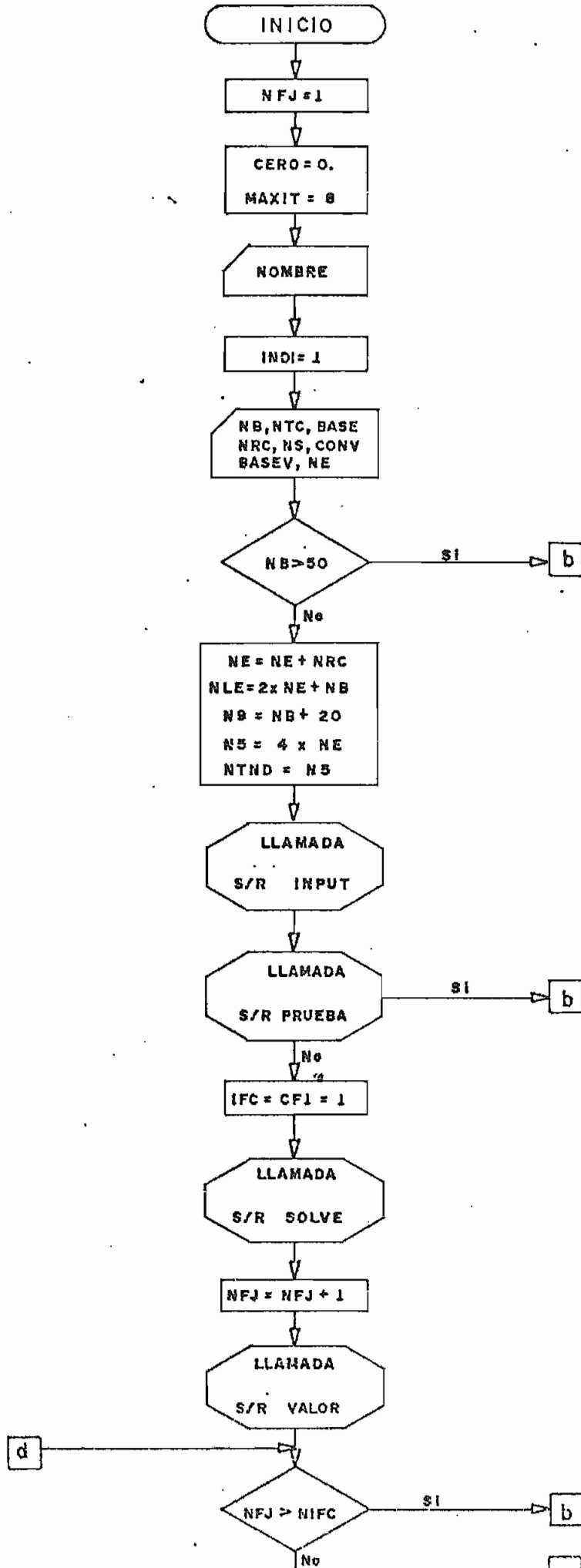
- Subrutina ENCERO
- Subrutina ORDEM
- Subrutina SIMORD
- Subrutina REDUC
- Subrutina SOLUC

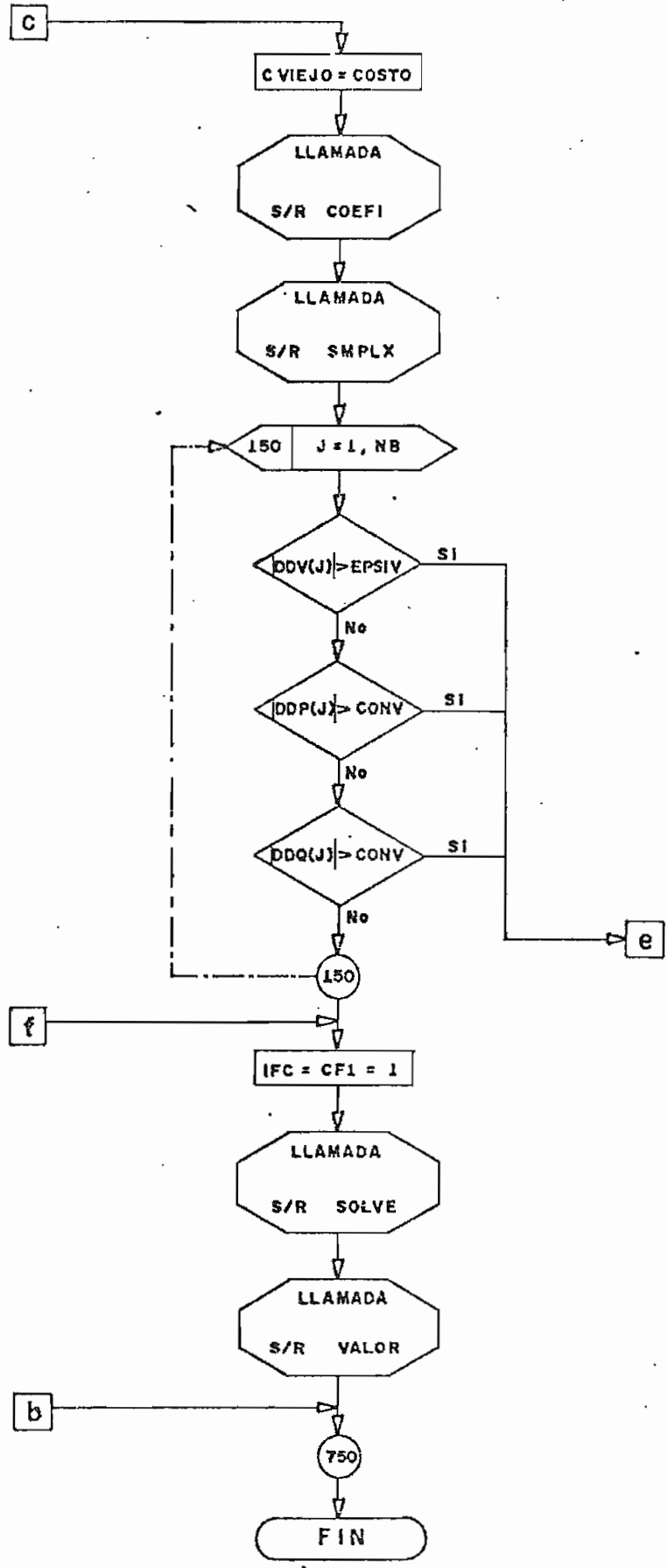
- SUBROUTINA VALOR : Calcula y escribe los costos de generación de cada unidad térmica y el costo total de generación, tanto para la condición inicial como para la condición final de operación del sistema.
- SUBROUTINA JACOB : Calcula el jacobiano completo del sistema en coordenadas polares; éste se almacena en forma de vector, tomando en cuenta únicamente a los elementos distintos de cero.
- SUBROUTINA EIGEN : Calcula los vectores característicos del jacobiano completo y de los jacobianos reducidos sin fila y columna $n+k$. El método utilizado es el de Eliminación de Gauss-Jordan. Esta subrutina fue desarrollada en la referencia 13.
- SUBROUTINA COEFI : Calcula los coeficientes de la función objetivo de costos, la cual va a ser minimizada, y los coeficientes de las dos restricciones de igualdad, mediante los vectores característicos calculados en la subrutina "EIGEN" y del jacobiano calculado en la subrutina "JACOB".
- SUBROUTINA SMPLX : Calcula la mínima variación del costo de generación, es decir, realiza la minimización de la función objetivo planteada anteriormente, la cual es lineal y está sujeta a varias restricciones de igualdad y desigualdad. La téc

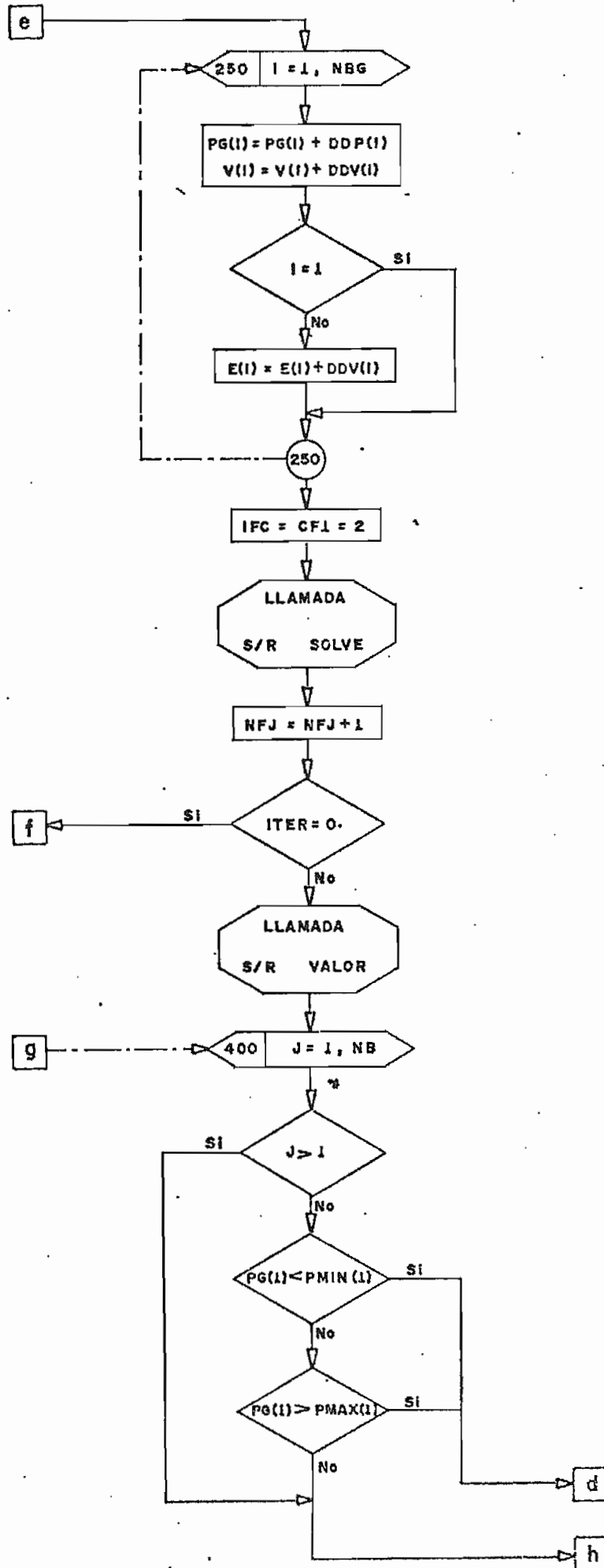
nica de programación lineal utilizada se trata del Método Simplex, el cual se basa en el algoritmo de Dantzing. Esta subrutina fue desarrollada en la referencia 15.

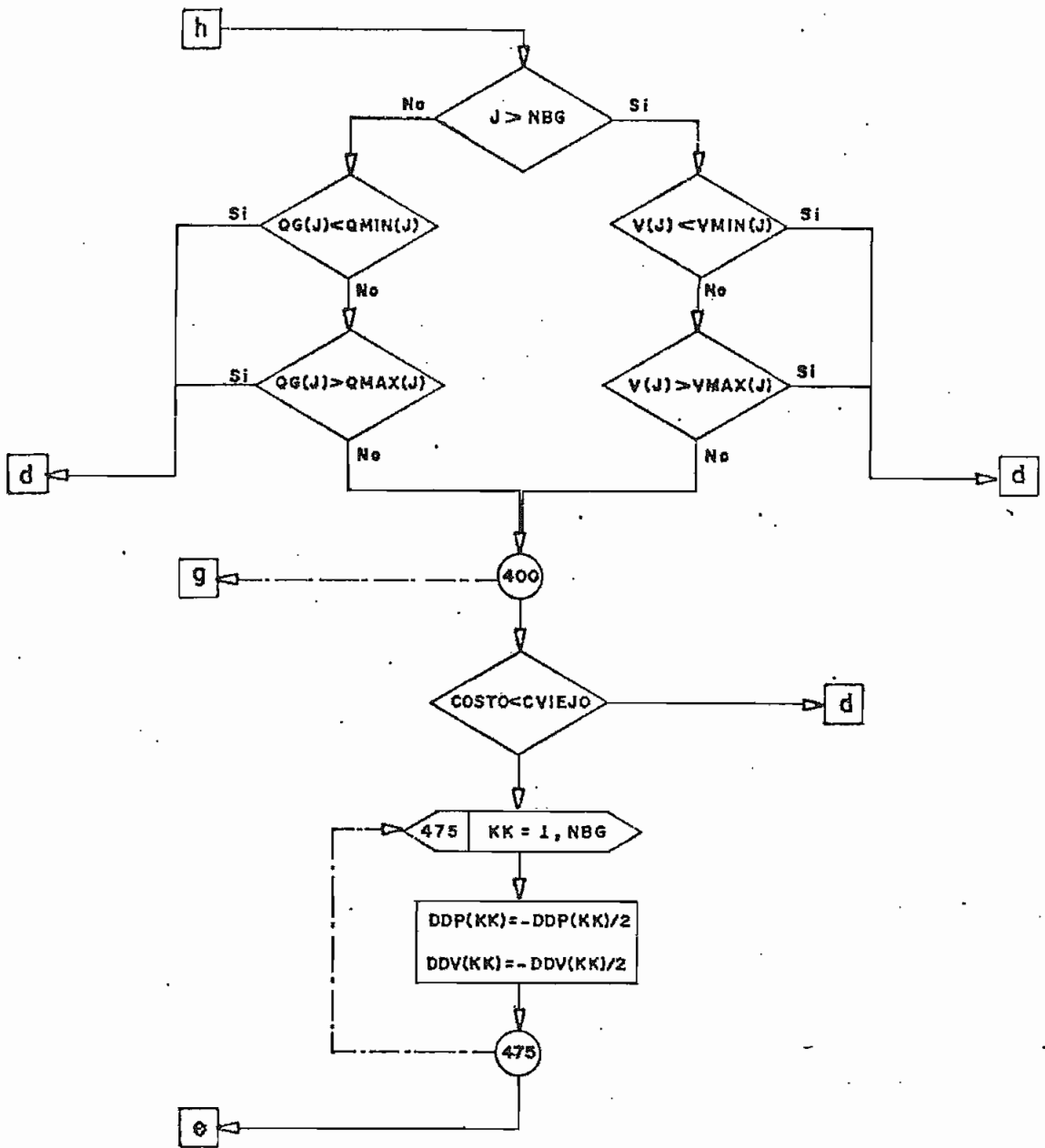
3.4. DIAGRAMA DE FLUJO

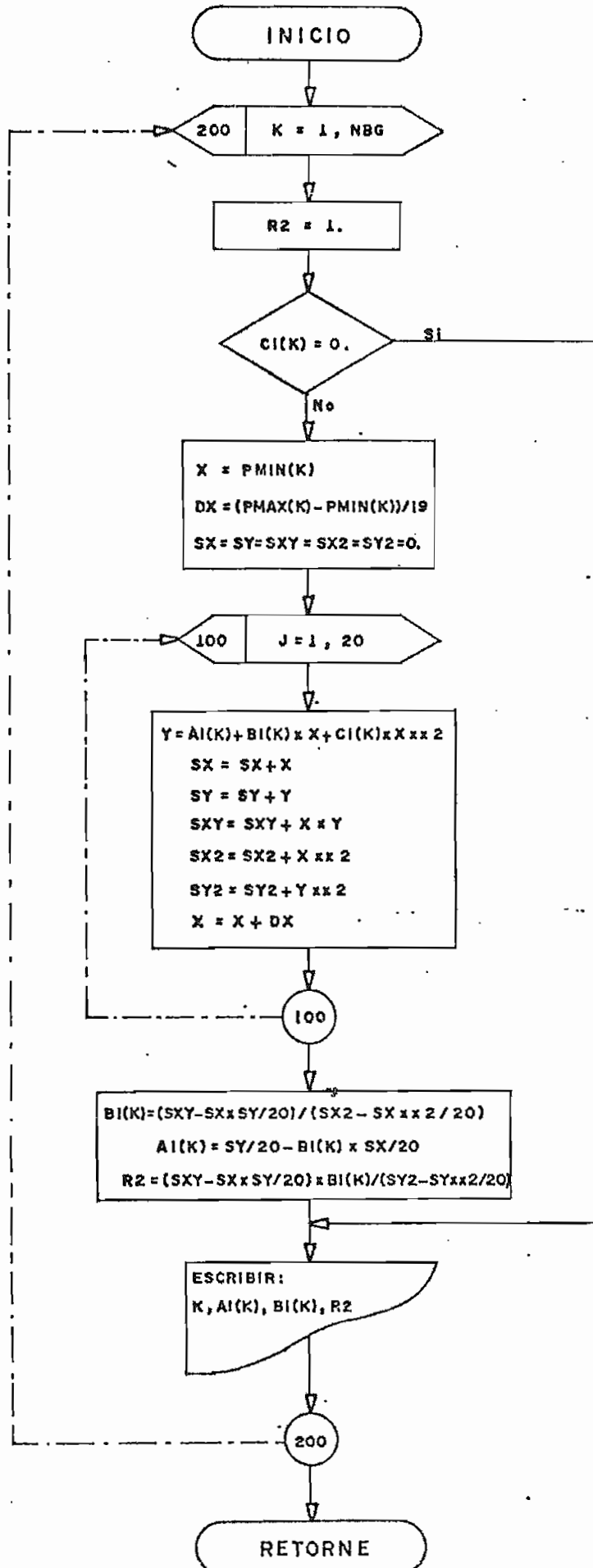
A continuación se presentan los diagramas de flujo, tanto del programa principal como de las subrutinas desarrolladas en esta tesis, lo cual permite visualizar en mejor forma los pasos seguidos en el programa digital.

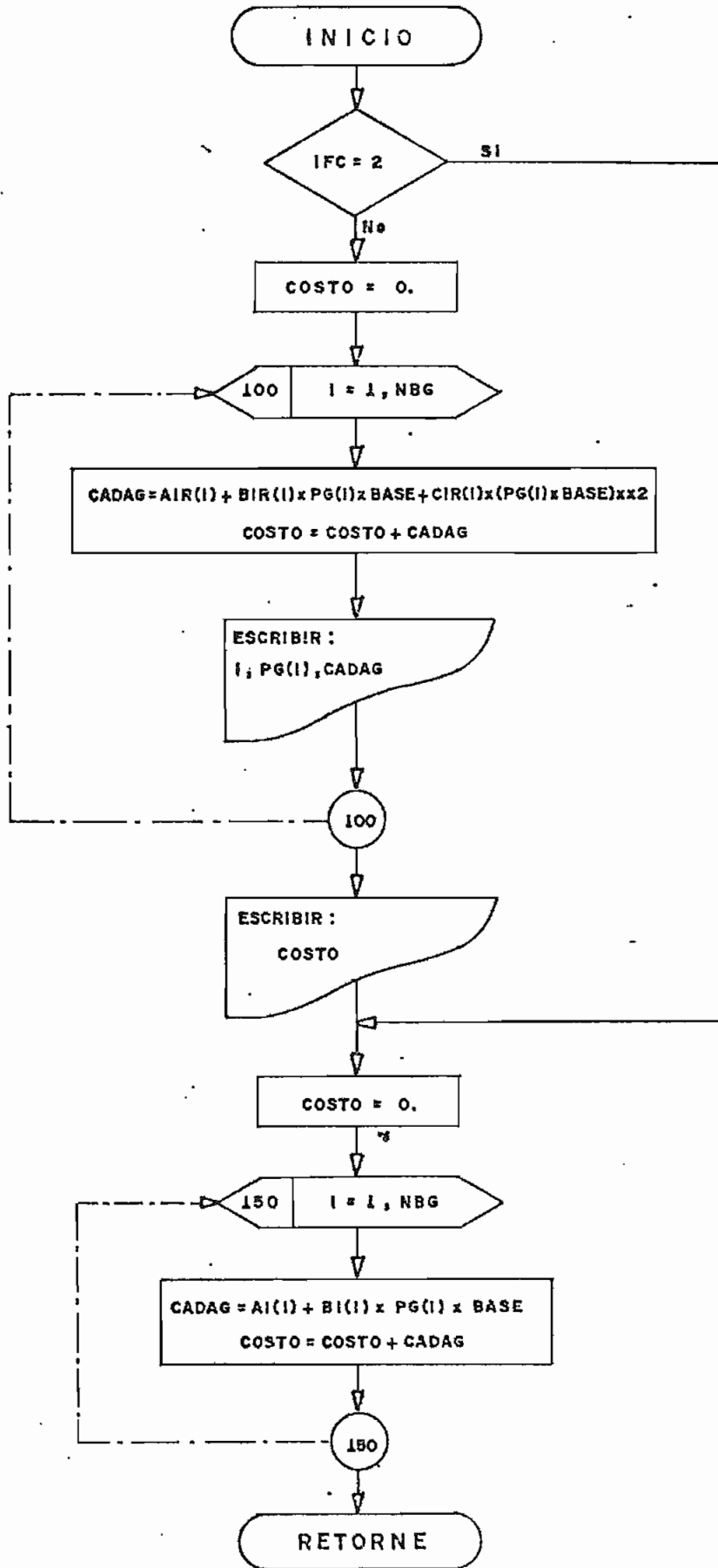


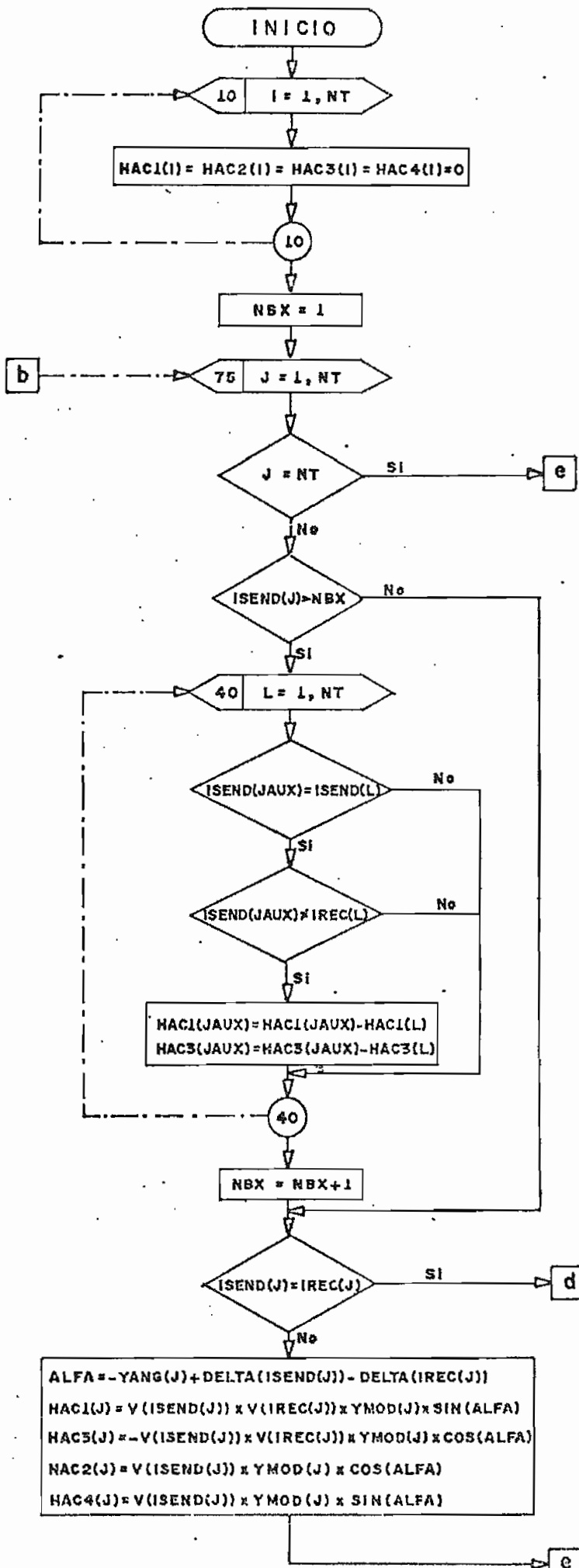


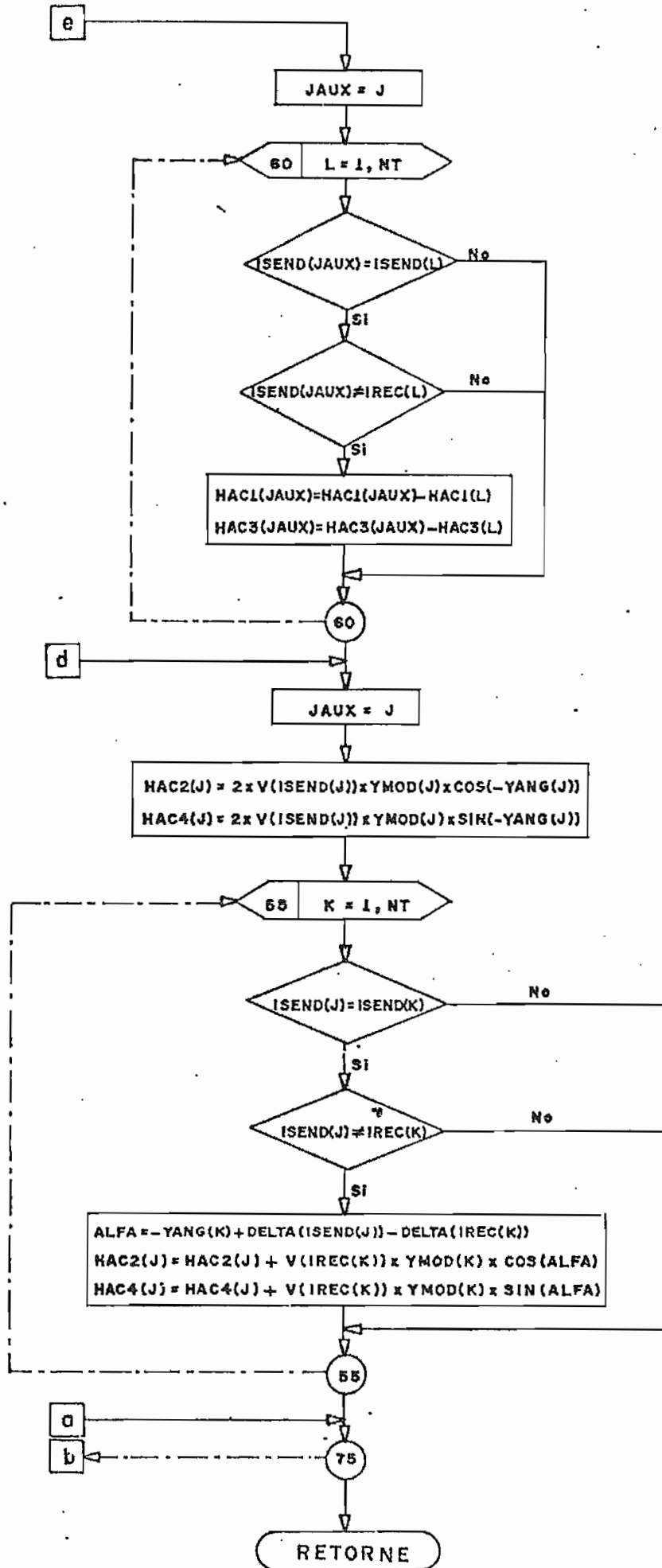


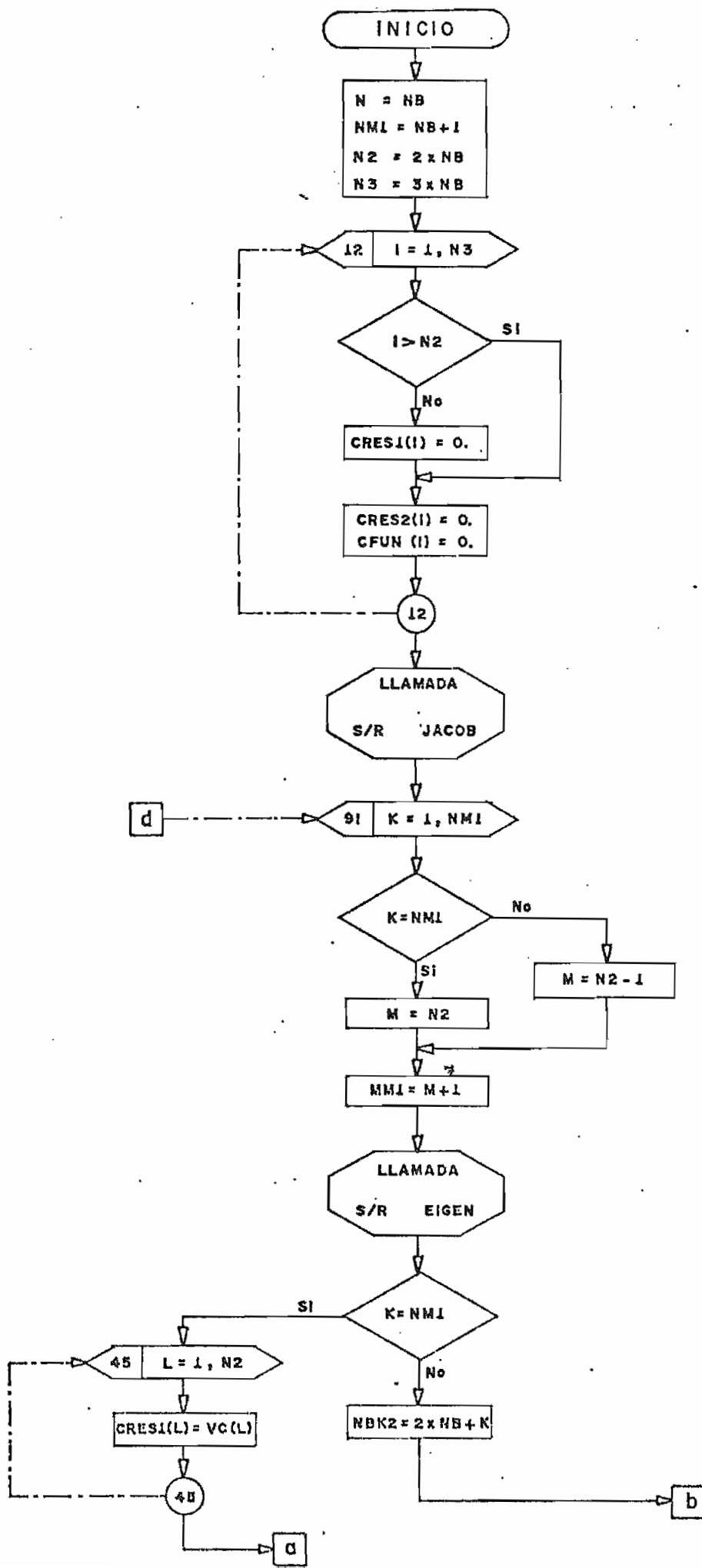


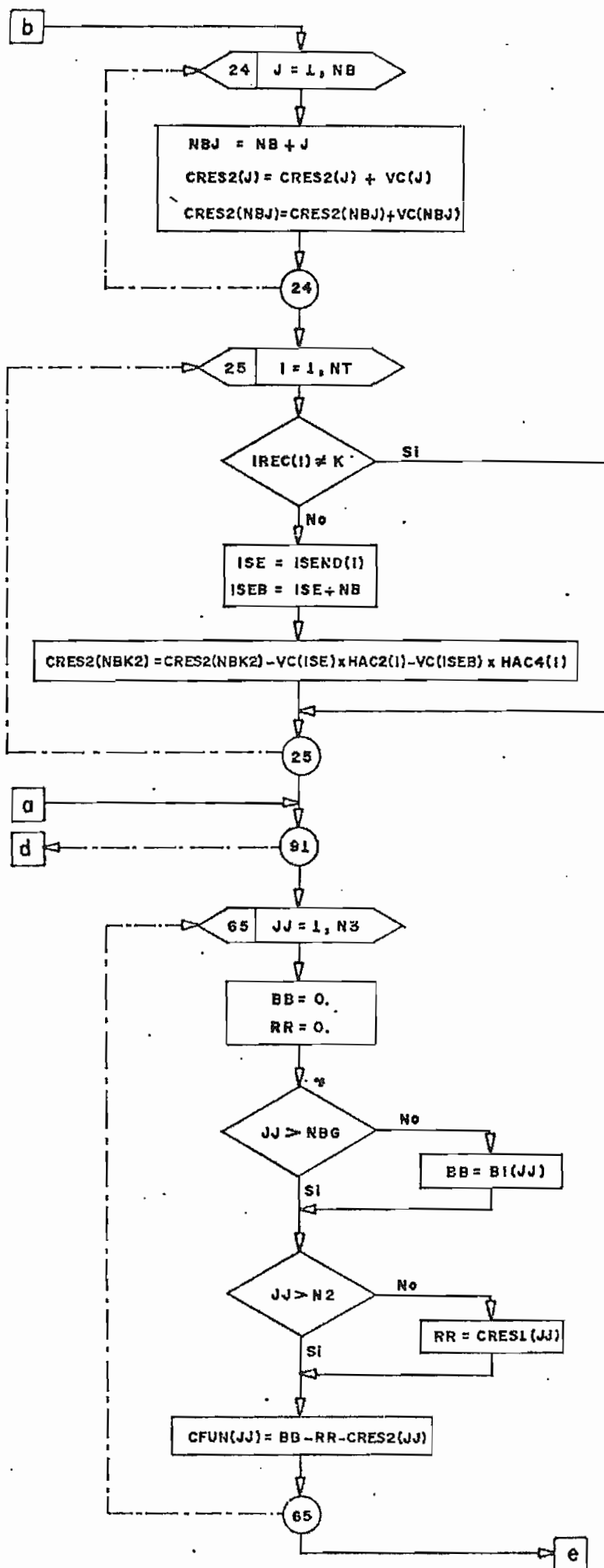


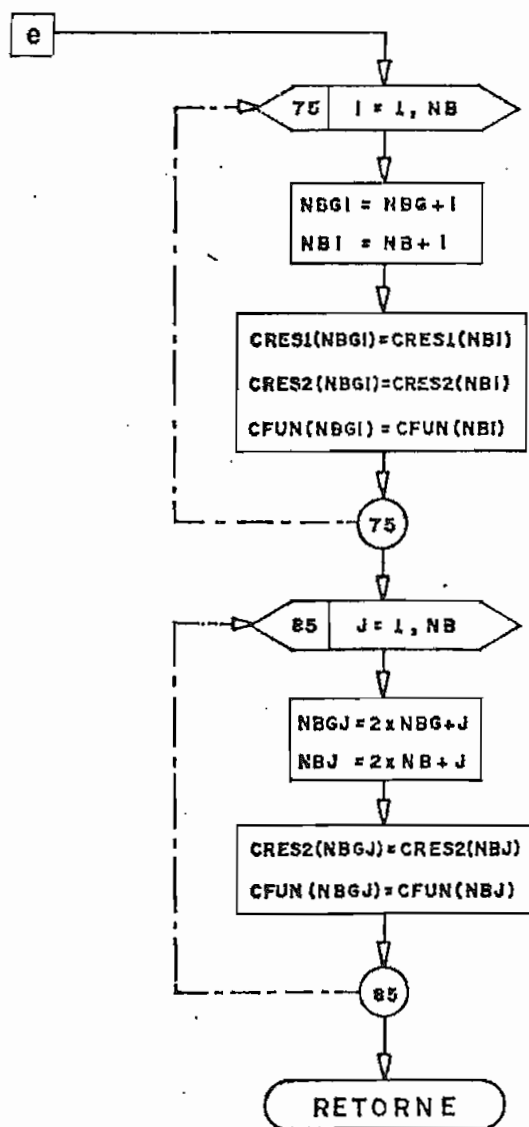












CAPITULO IV

A P L I C A C I O N E S

4.1. INTRODUCCION

A continuación se presentan varios ejemplos, los cuales ayudan a verificar la bondad del programa digital. Para una mejor comprensión, se detalla para cada ejemplo, lo siguiente:

- Diagrama unifilar del sistema.
- Características generales.
- Datos de líneas, transformadores, reactores, capacitores.
- Condiciones iniciales de operación.
- Datos de las barras de tensión controlada y slack.
- Límites de operación de cada generador.
- Datos de la función de costos de cada generador.
- Las hojas de codificación de los datos.

- Las hojas de resultados del programa digital.

4.2. EJEMPLOS DE APLICACION

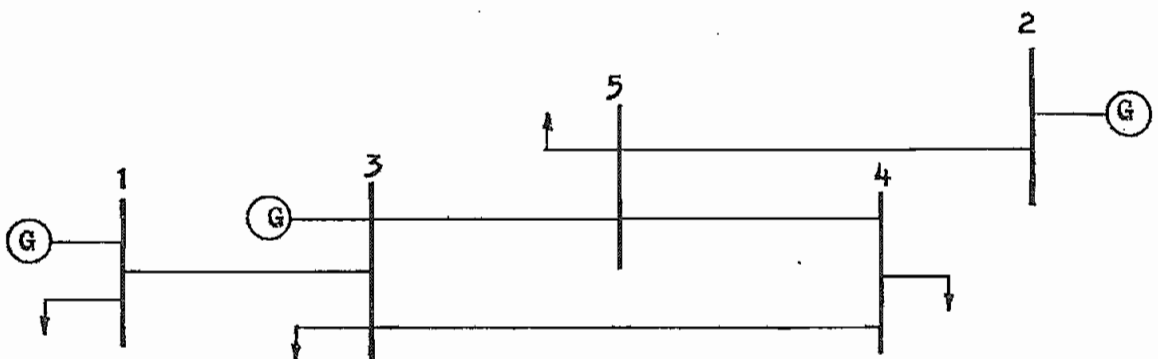
EJEMPLO 1.- Tomado de las referencias 6 y 7.

Características:

Sistema en anillo

| | |
|------------------------------|---------|
| Número de barras | 5 |
| Número de elementos | 5 |
| Barras de tensión controlada | 2 |
| Barras de carga | 2 |
| Número de la barra slack | 1 |
| Datos en | p.u. |
| Base | 100 MVA |
| Criterio de convergencia | 0.001 |

Diagrama Unifilar del Sistema



Datos de líneas y transformadores (p.u.)

| LINEA | RESISTENCIA | REACTANCIA | SUSCEPTANCIA |
|-------|-------------|------------|--------------|
| 1 - 3 | 0.030 | 0.103 | 0.0 |
| 2 - 5 | 0.106 | 0.403 | 0.0 |
| 3 - 4 | 0.080 | 0.262 | 0.0 |
| 3 - 5 | 0.105 | 0.347 | 0.0 |
| 4 - 5 | 0.033 | 0.118 | 0.0 |

Condiciones iniciales de operación

| BARRA TIPO | BARRA No. | VOLTAJE | GENERACION | | CARGA | |
|------------|-----------|---------|------------|-----------|---------|-----------|
| | | p.u. | p.u. MW | p.u. MVAR | p.u. MW | p.u. MVAR |
| S | 1 | 1.050 | 0.769 | 0.329 | 0.860 | 0.200 |
| T | 2 | 1.050 | 1.000 | 0.131 | | |
| T | 3 | 1.040 | 1.000 | 0.398 | 0.800 | 0.100 |
| C | 4 | 0.976 | | | 0.300 | 0.120 |
| C | 5 | 0.972 | | | 0.700 | 0.030 |

S: slack

T : tensión controlada

C : carga

Barras de tensión controlada y slack

| BARRA No | VOLTAJE (p. u.) | MVAR - mínimo | MVAR - máximo |
|----------|-----------------|---------------|---------------|
| 1 | 1.05 | -0.500 | 0.700 |
| 2 | 1.05 | 0.000 | 0.500 |
| 3 | 1.04 | 0.000 | 1.000 |

Límites de operación de los generadores

| BARRA No. | MW - mínimo | MW - máximo |
|-----------|-------------|-------------|
| 1 | 0.500 | 2.000 |
| 2 | 0.200 | 1.000 |
| 3 | 0.200 | 1.000 |

Datos de la función de costos

$$C_i = \mu_i + v_i * P_{Gi} + w_i * P_{Gi}^2$$

| GEN. DE BARRA | μ_i (\$/h) | v_i (\$/h.Mw) | w_i (\$/h.Mw ²) |
|---------------|----------------|-----------------|-------------------------------|
| 1 | 105.0 | 245.0 | 50.0 |
| 2 | 44.0 | 351.0 | 50.0 |
| 3 | 40,6 | 389.0 | 50.0 |

Datos de los criterios de convergencia

$$\text{CONV} = 0.001$$

$$\text{EPSI} = 0.01$$

$$\text{EPSIV} = 0.005$$

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
 DEPARTAMENTO DE POTENCIA
 TESIS DE GRADO
 REALIZADO POR: MARTO R. GONZÁLEZ Q.
 JULIO DE 1983

PROGRAMA DIGITAL PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN S.E.P.
 =====

SISTEMA DE ESTUDIO: SISTEMA TOMADO DE LAS REFERENCIAS 6 Y 7

-----> DATOS GENERALES REQUERIDOS PARA LA SOLUCIÓN DE FLUJOS DE CARGA

| NO. TOTAL DE BARRAS | NO. DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA | BARRA FLOTANTE | NO. DE LINEAS CAP/REAC SERIE | NO. DE CAP/REAC EN PARALELO | MVA. BASE | KV. BASE | CRITERIO DE CONVERGENCIA |
|---------------------|-------------------------------------|----------------|------------------------------|-----------------------------|-----------|----------|--------------------------|
| 5 | 2 | 1 | 5 | 0 | 1.000 | 1.000 | 0.0010 |

----- DATOS DE BARRAS

| BARRA NO. | TIPO DE BARRA | VOLTAJE MAGNITUD | POT ACTIVA GENERACION | POT REACTIVA GENERACION | POT ACTIVA CARGA | POT REACTIVA CARGA | VOLTAJE MAX EN LA BARRA | VOLTAJE MIN EN LA BARRA |
|-----------|---------------|------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | S | 1.05000 | 0.0 | 0.0 | 0.86000 | 0.20000 | 1.05000 | 0.95000 |
| 2 | T | 1.05000 | 1.00000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.05000 | 0.95000 |
| 3 | T | 1.04700 | 1.00000 | 0.0 | 0.80000 | 0.10000 | 1.04000 | 0.95000 |
| 4 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.30000 | 0.12000 | 1.05000 | 0.95000 |
| 5 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.70000 | 0.03000 | 1.05000 | 0.95000 |

----- 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 | 3 | 0.03000 | 0.10300 | 0.0 | | | | |
| 2 | 2 | 5 | 0.10600 | 0.44000 | 0.0 | | | | |
| 3 | 3 | 4 | 0.08000 | 0.26200 | 0.0 | | | | |
| 4 | 3 | 5 | 0.10500 | 0.34700 | 0.0 | | | | |
| 5 | 4 | 5 | 0.03300 | 0.11800 | 0.0 | | | | |

-----> DATOS REQUERIDOS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE LA ENERGÍA

| NO. DE BARRAS DE GENERACION | NO. DE ITER. DE FLUJOS | CRITERIO DE CONVERGENCIA DE LOS EIGEN VECTORES | CRITERIO DE CONVERGENCIA DEL VOLTAJE |
|-----------------------------|------------------------|--|--------------------------------------|
| 3 | 8 | 0.01000 | 0.00500 |

----- DATOS DE GENERADORES : COEFICIENTES DE COSTO Y RANGO DE GENERACION

| BARPA | TERMINO INDEPENDIENTE | COEFICIENTE DE PRIMER ORDEN | COEFICIENTE DE SEGUNDO ORDEN | PMIN DE GENERACION | PMAX DE GENERACION | QMIN DE GENERACION | QMAX DE GENERACION |
|-------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 105.00000 | 245.00000 | 50.00000 | 0.50000 | 2.00000 | -0.50000 | 0.70000 |
| 2 | 44.00000 | 351.00000 | 50.00000 | 0.20000 | 1.00000 | 0.0 | 0.50000 |
| 3 | 40.59999 | 369.00000 | 50.00000 | 0.20000 | 1.00000 | 0.0 | 1.00000 |

----- DATOS DE GENERADORES : COSTOS LINEALES DE GENERACION

| BARRA | TERMINO INDEPENDIENTE | COEFICIENTE DE PRIMER ORDEN | GRADO DE APROXIMACION |
|-------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 1 | 37.24413 | 370.00195 | 0.9970 |
| 2 | 26.94551 | 411.00249 | 0.9993 |
| 3 | 25.54422 | 449.00142 | 0.9974 |

*****> RESULTADOS OPTIMOS DE GENERACION

CONDICIONES INICIALES DE FLUJO DE CARGA

RESULTADOS

| BAR NO. | VOLTAJE KV | GRADOS | GENERACION MW | MVAR | Md CARGA MW | MVAR | CAP/REAC MVAR | DE BAR | A BAR | FLUJOS EN MW | LINEAS MVAR | PERDIDAS EN MW | LINEAS MVAR |
|----------------------|------------|--------|---------------|-------|-------------|-------|---------------|--------|-------|--------------|-------------|----------------|-------------|
| S 1 | 1.0500 | 0.0 | 0.769 | 0.329 | 0.860 | 0.200 | 0.0 | 1 | 3 | -0.091 | 0.129 | 0.001 | 0.072 |
| Y 2 | 1.0500 | 24.205 | 1.000 | 0.131 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2 | 5 | 1.000 | 0.131 | 0.098 | 0.372 |
| | | | | | | | | 3 | 1 | 0.092 | -0.127 | 0.001 | 0.072 |
| T 3 | 1.0400 | 0.698 | 1.000 | 0.398 | 0.800 | 0.100 | 0.0 | 3 | 4 | 0.103 | 0.223 | 0.004 | 0.015 |
| | | | | | | | | 3 | 5 | 0.005 | 0.202 | 0.004 | 0.013 |
| C 4 | 0.9759 | 0.185 | 0.0 | 0.0 | 0.300 | 0.120 | 0.0 | 4 | 3 | -0.098 | -0.239 | 0.004 | 0.015 |
| | | | | | | | | 4 | 5 | -0.202 | 0.089 | 0.002 | 0.026 |
| C 5 | 0.9724 | 1.799 | 0.0 | 0.0 | 0.700 | 0.030 | 0.0 | 5 | 2 | -0.902 | 0.241 | 0.098 | 0.372 |
| | | | | | | | | 5 | 3 | -0.001 | -0.189 | 0.004 | 0.013 |
| | | | | | | | | 5 | 4 | 0.203 | -0.083 | 0.002 | 0.026 |
| TOTAL GENERACION: | | | | | MW | MVAR | | | | | | | |
| TOTAL MVAR CAP/REAC: | | | | | 2.769 | 0.858 | | | | | | | |
| TOTAL CARGA: | | | | | 2.660 | 0.450 | | | | | | | |
| TOTAL PERDIDAS: | | | | | 0.109 | 0.408 | | | | | | | |

CONVERGE EN 3.5 ITERACIONES

COSTOS INICIALES DE GENERACION

| GENERADOR | POTENCIA GENERADA | COSTO DE CADA GENERADOR/MW*H |
|--------------|-------------------|------------------------------|
| EN BARRA # 1 | 0.76858 | 322.83740 |
| EN BARRA # 2 | 1.00000 | 445.00000 |
| EN BARRA # 3 | 1.00000 | 479.59985 |

COSTO TOTAL = 1247.43726

CONDICIONES FINALES DE FLUJO DE CARGA

RESULTADOS

| BAR NO. | VOLTAJE | | GENERACION | | CARGA | | CAP/REAC MVAR | DE BAR | A BAR | FLUJOS EN LINEAS | | PERDIDAS EN LINEAS | |
|---------|---------|--------|------------|-------|-------|-------|------------------|--------|-------|------------------|--------|--------------------|-------|
| | KV | GRADOS | MW | MVAR | MW | MVAR | | | | MW | MVAR | MW | MVAR |
| S 1 | 1.0500 | 0.0 | 1.773 | 0.078 | 0.860 | 0.200 | 0.0 | 1 | 3 | 0.913 | -0.122 | 0.023 | 0.079 |
| T 2 | 1.0500 | 9.414 | 0.734 | 0.080 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2 | 5 | 0.733 | 0.080 | 0.052 | 0.199 |
| T 3 | 1.0400 | -5.135 | 0.238 | 0.597 | 0.800 | 0.100 | 0.0 | 3 | 1 | -0.890 | 0.201 | 0.023 | 0.079 |
| | | | | | | | | 3 | 4 | 0.207 | 0.164 | 0.005 | 0.017 |
| | | | | | | | | 3 | 5 | 0.121 | 0.133 | 0.003 | 0.010 |
| C 4 | 0.9837 | -7.442 | 0.0 | 0.0 | 0.300 | 0.120 | 0.0 | 4 | 3 | -0.202 | -0.147 | 0.005 | 0.017 |
| | | | | | | | | 4 | 5 | -0.098 | 0.027 | 0.000 | 0.001 |
| C 5 | 0.9838 | -6.705 | 0.0 | 0.0 | 0.700 | 0.030 | 0.0 | 5 | 2 | -0.681 | 0.115 | 0.052 | 0.199 |
| | | | | | | | | 5 | 3 | -0.118 | -0.122 | 0.003 | 0.010 |
| | | | | | | | | 5 | 4 | 0.098 | -0.025 | 0.000 | 0.001 |

| | | |
|----------------------|-------|-------|
| TOTAL GENERACION: | MW | MVAR |
| TOTAL MVAR CAP/REAC: | 2.745 | 0.756 |
| TOTAL CARGA: | 2.660 | 0.450 |
| TOTAL PERDIDAS: | 0.084 | 0.306 |

---CONVERGE EN 0.0 ITERACIONES

COSTOS FINALES DE GENERACION

| GENERADOR | POTENCIA GENERADA | COSTO DE CADA GENERADOR/HORA |
|--------------|-------------------|------------------------------|
| EN BARRA # 1 | 1.77344 | 696.74707 |
| EN BARRA # 2 | 0.73359 | 328.39917 |
| EN BARRA # 3 | 0.23763 | 135.86269 |

COSTO TOTAL = 1161.00879

Características:

| | |
|------------------------------|---------|
| Sistema en anillo | |
| Número de barras | 14 |
| Número de elementos | 21 |
| Barras de tensión controlada | 4 |
| Barras de carga | 8 |
| Número de la barra slack | 1 |
| Datos en | p.u. |
| Base | 100 MVA |
| Criterio de convergencia | 0.01 |

Datos de líneas y transformadores (p. u.)

| LINEA | RESISTENCIA | REACTANCIA | SUSCEPTANCIA |
|-------|-------------|------------|--------------|
| 1-5 | 0.0 | 0,23488 | 0.0 |
| 1-11 | 0.09498 | 0.19890 | 0.0 |
| 1-12 | 0.12291 | 0.25581 | 0.0 |
| 1-13 | 0.06615 | 0.13027 | 0.0 |
| 2-3 | 0.01938 | 0.05917 | 0.02640 |
| 2-4 | 0.05811 | 0.17632 | 0.01870 |
| 2-5 | 0.05695 | 0.17388 | 0.01700 |
| 2-6 | 0.04699 | 0.19794 | 0.02190 |
| 3-5 | 0.05403 | 0.22305 | 0.02460 |
| 4-5 | 0.01335 | 0.04211 | 0.00640 |
| 4-6 | 0.06701 | 0.17103 | 0.01730 |
| 4-7 | 0.0 | 0.20452 | 0.0 |
| 4-9 | 0.0 | 0.53894 | 0.0 |
| 7-8 | 0.0 | 0.17615 | 0.0 |
| 7-9 | 0.0 | 0.11001 | 0.0 |
| 9-10 | 0.03181 | 0.08459 | 0.0 |
| 9-14 | 0.12711 | 0.27038 | 0.0 |
| 10-11 | 0.08205 | 0.19207 | 0.0 |
| 12-13 | 0.22092 | 0.19988 | 0.0 |
| 13-14 | 0.17093 | 0.34802 | 0.0 |

Condiciones iniciales de operación

| BARRA TIPO | BARRA No. | VOLTAJE p.u. | GENERACION | | CARGA | |
|---------------|--------------|-----------------|------------|-----------|---------|-----------|
| | | | p.u. MW | p.u. MVAR | p.u. MW | p.u. MVAR |
| S | 1 | 1.070 | 0.858 | 0.273 | 0.112 | 0.075 |
| T | 2 | 1.045 | 1.000 | -0.102 | 0.217 | 0.127 |
| T | 3 | 1.060 | 0.800 | 0.088 | | |
| C | 4 | 1.038 | | | 0.478 | -0.039 |
| C | 5 | 1.046 | | | 0.076 | 0.016 |
| T | 6 | 1.010 | | 0.144 | 0.942 | 0.190 |
| C | 7 | 1.055 | | | | |
| T | 8 | 1.090 | | 0.269 | | |
| C | 9 | 1.042 | | | 0.295 | 0.166 |
| C | 10 | 1.038 | | | 0.090 | 0.058 |
| C | 11 | 1.049 | | | 0.035 | 0.018 |
| C | 12 | 1.054 | | | 0.061 | 0.016 |
| C | 13 | 1.047 | | | 0.135 | 0.058 |
| C | 14 | 1.025 | | | 0.149 | 0.050 |

S : slack

T : tensión controlada

C : carga

Barras de tensión controlada y slack

| BARRA No. | VOLTAJE (p. u.) | MVAR - mínimo | MVAR - máximo |
|-----------|-----------------|---------------|---------------|
| 1 | 1.070 | -0.600 | 1.000 |
| 2 | 1.045 | -0.500 | 1.000 |
| 3 | 1.060 | -0.500 | 0.700 |
| 6 | 1.010 | -0.500 | 1.000 |
| 8 | 1.090 | -0.600 | 1.000 |

Límites de operación de los generadores

| BARRA No. | MW - mínimo | MW - máximo |
|-----------|-------------|-------------|
| 1 | 0.200 | 1.000 |
| 2 | 0.200 | 1.000 |
| 3 | 0.500 | 2.000 |

Datos del capacitor - paralelo (p.u.)

| BARRA No. | SUSCEPTANCIA |
|-----------|--------------|
| 9 | - 0.190 |

Datos de la función de costos

$$C_i = \mu_i + v_i * P_{Gi} + w_i * P_{Gi}^2$$

| GEN. DE BARRA | μ_i (\$/h) | v_i (\$/h.Mw) | w_i (\$/h.Mw ²) |
|---------------|----------------|-----------------|-------------------------------|
| A | 40.6 | 389.0 | 50.0 |
| B | 44.0 | 351.0 | 50.0 |
| C | 105.0 | 245.0 | 50.0 |

Datos de los criterios de convergencia

$$\text{CONV} = 0.01$$

$$\text{EPSI} = 0.01$$

$$\text{EPSIV} = 0.005$$

SISTEMA DE LINEAS: SISTEMA A. S. P. - 10.000.000 DE 14 BARRAS

===== DATOS GENERALES REQUERIDOS PARA LA SOLUCION DE FLUJOS DE CARGA

| NO. TOTAL DE BARRAS | NO. DE BARRAS DE CARGA CON BARRADA | BARRA ELICITANTE | NO. DE LINEAS CAP/REAC SERIE | NO. DE CAP/REAC EN PARALELO | MVA. BASE | KV. BASE | CRITERIO DE CONVERGENCIA |
|---------------------|------------------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------|----------|--------------------------|
| 14 | 4 | 1 | 20 | 1 | 1.000 | 1.000 | 0.0100 |

----- DATOS DE BARRAS

| BARRA NO. | TIPO DE BARRA | VOLTAJE MAGNITUD | POT ACTIVA GENERACION | POT REACTIVA GENERACION | POT ACTIVA CARGA | POT REACTIVA CARGA | VOLTAJE MAX EN LA BARRA | VOLTAJE MIN EN LA BARRA |
|-----------|---------------|------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | S | 1.07000 | 0.0 | 0.0 | 0.11700 | 0.07500 | 1.07000 | 0.95000 |
| 2 | T | 1.04500 | 1.00000 | 0.0 | 0.21700 | 0.12700 | 1.05000 | 0.90000 |
| 3 | T | 1.06000 | 0.80000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.06000 | 0.95000 |
| 4 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.05000 | 0.95000 |
| 5 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.47000 | -0.03000 | 1.05000 | 0.95000 |
| 6 | T | 1.01000 | 0.0 | 0.0 | 0.07500 | 0.01500 | 1.05000 | 0.95000 |
| 7 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.94200 | 0.19000 | 1.05000 | 0.95000 |
| 8 | T | 1.09000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.06000 | 0.95000 |
| 9 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.05000 | 0.95000 |
| 10 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.29500 | 0.16600 | 1.05000 | 0.95000 |
| 11 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.03000 | 0.05000 | 1.05000 | 0.95000 |
| 12 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.03500 | 0.01000 | 1.05000 | 0.95000 |
| 13 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.06000 | 0.01000 | 1.05000 | 0.95000 |
| 14 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.13500 | 0.05000 | 1.05000 | 0.95000 |

----- DATOS DE LINEAS, TRANSFORMADORES Y/O CAP/REACTORES

| NO. | BAR P | BAR C | RESISTEN | REACTANC | SUSCEPTAN | MVA T | TAP P | TAP C | CAP/REAC |
|-----|-------|-------|----------|----------|-----------|-------|-------|-------|----------|
| 1 | 1 | 5 | 0.0 | 0.23488 | 0.0 | | | | |
| 2 | 1 | 11 | 0.09499 | 0.19850 | 0.0 | | | | |
| 3 | 1 | 12 | 0.12291 | 0.25581 | 0.0 | | | | |
| 4 | 1 | 13 | 0.06115 | 0.13127 | 0.0 | | | | |
| 5 | 2 | 3 | 0.01638 | 0.05717 | 0.02640 | | | | |
| 6 | 2 | 4 | 0.05811 | 0.17632 | 0.01970 | | | | |
| 7 | 2 | 5 | 0.05853 | 0.17358 | 0.02170 | | | | |
| 8 | 3 | 6 | 0.04899 | 0.10764 | 0.02190 | | | | |
| 9 | 3 | 7 | 0.05403 | 0.22305 | 0.02450 | | | | |
| 10 | 4 | 8 | 0.01335 | 0.04211 | 0.00440 | | | | |
| 11 | 4 | 9 | 0.06701 | 0.17103 | 0.01730 | | | | |
| 12 | 4 | 7 | 0.0 | 0.20452 | 0.0 | | | | |
| 13 | 4 | 9 | 0.0 | 0.53854 | 0.0 | | | | |
| 14 | 7 | 8 | 0.0 | 0.17615 | 0.0 | | | | |
| 15 | 7 | 9 | 0.0 | 0.11701 | 0.0 | | | | |
| 16 | 9 | 10 | 0.03181 | 0.08459 | 0.0 | | | | |
| 17 | 9 | 14 | 0.12711 | 0.27033 | 0.0 | | | | |
| 18 | 10 | 11 | 0.08205 | 0.14207 | 0.0 | | | | |
| 19 | 12 | 13 | 0.22092 | 0.19588 | 0.0 | | | | |
| 20 | 13 | 14 | 0.17093 | 0.34802 | 0.0 | | | | |
| 21 | 9 | 9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.190 |

===== DATOS REQUERIDOS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCION DE LA ENERGIA

| NO. DE BARRAS DE GENERACION | NO. DE ITER. DE FLUJOS | CRITERIO DE CONVERGENCIA DE LOS FIGEN VECTORES | CRITERIO DE CONVERGENCIA DEL VOLTAJE |
|-----------------------------|------------------------|--|--------------------------------------|
| 3 | 8 | 0.01000 | 0.00500 |

----- DATOS DE GENERADORES : COEFICIENTES DE COSTO Y RANGO DE GENERACION

| BARRA | TERMINO INDEPENDIENTE | COEFICIENTE DE PRIMER ORDEN | COEFICIENTE DE SEGUNDO ORDEN | P MIN DE GENERACION | P MAX DE GENERACION | Q MIN DE GENERACION | Q MAX DE GENERACION |
|-------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 40.50000 | 389.00000 | 50.00000 | 0.20000 | 1.00000 | -0.60000 | 1.00000 |
| 2 | 44.00000 | 351.00000 | 50.00000 | 0.20000 | 1.00000 | -0.50000 | 1.00000 |
| 3 | 105.00000 | 245.00000 | 50.00000 | 0.50000 | 2.00000 | -0.50000 | 0.70000 |
| 6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.50000 | 1.00000 |
| 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.60000 | 1.00000 |

----- DATOS DE GENERADORES : COSTOS LINEALES DE GENERACION

| BARRA | TERMINO INDEPENDIENTE | COEFICIENTE DE PRIMER ORDEN | RANGO DE APROXIMACION |
|-------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 1 | 25.54400 | 449.03147 | 0.00000 |
| 2 | 28.44400 | 411.01200 | 0.00000 |
| 3 | 37.01400 | 370.00000 | 0.00000 |

***** N° MILLAROS DE BARRAS DE GENERACION

CONDICIONES INICIALES DE FLUJO DE CARGA

RESULTADOS

| BAR NO. | VOLTAJE KV | GRADUS | GENERACION | | CARGA | | CAP/REAC MVAR | DE A PAR BAR | FLUJOS EN LINEAS | | PERDIDAS EN LINEAS | |
|---------|------------|--------|------------|--------|-------|--------|---------------|--------------|------------------|--------|--------------------|--------|
| | | | MW | MVAR | MW | MVAR | | | MW | MVAR | MW | MVAR |
| S 1 | 1.0700 | 0.0 | 0.858 | 0.273 | 0.112 | 0.075 | 0.0 | 1 5 | 0.148 | 0.112 | 0.0 | 0.007 |
| | | | | | | | | 1 11 | 0.348 | 0.037 | 0.005 | 0.010 |
| | | | | | | | | 1 12 | 0.093 | 0.072 | 0.001 | 0.002 |
| | | | | | | | | 1 13 | 0.263 | 0.057 | 0.004 | 0.008 |
| T 2 | 1.0450 | 0.611 | 1.000 | -0.102 | 0.217 | 0.127 | 0.0 | 2 3 | -0.472 | -0.119 | 0.004 | -0.017 |
| | | | | | | | | 2 4 | 0.342 | -0.091 | 0.005 | 0.004 |
| | | | | | | | | 2 5 | 0.237 | -0.087 | 0.003 | -0.009 |
| | | | | | | | | 2 6 | 0.637 | 0.058 | 0.018 | 0.051 |
| T 3 | 1.0600 | 1.952 | 0.300 | 0.058 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3 2 | 0.477 | 0.103 | 0.004 | -0.017 |
| | | | | | | | | 3 5 | 0.323 | -0.014 | 0.005 | -0.007 |
| C 4 | 1.0370 | -3.103 | 0.0 | 0.0 | 0.478 | -0.039 | 0.0 | 4 2 | -0.374 | 0.085 | 0.008 | 0.004 |
| | | | | | | | | 4 5 | -0.519 | 0.005 | 0.005 | 0.008 |
| | | | | | | | | 4 6 | 0.330 | 0.039 | 0.007 | -0.001 |
| | | | | | | | | 4 7 | 0.118 | -0.083 | 0.0 | 0.004 |
| C 5 | 1.0459 | -1.731 | 0.0 | 0.0 | 0.076 | 0.016 | 0.0 | 4 9 | 0.068 | -0.006 | 0.0 | 0.002 |
| | | | | | | | | 5 1 | -0.148 | -0.105 | 0.0 | 0.007 |
| | | | | | | | | 5 2 | -0.234 | 0.078 | 0.003 | -0.009 |
| | | | | | | | | 5 3 | -0.318 | 0.006 | 0.005 | -0.007 |
| T 6 | 1.0100 | -6.070 | 0.0 | 0.144 | 0.942 | 0.190 | 0.0 | 5 4 | 0.624 | 0.001 | 0.005 | 0.008 |
| | | | | | | | | 6 2 | -0.619 | -0.007 | 0.018 | 0.051 |
| | | | | | | | | 6 4 | -0.323 | -0.039 | 0.007 | -0.001 |
| | | | | | | | | 7 4 | -0.118 | 0.087 | 0.0 | 0.004 |
| C 7 | 1.0546 | -4.422 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7 8 | 0.0 | -0.212 | 0.0 | 0.007 |
| | | | | | | | | 7 9 | 0.118 | 0.125 | 0.0 | 0.003 |
| | | | | | | | | 8 7 | 0.0 | 0.219 | 0.0 | 0.007 |
| C 9 | 1.0416 | -5.737 | 0.0 | 0.0 | 0.295 | 0.166 | -0.236 | 9 4 | -0.068 | 0.008 | 0.0 | 0.002 |
| | | | | | | | | 9 7 | -0.118 | -0.122 | 0.0 | 0.003 |
| | | | | | | | | 9 10 | -0.118 | 0.088 | 0.001 | 0.001 |
| | | | | | | | | 9 14 | -0.005 | 0.066 | 0.001 | 0.001 |
| C 10 | 1.0377 | -4.430 | 0.0 | 0.0 | 0.090 | 0.059 | 0.0 | 11 9 | 0.105 | -0.086 | 0.001 | 0.001 |
| | | | | | | | | 11 11 | -0.195 | 0.029 | 0.003 | 0.007 |
| C 11 | 1.0486 | -2.343 | 0.0 | 0.0 | 0.035 | 0.018 | 0.0 | 11 1 | -0.233 | 0.003 | 0.005 | 0.010 |
| | | | | | | | | 11 10 | 0.198 | -0.022 | 0.003 | 0.007 |
| C 12 | 1.0536 | -1.128 | 0.0 | 0.0 | 0.061 | 0.014 | 0.0 | 12 1 | -0.096 | -0.023 | 0.001 | 0.002 |
| | | | | | | | | 12 13 | 0.035 | -0.005 | 0.003 | 0.003 |
| C 13 | 1.0473 | -1.558 | 0.0 | 0.0 | 0.135 | 0.058 | 0.0 | 13 1 | -0.258 | -0.048 | 0.004 | 0.008 |
| | | | | | | | | 13 12 | -0.315 | 0.016 | 0.003 | 0.000 |
| | | | | | | | | 13 14 | 0.159 | -0.007 | 0.004 | 0.008 |
| C 14 | 1.0251 | -4.571 | 0.0 | 0.0 | 0.149 | 0.050 | 0.0 | 14 9 | 0.076 | -0.065 | 0.001 | 0.001 |
| | | | | | | | | 14 13 | -0.155 | 0.015 | 0.004 | 0.008 |

TOTAL GENERACION: MW 2.658 MVAR 3.623
 TOTAL MVAR CAP/REAC: -0.236
 TOTAL CARGA: MW 2.530 MVAR 0.739
 TOTAL PERDIDAS: MW 0.068 MVAR 0.092

CONVERGE EN 4.5 ITERACIONES

COSTOS INICIALES DE GENERACION

| GENERADORA | POTENCIA GENERADA | COSTO DE CADA GENERADORA |
|--------------|-------------------|--------------------------|
| EN BARRA # 1 | 0.85763 | 411.13501 |
| EN BARRA # 2 | 1.00000 | 445.00000 |
| EN BARRA # 3 | 0.80000 | 332.99751 |

COSTO TOTAL = 1190.13252

INDICADORES FINALES DE FLUJO DE CARGA

RESULTADOS

| BAR NO. | VOLTAJE | | GENERACION | | CARGA | | CAP/REAC MVAR | DE BARRA A BARRA | FLUJOS EN LINEAS | | PERDIDAS EN LINEAS | |
|----------------------|---------|--------|------------|--------|-------|--------|------------------|------------------|------------------|--------|--------------------|--------|
| | KV | OPACUS | MW | MVAR | MW | MVAR | | | MW | MVAR | MW | MVAR |
| S 1 | 1.0700 | 0.0 | 0.228 | 0.351 | 0.112 | 0.375 | 0.0 | 1 5 | -0.387 | 0.144 | 0.0 | 0.021 |
| | | | | | | | | 1 11 | 0.118 | 0.035 | 0.001 | 0.003 |
| | | | | | | | | 1 12 | 0.044 | 1.024 | 0.011 | 0.002 |
| | | | | | | | | 1 13 | 0.200 | 0.073 | 0.001 | 0.005 |
| T 2 | 1.0500 | 6.907 | 0.470 | 0.375 | 0.217 | 0.127 | 0.0 | 2 3 | -1.308 | 0.289 | 0.032 | 0.047 |
| | | | | | | | | 2 4 | 0.537 | -0.061 | 0.014 | 0.021 |
| | | | | | | | | 2 5 | 0.361 | -0.058 | 0.037 | 0.002 |
| | | | | | | | | 2 6 | 0.697 | 0.077 | 0.021 | 0.065 |
| T 3 | 1.0600 | 11.200 | 2.000 | -0.257 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3 2 | 1.340 | -0.222 | 0.032 | 0.067 |
| | | | | | | | | 3 5 | 0.660 | -0.035 | 0.021 | 0.059 |
| | | | | | | | | 4 2 | -0.493 | 0.082 | 0.014 | 0.031 |
| | | | | | | | | 4 5 | -0.625 | 0.051 | 0.005 | 0.009 |
| C 4 | 1.0342 | 2.329 | 0.0 | 0.0 | 0.473 | -0.039 | 0.0 | 4 6 | 0.270 | 0.036 | 0.005 | 0.006 |
| | | | | | | | | 4 7 | 0.235 | -0.107 | 0.0 | 0.013 |
| | | | | | | | | 4 9 | 0.135 | -0.023 | 0.0 | 0.009 |
| | | | | | | | | 5 1 | 0.287 | -0.123 | 0.0 | 0.021 |
| C 5 | 1.0404 | 3.470 | 0.0 | 0.0 | 0.076 | 0.016 | 0.0 | 5 2 | -0.354 | 0.060 | 0.007 | 0.032 |
| | | | | | | | | 5 3 | -0.439 | 0.095 | 0.021 | 0.059 |
| | | | | | | | | 5 4 | 0.630 | -0.043 | 0.005 | 0.009 |
| | | | | | | | | 6 2 | -0.676 | -0.012 | 0.021 | 0.065 |
| T 6 | 1.0100 | -0.342 | 0.0 | 0.126 | 0.942 | 0.190 | 0.0 | 6 4 | -0.266 | -0.042 | 0.005 | -0.006 |
| | | | | | | | | 7 4 | -0.235 | 0.120 | 0.0 | 0.013 |
| C 7 | 1.0565 | -0.438 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7 8 | 0.0 | -0.201 | 0.0 | 0.006 |
| | | | | | | | | 7 9 | 0.235 | 0.081 | 0.0 | 0.006 |
| | | | | | | | | 8 7 | 0.0 | 0.208 | 0.0 | 0.006 |
| C 9 | 1.0483 | -1.624 | 0.0 | 0.0 | 0.295 | 0.166 | -0.209 | 9 4 | -0.135 | 0.032 | 0.0 | 0.009 |
| | | | | | | | | 9 7 | -0.235 | -0.075 | 0.0 | 0.006 |
| | | | | | | | | 9 10 | 0.009 | 0.046 | 0.000 | 0.000 |
| | | | | | | | | 9 14 | 0.066 | 0.039 | 0.001 | 0.001 |
| C 10 | 1.0443 | -1.735 | 0.0 | 0.0 | 0.090 | 0.058 | 0.0 | 10 9 | -0.009 | -0.046 | 0.000 | 0.000 |
| | | | | | | | | 10 11 | -0.031 | -0.012 | 0.001 | 0.001 |
| C 11 | 1.0531 | -1.024 | 0.0 | 0.0 | 0.035 | 0.018 | 0.0 | 11 1 | -0.117 | -0.033 | 0.001 | 0.003 |
| | | | | | | | | 11 10 | 0.082 | 0.014 | 0.001 | 0.001 |
| C 12 | 1.0549 | -0.942 | 0.0 | 0.0 | 0.061 | 0.016 | 0.0 | 12 1 | -0.033 | -0.022 | 0.001 | 0.002 |
| | | | | | | | | 12 13 | 0.022 | 0.007 | 0.000 | 0.000 |
| C 13 | 1.0489 | -1.085 | 0.0 | 0.0 | 0.135 | 0.058 | 0.0 | 13 1 | -0.198 | -0.168 | 0.003 | 0.005 |
| | | | | | | | | 13 12 | -0.022 | -0.007 | 0.000 | 0.000 |
| | | | | | | | | 13 14 | 0.085 | 0.015 | 0.001 | 0.002 |
| C 14 | 1.0303 | -2.510 | 0.0 | 0.0 | 0.149 | 0.050 | 0.0 | 14 9 | -0.365 | -0.037 | 0.001 | 0.001 |
| | | | | | | | | 14 13 | -0.084 | -0.013 | 0.001 | 0.002 |
| TOTAL GENERACION: | | | | | MW | MVAR | | | | | | |
| TOTAL MVAR CAP/REAC: | | | | | 2.698 | 0.312 | | | | | | |
| TOTAL CARGA: | | | | | 2.590 | -0.239 | | | | | | |
| TOTAL PERDIDAS: | | | | | 0.111 | 0.299 | | | | | | |

CONVERGE EN 0.0 ITERACIONES

COSTOS FINALES DE GENERACION

| GENERADOR | POTENCIA GENERADA | COSTO DE CADA GENERADOR/MORA |
|--------------|-------------------|------------------------------|
| EN BARRA # 1 | 0.22756 | 131.70975 |
| EN BARRA # 2 | 0.46996 | 220.00075 |
| EN BARRA # 3 | 2.00000 | 794.99907 |

COSTO TOTAL = 1146.70974

SISTEMA DE BARRAS

SISTEMA AEREA - La Patena

*****> DATOS GENERALES REQUERIDOS PARA LA RESOLUCION DE FLUJOS DE CORRIENTE

| NO. TOTAL DE BARRAS | NO. DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA | BARRA FLOTANTE | NO. DE LINEAS CAP/REAC EN PARALELO | MVA T | KV BASE | CRITERIO DE CONVERGENCIA |
|---------------------|-------------------------------------|----------------|------------------------------------|-------|---------|--------------------------|
| 14 | 4 | 1 | 21 | 1.000 | 1.000 | 0.010 |

DATOS DE BARRAS

| BARRA NO. | TIPO DE BARRA | VOLTAJE MAGNITUD | POT ACTIVA GENERACION | POT REACTIVA GENERACION | POT ACTIVA CARGA | POT REACTIVA CARGA | VOLTAJE MAX EN LA BARRA | VOLTAJE MIN EN LA BARRA |
|-----------|---------------|------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | S | 1.04500 | 0.0 | 0.0 | 0.21700 | 0.12700 | 1.05000 | 0.94000 |
| 2 | T | 1.06000 | 0.30000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.07000 | 1.05000 |
| 3 | T | 1.07000 | 1.00000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.08000 | 1.06000 |
| 4 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.05000 | 0.94000 |
| 5 | T | 1.01000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.02000 | 1.00000 |
| 6 | T | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.05000 | 0.94000 |
| 7 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.05000 | 0.94000 |
| 8 | T | 1.09000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.09000 | 1.07000 |
| 9 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.05000 | 0.94000 |
| 10 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.05000 | 0.94000 |
| 11 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.05000 | 0.94000 |
| 12 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.05000 | 0.94000 |
| 13 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.05000 | 0.94000 |
| 14 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.05000 | 0.94000 |

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 | 0.01938 | 0.05917 | 0.02643 | | | | |
| 2 | 1 | 4 | 0.05811 | 0.17672 | 0.01173 | | | | |
| 3 | 1 | 3 | 0.05626 | 0.17383 | 0.01173 | | | | |
| 4 | 1 | 6 | 0.04699 | 0.19754 | 0.02193 | | | | |
| 5 | 2 | 5 | 0.05403 | 0.22205 | 0.02450 | | | | |
| 6 | 3 | 5 | 0.0 | 0.23483 | 0.0 | | | | |
| 7 | 3 | 11 | 0.09493 | 0.19490 | 0.0 | | | | |
| 8 | 3 | 12 | 0.12291 | 0.25581 | 0.0 | | | | |
| 9 | 3 | 13 | 0.08615 | 0.12527 | 0.0 | | | | |
| 10 | 4 | 5 | 0.01335 | 0.04211 | 0.00643 | | | | |
| 11 | 4 | 6 | 0.0701 | 0.17103 | 0.01173 | | | | |
| 12 | 4 | 7 | 0.0 | 0.20452 | 0.0 | | | | |
| 13 | 4 | 9 | 0.0 | 0.53894 | 0.0 | | | | |
| 14 | 7 | 8 | 0.0 | 0.17615 | 0.0 | | | | |
| 15 | 7 | 9 | 0.0 | 0.11001 | 0.0 | | | | |
| 16 | 9 | 10 | 0.03131 | 0.08453 | 0.0 | | | | |
| 17 | 9 | 14 | 0.12711 | 0.27023 | 0.0 | | | | |
| 18 | 10 | 11 | 0.08205 | 0.19207 | 0.0 | | | | |
| 19 | 12 | 13 | 0.22092 | 0.19923 | 0.0 | | | | |
| 20 | 13 | 14 | 0.17393 | 0.34802 | 0.0 | | | | |
| 21 | 9 | 3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

*****> DATOS REQUERIDOS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCION DE LA ENERGIA

| NO. DE BARRAS DE GENERACION | NO. DE ITER. DE FLUJOS | CRITERIO DE CONVERGENCIA DE LOS EIGEN VECTORES | CRITERIO DE CONVERGENCIA DEL VOLTAJE |
|-----------------------------|------------------------|--|--------------------------------------|
| 3 | 3 | 0.00100 | 0.00500 |

DATOS DE GENERADORES : COEFICIENTES DE COSTO Y RANGO DE GENERACION

| BARRA | TERMINO INDEPENDIENTE | COEFICIENTE DE PRIMER ORDEN | COEFICIENTE DE SEGUNDO ORDEN | MIN DE GENERACION | MAX DE GENERACION | MIN DE GENERACION | MAX DE GENERACION |
|-------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 44.00000 | 251.00000 | 50.00000 | 0.20000 | 1.00000 | -0.50000 | 1.00000 |
| 2 | 195.00000 | 245.00000 | 50.00000 | 0.50000 | 0.80000 | -0.50000 | 0.80000 |
| 3 | 40.59999 | 389.00000 | 50.00000 | 0.20000 | 1.00000 | -0.60000 | 1.00000 |
| 6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.50000 | 1.00000 |
| 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.60000 | 1.00000 |

DATOS DE GENERADORES : COSTOS LINEALES DE GENERACION

| BARRA | TERMINO INDEPENDIENTE | COEFICIENTE DE PRIMER ORDEN | COEFICIENTE DE SEGUNDO ORDEN |
|-------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1 | 28.94451 | 411.00209 | 0.00193 |
| 2 | 37.23411 | 373.00119 | 0.00193 |
| 3 | 25.54417 | 343.00107 | 0.00193 |

CONDICIONES FINALES DE FLUJO DE CARGA

RESULTADOS

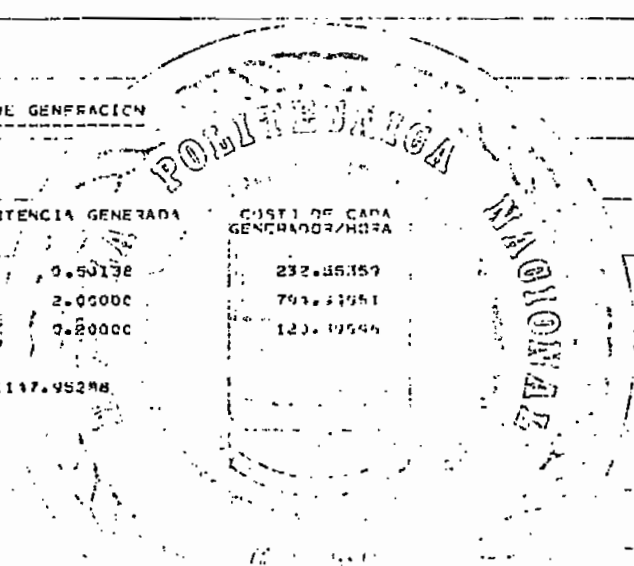
| BAR NO. | VOLTAJE KV | GRADIS | GENERACION MW | MVAR | CARGA MW | MVAR | CAP/REAC MVAR | DE BAR | A LA BAR | PERDIDAS EN LINEAS MW | PERDIDAS EN LINEAS MVAR | PERDIDAS EN BARRAS MW | PERDIDAS EN BARRAS MVAR |
|---------|------------|--------|----------------------|--------|----------|-------|---------------|--------|----------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| S 1 | 1.0500 | 0.0 | 0.501 | 0.374 | 0.217 | 0.127 | 0.0 | 1 | 2 | -1.417 | -0.247 | 0.001 | 0.000 |
| T 2 | 1.0600 | 4.274 | 2.300 | -0.254 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 2 | 1 | 1.314 | -0.270 | 0.001 | 0.000 |
| T 3 | 1.0700 | -7.218 | 0.200 | 0.355 | 0.112 | 0.075 | 0.0 | 3 | 1 | -0.105 | -0.148 | 0.001 | 0.000 |
| C 4 | 1.0337 | -4.900 | 0.0 | 0.0 | 3.478 | 0.359 | 0.0 | 4 | 1 | 1.532 | 0.047 | 0.014 | 0.000 |
| C 5 | 1.0337 | -3.520 | 0.0 | 0.0 | 0.376 | 0.015 | 0.0 | 5 | 1 | -0.353 | 0.065 | 0.007 | 0.000 |
| T 6 | 1.0133 | -7.237 | 0.0 | 0.138 | 0.942 | 0.190 | 0.0 | 6 | 1 | 3.640 | 0.011 | 0.001 | 0.000 |
| C 7 | 1.0565 | -7.537 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7 | 1 | -0.240 | 1.123 | 0.000 | 0.000 |
| T 8 | 1.0900 | -7.537 | 0.0 | 3.207 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8 | 1 | 0.0 | 0.207 | 0.000 | 0.000 |
| C 9 | 1.0486 | -8.903 | 0.0 | 0.0 | 0.295 | 0.165 | 0.0 | 9 | 1 | -0.138 | 0.034 | 0.000 | 0.000 |
| C 10 | 1.0447 | -8.315 | 0.0 | 0.0 | 0.390 | 0.058 | 0.0 | 10 | 1 | -0.240 | -0.072 | 0.000 | 0.000 |
| C 11 | 1.0534 | -8.199 | 0.0 | 0.0 | 0.335 | 0.018 | 0.0 | 11 | 1 | -0.315 | -0.015 | 0.000 | 0.000 |
| C 12 | 1.0552 | -8.107 | 0.0 | 0.0 | 0.361 | 0.016 | 0.0 | 12 | 1 | -0.113 | -0.033 | 0.000 | 0.000 |
| C 13 | 1.0488 | -8.313 | 0.0 | 0.0 | 0.361 | 0.016 | 0.0 | 13 | 1 | 0.376 | 0.015 | 0.000 | 0.000 |
| C 14 | 1.0305 | -9.657 | 0.0 | 0.0 | 0.149 | 0.050 | 0.0 | 14 | 1 | -0.379 | -0.025 | 0.000 | 0.000 |
| | | | TOTAL GENERACION: | 2.771 | 3.822 | | | | | | | | |
| | | | TOTAL MVAR CAP/REAC: | -0.239 | | | | | | | | | |
| | | | TOTAL CARGA: | 2.593 | 0.735 | | | | | | | | |
| | | | TOTAL PERDIDAS: | 0.112 | 0.204 | | | | | | | | |

CONVERGE EN 0.0 ITERACIONES

COSTOS FINALES DE GENERACION

| GENERADOR | POTENCIA GENERADA | COSTO DE CARGA GENERADOR/HORA |
|--------------|-------------------|-------------------------------|
| EN BARRA # 1 | 0.50138 | 232.85159 |
| EN BARRA # 2 | 2.00000 | 793.21951 |
| EN BARRA # 3 | 0.20000 | 120.07544 |

COSTO TOTAL = 1147.95288



4.3. ANALISIS DE LOS RESULTADOSEJEMPLO 1.-Referencia 7Esta tesis.-

| BARRA No. | VOLTAJE | GENERACION | | | BARRA No. | VOLTAJE | GENERACION | | |
|--------------|---------|------------|----|-----------|--------------|---------|------------|----|-----------|
| | p.u. | p.u. | MW | p.u. MVAR | | p.u. | p.u. | MW | p.u. MVAR |
| 1 | 1.05 | 1.715 | | 0.090 | 1 | 1.05 | 1.773 | | 0.078 |
| 2 | 1.05 | 0.526 | | 0.072 | 2 | 1.05 | 0.734 | | 0.080 |
| 3 | 1.04 | 0.479 | | 0.504 | 3 | 1.05 | 0.238 | | 0.597 |
| 4 | 0.986 | | | | 4 | 0.984 | | | |
| 5 | 0.989 | | | | 5 | 0.984 | | | |

COSTOS INICIALES

El costo total inicial de generación es: \$/h 1247,44.

COSTOS FINALES

Referencia:

El costo total final de generación es: \$/h 1153,29

Programa:

El costo total final de generación es: \$/h 1161,01

En base al análisis de los resultados expuestos anteriormente, se puede ver que el costo de generación ha sido reducido en un

7.44%, lo cual comprueba que el programa trabaja satisfactoriamente. El error que se produce en el costo final de generación es menor que el 0.67% en relación a los costos de la referencia, lo cual es razonable, en vista a que en dicha referencia se realiza únicamente el despacho económico de potencia real, y además, la función de los costos de generación la consideran de segundo grado, en tanto que, en ésta tesis se realiza el despacho económico de la potencia activa y reactiva, y cada uno de los costos de generación son aproximados a una función lineal.

EJEMPLO 2.1.- Considerando a la barra A como la slack.

Referencia 7.

Esta tesis.-

| BARRA No. | VOLTAJE p.u. | GENERACION | | BARRA No. | VOLTAJE p.u. | GENERACION | |
|--------------|-----------------|------------|--------------|--------------|-----------------|------------|--------------|
| | | p.u. | MW p.u. MVAR | | | p.u. | MW p.u. MVAR |
| 1 | 1.070 | 0.465 | 0.318 | 1 | 1.070 | 0.228 | 0.351 |
| 2 | 1.045 | 0.654 | 0.099 | 2 | 1.050 | 0.470 | 0.375 |
| 3 | 1.060 | 1.562 | -0.080 | 3 | 1.060 | 2.000 | -0.257 |
| 4 | 1.035 | | | 4 | 1.034 | | |
| 5 | 1.042 | | | 5 | 1.040 | | |
| 6 | 1.010 | | 0.162 | 6 | 1.010 | | 0.136 |
| 7 | 1.055 | | | 7 | 1.056 | | |
| 8 | 1.090 | | 0.214 | 8 | 1.090 | | 0.208 |
| 9 | 1.046 | | | 9 | 1.048 | | |
| 10 | 1.042 | | | 10 | 1.044 | | |
| 11 | 1.052 | | | 11 | 1.053 | | |
| 12 | 1.055 | | | 12 | 1.055 | | |
| 13 | 1.048 | | | 13 | 1.049 | | |
| 14 | 1.028 | | | 14 | 1.030 | | |

COSTOS INICIALES

El costo total de generación es: \$/h 1189,13

COSTOS FINALES

Referencia:

El costo total final de generación es: \$/h 1136,47

Programa:

El costo total final de generación es: \$/h 1146,71

En base al análisis de los resultados expuestos, se observa que el costo total de generación fue reducido en un 3.70% y que el error que se produce con respecto a la referencia es menor que el 0.89%, lo cual se debe a las razones mencionadas en el ejemplo anterior.

EJEMPLO 2.2.- Considerando a la barra B como la slack'

COSTOS INICIALES

El costo total inicial de generación es: \$/h 1194.85

COSTOS FINALES

Programa:

El costo total final de generación es: \$/h 1147,95

Como se puede ver en los ejemplos 2.1 y 2.2, los costos finales de generación son prácticamente iguales, con diferente barra slack (oscilante), lo cual, comprueba la generalidad de este programa.

Al observar los resultados, se nota que las potencias de generación asignadas a cada unidad, en la referencia y en la tesis son algo diferentes, lo cual se debe a que el proceso se basa - en una líneaalización de las curvas de costos de generación.

Estas diferencias que llevan a un costo de generación óptimo, no son significativos para los fines de operación del sistema.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aproximación de los resultados obtenidos por medio del programa digital desarrollado en esta tesis, con los resultados obtenidos en las referencias, comprueban que dicho programa cumple con los requerimientos deseados, por lo cual, posee un alto grado de confiabilidad para poder ser utilizado en la resolución de problemas, tanto teóricos como prácticos de sistemas eléctricos del país.

La falta de referencias con ejemplos en los cuales se realice despacho económico de potencia activa y reactiva, impide determinar con mayor precisión las bondades de este programa; a pesar de ésto y de la consideración hecha en cuanto a la linealidad de los costos de generación, la funcionabilidad del programa ha sido probado mediante los ejemplos presentados.

Es necesario indicar que en la actualidad, alrededor de las 3/4 partes de la energía eléctrica del país, es generada mediante unidades de caracter térmico.

La aplicación en sistemas eléctricos del país, permitirá obtener beneficios económicos, ya que el costo de generación del -Kw-h será menor, y por lo tanto, beneficiará en conjunto tanto a las empresas eléctricas y/o INECEL como a los usuarios en general, pues permitirá ahorrar los combustibles derivados del petróleo, el cual es un recurso natural no-renovable y cuyo costo es cada día más elevado.

Además, se debería obtener previamente las curvas de entrada-salida, que son equivalentes a las de consumo de combustible - potenencia de generación de las unidades térmicas, con criterios técnico-económicos, y a su vez, determinar los costos que no dependen de la potencia de generación, lo cual se desconoce con precisión, y por consiguiente, no son tomados en cuenta para realizar el despacho de carga.

Para aplicar el programa al Sistema Nacional Interconectado, previamente INECEL deberá tener "poder de decisión" sobre las empresas eléctricas regionales, para fijar cuanto deben generar cada una de dichas empresas, con que unidades lo deben hacer y a que hora, y no como lo hacen en la actualidad las empresas, - las mismas que lo hacen de una forma arbitraria.

El programa puede ser utilizado para la realización de estudios de implementación óptima para el futuro de los sistemas eléctri

cos del país, para lo cual, se recomienda complementar a este trabajo con estudios de Selección de Unidades, de Despacho Económico con generación mixta (térmica e hidráulica), y determinar además una metodología para conseguir que los costos de generación sean mínimos durante todo el tiempo, a pesar del cambio continuo de la demanda.

APENDICE A

A.1. PROPIEDADES DEL JACOBIANO

En el capítulo II al hacer referencia al jacobiano J , se dijo que era una matriz singular de orden $2n$. Esto será demostrado ahora, partiendo de dos conceptos dados en análisis matricial.

- Si la suma de los elementos de cada una de las filas de una matriz cuadrada es igual a cero, dicha matriz tiene su determinante igual a cero, por lo cual, dicha matriz no puede ser invertida, y se la denomina matriz singular.
- Si una matriz singular cuadrada de orden n es una submatriz de una matriz de orden superior (por ejemplo: $2n$) hace que esta matriz sea también singular.

Tomando en cuenta estos criterios, se tiene:

$$J = \begin{vmatrix} H & M \\ N & L \end{vmatrix}_{n \times n}$$

donde:

$$H_{ij} = \frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} \quad i, j = 1, \dots, n$$

por lo tanto, los elementos del subjacobiano H se calculan como:

- elementos diagonales

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_i} = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i V_j Y_{ij}| \text{Sen} (\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j)$$

- elementos no-diagonales

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} = |V_i V_j Y_{ij}| \text{Sen} (\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j) \quad i \neq j$$

Con lo cual se tiene que la suma de los elementos de la fila "i" de la matriz H_{ij} es:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} &= - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i V_j Y_{ij}| \text{sen}(\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j) + \\ &+ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i V_j Y_{ij}| \text{Sen} (\delta_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{aligned}$$

por lo tanto:

$$\sum_{j=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} = 0$$

De modo que, cualesquiera que sean los valores de V y θ , la suma de los elementos de cualquier fila de la matriz subjacobiana H , es igual a cero. Lo mismo ocurre con la matriz subjacobiana N . En consecuencia, las dos matrices son singulares y sus determinantes tienen valor cero, por lo tanto, la matriz jacobiana J es también singular.

Además, la matriz jacobiana reducido $J^{(k)}$, que representa a la matriz J sin fila y columna $n+k$, es también singular, por cuanto la matriz subjacobiana H es singular.

A.2. PROPIEDADES DE LAS MATRICES SINGULARES

Teorema: Si A es una matriz singular, teniendo al valor cero como una raíz característica simple (eigen-valor), y siendo ξ el vector característico de la matriz transpuesta A^T asociado con el eigen-valor cero:

$$A^T \cdot \xi = 0 \quad (\text{A.2.1})$$

a.- Una condición necesaria y suficiente para que la ecuación:

$$A \cdot x = b \quad (\text{A.2.2})$$

tenga solución es que:

$$\langle \xi, b \rangle = 0 \quad (\text{A.2.3})$$

donde la ecuación (A.2.3) representa el producto escalar de los vectores ξ y b . Esta ecuación verifica la ortogonalidad que debe existir entre esos vectores, para poder satisfacer la ecuación (A.2.2).

Demostración:

Siendo $A^T \cdot \xi = 0$

Se debe demostrar que:

$$A \cdot x = b \iff \langle b, \xi \rangle = 0$$



Suponiendo que $A \cdot x = b$ tiene solución:

$$\langle b, \xi \rangle = \langle Ax_0, \xi \rangle$$

$$\therefore \langle b, \xi \rangle = \langle x_0, A^T \xi \rangle$$

$$\therefore \langle b, \xi \rangle = \langle x_0, 0 \rangle$$

$$\therefore \langle b, \xi \rangle = 0 \quad \forall x \in \mathbb{R}^n$$



Partiendo de $\langle b, \xi \rangle = 0$ (A.2.4)

$$\langle A \cdot x, \xi \rangle = \langle x, A^T \xi \rangle$$

$$\therefore \langle A \cdot x, \xi \rangle = \langle x, 0 \rangle$$

$$\therefore \langle A \cdot x, \xi \rangle = 0 \quad \forall x \in \mathbb{R}^n \quad \text{(A.2.5)}$$

Como tanto la relación (A.2.4) y la (A.2.5) son iguales a cero, éstas dos pueden igualarse:

$$\langle A \cdot x, \xi \rangle = \langle b, \xi \rangle$$

$$\therefore \langle A \cdot x - b, \xi \rangle = 0 \quad \forall x \in \mathbb{R}^n \quad (\text{A.2.6})$$

Se demuestra que $A \cdot x = b$ mediante una contradicción.

Suponiendo que:

$$A \cdot x \neq b \quad \forall x \in \mathbb{R}^n$$

$$\therefore A \cdot x - b \neq 0$$

\therefore Para cumplir la ecuación (A.2.6) se tendrían que: los vectores $A \cdot x - b$ y ξ sean ortogonales, lo cual puede ser cumplido para un sólo valor de x y no $\forall x \in \mathbb{R}^n$, lo cual contradice a lo expuesto en la relación (A.2.6); u otra posibilidad es que ξ sea igual a cero, lo cual nunca ocurre, ya que por definición los eigen-vectores son diferentes de cero.

Por lo tanto, solo existe solución, si:

$$A \cdot x = b$$

para un sólo vector x determinado.

APENDICE B

MANUAL DE USO DEL PROGRAMA DIGITAL

- B.1. TITULO: "OPTIMIZACION DE LA PRODUCCION DE LA ENERGIA EN UN SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA"
- B.2. OBJETIVO: El programa tiene por objetivo determinar la potencia activa y reactiva que debe ser suministrada por cada una de las centrales térmicas de los sistemas eléctricos de potencia, con la finalidad de que el costo total de generación sea el mínimo.
- B.3. VARIABLES UTILIZADAS: A continuación se detallan las variables de entrada y salida, características, forma de proporcionar los datos (esquemas de datos) del programa digital.

B.3.1. VARIABLES DE ENTRADA

| SIMBOLO | FORMATO | DESCRIPCION |
|---------|---------|--|
| NOMBRE | 80A1 | Cualquier información que se desee tener; por ejemplo, se puede poner el nombre del sistema a ser resuelto. Si no se <u>de</u> sea tener esta información, se debe <u>uti</u> lizar una tarjeta en blanco. |
| NB | I10 | Número de barras del sistema. |
| NTC | I10 | Número de barras de tensión controlada. |
| NS | I10 | Número de la barra oscilante. Siempre <u>de</u> be ser la barra # 1. |
| NE | I10 | Número de elementos serie del sistema, es decir, es el número de líneas de <u>transmi</u> sión, transformadores, reactores y/o <u>ca</u> pacitores-serie. |
| NRC | I10 | Número de elementos paralelo del sistema, es decir, es el número de reactores y/o <u>ca</u> pacitores-paralelo. |
| BASE | F10.5 | Potencia base del sistema. Si se <u>traba</u> ja en p.u. se debe poner 1.0 |

| SIMBOLO | FORMATO | DESCRIPCION |
|---------|---------|---|
| BASEV | F10.5 | Voltaje base del sistema. Si se trabaja en p.u. se debe poner 1.0. |
| CONV | F10.5 | Criterio de convergencia para el calculo de flujos de carga. Se recomienda $0.0001 \leq CONV \leq 0.1$, dependiendo del tamaño del sistema. |
| K | I10 | Número de cada barra. |
| VK | F10.5 | Magnitud del voltaje especificado, de cada barra. Si $VK = 0$ Barra de carga. Si $Vk \neq 0$ y $K=NS$ Barra oscilante. Si $VK \neq 0$ y $K \neq NS$ Barra de tensión controlada. |
| PGK | F10.5 | Potencia activa de generación inicial, de la barra k. |
| QGK | F10.5 | Potencia reactiva de generación inicial, de la barra k. |
| PLK | F10.5 | Potencia activa de carga, de la barra k. |
| QLK | F10.5 | Potencia reactiva de carga, de la barra k. |

| SIMBOLO | FORMATO | DESCRIPCION |
|---------|---------|---|
| VMAXK | F10.5 | Magnitud del voltaje máximo, en la barra k. |
| VMINK | F10.5 | Magnitud del voltaje mínimo, en la barra k. |
| L | I10 | Barra de partida (barra p) |
| M | I10 | Barra de llegada (barra q) |
| RR | F10.5 | Resistencia de la línea, en p.u. (si se trabaja en p.u.) ó en la base escogida. |
| XX | F10.5 | Reactancia de la línea. en p.u. (si se trabaja en p.u.) ó en la base escogida. |
| SS | F10.5 | Suceptancia de la línea, en p.u. (si se trabaja en p.u.) ó en la base escogida. |
| BK | F10.5 | Tap en el cual está conectado los transformadores. |
| NBG | I10 | Número de barras de generación. |
| NIFC | I10 | Máximo número de iteraciones para resolver el problema. Se recomienda 10. |

| SIMBOLO | FORMATO | DESCRIPCION |
|---------|---------|---|
| EPSI | F10.5 | Criterio de convergencia para calcular los vectores característicos. Se recomienda $0.01 \geq \text{EPSI} \geq 0.0001$. |
| EPSIV | F10.5 | Criterio de convergencia para determinar si el proceso a terminado en relación a la variación del voltaje. $\text{EPSIV} \leq 0.01$ |
| AIK | F10.5 | Término independiente de la función costo de generación, de la unidad de la barra k. |
| BIK | F10.5 | Coefficiente de primer orden de la función costo de generación, de la unidad de la barra k. |
| CIK | F10.5 | Coefficiente de segundo orden de la función costo de generación, de la unidad de la barra k. |
| PMINK | F10.5 | Mínima generación de potencia activa, en la barra k. |
| PMAXK | F10.5 | Máxima generación de potencia activa, en la barra k. |
| QMINK | F10.5 | Mínima generación de potencia reactiva , |

| SIMBOLO | FORMATO | DESCRIPCION |
|---------|---------|--|
| | | en la barra k. |
| QMAXK | F10.5 | Máxima generación de potencia reactiva, en la barra k. |

B.3.2. VARIABLES DE SALIDA

Para la salida del programa que comprende: datos del sistema, resultados de voltajes de barras, flujos de carga, costos de generación óptima, etc., se ha utilizado la siguiente nomenclatura:

| SIMBOLO | DESCRIPCION |
|----------------|---|
| VBASEV | Magnitud del voltaje de barra. |
| DELTA θ | Angulo del voltaje de barra en grados. |
| I | Número de barra. |
| PG | Potencia activa de generación, en cada barra. |
| QG | Potencia reactiva de generación, en cada barra. |
| PL | Potencia activa de carga, en cada barra. |
| QL | Potencia reactiva de carga, en cada barra. |

| SIMBOLO | DESCRIPCION |
|---------|--|
| FQII | Flujo de carga en cada línea de transmisión. |
| TPG | Potencia activa total de generación. |
| TQG | Potencia reactiva total de generación. |
| TFQ | Potencia reactiva total de los reactores y/o capacitores series. |
| TPL | Potencia activa total de carga. |
| TQL | Potencia reactiva total de carga. |
| SUMPP | Potencia activa total de pérdidas. |
| SUMPQ | Potencia reactiva total de pérdidas. |
| ITER | Número de iteraciones en las cuales <u>con</u> vergen los flujos de carga inicial y <u>fi</u> nal. |
| CADAG | Costo de generación óptimo de cada unidad generadora. |
| COSTO | Costo total de generación óptimo del <u>sis</u> tema eléctrico de potencia estudiado. |

B.4. CARACTERISTICAS

| | |
|---------------------------------------|--|
| Número máximo de barras | 50 |
| Número máximo de barras de generación | 50 |
| Número máximo de elementos | 100. |
| Datos requeridos en: | p.u. ó en cualquier base. |
| Barras de generación: | Las primeras m barras del sistema. |
| Barra oscilante: | La barra # 1. |
| Barras de tensión controlada: | Todas las barras de generación y las que tienen capacitores. |

B.5. FORMA DE PROPORCIONAR LOS DATOS

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

El nombre o cualquier información extra del sistema, se dá en una tarjeta. Si no desea ésto, deje la tarjeta en blanco.

Los datos generales del sistema, se introducen en una sola tarjeta.

Los datos de las barras, se introducen en una tarjeta por cada barra.

Los datos de líneas, transformadores, reactores y/o capacitores-serie, se introducen en una tarjeta por cada línea o elemento.

Para el caso de reactores y/o capacitores en paralelo se introdu

ce los datos de la barra en una tarjeta, haciendo $L=M$ y se indica la susceptancia o las MVAR en p.u. con signo negativo en la celda correspondiente a la variable RR.

Los datos generales requeridos para la optimización, se introducen en una sola tarjeta.

Los datos de los generadores, se introducen en una tarjeta por cada generador.

A continuación se presenta el esquema de entrada de datos y los esquemas que indican la forma de utilizar el programa grabado en disco y en cinta.

Esquema No. 1. - Forma de proporcionar los datos.

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

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

NOMBRE DEL PROGRAMA OPTIMIZACION DE LA PRODUCCION DE ENERGIA EN SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

No.

Programador: MARIO R. GONZALEZ Q.

Fecha: JULIO - 1983

Hoja No. 1

de 1

| | 1-10 | 11-20 | 21-30 | 31-40 | 41-50 | 51-60 | 61-70 | 71-80 |
|----|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 |
| | | | | B.6. | ESQUEMA | | | |
| | | | | | N.º . | 2 | | |
| - | TARJETAS DE CONTROL DEL PROGRAMA GRABADO EN DISCO | | | | | | | |
| // | JOB nombre cuenta | | | | | | | |
| // | PRØC=ELECDEPQ | | | | | | | |
| } | Datos | | | | | | | |
| /* | | | | | | | | |
| /B | | | | | | | | |
| * | SØ EØJ | | | | | | | |

OPTIONS T=2500,P=80,LINT=0

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA

TESIS DE GRADO

TITULO : PROGRAMA DIGITAL PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCION DE LA ENERGIA
ELECTRICA EN UN S.E.D.

REALIZADO POR: MARIO R. GONZALEZ O.

DIRIGIDO POR: ING. ALFREDO VENA P.

FECHA : JULIO - 1983

QUILO - ECUADOR

OBJETIVO : REALIZAR EL DESPACHO ECONOMICO DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA
GENERACION EN UN SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA

METODO : PARA LA OPTIMIZACION DE LA ENERGIA SE UTILIZA PROGRAMACION LINEAL
YA QUE LOS COSTOS DE GENERACION SE APROXIMAN A UNA FUNCION LINEAL

DESCRIPCION DE LAS VARIABLES UTILIZADAS EN EL PROGRAMA :

AIR --> TERMINO INDEPENDIENTE DE LA FUNCION REAL DE COSTOS.
BASE --> MVA-BASE DEL SISTEMA
BASCV --> KV-BASE DEL SISTEMA
BIR --> COEFICIENTE DE PRIMER ORDEN DE LA FUNCION REAL DE COSTOS
CIR --> COEFICIENTE DE SEGUNDO ORDEN DE LA FUNCION REAL DE COSTOS
CONV --> CRITERIO DE CONVERGENCIA PARA SOLUCION DE FLUJOS DE CARGA
COSTO --> COSTO TOTAL DE GENERACION
DDF --> VARIACION OPTIMA DE LA POTENCIA ACTIVA DE GENERACION
DDQ --> VARIACION OPTIMA DE LA POTENCIA REACTIVA DE GENERACION
DDV --> VARIACION OPTIMA DEL VOLTAJE DE LAS BARRAS DEL SISTEMA
E --> MODULO DEL VOLTAJE DE LAS BARRAS DE TENSION CONTROLADA
EPSI --> CRITERIO DE CONVERGENCIA PARA LOS VECTORES CARACTERISTICOS
EPSIV --> CRITERIO DE CONVERGENCIA PARA LA VARIACION DEL VOLTAJE DE BARRAS
INDI --> INDICADOR DEL NUMERO DE EJEMPLOS A SER RESUELTOS
ITER --> NUMERO DE ITERACIONES EN QUE CONVERGE LOS FLUJOS DE CARGA
MAXIT --> MAXIMO NUMERO DE ITERACIONES PARA RESOLVER FLUJOS DE CARGA
NB --> NUMERO DE BARRAS DEL SISTEMA
NBC --> NUMERO DE BARRAS DE GENERACION
NE --> NUMERO DE ELEMENTOS-SERIE DEL SISTEMA
NIFC --> MAXIMO NUMERO DE ITERACIONES PARA RESOLVER LA OPTIMIZACION
NOMBRE --> NOMBRE DEL SISTEMA EN ESTUDIO O CUALQUIER INFORMACION
NRC --> NUMERO DE ELEMENTOS-PARALELO DEL SISTEMA
NS --> NUMERO DE LA BARRA SLACK DEL SISTEMA
NTC --> NUMERO DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA
PG --> POTENCIA ACTIVA DE GENERACION
PMIN --> MINIMA POTENCIA ACTIVA DE GENERACION
PMAX --> MAXIMA POTENCIA ACTIVA DE GENERACION
QG --> POTENCIA REACTIVA DE GENERACION
QMIN --> MINIMA POTENCIA REACTIVA DE GENERACION
QMAX --> MAXIMA POTENCIA REACTIVA DE GENERACION
V --> MAGNITUD DEL VOLTAJE DE BARRA
VMIN --> MINIMO VOLTAJE DE BARRA
VMAX --> MAXIMO VOLTAJE DE BARRA

REAL PMIN(50), PMAX(50), QMIN(50), QMAX(50), VMIN(50), VMAX(50), PG(50),
1 QG(50), V(50), CFUN(150), CRES1(100), CRES2(150), DDF(50), DDQ(50),
2 DDV(50), EL(50), GL(50), PN(50), QN(50), E(50), YMOD(250), VC(100),
3 DELTA(50), G(250), F(250), SUS(250), AI(50), BI(50), HAC1(250),
4 HAC2(250), HAC3(250), HAC4(250), YANG(250)

REAL ITER

INTEGER CP1, ISEND(250), IREC(250), NBUS(250), INE(250), NODE(50)

INTEGER NOMBRE(80)

COMMON /R01/ PMIN, PMAX, QMIN, QMAX, VMIN, VMAX, PG, QG, PL, QL, PN, QN, E

COMMON /R02/ YMOD, YANG, V, DELTA, ISEND, IREC

COMMON /R03/ G, F, NBUS, SUS, INE, NODE

COMMON /R04/ AI, BI

COMMON /R07/ HAC1, HAC2, HAC3, HAC4, VC

COMMON /R08/ CFUN, CRES1, CRES2

COMMON /R10/ DDF, DDQ, DDV

COMMON /R11/ ITC

COMMON /R12/ COSTO, INDI, KMN

COMMON /R13/ NTC

NR=J=1

JR=3

```

JJ=1
CERD=0.
MAXIT=3
KMN=J
READ(JR,905) (NOMBRE(I),I=1,80)

```

```

LECTURA Y ESCRITURA DE DATOS GENERALES PARA LA SOLUCION DE FLUJOS DE CA
READ(JR,910) N1,NTC,NS,NF,NRC,BASE,BASEV,CONV
IF(N3.GT.50)GO TO 750
WRITE(JW,920)
WRITE(JW,930) (NOMBRE(I),I=1,80)
WRITE(JA,940)
WRITE(JW,950) N0,NTC,NS,NE,NRC,BASE,BASEV,CONV
NE=N1+NF+C
NLE=3*NLE+NB
N9=NB+20
N5=4*N1
NTND=N5

```

```

LLAMADA A SUBROUTINA DE LECTURA DE DATOS
CALL INPUT(NB,JR,J4,NS,BASE,CERD,BASEV,NF,NT,NLE,NBG,EPSI,EPSIV,NI
1FC)
INDI=1

```

```

LLAMADA A SUBROUTINA DE VERIFICACION DE VALIDEZ Y CONSISTENCIA DE DATOS
CALL PRUEBA(JW,INDI,NB,NS,NE,NRC,BASE,BASEV,CONV,NBG,NIFC,EPSI,EPS
1IV,3750)
WRITE(JW,960)
1FC=1
CF1=1

```

```

CALCULO Y ESCRITURA DE LAS CONDICIONES INICIALES DE OPERACION DEL SISTE
WRITE(JW,970)

```

```

LLAMADA A SUBROUTINA DE SOLUCION DE FLUJOS DE CARGA
CALL SOLVE(NB,NS,CONV,MAXIT,JW,CERD,BASE,BASEV,NT,NLE,N5,N9,NTND,I
1FC,CF1,NFJ,3750,NBG)
NFJ=NFJ+1
WRITE(JW,1200)

```

```

LLAMADA A SUBROUTINA DE CALCULO DE LOS COSTOS DE GENERACION .
CALL VALOR(JW,NBG,BASE,1FC)
100 IF(NFJ.GT.NIFC)GO TO 550
CVIEJU=COSTO

```

```

LLAMADA A SUBROUTINA DE CALCULO DE LA FUNCION OBJETIVO Y RESTRICCIONES
CALL COEF1(NB,NT,NBG,EPSI,3750)

```

```

LLAMADA A SUBROUTINA QUE RESUELVE LA OPTIMIZACION CON PROGRAMACION LINEA
CALL SMPLEX(NB,NBG,DCOST,3500)

```

```

VERIFICAR SI LAS CORRECCIONES ESTAN DENTRO DE SUS TOLERANCIAS
DO 150 J=1,NB
IF(ABS(DDV(J)).GT.EPSIV)GO TO 200
IF(ABS(DDP(J)).GT.CONV)GO TO 200
IF(ABS(DDQ(J)).GT.CONV)GO TO 200
150 CONTINUE
175 CONTINUE
1FC=1
CF1=1

```

```

CALCULO Y ESCRITURA DE LAS CONDICIONES FINALES DE OPERACION DEL SISTEMA
WRITE(JW,980)

```

```

LLAMADA A SUBROUTINA DE SOLUCION DE FLUJOS DE CARGA
CALL SOLVE(NB,NS,CONV,MAXIT,JW,CERD,BASE,BASEV,NT,NLE,N5,N9,NTND,I
1FC,CF1,NFJ,3750,NBG)
WRITE(JW,1300)

```

```

LLAMADA A SUBROUTINA DE CALCULO DE LOS COSTOS DE GENERACION.
CALL VALOR(JW,NBG,BASE,1FC)
GO TO 750

```

```

CORREGIR LA POTENCIA ACTIVA Y EL VOLTAJE DE LAS BARRAS DE GENERACION
200 DO 250 I=1,NBG
PG(I)=PG(I)+DDP(I)
V(I)=V(I)+DDV(I)
IF(I.EQ.1)GO TO 250
E(I)=E(I)+DDV(I)
250 CONTINUE

```


IFC=2
CF1=2

LLAMADA A SUBROUTINA DE SOLUCION DE FLUJOS DE CARGA
CALL SOLVE(ND,NB,CONV,MAXIT,JW,CER0,BASE,BASEV,NT,NLE,NB,NV,NTND,I
IFC,CF1,NJ,1750,N9G)
IFJ=NFJ+1
IF(ITER.EQ.0)GO TO 175

LLAMADA A SUBROUTINA DE CALCULO DE LOS COSTOS DE GENERACION
CALL VALOR(JW,NB6,BASE,IFC)

VERIFICAR SI LAS VARIABLES DE FLUJOS DE CARGA CUMPLEN SUS LIMITES

DO 400 J=1,NB
IF(J.GT.1)GO TO 300
IF(PG(1).GT.PMAX(1).OR.PG(1).LT.PMIN(1))GO TO 100
IF(J.GT.NB6)GO TO 350
IF(QS(J).GT.QMAX(J).OR.QG(J).LT.QMIN(J))GO TO 100
GO TO 400
IF(V(J).GT.VMAX(J).OR.V(J).LT.VMIN(J))GO TO 100
CONTINUE

VERIFICAR SI NUEVO COSTO ES MENOR QUE COSTO ANTERIOR DE GENERACION
IF(COSTO.LT.CVIEJ)GO TO 100

REDUCIR LOS DELTAS DE POTENCIA ACTIVA Y VOLTAJE DE BARRAS DE GENERACION

DO 475 KK=1,NB6
DDP(KK)=-DDP(KK)/2
DDV(KK)=-DDV(KK)/2
GO TO 200
WRITE(JW,1000)
GO TO 750
WRITE(JW,1100) NIFC
CONTINUE
STOP

FORMATOS DE LECTURA Y ESCRITURA UTILIZADOS PARA LA OPTIMIZACION DE LA
PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA EN UN S.E.P.

905 FORMAT(80A1)
910 FORMAT(5I10,3F10,5)
920 FORMAT(1H1,//////20X,'ESCUELA POLITECNICA NACIONAL'/20X,'FACULTAD D
E INGENIERIA ELECTRICA'/20X,'DEPARTAMENTO DE POTENCIA'/20X,'TESIS
2 DE GRADO'/20X,'REALIZADO POR: MARIO R. GONZALEZ Q.'/20X,'JULIO
30E 1983'/)
930 FORMAT(//////20X,'PROGRAMA DIGITAL PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCION DE
LA ENERGIA ELECTRICA EN UN S.E.P.'/20X,92('='')//////20X,'SISTEMA DE
2 ESTUDIOS:',80A1,20X,18('='')//////5X,10('=''),'>',4X,'DATOS GENERALES
3S REGULADOS PARA LA SOLUCION DE FLUJOS DE CARGA'/20X,62('=''))
940 FORMAT(//////,10X,96HNO. TOTAL NO. DE BARRAS BARRA NO. DE LINE
AS NO. DE CAP/REAC MVA.BASE KV.BASE CRITERIO DE/10X,62HDE BARRA
2S DE TENSION FLOTANTE CAP/REAC SERIE EN PARALELO,23X,12HCONV
3URGENCIA/21X,10HCONTROLADA)
950 FORMAT(/13X,I2,11X,I2,10X,I2,11X,I2,12X,I2,8X,2(F8.3,1X),3X,F8.4)
960 FORMAT(//////,5X,10('=''),'>',4X,32HRESULTADOS OPTIMOS DE GENERACION
1/20X,32('=''))
970 FORMAT(//////,20X,'CONDICIONES INICIALES DE FLUJO DE CARGA'/20X,36('='
1'-'))
980 FORMAT(//////,20X,'CONDICIONES FINALES DE FLUJO DE CARGA'/20X,37('='
1'-'))
1000 FORMAT(//////,20X,26('='')//20X,'EXISTE ERROR EN EL SIMPLEX'/20X,26
1('='')//////)
1100 FORMAT(//////,20X,46('='')//20X,2HEN,I4,2X,'FLUJOS NO HAY EL FUNCION
1MIENTO OPTIMO'/20X,46('='')//////)
1200 FORMAT(//////,20X,'COSTOS INICIALES DE GENERACION'/20X,30('=''))
1300 FORMAT(//////,20X,'COSTOS FINALES DE GENERACION'/20X,23('=''))
END

SUBROUTINE VALOR(JW,NBG,BASE,IFC)

SUBROUTINA DE CALCULO DE LOS COSTOS DE GENERACION

DESCRIPCION DE VARIABLES

AI --> TERMINO INDEPENDIENTE DE LA FUNCION LINEAL DE COSTOS
BI --> COEFICIENTE DE PRIMER ORDEN DE LA FUNCION LINEAL DE COSTOS
CADAG --> COSTO REAL O LINEAL DE CADA UNIDAD DE GENERACION
COSTO --> COSTO TOTAL REAL O LINEAL DE GENERACION

DIMENSION PMIN(50),PMAX(50),QMIN(50),QMAX(50),VMIN(50),VMAX(50)
DIMENSION PG(50),QG(50),PL(50),QL(50),PN(50),QN(50),E(50)
DIMENSION AI(50),BI(50)
COMMON /R01/PMIN,PMAX,QMIN,QMAX,VMIN,VMAX,PG,QG,PL,QL,PN,QN,E
COMMON /R04/AI,BI
COMMON /R12/CCSTC,INDI,KMN
COMMON /R20/AIR(50),BIR(50),CIR(50)

CALCULO Y ESCRITURA DE LOS COSTOS REALES DE GENERACION

IF(IFC.EQ.2)GO TO 125
KMN=KMN+1
WRITE(JW,200)
COSTU=0.
DO 100 I=1,NBG
CADAG=AI(I)+BIR(I)*PG(I)*BASE+CIR(I)*{PG(I)*BASE}**2
COSTU=COSTU+CADAG

ESCRIBIR COSTOS REALES DE GENERACION

WRITE(JW,300) I,PG(I),CADAG
WRITE(JW,400) COSTU
INDU=2*INDI
IF(KMN.EQ.INDU) WRITE(JW,500)

CALCULO DE LOS COSTOS LINEALES DE GENERACION

COSTU=0.
DO 150 I=1,NBG
CADAG=AI(I)+BI(I)*PG(I)*BASE
COSTU=COSTU+CADAG
RETURN
200 FORMAT(///20X,'GENERADOR',5X,'POTENCIA GENERADA',5X,'COSTO DE CA
DA'//55X,'GENERADOR/HORA'//)
300 FORMAT(/10X,'EN PARRA #',2X,I2,13X,F10.5,9X,F12.5)
400 FORMAT(///20X,'COSTO TOTAL ='//F12.5/20X,11('-')//)
500 FORMAT(1X,90(/))
END

SUBROUTINA DE CALCULO DE LA FUNCION OBJETIVO Y RESTRICCIONES DE IGUALDAD

DESCRIPCION DE VARIABLES

CFUN --> COEFICIENTES DE LA FUNCION OBJETIVO
 CRES1 --> COEFICIENTES DE LA RESTRICCION DE IGUALDAD NO. 1
 CRES2 --> COEFICIENTES DE LA RESTRICCION DE IGUALDAD NO. 2
 VC --> VECTORES CARACTERISTICOS

DIMENSION YAJJ(250), YANG(250), V(50), DELTA(50), ISEND(250), IREC(250)
 DIMENSION HAC1(250), HAC2(250), HAC3(250), HAC4(250), VC(100)
 DIMENSION A(50), B(50), CFUN(150), CRES1(100), CRES2(150)
 COMMON /R02/YAJJ, YANG, V, DELTA, ISEND, IREC
 COMMON /R04/A, B
 COMMON /R07/HAC1, HAC2, HAC3, HAC4, VC
 COMMON /R03/CFUN, CRES1, CRES2

N=NB
 NM1=NB+1
 N2=2*N3
 N3=3*NB
 DO 12 I=1, N3
 IF (I.GT.N2) GO TO 10
 CRES1(I)=0.
 CRES2(I)=0.
 CFUN(I)=0.

LLAMADA A SUBROUTINA DE CALCULO DEL JACOBIANO DEL SISTEMA

CALL JACOB(NB,NT)
 DO 91 K=1, NM1
 IF (K.EQ.NM1) GO TO 5
 M=N2-1
 GO TO 7
 M=N2
 MM1=M+1

LLAMADA A SUBROUTINA QUE CALCULA LOS VECTORES CARACTERISTICOS

CALL EIGEN(K, N2, M, MM1, NT, NB, EP5I, 383)
 IF (K.EQ.NM1) GO TO 35
 NBK2=2*NB+K

PROCESO ITERATIVO PARA FORMAR LAS RESTRICCIONES DE IGUALDAD

DO 24 J=1, NB
 NBJ=NB+J
 CRES2(J)=CRES2(J)+VC(J)
 CRES2(NBJ)=CRES2(NBJ)+VC(NBJ)
 DO 25 I=1, NT
 IF (IREC(I).NE.K) GO TO 25
 ISE=ISEND(I)
 ISEB=ISE+N3
 CRES2(NBK2)=CRES2(NBK2)-VC(ISE)*HAC2(I)-VC(ISEB)*HAC4(I)

CONTINUE

GO TO 91

DO 45 L=1, N2
 CRES1(L)=VC(L)

CONTINUE

DO 65 JJ=1, N3

BB=0.

RR=0.

IF (JJ.GT.N3) GO TO 55

BB=BI(JJ)

IF (JJ.GT.N2) GO TO 65

RR=CRES1(JJ)

CFUN(JJ)=BB-RR-CRES2(JJ)

DO 75 I=1, JB

NBGI=NBG+I

NBI=NB+I

CRES1(NBGI)=CRES1(NBI)

CRES2(NBGI)=CRES2(NBI)

CFUN(NBGI)=CFUN(NBI)

DO 85 J=1, NB

NBGJ=2*NBG+J

NBJJ=2*NB+J

CRES2(NBGJ)=CRES2(NBJ)

CFUN(NBGJ)=CFUN(NBJ)

RETURN

RETURN

END

 SUBROUTINE JACOB(NB,NT)

SUBROUTINA DE CALCULO DEL JACOBIANO DEL SISTEMA

DESCRIPCION DE VARIABLES

HAC1 --> SUBJACOBIANO H DEL SISTEMA
 HAC2 --> SUBJACOBIANO M DEL SISTEMA
 HAC3 --> SUBJACOBIANO N DEL SISTEMA
 HAC4 --> SUBJACOBIANO L DEL SISTEMA
 IREC --> ORDENADA DE LA MATRIZ Y-BARRA DE LOS ELEMENTOS DISTINTOS DE
 ISEND --> ARCSA DE LA MATRIZ Y-BARRA DE LOS ELEMENTOS DISTINTOS DE
 YANG --> ANGULO DE LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ ADMITANCIA DE BARRA
 YMOD --> MODULO DE LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ ADMITANCIA DE BARRA

DIMENSION YMOD(250), YANG(250), V(50), DELTA(50), ISEND(250), IREC(250)
 DIMENSION HAC1(250), HAC2(250), HAC3(250), HAC4(250), VC(100)
 COMMON /R02/YMOD, YANG, V, DELTA, ISEND, IREC
 COMMON /R07/HAC1, HAC2, HAC3, HAC4, VC

CALCULO DEL JACOBIANO EN FORMA DE VECTOR Y EN COORDENADAS POLARES

DO 10 I=1, NT
 HAC1(I)=0.
 HAC2(I)=0.
 HAC3(I)=0.
 HAC4(I)=0.
 CONTINUE
 NBX=1

PROCESO ITERATIVO PARA CALCULAR SUBJACOBIANOS H - M - N - L

DO 75 J=1, NT
 IF(J.EQ.NT) GO TO 20
 IF(ISEND(J).GT.NBX) GO TO 30
 IF(ISEND(J).EQ.IREC(J)) GO TO 45
 JJ=J
 IR=IREC(JJ)
 IS=ISEND(JJ)

CALCULO DE LOS ELEMENTOS NO-DIAGONALES DE SUBJACOBIANOS H - M - N - L

HAC1(JJ)=V(IS)*V(IR)*YMOD(JJ)*SIN(-YANG(JJ)+DELTA(IS)-DELTA(IR))
 HAC3(JJ)=-V(IS)*V(IR)*YMOD(JJ)*COS(-YANG(JJ)+DELTA(IS)-DELTA(IR))
 HAC2(JJ)=V(IS)*YMOD(JJ)*COS(-YANG(JJ)+DELTA(IS)-DELTA(IR))
 HAC4(JJ)=V(IS)*YMOD(JJ)*SIN(-YANG(JJ)+DELTA(IS)-DELTA(IR))
 GO TO 75
 JAUX=J
 DO 60 L=1, NT
 IF(ISEND(JAUX).EQ.ISEND(L).AND.ISEND(JAUX).NE.IREC(L)) GO TO 25
 GO TO 75

CALCULO DE LOS ELEMENTOS DIAGONALES DE SUBJACOBIANOS H - N

HAC1(JAUX)=HAC1(JAUX)-HAC1(L)
 HAC3(JAUX)=HAC3(JAUX)-HAC3(L)
 CONTINUE
 JAUX=J
 IS=ISEND(J)

CALCULO DE LOS ELEMENTOS DE SUBJACOBIANOS M - L

HAC2(J)=2*V(IS)*YMOD(J)*COS(-YANG(J))
 HAC4(J)=2*V(IS)*YMOD(J)*SIN(-YANG(J))
 DO 55 K=1, NT
 IF(ISEND(J).EQ.ISEND(K).AND.ISEND(J).NE.IREC(K)) GO TO 50
 GO TO 55
 IR=IREC(K)
 HAC2(J)=HAC2(J)+V(IR)*YMOD(K)*COS(-YANG(K)+DELTA(IS)-DELTA(IR))
 HAC4(J)=HAC4(J)+V(IR)*YMOD(K)*SIN(-YANG(K)+DELTA(IS)-DELTA(IR))
 CONTINUE
 GO TO 75
 DO 40 L=1, NT
 IF(ISEND(JAUX).EQ.ISEND(L).AND.ISEND(JAUX).NE.IREC(L)) GO TO 35
 GO TO 40
 HAC1(JAUX)=HAC1(JAUX)-HAC1(L)
 HAC3(JAUX)=HAC3(JAUX)-HAC3(L)
 CONTINUE
 NBX=NBX+1
 GO TO 15
 CONTINUE
 RETURN
 END

```
-----
SUBROUTINE LIGEN(KAX,N2,N,NM1,NT,NB,EPSI,*)
-----
```

```
SUBROUTINA DE CALCULO DE LOS VECTORES CARACTERISTICOS.
```

```
DIMENSION A(101,100),B(153,150),IX(100)
DIMENSION YMOD(250),YANG(250),V(50),DELTA(50),ISEND(250),IREC(250)
DIMENSION HAC1(250),HAC2(250),HAC3(250),HAC4(250),X(100)
COMMON /R02/YMOD,YANG,V,DELTA,ISEND,IREC
COMMON /R07/HAC1,HAC2,HAC3,HAC4,X
COMMON /R03/B
```

```
EL METODO UTILIZADO ES EL DE ELIMINACION DE GAUSS - JORDAN
ALMACENAMIENTO DEL JACOBIANO EN LA MATRIZ SINGULAR A
```

```
DO 1 I=1,N2
X(I)=0.
DO 1 J=1,N2
1 B(I,J)=0.
DO 2 I=1,NT
IR=IREC(I)
IS=ISEND(I)
IRE=IR+NB
ISE=IS+NB
B(IR,IS)=HAC1(I)
B(IR,ISE)=HAC3(I)
2 B(IRE,IS)=HAC2(I)
B(IRE,ISE)=HAC4(I)
LI=N2/2
LJ=LJ-1
LK=LJ+1
LN=N2-1
IF(N.EQ.N2) GO TO 6
IF(KAX.EQ.LJ) GO TO 6
DO 4 I=1,N2
DO 4 J=KAX,LJ
LL=LI+J
LM=LK+J
4 B(I,LL)=B(I,LM)
DO 5 J=KAX,LJ
DO 5 I=1,LN
LL=LI+J
LM=LK+J
5 E(LL,I)=B(LM,I)
6 DO 7 I=1,N
DO 7 J=1,N
7 A(I,J)=B(I,J)
```

```
INICIALICE LAS VARIABLES SUSCRITAS ESPECIFICANDO EL GRADO DE LAS
COMPONENTES DEL VECTOR CARACTERISTICO EN LA ECUACION AX=0
```

```
DO 8 I=1,N
8 IX(I)=1
```

```
INICIALICE LAS VARIABLES
```

```
K=N
9 M=N-K+1
```

```
BUSQUE EL MAS GRANDE ELEMENTO PIVOTE POSIBLE
```

```
JJ=1
II=1
BIG=ABS(A(1,1))
DO 11 J=1,K
DO 11 I=1,K
DIFF=BIG-ABS(A(I,J))
IF(DIFF)10,11,11
10 JJ=J
II=I
BIG=ABS(A(I,J))
11 CONTINUE
```

```
COMPRUEBE SI SE REQUIEREN INTERCAMBIOS DE FILAS Y/O COLUMNAS
Y EFECTUE LOS INTERCAMBIOS REQUERIDOS
```

```
IF((II-1)/14,14,12)
12 DO 13 J=1,K
TEMP=A(II,J)
A(II,J)=A(I,J)
13 A(I,J)=TEMP
14 IF((JJ-1)/17,17,15)
15 TEMP=IX(M)
L=JJ+N-K
```

```

IX(M)=IX(L)
IX(L)=TEMP
DO 16 I=1,N
TEMP=A(I,JJ)
A(I,JJ)=A(I,1)
16 A(I,1)=TEMP
17 CONTINUE

```

```

C
C VERIFIQUE SI EL PROCESO DE ELIMINACION SE HA TERMINADO
IF(A(1,1))18,23,18

```

```

C
C APLIQUE EL METODO DE ELIMINACION DE GAUSS-JORDAN
18 DO 20 J=2,K
DO 20 I=2,N
IN=I-1
JN=J-1
B(IN,JN)=A(I,J)-A(I,J)*A(I,1)/A(1,1)
Y=ABS(B(IN,JN))-EPSI*ABS(A(I,J))
IF(Y)19,20,20
19 B(IN,JN)=0.
20 CONTINUE
DO 21 J=2,K
KL=J-1
B(K,KL)=A(I,J)/A(1,1)
K=K-1
IF(K)31,31,30
DO 22 J=1,K
DO 22 I=1,N
22 A(I,J)=B(I,J)
GO TO 9

```

```

C
C DE LA MATRIZ QUE ESTA EN LA MEMORIA OBTENGA LOS VECTORES CARACTE-
RISTICOS LINEALMENTE INDEPENDIENTES

```

```

23 DO 24 J=1,K
24 A(J,J)=-1
DO 25 MM=1,K
DO 25 J=1,K
KM=N+1
A(KM,J)=A(1,J)
DO 25 I=1,N
KN=I+1
25 A(I,J)=A(KN,J)
DO 27 J=1,K
DO 27 I=1,N
DO 27 NUM=1,N
IF(IX(NUM)-I)27,26,27
26 X(J)=-A(NUM,J)
27 CONTINUE
KM=L1-KAX
KL=L1+KAX
IF(KAX.GT.L1) GO TO 33
DO 29 KI=1,K
DO 29 KJ=1,L1
IF(KJ.GT.K4) GO TO 29
MI=N2-KJ+1
NI=N2-KJ
X(MI)=X(NI)
28 CONTINUE
29 X(KL)=J.
GO TO 33
31 WRITE(3,32)
32 FORMAT(//////,47X,'AJUSTE EL VALOR DE EPSI'//////)
RETURN
33 RETURN
END

```

 SUBROUTINE SMPLEX(NB,NBG,CCOST,*)

SUBROUTINA DE SOLUCION DE LA OPTIMIZACION CON PROGRAMACION LINEAL
 DESCRIPCION DE VARIABLES

CCOSTO --> DELTA-COSTO DE GENERACION
 FN --> VALOR FINAL DE LA FUNCION OBJETIVO MINIMIZADA
 PIVOT --> ELEMENTO PIVOTE DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES DEL SIMPLEX
 RHS1 --> VALOR DE LA RESTRICCION DE IGUALDAD NO. 1
 RHS2 --> VALOR DE LA RESTRICCION DE IGUALDAD NO. 2

REAL PMIN(50),PMAX(50),QMIN(50),QMAX(50),VMIN(50),VMAX(50),PG(50),
 1 QG(50),V(50),CFUN(150),CRES1(100),CRES2(150),DDP(50),DDQ(50),
 2 DDV(50),LST,VALUE(550),BP(153),RQ(153),R(153,150),PI(150),
 3 NBP(150),XPI(150),PL(50),QL(50),PN(50),GN(50),E(50),
 4 DELTA(50),YMD(250),YANG(250),DDP(50),DDQ(50),DDV(50)
 INTEGER RM1(550),RM2(550),CLNM1(551),CLNM2,IBN1(153),IBN2(153),
 1 NB1(153),NB2(153),SYMB(550),LGE(153),DP(50),DQ(50),FUNC,
 2 DV(50),D,H,RES1,RES2,BLNK,NEG,POS,RN*10,RM20,ISEND(250),
 3 IREC(250),EE
 COMMON /R01/PMIN,PMAX,QMIN,QMAX,VMIN,VMAX,PG,QG,PL,QL,PN,GN,E
 COMMON /R02/YMD,YANG,V,DELTA,ISEND,IREC
 COMMON /R03/CFUN,CRES1,CRES2
 COMMON /R04/E
 COMMON /R05/DDP,DDQ,DDV
 DATA DP/4HDP01,4HDP02,4HDP03,4HDP04,4HDP05,4HDP06,4HDP07,4HDP08,4H
 10DP09,4HDP10,4HDP11,4HDP12,4HDP13,4HDP14,4HDP15,4HDP16,4HDP17,4HDP1
 23,4HDP19,4HDP20,4HDP21,4HDP22,4HDP23,4HDP24,4HDP25,4HDP26,4HDP27,4
 3HDP28,4HDP29,4HDP30,4HDP31,4HDP32,4HDP33,4HDP34,4HDP35,4HDP36,4HDP
 437,4HDP38,4HDP39,4HDP40,4HDP41,4HDP42,4HDP43,4HDP44,4HDP45,4HDP46,
 54HDP47,4HDP48,4HDP49,4HDP50/
 DATA DQ/4HDQ01,4HDQ02,4HDQ03,4HDQ04,4HDQ05,4HDQ06,4HDQ07,4HDQ08,4H
 10DQ09,4HDQ10,4HDQ11,4HDQ12,4HDQ13,4HDQ14,4HDQ15,4HDQ16,4HDQ17,4HDQ1
 23,4HDQ19,4HDQ20,4HDQ21,4HDQ22,4HDQ23,4HDQ24,4HDQ25,4HDQ26,4HDQ27,4
 3HDQ28,4HDQ29,4HDQ30,4HDQ31,4HDQ32,4HDQ33,4HDQ34,4HDQ35,4HDQ36,4HDQ
 437,4HDQ38,4HDQ39,4HDQ40,4HDQ41,4HDQ42,4HDQ43,4HDQ44,4HDQ45,4HDQ46,
 54HDQ47,4HDQ48,4HDQ49,4HDQ50/
 DATA DV/4HDV01,4HDV02,4HDV03,4HDV04,4HDV05,4HDV06,4HDV07,4HDV08,4H
 10DV09,4HDV10,4HDV11,4HDV12,4HDV13,4HDV14,4HDV15,4HDV16,4HDV17,4HDV1
 23,4HDV19,4HDV20,4HDV21,4HDV22,4HDV23,4HDV24,4HDV25,4HDV26,4HDV27,4
 3HDV28,4HDV29,4HDV30,4HDV31,4HDV32,4HDV33,4HDV34,4HDV35,4HDV36,4HDV
 437,4HDV38,4HDV39,4HDV40,4HDV41,4HDV42,4HDV43,4HDV44,4HDV45,4HDV46,
 54HDV47,4HDV48,4HDV49,4HDV50/
 DATA LGE/2*0,151*1H+/,SYMB/550*1H /,POS,NEG,BLNK/1H+,1H-,1H /
 DATA D,H,RES1,RES2,FUNC,CLNM2/1HC,1HH,4HRES1,4HRES2,4HFUNC,1HX/
 DATA EE/1HE/

PARA LA PROGRAMACION LINEAL SE UTILIZA EL METODO SIMPLEX

DO 13 K=1,50
 DDP(K)=0.
 DDQ(K)=0.
 DDV(K)=0.
 DDP(K)=9999.
 DDQ(K)=9999.
 13 DDV(K)=9999.
 M=0
 N=1
 ISA=0
 NRCWS=0
 NGE=0
 NLE=0
 NEG=0
 NEL=0
 NRFS=0
 NCOLS=0
 NI=1
 NJ=3
 NI=2+NBG+NB+3
 NI=2+NBG+NJ

ENCUADRAMIENTO DE LA MATRIZ

DO 12 I=1, M1
 DO 12 J=1, N1
 12 B(I,J)=0.

FORMACION DE LOS VALORES DE LAS RESTRICCIONES

```

RHS1=0.
RHS2=0.
DO 2 I=1,NB
  NBG1=NBG+I
  NBG2=2*NBG+1
  IF (1.GE.NBG)GO TO 1
  RHS1=RHS1+CRES1(I)*(PG(I)-PMIN(I))+CRES1(NBG1)*(QG(I)-QMIN(I))
  RHS2=RHS2+CRES2(I)*(PG(I)-P4IN(I))+CRES2(NBG1)*(QG(I)-GMIN(I))
1  RHS2=RHS2+CRES2(NBG2)*(V(I)-VMIN(I))
2  CONTINUE
  NBG2=2*NBG
  IF (RHS1.GE.C.)GO TO 801
  RHS1=-RHS1
DO 800 I=1,NEG2
800  CRES1(I)=-CRES1(I)
801  IF (RHS2.GE.C.)GO TO 3333
  RHS2=-RHS2
  NBE=2*NBG+NB
  DO 3 I=1,NBB
 3  CRES2(I)=-CRES2(I)
3333  LGE(M)=1
  IJ I=1
3334  RNM1(1)=RES1
  RNM1(2)=RES2
  RNM2(1)=EE
  RNM2(2)=EE
  VALUE(1)=RHS1
  VALUE(2)=RHS2
  NBE2=NB+2
  NBG2=NBG+2
  DO 681 I=3,NBB2
  KB=I-2
  IF (1.GT.NBG2)GO TO 680
  RNM1(I)=DP(KB)
  RNM2(I)=H
  VALUE(I)=PMAX(KB)-PMIN(KB)
  LB=NBG+I
  RNM1(LB)=DQ(KB)
  RNM2(LB)=H
  VALUE(LB)=QMAX(KB)-QMIN(KB)
680  JB=2*NBG+I
  RNM1(JB)=DV(KB)
  RNM2(JB)=H
  VALUE(JB)=VMAX(KB)-VMIN(KB)
681  CONTINUE
  IF (111.E0.2)GO TO 190
  DO 101 I=1,M
  IF (LGE(I)-1)103,504,103
103  M = M + 1
  NRCWS = NRJWS + 1
  IF (LGE(I)-POS)105,106,105
105  IF (LGE(I)-NEG)107,108,107
106  IBN1(M)=RNM1(I)
  IBN2(M)=RNM2(I)
  NLE = NLE+1
  BP(M) = 0.
  GO TO 101
108  IBN1(M)=RNM1(I)
  IBN2(M)=RNM2(I)
  NGE = NGE + 1
  BP(M) = -1.0
  E(V,N) = -1.0
401  NBN1(N)=RNM1(I)
  NBN2(N)=RNM2(I)
  NBP(N) = 0.
  N = N+1
  GO TO 101
107  IBN1(M)=RNM1(I)
  IBN2(M)=RNM2(I)
  NEG = NEG+1
  BP(M) = -2.0
  GJ IJ 101
101  CONTINUE

```

FORMACION DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES

```

504  NBAX=8*NBG+3*NB+1
  CLNM1(NBAX)=BLNK
  DO 500 I=1,NB
  L=0

```



```

K=4*(I-1)+1
KM3=K+3
L=I+1
IN2=2*NBG+1
DO 500 J=K,KM3
L=L+1
JB4=I*NBG+J
JB3=J*NBG+J
IF(I.GT.NB3)GO TO 510
CLM1(J)=DP(I)
CLM1(JB4)=DQ(I)
510 IF(I.NE.1)GO TO 520
JJ=J
GO TO 530
520 JJ=J-1+1
530 JJB8=I*NBG+JJ
IF(J.EQ.KM3)GO TO 540
CLM1(JJB3)=DV(I)
540 GO TO (560,570,580,590),L
560 IF(I.GT.NB5)GO TO 566
RNM1(J)=FUNC
RNM2(J)=EE
IF(CFUN(I).GT.0.) SYMB(J)=NEG
VALUE(J)=ABS(CFUN(I))
RNM1(JB4)=FUNC
RNM2(JB4)=EE
IF(CFUN(IN1).GT.0.) SYMB(JB4)=NEG
VALUE(JB4)=ABS(CFUN(IN1))
566 RNM1(JJB8)=FUNC
RNM2(JJB8)=EE
IF(CFUN(IN2).GT.0.) SYMB(JJB8)=NEG
VALUE(JJB8)=ABS(CFUN(IN2))
GO TO 500
570 IF(I.GT.NB6)GO TO 577
RNM1(J)=RES1
RNM2(J)=EE
IF(CRES1(I).LT.0.) SYMB(J)=NEG
VALUE(J)=ABS(CRES1(I))
RNM1(JB4)=RES1
RNM2(JB4)=EE
IF(CRES1(IN1).LT.0.) SYMB(JB4)=NEG
VALUE(JB4)=ABS(CRES1(IN1))
577 RNM1(JJB3)=RES2
RNM2(JJB8)=EE
IF(CRES2(IN2).LT.0.) SYMB(JJB8)=NEG
VALUE(JJB8)=ABS(CRES2(IN2))
GO TO 500
580 IF(I.GT.NB6)GO TO 588
RNM1(J)=RES2
RNM2(J)=EE
IF(CRES2(I).LT.0.) SYMB(J)=NEG
VALUE(J)=ABS(CRES2(I))
RNM1(JB4)=RES2
RNM2(JB4)=EE
IF(CRES2(IN1).LT.0.) SYMB(JB4)=NEG
VALUE(JB4)=ABS(CRES2(IN1))
588 RNM1(JJB8)=DV(I)
RNM2(JJB8)=H
VALUE(JJB8)=1.0
GO TO 500
590 IF(I.GT.NB6)GO TO 500
RNM1(J)=DP(I)
RNM2(J)=H
VALUE(J)=1.0
RNM1(JB4)=DQ(I)
RNM2(JB4)=H
VALUE(JB4)=1.0
500 CONTINUE
II=2
J=1
GO TO 119
109 IF(NBM1(N)-CLM1(J))111,600,111
600 IF(NBM2(N)-CLM2(J))111,601,111
601 CONTINUE
112 DO 113 I=1,M
IF(121.1(I)-RNM1(J))113,602,113
602 IF(131.2(I)-RNM2(J))113,603,113
113 CONTINUE
RETURN
603 CONTINUE

```

```

114 IF (SYMB(J)-NEG)116,115,116
115 R(I,J)=-VALUE(J)
    GO TO 117
116 R(I,N)= VALUE(J)
C
C   ALMACENAR LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ DEL SIMPLEX
117 J=J+1
    NEL = NEL+1
    GO TO 109
111 N = N+1
    NCOLS = NCOLS + 1
    IF (CLNM1(J)-BLNK)119,3334,119
119 NBN1(N)=CLNM1(J)
    NBN2(N) = CLNM2
201 IF (SYMB(J)-NEG)202,203,202
202 NBP(N)= VALUE(J)
    GO TO 117
203 NBP(N)=-VALUE(J)
    GO TO 117
C
C   ALMACENAMIENTO DE LOS RHS ELEMENTOS
190 DO 191 I=1,M
191 RQ(I) = 0.
    RNM1(M)=BLNK
    DO 120 J=1,M1
    IF (RNM1(J)-BLNK)122,193,122
122 DO 124 I=1,M
    IF (RNM1(I)-RNM1(J))124,610,124
610 IF (RNM2(I)-RNM2(J))124,611,124
124 CONTINUE
    RETURN
611 CONTINUE
125 RQ(I)=VALUE(J)
    NRHS = NRHS+1
120 CONTINUE
193 N = N-1
C
C   BORRAR NOMBRES ARTIFICIALES
DO 10 I=1,M
IF (BP(I)+1.0)19,11,10
11 IBN1(I) = BLNK
    IBN2(I) = BLNK
    GO TO 10
19 BP(I) = -1.0
    IBN1(I) = BLNK
    IBN2(I) = BLNK
10 CONTINUE
C
C   ACUMULA CONTADOR DE NO-FACTIBILIDAD
NINF = 0
DO 6000 I=1,M
IF (BP(I))6001,6000,6000
6001 NINF = NINF+1
6000 CONTINUE
C
C   GENERA INDICADOR PARA MINIMIZAR LAS NO-FACTIBILIDADES
DO 6101 J=1,N
    XPI(J) = 0.
    DO 6101 I=1,M
    IF (BP(I))6102,6101,6101
6102 XPI(J) = XPI(J)-R(I,J)
6101 CONTINUE
DO 6002 I=1,M
6002 BP(I) = 0.
    IPHASE = 1
9201 CONTINUE
    IT = 0
54325 CONTINUE
DO 104 J=1,N
    PI(J) = -NBP(J)
DO 104 I=1,M
104 PI(J) = PI(J) + BP(I)*R(I,J)
9101 LST = -.0000001
    KCCL = 0
    GO TO (751,552),IPHASE
751 IF (NINF)54321,54321,552
552 CONTINUE
DO 1102 J=1,N.
C
C   SIGNIFICAR ARTIFICIAL VARIABLES

```

```

651 IF (NB1(J)-BLNK+NB2(J)-ELNK) 651,9102,651
CONTINUE
GOTO (6005,6004),IPHASE
6003 IF (XPI(J)-LST) 6005,6006,6005
6005 KCCL=J
LST = XPI(J)
GOTO 9102
6004 CONTINUE
IF (PI(J)-LST) 9103,9102,9102
9103 KCCL = J
LST = PI(J)
6006 CONTINUE
9102 CONTINUE
IF (KCCL) 54321,54321,9104
C
C DETERMINE LA FILA PIVOTE
9104 KRCW = 0
CJEAR = LST
LST = 1.0E20
DO 9105 I=1,M
IF (B(I,KCOL)) 9105,9105,9106
9105 RATIO = RQ(I)/B(I,KCOL)
IF (RATIO-LST) 9107,9106,9105
9107 LST = RATIO
KRCW = I
9105 CONTINUE
IF (KRCW) 9112,9112,9114
9112 CONTINUE
RETURN
9114 CONTINUE
C
C TRANSFORME DIVIDIENDO PARA EL PIVOT
PIVOT = B(KRCW,KCOL)
DO 9108 J=1,N
9108 B(KRCW,J) = B(KRCW,J)/PIVOT
RQ(KRCW) = RQ(KRCW)/PIVOT
DO 9109 I=1,M
IF (I-KRCW) 9110,9109,9110
9110 RQ(I) = RQ(I) - RQ(KRCW)*B(I,KCOL)
DO 9111 J=1,N
IF (J-KCOL) 9111,4444,9111
9111 B(I,J) = B(I,J) - B(KRCW,J)*B(I,KCOL)
4444 CONTINUE
9109 CONTINUE
DO 9300 I=1,M
9300 B(I,KCOL) = -B(I,KCOL)/PIVOT
B(KRCW,KCOL) = 1.0/PIVOT
C
C INTERCAMBIAR VARIABLES BASICAS CON LAS NO-BASICAS
RNM10 = NB1(KCOL)
RNM20 = NB2(KCOL)
NB1(KCOL) = IBN1(KRCW)
NB2(KCOL) = IBN2(KRCW)
IBN1(KRCW) = RNM10
IBN2(KRCW) = RNM20
LST = NB1(KCOL)
IBP(KCOL) = BP(KRCW)
BP(KRCW) = LST
IT = IT + 1
IF (NB1(KCOL)-BLNK+NB2(KCOL)-JLNK) 6201,6200,6201
6200 NINF = NINF - 1
6201 CONTINUE
C
C CALCULE LA FUNCION OBJETIVO
FN = 0.
DO 9301 I=1,M
9301 FN = FN + JP(I)*RQ(I)
GOTO (7000,7001),IPHASE
7000 SAVE = PI(KCOL)
DO 7003 J=1,N
PI(J) = PI(J) - SAVE*B(KRCW,J)
XPI(J) = XPI(J) - CJEAR*B(KRCW,J)
7003 CONTINUE
PI(KCOL) = -SAVE/PIVOT
XPI(KCOL) = -CJEAR/PIVOT
GOTO 7004
7001 CONTINUE
DO 9302 J=1,N
9302 PI(J) = PI(J) - CJEAR*P(KRCW,J)
PI(KCOL) = -CJEAR/PIVOT

```

```

7004 CONTINUE
      DO 6111 I=1,N
      DO 6111 J=1,N
      X=B(I,J)
      IF (ABS(X)-.000001)6112,6112,6111
6112 B(I,J) = 0.
6111 CONTINUE
      GO TO 9101

```

C

```

54321 CONTINUE
      IF (IPHASE-1)8000,8000,54322
      8000 IPHASE = 2
      IF (MINF)8003,8003,8004
      8004 RETURN
      8003 CONTINUE
      GO TO 54325
54322 CONTINUE
      DO 12303 I=1,M
      VALOR = 1.0E20
      LST = 1.0E20
      DO 12300 J=1,N
      IF (IBN1(J)-BLNK+BN2(J)-ELNK)12305,12300,12305
12305 CONTINUE
      IF (B(I,J))12301,12300,12302
12302 X = PI(J)/B(I,J)
      IF (X-LST)12303,12300,12300
12303 LST = X
      GO TO 12300
12301 X=-PI(J)/B(I,J)
      IF (X-VALOR)12304,12300,12300
12304 VALOR = X
12300 CONTINUE
      LST = BP(I)-LST
      VALOR = BP(I) + VALOR
      IF (IBN2(I).NE.CLNM2)GO TO 3033

```

C

VALORES REALES DE LOS DELTAS DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA Y DEL VOLTAJE

```

      DO 599 J=1,NB
      IF (J.GT.NBG)GO TO 591
      IF (IBN1(I).EQ.DP(J))GO TO 593
      IF (IBN1(I).EQ.DQ(J))GO TO 595
      591 IF (IBN1(I).EQ.DV(J))GO TO 597
      GO TO 599
      593 DDP(J)=RQ(I)+PMIN(J)-PG(J)
      GO TO 3033
      595 DDQ(J)=RQ(I)+QMIN(J)-QG(J)
      GO TO 3033
      597 DDV(J)=RQ(I)+VMIN(J)-V(J)
      GO TO 3033
      599 CONTINUE
      3033 CONTINUE

```

C

```

      DO 1300 I=1,NB
      IF (I.GT.NBG)GO TO 1301
      IF (DDP(I).EQ.9999.) DDP(I)=PMIN(I)-PG(I)
      IF (DDQ(I).EQ.9999.) DDQ(I)=QMIN(I)-QG(I)
      1301 IF (DDV(I).EQ.9999.) DDV(I)=VMIN(I)-V(I)
      1300 CONTINUE
      DCCST=-FN

```

C

VALOR REAL DEL DELTA-COSTO

```

      DO 513 I=1,NB
      DDQ(I)=DQ(I)
      IF (I.LE.NBG)GO TO 2468
      DDP(I)=DPP(I)
      DDV(I)=DVV(I)
      2468 INB1=NBG+I
      INB2=2*NBG+I
      IF (I.GT.NBG)GO TO 523
      DCCST=DCOST+CFUN(I)*(PMIN(I)-PG(I))+CFUN(INB1)*(QMIN(I)-QG(I))
      523 DCOST=DCOST+CFUN(INB2)*(VMIN(I)-V(I))
      513 CONTINUE
5432J RETURN
      END

```

 SUBROUTINE PDEBA(JW,INDI,NB,NB,NE,NRC,BASE,PADEV,CONV,NBG,NIFC,EP
 SIV,EP SIV,*)

SUBROUTINA DE VERIFICACION DE VALIDEZ Y CONSISTENCIA DE DATOS

```

DIMENSION PMIN(50),PMA(50),QMIN(50),QMA(50),VMIN(50),VMA(50),
1  PG(50),OG(50),PL(50),OL(50),PN(50),QN(50),E(50)
COMMON /R01/PMIN,PMA,QMIN,QMA,VMIN,VMA,PG,GG,PL,OL,PN,QN,E
COMMON /R13/NTC
COMMON /R20/AIR(50),BIR(50),CIR(50)

NTCS=NIC+1
N=0
IF(INDI.GE.1)GO TO 10
N=N+1
WRITE(JW,110)
10 IF(NB.GT.0.AND.NB.LE.50)GO TO 12
N=N+1
WRITE(JW,112)
12 IF(NTC.GE.0.AND.NTC.LE.NB)GO TO 14
N=N+1
WRITE(JW,114)
14 IF(NS.EQ.1)GO TO 16
N=N+1
WRITE(JW,116)
16 IF(NE.GT.0.AND.NE.LE.100)GO TO 18
N=N+1
WRITE(JW,118)
18 IF(NRC.GE.0.AND.NRC.LE.100)GO TO 20
N=N+1
WRITE(JW,120)
20 IF(BASE.GT.0.0.AND.BASEV.GT.0.0)GO TO 22
N=N+1
WRITE(JW,122)
22 IF(CONV.GT.0.0)GO TO 24
N=N+1
WRITE(JW,124)
24 IF(NBG.GT.0.AND.NBG.LE.NE)GO TO 26
N=N+1
WRITE(JW,126)
26 IF(NIFC.GT.0.AND.NIFC.LE.20)GO TO 28
N=N+1
WRITE(JW,128)
28 IF(EP SIV.GT.0.0.AND.EP SIV.LE.0.1)GO TO 30
N=N+1
WRITE(JW,130)
30 IF(EP SIV.GT.0.0.AND.EP SIV.LE.0.1)GO TO 32
N=N+1
WRITE(JW,132)
32 DO 40 K=1,NB
IF(VMIN(K).GT.0.0.AND.VMA(K).GT.0.0)GO TO 34
N=N+1
WRITE(JW,134)
34 IF(K.GT.NTCS)GO TO 40
IF(PMIN(K).GE.0.0.AND.PMA(K).GE.0.0)GO TO 36
N=N+1
WRITE(JW,136)
36 IF(AIR(K).LT.0.0)GO TO 38
IF(BIR(K).LT.0.0)GO TO 38
IF(CIR(K).LT.0.0)GO TO 38
GO TO 40
38 N=N+1
WRITE(JW,138)
40 CONTINUE
IF(N.EQ.0)RETURN
WRITE(JW,140) N
RETURN
110 FORMAT(///20X,'ERROR: EL NUMERO DE EJEMPLOS ES CERO O NEGATIVO')
112 FORMAT(///20X,'ERROR: EL NUMERO DE BARRAS DEL SISTEMA ES NEGATIVO
1 O ES MAYOR QUE 50')
114 FORMAT(///20X,'ERROR: NUMERO DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA MAYO
1R QUE NUMERO DE BARRAS DEL SISTEMA')
116 FORMAT(///20X,'ERROR: LA BARRA SLACK ES DIFERENTE A 1')
118 FORMAT(///20X,'ERROR: EL NUMERO DE ELEMENTOS ES NEGATIVO O MAYOR
1 QUE 100')
120 FORMAT(///20X,'ERROR: NUMERO DE ELEMENTOS-PARALELO ES NEGATIVO O
1 MAYOR QUE 100')
122 FORMAT(///20X,'ERROR: LOS MVA-BASE O LOS KV-BASE SON NEGATIVOS')

```

```

124 FORMAT(////20X,'ERROR: CRITERIO DE CONVERGENCIA DE FLUJOS DE CARGA
1 ES NEGATIVO')
126 FORMAT(////20X,'ERROR: NUMERO DE BARRAS DE GENERACION ES NEGATIVO
10 ES MAYOR OUL NUMERO DE BARRAS DEL SISTEMA')
128 FORMAT(////20X,'ERROR: NUMERO DE ITERACIONES(NIEC) ES MAYOR A 20')
130 FORMAT(////20X,'ERROR: EPSI ESTA FUERA DE LIMITES 0.0 Y 0.1')
132 FORMAT(////20X,'ERROR: EPSIV ESTA FUERA DE LIMITES 0.0 Y 0.1')
134 FORMAT(////20X,'ERROR: VOLTAJE MAXIMO O MINIMO ES NEGATIVO')
136 FORMAT(////20X,'ERROR: POTENCIA ACTIVA MINIMA O MAXIMA DE GENERACION
ES NEGATIVO')
138 FORMAT(////20X,'ERROR: COEFICIENTES DE COSTOS DE GENERACION NEGATIVOS')
140 FORMAT(////20X,'NUMERO TOTAL DE ERRORES :',I5////)
END

```

```

-----
SUBROUTINE LINEAL(NBG,JW,CI)
-----

```

SUBROUTINA PARA TRANSFORMAR LOS COSTOS REALES(CUADRATICOS) A COSTOS LINEALES

DESCRIPCION DE VARIABLES

DX --> INCREMENTO DE LA POTENCIA DE GENERACION
R2 --> GRADO DE APROXIMACION DE LAS CURVAS REAL Y LINEAL
X --> DIFERENTES VALORES DE POTENCIA DE GENERACION DE CADA CURVA
Y --> COSTO REAL DE GENERACION DE CADA VALOR DE X

DIMENSION A1(50),B1(50),C1(50),PMIN(50),PMAX(50),QMIN(50),QMAX(50)
DIMENSION VMIN(50),VMAX(50),PG(50),QG(50),PL(50),QL(50),PN(50)
DIMENSION QN(50),E(50)
COMMON /R01/PMIN,PMAX,QMIN,QMAX,VMIN,VMAX,PG,QG,PL,QL,PN,QN,E
COMMON /R04/A1,B1

SE UTILIZA EL METODO DE REGRESION LINEAL DE LOS MINIMOS CUADRADOS

```

WRITE(JW,300)
DO 200 K=1,NBG
R2=1.0
IF(C1(K).EQ.0.)GO TO 200
X=PMIN(K)
DX=(PMAX(K)-PMIN(K))/19.
SX=0.
SY=0.
SXY=0.
SX2=0.
SY2=0.
DO 100 J=1,20

```

```

FUNCION REAL(CUADRATICA) DE COSTOS DE GENERACION
Y=A1(K)+B1(K)*X+C1(K)*X**2
SX=SX+X
SY=SY+Y
SXY=SXY+X*Y
SX2=SX2+X**2
SY2=SY2+Y**2
100 X=X+DX

```

```

COEFICIENTES DE LA FUNCION LINEAL DE COSTOS DE GENERACION
B1(K)=(SXY-SX*SY/20)/(SX2-SX**2/20)
A1(K)=SY/20-B1(K)*SX/20
R2=(SXY-SX*SY/20)*B1(K)/(SY2-SY**2/20)

```

ESCRIBIR COEFICIENTES DE COSTOS LINEALES

```

200 WRITE(JW,400) K,A1(K),B1(K),R2
P=10*P
300 FORMAT(////20X,'DATOS DE GENERADORES : COSTOS LINEALES DE GENERACION
11JN/20X,5I1'-1)//20X,'BARRAS',4X,'TERMINO',10X,'COEFICIENTE DE',LX
2,'GRADO DE'/20X,'INDEPENDIENTE',4X,'PRIMER GRADO',6X,'APROXIMACION
3'/)
400 FORMAT(/21X,12,BX,F10.5,7X,F10.5,9X,F6.4)
END

```

 SUBROUTINE INPUT(NR,JP,JW,NS,BASE,CERJ,BASEV,NE,NT,NLE,NRG,PRGI,EP
 15IV,NTIC)

SUBROUTINA DE LECTURA DE DATOS Y FORMACION DE LA MATRIZ ADMITANCIA DE
 DESCRIPCION DE VARIABLES

AIK --> TERM. INDEPENDIENTE DE COSTO REAL DE CADA UNIDAD GENERADORA
 BIK --> CUEL. PRIMER ORDEN DE COSTO REAL DE CADA UNIDAD GENERADORA
 BK --> TAP CONECTADO DE LOS TRANSFORMADORES
 CIK --> COEFICIENTE DE SEGUNDO ORDEN DE LA FUNCION LINEAL DE COSTOS
 K --> NUMERO DE CADA BARRA DEL SISTEMA
 L --> BARRA P
 M --> BARRA G
 RR --> RESISTENCIA DE CADA ELEMENTO
 SS --> SUCAPTANCIA DE CADA ELEMENTO
 XX --> REACTANCIA DE CADA ELEMENTO

DIMENSION V(50),DELTA(50),NODE(50),QMAX(50),QMIN(50),E(50),PG(50)
 DIMENSION PL(50),QG(50),GL(50),PN(50),QN(50),PVMAX(50),PVMIN(50)
 DIMENSION VMAX(50),VMIN(50),G(250),B(250),NEUS(250),ISEND(250)
 DIMENSION IREC(250),SUS(250),INE(250),YMOD(250),YANG(250)
 DIMENSION AI(50),BI(50),CI(50)
 COMMON /R01/PMIN,PVMAX,QMIN,QMAX,VMIN,VMAX,PG,QG,PL,QL,PN,QN,E
 COMMON /R02/YMOD,YANG,V,DELTA,ISEND,IREC
 COMMON /R03/G,H,MUS,SUS,INE,NODE
 COMMON /R04/AI,BI
 COMMON /R13/NTIC
 COMMON /R20/AIR(50),FIR(50),CIR(50)

LEER Y ESCRIBIR DATOS PARA FLUJOS DE CARGA

INDY=1
 WRITE(JW,140)
 DO 10 N=1,NR
 READ(JP,150) K,VK,PGK,QGK,PLK,QLK,VMAXK,VMINK
 WRITE(JW,150) K,VK,PGK,QGK,PLK,QLK,VMAXK,VMINK
 V(K)=1.
 DELTA(K)=0.
 PG(K)=PGK/BASE
 QG(K)=QGK/BASE
 PL(K)=PLK/BASE
 QL(K)=QLK/BASE
 NODE(K)=3
 VMAX(K)=VMAXK/BASEV
 VMIN(K)=VMINK/BASEV
 QMAX(K)=0.
 QMIN(K)=0.
 IF(ABS(VK).LT.0.0001) GO TO 12
 IF(K.EQ.NS) GO TO 14
 E(K)=VK
 NODE(K)=2
 WRITE(JW,163)
 GO TO 10
 12 WRITE(JW,161)
 GO TO 10
 14 V(K)=VK
 NODE(K)=1
 WRITE(JW,162)
 10 CONTINUE
 DO 20 I=1,NB
 NEUS(I)=0
 DO 40 I=1,NLE
 ISEND(I)=0
 IREC(I)=0
 G(I)=0.
 B(I)=0.
 SUS(I)=0.
 40 CONTINUE
 WRITE(JW,170)

LECTURA E IMPRESION DE DATOS DE LINEAS, TRANSFORMADORES,
 CAPACITORES Y/ O REACTORES

BASEZ=BASEV**2/BASE
 J=0
 DO 50 NL=1,NE
 GL=0.
 BL=0.
 READ(JP,180) L,M,PR,XX,SS,BK

```

IF (BK.LT.C.0001) GO TO 51
BL=(-1./((RR*BK*SS))*BASE/XX*100.
SUSC1=(-1./EI)*(1./SS**2-1./BK*SS)*BASE/XX*100.
SUSC2=(-1./RR)*(1./PK**2-1./PK*SS)*BASE/XX*100.
WRITE(JW,145) NL,L,M,GL,FR,GL,XX,SS,BK
GO TO 52
51 IF(L.NE.M) GO TO 52
SUSC1=-RR/BASE
WRITE(JW,146) NL,L,M,GL,GL,GL,GL,GL,RR
GO TO 52
52 WRITE(JW,146) NL,L,M,RR,XX,SS
RR=RR/BASEZ
XX=XX/BASEZ
SS=SS*BASEZ
Z=XX*XX+RR*RR
GL=RR/Z
BL=-XX/Z
SUSC1=SS/Z.
SUSC2=SS/2.
62 J=J+1
INE(J)=NL
ISEND(J)=L
IREC(J)=M
G(J)=GL
E(J)=BL
SUS(J)=SUSC1
IF(L.NE.M) GO TO 63
NBUS(L)=L
GO TO 50
63 J=J+1
INE(J)=NL
ISEND(J)=M
IREC(J)=L
G(J)=GL
E(J)=BL
SUS(J)=SUSC2
50 CONTINUE
K=J
DO 30 I=1,NB
IF(NBUS(I).EQ.1) GO TO 30
K=K+1
NL=NL+1
INE(K)=NL
ISEND(K)=I
IREC(K)=I
30 CONTINUE
NT=K
NTI=NT-1
WRITE(JW,145)

```

```

LECTURA Y ESCRITURA DE DATOS GENERALES PARA LA OPTIMIZACION
READ(JR,146) NBG,NIFC,EFSI,EPSIV
WRITE(JW,147) NBG,NIFC,EFSI,EPSIV
WRITE(JW,155)
NTCS=NTC+1
DO 60 JJ=1,NTCS

```

```

LECTURA Y ESCRITURA DE DATOS DE COSTOS Y LIMITES DE GENERACION
READ(JR,156) K,AIK,BIK,CIK,PMINK,PMAKX,QMINK,QMAXK
WRITE(JW,157) K,AIK,BIK,CIK,PMINK,PMAKX,QMINK,QMAXK
OMAX(K)=QMAXK/BASE
QMIN(K)=QMINK/BASE
PMAK(K)=PMAKX/BASE
PMINK(K)=PMINK/BASE
AIR(K)=AIK
BIR(K)=BIK
CIR(K)=CIK
AI(K)=AIK
BI(K)=BIK
60 CI(K)=CIK

```

```

LLAMADA A SUBROUTINA DE TRANSFORMACION DE COSTOS REALES A COSTOS LINEALES
CALL LINEAL(NBG,JW,CI)

```

```

FORMACION DE LA MATRIZ ADMITANCIA DE PARRA
DO 70 I=1,NTI
J=I+1
DO 80 L=J,NT
IF(ISEND(I).LE.ISEND(L)) GO TO 8)
IN=INE(I)

```



```

P=ISEND(I)
N=IRL(I)
G1=G(I)
B1=B(I)
SUS1=SUS(I)
INE(I)=INL(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
SJS(L)=SUS1
40 CONTINUE
70 CONTINUE
J=1
DO 81 I=1,NB
N=0
G1=0.
B1=0.
DO 82 L=J,NT
IF(ISEND(L).NE.I) GO TO 82
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
82 CONTINUE
G(M)=G1
B(M)=B1
NBUS(I)=N
J=J+N
81 CONTINUE
DO 90 I=1,NTI
J=I+1
DO 91 K=J,NT
IF(ISEND(I).NE.ISEND(K)) GO TO 91
IF(IREC(I).LE.IREC(K)) GO TO 91
IN=INE(I)
L=IREC(I)
G1=G(I)
B1=B(I)
SUS1=SJS(I)
INE(I)=INE(K)
IREC(I)=IREC(K)
G(I)=G(K)
B(I)=B(K)
SJS(I)=SUS(K)
INE(K)=IN
IREC(K)=L
G(K)=G1
B(K)=B1
SUS(K)=SUS1
91 CONTINUE
90 CONTINUE
DO 21 I1=1,NT
CUAD=G(I1)**2+B(I1)**2
YAC(I1)=SQRT(CUAD)
DAUC=B(I1)/YAC(I1)
YANG(I1)=ARCSIN(DAUC)
IF(B(I1).GT.0.) YANG(I1)=3.1415926-YANG(I1)
21 CONTINUE
IF(INDY.EQ.1) GO TO 200
WRITE(JW,171)
G1=0.
B1=0.
C
C
IMPRESION DE LA MATRIZ ADMITANCIA DE BARRA
DO 83 J=1,NT
L=J+1
G1=G1+G(J)
B1=B1+B(J)
IF(J.EQ.NT) GO TO 86
IF(ISEND(J).EQ.ISEND(L).AND.IREC(J).EQ.IREC(L)) GO TO 84
86 WRITE(JW,172) ISEND(J),IREC(J),G1,B1

```

G1=0.

E1=0.

93 CONTINUE

RETURN

200
C
C

FORMATOS DE LECTURA Y ESCRITURA DE DATOS

```

140 FORMAT(//////20X,15H'DATOS DE BARRAS',/20X,15(1H-),//10X,5HBARRA,2X,7
1HTIPO DE,2X,7BVOLTAJE,1X,2(2X,10HPOT ACTIVA,2X,12HPOT REACTIVA),2X
2,13H VOLTAJE MAX,2X,13H VOLTAJE MIN,/,10X,3HNO.,4X,5HBARRA,4X,5H
3MAGNITUD,2(2X,10HGENERACION),4X,5HCARGA,7X,5HCARGA,4X,2(5X,12H 5V
4LA BARRA)/)
145 FORMAT(//////5X,10('=', '>'),4X,'DATOS REQUERIDOS PARA OPTIMIZAR LA
1PRODUCCION DE LA ENERGIA'/20X,59('=-')//////20X,'NO. DE BARRAS',3X,'NO
2. DE ITEM.',2X,'CRITERIO DE',3X,'CRITERIO DE'/20X,'DE GENERACION',2
3X,'DE FLUJOS',4X,'CONVERGENCIA',2X,'CONVERGENCIA'/48X,'DE LOS EIGE
4N',2X,'DEL VOLTAJE'/48X,'VECTORES'/)
146 FORMAT(2I10,2F10.5)
147 FORMAT(/25X,12,12X,I2,7X,F10.5,4X,F10.5)
150 FORMAT(I10,7F10.5)
155 FORMAT(//////,20X,'DATOS DE GENERADORES : COEFICIENTES DE COSTO Y R
1ANGO DE GENERACION'/20X,66('=-')//10X,'BARRA',2X,'TERMINO',2X,'COEF
2ICIENTE DE',2X,'COEFICIENTE DE',2X,'PMIN DE',5X,'PMAX DE',5X,'QMIN
3 DE',5X,'QMAX DE'/17X,'INDEPENDIENTE',2X,'PRIMER ORDEN',4X,'SEGUNDO
4O ORDEN',1X,4(2X,'GENERACION')//)
156 FORMAT(I10,7F10.5)
157 FORMAT(/12X,12,2(5X,F10.5),5X,F10.5,2X,4(2X,F10.5))
160 FORMAT(10X,13,10X,2(1X,F10.5),2X,F10.5,2X,2(2X,F10.5),2(5X,F10.5))
161 FORMAT(1H+,19X,'C')
162 FORMAT(1H+,19X,'S')
163 FORMAT(1H+,19X,'T')
170 FORMAT(//////,20X,'DATOS DE LINEAS, TRANSFORMADORES Y/O CAP/REACTOR
1ES',/,20X,49(1H-),//,10X,'NO.',3X,'NAR P',2X,'BAR O',2X,'RESISTEN
2',3X,'REACTANC',2X,'SUSCEPTAN',2X,'MVA T',3X,'TAP P',3X,'TAP G',3X,
3'CAP/REAC',/)
180 FORMAT(2I10,4F10.5)
190 FORMAT(9X,13,2(4X,I3),2X,3(1X,F9.5))
195 FORMAT(9X,13,2(4X,I3),2X,3(1X,F9.5),1X,F7.2,2(1X,F7.4))
196 FORMAT(9X,13,2(4X,I3),2X,3(1X,F9.5),1X,3(1X,F7.4),1X,F9.3)
191 FORMAT(//////20X,20HMATRIZ ADMITANCIA YB,/20X,20(1H-),//10X,4HFILA,
15X,7HCOLUMNA,2X,7HYB REAL,5X,7HYB IVAG,/)
192 FORMAT(10X,13,7X,I3,7X,F10.5,2X,F10.5,1(3X,F10.5))
END

```

```

-----
SUBROUTINE SOLVE(NB,NS,CONV,MAXIT,JW,CERO,BASE,BASEV,NT,NLF,NF,NJ,
INTEND,IFC,CF1,DEJ,*,NRG)
-----

```

SUBROUTINA QUE RESUELVE FLUJOS DE CARGA

```

DIMENSION V(50),DELTA(50),NODE(50),QMAX(50),QMIN(50),E(50),PG(50)
DIMENSION PL(50),QG(50),GL(50),PN(50),QM(50),PMAX(50),PMIN(50)
DIMENSION VMAX(50),VMIN(50),G(25),B(250),NBUS(250),ISEND(250)
DIMENSION IRLC(250),SUS(250),INE(250),YMOD(250),YANG(250)
DIMENSION VP(70),LCOL(70),NBZF(70),DE(70),NSEQ(70),RE(400)
DIMENSION ITAG(400),ITAG1(400),ITAG2(400),LNXT(400),CE(400)
REAL ITER
INTEGER CF1
COMMON /R01/PMIN,PMAX,QMIN,QMAX,VMIN,VMAX,PG,QG,PL,QL,PN,QN,E
COMMON /R02/YMOD,YANG,V,DELTA,ISEND,IREC
COMMON /R03/G,B,NBUS,SUS,INE,NODE
COMMON /R04/VP,LCOL,NBZF,DE,NSEQ
COMMON /R05/ITAG,ITAG1,ITAG2,LNXT,CE,RE
COMMON /R11/ITER

```

SE UTILIZA EL METODO NEWTON - RAPHSON DESACOPLADO

NW=NB-1

CALCULO DE POTENCIA NETA ESPECIFICADA

```

DO 5 I=1,NB
IF(I.EQ.NS) GO TO 5
PN(I)=PG(I)-PL(I)
IF(NODE(I).EQ.2) GO TO 5
QN(I)=QG(I)-QL(I)
5 CONTINUE
ITER=0.
INEC=0
7 INC=0.
KP=1
KQ=1

```

CALCULO DE VARIACION DE POTENCIA ACTIVA

```

8 J=0
L=0
DO 10 I=1,NB
IF(I.EQ.NS) J=J+NBUS(I)
IF(I.EQ.NS) GO TO 10
L=L+1
C1=0.
N=NBUS(I)
DO 11 M=1,N
J=J+1
K=IREC(J)
C1=C1+V(K)*((G(J)*COS(DELTA(I)-DELTA(K))+B(J)*SIN(DELTA(I)-DELTA(K)
1))
11 CONTINUE
P=V(I)*C1
VP(L)=PN(I)-P
IF(L.EQ.1) GO TO 13
IF(ABS(VP(L))-VPMAX) 10,10,13
13 VPMAX=ABS(VP(L))
10 CONTINUE

```

P EBA DE CONVERGENCIA DE LA VARIACION DE POTENCIA ACTIVA

IF(VPMAX.LE.CONV) GO TO 110

CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL SURJACOBIANO H

```

L=0
CALL ENCERO(NS,LF)
J=0
LL=1
NCK=0
DO 20 I=1,NB
LLL=0
MC=0
IF(I.EQ.NS) J=J+NBUS(I)
IF(I.EQ.NS) GO TO 20
L=L+1
LCOL(L)=LL
NKN=J
HI I=0.
N=NBUS(I)

```

```

DO 21 MM=1,N
J=J+1
K=IREC(J)
IF (K.EQ.NS) GO TO 25
M=K
IF (LLL.NE.M) NNN=NNN+1
LLL=M
IF (K.EQ.1) GO TO 21
25 HIK=V(I)=V(K)*(G(J)*SIN(DELTA(I)-DELTA(K))-B(J)*COS(DELTA(I)-DELTA
1(K)))
HII=HII+HIK
IF (K.GT.NS) M=M-1
IF (K.EQ.NS) GO TO 21
IF (MC.NE.M) MCN=MCN+1
MC=M
ITAG(MCN)=M
ITAG1(MCN)=I
ITAG2(MCN)=F
LNXT(MCN)=MCN+1
PE(MCN)=HIK+PE(MCN)
CE(MCN)=HIK+CE(MCN)
21 CONTINUE
LL=LL+NNN-1
LF=LCF+1
NJZF(L)=NNN
LNXT(MCN)=J
NSEO(L)=L
DE(L)=-HII
20 CONTINUE

C
C      CALCULO DE LAS CORRECCIONES DE ANGULO
CALL CRDEM(LF,NS)
CALL SIMORD(NW,LF,NS,N9,JW,NTND)
CALL REDUC(NW,NS,N9)
CALL SOLUC(NW,NS,N9)

C
C      CORRECCION DE ANGULOS
L=0
DO 50 I=1,NB
IF (I.EQ.NS) GO TO 50
L=L+1
DELTA(I)=DELTA(I)+VP(L)
50 CONTINUE
ITER=ITER+0.5
KQ=1

C
C      CALCULO DE LA VARIACION DE CORRIENTE IMAGINARIA
C      CALCULO DE VARIACION DE POTENCIA REACTIVA
59 J=0
M=0
L=0
DO 60 I=1,NB
IF (I.EQ.NS) J=J+NBUS(I)
IF (I.EQ.NS) GO TO 60
L=L+1
CI=0.
HII=0.
N=NBUS(I)
DO 61 MM=1,N
J=J+1
K=IREC(J)
HIK=V(I)*V(K)*(G(J)*SIN(DELTA(I)-DELTA(K))-B(J)*COS(DELTA(I)-DELTA
1(K)))
HII=HII+HIK
CI=CI+V(K)*(G(J)*SIN(DELTA(K))+B(J)*COS(DELTA(K)))
61 CONTINUE
IF (NODE(I).NE.2) GO TO 63
QN(I)=HII
VP(L)=L(I)**2-V(I)**2
GO TO 60
63 VP(L)=(PN(I)*SIN(DELTA(I))-QN(I)*COS(DELTA(I)))/V(I)-CI
M=M+1
VQ=QN(I)-HII
IF (M.EQ.1) GO TO 63
IF (ABS(VQ)-VQMAX)60,60,63
63 VQMAX=ABS(VQ)
60 CONTINUE

C
C      PRUEBA DE CONVERGENCIA DE LA VARIACION DE POTENCIA REACTIVA
IF (VQMAX.LE.CCONV) GO TO 112

```

PRUEBA DE LIMITE DE NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES
 IF (ITER.GE.MAXIT) GO TO 190

CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL SUBJACOBIANO D
 CALL ENCFUN(S,LF)

J=0

L=0

LL=1

NCN=J

DO J 70 I=1,NE

LLL=J

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

IF (I.EQ.NS) GO TO 70

L=L+1

LCCL(L)=LL

NNN=J

N=NPUS(I)

DO J 71 MM=1,N

J=J+1

K=IREC(J)

IF (K.EQ.NS) GO TO 71

M=K

IF (K.GT.NS) M=M-1

IF (LLL.NE.4) NNN=NNN+1

IF (LLL.NE.4) NCN=NCN+1

LLL=M

IF (K.EQ.1) GO TO 72

PE(NCN)=RE(NCN)+G(J)*SIN(DELTA(K))+B(J)*COS(DELTA(K))

CE(NCN)=RE(NCN)

ITAG(NCN)=M

ITAG1(NCN)=L

ITAG2(NCN)=M

LNXT(NCN)=NCN+1

IF (NODE(I).NE.2) GO TO 71

RE(NCN)=J.

CE(NCN)=0.

GO TO 71

72 JJ=J

NCN=NCN-1

71 CONTINUE

LL=LL+NNN-1

NJZE(L)=NNN

LF=NCN+1

LNXT(NCN)=0

NSEQ(L)=L

DE(L)=G(JJ)*SIN(DELTA(I))+B(JJ)*COS(DELTA(I))+PN(I)*SIN(DELTA(I))

1-QN(I)*COS(DELTA(I))/V(I)**2

IF (NODE(I).NE.2) GO TO 70

VE(L)=V(I)*2.

70 CONTINUE

CALCULO DE LAS CORRECCIONES DE VOLTAJE

CALL ORDEN(LF,N5)

CALL SIMURD(NW,LF,N5,N9,JW,NIND)

CALL REDUC(NW,N5,N9)

CALL SOLUC(NW,N5,N9)

CORRECCION DE VOLTAJES

L=0

DO 100 I=1,NH

IF (I.EQ.NS) GO TO 100

L=L+1

V(I)=V(I)+VP(L)

100 CONTINUE

ITER=ITER+0.5

KP=1

GO TO 8

110 KP=0

IF (KP.EQ.0) GO TO 120

GO TO 59

112 KP=0

IF (KP.EQ.0) GO TO 120

GO TO 3

120 IF (INDC.GE.2) GO TO 159

PRUEBA DE VIOLACION DE MAXIMA Y MINIMA GENERACION DE REACTIVOS

DO 54 I=1,NH

IF (NODE(I).NE.2) GO TO 64

ITE=JMAX(I)-QL(I)

```

IF (G1(I).LE.G1E) GO TO 66
P1(I)=P1MAX(I)
Q1(I)=Q1NE
N1(JL(I))=4
IND=1
51 D) 54
65 Q1E=Q1MIN(I)-Q1(I)
IF (Q1(I).GE.G1E) GO TO 64
Q1(I)=Q1NE
Q1G(I)=Q1MIN(I)
P1DL(I)=5
IND=1
64 CONTINUE
IF (IND.EQ.1) INDC=INDC+1
IF (IND.EQ.1) GO TO 7

      CALCULO DE FLUJOS DE CARGA, PERDIDAS Y POTENCIA EN LA BARRA
      FLUJANTE
      IMPRESION DE RESULTADOS
150 DJ 155 I=1,NB
IF (I.EQ.NS) GO TO 165
IF (N1JDE(I).NE.2) GO TO 166
Q1(I)=Q1N(I)+Q1(I)
166 Q1G(I)=Q1G(I)*BASE
Q1G(I)=Q1G(I)*BASE
PL(I)=PL(I)*BASE
QL(I)=QL(I)*BASE
165 CONTINUE
SUMPP=J.
SUMPQ=J.
T1G=J.
T1Q=J.
T1PL=J.
T1L=J.
T1FQ=J.
P1(NS)=PL(NS)
Q1(NS)=QL(NS)
IF (IFC.EQ.1.OR.CF1.EQ.1) WRITE(JW,405)
J=0
INDC=0
IND=2
DJ 170 I=1,NB
N=NBUS(I)
DJ 171 N=1,N
J=J+1
K=IREC(J)
FPJ=(-(G(J)*V(I)**2)+V(I)*V(K)*(G(J)*COS(DELTA(I)-DELTA(K))+B(J)*S
1IN(DELTA(I)-DELTA(K))))*FASE
FQJ=((B(J)-SUS(J))*V(I)**2-V(I)*V(K)*(B(J)*COS(DELTA(I)-DELTA(K))-
1G(J)*SIN(DELTA(I)-DELTA(K))))*BASE
IF (K.EQ.1) FQJ1=FQJ
DJ 172 L=1,N1
IF (INE(L).NE.INE(J)) GO TO 172
IF (L.EQ.J) GO TO 172
FPL=(-(G(L)*V(K)**2)+V(I)*V(K)*(G(L)*COS(DELTA(K)-DELTA(I))+B(L)*S
1IN(DELTA(K)-DELTA(I))))*FASE
FQL=((B(L)-SUS(L))*V(K)**2-V(I)*V(K)*(B(L)*COS(DELTA(K)-DELTA(I))-
1G(L)*SIN(DELTA(K)-DELTA(I))))*BASE
172 CONTINUE
IF (K.EQ.1) GO TO 180
PP=FPJ+FPL
PQ=FQJ+FQL
SUMPP=SUMPP+PP/2.
SUMPQ=SUMPQ+PQ/2.
IF (IFC.EQ.1.OR.CF1.EQ.1) WRITE(JW,402) I,K,FPJ,FQJ,PP,PQ
150 IF (I.NE.NS) GO TO 171
P1G(I)=P1G(I)+FPJ
Q1G(I)=Q1G(I)+FQJ
171 CONTINUE
VBASE=V(I)
160 DELTAG=DELTA(I)*180./3.14159265
N1=N1JDE(I)
IF (IFC.NE.1.AND.CF1.NE.1) GO TO 170
GJ TO (174,175,176,177,179),NO

      ESCRIBIR RESULTADOS DE FLUJOS DE CARGA
174 WRITE(JW,406)
GO TO 178
175 WRITE(JW,407)
GO TO 178

```

```

176 WRITE (JW,408)
GO TO 176
177 WRITE (JW,409)
INT=1
GO TO 178
179 WRITE (JW,501)
INCC=1
178 WRITE (JW,401) 1,VPASEV,DELTAQ,PG(I),QG(I),PL(I),QL(I),FQII
TFC=IFC+PG(I)
TQC=TAG+QG(I)
TPL=1PL+PL(I)
TQL=1QL+QL(I)
TFC=1FC+FQII
170 CONTINUE
IF (IFC.NE.1.AND.CF1.NE.1) GO TO 200
185 WRITE (JW,403) TPG,TOG,TFQ,TPL,TQL,SUMPP,SUMPC
IF (IND.NE.1) GO TO 192
WRITE (JW,500)
192 IF (INIC.NE.1) GO TO 188
WRITE (JW,502)
188 WRITE (JW,404) ITER
GO TO 200
190 WRITE (JW,400) MAXIT
RETURN1
200 DO 300 I=1,NBG
PG(I)=PC(I)/BASE
300 QG(I)=QG(I)/BASE
IF (NFJ.NE.1) GO TO 700
C
C VERIFICAR SI SE CUMPLEN LIMITES ESTABLECIDOS
DO 800 I=1,NB
IF (V(I).LT.VMIN(I).OR.V(I).GT.VMAX(I)) GO TO 600
IF (I.GI.NBG) GO TO 900
IF (PG(I).LT.PMIN(I).OR.FG(I).GT.PMAX(I)) GO TO 600
IF (QG(I).LT.QMIN(I).OR.CG(I).GT.QMAX(I)) GO TO 600
900 CONTINUE
700 RETURN
600 WRITE (JW,601)
RETURN1
C
C FORMATOS DE ESCRITURA DE RESULTADOS DE FLUJOS DE CARGA
601 FORMAT(/////,20X,31HSE VIOLAN LOS LIMITES INDICADOS//20X,46HCAMBIE
1 DATOS DE GENERACION Y VOLTAJE INICIALES/////)
403 FORMAT(/////,20X,29HEN 16,32H ITERACIONES NO HAY CONVERGENCIA,///)
401 FORMAT(1H+,5X,13,1X,F7.4,1X,F7.3,2(2X,F8.3,1X,F8.3),1X,F8.3,/)
402 FORMAT(73X,13,1X,13,2(2X,F8.3,1X,F8.3))
403 FORMAT(//,48X,2HMW,8X,4HMVAR,/,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)
404 FORMAT(///,20X,'CONVERGE EN',F5.1,' ITERACIONES',////)
405 FORMAT(/////,20X,10HRESULTADOS,/,20X,10(1H-),/////,7X,3HBAR,5X,7H,3
1LTAJE,8X,10HGENERACION,12X,5HCARGA,7X,8HCAP/REAC,2X,2HDE,2X,1HA,4X
2,16HFLUJOS EN LINEAS,3X,18HPERDIDAS EN LINEAS,/,7X,3HNC,4X,2HKV,3
3X,6HGRADOS,5X,2HMW,6X,4HMVAR,7X,2HMW,6X,4HMVAR,5X,4HMVAR,4X,3HBAR,
4X,3HBAR,4X,2HMW,6X,4HMVAR,7X,2HMW,6X,4HMVAR,/)
406 FORMAT(1H+,3X,1HS)
407 FORMAT(1H+,3X,1HT)
408 FORMAT(1H+,3X,1HC)
409 FORMAT(1H+,2X,2HLS)
500 FORMAT(//,10X,'LS.- ETC TRANSFORMADA EN BARRA DE CARGA DEBIDO A LA
1 VIOLACION DEL LIMITE DE MAXIMA GENERACION DE POTENCIA REACTIVA',/
2/)
501 FORMAT(1H+,2X,2HL1)
502 FORMAT(//,10X,'LI.- ETC TRANSFORMADA EN BARRA DE CARGA DEBIDO A LA
1 VIOLACION DEL LIMITE DE MINIMA GENERACION DE POTENCIA REACTIVA',/
2/)
END

```

```
-----
SUBROUTINE LNCLPC(NS,LF)
-----
```

```
    SUBROUTINA DE ENCLAVAMIENTO
```

```
    DIMENSION ITAG(400), ITAG1(400), ITAG2(400), LNXT(400), CE(400)
    DIMENSION RE(400)
    COMMON /R05/ ITAG, ITAG1, ITAG2, LNXT, CE, RE
```

```

10  DO 10 I=1, NS
    ITAG(I)=0
    ITAG1(I)=0
    ITAG2(I)=0
    CE(I)=0
    RE(I)=1
    LNXT(I)=I+1
    CONTINUE
    LNXT(NS)=0
    RETURN
    END
```

```
-----
SUBROUTINE ORDEV(LF, NS)
-----
```

```
    SUBROUTINA DE ORDENAMIENTO
```

```
    DIMENSION ITAG(400), ITAG1(400), ITAG2(400), LNXT(400), CE(400)
    DIMENSION RE(400)
    COMMON /R05/ ITAG, ITAG1, ITAG2, LNXT, CE, RE
```

```

    LFI=LF-1
    LFII=LF-2
    DO 11 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
11  CONTINUE
    DO 21 I=1, LFII
    J=I+1
    DO 20 L=J, LFI
    IF (ITAG2(I).NE. ITAG2(L)) GO TO 20
    IF (ITAG1(I).LE. ITAG1(L)) GO TO 20
    M=ITAG1(I)
    CEE=CE(I)
    ITAG1(I)=ITAG1(L)
    CE(I)=CE(L)
    ITAG1(L)=M
    CE(L)=CEE
20  CONTINUE
21  CONTINUE
    RETURN
    END
```

 SUBROUTINE SIMORD(N,LF,NS,NQ,JW,NTND)

SUBROUT NA DE SIMULACION Y REORDENAMIENTO

DIMENSION VP(70),LCOL(70),NOZE(70),DE(70),NSEQ(70),RE(40)
 DIMENSION ITAG(400),ITAG1(400),ITAG2(400),LNXT(400),CE(40)
 COMMON /R00/VP,LCOL,NOZE,DE,NSEQ
 COMMON /R06/ITAG,ITAG1,ITAG2,LNXT,CE,RE

```

  NI=N-1
  INC=0
  DO 33 J=1,NI
  IF(LND,GC,1) GO TO 38
  K=NSEQ(J)
  MIN=NOZE(K)
  M=J
  JS=J+1
  DO 10 I=JS,N
  K=NSEQ(I)
  IF(NOZE(K),GE,MIN) GO TO 10
  MIN=NOZE(K)
  M=I
10 CONTINUE
  KP=NSEQ(M)
  NSEQ(M)=NSEQ(J)
  NSEQ(J)=KP
  LK=LCOL(KP)
11 IF(LK,LE,0) GO TO 38
  K=ITAG(LK)
  LA=0
  LI=LCOL(KP)
  IP=ITAG(LI)
  L=LCOL(K)
  I=ITAG(L)
12 IF(I-IP)13,24,31
13 IF(I-KP)14,20,14
14 LA=L
  L=LNXT(L)
15 IF(L)16,16,19
16 IF(LI)17,17,18
17 LK=LNXT(LK)
  GJ TJ 11
18 I=N+1
  GO TO 12
19 I=ITAG(L)
  GJ TJ 12
20 LV=LNXT(L)
  IF(LA)21,21,22
21 LCOL(K)=LV
  GO TO 23
22 LNXT(LA)=LV
23 LNXT(L)=LV
  LF=L
  CE(L)=0.
  RE(L)=0.
  NOZE(K)=NOZE(K)-1
  L=LV
  GJ TO 15
24 LA=L
  L=LNXT(L)
  IF(L)25,25,26
25 I=N+1
  GO TO 27
26 I=ITAG(L)
27 LI=LNXT(LI)
  IF(LI)28,28,30
28 IF(L)17,17,29
29 IP=N+1
  GJ TJ 12
30 IP=ITAG(LI)
  GJ TO 12
31 IF(IP-K)32,27,32
32 IF(LF)33,33,34
33 WRITE(JW,100)
  INC=1
  STOP
14 LN=LV
  IF(LA)35,35,36

```

```

35 LCOL(K)=LN
   ) TO 37
36 LNXT(LN)=LN
37 LF=LNXT(LN)
   LNXT(LN)=L
   ITAG(L)=IP
   )JZL(K)=NOZF(K)+1
   LA=L+1
   GO TO 27
38 CONTINUE
   RETURN
10) FORMAT(//,10X,'FALTA CAMPO')
   END

```

```

=====
SUBROUTINE SOLUC(N,NS,NS)
=====

```

SUBROUTINA DE RESOLUCION

```

DIMENSION VP(70),LCOL(70),NOZE(70),DE(70),NSEQ(70),RE(400)
DIMENSION ITAG(100),ITAG1(400),ITAG2(400),LNXT(400),CE(400)
COMMON /R05/VP,LCOL,NOZE,DE,NSEQ
COMMON /R06/ITAG,ITAG1,ITAG2,LNXT,CE,RE

```

```

DO 11 J=1,N
K=NSEQ(J)
CF=DE(K)*VP(K)
VP(K)=CF
L=LCOL(K)
10 IF(L,LE.0) GO TO 11
I=ITAG(L)
VP(I)=VP(I)-CE(L)*CF
L=LNXT(L)
GO TO 10
11 CONTINUE
NI=N-1
DO 15 NN=1,NI
J=N-NN
K=NSEQ(J)
SUM=VP(K)
L=LCOL(K)
12 IF(L)13,13,14
13 VP(K)=SUM
GO TO 15
14 I=ITAG(L)
SUM=SUM-RE(L)*VP(I)
L=LNXT(L)
GO TO 12
15 CONTINUE
RETURN
END

```

```
-----
SUBROUTINE REDUC(N,NE,NG)
-----
```

SUBROUTINA DE REDUCCION

```

DIMENSION VI(70),LCOL(70),NIZE(70),DE(70),NSEQ(70),RE(400)
DIMENSION ITAG(400),ITAG1(400),ITAG2(400),LNXT(400),CE(400)
COMMON /R05/VI,LCOL,NIZE,DE,NSEQ
COMMON /R06/ITAG,ITAG1,ITAG2,LNXT,CE,RE

DO 24 J=1,N
  KP=NSEQ(J)
  J=1./DE(KP)
  DE(KP)=0
  LK=LCOL(KP)
  IF(LK.LE.0) GO TO 24
10  RE(LK)=0*RE(LK)
  LK=LNXT(LK)
  IF(LK.GT.0) GO TO 10
  LK=LCOL(KP)
11  K=ITAG(LK)
  CF=RE(LK)
  RF=CE(LK)
  LI=LCOL(K)
  IP=ITAG(LI)
  L=LCOL(K)
12  IF(L)13,13,14
13  I=N+1
  GO TO 15
14  I=ITAG(L)
15  IF(I-IP)16,17,23
16  L=LNXT(L)
  GO TO 12
17  CE(L)=CE(L)-CF*CE(LI)
  RE(L)=RE(L)-RF*RE(LI)
  L=LNXT(L)
  IF(L)13,13,19
18  I=N+1
  GO TO 20
19  I=ITAG(L)
20  LI=LNXT(LI)
  IF(LI)21,21,22
21  LK=LNXT(LK)
  IF(LK)24,24,11
22  IP=ITAG(LI)
  GO TO 15
23  IF(IP.NE.K) GO TO 20
  DE(K)=DE(K)-CF*CF(LI)
  GO TO 20
24  CONTINUE
  RETURN
  END
```

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

- 1.- Dauphin G., Feingold D., Spohn G., "METHODS OF OPTIMIZING THE PRODUCTION OF GENERATING STATIONS OF A POWER NETWORK", PICA Conference Record (Pittsburgh, Pa.), pp. 133-140, 1967.
- 2.- Sasson A.M., Aboytes F., Cárdenas R., Gómez F., Vilorio F., "A COMPARISON OF POWER SYSTEMS STATIC OPTIMIZATION TECHNIQUES", Submitted for the IEEE PICA conference, pp 329-337, 1971.
- 3.- Stagg G.W., El-Abiad A.H., "COMPUTER METHODS IN POWER SYSTEM ANALYSIS", Mc Graw-Hill, U.S.A., 1968.
- 4.- Elgerd I.O., "ELECTRIC ENERGY SYSTEMS THEORY: AN INTRODUCTION", Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1978.
- 5.- Mármo1 E. M., "CALCULO DE FLUJOS DE CARGA CON EL METODO DE NEWTON RAPHSON DESACOPLADO", Tesis previa a la obtención del título

lo de Ingeniero Eléctrico, E.P.N.

- 6.- Aoytes F., Vidrio B., Torres H., "NOTAS SOBRE ESTUDIOS DE FLUJOS OPTIMOS EN SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA", Atlihuahuetzia , Tlax. Julio 1979.
- 7.- Cruz J.J., "PROGRAMA DIGITAL PARA DESPACHO ECONOMICO DE POTENCIA REAL", Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, E.P.N., Quito, 1983.
- 8.- Stevenson W.D., "SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA", McGraw - Hill Latinoamericana S.A., Bogotá.
- 9.- Enriquez Harper G., "ANALISIS MODERNO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA", Limusa, México, 1977.
- 10.- Rodas R., "INTRODUCCION A LA OPTIMIZACION DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA", Anales de las Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica, E.P.N., Mayo 1981.
- 11.- Bustos R.D., "PROGRAMA DIGITAL PARA EL CALCULO DEL DESPACHO ECONOMICO DE POTENCIA REAL, TOMANDO EN CUENTA EL EFECTO DE LAS PERDIDAS POR TRANSMISION", Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, E.P.N., Quito, 1982.
- 12.- Hewlett-Packard, "PROGRAMACION APLICADA", Hewlett-Packard Company, Singapore, 1975.
- 13.- James M.L., Smith G.M., Wolford J.C., "METODOS NUMERICOS APLICADA

DOS A LA COMPUTACION DIGITAL CON FORTRAN", Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México 1973.

- 14.- Pai M.A., "COMPUTER TECHNIQUES IN POWER SYSTEM ANALYSIS" Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1979.
- 15.- Kuester J.L., Mitze J.H., "OPTIMIZATION TECHNIQUES WITH FORTRAN", Mc Graw-Hill, New York, 1973.