

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO

Tesis previa a la obtención del
título de Ingeniero Eléctrico.

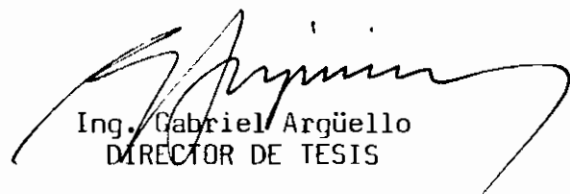
RAUL N. GUIJARRO L.

Quito, agosto de 1984



CERTIFICACION

Certifico que la presente tesis
ha sido elaborada en su totalidad
por el Sr. RAUL N. GUIJARRO L.,
bajo mi dirección.



Ing. Gabriel Argüello
DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo agradecimiento al Ing. Gabriel Argüello por su constante y acertada dirección de la tesis, y a todas las personas que colaboraron en la realización de la misma.

R E S U M E N

El flujo de potencia es una herramienta básica y útil para tomar decisiones en la operación y planeación de los Sistemas Eléctricos de Potencia. La solución determina los niveles de voltaje en todas las barras del sistema, el flujo de potencia por todos los elementos de la red y sus pérdidas, con lo que se obtiene información completa del sistema eléctrico en estado estable.

La incertidumbre de los datos nodales, que da como resultado, una falta de confianza en la solución que se obtiene de la formulación convencional, ha creado la necesidad de modelar el problema estocásticamente.

La presente Tesis, tiene como objetivo la descripción de una técnica de solución de flujo de potencia, que maneja adecuadamente las características aleatorias de los datos de entrada; estos se dan en forma de rangos alrededor de un valor probable y los resultados se obtienen de manera similar. Para este propósito se elaboró un programa digital, que es una extensión del programa desarrollado por el Ing. Edgar Mármod en su Tesis: "Estudio de Flujos de Carga mediante los métodos de Newton Raphson". Se analizan una serie de pruebas, y para efectos de confrontación de resultados se utiliza la simulación de Monte Carlo.

Los estudios de flujo estocástico, son de vital importancia en la planeación de la operación a corto plazo, y en el análisis de seguridad de los Sistemas Eléctricos de Potencia.

I N D I C E

	Página
RESUMEN	I
Capítulo 1. INTRODUCCION	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Visión histórica del flujo de potencia estocástico	3
1.3 Características del método y alcance del trabajo .	4
1.4 Contribuciones de la Tesis	5
Capítulo 2. MODELACION MATEMATICA DEL FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO	6
2.1 El flujo de potencia determinístico	6
2.1.1 Planteamiento de las ecuaciones del flujo de potencia	6
2.1.2 Técnica de solución por el método de Newton-Raphson	10
2.2 Formulación del flujo de potencia estocástico	12
2.2.1 Modelo lineal	12
a. Valor esperado y varianza de las variables de estado	16
b. Valor esperado y varianza de los valores observados o pronosticados	18
c. Valor esperado y varianza de los errores ..	18

	Página
d. Valor esperado y varianza de las variables de salida dependientes	20
2.2.2 Modelo no lineal	22
2.2.3 Intervalos de confianza	25
2.2.4 Correlación entre variables	26
a. Correlación entre carga y generación	27
b. Correlación entre cargas	28
2.2.5 Datos de entrada e información obtenida del estudio de flujo estocástico	29
2.2.6 Tratamiento de barras de voltaje controlado	32
2.2.7 Algoritmo general de solución	32
2.3 Diferencias entre la formulación determinística y estocástica	34
2.4 La simulación de Monte Carlo	35
 Capítulo 3. PROGRAMA DIGITAL	 37
3.1 Consideraciones en programación	37
3.2 Diagramas de flujo: programa principal y subrutinas	41
3.3 Descripción del programa	54
 Capítulo 4. EJECUCION DE PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS	 58
4.1 Prueba a. Comparación de los resultados del flujo de potencia estocástico con la solución determinística y con la simulación de Monte Carlo	58
4.2 Prueba b. Análisis de resultados considerando variaciones en las desviaciones estándar de las cargas	60

	Página
4.3 Prueba c. Efecto de la variación del voltage en barras de generación	61
4.4 Prueba d. Análisis de resultados en base a la correlación entre variables de entrada	63
Capítulo 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
Anexo A. Definiciones estadísticas	A1
Anexo B. Formación de las matrices J y K	B1
Anexo C. Resolución de flujo de potencia estocástico para un sistema de tres barras	C1
Anexo D. Manual de uso del programa	D1
Anexo E. Obtención de los coeficientes de correlación	E1

CAPITULO 1

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

1.1 GENERALIDADES

El problema del flujo de potencia en estado estacionario, consiste básicamente en determinar tanto el módulo y ángulo de los voltajes en todas las barras del sistema como los flujos y pérdidas de potencia en todos los elementos de la red, para ciertas condiciones preestablecidas de generación, demanda y topología de red.

Los estudios de flujo son de gran importancia en diseño, operación y control de sistemas eléctricos de potencia, así como también para evaluar cambios propuestos en un sistema existente.

El flujo de potencia convencional es determinístico, es decir, se obtiene una solución que se ajusta exactamente a los datos de entrada. Como los estudios de flujo, generalmente se proyectan hacia el futuro, tales datos se obtienen en base a pronósticos que contienen cierto grado de incertidumbre, por lo cual datos erróneos conducirán a resultados del mismo tipo y, en consecuencia podrán tomarse decisiones equivocadas.

Las principales fuentes de incertidumbre en el flujo de potencia son:

- a) Las cargas del sistema de potencia.
- b) Los niveles de intercambio del sistema de potencia.
- c) El sistema de generación.
- d) Posible salida de componentes del sistema de transmisión.

Cada una requiere considerable atención para modelar estocásticamente el fenómeno involucrado (17). El presente trabajo, va a enfocar la primera de ellas, en lo que se refiere a errores de medición y predicción de carga.

Es común analizar un gran número de flujos de potencia determinísticos con datos de carga diferentes, con el objeto de establecer posibles rangos de variación de las variables de salida. Este proceso analítico, requiere de mucho tiempo y debe seguirse en forma metódica y organizada, como en el método de simulación de Monte Carlo (3).

En un sistema de potencia práctico, no es factible resolver un nuevo problema de flujo para cada cambio de una carga particular ya que (5):

- a) Hay una cantidad prohibitiva de cálculos. Así, para un sistema de n barras y T diferentes valores de carga en cada barra, se debe resolver T^n flujos de potencia.
- b) Se tiene dificultad en analizar y sintetizar los resultados de tantos flujos de potencia.

Si bien es cierto que estos inconvenientes se superan en parte, cuando los ingenieros de planificación y operación, en base a la intuición y experiencia, seleccionan únicamente ciertas condiciones de demanda del sistema, no es menos cierto que este procedimiento conlleve a resultados no muy consistentes.

tes.

Por las razones anteriores, y, dada la importancia de las decisiones que se toman de estudios de flujo de potencia, surge interés por conocer los rangos de variación de los resultados correspondientes a los ya conocidos de los datos, mediante el flujo de potencia estocástico o probabilístico en un cálculo directo y simple.

1.2 VISION HISTORICA DEL FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO

El reconocimiento del flujo de potencia como un problema de carácter probabilístico, se debe a B. Borkowska, quien a mediados de 1974 presenta la formulación inicial del flujo de potencia, considerando incertidumbre en los datos de carga. Este método permite calcular los valores esperados, las desviaciones estándar y adicionalmente las diferentes distribuciones de probabilidad de los flujos de potencia en elementos por medio de los datos de distribución de las cargas; sin embargo, el modelo es conveniente sólo para casos de C.C., ya que los cálculos son inherentemente complejos.

Más tarde, Dopazo, Klitin y Sasson, dan uno de los más valiosos aportes al flujo de potencia estocástico, formulando su método en base a la teoría de estimación de estado por mínimos cuadrados y mediante la aplicación del Teorema del límite central. Este modelo es eficiente y válido para C.A.

Posteriormente, en 1975 F. Aboytes y B. J. Cory, complementan el método anterior, al introducir la correlación entre variables de entrada para ver su efecto en los resultados.

En 1975, también aparece la formulación de G. T. Heydt, y, en el siguiente año aquella de P. W. Sauer y G. T. Heydt,

las cuales analizan el problema desde un punto de vista diferente limitándose a evaluar únicamente la estadística de potencia en líneas.

1.3 CARACTERISTICAS DEL METODO Y ALCANCE DEL TRABAJO

En la presente Tesis, se desarrolla un método de resolución del flujo de potencia, que toma en cuenta la incertidumbre en la predicción, con lo cual, las variables del problema son aleatorias, obteniéndose sus valores esperados y sus correspondientes desviaciones estándar; que, a un alto grado de probabilidad, los rangos así obtenidos incluyen las diversas condiciones de operación del sistema (7).

En esencia, el método convierte la formulación del problema de flujo de un determinístico a un estocástico (7); se basa en los principios de estimación de estado por mínimos cuadrados con cero grados de libertad, siendo por tanto imposible filtrar errores de predicción (3). Cero grados de libertad implica tener el mismo número de ecuaciones que de incógnitas, lo cual es el caso del flujo de potencia.

En aplicaciones en tiempo real para operación de sistemas eléctricos de potencia a través de un centro de control, es posible medir, además de las variables de entrada para un estudio de flujo convencional, los voltajes de barra y los flujos en líneas, con lo que se puede conformar un sistema de ecuaciones sobredeterminado, es decir, más ecuaciones (e) que incógnitas (i) y por tanto con $e-i$ grados de libertad, en este caso no sólo que es posible encontrar la mejor estimación de las variables de estado, sino detectar e identificar errores de medición, este proceso se conoce como estimación de estado, del cual el flujo de potencia estocástico es un caso particular (3,16).

Una propiedad importante del método es que para cero grados de libertad, los valores esperados coinciden con la solución determinística. Esto hace que el flujo de potencia estocástico pueda añadirse a cualquier programa convencional de flujos, con el propósito de calcular una medida de la dispersión alrededor de la solución esperada, en base a la incertidumbre de los datos. Particularmente este trabajo es una extensión del método de Newton-Raphson.

1.4 CONTRIBUCIONES DE LA TESIS

- a) Tratamiento de barras de voltaje controlado en flujo estocástico.
- b) Desarrollo de un modelo simplificado para la obtención de las desviaciones estándar de las variables de salida dependientes, en un cálculo directo, por medio de vectores; lo cual disminuye notablemente los requerimientos de memoria de computadora, y acelera el proceso de cálculo.
- c) Introducción como variables de salida dependientes, con el objeto de obtener sus respectivos rangos de variación, de:
 - La potencia activa y reactiva de la barra oscilante.
 - La potencia reactiva de capacitores y/o reactores a tierra.

CAPITULO 2

MODELACION MATEMATICA DEL FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO

2.1 EL FLUJO DE POTENCIA DETERMINISTICO

2.1.1 Planteamiento de las ecuaciones del flujo de potencia

La formulación nodal para los estudios de flujo de potencia establece la relación:

$$\bar{I}_B = Y_B \bar{E}_B \quad (2.1)$$

donde

\bar{I}_B = Vector de corrientes netas inyectadas en la red

Y_B = Matriz admitancia de barra

\bar{E}_B = Vector de voltajes de barra (variables de estado)

El conjunto lineal de ecuaciones (2.1), nos permite encontrar fácilmente el vector \bar{E}_B dado \bar{I}_B , si éste fuera el caso. En la práctica no es posible este procedimiento directo, ya que las cargas (variables incontrolables) son conocidas como potencias complejas y por ende, las generaciones (variables controlables) no se pueden representar como fuentes de voltaje, sino más bien como fuentes de potencia (8). Por ello, el planteamiento del problema se lo hace relacionando las potencias con los voltajes, obteniéndose un conjunto de ecuaciones

no lineales que requiere de métodos iterativos para su solución.

En un sistema eléctrico de n barras, la ecuación de potencia en una barra cualquiera p , está dada por:

$$S_p = P_p + jQ_p = E_p \sum_{q=1}^n Y_{pq}^* E_q^* \quad (2.2)$$

donde

S_p = Potencia neta en la barra p

P_p, Q_p = Potencias netas activa y reactiva en la barra p

E_p = Voltaje en la barra p

Y_{pq} = Admitancia de transferencia entre las barras p y q

Definiendo como potencia neta, la diferencia entre la potencia de generación y carga.

El voltaje y la admitancia pueden representarse así:

$$E_p = V_p \angle \delta_p \quad (2.3)$$
$$Y_{pq} = G_{pq} + jB_{pq}$$

donde

V_p, δ_p = Magnitud y ángulo de voltaje en la barra p

G_{pq}, B_{pq} = Conductancia y susceptancia de transferencia entre las barras p y q

Cada una de las barras componentes del sistema se potencia, queda plenamente definida por cuatro variables: $P_p, Q_p,$

V_p y δ_p ; dos de las cuales son cantidades conocidas y las dos restantes son las incógnitas a determinarse. Si el problema fuera únicamente de matemáticas, se podría especificar dos variables cualesquiera, pero un análisis físico del sistema, indica que sólo se puede especificar variables sobre las que se tiene control físico (8). Además, no se conoce de antemano las pérdidas del sistema, motivo por el cual no se dan como datos todas las potencias inyectadas. Por estas razones, se han clasificado las barras de un sistema de potencia, en los tres tipos que se indican en la tabla siguiente:

Tabla 2.1 Tipos de barras en el análisis de flujo de potencia

TIPO DE BARRA	DATOS	INCOGNITAS
Oscilante	V_p, δ_p	P_p, Q_p
Generación o Voltaje Controlado	V_p, P_p	δ_p, Q_p
Carga	P_p, Q_p	V_p, δ_p

La barra oscilante es de generación, y debe estar en capacidad de producir una amplia gama de valores de potencia activa y reactiva, con el fin de ajustar el balance de carga, pérdidas y generación del sistema. Esta barra se usa al mismo tiempo como referencia de ángulo, puesto que es la única en donde se especifica esta variable (16).

Interesa determinar primeramente, el nivel de voltaje en todas las barras del sistema. Ya que este valor se conoce en la barra oscilante, tanto en magnitud como en ángulo, el problema consiste básicamente en resolver $n-1$ ecuaciones para las $n-1$ barras de carga y generación. En barras de carga se debe resolver la ecuación (2.2), y, en barras de generación:

$$P_p = \text{Real} \left\{ E_p \sum_{q=1}^n Y_{pq}^* E_q^* \right\} \quad (2.4)$$

El conjunto total de ecuaciones simultáneas no lineales, se resuelve utilizando métodos iterativos, de los cuales, los más utilizados en sistemas de potencia son:

1. Gauss-Seidel.
2. Newton-Raphson.

Una vez que se han obtenido todos los voltajes de barra, en magnitud y ángulo, se procede a calcular la generación de potencia activa y reactiva en la barra oscilante, la generación de reactivos en barras de generación, los flujos de potencia y pérdidas en los elementos.

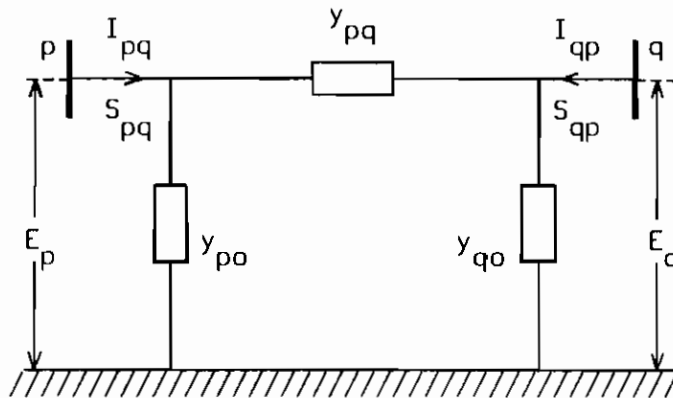


Fig. 2.1 Circuito Pi.

El flujo de potencia por el elemento conectado entre las barras p y q de la figura 2.1 se determina mediante:

$$S_{pq} = E_p I_{pq}^* = E_p (E_p^* - E_q^*) y_{pq}^* + E_p E_p^* y_{po}^* \quad (2.5)$$

donde

I_{pq} = Corriente que fluye de p hacia q

y_{pq} = Admitancia del elemento que conecta la barra p con la q

y_{p0} = Admitancia entre la barra p y tierra

Similarmente:

$$S_{qp} = E_q (E_q^* - E_p^*) y_{pq}^* + E_q E_q^* y_{q0}^* \quad (2.6)$$

La potencia de pérdidas se obtiene de la suma algebraica de S_{pq} y S_{qp} .

2.1.2 Técnica de solución por el método de Newton-Raphson

La rapidez y alta confiabilidad en la convergencia, que son características del método de Newton-Raphson en la solución de flujos de potencia, han situado a esta técnica en primer plano frente a los métodos convencionales de Gauss-Seidel. Se basa en la aplicación del Teorema de Taylor para linealizar las ecuaciones de flujo. Para explicar el método, vamos a considerar inicialmente un sistema de potencia sin barras de voltaje controlado.

Reemplazando el conjunto de ecuaciones (2.3) en la ecuación (2.2), se obtienen las siguientes ecuaciones por cada barra de carga:

$$P_p = V_p \sum_{q=1}^n V_q [G_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q) + B_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q)] \quad (2.7)$$

$$Q_p = V_p \sum_{q=1}^n V_q [G_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q) - B_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q)] \quad (2.8)$$

Las ecuaciones (2.7) y (2.8), no son lineales y en ellas se conocen P_p y Q_p respectivamente, la magnitud y ángulo de voltaje en la barra oscilante y los términos de la matriz admitancia de barra.

Aplicando la técnica numérica de Newton-Raphson a las ecuaciones (2.7) y (2.8), se forma un sistema de ecuaciones lineales que relaciona las variaciones de potencia activa y reactiva, con las variaciones de las magnitudes y ángulos de voltaje:

$$\begin{array}{|c|c|} \hline \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \hline \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V} \\ \hline \end{array}
 \begin{array}{|c|} \hline \Delta \delta \\ \hline \Delta V \\ \hline \end{array}
 =
 \begin{array}{|c|} \hline \Delta P \\ \hline \Delta Q \\ \hline \end{array}
 \quad (2.9)$$

Para obtener ventaja en el cálculo de las derivadas, la ecuación (2.9) se ha modificado (16), así:

$$\begin{array}{|c|c|} \hline \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V} V \\ \hline \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V} V \\ \hline \end{array}
 \begin{array}{|c|} \hline \Delta \delta \\ \hline \Delta V/V \\ \hline \end{array}
 =
 \begin{array}{|c|} \hline \Delta P \\ \hline \Delta Q \\ \hline \end{array}
 \quad (2.10)$$

A la matriz de derivadas de la ecuación (2.9) y (2.10) se le llama Jacobiano, se le designa con la letra J, y se actualiza en cada iteración; la obtención de sus elementos se describe en el Anexo B.1. Las diferencias de potencia en la k-ésima iteración, se determinan mediante:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{(k)} &= \bar{P} \text{ especificado} - \bar{P} \text{ calculado}_{(k)} \\
 \Delta Q_{(k)} &= \bar{Q} \text{ especificado} - \bar{Q} \text{ calculado}_{(k)}
 \end{aligned}
 \quad (2.11)$$

y los nuevos valores de voltaje más próximos a la solución son:

$$\begin{aligned}
 \bar{\delta}_{(k+1)} &= \bar{\delta}_{(k)} + \Delta \bar{\delta}_{(k)} \\
 \bar{V}_{(k+1)} &= \bar{V}_{(k)} + \Delta \bar{V}_{(k)}
 \end{aligned}
 \quad (2.12)$$

Para iniciar el proceso iterativo, se asumen valores de voltaje adecuados en todas las barras de carga, luego de lo cual se siguen los pasos que se dan a continuación (2):

1. Calcular $\overline{\Delta P}_{(0)}$ y $\overline{\Delta Q}_{(0)}$.
2. Evaluar $J_{(0)}$.
3. Descomponer $J_{(0)}$ en LU.
4. Encontrar las correcciones $\overline{\Delta \delta}_{(0)}$ y $\overline{\Delta V}_{(0)}$.
5. Calcular $\overline{\delta}_{(1)}$ y $\overline{V}_{(1)}$.
6. Probar convergencia. Si $\overline{\Delta P}_{(1)}$ y $\overline{\Delta Q}_{(1)}$ son menores o iguales a las tolerancias especificadas, el proceso iterativo termina; caso contrario, se regresa al paso 1.

En caso de existir barras de voltaje controlado, la ecuación (2.8) es reemplazada por:

$$v_{p(\text{especificado})}^2 = v_{p(\text{calculado})}^2 \quad (2.13)$$

En cada iteración se verifica si la potencia reactiva de generación se encuentra dentro de los límites permisibles; de no ser así, se fija la generación reactiva en el límite respectivo, y, en adelante se trata a esta barra como si fuera de carga.

2.2 FORMULACION DEL FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO

2.2.1 Modelo lineal

El flujo de potencia es un problema no lineal, el cual puede linealizarse mediante la expansión en series de Taylor de las ecuaciones de flujo; la solución se obtiene mediante

un proceso iterativo de solución de ecuaciones lineales (3). Por esta razón, comenzaremos analizando la formulación lineal del flujo de potencia estocástico, para luego desarrollar el modelo no lineal en base al primero.

Supongamos que el flujo de potencia puede describirse matemáticamente por un sistema de ecuaciones lineales de la forma:

$$\bar{y} = A\bar{x} \quad (2.14)$$

donde

\bar{y} = Vector de valores observados o pronosticados

A = Matriz de coeficientes constantes

\bar{x} = Vector de variables de estado

Este planteamiento pertenece al caso determinístico en el cual se asume que \bar{y} es exacto. Por el contrario, la formulación estocástica toma en cuenta la existencia de errores en las observaciones, con lo cual la ecuación (2.14) se transforma en:

$$\bar{y} = A\bar{x} + \bar{\epsilon} \quad (2.15)$$

donde

\bar{x} = Vector de valores verdaderos de las variables de estado

$\bar{\epsilon}$ = Vector de error asociado con las cantidades observadas o pronosticadas

El objetivo es encontrar el mejor estimado de \bar{x} dado el vector \bar{y} . Puesto que siempre es conveniente tener un estimado sin desviación, se asume que el valor esperado de los errores es cero (1), o sea:

$$E(\bar{\epsilon}) = \bar{0} \quad (2.16)$$

Esta ecuación implica que los errores de las observaciones es tán distribuidos aleatoriamente alrededor de cero, pero obvia mente pueden tener un valor esperado de cero aunque existan e rrores muy grandes (1,3). Entonces, siendo las observaciones de diferente calidad, es necesario ponderarlas dando mayor peso a las más precisas; por ello, se introduce la matriz de covarianza de los errores, que da la indicación de la disper sión de estos alrededor del valor medio y que se define así:

$$C = E(\bar{\epsilon}\bar{\epsilon}^t) \quad (2.17)$$

De este modo, C es cuadrada y simétrica; está conformada por las varianzas de los errores asociados a cada observación in dividual y por las covarianzas respectivas; las primeras cons tituyen los elementos de la diagonal principal y las covarian zas aquellos elementos fuera de la diagonal principal. A la inversa de la matriz C, se la conoce como matriz de pesos o ponderaciones.

La teoría de estimación establece que el mejor estimado de \bar{x} de la ecuación (2.15), con las consideraciones (2.16) y (2.17), se obtiene al minimizar la suma de los cuadrados de todos los errores ponderados por sus varianzas (3), es decir:

$$\min \left(\sum_{i=1}^n e_i^2 c_i^{-1} \right)$$

o bien,

$$\min (\bar{\epsilon}^t C^{-1} \bar{\epsilon})$$

La cantidad encerrada entre paréntesis es llamada función de error y se representa por $F(\bar{x})$. Entonces,

$$F(\bar{x}) = \sum_{i=1}^n e_i^2 c_i^{-1} = \bar{\epsilon}^t C^{-1} \bar{\epsilon} \quad (2.18)$$

y, evidentemente es un valor escalar.

De (2.15) y (2.18) se obtiene:

$$\begin{aligned} F(\bar{x}) &= (\bar{y}-A\bar{x})^t C^{-1} (\bar{y}-A\bar{x}) \\ &= (\bar{y}^t - \bar{x}^t A^t) C^{-1} (\bar{y}-A\bar{x}) = (\bar{y}^t C^{-1} - \bar{x}^t A^t C^{-1}) (\bar{y}-A\bar{x}) \\ &= \bar{y}^t C^{-1} \bar{y} - \bar{y}^t C^{-1} A \bar{x} - \bar{x}^t A^t C^{-1} \bar{y} + \bar{x}^t A^t C^{-1} A \bar{x} \end{aligned}$$

Puesto que C es simétrica y $F(\bar{x})$ un escalar, puede demostrarse que:

$$\bar{y}^t C^{-1} A \bar{x} = \bar{x}^t A^t C^{-1} \bar{y}$$

con lo cual,

$$F(\bar{x}) = \bar{y}^t C^{-1} \bar{y} - 2\bar{x}^t A^t C^{-1} \bar{y} + \bar{x}^t A^t C^{-1} A \bar{x}$$

Tomando las derivadas parciales de $F(\bar{x})$ con respecto a \bar{x} se obtiene:

$$\partial F(\bar{x}) / \partial \bar{x} = -2A^t C^{-1} \bar{y} + 2A^t C^{-1} A \bar{x}$$

El mfnimo valor de la función de error se encuentra cuando $\partial F(\bar{x}) / \partial \bar{x} = \bar{0}$, entonces:

$$A^t C^{-1} A \bar{x} = A^t C^{-1} \bar{y}$$

de donde el mejor estimado de \bar{x} que le representaremos por \hat{x} , resulta ser:

$$\hat{x} = (A^t C^{-1} A)^{-1} A^t C^{-1} \bar{y} \quad (2.19)$$

Como en flujos de potencia el número de ecuaciones es igual al número de incógnitas, la matriz A es cuadrada, por lo tanto (2.19) se reduce a

$$\hat{x} = A^{-1} \bar{y} \quad (2.20)$$

Esta solución coincide con aquella de la formulación determinística ya que para cero grados de libertad, las matrices que involucran la estadística de los errores de las observaciones se eliminan y por tanto es imposible filtrar errores de predicción (1,3).

A continuación se realiza un eficiente y completo análisis estadístico para cada una de las variables que forman parte del flujo de potencia estocástico, partiendo de las ecuaciones (2.15) a (2.19). Se obtendrá en cada caso la ecuación general de estimación de estado y luego se particularizará para cero grados de libertad.

a. Valor esperado y varianza de las variables de estado

De las ecuaciones (2.15) y (2.19), \hat{x} puede expresarse como

$$\begin{aligned}\hat{x} &= (A^{t_C-1}A)^{-1}A^{t_C-1}(A\bar{x}+\bar{\epsilon}) \\ &= (A^{t_C-1}A)^{-1}(A^{t_C-1}A)\bar{x} + (A^{t_C-1}A)^{-1}A^{t_C-1}\bar{\epsilon} \\ &= \bar{x} + (A^{t_C-1}A)^{-1}A^{t_C-1}\bar{\epsilon}\end{aligned}$$

Si $M = (A^{t_C-1}A)^{-1}A^{t_C-1}$

$$\hat{x} = \bar{x} + M\bar{\epsilon} \quad (2.21)$$

El valor esperado de \hat{x} es:

$$E(\hat{x}) = E(\bar{x}+M\bar{\epsilon})$$

Puesto que M es una matriz constante,

$$E(\hat{x}) = E(\bar{x}) + ME(\bar{\epsilon})$$

donde el valor esperado de los errores es cero como se asumió antes, además:

$$E(\bar{x}) = \bar{x}$$

debido a que \bar{x} es el valor verdadero según la ecuación (2.15), por tanto es una constante. En consecuencia,

$$E(\hat{x}) = \bar{x} \quad (2.22)$$

Lo cual nos dice que el valor esperado de \hat{x} es igual a su correspondiente valor verdadero \bar{x} que es precisamente lo que tratamos de estimar (3). En términos estadísticos esto se denomina un proceso sin desviación (7).

La varianza de las variables de estado es el valor esperado de las desviaciones cuadráticas de los valores estimados con respecto a sus valores medios, dando como resultado una matriz denominada matriz de covarianza de \hat{x} (3).

$$\text{Cov}(\hat{x}) = E[(\hat{x} - \bar{x})(\hat{x} - \bar{x})^t]$$

Si en la ecuación anterior sustituimos el valor de \hat{x} de la ecuación (2.21) nos queda

$$\begin{aligned}\text{Cov}(\hat{x}) &= E[(\bar{x} + M\bar{e} - \bar{x})(\bar{x} + M\bar{e} - \bar{x})^t] \\ &= E(M\bar{e}\bar{e}^t M^t) = ME(\bar{e}\bar{e}^t)M^t\end{aligned}$$

De la ecuación (2.17) se tiene que $E(\bar{e}\bar{e}^t)$ es la matriz de covarianza de los errores de las observaciones, entonces:

$$\text{Cov}(\hat{x}) = MCM^t$$

y reemplazando en esta ecuación el valor de M se obtiene finalmente que:

$$\text{Cov}(\hat{x}) = (A^t C^{-1} A)^{-1} \quad (2.23)$$

Para cero grados de libertad, la ecuación (2.23) se mantiene y constituye una de las más importantes en flujo de potencia estocástico ya que los elementos de la diagonal de la matriz $(A^t C^{-1} A)^{-1}$ son las varianzas de las variables de estado,

$$\text{Var}(\hat{x}) = \text{diag}(A^t C^{-1} A)^{-1} \quad (2.24)$$

Por consiguiente, las desviaciones estándar que nos indican la desviación de \hat{x} respecto al valor verdadero \bar{x} se obtienen de:

$$\bar{\sigma}_x = [\text{Var}(\hat{x})]^{\frac{1}{2}} \quad (2.25)$$

b. Valor esperado y varianza de los valores observados o pronosticados

Si \hat{x} es el mejor estimado de la ecuación $\bar{y} = A\bar{x} + \bar{e}$, el valor estimado o calculado de las observaciones será:

$$\hat{y} = A\hat{x} \quad (2.26)$$

con valor esperado

$$E(\hat{y}) = E(A\hat{x}) = AE(\hat{x}) = A\bar{x} = \bar{y}_t \quad (2.27)$$

donde \bar{y}_t es el valor verdadero de las observaciones.

La matriz covarianza del valor estimado \hat{y} es:

$$\begin{aligned} \text{Cov}(\hat{y}) &= E[(\hat{y}-\bar{y}_t)(\hat{y}-\bar{y}_t)^t] \\ &= E[(A\hat{x}-A\bar{x})(A\hat{x}-A\bar{x})^t] = AE[(\hat{x}-\bar{x})(\hat{x}-\bar{x})^t]A^t \end{aligned}$$

como $E[(\hat{x}-\bar{x})(\hat{x}-\bar{x})^t] = (A^t C^{-1} A)^{-1}$, se sigue que:

$$\text{Cov}(\hat{y}) = A(A^t C^{-1} A)^{-1} A^t \quad (2.28)$$

En el caso particular de cero grados de libertad

$$\text{Cov}(\hat{y}) = C \quad (2.29)$$

Este resultado nos dice que cuando A es cuadrada, no es posible obtener un valor de \hat{y} más próximo al valor verdadero \bar{y}_t que el valor original de la observación \bar{y} (3,7).

c. Valor esperado y varianza de los errores

De las ecuaciones (2.15) y (2.26), el valor estimado de los errores viene a ser:

$$\hat{\epsilon} = \bar{y} - \hat{y}$$

Su correspondiente valor esperado,

$$E(\hat{\epsilon}) = E(\bar{y} - \hat{y}) = E(\bar{y}) - E(\hat{y})$$

donde

$$E(\bar{y}) = E(A\bar{x} + \bar{e}) = AE(\bar{x}) + E(\bar{e}) = A\bar{x} = \bar{y}_t$$

y como $E(\hat{y}) = \bar{y}_t$, se obtiene que:

$$E(\hat{\epsilon}) = \bar{0} \quad (2.30)$$

Este resultado era de esperarse porque una de las condiciones de partida para la formulación del problema, era el asumir que el valor medio de los errores de las observaciones es ce ro y por tanto de los calculados (3).

La matriz covarianza de los errores calculados es:

$$\begin{aligned} \text{Cov}(\hat{\epsilon}) &= E[(\hat{\epsilon} - \bar{0})(\hat{\epsilon} - \bar{0})^t] \\ &= E(\hat{\epsilon}\hat{\epsilon}^t) = E\{[A(\bar{x} - \hat{x}) + \bar{e}][A(\bar{x} - \hat{x}) + \bar{e}]^t\} \\ &= E\{[A(\bar{x} - \hat{x}) + \bar{e}][(\bar{x} - \hat{x})^t A^t + \bar{e}^t]\} \\ &= E[A(\bar{x} - \hat{x})(\bar{x} - \hat{x})^t A^t + A(\bar{x} - \hat{x})\bar{e}^t + \bar{e}(\bar{x} - \hat{x})^t A^t + \bar{e}\bar{e}^t] \end{aligned}$$

De la ecuación (2.21) $\bar{x} - \hat{x} = -M\bar{e}$, entonces:

$$\begin{aligned} \text{Cov}(\hat{\epsilon}) &= E(AM\bar{e}\bar{e}^t M^t A^t - AM\bar{e}\bar{e}^t - \bar{e}\bar{e}^t M^t A^t + \bar{e}\bar{e}^t) \\ &= AME(\bar{e}\bar{e}^t)M^t A^t - AME(\bar{e}\bar{e}^t) - E(\bar{e}\bar{e}^t)M^t A^t + E(\bar{e}\bar{e}^t) \\ &= A(MCM^t)A^t - A(M)C - C(M)^t A^t + C \end{aligned}$$

Pero $M = (A^t C^{-1} A)^{-1} A^t C^{-1}$ y $MCM^t = (A^t C^{-1} A)^{-1}$, luego

$$\begin{aligned} \text{Cov}(\hat{\epsilon}) &= A(A^t C^{-1} A)^{-1} A^t - A(A^t C^{-1} A)^{-1} A^t C^{-1} C \\ &\quad - C C^{-1} A(A^t C^{-1} A)^{-1} A^t + C \\ \text{Cov}(\hat{\epsilon}) &= C - A(A^t C^{-1} A)^{-1} A^t \quad (2.31) \end{aligned}$$

Para cero grados de libertad la expresión (2.31) pasa a ser

$$\text{Cov}(\hat{\epsilon}) = \bar{0} \quad (2.32)$$

Esto implica que \hat{y} es igual a \bar{y} cuando el número de ecuaciones es igual al número de incógnitas. Con esta conclusión, se justifica una vez más que es imposible el filtrado de errores para cero grados de libertad.

Si bien este análisis estadístico de errores no es de mucho interés en flujo de potencia estocástico, en estimación de estado la expresión (2.31) constituye la de mayor importancia.

d. Valor esperado y varianza de las variables de salida dependientes

Las variables de entrada \bar{y} y de salida \bar{x} en un problema de flujo de potencia comprenden

- \bar{y} :
- a) Potencia activa y magnitud de voltaje en barras de generación.
 - b) Potencia activa y reactiva en barras de carga.
- \bar{x} :
- a) Angulo de voltaje en barras de generación.
 - b) Magnitud y ángulo de voltaje en barras de carga.

Una vez que hemos encontrado el vector de incógnitas \bar{x} , se procede a calcular el vector de variables de salida dependientes \bar{z} que incluye

- \bar{z} :
- a) Potencia activa y reactiva en la barra oscilante.
 - b) Potencia reactiva en barras de generación.
 - c) Flujos de potencia activa y reactiva por elementos de la red (líneas, transformadores, capacitores y/

o reactores en serie).

d) Potencia reactiva de capacitores y/o reactores a tierra.

En los literales a. y b. se ha efectuado el análisis estadístico de \hat{x} y \hat{y} respectivamente. Ahora, analizaremos las variables de salida dependientes considerando que \bar{z} se relaciona linealmente con \bar{x} , así:

$$\bar{z} = D\bar{x} \quad (2.33)$$

Si \hat{x} es la mejor estimación de las variables de estado, el valor estimado de \bar{z} puede expresarse como

$$\hat{z} = D\hat{x}$$

cuyo valor esperado es:

$$E(\hat{z}) = DE(\hat{x}) = D\bar{x} = \bar{z}_t \quad (2.34)$$

Este resultado nos dice que los valores esperados de \hat{z} son iguales a los obtenidos de la solución determinística.

La matriz covarianza de \hat{z} es:

$$\begin{aligned} \text{Cov}(\hat{z}) &= E[(\hat{z}-\bar{z}_t)(\hat{z}-\bar{z}_t)^t] \\ &= E[D(\hat{x}-\bar{x})(\hat{x}-\bar{x})^t D^t] = DE[(\hat{x}-\bar{x})(\hat{x}-\bar{x})^t] D^t \\ \text{Cov}(\hat{z}) &= D(A^t C^{-1} A)^{-1} D^t \end{aligned} \quad (2.35)$$

Para cero grados de libertad la ecuación (2.35) se mantiene; en consecuencia, se puede encontrar la dispersión de las variables de salida dependientes alrededor de su valor esperado mediante:

$$\text{Var}(\hat{z}) = \text{diag}[D(A^t C^{-1} A)^{-1} D^t] \quad (2.36)$$

$$\bar{\sigma}_z = [\text{Var}(\hat{z})]^{\frac{1}{2}} \quad (2.37)$$

2.2.2 Modelo no lineal

El modelo no lineal que seguidamente vamos a presentar, se fundamenta en la teoría de la formulación lineal vista anteriormente.

Considerando errores en los datos de entrada, el sistema de ecuaciones de flujo de potencia puede describirse por:

$$\bar{y} = \bar{f}(\bar{x}) + \bar{e} \quad (2.38)$$

En donde $\bar{f}(\bar{x})$ no es una función lineal de \bar{x} ; sin embargo, cuando se realiza la expansión en series de Taylor de esta función respecto a un punto de operación \bar{x}_m , pueden desprejiciarse las derivadas parciales de orden superior a uno si \bar{x}_m está próximo al valor de la solución (14,18), con lo cual se establece la siguiente relación lineal:

$$\bar{y} - \bar{f}(\bar{x}_m) = J\Delta\bar{x} + \bar{e}$$

es decir que:

$$\Delta\bar{y} = J\Delta\bar{x} + \bar{e} \quad (2.39)$$

donde

$\Delta\bar{y}$ = Vector de variaciones en la potencia activa y reactiva

J = Jacobiano convencional. Formado por las derivadas parciales de las variables de entrada con respecto a cada una de las variables de estado

$\Delta\bar{x}$ = Vector de cambios en la magnitud y ángulo de voltaje

La ecuación (2.39) tiene la misma forma de la ecuación (2.15), con la única diferencia que J no es una matriz constante, ya que va cambiando en el proceso iterativo; entonces, la mejor estimación de $\Delta\bar{x}$ en cualquier iteración se obtiene así:

$$\Delta \hat{x} = (J^t C^{-1} J)^{-1} J^t C^{-1} \Delta \bar{y} \quad (2.40)$$

Para cero grados de libertad, el Jacobiano es una matriz cuadrada y evidentemente la ecuación (2.40) se convierte en:

$$\Delta \hat{x} = J^{-1} \Delta \bar{y} \quad (2.41)$$

Siendo exactamente el mismo resultado que se obtiene por el método de Newton-Raphson. Los nuevos valores de las variables más cercanos a la solución se obtienen como:

$$\hat{x}_m = \bar{x}_m + \Delta \hat{x} \quad (2.42)$$

Las ecuaciones (2.41) y (2.42) se repiten hasta que se satisfaga el criterio de convergencia especificado.

Del análisis lineal realizado en la sección 2.2.1, se deduce que sólo las expresiones de la covarianza de las variables de salida \hat{x} y \hat{z} son de interés para flujo de potencia estocástico. En consecuencia, para este modelo no lineal vamos a encontrar únicamente tales relaciones.

De la ecuación (2.23) se obtiene:

$$\text{Cov}(\Delta \hat{x}) = (J^t C^{-1} J)^{-1} \quad (2.43)$$

y aplicando la covarianza a la ecuación (2.42) se tiene que:

$$\text{Cov}(\hat{x}_m) = \text{Cov}(\bar{x}_m + \Delta \hat{x})$$

como \bar{x}_m es una constante, entonces:

$$\text{Cov}(\hat{x}_m) = \text{Cov}(\Delta \hat{x}) = (J^t C^{-1} J)^{-1} \quad (2.44)$$

Las variables de salida dependientes \bar{z} y las variables de estado \bar{x} mantienen una relación no lineal, pero puede linealizarse por expansión en series de Taylor alrededor de un punto \bar{x}_m al igual que en el caso de \bar{y} con \bar{x} . Por tanto si:

$$\bar{z} = \bar{g}(\bar{x}) \quad (2.45)$$

$$\bar{z} - \bar{g}(\bar{x}_m) = K\Delta\bar{x} \quad (2.46)$$

luego

$$\Delta\bar{z} = K\Delta\bar{x} \quad (2.47)$$

donde

$\Delta\bar{z}$ = Vector de variaciones en las variables de salida dependientes

K = Jacobiano no convencional. Es una matriz no cuadrada, formada por las derivadas parciales de las variables de salida dependientes con respecto a cada una de las variables de estado

La ecuación (2.47) tiene la misma forma de la ecuación lineal (2.33), de modo que los valores estimados de $\Delta\bar{z}$ pueden obtenerse de:

$$\Delta\hat{z} = K\Delta\hat{x}$$

Ahora de la ecuación (2.35),

$$\text{Cov}(\Delta\hat{z}) = K(J^t C^{-1} J)^{-1} K^t \quad (2.48)$$

y de la ecuación (2.46), el valor calculado de \bar{z} es:

$$\hat{z} = \bar{g}(\hat{x}_m) + K\Delta\hat{x} = \bar{g}(\hat{x}_m) + \Delta\hat{z}$$

donde $\bar{g}(\hat{x}_m)$ es un valor constante. Por tanto

$$\text{Cov}(\hat{z}) = \text{Cov}(\Delta\hat{z}) = K(J^t C^{-1} J)^{-1} K^t \quad (2.49)$$

Las estadísticas de las variables de estado y de salida dependientes interesan ser determinadas solamente en el punto de solución \hat{x} ($\hat{x}_m = \hat{x}$), es decir, cuando se haya obtenido convergencia. Por tanto, se deberá evaluar J y K en este punto para calcular las desviaciones estándar de las variables de estado

y de salida dependientes, mediante:

$$\bar{\sigma}_x = [\text{diag}(J^t C^{-1} J)^{-1}]^{\frac{1}{2}} = \{\text{diag}[\text{Cov}(\hat{x})]\}^{\frac{1}{2}} \quad (2.50)$$

$$\bar{\sigma}_z = \{\text{diag}[K \text{Cov}(\hat{x}) K^t]\}^{\frac{1}{2}} \quad (2.51)$$

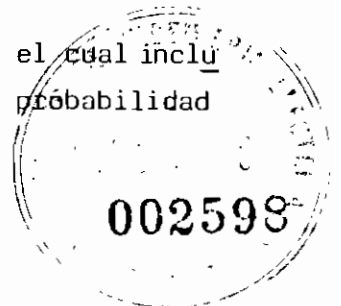
La determinación de los elementos de J y K, se realiza en el Anexo B.

2.2.3 Intervalos de Confianza

Hasta el momento, sólo hemos considerado estimaciones por puntos de los parámetros desconocidos (12,15). Sin embargo, en flujo estocástico se requiere de una estimación por intervalos, que expresará la exactitud de la estimación. Para ello, es necesario conocer previamente la distribución de probabilidad de las variables.

En el mundo real, la mayoría de observaciones tienden a seguir la curva de distribución normal o Gaussiana, curva que se asume siguen todos los equipos de medición del sistema de potencia (4); no obstante, pueden tener cualquier función de distribución de probabilidad, la cual es determinada del conocimiento del problema físico (3,7). Siendo las observaciones \bar{y} independientes, su combinación lineal para encontrar las variables de estado \bar{x} , y de salida dependientes \bar{z} , hace que éstas tiendan a seguir la distribución normal como así lo establece el teorema del límite central, cuando el número de observaciones es suficientemente grande; es decir, cuando se trata de grandes sistemas de potencia. Los parámetros \hat{x} y \hat{z} corresponden a los valores medios y $\bar{\sigma}_x^2$ y $\bar{\sigma}_z^2$ son sus respectivas varianzas.

Una proposición puede hacerse para un rango el cual incluye a los valores desconocidos \bar{x} y \bar{z}_t con alguna probabilidad



de ser correcto (7), aplicando la técnica del intervalo de confianza. De modo que \bar{x} y \bar{z}_t ya no tendrán únicamente los valores esperados \hat{x} y \hat{z} que constituye la solución determinística de flujo de potencia, sino también un rango de variación que tome en cuenta la incertidumbre de las variables de entrada en base a un intervalo de confianza dado por:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \hat{x} \pm s \bar{\sigma}_x \\ \bar{z}_t &= \hat{z} \pm s \bar{\sigma}_z\end{aligned}\tag{2.52}$$

donde s es un valor arbitrario y representa el coeficiente de confianza, tal, que cuando $s=1$ el intervalo de confianza para \bar{x} o \bar{z}_t es de 68.3%, si $s=2$ 95.4% y si $s=2.57$ 99%; siendo estos valores los más utilizados en la práctica. Asumiendo que los puntos extremos del intervalo de confianza llamados límites de confianza de una variable aleatoria normal son: $-2.57\bar{\sigma}$ y $2.57\bar{\sigma}$ de su valor esperado, se tiene un 99% de probabilidad de incluir los valores verdaderos de las variables de salida.

2.2.4 Correlación entre variables

Una medida de la intensidad de la relación lineal entre dos variables aleatorias X y Y lo constituye el parámetro ρ_{xy} llamado coeficiente de correlación (12), el cual es adimensional y se define como sigue:

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}\tag{2.53}$$

donde

σ_{xy} = covarianza de X y Y

σ_x = desviación estándar de X

σ_y = desviación estándar de Y

Si las variables X y Y son independientes, la covarianza y,

por tanto, el coeficiente de correlación de dichas variables deben ser igual a cero (12).

El coeficiente de correlación puede variar en el rango $-1 \leq \rho_{xy} \leq 1$ y toma los valores -1 o 1 si la relación es perfecta negativa o positiva respectivamente (4). Si $\rho_{xy} = 0$, las variables X y Y son no correlacionadas o no están relacionadas; sin embargo, en este caso las variables pueden ser independientes o no (15). Mientras mayor sea el valor absoluto de ρ_{xy} , mayor será la relación entre las dos variables.

Normalmente se asume que la matriz covarianza C de los datos de entrada es diagonal, implicando que todas las observaciones son independientes o no están correlacionadas entre sí; pero aún así, las variables de estado están correlacionadas debido a la conexión de los nodos o barras mediante la red de transmisión, como efectivamente lo demuestra la matriz covarianza de \hat{x} que es una matriz llena (1,3). A su vez, la no porosidad de $\text{Cov}(\hat{x})$ permite que la matriz $\text{Cov}(\hat{z})$ sea llena, con lo cual se deduce que también las variables de salida dependientes se encuentran correlacionadas.

a. Correlación entre carga y generación

Una formulación más realista del problema, es aquella que considera que carga y generación no son en la práctica independientes, ya que a medida que va cambiando la demanda del sistema se va ajustando la generación en la misma dirección, siendo esta una indicación de correlación entre carga y generación. Por ejemplo, si una carga está conectada a una barra de generación, las variaciones de carga serán seguidas fundamentalmente por la generación local, estableciéndose una alta correlación entre las dos (3). Alternativamente, los cambios de carga de una área del sistema, podrían equilibrarse, distribu

yéndoles sólo entre generadores determinados según reglas previamente especificadas por razones de carácter económico o de operación, resultado de lo cual las reglas indican niveles de correlación.

b. Correlación entre cargas

En general, la predicción de la carga total del sistema es más exacta que la predicción de las cargas individuales, esta información adicional es muy valiosa y debe considerarse como parte de los datos de correlación (3).

La carga total del sistema P_t que es igual a la suma de las l cargas individuales, puede expresarse como (1,3)

$$P_t = \sum_{i=1}^l P_{ci} \quad (2.54)$$

asumiendo independencia en las inyecciones, el valor esperado de P_t es:

$$E(P_t) = \sum_{i=1}^l E(P_{ci}) \quad (2.55)$$

y la varianza:

$$\text{Var}(P_t) = \sum_{i=1}^l \text{Var}(P_{ci}) \quad (2.56)$$

Es interesante observar el caso cuando la varianza de la carga total y de las cargas individuales se especifican independientemente; en dicha circunstancia, la ecuación (2.56) no se satisface (1,3) Si sabemos de antemano que la $\text{Var}(P_t)$ debe ser pequeña por ser la predicción más precisa, necesariamente deben existir correlaciones entre cargas tal que al calcular la varianza de la carga total, de un valor pequeño como el esperado (3). Esto indica que algunas cargas tienden a variar en direcciones opuestas, y, los coeficientes de correlación deben por tanto ser obtenidos de consideraciones prácticas como en

el caso de correlación carga-generación o de datos estadísticos (1).

Lo analizado en el literal anterior y en éste, nos lleva a concluir que el establecimiento de correlaciones entre variables de entrada, conducirá a resultados más confiables.

2.2.5 Datos de entrada e información obtenida del estudio de flujo estocástico

La formulación de flujo estocástico planteada en la presente Tesis, como una extensión del estudio de flujo convencional, requiere dos conjuntos de datos necesarios para su estudio:

1. Datos convencionales

a) Datos generales.

Incluye: número de la barra oscilante, potencia base, criterio de convergencia y máximo número de iteraciones.

b) Datos de barras.

En todas las barras se debe especificar: número, nombre, tipo, potencia activa y reactiva de carga, potencia normal del capacitor o reactor a tierra y el área. Adicionalmente se debe incluir: en la barra oscilante la magnitud y ángulo de voltaje, y en las barras de voltaje controlado la magnitud de voltaje, la potencia activa de generación y los límites de generación reactiva.

c) Datos de líneas, transformadores, capacitores y/o reactores en serie.

Para cualquier elemento, se debe informar las ba

rras a las que se conecta, la reactancia y la potencia normal o de régimen. Conjuntamente con estos datos, se da la resistencia y admitancia a tierra cuando se trata de líneas, y una indicación de los transformadores que operan con cambio de taps.

2. Errores (desviaciones estándar) en datos de barras; coeficientes de correlación

En primer lugar, se da el coeficiente e intervalo de confianza para los resultados; seguidamente dos grupos de datos que tienen relación únicamente con las barras del sistema de potencia:

a) Desviaciones estándar.

Barra oscilante.- No se especifica ningún dato.

Barras de voltaje controlado.- Estas barras pueden modelarse con voltaje fijo o con voltaje variable (16). En ambos casos se debe especificar la desviación estándar de la potencia neta activa y de la magnitud de voltaje, teniendo en cuenta que la representación con voltaje fijo, asume que la desviación estándar de la magnitud del voltaje es cero.

Barras de carga.- En estas barras se da la desviación estándar de la potencia neta activa y reactiva.

b) Coeficientes de correlación.

Este grupo de datos, consta de los coeficientes de correlación entre la potencia neta activa y el voltaje en barras de generación, la potencia neta activa y la potencia neta reactiva en barras de carga. Además se deben especificar los respectivos coeficientes de correlación entre variables (voltaje, potencia neta activa y reactiva) de unas barras con otras.

Los resultados que se obtienen de un estudio de flujo estocástico, se dividen en dos secciones: la primera constituye la solución determinística, es decir, los valores medios de todas las variables; la segunda nos da los rangos de variación de las variables de estado y de salida dependientes. Las dos secciones se detallan a continuación:

1. Solución determinística

Aquí se da información completa de los resultados del flujo convencional. Incluye datos de barras, flujos y pérdidas en elementos; los datos de barras comprenden: número, nombre, magnitud y ángulo de voltaje, potencia activa y reactiva de generación, potencia activa y reactiva de carga y finalmente la potencia del capacitor o reactor a tierra. Proporciona también, los totales de generación, carga y pérdidas del sistema, así como el número de iteraciones requeridas para obtener convergencia. Adicionalmente se da indicación de sobrecarga en elementos, los voltajes de barra que se hallan fuera del rango aceptable en operación ($0.95 \leq V \leq 1.05$), y las barras de generación que se han transformado en barras de carga.

2. Reporte estocástico

Esta sección está conformada por tres grupos, cada uno de los cuales presenta los rangos de variación y el valor medio de las variables de salida en el orden siguiente:

- a) Barras de generación y carga: magnitud y ángulo de voltaje, potencia del capacitor o reactor a tierra.
- b) Barras oscilante y de generación: potencia neta activa (sólo en la barra oscilante) y potencia neta reactiva.

- c) Flujos de potencia activa y reactiva por todos los elementos del sistema.

2.2.6 Tratamiento de barras de voltaje controlado

En flujo estocástico, los datos de error y correlación, se dan únicamente después de conocer del sistema las barras de generación que se transforman en barras de carga. Las bases para emitir este criterio son:

1. Las desviaciones estándar se dan conociendo el funcionamiento del sistema de potencia a través de datos históricos; de este modo, podemos también averiguar las barras de generación que se comportan como barras de carga.
2. Suponiendo que el estudio de flujo estocástico se desea realizar sin conocer previamente las barras de generación que se transforman en barras de carga, habría entonces que dar en cada barra de generación las desviaciones estándar de voltaje, potencia neta activa y potencia neta reactiva, más los correspondientes coeficientes de correlación. Esto significaría un mayor esfuerzo para el usuario del programa, lo cual no acarrea ninguna ventaja.

2.2.7 Algoritmo general de solución

El algoritmo de solución para flujo de potencia estocástico, se describe como:

1. Resolución del flujo de potencia convencional por el

método de Newton-Raphson, con lo cual se obtienen los valores esperados de las variables de estado y de salida dependientes.

2. Cálculo de las desviaciones estándar de las variables de estado

- a) Evaluar J^{-1} en el punto de solución.
- b) Formar C.
- c) Determinar $\text{Cov}(\hat{x})$ de la ecuación:

$$\text{Cov}(\hat{x}) = J^{-1} C J^{-1t} \quad (2.44')$$

- d) Calcular $\bar{\sigma}_x$ aplicando la ecuación:

$$\bar{\sigma}_x = \{\text{diag}[\text{Cov}(\hat{x})]\}^{\frac{1}{2}} \quad (2.50)$$

3. Cálculo de las desviaciones estándar de las variables de salida dependientes

- a) Determinar la fila i de K , \bar{k}_i correspondiente a la variable de salida dependiente z_i , en el punto de solución.
- b) Calcular la desviación estándar de la variable z_i mediante:

$$\sigma_i = [\bar{k}_i \text{Cov}(\hat{x}) \bar{k}_i^t]^{\frac{1}{2}} \quad (2.57)$$

- c) Los pasos a) y b) se repiten para todas las demás variables de salida dependientes.

4. Cálculo de los intervalos de confianza de las variables de estado y de salida dependientes, aplicando las ecuaciones:

$$\bar{x} = \hat{x} \pm s \bar{\sigma}_x \quad (2.52)$$

$$\bar{z}_t = \hat{z} \pm s \bar{\sigma}_z$$

2.3 DIFERENCIAS ENTRE LA FORMULACION DETERMINISTICA Y ESTOCASTICA

De lo visto anteriormente, es evidente que el método es to cás tico difiere notablemente del método deter min f s t i c o a n q ue es una simple extensión del mismo en varios aspectos que se derivan básicamente de la forma como se maneja la in fo r m a c i ó n; los principales son:

1. La formulación estocástica modela el problema de flu jo de potencia desde el punto de vista real; es decir, tomando en cuenta la in ce r t i d u m b r e en los datos no da dos re ales, lo cual es ignorado por el método deter min f s t i c o.
2. Los datos históricos disponibles, son manejados ade cu a d a d a m e n te en los estudios de flujo estocástico, no a s í en los estudios convencionales.
3. Todas las variables involucradas en el problema de flu jo de potencia estocástico, se tratan en forma de ran gos alrededor de un valor probable, lo cual no es fac il me n t i b l e en un estudio convencional.
4. La solución estocástica proporciona una descripción confiable del sistema, puesto que refleja el efecto del comportamiento real de los datos, lo que no oc u r r e con los resultados deter min f s t i c o s sobre los cuales se tiene des con f i a n z a.
5. Los valores medios y las desviaciones estándar del flu jo estocástico, son suficientes en operación para co no cer el estado de seguridad del sistema de potencia. Esto no es posible, si se dispone únicamente de los valores medios que da la solución deter min f s t i c o.

6. La información obtenida del flujo de potencia estocástico, es de mayor utilidad y confiabilidad para el operador del sistema que la solución determinística.

2.4 LA SIMULACION DE MONTE CARLO

Un método alternativo para resolver flujos de potencia, tomando en cuenta la existencia de errores en los datos nodales, constituye la simulación de Monte Carlo. Es un proceso repetitivo, en el cual se perturban aleatoriamente los datos de entrada alrededor de un punto y dentro de un intervalo que probablemente contiene el valor real del dato; los resultados de cada flujo son almacenados, y al final de un suficiente número de casos, en que se considere tener una buena representación del problema, se someten a un proceso analítico, para determinar las funciones densidad de probabilidad de las variables de salida, así como también sus valores extremos, medios y varianzas(6,16).

Las distribuciones de probabilidad de los datos, se obtienen por acumulación de datos históricos o por modelos de demanda anticipada (6); por simplicidad, la simulación de errores asume comúnmente una distribución uniforme, y se realiza bajo las siguientes fórmulas (16).

Para la magnitud de voltaje en barras de generación,

$$V_m = V_r(1+wN) \quad (2.58)$$

donde

V_m = Voltaje perturbado

V_r = Voltaje no perturbado

w = Rango de error

N = Número aleatorio ($-1 \leq N \leq 1$, distribución uniforme)

Para las cargas y generación activa,

$$S_m = S_r(1+wN) \quad (2.59)$$

donde

S_m = Potencia compleja perturbada

S_r = Potencia compleja no perturbada

(En el caso de barras de generación solamente la parte real)

El diagrama de flujo para la simulación se presenta en la figura 2.2

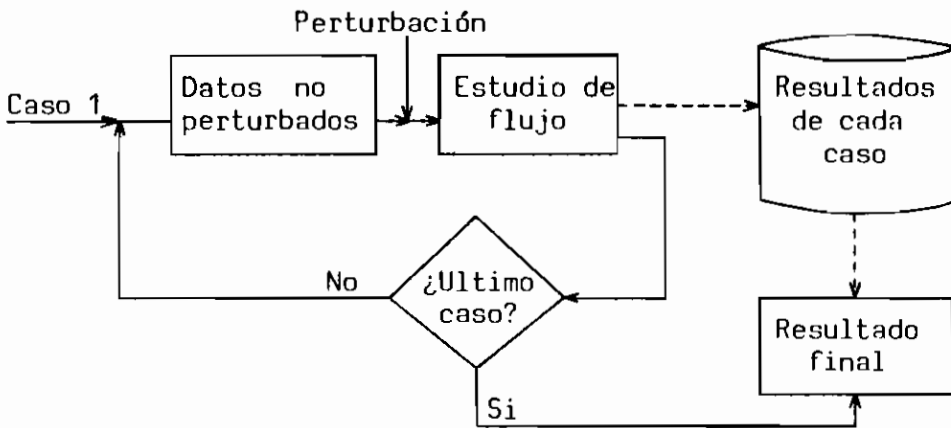


Fig. 2.2 Diagrama de flujo para la simulación de Monte Carlo (16).

La aplicación del método de Monte Carlo en los estudios de flujo, se ha visto limitada por el excesivo tiempo de computación y los grandes requerimientos de memoria que se necesita para obtener resultados confiables. Además, pueden darse casos en los cuales no hay convergencia, por lo que se complica el proceso de simulación.

CAPITULO 3

PROGRAMA DIGITAL

3.1 CONSIDERACIONES EN PROGRAMACION

Los cálculos adicionales que se llevan a cabo después de obtener la solución determinística de flujos, se refieren exclusivamente a operaciones con matrices cuyas dimensiones dependen del tamaño del sistema de potencia. Esto demanda grandes cantidades de memoria computacional cuando no se considera la porosidad de las matrices J , C y K ; más aún, cuando se observa que las matrices K y $\text{Cov}(\hat{Z})$ son las de mayores dimensiones. Estas características, han obligado a desarrollar un programa digital que trata al máximo de disminuir los requerimientos de memoria, a la vez que aumentar la rapidez en los cálculos, empleando adecuadamente técnicas de esparsidad.

Ahora se explica en forma resumida lo realizado en el programa digital y las consideraciones que se hicieron en su elaboración.

La matriz covarianza de \hat{X} está dada por:

$$\text{Cov}(\hat{X}) = J^{-1}CJ^{-1t} \quad (2.44')$$

El Jacobiano inverso J^{-1} , se determina por bifactorización, es decir, con el mismo método utilizado en la resolución del flujo convencional por Newton-Raphson (14); se almacena en

forma de matriz debido a que generalmente contiene un escaso número de ceros, o sea lo opuesto de J.

La matriz C se calcula y se almacena vectorialmente, con apuntadores de fila y columna, tal como se procede con los elementos de J (14); en caso de no existir correlaciones, sólo se calculan y almacenan los elementos de la diagonal.

El resultado de $J^{-1}C$ se empaqueta matricialmente.

El producto $J^{-1}CJ^{-1t}$ resulta en una matriz simétrica. Su almacenamiento se realiza con el mismo método usado para empaquetar la matriz impedancia de barra dado en la referencia (11) y que se da a continuación:

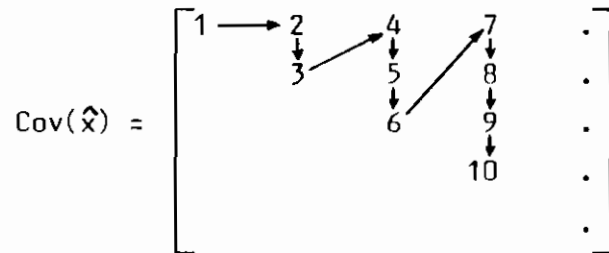


Fig. 3.1 Empaquetamiento de $Cov(\hat{x})$.

Se almacena en un vector la matriz triangular superior en el orden indicado en la figura 3.1. Cuando se necesita ingresar en cualquiera de los elementos, se verifica que la fila sea menor o igual que la columna, caso contrario, se intercambian posiciones. Entonces se aplica la ecuación:

$$r = \frac{v^2 - v}{2} + h \quad (3.1)$$

donde

r = Elemento del vector que contiene a la matriz triangular superior.

v, h = columna y fila correspondientes al elemento r respectivamente

Con iguales valores de v y h , se localizan los elementos de la diagonal de la matriz $\text{Cov}(\hat{x})$ que constituyen las varianzas de las variables de estado.

Posteriormente, y de un modo eficiente se calculan las desviaciones estándar de las variables de salida dependientes, aprovechando que se necesita obtener únicamente los elementos de la diagonal de la matriz $\text{Cov}(\hat{z})$. Para su comprensión vamos a suponer un sistema sencillo de 3 barras como el indicado en la figura 3.2, donde la barra 1 es la oscilante y las barras 2 y 3 son de carga. Para encontrar la desviación

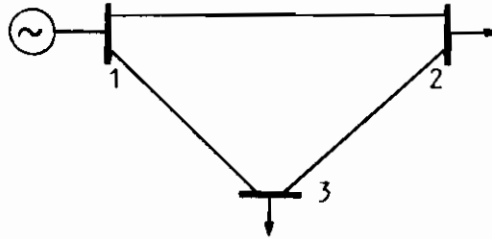


Fig. 3.2 Sistema de potencia de 3 barras.

estándar del flujo de potencia activa en la línea 1-3, primeramente se conforma el vector fila \bar{k}_1 correspondiente a esta línea ($i=P_{13}$), planteando la ecuación:

$$\begin{bmatrix} 0 & \frac{\partial P_{13}}{\partial \delta_3} & 0 & \frac{\partial P_{13}}{\partial V_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta V_2 \\ \Delta V_3 \end{bmatrix} = \Delta P_{13} \quad (3.2)$$

donde el vector que interesa es:

$$\bar{k}_i = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 0 & \frac{\partial P_{13}}{\partial \delta_3} & 0 & \frac{\partial P_{13}}{\partial V_3} \\ \hline \end{array} \quad (3.3)$$

el cual se calcula en el punto de solución, para luego determinar en forma directa la desviación estándar mediante la expresión:

$$\sigma_i = [\bar{k}_i \text{Cov}(\hat{x}) \bar{k}_i^t]^{1/2} \quad (2.57)$$

Con este procedimiento, se logra reducir el excesivo número de operaciones y se gana mucho en memoria, ya que no hay necesidad de obtener toda la matriz $\text{Cov}(\hat{x})$. Adicionalmente, se calcula y almacena sólo los elementos diferentes de cero de cada vector \bar{k}_i con indicadores de posición de columna, con lo cual no se realiza ninguna multiplicación por cero y se disminuye aún más el tiempo de ejecución. Esta última consideración, surge de un análisis de la matriz K , cuyos vectores fila presentan las siguientes propiedades [Ver ecuaciones (B.14), (B.18) y (B.29) en Anexo B]:

1. Para la potencia neta activa y reactiva en la barra oscilante así como también la potencia neta reactiva en barras de generación, la estructura de cada vector es similar a la conformación de las filas de J .
2. Para los flujos de potencia en elementos, se pueden presentar dos casos:
 - a) Cuando el elemento considerado no está conectado a la barra oscilante, \bar{k}_i contiene cuatro términos diferentes de cero.
 - b) Si el elemento se conecta con uno de sus extremos a la barra oscilante, \bar{k}_i contiene dos términos dife

rentes de cero.

3. En el caso de capacitores y/o reactores a tierra, las filas respectivas contienen solamente un término distinto de cero.

3.2 DIAGRAMAS DE FLUJO: PROGRAMA PRINCIPAL Y SUBRUTINAS

El programa digital desarrollado en la presente Tesis consta del programa principal y 21 subrutinas, cuya conformación es la siguiente:

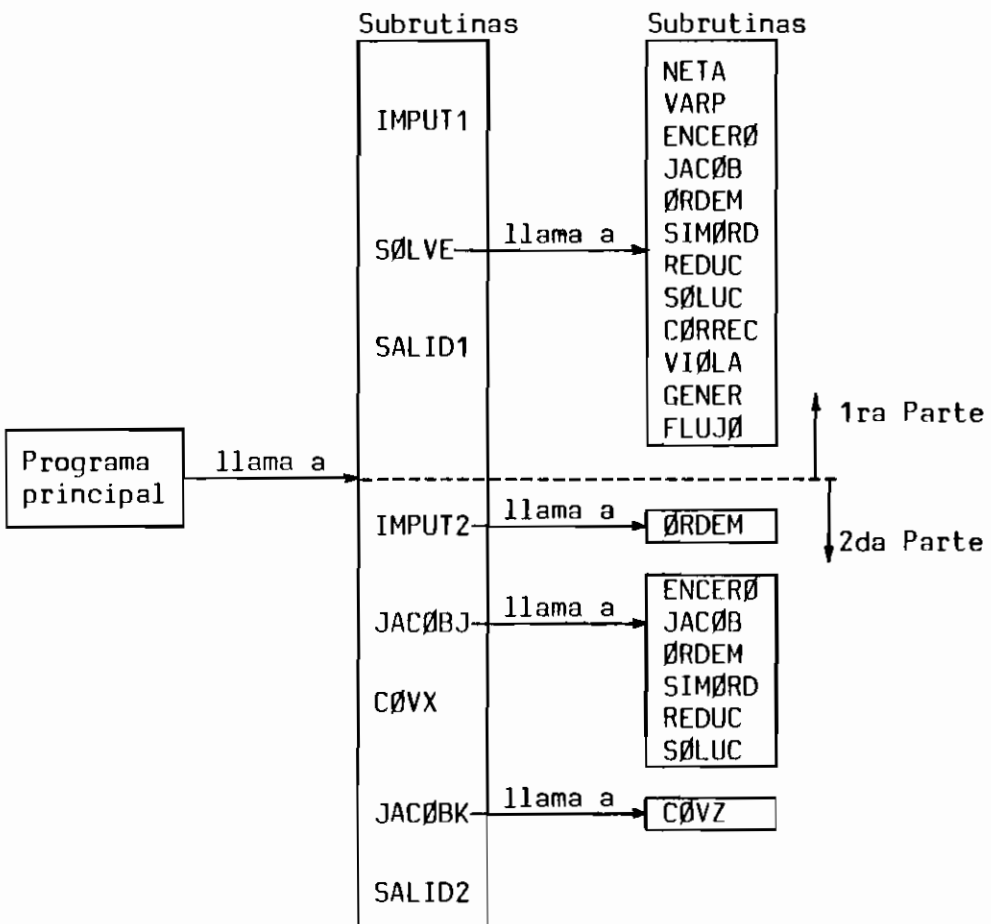


Fig. 3.1 Estructura del programa digital.

La primera parte corresponde a la resolución del flujo de potencia determinístico, para lo cual se usa la programación del método formal de Newton-Raphson desarrollada por el Ing. Edgar Mármol en su Tesis: "Estudio de Flujos de Carga mediante los métodos de Newton-Raphson". La segunda parte comprende el cálculo de las desviaciones estándar y los límites de confianza; estos cálculos se realizan una vez que se ha obtenido convergencia en la primera parte.

Es necesario aclarar que la programación de la primera parte, bajo autorización del autor, ha sido parcialmente modificada con varios propósitos:

1. Permitir dos criterios de convergencia, uno para la potencia activa y otro para la potencia reactiva.
2. La numeración de barras es ahora indiferente, esto es, en un sistema de n barras, la numeración de ellas no necesariamente debe ir de 1 a n , sino que también puede ser mayor que n , dependiendo de las necesidades del usuario. Así por ejemplo, en un sistema de 3 barras, la numeración puede ser: 4, 2, 11.
3. Incluir el nombre de cada barra.
4. Señalar los voltajes de barra fuera del rango normal de operación.
5. Señalar los elementos con sobrecarga.
6. Facilitar la programación de la segunda parte, y hacer que el programa total sea fácil de entender y probar. Esto se consigue, separando la subrutina SØLVE en varios subprogramas.

Los diagramas de flujo y la descripción detallada de la primera parte, se da en la referencia (14).

A continuación se presentan los diagramas de flujo del programa principal y de las subrutinas INPUT2, JACØBJ, CØVX, JACØBK, CØVZ y SALID2.

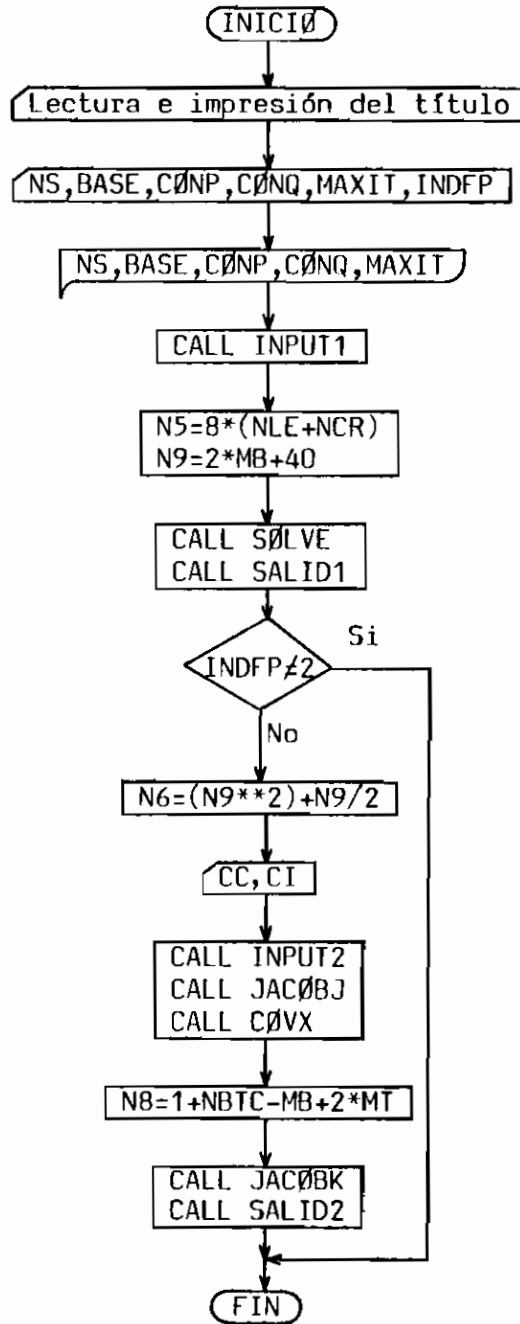


Fig. 3.2 Diagrama de flujo del Programa principal.

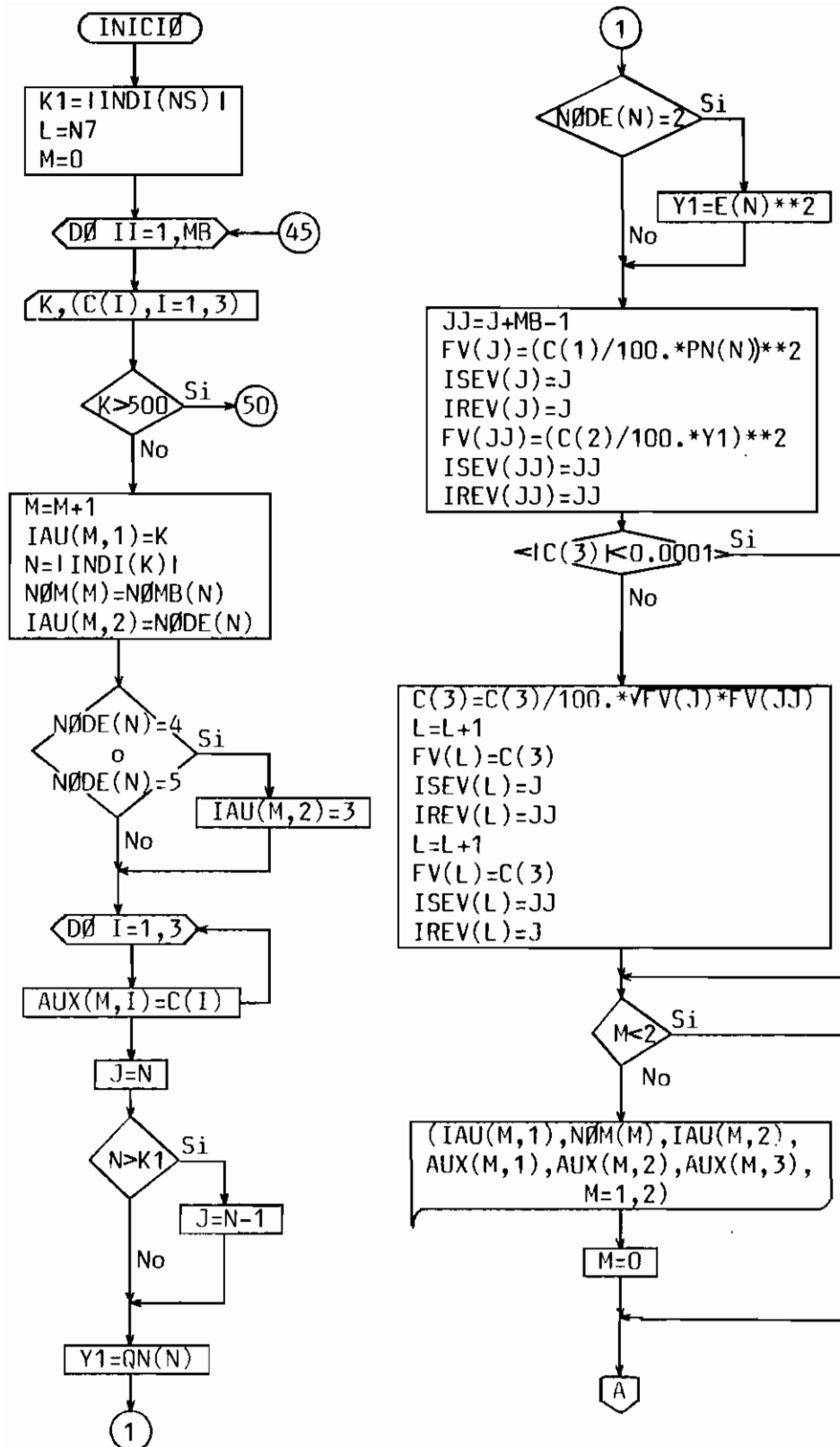
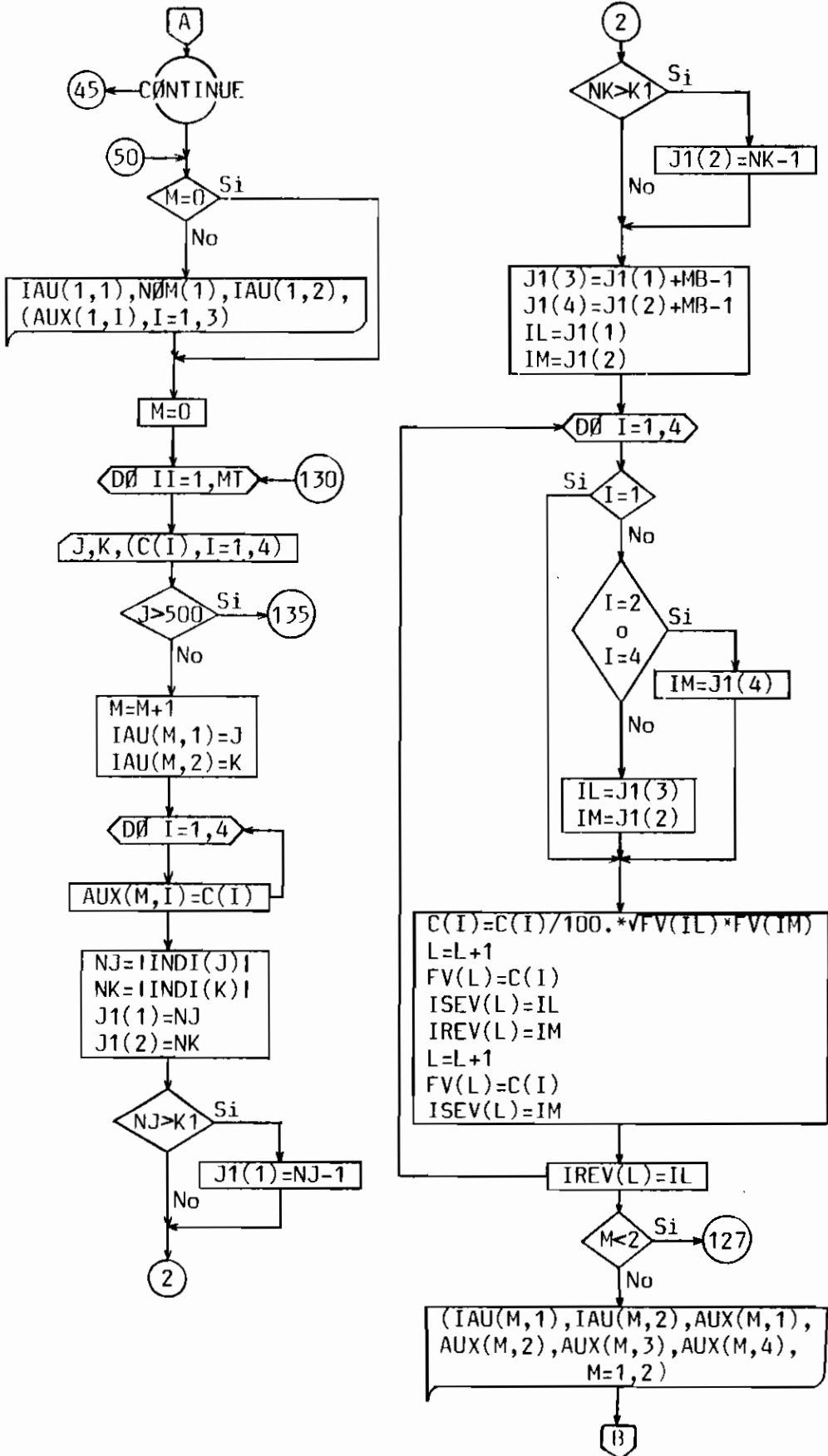


Fig. 3.3 Diagrama de flujo de la Subrutina INPUT2.



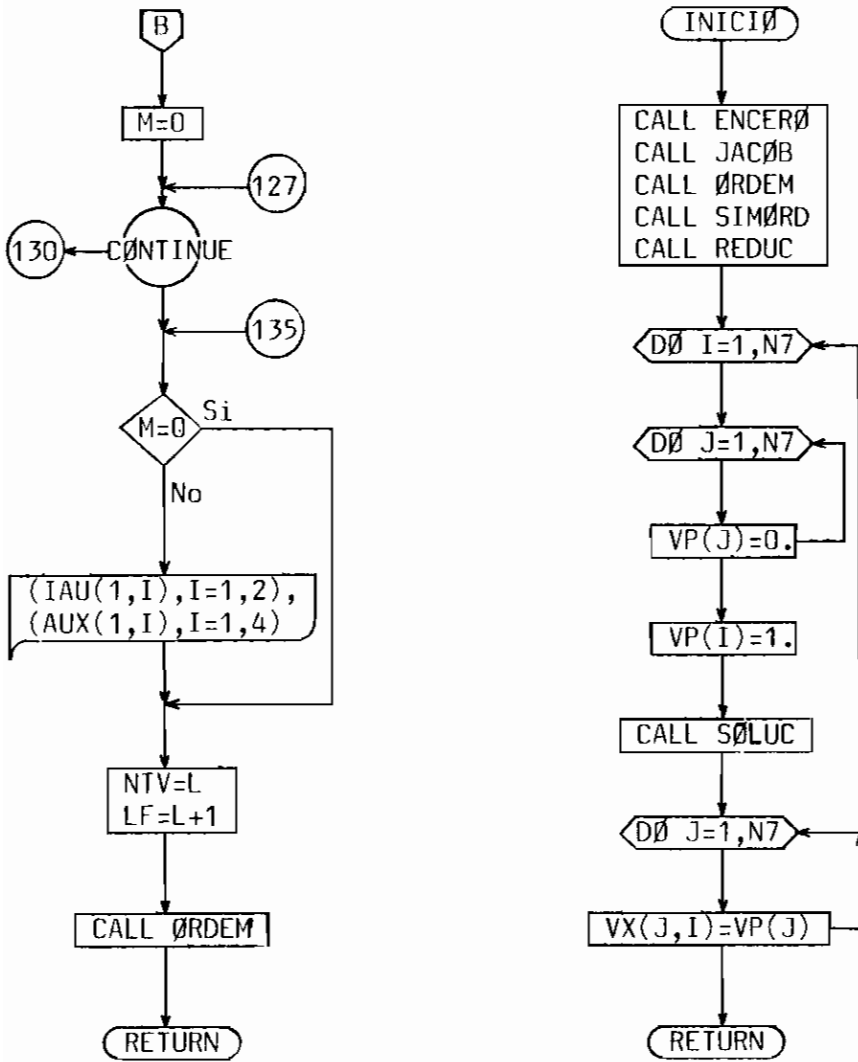


Fig. 3.4 Diagrama de flujo de la Subrutina JACØBJ.

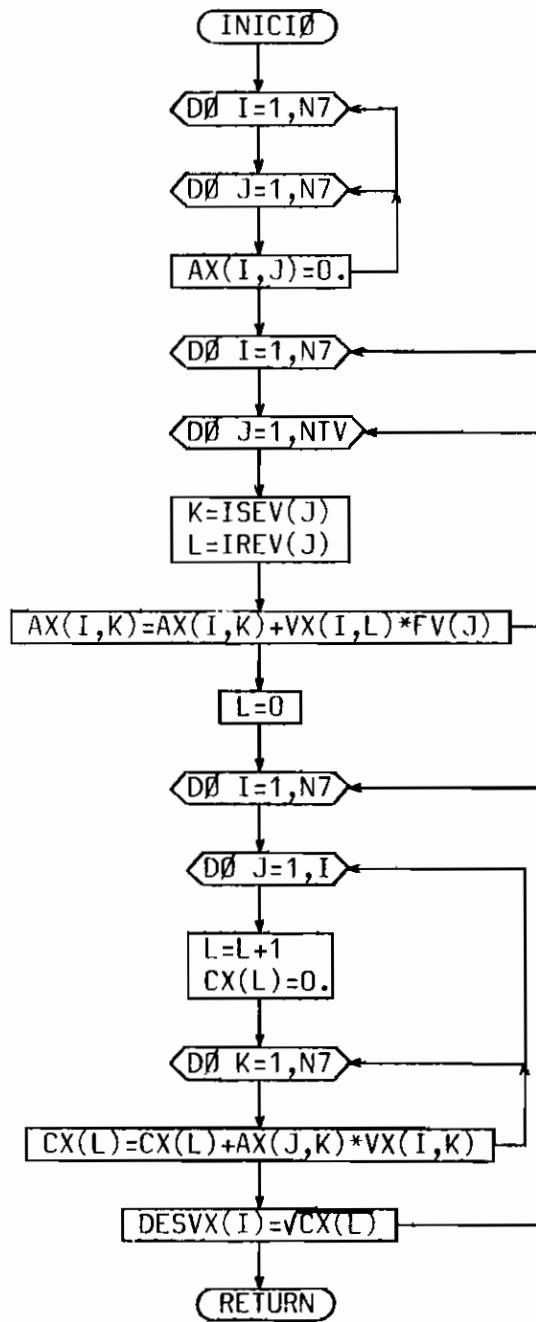


Fig. 3.5 Diagrama de flujo de la Subrutina C0VX.

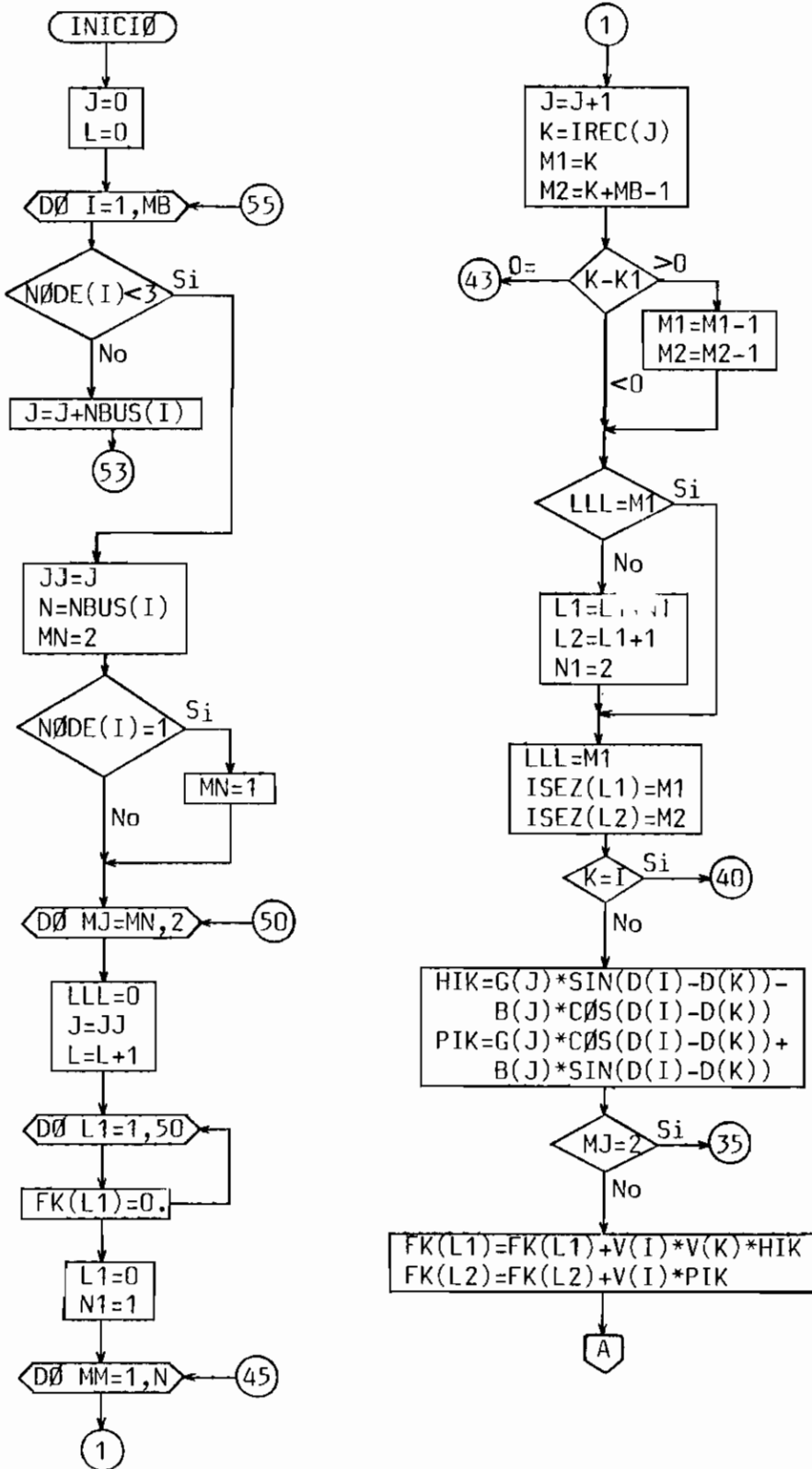
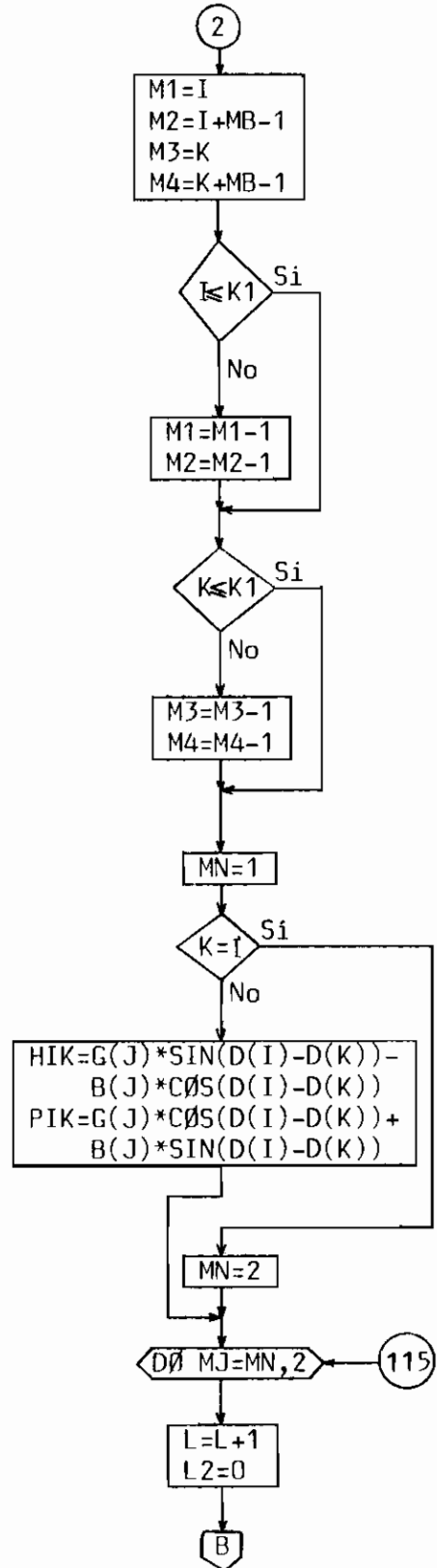
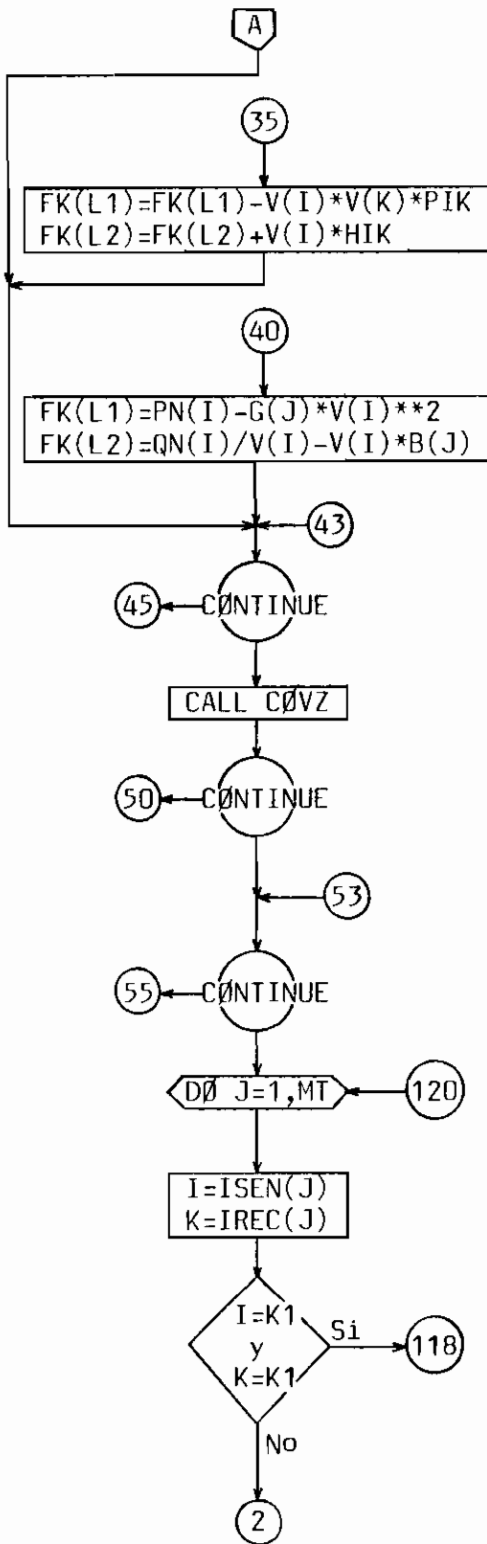
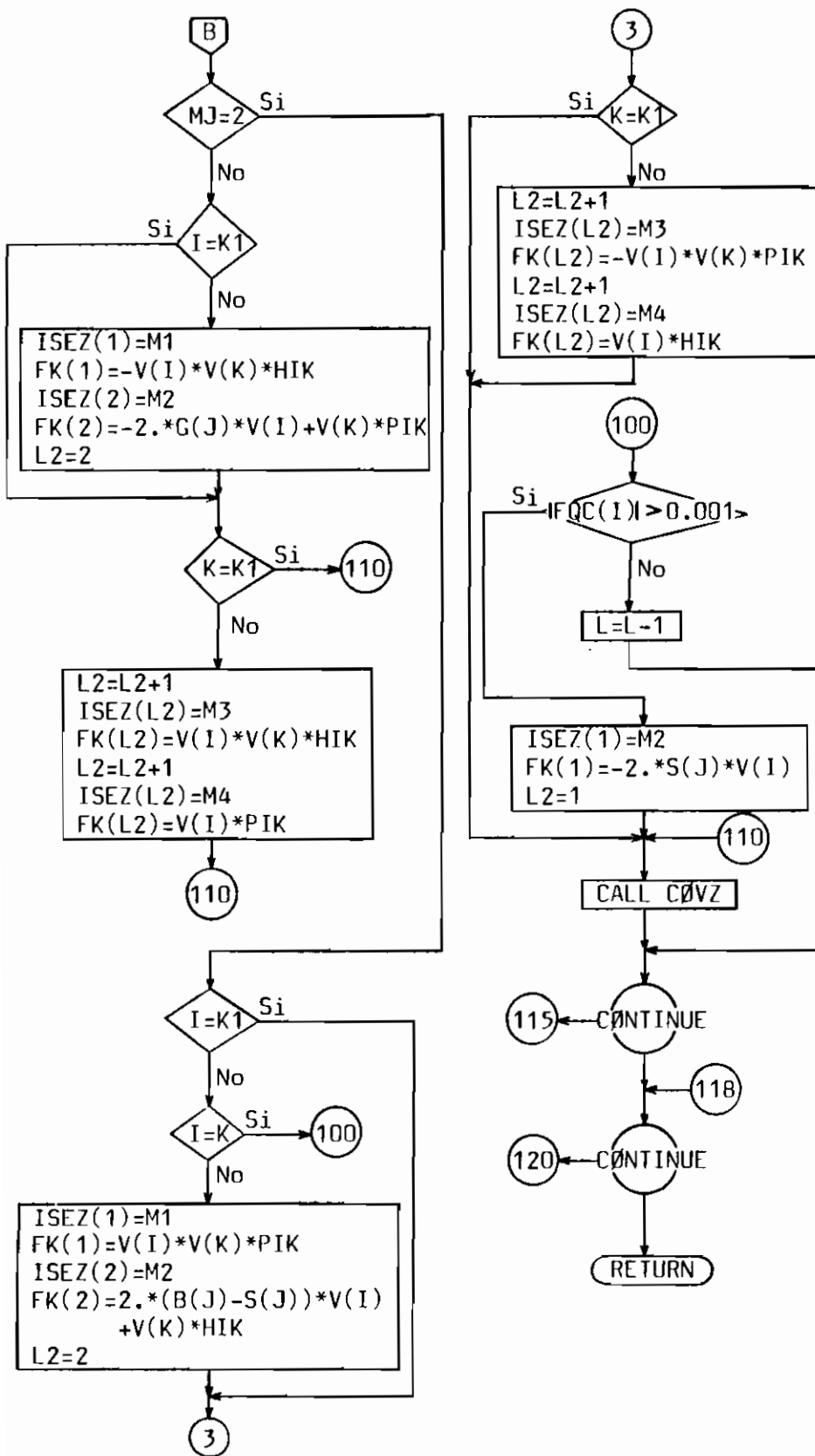


Fig. 3.6 Diagrama de flujo de la Subrutina JACØBK.





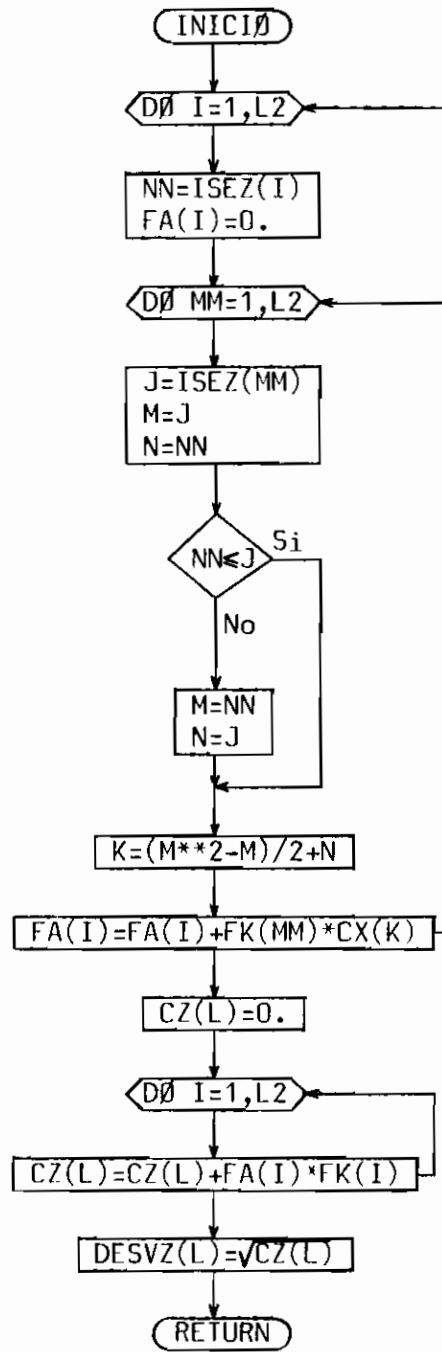


Fig. 3.7 Diagrama de flujo de la Subrutina C0VZ.

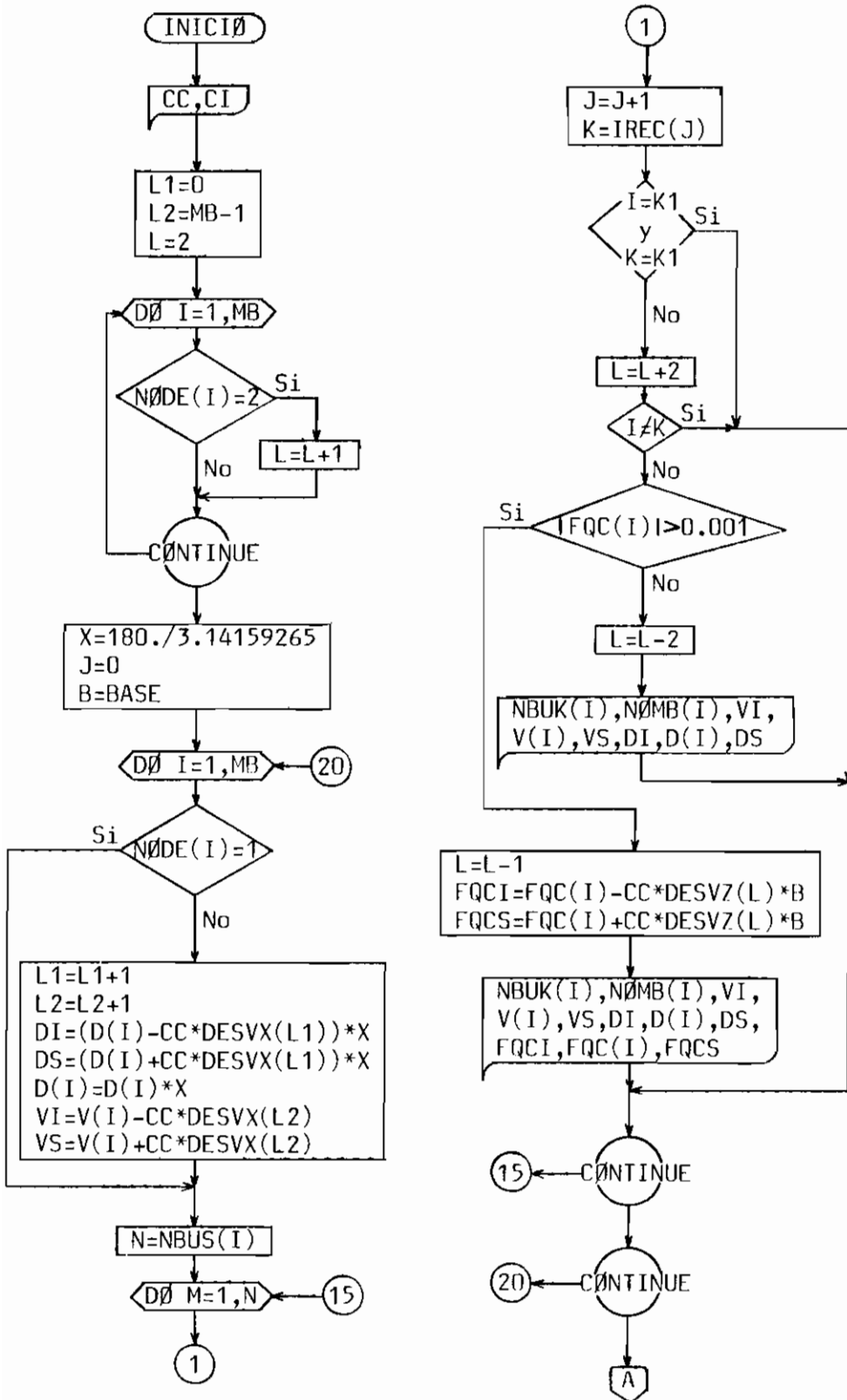
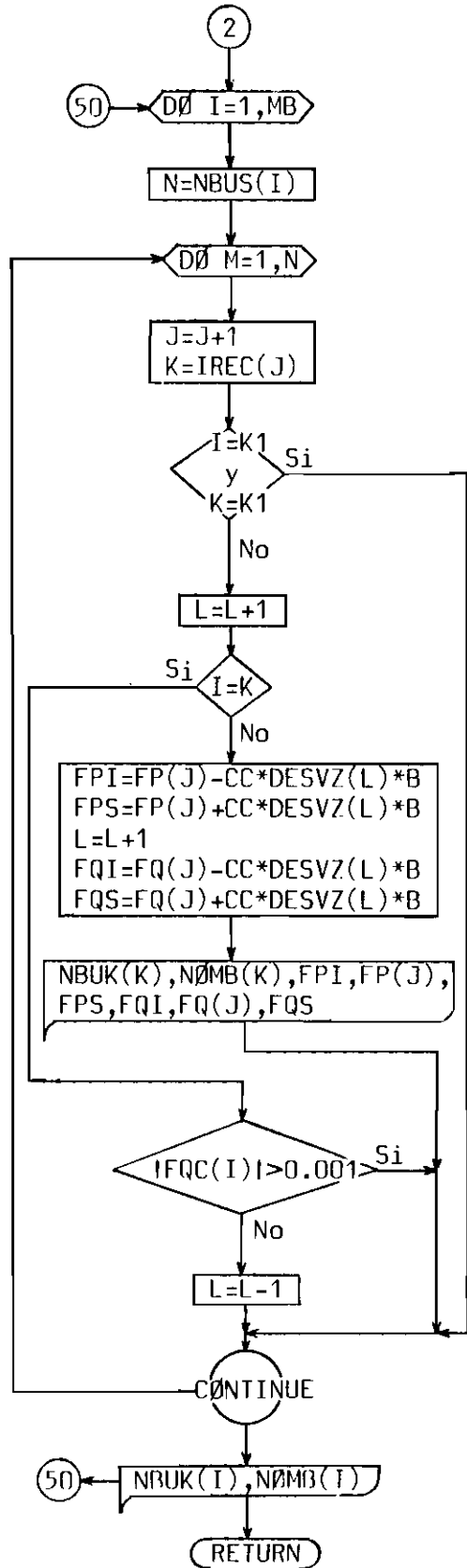
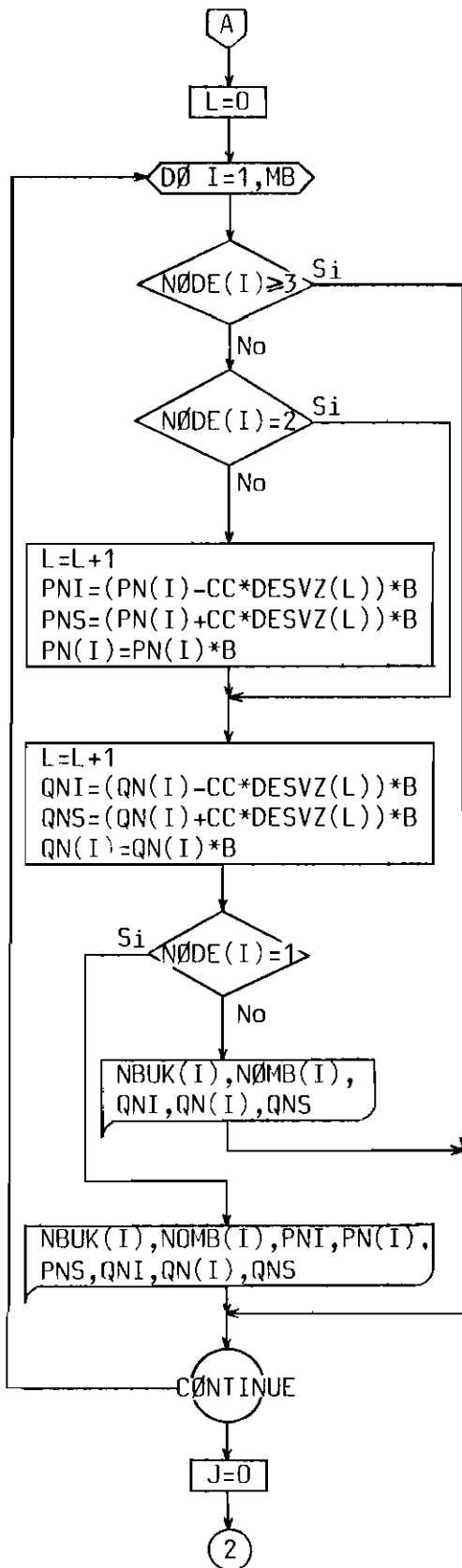


Fig. 3.8 Diagrama de flujo de la Subrutina SALID2.



3.3 DESCRIPCION DEL PROGRAMA

En este numeral se describe el programa principal y la función que desempeña cada una de las subrutinas a las que llama, en el orden indicado en la figura 3.1.

Programa principal

Realiza lo siguiente:

1. Lee e imprime el título.
2. Lee e imprime datos generales.
3. Llama a las subrutinas INPUT1, SØLVE y SALID1.
4. Entre los datos generales, el único que se lee pero no se imprime, es un indicador (INDFP) del estudio de flujo de potencia que requiere el usuario, sea determinístico (INDFP=1) o estocástico (INDFP=2). Si es 1, el proceso termina; si es 2, continúa con los siguientes pasos:
5. Lee el coeficiente e intervalo de confianza.
6. Llama a las subrutinas INPUT2, JACØBJ, CØVX, JACØBK y SALID2.

Subrutina INPUT1

Este subprograma, lee e imprime los datos de barras y elementos necesarios para el estudio de flujo determinístico, y realiza un control de errores de los mismos. Además, ordena los elementos respecto a filas y columnas para luego formar la matriz admitancia de barra.

Subrutina SØLVE

En esta subrutina, se resuelve totalmente el flujo de potencia determinístico. Los pasos que sigue son:

1. Llama a la subrutina NETA, que calcula la potencia neta activa y reactiva especificadas.
2. Inicializa el contador de iteraciones.
3. Llama a la subrutina VARP, que calcula los desbalances de potencia y magnitud de voltaje al cuadrado, entre los valores especificados y los calculados.
4. Realiza la prueba de convergencia tanto de potencia activa como reactiva.
5. Verifica que el número de iteración corriente sea menor que el máximo número de iteraciones especificado. En caso de ser igual, se cancela la ejecución.
6. Llama a las subrutinas:
 - ENCERØ.- Inicializa con cero los arreglos en los cuales se almacena información concerniente al Jacobiano (J).
 - JACØB.- Determina los elementos del Jacobiano (J).
 - ØRDEM.- Ordena de acuerdo a columnas los elementos del Jacobiano (J).
 - SIMØRD.- Ordena la matriz porosa J de tal manera que en el posterior proceso de reducción, el número de elementos nuevos creados sea lo más pequeño posible y además para que el número de operaciones a realizar sea mínimo.
 - REDUC.- Es propiamente la aplicación de la bifactorización.
 - SØLUC.- Rescata el vector solución.
 - CØRREC.- Realiza las correcciones de voltaje en magnitud y ángulo.
7. Incrementa el contador de iteraciones.
8. Regresa al paso 3. y el proceso continúa hasta que se satisfaga en el paso 4., los criterios de convergencia

especificados.

9. Llama a VIØLA, que examina la violación de máxima o mínima generación de reactivos en barras de voltaje controlado. Si no lo hay, prosigue con el paso 11.
10. Si han ocurrido violaciones, se fijan como datos los límites respectivos de generación reactiva en lugar de las magnitudes de voltaje. Se regresa al paso 3. y el proceso se repite hasta obtener la solución que se ajusta a las nuevas condiciones planteadas.
11. Llama a las subrutinas.

GENER.- Calcula la generación de activos y reactivos en la barra oscilante, así como la generación de reactivos en barras de voltaje controlado.

FLUJØ.- Calcula flujos y pérdidas de potencia en elementos.

Subrutina SALID1

Esta subrutina tiene la función de imprimir los resultados del flujo de potencia determinístico.

Subrutina INPUT2

La función asignada a este subprograma, es la de leer e imprimir las desviaciones estándar y los coeficientes de correlación, así como también realizar un control de errores de los mismos. Además, forma la matriz covarianza de los errores C y llama al subprograma ØRDEM para que ordene sus elementos de acuerdo a columnas.

Subrutina JACØBJ

Esta subrutina calcula el Jacobiano (J) inverso en el punto de solución. Para ello, llama a los subprogramas ENCERØ, JA

CØB, ØRDEM, SIMØRD, REDUC y SØLUC.

Subrutina CØVX

Determina la matriz covarianza de las variables de estado y calcula las desviaciones estándar de estas variables aplicando las ecuaciones (2.44') y (2.50) respectivamente.

Subrutina JACØBK

Este subprograma, calcula las desviaciones estándar de todas las variables de salida dependientes de la siguiente manera:

1. Determina el vector fila \bar{k}_i de la variable z_i en el punto de solución.
2. Llama a la subrutina CØVZ, que calcula directamente la desviación estándar de z_i utilizando la ecuación (2.57).

Los pasos 1. y 2. se aplican a todas las variables z .

Subrutina SALID2

Imprime el coeficiente e intervalo de confianza. Luego calcula los rangos de variación de las variables de estado y de salida dependientes, en base al coeficiente de confianza. Finalmente, imprime dichos rangos junto con los respectivos valores medios.

CAPITULO 4

EJECUCION DE PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

En este Capítulo se presentan las diferentes pruebas efectuadas sobre un sistema de potencia de 14 barras de la IEEE. En cada prueba se realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos.

Los datos del sistema se muestran en el Anexo D.

En la última parte de este Capítulo se muestran los resultados del estudio de flujo estocástico realizado sobre el Sistema Nacional Interconectado.

4.1 Prueba a. COMPARACION DE LOS RESULTADOS DEL FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO CON LA SOLUCION DETERMINISTICA Y CON LA SIMULACION DE MONTE CARLO

Comparación entre la solución determinística y estocástica

Se ha demostrado en el Capítulo 2, que los resultados determinísticos coinciden con los resultados esperados de la formulación estocástica, por este motivo, se omite la tabla de valores medios para efectos de comparación entre las dos formulaciones. Son las desviaciones estándar del flujo estocástico las que le diferencian del flujo convencional.

La solución única que proporciona el flujo convencional, no contribuye eficazmente en la toma de decisiones, mientras que las desviaciones estándar dadas por el flujo estocástico son de gran utilidad en tales circunstancias, sobre todo tomando en cuenta que la situación real del sistema, puede ser peligrosa, como se mostrará más adelante (Prueba c.) al considerar desviaciones de voltajes en barras de generación.

Comparación entre los resultados estocásticos y aquellos de Monte Carlo

Para probar la confiabilidad de los resultados del flujo de potencia estocástico, se utilizó la simulación de Monte Carlo. La tabla 4.1 muestra los resultados obtenidos por los dos métodos.

Los resultados de la simulación, son el producto de 50 corridas de flujo de potencia convencional, donde los datos fueron perturbados aleatoriamente, asumiendo que poseen una distribución uniforme. Esta prueba se realizó utilizando la fórmula (2.59), con un rango de error del $(\frac{6}{2.57})\%$ y con dos números aleatorios situados dentro del rango $-1 \leq N \leq 1$. Una simulación de Monte Carlo completa, se hubiera conseguido corriendo 2^{11} flujos de potencia; 2 por considerar dos números aleatorios, y 11 porque de las 14 barras se resta la oscilante y las dos barras de inyección cero.

El flujo de potencia estocástico se corrió con desviaciones estándar en las inyecciones del 6% de sus valores esperados.

Tanto en la simulación como en el flujo estocástico, se asumió que los voltajes de generación permanecen constantes.

Si se comparan los resultados obtenidos mediante la simu

lación con aquellos del flujo estocástico, se deduce que los valores medios son prácticamente los mismos. En cuanto a las desviaciones estándar, puede decirse que generalmente son ma yores los valores dados por el flujo estocástico; esto obviamente se debe a que en la simulación, de las 2084 combinaciones posibles entre datos, se seleccionaron aleatoriamente só lo 50.

Los resultados que se indica entre paréntesis, corresponden a las primeras 23 corridas de flujo convencional. Estos va lores se anotaron para observar el incremento en las desviaci ones estándar debido al incremento en el número de corridas.

En conclusión, sólo corriendo un número considerable de casos de flujo convencional, se puede llegar a obtener desviaci ones similares a las obtenidas mediante el flujo estocástico.

4.2 Prueba b. ANALISIS DE RESULTADOS CONSIDERANDO VARIACIONES EN LAS DESVIACIONES ESTANDAR DE LAS CARGAS

Esta prueba se desarrolló con el objeto de observar el in cremento de la incertidumbre de las variables de salida, debido al incremento en la incertidumbre de las cargas. Se utilizaron desviaciones estándar para las cargas de 2%, 6% y 10% de sus valores esperados. En la tabla 4.2 se presentan los re sultados obtenidos.

Puede notarse con facilidad que las desviaciones estándar de las variables de salida, van aumentando linealmente de ca so a caso. Esto obedece, a la relación lineal que mantienen las varianzas de los datos de entrada con las varianzas de las cantidades de salida como así lo demuestran las expresiones si guientes:

$$\text{Var}(\hat{x}) = \text{diag}(J^{-1}CJ^{-1t}) \quad (2.24')$$

$$\text{Var}(\hat{z}) = \text{diag}(KJ^{-1}CJ^{-1t}K^t) \quad (2.36')$$

Los jacobianos J y K evaluados en el punto de solución permanecen constantes, mientras que la matriz C varía entre casos, debido a la variación de las desviaciones estándar de las cargas.

El sistema p.u. usado para expresar las magnitudes de voltaje, no permite apreciar los cambios en las desviaciones estándar de todas estas variables. Sin embargo, dichos cambios se justifican puesto que también las desviaciones estándar de los flujos de potencia reactiva, cambian.

Cabe indicar que esta prueba se realizó considerando que las magnitudes de voltaje en barras de generación no se ven afectadas por los cambios de carga.

4.3 Prueba c. EFECTO DE LA VARIACION DEL VOLTAJE EN BARRAS DE GENERACION

En virtud de las barras de generación existentes en un sistema eléctrico de potencia, el flujo de potencia estocástico puede modelarse de dos formas:

1. Formulación con voltajes de generación fijos
2. Formulación con voltajes de generación variables

El primer modelo asume que no hay incertidumbre sobre las magnitudes de voltaje en barras de generación. El segundo considera incertidumbre sobre estas variables, en consecuencia, este modelo toma en cuenta las desviaciones estándar de los voltajes de generación.

Para observar el efecto que tiene el error de voltajes sobre los resultados de flujos, en esta prueba se realizaron dos corridas, la primera con voltajes fijos y la segunda con voltajes variables. Los resultados se muestran en la tabla 4.3.

En los dos casos se utilizó como desviaciones estándar de las potencias netas activa y reactiva, el 6% de sus valores esperados. El primer caso se corrió considerando cero las desviaciones estándar de las magnitudes de voltaje de generación, y el segundo, estableciendo una desviación del 0.6% de los voltajes especificados. Este valor se seleccionó asumiendo que la relación entre los cambios de potencia neta reactiva y la magnitud de voltaje en cualquier barra de generación, es aproximadamente de 10 a 1. Esto es comprensible puesto que las inyecciones son variables incontrolables, en tanto que los voltajes están bajo control por medio de los reguladores de voltaje; por esta razón, se pueden considerar desviaciones pequeñas para voltajes y más amplias para las inyecciones.

En las dos modelaciones se considera a las desviaciones estándar de las magnitudes de voltaje de generación como cantidades de entrada y salida.

Si se atiende a los resultados dados en la tabla, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. Respecto a las magnitudes de voltaje en barras de generación, se verifica que las desviaciones estándar calculadas, coinciden con aquellas de entrada.
2. Pequeños cambios en los voltajes de generación, provocan un efecto despreciable en los flujos de potencia activa, y prácticamente no inciden en los ángulos de voltaje como tampoco en la generación activa de la barra oscilante.

3. Pequeños cambios de voltaje en barras de generación, ocasionan grandes cambios en la producción de reactivos por parte de generadores y consecuentemente en los flujos de potencia reactiva.
4. De existir incertidumbre en el valor de voltaje de generación, los flujos de potencia reactiva por las líneas conectadas a las barras de generación y oscilante, son en general los más afectados, pudiéndose llegar a situaciones peligrosas que pueden alterar el estado normal de funcionamiento del sistema. Este hecho es aún más notorio en el caso particular de la línea 2-5, donde el flujo reactivo se hace muy sensible a la incertidumbre debido a que su valor medio es muy pequeño, tanto es así que la desviación estándar es el 324% del valor medio, reduciéndose a sólo el 18% cuando la prueba se realiza con voltajes fijos. Esto es altamente significativo, ya que el error en voltajes es prácticamente pequeño, pero su efecto es de gran magnitud.

4.4 Prueba d. ANALISIS DE RESULTADOS EN BASE A LA CORRELACION ENTRE VARIABLES DE ENTRADA

El objetivo de la presente prueba es hacer notar el efecto de la correlación entre variables de entrada sobre los resultados del flujo de potencia estocástico. Con tal propósito se corrieron dos casos de flujo, el primero despreciando todas las correlaciones existentes, y el segundo, considerando los coeficientes de correlación de mayor influencia, que son los siguientes:

$$\rho_{P_2 P_3} = 19\%; \quad \rho_{P_2 P_4} = 33\%; \quad \rho_{P_2 P_5} = 44\%; \quad \rho_{Q_4 Q_5} = 25\%$$

La forma como se obtuvieron estos valores se indica en el Anexo E.

Se asumió que una pequeña variación en la potencia activa de una barra en particular, prácticamente no produce variación en la potencia reactiva de dicha barra y de las demás. Similarmente, una pequeña variación en la potencia reactiva de una barra, prácticamente no produce variación en la potencia activa de esta barra y de las demás. Bajo estas asunciones, todos los coeficientes de correlación entre P y Q fueron despreciados. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.4.

En los dos casos se asumió que la desviación estándar en las inyecciones, es del 6% de sus valores esperados y que los voltajes en barras de generación permanecen invariables.

Comparando resultados, se encuentra que el establecimiento de correlaciones, produce ligeros cambios en las desviaciones estándar tanto de las potencias en las barras 1 y 2 como de los flujos de potencia por ciertas líneas, sea aumentando o disminuyendo las desviaciones del caso sin correlación.

Es interesante notar, que se modifican las desviaciones estándar de los flujos de potencia en todas las líneas conectadas entre barras correlacionadas, así como también de algunas líneas que se conectan con un extremo a cualquiera de las barras mencionadas.

Tabla 4.1 Resultados del flujo estocástico y de la simulación de Monte Carlo

	Flujo estocástico		Monte Carlo		Flujo estocástico		Monte Carlo	
	V.medio	σ	V.medio	σ	V.medio	σ	V. medio	σ
Barras de generación y carga	V O L T A J E							
	Magnitud (p.u.)				Angulo (grados)			
2	1.045	0	1.045	0	-5.0	0.2	-5.0	0.2
3	1.010	0	1.010	0	-12.7	0.6	-12.7	0.4
4	1.019	0.001	1.019	0.001	-10.3	0.3	-10.3	0.3
5	1.020	0.001	1.020	0.001	-8.8	0.3	-8.8	0.2
6	1.070	0	1.070	0	-14.2	0.4	-14.2	0.4
7	1.062	0.001	1.062	0.001	-13.4	0.4	-13.4	0.4
8	1.090	0	1.090	0	-13.4	0.4	-13.4	0.4
9	1.056	0.002	1.056	0.001	-14.9	0.4	-15.0	0.4
10	1.051	0.002	1.051	0.001	-15.1	0.4	-15.1	0.4
11	1.057	0.001	1.057	0.001	-14.8	0.4	-14.8	0.4
12	1.055	0.001	1.055	0	-15.1	0.4	-15.1	0.4
13	1.050	0.001	1.051	0.001	-15.2	0.4	-15.2	0.4
14	1.036	0.002	1.036	0.001	-16.0	0.4	-16.1	0.4
Barras de generación y carga	POTENCIA DE CAPACITORES Y/O REACTORES A TIERRA (MVAR)							
9	-21.20	0.06	-21.20	0.05				
Barras de generación y oscilante	P O T E N C I A N E T A							
	(MW)				(MVAR)			
1	232.38	7.74	232.46	6.76	-16.89	1.33	-16.82	0.97
2					29.70	1.99	29.82	2.04
3					4.39	2.40	4.44	1.32
6					4.73	0.81	4.77	1.01
8					17.35	0.47	17.37	0.45

Tabla 4.1 Resultados del flujo estocástico y de la simulación de Monte Carlo (continuación)

	Flujo estocástico		Monte Carlo		Flujo estocástico		Monte Carlo	
	V.medio	σ	V.medio	σ	V.medio	σ	V.medio	σ
De a	F L U J O D E P O T E N C I A							
	(MW)				(MVAR)			
1-2	156.83	5.62	156.90	4.76	-20.39	1.32	-20.36	1.11
1-5	75.55	2.15	75.57	2.00	3.50	0.17	3.51	0.22
2-3	73.19	3.38	73.21	1.82	3.57	0.34	3.59	0.18
2-4	56.14	1.44	56.15	1.34	-2.29	0.22	-2.30 (-2.28)	0.24 (0.23)
2-5	41.51	0.93	41.52	1.00	0.76	0.14	0.78	0.16
3-4	-23.33	2.60	-23.33	1.47	2.81	1.19	2.83	0.68
4-5	-61.22	2.30	-61.21 (-61.22)	1.54 (1.44)	15.67	0.75	15.68 (15.67)	0.43 (0.40)
4-7	28.09	0.93	28.09	0.74	-9.42	0.25	-9.42	0.19
4-9	16.09	0.53	16.09	0.42	-0.32	0.21	-0.32	0.16
5-6	44.06	1.04	44.07	1.10	12.82	0.21	12.83	0.22
6-11	7.34	0.43	7.35	0.31	3.47	0.30	3.48	0.25
6-12	7.78	0.26	7.78	0.21 (0.19)	2.49	0.10	2.49	0.09
6-13	17.74	0.62	17.74	0.49 (0.44)	7.16	0.32	7.17	0.27
7-8	0	0	0	0	-16.91	0.44	-16.92	0.42
7-9	28.09	0.93	28.09	0.74	5.79	0.60	5.8	0.41 (0.39)
9-10	5.24	0.55	5.24	0.37	4.31	0.34	4.31	0.24 (0.15)
9-14	9.44	0.63	9.44	0.42	3.65	0.21	3.65 (3.66)	0.17
10-11	-3.77	0.42	-3.78	0.29	-1.53	0.28	-1.53	0.22 (0.20)
12-13	1.61	0.22	1.61	0.18 (0.12)	0.74	0.09	0.74	0.05 (0.04)
13-14	5.63	0.47	5.63 (5.64)	0.30 (0.16)	1.68	0.25	1.69	0.16 (0.15)

Tabla 4.2 Resultados de flujo estocástico considerando variaciones en las desviaciones estándar de las cargas

	Valor medio	Desviación estándar			Valor medio	Desviación estándar		
		2%	6%	10%		2%	6%	10%
Barras de generación y carga	V O L T A J E							
	Magnitud (p.u.)				Angulo (grados)			
2	1.045	0	0	0	-5.0	0.1	0.2	0.3
3	1.010	0	0	0	-12.7	0.2	0.6	0.9
4	1.019	0.001	0.001	0.002	-10.3	0.1	0.3	0.6
5	1.020	0	0.001	0.001	-8.8	0.1	0.3	0.5
6	1.070	0	0	0	-14.2	0.1	0.4	0.6
7	1.062	0	0.001	0.001	-13.4	0.2	0.4	0.6
8	1.090	0	0	0	-13.4	0.2	0.4	0.6
9	1.056	0.001	0.002	0.003	-14.9	0.2	0.4	0.7
10	1.051	0.001	0.002	0.002	-15.1	0.1	0.4	0.6
11	1.057	0	0.001	0.001	-14.8	0.1	0.4	0.6
12	1.055	0	0.001	0.001	-15.1	0.1	0.4	0.6
13	1.050	0.001	0.001	0.001	-15.2	0.2	0.4	0.7
14	1.036	0.001	0.002	0.003	-16.0	0.2	0.4	0.7
Barras de generación y carga	POTENCIA DE CAPACITORES Y/O REACTORES A TIERRA (MVAR)							
9	-21.20	0.02	0.06	0.09				
Barras de generación y oscilante	P O T E N C I A N E T A							
	(MW)				(MVAR)			
1	232.38	2.58	7.74	12.9	-16.89	0.44	1.33	2.22
2					29.70	0.67	1.99	3.31
3					4.39	0.8	2.4	4.00
6					4.73	0.27	0.81	1.34
8					17.35	0.15	0.47	0.78

Tabla 4.2 Resultados de flujo estocástico considerando variaciones en las desviaciones estándar de las cargas (continuación)

	Valor medio	Desviación estándar			Valor medio	Desviación estándar		
		2%	6%	10%		2%	6%	10%
De a	F L U J O D E P O T E N C I A							
	(MW)				(MVAR)			
1-2	156.83	1.87	5.62	9.37	-20.39	0.44	1.32	2.19
1-5	75.55	0.71	2.15	3.58	3.50	0.05	0.17	0.28
2-3	73.19	1.13	3.38	5.63	3.57	0.12	0.34	0.56
2-4	56.14	0.48	1.44	2.40	-2.29	0.07	0.22	0.37
2-5	41.51	0.31	0.93	1.55	0.76	0.04	0.14	0.23
3-4	-23.33	0.87	2.60	4.33	2.81	0.40	1.19	1.98
4-5	-61.22	0.77	2.30	3.83	15.67	0.25	0.75	1.24
4-7	28.09	0.31	0.93	1.55	-9.42	0.09	0.25	0.42
4-9	16.09	0.18	0.53	0.89	-0.32	0.07	0.21	0.35
5-6	44.06	0.34	1.04	1.73	12.82	0.07	0.21	0.35
6-11	7.34	0.14	0.43	0.72	3.47	0.10	0.30	0.49
6-12	7.78	0.09	0.26	0.44	2.49	0.03	0.10	0.18
6-13	17.74	0.21	0.62	1.04	7.16	0.11	0.32	0.54
7-8	0	0	0	0	-16.91	0.15	0.44	0.74
7-9	28.09	0.31	0.93	1.55	5.79	0.20	0.60	0.99
9-10	5.24	0.18	0.55	0.92	4.31	0.11	0.34	0.57
9-14	9.44	0.21	0.63	1.05	3.65	0.07	0.21	0.36
10-11	-3.77	0.14	0.42	0.7	-1.53	0.09	0.28	0.47
12-13	1.61	0.07	0.22	0.37	0.74	0.03	0.09	0.15
13-14	5.63	0.16	0.47	0.79	1.68	0.08	0.25	0.41

Tabla 4.3 Resultados de flujo estocástico con voltajes de generación fijos y variables

	Valor medio	Desviación estándar		Valor medio	Desviación estándar	
		Voltajes fijos	Voltajes Variables		Voltajes fijos	Voltajes Variables
Barras de generación y carga	V O L T A J E					
	Magnitud (p.u.)			Anqulo((grados)		
2	1.045	0	0.006	-5.0	0.2	0.2
3	1.010	0	0.006	-12.7	0.6	0.6
4	1.019	0.001	0.004	-10.3	0.3	0.3
5	1.020	0.001	0.003	-8.8	0.3	0.3
6	1.070	0	0.006	-14.2	0.4	0.4
7	1.062	0.001	0.004	-13.4	0.4	0.4
8	1.090	0	0.007	-13.4	0.4	0.4
9	1.056	0.002	0.004	-14.9	0.4	0.4
10	1.051	0.002	0.005	-15.1	0.4	0.4
11	1.057	0.001	0.005	-14.8	0.4	0.4
12	1.055	0.001	0.007	-15.1	0.4	0.4
13	1.050	0.001	0.007	-15.2	0.4	0.4
14	1.036	0.002	0.005	-16.0	0.4	0.4
Barras de generación y carga	POTENCIA DE CAPACITORES Y/O REACTORES A TIERRA (MVAR)					
9	-21.20	0.06	0.17			
Barras de generación y oscilante	P O T E N C I A N E T A					
	(MW)			(MVAR)		
1	232.38	7.74	7.74	-16.89	1.33	12.24
2				29.70	1.99	19.61
3				4.39	2.4	7.89
6				4.73	0.81	3.86
8				17.35	0.47	2.61

Tabla 4.3 Resultados de flujo estocástico con voltajes de generación fijos y variables (continuación)

	Valor medio	Desviación estándar		Valor medio	Desviación estándar	
		Voltajes fijos	Voltajes variables		Voltajes fijos	Voltajes variables
De a	F L U J O D E P O T E N C I A					
	(MW)			(MVAR)		
1-2	156.83	5.62	5.63	-20.39	1.32	11.08
1-5	75.55	2.15	2.16	3.50	0.17	1.40
2-3	73.19	3.38	3.39	3.57	0.34	4.56
2-4	56.14	1.44	1.45	-2.29	0.22	2.47
2-5	41.51	0.93	0.94	0.76	0.14	2.46
3-4	-23.33	2.60	2.61	2.81	1.19	3.29
4-5	-61.22	2.30	2.31	15.67	0.75	1.78
4-7	28.09	0.93	0.96	-9.42	0.25	1.47
4-9	16.09	0.53	0.54	-0.32	0.21	0.58
5-6	44.06	1.04	1.09	12.82	0.21	2.47
6-11	7.34	0.43	0.47	3.47	0.30	0.98
6-12	7.78	0.26	0.27	2.49	0.10	0.15
6-13	17.74	0.62	0.63	7.16	0.32	0.57
7-8	0	0	0	-16.91	0.44	2.48
7-9	28.09	0.93	0.96	5.79	0.60	1.59
9-10	5.24	0.55	0.58	4.31	0.34	0.98
9-14	9.44	0.63	0.65	3.65	0.21	0.69
10-11	-3.77	0.42	0.46	-1.53	0.28	0.95
12-13	1.61	0.22	0.23	0.74	0.09	0.14
13-14	5.63	0.47	0.50	1.68	0.25	0.62

Tabla 4.4 Resultados obtenidos, despreciando y considerando correlación

	Valor medio	Desviación estándar		Valor medio	Desviación estándar	
		Sin correlación	Con correlación		Sin correlación	Con correlación
Barras de generación y carga	V O L T A J E					
	Magnitud (p.u.)			Angulo (grados)		
2	1.045	0	0	-5.0	0.2	0.2
3	1.010	0	0	-12.7	0.6	0.6
4	1.019	0.001	0.001	-10.3	0.3	0.3
5	1.020	0.001	0.001	-8.8	0.3	0.3
6	1.070	0	0	-14.2	0.4	0.4
7	1.062	0.001	0.001	-13.4	0.4	0.4
8	1.090	0	0	-13.4	0.4	0.4
9	1.056	0.002	0.002	-14.9	0.4	0.4
10	1.051	0.002	0.002	-15.1	0.4	0.4
11	1.057	0.001	0.001	-14.8	0.4	0.4
12	1.055	0.001	0.001	-15.1	0.4	0.4
13	1.050	0.001	0.001	-15.2	0.4	0.4
14	1.036	0.002	0.002	-16.0	0.4	0.5
Barras de generación y carga	POTENCIA DE CAPACITORES Y/O REACTORES A TIERRA (MVAR)					
9	-21.20	0.06	0.06			
Barras de generación y oscilante	P O T E N C I A N E T A					
	(MW)			(MVAR)		
1	232.38	7.74	8.10	-16.89	1.33	1.40
2				29.70	1.99	2.12
3				4.39	2.40	2.40
6				4.73	0.81	0.81
8				17.35	0.47	0.47

Tabla 4.4 Resultados obtenidos, despreciando y considerando correlación (continuación)

	Valor medio	Desviación estándar		Valor medio	Desviación estándar	
		Sin correlación	Con correlación		Sin correlación	Con correlación
De a	F L U J O D E P O T E N C I A					
	(MW)			(MVAR)		
1-2	156.83	5.62	5.92	-20.39	1.32	1.39
1-5	75.55	2.15	2.21	3.50	0.18	0.17
2-3	73.19	3.38	3.37	3.57	0.34	0.34
2-4	56.14	1.44	1.42	-2.29	0.22	0.22
2-5	41.51	0.93	0.90	0.76	0.14	0.15
3-4	-23.33	2.59	2.60	2.81	1.19	1.19
4-5	-61.22	2.30	2.33	15.67	0.75	0.76
4-7	28.09	0.93	0.93	-9.42	0.25	0.25
4-9	16.09	0.53	0.53	-0.32	0.21	0.21
5-6	44.06	1.04	1.04	12.82	0.21	0.22
6-11	7.34	0.43	0.43	3.47	0.30	0.30
6-12	7.78	0.26	0.26	2.49	0.10	0.10
6-13	17.74	0.62	0.62	7.16	0.32	0.32
7-8	0	0	0	-16.91	0.44	0.44
7-9	28.09	0.93	0.93	5.79	0.60	0.60
9-10	5.24	0.55	0.55	4.31	0.34	0.34
9-14	9.44	0.63	0.63	3.65	0.21	0.21
10-11	-3.77	0.42	0.42	-1.53	0.28	0.28
12-13	1.61	0.22	0.22	0.74	0.09	0.09
13-14	5.63	0.47	0.47	1.68	0.25	0.25

 SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO - DEMANDA MAXIMA MAYO 1984
 ELBDO DE POTENCIA ESTOCÁSTICO

 DATOS GENERALES

NO. DE LA BARRA OSCILANTE: 1
 NVA BASE: 100.
 CRITERIO DE CONVERGENCIA PARA P: 0.0010
 CRITERIO DE CONVERGENCIA PARA Q: 0.0010
 MAXIMO NO. DE ITERACIONES: 10
 TIPOS DE CARGA: 1 OSCILANTE
 2 VOLTAJE CONTROLADO
 3 CARGA

 DATOS DE BARRAS

BUS	NOMBRE	TIPO	VOL(PU)	PG(MW)	Q0(MVAR)	QMIN(MVAR)	QMAX(MVAR)	PC(MW)	QC(MVAR)	CR(MVAR)
1	PAU 13.8	1	1.050	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	PAU 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	QUEV 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	QUEV 69	2	1.020	25.00	0.00	-5.00	15.20	33.60	12.00	0.00
5	PAU 230	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	MILA 230	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	MILA 69	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	12.20	3.00	0.00
8	PASC 230	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	PASC 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	PASC 69	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	12.20	9.20	0.00
11	SAL 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	GUAY 69	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	260.00	90.00	0.00
13	SAL 13.8	2	1.030	140.00	0.00	-11.00	65.00	0.00	0.00	0.00
14	SAL 13.8	2	1.020	30.00	0.00	-5.00	13.00	0.00	0.00	0.00
15	QUEV 230	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	QUEV 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	QUEV 69	3	0.300	0.00	0.00	0.00	0.00	8.20	3.40	0.00
18	PORT 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	PORT 69	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	33.50	6.50	0.00
20	S.RO 230	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	S.RO 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	S.RO 69	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	5.00	0.00
23	ESM 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	ESM 69	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	11.20	6.50	0.00
25	ESM 13.8	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	S.RO 230	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	S.RO 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	S.RO 13.8	2	1.020	15.00	0.00	-3.00	11.00	0.00	0.00	0.00
29	QUITO 46	2	1.010	70.00	0.00	0.00	35.00	192.29	82.20	-12.00
30	VICJ 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	IJA 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	IJA 34.5	2	1.000	3.00	0.00	0.00	2.00	21.40	7.50	0.00
33	GUAN 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	GUAN 46	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	PUC 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	PUC 13.8	2	1.020	60.00	0.00	0.00	23.00	0.00	0.00	0.00
37	AMPA 138	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	AMPA 69	2	1.010	14.00	0.00	0.00	3.00	53.10	22.70	0.00

..... DATOS DE LINEAS, TRANSFORMADORES, CAPACITORES Y/O REACTORES EN SERIE

BUS I	BUS K	R(%)	X(%)	SS(CVAR)	TAP I	TAP P	RAI(MVA)
1	2	0.00	2.08	0.00	1.000	1.000	26.00
2	3	5.25	18.53	4.40	0.000	0.000	16.00
2	3	5.25	18.53	4.40	0.000	0.000	16.00
3	4	0.00	6.33	0.00	1.000	1.000	7.00
2	5	0.00	0.28	0.00	1.000	1.000	45.00
5	6	1.57	12.81	25.53	0.000	0.000	442.00
5	6	1.57	12.81	25.53	0.000	0.000	442.00
6	7	0.00	4.50	0.00	1.025	1.000	7.00
6	8	0.50	4.20	8.40	0.000	0.000	442.00
6	8	0.50	4.20	8.40	0.000	0.000	442.00
9	8	0.00	1.24	0.00	1.025	1.000	15.00
9	10	0.00	12.10	0.00	1.000	1.000	4.00
9	11	1.21	4.36	1.07	0.000	0.000	5.00
9	11	1.21	4.36	1.07	0.000	0.000	5.00
11	12	0.00	5.60	0.00	0.975	1.000	10.00
13	12	0.00	5.33	0.00	0.975	1.000	172.00
14	12	0.00	47.20	0.00	1.025	1.000	27.00
9	15	1.61	12.21	26.26	0.000	0.000	442.00
8	15	1.61	12.21	26.26	0.000	0.000	442.00
15	16	0.00	4.49	0.00	1.000	1.000	10.00
16	17	0.00	39.71	0.00	1.000	1.000	2.00
16	18	2.10	26.33	6.70	0.000	0.000	141.00
19	18	0.00	12.51	0.00	1.025	1.000	4.00
15	20	1.17	9.36	12.55	0.000	0.000	442.00
15	20	1.17	9.36	12.55	0.000	0.000	442.00
20	21	0.00	4.49	0.00	1.000	1.000	10.00
21	22	0.00	7.50	0.00	1.000	1.000	6.00
21	23	13.08	40.13	9.86	0.000	0.000	141.00
21	23	13.08	40.13	9.86	0.000	0.000	141.00
24	23	0.00	12.50	0.00	0.975	1.000	4.00
23	25	0.00	6.88	0.00	1.000	1.000	12.00
20	26	0.37	7.22	14.11	0.000	0.000	442.00
20	26	0.37	7.22	14.11	0.000	0.000	442.00
26	27	0.00	1.26	0.00	0.975	1.000	225.00
27	28	0.00	11.43	0.00	1.000	1.000	7.00
27	29	0.00	11.50	0.00	1.000	1.000	9.00
27	30	1.24	5.08	1.10	0.000	0.000	16.00
30	29	0.00	10.69	0.00	0.975	1.000	8.00
30	31	5.33	21.58	5.00	0.000	0.000	16.00
31	32	0.00	30.84	0.00	1.000	1.000	4.00
30	33	3.90	8.27	0.02	0.000	0.000	52.00
33	34	0.00	22.06	0.00	1.000	1.000	46.00
30	35	7.51	28.27	6.70	0.000	0.000	16.00
35	36	0.00	12.72	0.00	1.000	1.000	8.00
35	37	1.76	6.72	1.60	0.000	0.000	16.00
37	38	0.00	15.21	0.00	0.975	1.000	66.00

..... REPORTE DE CALCULOS DE FLUJO DE POTENCIA DETERMINISTICO

..... DATOS DE BARRAS FLUJOS PERDIDAS		
BUS NOMBRE	VOL (FU)	ANG (G)	PG (MW)	QG (MVAR)	PC (MW)	QC (MVAR)	CR (MVAR)	BUS NOMBRE	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)	
1 PAU 13 B	1.050	0.0	314.51	48.91	0.00	0.00	--	2 PAU 13B	314.51	48.91	-0.00	19.11	
									1 PAU 13 B	-314.51	-48.91	-0.00	19.11
									3 CUEN 13B	4.37	3.00	0.03	-4.64
									3 CUEN 13B	4.33	3.00	0.03	-4.66
									5 PAU 230	305.86	23.29	-0.00	8.92
2 PAU 13B	1.042	-3.4	0.00	0.00	0.00	0.00		2 PAU 13B	-4.30	-7.65	0.03	-4.64	
									2 PAU 13B	-4.30	-7.65	0.03	-4.64
									4 CUEN 62	8.60	15.22	-0.00	0.10
3 CUEN 13B	1.030	-3.7	0.00	0.00	0.00	0.00		3 CUEN 13B	-8.60	15.10	-0.00	0.10	
4 CUEN 62	1.020	-4.0	25.00	-3.101M	33.60	12.00		2 PAU 13B	-305.86	15.22	-0.00	8.92	
									5 MHA 230	152.23	7.65	3.46	1.32
									5 MHA 230	152.23	7.65	3.46	1.32
5 PAU 230	1.040	-5.0	0.00	0.00	0.00	0.00		6 MHA 230	152.23	7.65	3.46	1.32	

									5 PASO 230	-149.47	6.26	1.46	1.29
									5 PASO 230	-149.47	6.26	3.46	1.47
									7 MILA 69	12.20	3.07	-0.00	0.07
5 MILA 230	1.000	-15.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		8 PASO 230	143.17	4.72	1.02	-0.07
									8 PASO 230	143.17	4.72	1.02	0.07
									6 MILA 230	-12.20	-3.00	-0.00	0.07
7 MILA 69	0.202	-15.9	0.00	0.00	12.20	3.00			6 MILA 230	-142.35	-4.65	1.02	0.07
									6 MILA 230	-142.35	-4.65	1.02	0.07
									9 PASO 13B	110.51	58.17	-0.00	3.07
									15 QUEV 230	87.10	-24.44	1.24	-17.11
8 PASO 230	0.999	-19.0	0.00	0.00	0.00	0.00			15 QUEV 230	87.10	-24.44	1.24	-17.11
									9 PASO 230	-110.51	-58.17	-0.00	0.07
									10 PASO 69	19.90	9.20	-0.00	0.07
									11 SAL 13B	45.00*	22.64	0.31	0.07
9 PASO 13B	1.012	-20.3	0.00	0.00	0.00	0.00			11 SAL 13B	45.00*	22.64	0.31	0.07
									9 PASO 13B	-19.90	9.20	0.00	0.07
10 PASO 69	1.001	-21.6	0.00	0.00	19.90	9.20			9 PASO 13B	45.00*	22.64	0.31	0.07
									9 PASO 13B	-45.00*	-22.64	0.31	0.07
									12 QUAY 69	90.00*	45.27	-0.00	5.48
11 SAL 13B	0.997	-21.2	0.00	0.00	0.00	0.00			11 SAL 13B	-90.00	-45.27	-0.00	5.48
									13 SAL 13 B	-140.00	-51.02	-0.00	11.98
									14 SAL 13 B	-30.00*	7.85	-0.00	4.30
12 QUAY 69	0.998	-24.0	0.00	0.00	260.00	90.00			12 QUAY 69	140.00	75.00	-0.00	11.98
									12 QUAY 69	30.00*	1.45	-0.00	4.30
13 SAL 13 B	1.004	-19.9	140.00	65.00MAX	0.00	0.00			8 PASO 230	85.85	7.33	1.24	-17.11
									8 PASO 230	-85.85	-7.33	1.24	-17.11
14 SAL 13. B	1.020	-15.9	30.00	1.45INT	0.00	0.00			16 QUEV 13B	42.86	9.97	-0.00	0.86
									20 S. DO 230	64.42	-12.31	0.48	-15.85
									20 S. DO 230	64.42	-12.31	0.48	-15.85
15 QUEV 230	1.006	-25.5	0.00	0.00	0.00	0.00			15 QUEV 230	-42.86	-9.11	-0.00	0.86
									17 QUEV 69	8.20	3.72	-0.00	0.37
16 QUEV 13B	1.001	-26.6	0.00	0.00	0.00	0.00			18 PORT 13B	34.66	5.38	1.16	-2.77
									16 QUEV 13B	-8.20	-3.40	-0.00	0.37
17 QUEV 69	0.987	-28.5	0.00	0.00	8.20	3.40			16 QUEV 13B	-33.50	-8.15	1.16	-2.77
									17 PORT 69	33.50	8.15	-0.00	1.65
18 PORT 13B	0.949*	-32.1	0.00	0.00	0.00	0.00			18 PORT 13B	-33.50	-6.50	-0.00	1.65
									15 QUEV 230	-63.94	-3.53	0.48	-15.85
19 PORT 69	0.963	-34.8	0.00	0.00	33.50	6.50			15 QUEV 230	-63.94	-3.53	0.48	-15.85
									21 S. DO 13B	21.29	-7.61	-0.00	0.73
20 S. DO 230	1.062	-29.0	0.00	0.00	0.00	0.00			26 S. RO 230	53.30	7.34	0.26	-11.78
									26 S. RO 230	53.30	7.34	0.26	-11.78
									20 S. DO 230	-21.29	-7.83	-0.00	0.73
									22 S. DO 69	10.00	3.09	-0.00	0.07
21 S. DO 13B	1.006	-22.5	0.00	0.00	0.00	0.00			23 LSH 13B	5.64	-6.46	0.04	-9.87
									24 LSH 13B	5.64	-6.46	0.04	-9.87
22 S. DO 69	1.002	-29.9	0.00	0.00	10.00	5.00			21 S. DO 13B	-10.00	-5.00	-0.00	0.07
									21 S. DO 13B	-5.60	-3.36	0.04	-9.87
									21 S. DO 13B	-5.60	-3.36	0.04	-9.87
									24 LSH 69	11.20	6.71	-0.00	0.71
23 LSH 13B	1.004	-30.9	0.00	0.00	0.00	0.00			25 LSH 13. B	0.00	0.00	0.00	-0.07
									23 LSH 13B	-11.20	-6.50	-0.00	0.71
24 LSH 69	0.977	-31.7	0.00	0.00	11.20	6.50							

25 LSM 13 B	1.004	-30.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23 LSM 13B	0.00	-0.00	0.00	-0.00
26 S RD 230	0.988	-31.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20 S RD 230	-53.04	-19.11	0.26	-11.73
27 S RD 13B	1.005	-32.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20 S RD 230	-53.04	-19.11	0.26	-11.73
28 S RD 13.8	1.018	-31.3	15.00	11.00MAX	0.00	0.00	0.00	27 S RD 13B	106.07	38.22	-0.00	2.43
29 QUITO 46	0.986	-36.9	70.00	35.00MAX	192.29	82.20	-11.66	26 S RD 230	-106.07	-35.77	-0.00	2.63
30 VICE 13B	0.985	-33.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28 S RD 13.8	-15.00	-10.62	-0.00	0.38
31 IBA 13B	0.965	-35.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29 QUITO 46	69.11	19.92	-0.00	5.37
32 IBA 34.5	0.945*	-39.4	3.00	2.00MAX	21.40	7.50	0.00	30 VICE 13B	51.96	26.49	0.43	0.63
33 GUAN 13B	0.985	-33.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27 S RD 13B	15.00	11.00	-0.00	0.33
34 GUAN 46	0.985	-33.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27 S RD 13B	-69.11	-14.04	-0.00	5.19
35 PUC 13B	0.999	-30.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30 VICE 13B	-53.17	-21.51	-0.00	3.62
36 PUC 13 B	1.020	-25.9	60.00	18.86INT	0.00	0.00	0.00	27 S RD 13B	51.53	-25.85	0.43	-0.64
37 AMBA 13B	0.980	-31.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29 QUITO 46	53.17	25.13	-0.00	3.62
38 AMBA 69	0.980	-35.1	14.00	8.00MAX	53.10	22.70	0.00	31 IBA 13B	18.61	7.85	0.21	-3.97
T O T A L		671.51	187.13	655.39	248.00	-11.65		33 GUAN 13B	0.00	-0.02	0.00	-0.02
								35 PUC 13B	-20.25	-2.11	0.32	-5.17
								30 VICE 13B	-18.40	-6.77	0.21	-3.92
								32 IBA 34.5	18.40	6.77	-0.00	1.27
								31 IBA 13B	-18.40	-5.50	-0.00	1.27
								30 VICE 13B	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
								34 GUAN 46	0.00	-0.00	0.00	-0.00
								33 GUAN 13B	0.00	-0.00	0.00	-0.00
								30 VICE 13B	20.57	-3.26	0.32	-5.37
								36 PUC 13 B	-60.00	-14.03	-0.00	4.84
								37 AMBA 13B	39.43	17.29	0.33	-0.30
								35 PUC 13B	60.00	18.86	-0.00	4.84
								35 PUC 13B	-39.10	-17.59	0.33	-0.30
								38 AMBA 69	39.10	17.59	-0.00	2.89
								37 AMBA 13B	-39.10	-14.70	-0.00	2.89

CONVERGI EN 6 ITERACIONES

- POTENCIA REACTIVA (VARS) Y VOLTAJE (KV) EN BARRAS DE VOLTAJE CONTROLADO
 - POTENCIA REACTIVA (VARS) Y REACTIVACION EN BARRAS DE CARGA
 COEFICIENTE DE CORRELACION

BUS NOMBRE	TIPO	DESV P (%)	DESV VV/O (%)	COEF (%)	BUS NOMBRE	TIPO	DESV P (%)	DESV VV/O (%)	COEF (%)
2 PAU 138	3	0.0	0.0	0.0	3 CURN 138	3	0.0	0.0	0.0
4 CURN 69	2	4.0	7.0	0.0	5 PAU 230	3	0.0	0.0	0.0
6 MILA 230	3	0.0	0.0	0.0	7 MILA 69	3	4.0	7.0	0.0
8 PASC 230	3	0.0	0.0	0.0	9 PAU 138	3	0.0	0.0	0.0
10 PASC 69	3	4.0	7.0	0.0	11 SAL 138	3	0.0	0.0	0.0
12 QUAY 69	3	4.0	7.0	0.0	13 SAL 13.8	2	4.0	1.4	0.0
14 SAL 13.8	2	4.0	1.4	0.0	15 QUEV 230	3	0.0	0.0	0.0
16 QUEV 138	3	0.0	0.0	0.0	17 QUEV 69	3	4.0	7.0	0.0
18 PORT 138	3	0.0	0.0	0.0	19 PORT 69	3	4.0	7.0	0.0
20 S.RO 230	3	0.0	0.0	0.0	21 S.RO 138	3	0.0	0.0	0.0
22 S.RO 69	3	4.0	7.0	0.0	23 L.M 138	3	0.0	0.0	0.0
24 L.M 69	3	4.0	7.0	0.0	25 L.M 13.8	3	0.0	0.0	0.0
26 S.RO 230	3	0.0	0.0	0.0	27 S.RO 138	3	0.0	0.0	0.0
28 S.RO 13.8	3	4.0	7.0	0.0	29 GUATO 46	3	4.0	7.0	0.0
30 VICO 138	3	0.0	0.0	0.0	31 LPA 138	3	0.0	0.0	0.0
32 LPA 34.5	3	4.0	7.0	0.0	33 GUAN 138	3	0.0	0.0	0.0
34 GUAN 46	3	4.0	7.0	0.0	35 PUC 138	3	0.0	0.0	0.0
36 PUC 13.8	2	4.0	1.4	0.0	37 AMBA 138	3	0.0	0.0	0.0
38 AMBA 69	3	4.0	7.0	0.0					

 DATOS DE COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE BARRAS

(H REPRESENTA VV SI SE TRATA DE UNA BARRA DE VOLTAJE CONTROLADO)
 (K REPRESENTA R SI SE TRATA DE UNA BARRA DE CARGA)

BUS I	BUS K	COEF PI-PK (%)	COEF PI-HK (%)	COEF HI-PK (%)	COEF HI-HK (%)	BUS I	BUS K	COEF PI-PK (%)	COEF PI-HK (%)	COEF HI-PK (%)	COEF HI-HK (%)
-------	-------	----------------	----------------	----------------	----------------	-------	-------	----------------	----------------	----------------	----------------

 REPORTE DE CALCULOS DE FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO

COEFICIENTE DE CONFIANZA: 2.00
 INTERVALO DE CONFIANZA: 95.45%

X-----BARRAS DE VOLTAJE CONTROLADO Y CARGA-----X

BUS NOMBRE	X-----VOLTAJE (PU)-----X			X-----ANGULO (O)-----X			X-----CR (MVAR)-----X		
	MEDIO			MEDIO			MEDIO		
2 PAU 138	1.031	1.042	1.054	-3.8	-3.4	-3.1			
3 CURN 138	0.985	1.030	1.075	-4.4	-3.7	-3.0			
4 CURN 69	0.949	1.020	1.071	-4.7	-4.0	-3.3			
5 PAU 230	1.026	1.040	1.054	-5.5	-5.0	-4.5			
6 MILA 230	0.974	1.008	1.041	-17.4	-15.6	-13.8	0.00	0.00	0.00
7 MILA 69	0.949	0.982	1.015	-17.8	-15.9	-14.1			
8 PASC 230	0.960	0.979	1.037	-21.3	-19.0	-16.6			
9 PASC 138	0.972	1.012	1.057	-22.9	-20.3	-17.6			
10 PASC 69	0.960	1.001	1.042	-24.4	-21.6	-18.9			
11 SAL 138	0.955	0.997	1.039	-24.2	-21.2	-18.2			
12 QUAY 69	0.955	0.998	1.042	-27.9	-24.0	-20.2			
13 SAL 13.8	0.963	1.004	1.046	-23.6	-19.9	-16.1			
14 SAL 13.8	1.006	1.020	1.034	-19.6	-15.9	-12.1			
15 QUEV 230	0.959	1.006	1.052	-28.6	-25.5	-22.5			
16 QUEV 138	0.984	1.001	1.049	-29.9	-26.6	-23.5			
17 QUEV 69	0.931	0.987	1.036	-31.8	-28.5	-25.2			
18 PORT 138	0.896	0.949	1.003	-35.8	-32.1	-28.3			
19 PORT 69	0.907	0.963	1.019	-38.9	-34.8	-30.7			
20 S.RO 230	0.952	1.002	1.052	-32.5	-29.0	-25.4			
21 S.RO 138	0.955	1.006	1.056	-33.1	-29.5	-25.9			
22 S.RO 69	0.951	1.002	1.053	-33.6	-29.9	-26.3			
23 L.M 138	0.951	1.004	1.057	-34.6	-30.9	-27.2			
24 L.M 69	0.920	0.972	1.024	-35.5	-31.7	-27.9			
25 L.M 13.8	0.951	1.004	1.057	-34.6	-30.9	-27.2			
26 S.RO 230	0.937	0.988	1.038	-35.0	-31.1	-27.7			
27 S.RO 138	0.954	1.005	1.057	-36.4	-32.3	-28.2			
28 S.RO 13.8	0.966	1.019	1.069	-35.3	-31.3	-27.3			
29 GUATO 46	0.930	0.986	1.041	-41.7	-36.9	-32.1	-12.97	-11.66	-10.95
30 VICO 138	0.946	0.985	1.035	-38.0	-33.6	-29.3			
31 LPA 138	0.971	0.965	1.016	-40.5	-35.9	-31.3			
32 LPA 34.5	0.971	0.945	0.998	-44.4	-39.4	-34.5			
33 GUAN 138	0.976	0.935	1.015	-38.0	-33.6	-29.3			
34 GUAN 46	0.976	0.925	1.015	-38.0	-33.6	-29.3			
35 PUC 138	0.971	0.929	1.020	-35.2	-30.9	-25.1			
36 PUC 13.8	1.006	1.030	1.054	-31.0	-25.9	-20.8			
37 AMBA 138	0.979	0.930	1.002	-36.6	-31.5	-26.4			
38 AMBA 69	0.976	0.930	1.004	-40.4	-35.1	-29.7			

X-----PROGRAMAS DE CLAVADO Y DE VOLADAJE CONFINADO-----X

LUS NUMBRE	X-----PNE (MM)-----X			X-----ONETA (MM)-----X		
	MEDIO			MEDIO		
1 PAU 13 B	284.91	314.51	344.11	-9.64	48.91	107.46
4 CUEN 69				-57.64	-15.10	23.47
14 SAL 13 B				-7.89	1.45	10.80
36 PNE 13 B				4.48	18.86	31.75

X-----F L U J O S-----X

LUS NUMBRE	LUS NUMBRE	X----- (MM)-----X			X----- (MM)-----X		
		MEDIO			MEDIO		
1 PAU 13 B	2 PAU 13B	284.91	314.51	344.11	-9.64	48.91	107.46
	1 PAU 13 B	-344.11	-314.51	-284.91	-83.44	-29.60	25.83
	3 CUEN 13B	3.96	4.33	4.69	-17.29	3.00	23.30
	3 CUEN 13B	3.96	4.33	4.69	-17.29	3.00	23.30
	5 PAU 230	276.25	305.86	335.47	-14.00	23.79	61.38
2 PAU 13B							
	2 PAU 13B	-4.64	-4.30	-3.96	-27.33	-7.65	12.03
	2 PAU 13B	-4.64	-4.30	-3.96	-27.33	-7.65	12.03
	4 CUEN 69	7.91	8.60	9.29	-24.06	15.22	54.63
3 CUEN 13B							
	3 CUEN 13B	-9.29	-8.60	-7.91	-53.66	-15.10	23.47
4 CUEN 69							
	2 PAU 13B	-305.86	-305.86	-276.25	-51.49	-15.79	20.90
	4 MILA 230	138.12	152.93	167.73	-10.45	7.65	25.74
	6 MILA 230	138.12	152.93	167.73	-10.45	7.65	25.74
5 PAU 230							
	5 PAU 230	-163.47	-149.47	-135.47	-17.92	-6.26	5.40
	5 PAU 230	-163.47	-149.47	-135.47	-17.92	-6.26	5.40
	7 MILA 69	11.22	12.20	13.18	2.65	3.07	3.50
	8 PASC 230	129.37	143.37	157.36	-6.93	4.72	16.37
	8 PASC 230	129.37	143.37	157.36	-6.93	4.72	16.37
6 MILA 230							
	6 MILA 230	-13.18	-12.20	-11.22	-3.42	-3.00	-2.58
7 MILA 69							
	6 MILA 230	-156.10	-142.35	-128.61	-14.30	-4.65	5.00
	8 MILA 230	-156.10	-142.35	-128.61	-14.30	-4.65	5.00
	9 PASC 13B	66.44	110.51	134.58	48.07	58.17	68.24
	15 QUEV 230	80.70	87.10	93.50	-33.41	-24.44	-15.47
	15 QUEV 230	80.70	87.10	93.50	-33.41	-24.44	-15.47
8 PASC 230							
	8 PASC 230	-134.58	-110.51	-86.44	-65.01	-55.10	-45.20
	10 PASC 69	18.31	12.90	21.49	8.46	9.78	11.10
	11 SAL 13B	33.30	45.31	57.32	17.73	22.66	27.59
	11 SAL 13B	33.30	45.31	57.32	17.73	22.66	27.59
9 PASC 13B							
	9 PASC 13B	-21.49	-19.90	-18.31	-10.49	-9.20	-7.91
10 PASC 69							
	9 PASC 13B	-56.87	-45.00	-33.13	-27.55	-22.64	-17.72
	9 PASC 13B	-56.87	-45.00	-33.13	-27.55	-22.64	-17.72
	12 GUAY 69	66.25	20.00	113.74	35.45	45.27	55.10
11 SAL 13B							
	11 SAL 13B	-113.74	-90.00	-66.25	-50.05	-39.83	-29.61
	13 SAL 13 B	-151.20	-140.00	-128.80	-55.51	-53.02	-50.52
	14 SAL 13 B	-32.40	-30.00	-27.60	-6.41	2.85	12.11
12 GUAY 69							
	12 GUAY 69	128.80	140.00	151.20	63.18	65.00	66.82
13 SAL 13 B							
	12 GUAY 69	27.60	30.00	32.40	-7.89	1.45	10.80
14 SAL 13 B							
	8 PASC 230	-22.04	-85.85	-72.66	1.58	7.33	13.08
	8 PASC 230	-22.04	-85.85	-72.66	1.58	7.33	13.08
	16 QUEV 13B	39.19	42.86	45.83	7.75	9.97	12.18
	20 S DO 230	58.45	64.42	70.40	-17.44	-12.31	-7.19
	20 S DO 13B	58.45	64.42	70.40	-17.44	-12.31	-7.19
15 QUEV 230							
	15 QUEV 230	-45.13	-42.86	-39.89	-11.08	-9.11	-7.03
	17 QUEV 69	7.94	8.20	8.86	3.23	3.72	4.22
	18 QUEV 13B	31.76	34.66	37.56	3.40	5.30	7.37
16 QUEV 13B							

17 QUEV 69	16 QUEV 130	-13 16	-13 20	-7 54	-13 30	-13 40	7 22
	16 QUEV 130	-26 18	-23 50	-30 02	-9 17	-11 15	7 11
18 PORT 130	17 PORT 69	30 07	30 50	36 13	7 13	6 15	2 17
19 PORT 69	18 PORT 130	26 18	-33 50	-30 02	-7 41	6 50	-5 59
	19 QUEV 230	-69 60	63 94	-58 08	-7 10	-3 53	0 03
	19 QUEV 230	-72 00	-63 94	-58 08	-7 10	-1 53	0 03
	21 S DO 130	20 08	21 27	22 50	-10 11	-7 61	-3 11
	26 S RO 230	47 47	53 30	52 13	4 07	7 34	10 61
20 S DO 230	26 S RO 230	47 47	53 30	52 13	4 07	7 34	10 61
	20 S DO 230	-22 50	21 27	-20 08	5 34	7 03	10 31
	22 S DO 69	9 20	10 00	10 00	4 28	5 09	5 00
	23 ESM 130	5 19	5 64	6 10	-7 64	-6 46	-5 22
21 S DO 130	23 ESM 130	5 19	5 64	6 10	-7 64	-6 46	-5 22
22 S DO 69	21 S DO 130	-10 00	-10 00	-9 20	-5 70	5 00	-4 30
	21 S DO 130	-6 05	-5 60	-5 15	-3 02	-3 36	-2 02
	21 S DO 130	-6 05	-5 60	-5 15	-3 02	-3 36	-2 02
	24 ESM 69	10 30	11 20	12 10	5 78	6 71	7 64
23 ESM 130	25 ESM 13.0	-0 00	0 00	0 00	-0 03	-0 00	0 03
24 ESM 69	23 ESM 130	-12 10	-11 20	-10 30	-7 41	-6 50	-5 59
25 ESM 13.0	23 ESM 130	-0 00	0 00	0 00	-0 02	-0 00	0 02
	26 S RO 230	-53 80	-53 04	-47 28	-22 63	-19 11	-15 54
	26 S RO 230	-53 80	-53 04	-47 28	-22 63	-19 11	-15 54
26 S RO 230	27 S RO 130	54 55	106 07	117 59	31 09	33 22	45 35
	26 S RO 230	-117 59	-106 07	-94 55	-43 12	-35 79	-28 46
	28 S RO 13.0	-16 20	-15 00	-13 00	-12 13	-10 67	-9 11
	29 OUTD 46	63 19	62 11	75 04	15 36	12 22	24 47
27 S RO 130	30 VICE 130	45 79	51 26	58 13	12 19	26 49	33 78
28 S RO 130	27 S RO 130	13 80	15 00	16 20	9 46	11 00	12 54
29 OUTD 46	27 S RO 130	75 04	-69 11	-63 19	-17 62	-14 04	-10 12
	30 VICE 130	-57 33	-53 17	-49 01	-25 21	-21 51	-17 80
	27 S RO 130	-57 63	-51 53	-45 43	-33 39	-25 85	-18 32
	22 OUTD 46	49 01	53 17	57 33	20 85	25 13	29 40
	31 IBA 130	17 10	18 61	20 11	1 64	2 05	4 06
	33 GUAN 130	-0 03	0 00	0 03	-0 03	-0 02	-0 01
30 VICE 130	35 PUC 130	-25 83	-20 25	-14 67	-13 30	-7 11	9 02
	30 VICE 130	-19 87	-18 40	-16 93	-7 63	-6 77	-5 92
31 IBA 130	32 IBA 34.5	16 23	18 40	19 87	5 92	6 77	7 63
32 IBA 34.5	31 IBA 130	-19 87	-18 40	-16 93	-6 27	-5 50	-4 71
	30 VICE 130	-0 02	-0 00	0 02	-0 01	-0 00	0 01
33 GUAN 130	34 GUAN 46	0 00	0 00	0 00	-0 00	-0 00	0 00
34 GUAN 46	33 GUAN 130	-0 00	0 00	0 00	-0 00	-0 00	0 00
	30 VICE 130	14 81	20 57	26 33	-14 73	-3 26	8 20
	36 IBA 13.0	-74 80	-60 00	-55 20	-25 96	-14 03	-2 10
35 PUC 130	37 ANPA 130	26 25	39 43	42 61	14 21	17 29	19 67
36 PUC 13.0	35 PUC 130	55 20	60 00	64 00	6 43	18 86	31 25
	35 PUC 130	-42 23	-39 10	-35 97	-19 04	-17 59	-15 34
37 ANPA 130	38 ANPA 69	35 27	39 10	42 23	15 34	17 59	19 84
38 ANPA 69	37 ANPA 130	-42 23	-39 10	-35 97	-16 76	-14 70	-12 64

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En este trabajo, se ha presentado una formulación alter
nativa de flujo de potencia estocástico cuya principal utili
dad se encuentra en el análisis de seguridad de los sistemas
eléctricos de potencia.

Cuando el flujo de potencia estocástico se modela con vol
tajes de generación variables, es muy importante tomar en cuen
ta, su efecto sobre el flujo de reactivos en el sistema, ya
que el valor real de los flujos puede estar lejos del valor
esperado e indicar estados peligrosos, no detectables en el es
tudio convencional.

El reporte de flujo de potencia estocástico muestra el va
lor medio de las variables de salida junto con sus respectivos
rangos de variación. Estos rangos van a permitir desarrollar
estrategias de control preventivo que garanticen el normal fun
cionamiento del sistema de potencia.

Tanto para el operador del sistema como para el planifi
cador, los resultados del flujo estocástico son más significa
tivos y útiles que aquellos que proporciona el flujo convencio
nal.

Las ecuaciones que se plantean para obtener las desviacio

nes estándar de las variables de salida, son lineales y no requieren métodos iterativos para su solución.

La determinación de los rangos de variación de las variables de salida dependientes que se realiza por medio de vectores porosos, utiliza un mínimo de memoria computacional.

En la simulación de Monte Carlo, es necesario correr un número suficientemente grande de casos de flujo convencional para llegar a obtener desviaciones similares a las que proporciona el flujo estocástico.

La incertidumbre de las variables de entrada mantiene una relación lineal con la incertidumbre de las variables de salida.

En operación y planeación de la operación a corto plazo de los sistemas eléctricos de potencia, los rangos de variación de errores de las cargas son pequeños (2-4%). Por tanto, pueden despreciarse todas las correlaciones existentes entre datos, ya que su efecto va a ser insignificante en los resultados.

Cuando el flujo estocástico se aplique en la planeación a largo plazo, no debe asumirse independencia entre datos, debido a que los rangos de variación de errores de las cargas son considerables (20-30%).

De los varios modelos desarrollados en el estudio de flujo estocástico, el aquí descrito como una extensión del estudio convencional, es el más sencillo y permite obtener resultados confiables en el menor tiempo posible.

RECOMENDACIONES

La técnica de flujo de potencia estocástico propuesta en esta Tesis, se recomienda aplicarla en la planeación de la operación a corto plazo, y en el análisis de seguridad de los sistemas eléctricos del país, con preferencia del Sistema Nacional Interconectado puesto que el teorema del límite central tiene mayor validez en sistemas de gran tamaño.

Los cambios en la demanda reactiva del sistema, necesariamente produce cambios en los voltajes de barra. Por esta razón, en flujo estocástico se recomienda considerar variables los voltajes de generación.

En casos prácticos, la elección de los rangos de variación de los voltajes de generación, debe dejarse a la estimación de personal experimentado.

En la planeación a largo plazo, debe experimentarse incluyendo correlación y al mismo tiempo considerando variables los voltajes de generación.

La formulación presentada en esta Tesis, se ve limitada por las grandes cantidades de memoria que se requiere para llegar a obtener la matriz covarianza de \hat{x} . Para superar este aspecto, se recomienda investigar sobre el método secuencial propuesto en la referencia (16), el cual obtiene las desviaciones estándar de todas las variables de salida con poco uso de memoria.

En el futuro, el programa digital desarrollado puede extenderse para estudios de estimación de estado, donde se puede obtener la mejor estimación de las variables de salida y además, detectar e identificar errores de medición.

ANEXO A

DEFINICIONES ESTADÍSTICAS

Las definiciones de las cantidades más importantes en probabilidad y estadística, se mencionan ahora.

VALOR ESPERADO

Definición. Sea X una variable aleatoria discreta con valores posibles x_1, \dots, x_n, \dots . Sea $p(x_i) = \text{Probabilidad } (X=x_i)$, $i = 1, 2, \dots, n, \dots$. El valor esperado o promedio de X , denotado por $E(X)$, se define como (12,15)

$$E(X) = \sum_{i=1}^{\infty} x_i p(x_i) \quad (\text{A.1})$$

si la sumatoria converge absolutamente.

Observación: Si X toma sólo un número finito de valores, la expresión anterior llega a ser $E(X) = \sum_{i=1}^n x_i p(x_i)$. Esta se puede considerar como un -promedio ponderado- de los valores posibles x_1, \dots, x_n . Si todos los valores posibles son igualmente probables, $E(X) = (1/n) \sum_{i=1}^n x_i$, lo que representa el valor medio o promedio aritmético ordinario de los n valores posibles.

VARIANZA

Definición. Sea X una variable aleatoria. Definimos la varianza de X , denotada por σ_X^2 , como sigue (15,16):

$$\text{Var}(X) = \sigma_X^2 = E[X - E(X)]^2 \quad (\text{A.2})$$

La raíz cuadrada positiva de $\text{Var}(X)$ se llama desviación estándar de X y está denotada por σ_X .

La varianza (o la desviación estándar) es una medida de la dispersión de los valores de X alrededor de $E(X)$. Si la varianza es pequeña, los valores de X se concentran alrededor de $E(X)$ y si es grande, se distribuyen lejos de $E(X)$. Esta situación se representa gráficamente en la figura A.1.

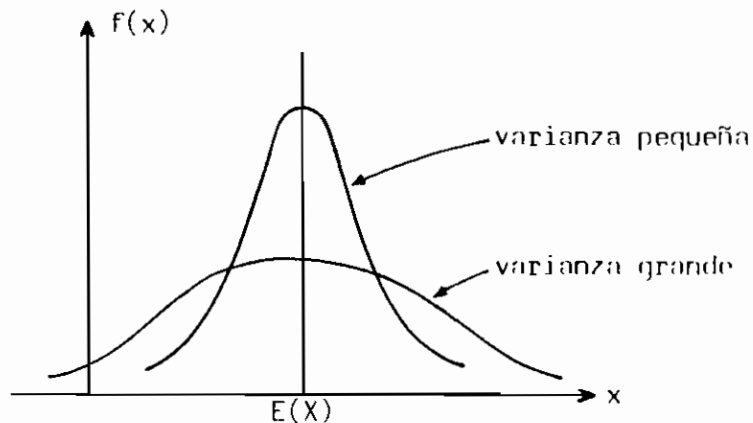


Fig. A.1 Distribuciones Gaussianas con el mismo valor esperado.

- Observación: El número $\text{Var}(X)$ está expresado en unidades cuadradas de X . Esto es, si X se mide en voltios, entonces $\text{Var}(X)$ está expresada en $(\text{voltios})^2$. Esta es la razón para considerar la desviación estándar. Se expresa en las mismas unidades que X .

COVARIANZA

Definición. Una medida de la correlación entre dos variables aleatorias X y Y se encuentra dada por la covarianza, de notada por σ_{xy} y que se define como (15,16)

$$\text{Cov}(X,Y) = \sigma_{xy} = E\{[X - E(X)] [Y - E(Y)]\} \quad (\text{A.3})$$

ANEXO B

FORMACION DE LAS MATRICES J Y K

Los coeficientes de las matrices J y K, se van a evaluar considerando un sistema de potencia de n barras, donde la barra 1 es la oscilante.

B.1 FORMACION DE LA MATRIZ J

B.1.1 Sistema formado por barra oscilante y barras de carga (2,14)

Las ecuaciones de potencia neta en una barra de carga p, son:

$$P_p = V_p \sum_{q=1}^n V_q [G_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q) + B_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q)] \quad (2.7)$$

$$p=2,3,\dots,n$$

$$Q_p = V_p \sum_{q=1}^n V_q [G_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q) - B_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q)] \quad (2.8)$$

Aplicando la técnica de Newton-Raphson al conjunto de ecuaciones (2.7) y (2.8), se llega a obtener:

$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2}$	\cdot	$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_p}$	\cdot	$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_n}$	$\frac{\partial P_2}{\partial v_2}$	\cdot	$\frac{\partial P_2}{\partial v_p}$	\cdot	$\frac{\partial P_2}{\partial v_n}$	$\Delta \delta_2$	ΔP_2
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot
$\frac{\partial P_p}{\partial \delta_2}$	\cdot	$\frac{\partial P_p}{\partial \delta_p}$	\cdot	$\frac{\partial P_p}{\partial \delta_n}$	$\frac{\partial P_p}{\partial v_2}$	\cdot	$\frac{\partial P_p}{\partial v_p}$	\cdot	$\frac{\partial P_p}{\partial v_n}$	$\Delta \delta_p$	ΔP_p
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot
$\frac{\partial P_n}{\partial \delta_2}$	\cdot	$\frac{\partial P_n}{\partial \delta_p}$	\cdot	$\frac{\partial P_n}{\partial \delta_n}$	$\frac{\partial P_n}{\partial v_2}$	\cdot	$\frac{\partial P_n}{\partial v_p}$	\cdot	$\frac{\partial P_n}{\partial v_n}$	$\Delta \delta_n$	ΔP_n
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot
$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2}$	\cdot	$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_p}$	\cdot	$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n}$	$\frac{\partial Q_2}{\partial v_2}$	\cdot	$\frac{\partial Q_2}{\partial v_p}$	\cdot	$\frac{\partial Q_2}{\partial v_n}$	Δv_2	ΔQ_2
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot
$\frac{\partial Q_p}{\partial \delta_2}$	\cdot	$\frac{\partial Q_p}{\partial \delta_p}$	\cdot	$\frac{\partial Q_p}{\partial \delta_n}$	$\frac{\partial Q_p}{\partial v_2}$	\cdot	$\frac{\partial Q_p}{\partial v_p}$	\cdot	$\frac{\partial Q_p}{\partial v_n}$	Δv_p	ΔQ_p
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot
$\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2}$	\cdot	$\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_p}$	\cdot	$\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n}$	$\frac{\partial Q_n}{\partial v_2}$	\cdot	$\frac{\partial Q_n}{\partial v_p}$	\cdot	$\frac{\partial Q_n}{\partial v_n}$	Δv_n	ΔQ_n
\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot	\cdot

(B.1)

$\overline{\Delta}_x$

En forma compacta:

J_1	J_2	$\overline{\Delta \delta}$	=	$\overline{\Delta P}$	(B.2)
J_3	J_4	$\overline{\Delta v}$		$\overline{\Delta Q}$	

Donde la matriz de coeficientes es el Jacobiano (J) del sistema, cuyo orden es de $2(n-1) \times 2(n-1)$. Los subjacobianos J_1 , J_2 , J_3 y J_4 , son de orden $(n-1) \times (n-1)$; sus elementos se encuentran tomando las derivadas parciales de las expresiones para P_p y Q_p dadas en (2.7) y (2.8).

Elementos no diagonales de J_1 :

$$\frac{\partial P}{\partial \delta_q} = V_p V_q [G_{pq} \text{sen}(\delta_p - \delta_q) - B_{pq} \text{cos}(\delta_p - \delta_q)] \quad (\text{B.3})$$

$$\begin{aligned} p &\neq q \\ p &= 2, 3, \dots, n \\ q &= 2, 3, \dots, n \end{aligned}$$

Elementos de la diagonal de J_1 :

$$\frac{\partial P}{\partial \delta_p} = -Q_p - B_{pp} V_p^2 \quad (\text{B.4})$$

$$p = 2, 3, \dots, n$$

Elementos no diagonales de J_2 :

$$\frac{\partial P}{\partial V_q} = V_p [G_{pq} \text{cos}(\delta_p - \delta_q) + B_{pq} \text{sen}(\delta_p - \delta_q)] \quad (\text{B.5})$$

$$\begin{aligned} p &\neq q \\ p &= 2, 3, \dots, n \\ q &= 2, 3, \dots, n \end{aligned}$$

Elementos de la diagonal de J_2 :

$$\frac{\partial P}{\partial V_p} = \frac{P}{V_p} + G_{pp} V_p \quad (\text{B.6})$$

$$p = 2, 3, \dots, n$$

Elementos no diagonales de J_3 :

$$\frac{\partial Q}{\partial \delta_q} = -V_q \frac{\partial P}{\partial V_q} \quad (\text{B.7})$$

$$\begin{aligned} p &\neq q \\ p &= 2, 3, \dots, n \\ q &= 2, 3, \dots, n \end{aligned}$$

Elementos de la diagonal de J_3 :

$$\frac{\partial Q}{\partial \delta}_p = P_p - G_{pp} V_p^2 \quad (\text{B.8})$$

$$p=2,3,\dots,n$$

Elementos no diagonales de J_4 :

$$\frac{\partial Q}{\partial V}_q = \frac{1}{V_q} \frac{\partial P}{\partial \delta}_q \quad (\text{B.9})$$

$$p \neq q$$

$$p=2,3,\dots,n$$

$$q=2,3,\dots,n$$

Elementos de la diagonal de J_4 :

$$\frac{\partial Q}{\partial V}_p = \frac{Q_p}{V_p} - B_{pp} V_p \quad (\text{B.10})$$

$$p=2,3,\dots,n$$

B.1.2 Sistema formado por barra oscilante, barras de voltaje controlado y de carga (14)

Supongamos que p sea una barra de voltaje controlado. Las ecuaciones correspondientes a esta barra son:

$$P_p = V_p \sum_{q=1}^n V_q [G_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q) + B_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q)] \quad (2.7)$$

$$V_{p(\text{especificado})}^2 = V_{p(\text{calculado})}^2 \quad (2.13)$$

Aplicando el método de Newton-Raphson a las ecuaciones (2.7), (2.13) y a todas aquellas que corresponden a las barras

de carga, se obtiene:

$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_p}$	$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_n}$	$\frac{\partial P_2}{\partial V_2}$	$\frac{\partial P_2}{\partial V_p}$	$\frac{\partial P_2}{\partial V_n}$	$\Delta \delta_2$	ΔP_2
.
$\frac{\partial P_p}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial P_p}{\partial \delta_p}$	$\frac{\partial P_p}{\partial \delta_n}$	$\frac{\partial P_p}{\partial V_2}$	$\frac{\partial P_p}{\partial V_p}$	$\frac{\partial P_p}{\partial V_n}$	$\Delta \delta_p$	ΔP_p
.
$\frac{\partial P_n}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial P_n}{\partial \delta_p}$	$\frac{\partial P_n}{\partial \delta_n}$	$\frac{\partial P_n}{\partial V_2}$	$\frac{\partial P_n}{\partial V_p}$	$\frac{\partial P_n}{\partial V_n}$	$\Delta \delta_n$	ΔP_n
.
$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_p}$	$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n}$	$\frac{\partial Q_2}{\partial V_2}$	$\frac{\partial Q_2}{\partial V_p}$	$\frac{\partial Q_2}{\partial V_n}$	ΔV_2	ΔQ_2
.
0	0	0	0	$\frac{\partial V_p^2}{\partial V_p}$	0	ΔV_p	ΔV_p^2
.
$\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_p}$	$\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n}$	$\frac{\partial Q_n}{\partial V_2}$	$\frac{\partial Q_n}{\partial V_p}$	$\frac{\partial Q_n}{\partial V_n}$	ΔV_n	ΔQ_n
.

(B.11)

$\overline{\Delta}_x$

Los elementos diagonales $\frac{\partial V_p^2}{\partial V_p}$, se calculan a través de la expresión:

$$\frac{\partial V_p^2}{\partial V_p} = 2V_p \tag{B.12}$$

B.2 FORMACION DE LA MATRIZ K

En forma compacta, la ecuación que relaciona los cambios de las variables de estado con las variaciones de las variables de salida dependientes es:

$$\begin{array}{|c|c|} \hline K_1 & K_2 \\ \hline K_3 & K_4 \\ \hline K_5 & K_6 \\ \hline K_7 & K_8 \\ \hline \end{array}
 \begin{array}{|c|} \hline \Delta \bar{\delta} \\ \hline \Delta \bar{v} \\ \hline \end{array}
 =
 \begin{array}{|c|} \hline \Delta \bar{P} \\ \hline \Delta \bar{Q} \\ \hline \Delta \bar{P}_{pq} \\ \hline \Delta \bar{Q}_{pq} \\ \hline \Delta \bar{Q} \\ \hline \end{array}
 \begin{array}{l} \text{barra oscilante} \\ \text{barra oscilante y de} \\ \text{voltaje controlado} \\ \text{elementos} \\ \text{capacitores y/o reactores} \\ \text{a tierra} \end{array}
 \quad (B.13)$$

Las submatrices K_1, K_2, \dots, K_8 que conforman la matriz K , se obtienen planteando las ecuaciones pertinentes a las variables de salida dependientes.

B.2.1 Formación de K_1 y K_2

El conjunto de ecuaciones lineales tanto de la potencia neta activa y reactiva en la barra oscilante como de la potencia neta reactiva en barras de voltaje controlado, se determina con el mismo procedimiento usado en el numeral B.1.1. Matricialmente se expresa como:

$$\underbrace{\begin{array}{|c|c|c|} \hline \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_p} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_n} \\ \hline \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_p} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_n} \\ \hline \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_p} & \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_n} \\ \hline \end{array}}_{K_1}
 \underbrace{\begin{array}{|c|c|c|} \hline \frac{\partial P_1}{\partial v_2} & \frac{\partial P_1}{\partial v_p} & \frac{\partial P_1}{\partial v_n} \\ \hline \frac{\partial Q_1}{\partial v_2} & \frac{\partial Q_1}{\partial v_p} & \frac{\partial Q_1}{\partial v_n} \\ \hline \frac{\partial Q_p}{\partial v_n} & \frac{\partial Q_p}{\partial v_p} & \frac{\partial Q_p}{\partial v_n} \\ \hline \end{array}}_{K_2}
 \begin{array}{|c|} \hline \Delta \delta_2 \\ \hline \Delta \delta_p \\ \hline \Delta \delta_n \\ \hline \Delta v_2 \\ \hline \Delta v_p \\ \hline \Delta v_n \\ \hline \end{array}
 =
 \begin{array}{|c|} \hline \Delta P_1 \\ \hline \Delta Q_1 \\ \hline \Delta Q_p \\ \hline \end{array}
 \quad (B.14)$$

Δ_x

Donde se supone que la barra p es de voltaje controlado.

En general, si NBTC representa el número de barras de voltaje controlado, K_1 y K_2 son de orden $(2 + \text{NBTC}) \times (n-1)$.

B.2.2 Formación de K_3 , K_4 , K_5 y K_6

La ecuación del flujo de potencia por un elemento (línea, transformador, capacitor o reactor en serie) conectado entre las barras p y q, es:

$$S_{pq} = E_p I_{pq}^* = E_p (E_p^* - E_q^*) y_{pq}^* + E_p E_q^* y_{po}^* \quad (2.5)$$

Definiendo:

$$E_p = V_p \angle \delta_p$$

$$y_{pq} = -Y_{pq} = -G_{pq} - jB_{pq} \quad (B.15)$$

$$y_{po} = jb_{po}$$

y reemplazando (B.15) en (2.5) se tiene que:

$$\begin{aligned} P_{pq} + jQ_{pq} &= E_p E_p^* (y_{pq}^* + y_{po}^*) - E_p E_q^* y_{pq}^* \\ &= V_p^2 [-G_{pq} + j(B_{pq} - b_{po})] \\ &\quad + V_p V_q \angle \delta_p - \delta_q (G_{pq} - jB_{pq}) \\ &= V_p^2 [-G_{pq} + j(B_{pq} - b_{po})] \\ &\quad + V_p V_q \{ [G_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q) + B_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q)] \\ &\quad + j[G_{pq} \sin(\delta_p - \delta_q) - B_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q)] \} \end{aligned}$$

Separando la parte real e imaginaria:

$$P_{pq} = - G_{pq} V_p^2 + V_p V_q [G_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q) + B_{pq} \text{sen}(\delta_p - \delta_q)] \quad (\text{B.16})$$

$$\begin{aligned} p &\neq q \\ p &= 1, 2, \dots, n \\ q &= 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

$$Q_{pq} = (B_{pq} - b_{pq}) V_p^2 + V_p V_q [G_{pq} \text{sen}(\delta_p - \delta_q) - B_{pq} \cos(\delta_p - \delta_q)] \quad (\text{B.17})$$

Aplicando el método de Newton-Raphson al conjunto de ecuaciones (B.16) y (B.17), se obtiene:

(B.18)

$\begin{array}{c} \frac{\partial P_{12}}{\partial \delta_2} \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{\partial P_{13}}{\partial \delta_3} \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{\partial P_{1n}}{\partial \delta_n} \\ \cdot \\ \frac{\partial P_{21}}{\partial \delta_2} \\ \frac{\partial P_{23}}{\partial \delta_2} \\ \cdot \\ \frac{\partial P_{2n}}{\partial \delta_2} \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{\partial P_{n(n-1)}}{\partial \delta_{(n-1)}} \end{array}$	$\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{\partial P_{13}}{\partial \delta_3} \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{\partial P_{1n}}{\partial \delta_n} \\ \cdot \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{\partial P_{21}}{\partial \delta_2} \\ \frac{\partial P_{23}}{\partial \delta_2} \\ \cdot \\ \frac{\partial P_{2n}}{\partial \delta_2} \\ \cdot \\ \frac{\partial P_{n(n-1)}}{\partial \delta_{(n-1)}} \\ \frac{\partial P_{n(n-1)}}{\partial \delta_n} \end{array}$	$\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{\partial P_{12}}{\partial \delta_2} \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{\partial P_{13}}{\partial \delta_3} \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{\partial P_{1n}}{\partial \delta_n} \\ \cdot \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{\partial P_{21}}{\partial \delta_2} \\ \frac{\partial P_{23}}{\partial \delta_2} \\ \cdot \\ \frac{\partial P_{2n}}{\partial \delta_2} \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{\partial P_{n(n-1)}}{\partial \delta_{(n-1)}} \\ \frac{\partial P_{n(n-1)}}{\partial \delta_n} \end{array}$
=		
$\begin{array}{c} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta \delta_4 \\ \cdot \\ \Delta \delta_{(n-1)} \\ \Delta \delta_n \end{array}$	$\begin{array}{c} \Delta V_2 \\ \Delta V_3 \\ \Delta V_4 \\ \cdot \\ \Delta V_{(n-1)} \\ \Delta V_n \end{array}$	$\begin{array}{c} \Delta P_{12} \\ \Delta P_{13} \\ \cdot \\ \Delta P_{1n} \\ \cdot \\ \Delta P_{21} \\ \Delta P_{23} \\ \cdot \\ \Delta P_{2n} \\ \cdot \\ \Delta P_{n(n-1)} \end{array}$
$\overline{\Delta x}$		

Para los flujos de potencia reactiva, la estructura de las submatrices K_5 y K_6 es exactamente la misma que de K_3 y K_4 . Si NLE es el número de elementos, el orden de cada submatriz es $(4NLE) \times (n-1)$.

Los elementos de K_3 , K_4 , K_5 y K_6 , se evalúan tomando las derivadas parciales de P_{pq} y Q_{pq} con respecto a V_q , V_p , δ_q y δ_p .

Elementos de K_3 :

$$\frac{\partial P_{pq}}{\partial \delta_q} = Q_{pq} - (B_{pq} - b_{po})V_p^2 \quad (B.19)$$

$$\frac{\partial P_{pq}}{\partial \delta_p} = - \frac{\partial P_{pq}}{\partial \delta_q} \quad (B.20)$$

Elementos de K_4 :

$$\frac{\partial P_{pq}}{\partial V_q} = \frac{P_{pq}}{V_q} + \frac{G_{pq} V_p^2}{V_q} \quad (B.21)$$

$$\frac{\partial P_{pq}}{\partial V_p} = \frac{P_{pq}}{V_p} - G_{pq} V_q \quad (B.22)$$

Elementos de K_5 :

$$\frac{\partial Q_{pq}}{\partial \delta_q} = - V_q \frac{\partial P_{pq}}{\partial V_q} \quad (B.23)$$

$$\frac{\partial Q_{pq}}{\partial \delta_p} = - \frac{\partial Q_{pq}}{\partial \delta_q} \quad (B.24)$$

Elementos de K_6 :

$$\frac{\partial Q_{pq}}{\partial V_q} = \frac{1}{V_q} \frac{\partial P_{pq}}{\partial \delta_q} \quad (B.25)$$

$$\frac{\partial Q_{pq}}{\partial V_p} = \frac{1}{V_p} (2Q_{pq} - \frac{\partial P_{pq}}{\partial \delta_q}) \quad (B.26)$$

B.2.3 Formación de K_7 y K_8

La potencia de un capacitor conectado entre la barra p y tierra es:

$$Q_c = - B_c V_p^2 \quad (B.27)$$

De un reactor conectado entre la barra q y tierra:

$$Q_R = B_R V_q^2 \quad (B.28)$$

Aplicando la técnica de Newton-Raphson a las ecuaciones (B.27) y (B.28), se obtiene:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{K_7} \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{\partial Q_c}{\partial V_p} & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \frac{\partial Q_R}{\partial V_q} & 0 \end{bmatrix}}_{K_8} \overline{\Delta}_x = \begin{bmatrix} \Delta Q_c \\ \Delta Q_R \end{bmatrix} \quad (B.29)$$

Si el número total de capacitores y reactores a tierra es NCR, la dimensión tanto de K_7 como de K_8 es NCR x (n-1). Los elementos $\partial Q/\partial V$ se calculan mediante:

$$\frac{\partial Q_c}{\partial V_p} = - 2B_c V_p \quad (B.30)$$

$$\frac{\partial Q_R}{\partial V_q} = 2B_R V_q \quad (B.31)$$

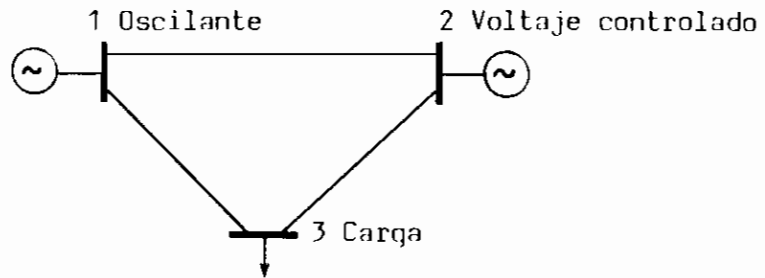
Nótese que el vector columna $\overline{\Delta}_x$ de las ecuaciones (B.1), (B.11), (B.14), (B.18) y (B.29) es el mismo.

ANEXO C

RESOLUCION DE FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO PARA UN SISTEMA DE TRES BARRAS

C.1 DATOS

Configuración:



Datos de barras:

Barra Nº	Voltaje		Generación		Generación reactiva		Carga	
	Magnitud p.u.	Angulo grados	Real p.u.	Reactiva p.u.	Mín. p.u.	Máx. p.u.	Real p.u.	Reactiva p.u.
1	1.0	0.0	—	—	—	—	0.0	0.0
2	1.1	—	2.0	—	-2.0	5.0	0.0	0.0
3	—	—	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6392	0.5339

Datos de líneas:

Barra I	Barra K	Reactancia %
1	2	10.
2	3	20.
1	3	20.

Criterio de convergencia para P: 0.001

Criterio de convergencia para Q: 0.001

Coefficiente de confianza: 2.00

Intervalo de confianza: 95.45%

Desviaciones estándar y coeficiente de correlación entre variables de cada barra:

- P(neta) y V^2 en barras de voltaje controlado:

$$\sigma_{P_2} = 4\%E(P_2) = 8 \times 10^{-2}$$

$$\sigma_{V_2^2} = 6\%E(V_2^2) = 7.26 \times 10^{-2}$$

$$\rho_{P_2 V_2^2} = 20\%$$

- P(neta) y Q(neta) en barras de carga:

$$\sigma_{P_3} = 5\%E(P_3) = 18.196 \times 10^{-2}$$

$$\sigma_{Q_3} = 3\%E(Q_3) = 1.6017 \times 10^{-2}$$

$$\rho_{P_3 Q_3} = -20\%$$

Coefficientes de correlación entre variables de unas barras con otras:

$$\rho_{P_2 P_3} = 60\%; \quad \rho_{P_2 Q_3} = 0\%; \quad \rho_{V_2^2 P_3} = 0\%; \quad \rho_{V_2^2 Q_3} = 40\%$$

C.2 RESOLUCION

PASO 1.- SOLUCION DEL FLUJO DE POTENCIA CONVENCIONAL POR NEWTON-RAPHSON FORMAL

$$V_2 = 1.1 \text{ p.u.}; \quad \delta_2 = 0.4068^\circ$$

$$V_3 = 0.913 \text{ p.u.}; \quad \delta_3 = -22.099^\circ$$

Los resultados siguientes están en p.u.:

$$P_1 = V_1 V_2 B_{12} \text{sen}(\delta_1 - \delta_2) + V_1 V_3 B_{13} \text{sen}(\delta_1 - \delta_3) = 1.6393$$

$$Q_1 = -V_1^2 B_{11} - V_1 V_2 B_{12} \text{cos}(\delta_1 - \delta_2) - V_1 V_3 B_{13} \text{cos}(\delta_1 - \delta_3) = -0.2293$$

$$Q_2 = -V_2 V_1 B_{21} \text{cos}(\delta_2 - \delta_1) - V_2^2 B_{22} - V_2 V_3 B_{23} \text{cos}(\delta_2 - \delta_3) = 2.5112$$

$$P_{12} = V_1 V_2 B_{12} \text{sen}(\delta_1 - \delta_2) = -P_{21} = -0.0781$$

$$P_{13} = V_1 V_3 B_{13} \text{sen}(\delta_1 - \delta_3) = -P_{31} = 1.7174$$

$$P_{23} = V_2 V_3 B_{23} \text{sen}(\delta_2 - \delta_3) = -P_{32} = 1.9221$$

$$Q_{12} = V_1^2 B_{12} - V_1 V_2 B_{12} \text{cos}(\delta_1 - \delta_2) = -0.9997$$

$$Q_{13} = V_1^2 B_{13} - V_1 V_3 B_{13} \text{cos}(\delta_1 - \delta_3) = 0.7704$$

$$Q_{21} = V_2^2 B_{21} - V_2 V_1 B_{21} \text{cos}(\delta_2 - \delta_1) = 1.1003$$

$$Q_{23} = V_2^2 B_{23} - V_2 V_3 B_{23} \cos(\delta_2 - \delta_3) = 1.4109$$

$$Q_{31} = V_3^2 B_{31} - V_3 V_1 B_{31} \cos(\delta_3 - \delta_1) = -0.0618$$

$$Q_{32} = V_3^2 B_{32} - V_3 V_2 B_{32} \cos(\delta_3 - \delta_2) = -0.4712$$

Línea	Pérdidas P	Pérdidas Q
1-2	0	0.1006
1-3	0	0.7086
2-3	0	0.9397

Converge en 3 iteraciones.

PASO 2.- CALCULO DE LAS DESVIACIONES ESTANDAR DE MAGNITUDES Y ANGULOS DE VOLTAJE EN BARRAS DE VOLTAJE CONTROLADO Y CARGA

Cálculo de J^{-1} en el punto de solución

$\begin{matrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} \end{matrix} \quad J_1$		$\begin{matrix} \frac{\partial P_2}{\partial V_2} & \frac{\partial P_2}{\partial V_3} \\ \frac{\partial P_3}{\partial V_2} & \frac{\partial P_3}{\partial V_3} \end{matrix} \quad J_2$		$\begin{matrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \end{matrix}$
$\begin{matrix} \frac{\partial V_2^2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial V_2^2}{\partial \delta_3} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} \end{matrix} \quad J_3$		$\begin{matrix} \frac{\partial V_2^2}{\partial V_2} & \frac{\partial V_2^2}{\partial V_3} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial V_3} \end{matrix} \quad J_4$			
$\underbrace{\hspace{10em}}_J$				$=$	

Los elementos de J se determinan aplicando las fórmulas dadas en el Anexo B.

$$J = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 15.6388 & -4.6391 & 1.8184 & 2.1053 \\ \hline & J_1 & & J_2 \\ \hline -4.6391 & 8.8687 & -1.7474 & -3.9863 \\ \hline 0 & 0 & 2.2 & 0 \\ \hline & J_3 & & J_4 \\ \hline 1.9221 & -3.6395 & -4.2174 & 8.5462 \\ \hline \end{array}$$

Su inverso es:

$$J^{-1} = \begin{bmatrix} 0.0757 & 0.0395 & -0.0316 & -0.0002 \\ 0.0395 & 0.1601 & 0.219 & 0.0649 \\ 0 & 0 & 0.4545 & 0 \\ -0.0002 & 0.0593 & 0.3247 & 0.1447 \end{bmatrix}$$

Cálculo de C

$$\sigma_{xy} = \rho_{xy} (\sigma_X \sigma_Y)$$

$$C = \begin{bmatrix} \text{Var}(P_2) & \text{Cov}(P_2, P_3) & \text{Cov}(P_2, V_2^2) & \text{Cov}(P_2, Q_3) \\ \text{Cov}(P_2, P_3) & \text{Var}(P_3) & \text{Cov}(P_3, V_2^2) & \text{Cov}(P_3, Q_3) \\ \text{Cov}(P_2, V_2^2) & \text{Cov}(P_3, V_2^2) & \text{Var}(V_2^2) & \text{Cov}(V_2^2, Q_3) \\ \text{Cov}(P_2, Q_3) & \text{Cov}(P_3, Q_3) & \text{Cov}(V_2^2, Q_3) & \text{Var}(Q_3) \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 64 & 87.3408 & 11.616 & 0 \\ 87.3408 & 331.0944 & 0 & -5.8289 \\ 11.616 & 0 & 52.7076 & 4.6513 \\ 0 & -5.8289 & 4.6513 & 2.5654 \end{bmatrix} \times 10^{-4}$$

Cálculo de Cov(\hat{x})

$$\text{Cov}(\hat{x}) = J^{-1} C J^{-1t}$$

$$\text{Cov}(\hat{x}) = \begin{bmatrix} 1.4029 & 3.2688 & -0.3578 & 0.8558 \\ 3.2688 & 12.4419 & 5.592 & 7.3532 \\ -0.3578 & 5.592 & 10.8878 & 8.0832 \\ 0.8558 & 7.3532 & 8.0832 & 7.1084 \end{bmatrix} \times 10^{-4}$$

Cálculo de $\bar{\sigma}_x$

$$\bar{\sigma}_x^2 = \text{diag} [\text{Cov}(\hat{x})] ;$$

$$\bar{\sigma}_x = \begin{bmatrix} 0.0118 \\ 0.0353 \\ 0.033 \\ 0.0267 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\sigma}_{\delta_2} \\ \bar{\sigma}_{\delta_3} \\ \bar{\sigma}_{V_2} \\ \bar{\sigma}_{V_3} \end{bmatrix}$$

PASO 3.- CALCULO DE LAS DESVIACIONES ESTANDAR DE:

- P(neta) y Q(neta) EN BARRA OSCILANTE
- Q(neta) EN BARRAS DE VOLTAJE CONTROLADO
- FLUJOS EN LINEAS

Cálculo de K en el punto de solución

$\frac{\partial P_1}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial P_1}{\partial \delta_3}$	$\frac{\partial P_1}{\partial v_2}$	$\frac{\partial P_1}{\partial v_3}$	=	ΔP_1
$\frac{\partial Q_1}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial Q_1}{\partial \delta_3}$	$\frac{\partial Q_1}{\partial v_2}$	$\frac{\partial Q_1}{\partial v_3}$		ΔQ_1
$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3}$	$\frac{\partial Q_2}{\partial v_2}$	$\frac{\partial Q_2}{\partial v_3}$		ΔQ_2
$\frac{\partial P_{12}}{\partial \delta_2}$	0	$\frac{\partial P_{12}}{\partial v_2}$	0		ΔP_{12}
0	$\frac{\partial P_{13}}{\partial \delta_3}$	0	$\frac{\partial P_{13}}{\partial v_3}$		ΔP_{13}
$\frac{\partial P_{23}}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial P_{23}}{\partial \delta_3}$	$\frac{\partial P_{23}}{\partial v_2}$	$\frac{\partial P_{23}}{\partial v_3}$		ΔP_{23}
$\frac{\partial Q_{12}}{\partial \delta_2}$	0	$\frac{\partial Q_{12}}{\partial v_2}$	0		ΔQ_{12}
0	$\frac{\partial Q_{13}}{\partial \delta_3}$	0	$\frac{\partial Q_{13}}{\partial v_3}$		ΔQ_{13}
$\frac{\partial Q_{21}}{\partial \delta_2}$	0	$\frac{\partial Q_{21}}{\partial v_2}$	0		ΔQ_{21}
$\frac{\partial Q_{23}}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial Q_{23}}{\partial \delta_3}$	$\frac{\partial Q_{23}}{\partial v_2}$	$\frac{\partial Q_{23}}{\partial v_3}$		ΔQ_{23}
0	$\frac{\partial Q_{31}}{\partial \delta_3}$	0	$\frac{\partial Q_{31}}{\partial v_3}$		ΔQ_{31}
$\frac{\partial Q_{32}}{\partial \delta_2}$	$\frac{\partial Q_{32}}{\partial \delta_3}$	$\frac{\partial Q_{32}}{\partial v_2}$	$\frac{\partial Q_{32}}{\partial v_3}$		ΔQ_{32}
$\underbrace{\hspace{10em}}_K$					

Aplicando las fórmulas dadas en el Anexo B, se obtiene:

$$K = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline -10.9997 & -4.2296 & -0.071 & 1.881 \\ 0.0781 & K_1 & -1.7174 & -9.9997 & K_2 & -4.6327 \\ 2.0002 & & -1.9221 & 18.783 & & -5.0811 \\ \hline -10.9997 & 0 & -0.071 & 0 \\ 0 & K_3 & -4.2296 & 0 & K_4 & 1.8811 \\ 4.6391 & & -4.6391 & 1.7474 & & 2.1053 \\ \hline 0.0781 & 0 & -9.9997 & 0 \\ 0 & & -1.7174 & & 0 & -4.6326 \\ 0.0781 & K_5 & 0 & 12.0003 & K_6 & 0 \\ 1.9221 & & -1.9221 & 6.7826 & & -5.0812 \\ 0 & & -1.7174 & 0 & & 4.4973 \\ 1.9221 & & -1.9221 & -4.2173 & & 4.0489 \\ \hline \end{array}$$

Cálculo de $\bar{\sigma}_z$

$$\sigma_i^2 = \bar{k}_i \text{Cov}(\hat{x}) \bar{k}_i^t ;$$

$$\bar{\sigma}_z = \begin{array}{|c|} \hline 0.2387 \\ 0.4832 \\ 0.4695 \\ \hline 0.1301 \\ 0.1143 \\ 0.0762 \\ \hline 0.33 \\ 0.175 \\ 0.3959 \\ 0.1123 \\ 0.0818 \\ 0.0751 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \sigma_{P_1} \\ \sigma_{Q_1} \\ \sigma_{Q_2} \\ \hline \sigma_{P_{12}} \\ \sigma_{P_{13}} \\ \sigma_{P_{23}} \\ \hline \sigma_{Q_{12}} \\ \sigma_{Q_{13}} \\ \sigma_{Q_{21}} \\ \sigma_{Q_{23}} \\ \sigma_{Q_{31}} \\ \sigma_{Q_{32}} \\ \hline \end{array}$$

PASO 4.- CALCULO DE LOS INTERVALOS DE CONFIANZA

Para un 95.4% de confianza, los rangos de variación de los resultados son:

$$\bar{x} = \hat{x} \pm 2\bar{\sigma}_x$$

$$\bar{z}_t = \hat{z} \pm 2\bar{\sigma}_z$$

	$\hat{x} - 2\bar{\sigma}_x$ (p.u.)	\hat{x} (p.u.)	$\hat{x} + 2\bar{\sigma}_x$ (p.u.)
V_2	1.034	1.1	1.166
V_3	0.8596	0.913	0.9664

	$\hat{x} - 2\bar{\sigma}_x$ (grados)	\hat{x} (grados)	$\hat{x} + 2\bar{\sigma}_x$ (grados)
δ_2	-0.9454	0.4068	1.759
δ_3	-26.1441	-22.099	-18.0539

	$\hat{z} - 2\bar{\sigma}_z$ (p.u.)	\hat{z} (p.u.)	$\hat{z} + 2\bar{\sigma}_z$ (p.u.)
P_1	1.1619	1.6393	2.1167
Q_1	-1.1957	-0.2293	0.7371
Q_2	1.5722	2.5112	3.4502

	$\hat{z} - 2\bar{\sigma}_z$ (p.u.)	\hat{z} (p.u.)	$\hat{z} + 2\bar{\sigma}_z$ (p.u.)
P ₁₂	-0.3383	-0.0781	0.1821
P ₁₃	1.4888	1.7174	1.946
P ₂₁	-0.1821	0.0781	0.3383
P ₂₃	1.7697	1.9221	2.0745
P ₃₁	-1.946	-1.7174	-1.4888
P ₃₂	-2.0745	-1.9221	-1.7697
Q ₁₂	-1.6597	-0.9997	-0.3397
Q ₁₃	0.4204	0.7704	1.1204
Q ₂₁	0.3085	1.1003	1.8921
Q ₂₃	1.1863	1.4109	1.6355
Q ₃₁	-0.2254	-0.0618	0.1018
Q ₃₂	-0.6214	-0.4712	-0.321

ANEXO D

MANUAL DE USO DEL PROGRAMA

D.1 OBJETIVO

Resolver el flujo de potencia estocástico de sistemas eléctricos de potencia.

D.2 METODO DE SOLUCION

Utiliza el método planteado por Dopazo, Klitin y Sasson, que se basa en la teoría de estimación de estado por mínimos cuadrados.

D.3 NOMENCLATURA

En el desarrollo del programa se utiliza la siguiente no
tación:

D.3.1 VARIABLES DE ENTRADA

I. Datos convencionales

Pueden darse en valores reales o p.u. Si se dan en p.u., la potencia base debe ser 1.

VARIABLE	SIGNIFICADO
TIT	Título

Este dato va en cuatro tarjetas.

a) Datos generales

Estos datos van en una tarjeta.

VARIABLE	SIGNIFICADO
NS	Número de identificación de la barra oscilante, $1 \leq NS \leq 500$.
BASE	Potencia base del sistema en MVA o p.u.
CØNP	Criterio de convergencia para la potencia activa.
CØNQ	Criterio de convergencia para la potencia reactiva.
MAXIT	Máximo número de iteraciones.
INDFP	Indicador del flujo de potencia que se desea: Determinístico 1 Estocástico 2

b) Datos de barras

Se necesita una tarjeta por cada barra. La información suministrada en cada tarjeta incluye:

VARIABLE	SIGNIFICADO
K	Número asignado a una barra del sistema, $1 \leq K \leq 500$.

NØMK	Nombre de la barra.
VK	Magnitud de voltaje especificado en p.u. En barras de carga se especifica 0.
PGK	Potencia activa de generación en barras de voltaje controlado y carga en MW o p.u. En la barra oscilante se especifica 0.
Q GK	Potencia reactiva de generación en barras de carga en MVAR o p.u. En barras oscilante y de voltaje controlado se especifica 0.
QNK	Potencia reactiva mínima de generación en barras de voltaje controlado en MVAR o p.u. En barras oscilante y de carga se especifica 0.
QXK	Potencia reactiva máxima de generación en barras de voltaje controlado en MVAR o p.u. En barras oscilante y de carga se especifica 0.
PLK	Potencia activa de carga en todas las barras en MW o p.u.
QLK	Potencia reactiva de carga en todas las barras en MVAR o p.u.
CRK	Potencia normal o de régimen del capacitor o reactor conectado entre la barra K y tierra en MVAR o p.u. Si es un capacitor se especifica con signo negativo.
IARK	Area a la que pertenece la barra K.

Al final se adjunta una tarjeta con K=999, que indica el fin de datos de barras.

c) Datos de elementos (líneas, transformadores, capacitores y/o reactores serie)

Se necesita una tarjeta por cada elemento. Los datos su ministrados en cada tarjeta incluyen:

VARIABLE	SIGNIFICADO
I	Número de la barra de envío.
K	Número de la barra de recepción.
PLK	Resistencia de una línea en %. Si es un <u>transfor</u> mador, capacitor o reactor serie, se <u>especifica</u> 0.
QLK	Reactancia de un elemento en %. Si se <u>trata</u> de un capacitor serie se especifica con signo <u>nega</u> tivo.
VK	Carga total de una línea en MVAR. Si es un <u>trans</u> formador, capacitor o reactor serie, se <u>especifi</u> ca 0.
QXK	Relación de transformación de un <u>transformador</u> , visto del lado de envío. Si es una línea, <u>capaci</u> tor o reactor serie, se especifica 0.
QNK	Relación de transformación de un <u>transformador</u> , visto del lado de recepción. Si es una línea, <u>ca</u> pacitor o reactor serie, se especifica 0.
RAK	Potencia normal o de régimen de un <u>elemento</u> en MVA o p.u.

Al final de adjunta una tarjeta con l=999, que indica el fin de datos de elementos.

NOTA: Si INDFP=1, no se dan más datos. Si es 2, se da el siguiente grupo de datos, conociendo de antemano las

barras de voltaje controlado que se transforman en barras de carga, ya que los datos se dan considerando a este tipo de barras como de carga.

II. Errores en datos de barras; coeficientes de correlación

No se dan datos para la barra oscilante.

A excepción del coeficiente de confianza, todos los demás datos se dan en %.

VARIABLE	SIGNIFICADO
CC	Coefficiente de confianza. Es adimensional.
CI	Intervalo de confianza en %.

Estos datos van en una tarjeta. A continuación se presentan los valores más utilizados en la práctica:

Tabla D.1 Coeficientes e intervalos de confianza

Coeficiente de confianza (s)	2.57	2.00	1.00
Intervalo de confianza	99%	95.4%	68.3%

Para intervalos de confianza que no se encuentran en la tabla, los valores de s pueden sacarse de las tablas de la curva normal dadas en las referencias (12) y (15).

a) Desviaciones estándar y coeficiente de correlación entre variables de cada barra

Se requiere una tarjeta por cada barra. La información suministrada en cada tarjeta incluye:

VARIABLE	SIGNIFICADO
K	Número asignado a una barra del sistema, $1 \leq K \leq 500$.
C(1)	Desviación estándar de la <u>potencia neta activa (P)</u> en %, $0 \leq C(1) \leq 100$. Se especifica en barras de voltaje controlado y carga.
C(2)	Desviación estándar de la <u>potencia neta reactiva (Q)</u> en barras de carga. En barras de voltaje controlado, se da la desviación estándar de la <u>magnitud del voltaje al cuadrado (VV)</u> . Se especifica en %, $0 \leq C(2) \leq 100$.
C(3)	Coefficiente de correlación entre P y Q o entre P y VV. Se especifica en %, $-100 \leq C(3) \leq 100$.

Al final se adjunta una tarjeta con K=999, que indica el fin de datos a).

b) Coeficientes de correlación entre variables de unas barras con otras

Se requiere una tarjeta por cada dos barras. Los datos suministrados en cada tarjeta incluyen:

VARIABLE	SIGNIFICADO
J	Número de la barra de envío.
K	Número de la barra de recepción.
C(1)	Coefficiente de correlación entre P_J y P_K . Se especifica en %, $-100 \leq C(1) \leq 100$.
C(2)	Coefficiente de correlación entre P_J y Q_K . Se es

pecifica en %, $-100 \leq C(2) \leq 100$.

C(3) Si J es una barra de carga, C(3) representa el coeficiente de correlación entre Q_J y P_K . Si J es una barra de voltaje controlado, C(3) es el coeficiente de correlación entre VV_J y P_K . Se especifica en %, $-100 \leq C(3) \leq 100$.

C(4) Si J es una barra de carga, C(4) representa el coeficiente de correlación entre Q_J y Q_K . Si J es una barra de voltaje controlado, C(4) es el coeficiente de correlación entre VV_J y Q_K . Se especifica en %, $-100 \leq C(4) \leq 100$.

Al final se adjunta una tarjeta con J=999, que indica el fin de datos b).

- NOTAS: 1. Si todos los coeficientes de correlación de b) se asumen 0, se da únicamente la tarjeta de fin de datos.
2. Suponiendo que en un sistema determinado, sólo se considera correlación entre las barras 10 y 13, se dan como datos dos tarjetas, la primera con los coeficientes de correlación respectivos y la segunda con la indicación de fin de datos.

D.3.2 SALIDA DE RESULTADOS

I. Solución determinística

El programa suministra lo siguiente en las mismas unidades de los datos de entrada:

- Datos convencionales.

- Reporte convencional de cálculos de flujo de potencia. En él se indica mediante un asterisco, los voltajes fuera del rango aceptable en operación ($0.95 \leq V \leq 1.05$) y los elementos con sobrecarga. Junto a las barras de voltaje controlado aparecen los siguientes mensajes:

MIN Indica que se ha convertido en barra de carga debido a la violación del límite de mínima generación de reactivos.

INT Indica que se mantiene como barra de voltaje controlado.

MAX Indica que se ha convertido en barra de carga debido a la violación del límite de máxima generación de reactivos.

II. Reporte estocástico

Proporciona lo siguiente:

- Desviaciones estándar de datos de barras y coeficientes de correlación en %.
- Reporte de cálculos de flujo de potencia estocástico en el que consta:
 - Coeficiente e intervalo de confianza expresado en %.
 - Rangos de variación y valor medio de las variables de salida en las mismas unidades de la solución determinística.

D.4 PROPIEDADES Y RESTRICCIONES DEL PROGRAMA (14)

El programa acepta sistemas de hasta 70 barras y 100 elementos de interconexión, pudiendo tener cada barra un capa

ductor o reactor a tierra.

Entre barras pueden existir dos o más circuitos en paralelo; cada uno de ellos cuenta como un elemento de interconexión.

El programa acepta cualquier número de barras de voltaje controlado, con la condición de que por lo menos una barra del sistema sea de carga, además de la lógica presencia de la oscilante.

La numeración de las barras es indiferente; es decir, que en un sistema de n barras, la numeración no necesariamente tiene que ir de 1 a n sino que también puede sobrepasar n . Esto significa que por ejemplo en un sistema de cuatro barras, la numeración bien podría ser: 500, 9, 10, 1. Además, cualquiera puede ser oscilante, de voltaje controlado o de carga.

Dentro de cada grupo de datos (de barras, elementos, desviaciones estándar y coeficientes de correlación), el orden de las tarjetas puede ser cualquiera y queda a criterio del usuario.

El programa no acepta sistemas eléctricos de dos barras o cuya configuración sea del tipo delineado en la figura D.1.

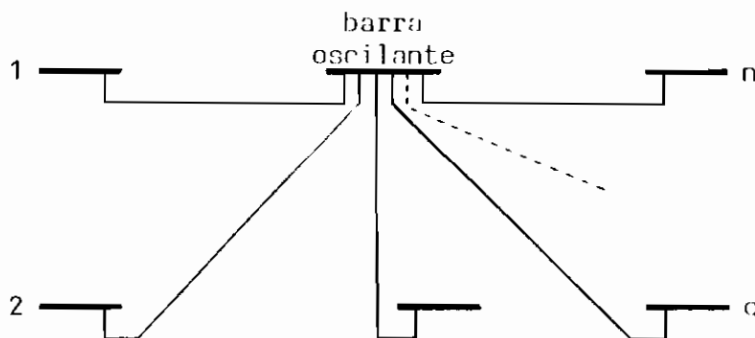


Fig. D.1 Sistema de potencia radial.

El programa realiza un ejercicio de flujo por corrida.

D.5 MENSAJES DE ERROR

El programa está implementado con rutinas que controlan posibles errores en los datos de entrada. A continuación se presentan los mensajes de error y sus correspondientes significados.

MENSAJE	SIGNIFICADO
a) <u>En datos de barras</u>	
*** ERROR EN NUMERACION DE BARRA	El número de la barra no está comprendido entre 1 y 500.
*** ERROR MAGNITUD DE VOLTAJE FUERA DE RANGO	El voltaje especificado está fuera del rango $0. \leq V \leq 1.1$.
*** ERROR NUMERO DE BARRA REPETIDO	Significa que se da más de una tarjeta de datos para la misma barra.
*** ERROR EN DATOS DE BARRA	Los datos suministrados en la tarjeta de esta barra, son incorrectos.
b) <u>En datos de elementos</u>	
*** ERROR EN NUMERACION DE LAS BARRAS DE CONEXION DEL ELEMENTO	La numeración de las dos barras o de una de ellas no está comprendida entre 1 y 500.
*** ERROR ELEMENTO AISLADO	Significa que no han ingresado las barras a las que se conecta el elemento.

mento o que a su vez no ha ingresa
do una de ellas.

- *** ERROR EN DATOS DE ELEMENTO Los datos suministrados en la tar
jeta de este elemento son incorrecto
tos.
- *** ERROR BARRA AISIADA Barra que se lee en datos de ba
rras, pero que no consta en datos
de elementos.

c) En desviaciones estándar y coeficiente de
correlación entre variables de cada barra

- *** ERROR EN DATO(S) DE DESVIACION(ES) Y/O CORRELACION Los datos suministrados en esta
tarjeta son incorrectos.
- *** ERROR EN NUMERACION DE BARRA El número de la barra no está com
prendido entre 1 y 500.
- *** BARRA NO INGRESADA Barra que no consta en el grupo de
datos a).
- *** DESVIACIONES Y/O CORRELACION FUERA DE RANGO Significa que las desviaciones y/o
la correlación no están en los ran
gos: $0 \leq C(1) \leq 100$.
 $0 \leq C(2) \leq 100$.
 $-100 \leq C(3) \leq 100$.
- *** NO DEBE INGRESAR DATOS PARA BARRA OSCILANTE Significa que se da tarjeta de da
tos para la barra oscilante. Reti
rar esta tarjeta.
- *** FALTAN O SOBРАН DATOS DE BARRA(S) No se está dando el número exacto
de tarjetas.

d) En coeficientes de correlación entre variables de unas barras con otras

- | | |
|---|--|
| *** ERROR EN DATO(S) DE CORRELACION(ES) | Los datos suministrados en esta tarjeta son incorrectos. |
| *** ERROR EN NUMERACION DE BARRA(S) | La numeración de las dos barras o de una de ellas no está comprendida entre 1 y 500. |
| *** BARRA(S) NO INGRESADA(S) | Barra(s) que no consta(n) en el grupo de datos a). |
| *** CORRELACION(ES) FUERA DE RANGO | Significa que el dato o los datos de correlación están fuera del rango:
$-100. \leq r(i) \leq 100.$ |

D.6 FORMA DE UTILIZAR EL PROGRAMA

La secuencia de tarjetas de control y el orden de ingreso de datos, se indica en las hojas D13, D14 y D15. A partir de la hoja D16, se muestra un ejemplo de salida de resultados para el sistema de 14 barras de la IFEE analizado en el Capítulo 4 (caso de voltajes variables).

Al final se adjunta el listado del programa.

Orden de ingreso de datos; tipos de formatos

TITULO DE IDENTIFICACION (4 tarjetas)										TIT (20A4)																																	
DATOS GENERALES (1 tarjeta)																																											
NS (I10)					BASE (F10.4)					CØNQ (F10.4)					MAXIT (I10)					INDFP (I10)																							
DATOS DE BARRAS (1 tarjeta por barra)																																											
K (I4)				NØMK (A8)				VK (F8.4)				PGK (F8.4)				QCK (F8.4)				QNK (F8.4)				QXK (F8.4)				PLK (F8.4)				QLK (F8.4)				CRK (F8.4)				IARK (I4)			
DATOS DE ELEMENTOS (1 tarjeta por elemento)																																											
I (I10)					K (I10)					PLK (F10.4)					QLK (F10.4)					VK (F10.4)					QXK (F10.4)					QNK (F10.4)					RAK (F10.4)								
COEFICIENTE E INTERVALO DE CONFIANZA (1 tarjeta)																																											
CC (F10.2)										CI (F10.2)																																	
DESVIACIONES ESTANDAR Y COEFICIENTE DE CORRELACION ENTRE VARIABLES DE CADA BARRA (1 tarjeta por barra)																																											
K (I10)					C(1) (F10.1)					C(2) (F10.1)					C(3) (F10.1)																												
COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE VARIABLES DE UNAS BARRAS CON OTRAS (1 tarjeta por cada 2 barras)																																											
J (I10)					K (I10)					C(1) (F10.1)					C(2) (F10.1)					C(3) (F10.1)					C(4) (F10.1)																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80																				

Datos del sistema de 14 barras IEEE (Voltajes variables)

***** SEP DE 14 BARRAS IEEE FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO *****														
1	100.	.001	.001	.001	8	2								
1	AAAAAAA	1.06	40.		-40.	50.	21.7	12.7						
2	BBBBBBB	1.045					29.5	16.6					-19.	
3	IIIIIIII						14.9	5.						
4	NNNNNNN													
999														
1		2	1.94	5.92	5.28		.932	1.					160.	
5		6		25.2									56.	
7		8		17.61									20.	
13		14	17.09	34.8									5.	
999														
1		68.3												
2		6.	1.2											
4		6.	6.											
13		6.	6.											
999														
999														

REPORT DE CALCULO DE FUJOS DE POTENCIA DE CONMUTACION

D A T O S D E U A R R E F E R E N C I A							F L U J O S				P E R D I D A S						
BUS NOMBRE	VOL (PU)	ANG (G)	PC (MW)	QG (MVAR)	PC (PQ)	QG (MVAR)	CR (MVAR)	BUS NOMBRE	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)	BUS NOMBRE	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)
1 AAAAAAAA	1.060*	0.0	252.58	-16.09	0.00	0.00		2 DDDDDDD	156.03	-20.39	4.29	7.26	5 FEEEEEE	75.55*	3.50	2.76	6.08
2 DDDDDDD	1.045	-5.0	40.00	42.00INT	21.70	12.70		1 AAAAAAA	-152.54	27.66	4.29	7.26	3 CCCCCC	75.13*	3.57	2.52	5.15
3 CCCCCC	1.010	-12.7	0.00	23.35INT	99.20	13.00		4 DDDDDDD	56.14	-2.29	1.68	1.11	5 FEEEEEE	41.51	3.76	0.29	-9.47
4 DDDDDDD	1.019	-10.5	0.00	0.00	47.00	-5.90		2 DDDDDDD	-79.07*	1.59	2.52	5.15	4 DDDDDDD	-25.55*	2.81	0.57	-2.61
5 FEEEEEE	1.020	-8.8	0.00	0.00	7.60	1.60		1 AAAAAAA	-54.45	3.39	1.68	1.11	3 CCCCCC	23.70*	-5.42	0.57	-2.01
6 FFFFFFF	1.070*	-14.2	0.00	12.25INT	11.20	7.50		5 FEEEEEE	-61.22	15.67	0.52	0.30	7 GGGGGGG	20.00	-9.42	-0.30	1.49
7 GGGGGGG	1.062*	-15.4	0.00	0.00	0.00	0.00		3 IIIIIII	16.09	-9.32	-0.30	1.30	1 AAAAAAA	-72.79*	2.50	2.76	6.08
8 HHHHHHH	1.090*	-15.4	0.00	17.35INT	0.00	0.00		2 DDDDDDD	-92.41	-1.63	0.20	-0.07	3 CCCCCC	61.74	-15.37	0.52	0.30
9 IIIIIIII	1.056*	-14.9	0.00	0.00	29.50	16.60	-21.20	6 FFFFFFF	44.06	12.82	-0.50	4.43	4 DDDDDDD	61.74	-15.37	0.52	0.30
10 JJJJJJJ	1.051*	-15.1	0.00	0.00	0.00	0.00		5 FEEEEEE	-44.05	-5.40	-0.00	4.43	5 HHHHHHH	0.00	-16.91	0.20	0.45
11 KKKKKKK	1.057*	-14.8	0.00	0.00	3.10	1.80		12 LLLLLLL	17.74	7.16	0.21	0.42	6 FFFFFFF	29.00	5.79	-0.60	0.70
12 LLLLLLL	1.051*	-15.1	0.00	0.00	6.10	1.60		7 GGGGGGG	0.00	17.35	0.00	0.45	7 HHHHHHH	0.00	-16.91	0.20	0.45
13 MNNNNNN	1.050	-15.2	0.00	0.00	13.00	5.80		8 DDDDDDD	-16.39	1.63	-0.00	1.30	8 IIIIIII	29.00	5.79	-0.60	0.70
14 NNNNNNN	1.075	-16.0	0.00	0.00	14.00	5.00		9 TTTTTTT	-5.23	-4.27	0.01	0.03	9 JJJJJJJ	0.00	17.35	0.00	0.45
T O T A L			272.58	78.49	250.00	73.50	-21.20	10 KKKKKKK	-5.77	-1.53	0.01	0.03	10 FFFFFFF	-7.29	-3.36	0.05	0.11
								11 LLLLLLL	1.61	0.74	0.01	0.01	11 JJJJJJJ	3.79	1.56	0.01	0.03
								12 MNNNNNN	-7.71	-2.34	0.07	0.15	12 FFFFFFF	-7.71	-2.34	0.07	0.15
								13 NNNNNNN	-17.53	-6.75	0.21	0.42	13 LLLLLLL	-1.60	-0.74	0.01	0.01
								14 OOOOOOO	-9.32	-3.41	0.12	0.25	14 MNNNNNN	5.03*	1.68	0.05	0.11
								15 PTTTTTT	-5.58*	-1.57	0.05	0.11	15 NNNNNNN	0.00	17.35	0.00	0.45

CONVERGE EN 5 ITERACIONES

----- DATOS DE LAS BARRAS DE VOLTAJE CONTROLADO -----

- POTENCIA NEGA ACTIVADA (P) Y VOLTAJES (V) EN CADA UNO DE VOLTAJE CONTROLADO
 - POTENCIA NEGA ACTIVADA (P) Y REACTIVACION (R) EN BARRAS DE CARGA
 CON SU RESPECTIVO COEFICIENTE DE CORRELACION

BUS NOMBRE	TIPO	DISY P (%)	DISY VVZO (%)	COEF (%)	BUS NOMBRE	TIPO	DISY P (%)	DISY VVZO (%)	COEF (%)
2 BBBBPPBB	2	6.0	1.2	0.0	4 DDDDDDD	2	6.0	6.0	0.0
6 EEEEEEE	2	6.0	1.2	0.0	10 HHHHHHH	2	6.0	1.2	0.0
10 JJJJJJJ	3	6.0	6.0	0.0	12 LLLLLLL	2	6.0	6.0	0.0
14 NNNNNNN	3	6.0	6.0	0.0	5 OOOOOO	2	6.0	1.2	0.0
8 PEEEEEE	3	6.0	6.0	0.0	7 QQQQQQ	3	6.0	6.0	0.0
9 IIIIIII	3	6.0	6.0	0.0	11 RRRRRR	2	6.0	6.0	0.0
13 MMMMMM	3	6.0	6.0	0.0					

----- DATOS DE COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE BARRAS -----

(H REPRESENTA VV SI SE TRATA DE UNA BARRA DE VOLTAJE CONTROLADO)
 (R REPRESENTA O SI SE TRATA DE UNA BARRA DE CARGA)

BUS I	BUS K	COEF PI-PK (%)	COEF PI-HK (%)	COEF HI-PK (%)	COEF HI-HK (%)	BUS I	BUS K	COEF PI-PK (%)	COEF PI-HK (%)	COEF HI-PK (%)	COEF HI-HK (%)
-------	-------	----------------	----------------	----------------	----------------	-------	-------	----------------	----------------	----------------	----------------

----- REPORTE DE CALCULO DE FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO -----

COEFICIENTE DE CONFIANZA: 1.00
 INTERVALO DE CONFIANZA: 68.30%

X-----BARRAS DE VOLTAJE CONTROLADO Y CARGA-----X

BUS NOMBRE	X---VOLTAJE (PU)---	X---ANGULO (C)---	X---ER (MVAR)---
	PERIOD	MEDIO	MEDIO
2 BBBBPPBB	1.039 1.045 1.051	-5.2 -5.0 -4.8	
4 DDDDDDD	1.004 1.013 1.016	-15.3 -12.7 -12.2	
6 EEEEEEE	1.015 1.019 1.022	-10.6 -10.1 -10.0	
8 PEEEEEE	1.017 1.020 1.023	-9.0 -8.8 -8.5	
10 JJJJJJJ	1.064 1.070 1.076	-19.6 -19.2 -15.9	
12 LLLLLLL	1.058 1.062 1.066	-13.7 -13.4 -13.0	
14 NNNNNNN	1.043 1.050 1.057	-13.7 -13.4 -13.0	
16 OOOOOO	1.052 1.056 1.060	-15.3 -14.9 -14.6	-21.37 -21.23 -21.04
18 RRRRRR	1.047 1.051 1.056	-15.5 -15.1 -14.7	
20 TTTTTTT	1.052 1.057 1.062	-15.2 -14.8 -14.4	
22 UUUUUUU	1.049 1.055 1.062	-13.4 -13.1 -12.7	
24 VVVVVVV	1.044 1.050 1.057	-15.5 -15.2 -14.8	
26 WWWWWWW	1.031 1.036 1.041	-16.4 -16.0 -15.6	

X-----BARRAS OSCILANTE Y DE VOLTAJE CONTROLADO-----X

BUS NOMBRE	X-----PNETA (MW)---	X-----R (MVAR)---
	MEDIO	MEDIO
1 AAAAAAA	234.64 232.38 240.12	-22.13 -16.99 -4.65
2 BBBBBBB		10.09 25.75 42.30
3 CCCCCCC		-5.50 4.59 12.29
4 DDDDDDD		0.47 4.75 8.57
5 EEEEEEE		14.74 17.55 19.57

-----F L U J O S-----								
BUS NUMBER	BUS NUMBER	X----- (MU) -----X			X----- (MVAR) -----X			
			MEMO			MEMO		
	2 BBBBDDDD	151.20	156.83	162.46	-51.97	-20.39	-9.51	
	5 FEEEEEEE	73.33	75.55	77.71	2.10	3.50	4.71	
1	AAAAAAA							
	1 AAAAAAA	-157.85	-152.54	-147.22	10.25	27.66	31.04	
	3 CCCCCCCC	69.80	73.19	76.58	-3.99	3.57	4.12	
	4 DDDDDDDD	54.49	56.14	57.54	-4.76	-2.29	0.18	
	5 FEEEEEEE	40.17	41.51	42.46	-1.70	0.76	3.23	
2	BBBDDDD							
	2 BBBBDDDD	-74.65	-70.87	-67.09	-3.18	1.54	6.35	
	4 DDDDDDDD	-25.34	-23.33	-20.72	-3.48	2.81	6.10	
3	CCCCCCC							
	2 BBBBDDDD	-55.43	-54.46	-53.09	0.06	3.39	5.93	
	3 CCCCCCCC	21.01	23.70	26.40	-4.64	-5.42	-2.20	
	5 EEEEEEEE	-63.53	-61.22	-58.91	13.89	15.67	17.45	
	7 GGGGGGGG	27.13	28.09	29.04	-19.89	-9.92	-7.96	
	9 IIIIIIII	15.55	16.09	16.63	-0.90	-0.32	0.25	
4	DDDDDDD							
	1 AAAAAAA	-74.79	-72.79	-70.79	1.11	2.58	4.05	
	2 BBBBDDDD	-41.51	-45.61	-49.71	-4.12	-1.63	0.85	
	4 DDDDDDDD	59.39	61.74	64.09	-17.09	-15.37	-13.66	
	6 FEEEEEEE	42.97	44.06	45.15	10.35	12.82	15.30	
5	EEEEEEE							
	5 FEEEEEEE	-45.15	-44.06	-42.97	-10.81	-8.40	-5.28	
	11 KKKKKKKK	6.87	7.34	7.81	2.49	3.47	4.45	
	12 LLLLLLLL	7.51	7.78	8.05	2.34	2.49	2.65	
	13 MMMMMMMM	17.11	17.74	18.37	6.59	7.16	7.74	
6	TTTTTTT							
	4 DDDDDDDD	-29.64	-28.09	-27.13	9.59	11.11	12.64	
	8 HHHHHHHH	0.00	0.00	0.00	-19.39	-16.91	-14.42	
	9 IIIIIIII	27.13	28.09	29.04	4.20	5.79	7.38	
7	GGGGGGG							
	7 GGGGGGGG	-0.00	0.00	0.00	14.74	17.35	19.97	
8	HHHHHHH							
	4 DDDDDDDD	-16.63	-16.09	-15.55	1.06	1.63	2.19	
	7 GGGGGGGG	-29.64	-28.09	-27.13	-6.55	-4.99	-3.43	
	10 JJJJJJJJ	4.66	5.24	5.82	3.33	4.51	5.29	
	14 NNNNNNNN	8.73	9.44	10.09	2.96	3.65	4.35	
9	IIIIIII							
	9 IIIIIIII	-5.80	-5.23	-4.65	-5.24	-4.27	-3.50	
	11 KKKKKKKK	-4.23	-3.77	-3.32	-2.48	-1.53	-0.57	
10	JJJJJJJ							
	6 FEEEEEEE	-7.75	-7.29	-6.82	-4.32	-3.36	-2.39	
	10 JJJJJJJJ	3.33	3.79	4.24	0.59	1.56	2.52	
11	KKKKKKK							
	6 FEEEEEEE	-7.98	-7.71	-7.44	-2.49	-2.34	-2.19	
	13 MMMMMMMM	1.38	1.61	1.84	3.60	0.74	0.49	
12	LLLLLLL							
	6 FEEEEEEE	-18.15	-17.53	-16.91	-7.31	-6.75	-6.19	
	12 LLLLLLLL	-1.45	-1.60	-1.38	-0.88	-0.74	-0.59	
	14 NNNNNNNN	5.13	5.63	6.13	1.06	1.68	2.31	
13	MMMMMMM							
	9 IIIIIIII	-4.25	-4.32	-4.69	-4.08	-3.41	-2.73	
	13 MMMMMMMM	-6.07	-5.58	-5.09	-4.13	-1.57	-0.96	
14	NNNNNNN							

C\$JOB
C#OPTIONS: T=10000, P=100

```

*****
*
*          ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL          *
*          FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA      *
*          TESIS DE GRADO                        *
*          -FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO-      *
*          RAUL N. GUDJARRÓ I.                  *
*          DIRECTOR DE TESIS: ING. GABRIEL ARRIEU *
*          AGOSTO 1984                          *
*
*****

```

OBJETIVO: RESOLVER EL FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO
***** DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.

METODO: UTILIZA EL METODO PLANTEADO POR DOPAZO, KLITIN
***** Y SASSON, QUE SE BASA EN LA TEORIA DE ESTIMACION
DE ESTADO POR MINIMOS CUADRADOS.

DESCRIPCION DEL METODO: EL PROCESO A SEGUIR ES:

- 1) RESOLUCION DEL FLUJO DE POTENCIA CONVENCIONAL POR EL METODO DE NEWTON-RAPHSON, CON LO CUAL SE OBTIENEN LOS VALORES MEDIOS DE LAS VARIABLES DE ESTADO Y DE SALIDA DEPENDIENTES.
- 2) CALCULO DE LAS DESVIACIONES ESTANDAR DE LAS VARIABLES DE ESTADO
- 3) CALCULO DE LAS DESVIACIONES ESTANDAR DE LAS VARIABLES DE SALIDA DEPENDIENTES.
- 4) CALCULO DE LOS INTERVALOS DE CONFIANZA DE LAS VARIABLES DE ESTADO Y DE SALIDA DEPENDIENTES.

```

COMMON VX, NS, ITAG, ITAG1, ITAG2, CE, RE, LNXT, NB, NS, NBS, I, OI, I1, I2, V, G,
LD, B, DE, NOZE, NSHO, NODE, LF, N9, NT, INDI, MB, N, N7, VP
COMMON /BB/NTV, ISEV, IREV, FV, DESVX, AX, CX
DIMENSION INDI(500), ISEN(270), IREC(270), G(270), B(270), S(270)
DIMENSION E(70), D(70), NBS(70), PG(70), OG(70), PL(70), QI(70)
DIMENSION NOE(70), NBUK(70), IARE(70), INE(270), QMAX(70)
DIMENSION RAT(270), V(70), QMIN(70), I1(4,70), IEQI(140), ITAG(1000)
DIMENSION ITAG1(1000), ITAG2(1000), LNXT(1000), RE(1000), CE(1000)
DIMENSION LI(140), NOZE(140), NSIG(140), VI(140), IN(70), QN(70)
DIMENSION FR(270), PR(270), FQC(70), PF(270), PQ(270)
DIMENSION FV(1000), ISEV(1000), IREV(1000), VX(140,140), AX(140,140)
DIMENSION CX(9900), DESVX(140), FK(50), ISEZ(50), BESSV7(480), FA(50)
DIMENSION CZ(480)
REAL#8 NOMB(70)

```

JR=1
JW=3
WFOTI(JW, 139)

LECTURA E IMPRESION DEL TITULO

READ(JR, 140) ((TIT(I, J), J=1, 20), I=1, 4)
WRITE(JW, 140) ((TIT(I, J), J=1, 20), I=1, 4)
NB=70
NT=270

LECTURA E IMPRESION DE DATOS GENERALES

READ(JR, 150) NS, BASE, CONP, CONQ, MAXIT, INDEF
WRITE(JW, 160) NS, BASE, CONP, CONQ, MAXIT

- LECTURA E IMPRESION DE DATOS PARA FLUJO DETERMINISTICO
- FORMACION DE LA MATRIZ ADMITANCIA DE BARRA

CALL INPUT1(NB, INDI), NLE, ISEN, IREC, G, B, S, JW, JR, V, F, D, NBUS, BASE,
IE, PG, QG, PL, QL, NODE, NBUK, NOMB, IARE, INE, NS, QMAX, QMIN, MB, NT, RAT, NCR, N
ZB(IC, MT)
N5=8*(NLE+NER)
N9=2*MB+40

RESOLUCION DETERMINISTICA DEL FLUJO DE POTENCIA

CALL SOLVE(NB, PN, PG, PL, QN, QG, QL, VPMAX, VQMAX, INDM, NS, NBUS, VP,
I IREC, V, G, D, B, NODE, E, LCOL, ITAG, ITAG1, ITAG2, UNXT, RE, CE, DE, NOZC, NSER,
ZNS, N9, NT, ITER, CONP, CONQ, BASE, MAXIT, QMAX, QMIN, S, FP, FQ, FQC, PP, PQ, IN
SI, INE, MB, MT, JW, N7, TFP, TPQ)
IF(ITER.LT.MAXIT) GO TO 5
WRITE(JW, 170)
GO TO 10

IMPRESION DE RESULTADOS PARA FLUJO DE POTENCIA DETERMINISTICO

5 CALL SALIDI(JW, NB, NT, NBUS, IREC, NBUK, NOMB, FP, FQ, PP, PQ, IC, NODE,
IV, PG, QG, PL, QL, FQC, N9, MB, BASE, TFP, TPQ, ITER, RAT)
IF(INDEF.NE.2) GO TO 10

LECTURA DEL COEFICIENTE E INTERVALO DE CONFIANZA

N6=(N9**2+N9)/2
READ(JR, 180) CC, CI

LECTURA E IMPRESION DE DESVIACIONES ESTANDAR
Y COEFICIENTES DE CORRELACION

CALL INPUT2(NB, JW, KI, INDI), NS, N7, MB, JR, NOMB, NODE, QN, E, IV, PN, I
ISEV, IREV, MT, NTV, N5)

CALCULO DEL JACOBIANO J INVERSO EN EL PUNTO DE SOLUCION

CALL JACOBI

CALCULO DE LA MATRIZ COVARIANZA DE X
Y DE LAS DESVIACIONES ESTANDAR DE X

C
C
C
C
C
C

CALL COVX
NB=1+NBTC-MB+2*MT

CALCULO DE LOS SUBJACOBIANOS K EN EL PUNTO DE SOLUCION

CALL JACOBK(NB, NT, N6, N8, MB, NODE, NBUS, IREC, KI, G, D, B, V, PN, QN, M
IT, ISEN, S, FQC, DESVZ, FA, CZ, L2, ISEZ, FK, U)

IMPRESION DE RESULTADOS PARA FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO

CALL SALID2(NB, N8, NT, N9, JW, MB, BASE, NODE, PN, CC, DESVZ, QN, NBUS,
IIREC, KI, FP, FQ, NBUK, NOMB, FQC, D, DESVX, V, CI)

10 STOP

139 FORMAT(/35X, 48(1H*), /35X, /*, 46X, /*/35X, /*, 9X, RESOLUI A POLITECN
ICA NACIONAL/, 9X, //35X, /*, 7X, /FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA/
, 7X, //35X, /*, 16X, /TESIS DE GRADO/, 16X, /*/35X, /*, 8X, /-FLUJO DE
* POTENCIA ESTOCASTICO-/, 7X, /*/35X, /*, 14X, /RAUL N. GUIJARRO L./, 1
3X, //35X, /*, 3X, /DIRECTOR DE TESIS: ING. GABRIEL ARGUELLO/, 3X, /*
/35X, /, 18X, /AGOSTO 1984/, 17X, /*/35X, /*, 46X, /*/35X, 48(1H*), //
*34X, /OBJETIVO: RESOLVER EL FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO/34X, 8(1H
**), 2X, /DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA. //34X, /METODO: UTILIZA
*EL METODO PLANTEADO POR DOPAZO, //34X, /***** KLITIN Y SASSON, QUI
* SE BASA EN LA TEORIA/42X, /DE ESTIMACION DE ESTADO POR MINIMOS CU
*ADRADOS. //42X, /

140 FORMAT(3(20A4, /), 20A4)

150 FORMAT(110, 3F10. 4, 2110)

160 FORMAT(/////20X, /DATOS GENERALES/20X, 15(1H-), //20X, /NO. DE LA BAR
RA OSCILANTE: /, 110//20X, /MVA. BASE: /, F27. 0//20X, /CRITERIO DE CONVE
RGENCIA PARA P: /, F9. 4//20X, /CRITERIO DE CONVERGENCIA PARA Q: /, F9. 4
3//20X, /MAXIMO NO. DE ITERACIONES: /, 110//20X, /TIPOS DE BARRA: 1 US
40ILANTE/36X, /2 VOLTAJE CONTROLADO/36X, /3 CARGA//

170 FORMAT('*** NO HAY CONVERGENCIA')

180 FORMAT(2F10. 2)

END

SUBROUTINE INPUT1(NB, INDI, NLE, ISEN, IREC, G, B, S, JW, JR, V, E, D, NBUS, BAS
IE, PG, QG, PL, QL, NODE, NBUK, NOMB, IARE, INE, NS, QMAX, QMIN, MB, NT, RA F, NCR, N
ZBTC, MT)

DIMENSION INDI(500), ISEN(NT), IREC(NT), G(NT), B(NT), S(NT), V(NB)

DIMENSION E(NB), D(NB), NBUS(NB), PG(NB), QG(NB), PL(NB), QL(NB)

DIMENSION NODE(NB), NBUK(NB), IARE(NB), INE(NT), QMAX(NB), QMIN(NB)

DIMENSION RAT(NT)

REAL *8 NOMB(NB), NOMBK

DO 5 I=1, 500

5 INDI(I)=0

DO 10 I=1, NT

ISEN(I)=0

IREC(I)=0

RAT(I)=0.

G(I)=0.

B(I)=0.

10 S(I)=0.

C
C
C

LECTURA E IMPRESION DE DATOS DE BARRAS

WRITE(JW, 140)

NCR=0

NBTC=0

```
I=0
15 I=I+1
READ(JR, 150, ERR=29) K, NOMK, VK, PGK, QGK, QNK, QXK, PLK, QLK, CRK, JARK
IF(K.GT.500) GO TO 30
V(I)=1.
E(I)=0.
U(I)=0.
PG(I)=PGK/BASE
QG(I)=QGK/BASE
PL(I)=PLK/BASE
QL(I)=QLK/BASE
NODE(I)=3
NEUK(I)=K
NOMB(I)=NOMK
IARE(I)=JARK
IF(ABS(CRK).GT.0.001) NCR=NCR+1
INE(I)=I
ISEN(I)=1
IREC(I)=1
S(I)=-CRK/BASE
IF(VK.LT.0.0001) GO TO 25
IF(K.EQ.NS) GO TO 20
NBTC=NBTC+1
E(I)=VK
QMAX(I)=QXK/BASE
QMIN(I)=QNK/BASE
NODE(I)=2
GO TO 25
20 V(I)=VK
NODE(I)=1
25 WRITE(JW, 160) K, NOMK, NODE(I), VK, PGK, QGK, QNK, QXK, PLK, QLK, CRK, JARK
IF(K.GT.0) GO TO 26
WRITE(JW, 200)
GO TO 15
26 IF(VK.GE.0.0.AND.VK.LE.1.1) GO TO 27
WRITE(JW, 201)
27 IF(INDI(K).LE.0) GO TO 28
WRITE(JW, 202)
28 INDI(K)=1
GO TO 15
29 WRITE(JW, 203)
I=I-1
GO TO 15
30 MB=I-1
```

C
C
C
LECTURA E IMPRESION DE DATOS DE ELEMENTOS

```
WRITE(JW, 170)
J=MB
L=0
35 L=L+1
PGK=0.
READ(JR, 180, ERR=48) I, K, PLK, QLK, VK, QXK, QNK, RAK
IF(L.GT.500) GO TO 50
WRITE(JW, 190) I, K, PLK, QLK, VK, QXK, QNK, RAK
IF(L.GT.0.AND.K.GT.0.AND.K.LE.500.AND.L.NE.K) GO TO 36
WRITE(JW, 204)
GO TO 35
```

```
36 INDI(I)=-IABS(INDI(I))
   INDI(K)=-IABS(INDI(K))
   XX=QI.K/100.
   IF(QNK.GT.0.001.AND.QXK.GT.0.001)GO TO 40
   RR=PL.K/100.
   S1=VK/(BASE*2.)
   S2=S1
   PGK=RR/(RR*RR+XX*XX)
   QGK=-XX/(RR*RR+XX*XX)
   GO TO 46
40 QGK=(-1./XX)/(QXK*QNK)
   S1=(-1./XX)*(1./(QXK*QXK)-1./(QXK*QNK))
   S2=(-1./XX)*(1./(QNK*QNK)-1./(QXK*QNK))
46 IF(INDI(I).NE.0.AND.INDI(K).NE.0)GO TO 47
   WRITE(JW,205)
   GO TO 35
47 J=J+1
   INE(J)=L+MB
   ISEN(J)=IABS(INDI(I))
   IREC(J)=IABS(INDI(K))
   G(J)=PGK
   B(J)=QGK
   S(J)=S1
   RAT(J)=RAK
   J=J+1
   INE(J)=L+MB
   ISEN(J)=IABS(INDI(K))
   IREC(J)=IABS(INDI(I))
   G(J)=PGK
   B(J)=QGK
   S(J)=S2
   RAT(J)=RAK
   GO TO 35
48 WRITE(JW,206)
   L=L-1
   GO TO 35
50 MT=J
   NLF=L-1
   DO 55 I=1,MB
   J=NBUK(I)
   IF(INDI(J).LT.0)GO TO 55
   WRITE(JW,207)
55 CONTINUE
   L=MB
```

L
C
C

ORDENAMIENTO DE LOS ELEMENTOS RESPECTO A FILAS Y COLUMNAS

```
NI=MT-1
DO 60 I=1,NI
J=I+1
DO 60 K=J,MT
IF(ISEN(I).LT.ISEN(K))GO TO 60
IF(ISEN(I).EQ.ISEN(K).AND.IREC(I).LE.IREC(K))GO TO 60
L=INE(I)
M=ISEN(I)
N=IREC(I)
PGK=G(I)
QGK=B(I)
```



```
VK=S(I)
RAK=RAT(I)
INF(I)=INE(K)
ISEN(I)=ISEN(K)
IREC(I)=IREC(K)
G(I)=G(K)
B(I)=B(K)
S(I)=S(K)
RAT(I)=RAT(K)
INE(K)=I.
ISEN(K)=M
IREC(K)=N
G(K)=PGK
R(K)=QGK
S(K)=VK
RAT(K)=RAK
60 CONTINUE
```

C C C FORMACION DE LA MATRIZ ADMITANCIA DE BARRA

```
DO 75 I=1,MT
IF(I EQ. 1) GO TO 65
IF(ISEN(I).EQ.J) GO TO 70
NEBUS(J)=N
G(M)=RR
B(M)=XX
65 J=ISEN(I)
N=0
RR=0.
XX=0.
70 N=N+1
RR=RR+G(I)
XX=XX+B(I)+S(I)
G(I)=-G(I)
B(I)=-B(I)
IF(ISEN(I).EQ.IREC(I)) M=I
75 CONTINUE
NEBUS(J)=N
G(M)=RR
B(M)=XX
RETURN
140 FORMAT(/////20X, 'DATOS DE BARRAS'/20X, 15(1H-), //6X, 'BUS NUMBER' T
1TPO VOL(PU) PG(MW) QG(MVAR) QMIN(MVAR) QMAX(MVAR) PC(MW
2) QC(MVAR) CR(MVAR) AREA'//)
150 FORMAT(I4, A8, SP8, 4, I4)
160 FORMAT(I9, 1X, A8, 15, F10, 3, 2F10, 2, 2F12, 2, 3F10, 2, 16)
170 FORMAT(/////20X, 'DATOS DE LINEAS, TRANSFORMADORES, CAPACITORES Y/O
1 REACTORES EN SERIE'/20X, 69(1H-), //16X, 'BUS I BUS K R(Z)
2 X(Z) SS(MVAR) TAP I TAP K RAT(MVA)')//)
180 FORMAT(2I10, 6F10, 4)
190 FORMAT(I21, I8, 2F10, 2, F11, 2, 2F10, 3, F11, 2)
200 FORMAT('*** ERROR EN NUMERACION DE BARRA')
201 FORMAT('*** ERROR MAGNITUD DE VOLTAGE FUERA DE RANGO')
202 FORMAT('*** ERROR NUMERO DE BARRA REPLETIDO')
203 FORMAT('*** ERROR EN DATOS DE BARRA')
204 FORMAT('*** ERROR EN NUMERACION DE LOS BARRAS DE CONEXION DEL ELEMENTO')
205 FORMAT('*** ERROR ELEMENTO AISLADO')
```

206 FORMAT('*** ERROR EN DATOS DE ELEMENTO')

207 FORMAT('*** ERROR BARRA AISLADA')

END

SUBROUTINE SOLVE(NB, PN, PG, PL, QN, QG, QL, VPMAX, VQMAX, INDM, NS, NBUS, VP, IIREC, V, G, D, B, NODE, E, LCOL, ITAG, ITAG1, ITAG2, LNXT, RE, CE, DE, NOZE, NSEQ, 2N5, N9, NT, ITER, CONF, CONQ, BASE, MAXIT, QMAX, QMIN, S, FP, FQ, FQC, PP, PQ, INI 3I, INE, MB, MY, JW, N7, TPP, TPQ)

DIMENSION NBUS(NB), LCOL(N9), IREC(NT), V(NB), G(NT), D(NB), B(NT)

DIMENSION ITAG(NS), ITAG1(NS), ITAG2(NS), LNXT(NS), RE(NS), CE(NS)

DIMENSION DE(N9), NOZE(N9), NSEQ(N9), NODE(NB), VP(N9), PN(NB), QN(NB)

DIMENSION E(NB), PG(NB), PL(NB), QG(NB), QL(NB), QMAX(NB), QMIN(NB)

DIMENSION FP(NT), FQ(NT), S(NT), FQC(NB), PP(NT), PQ(NT), INI1(500)

DIMENSION INE(NT)

RESOLUCION DETERMINISTICA DEL FLUJO DE POTENCIA

CALCULO DE POTENCIA NETA ESPECIFICADA

CALL NETA(NB, NODE, PN, PG, PL, QN, QG, QL, MB)

ITER=0

INDM=1

INDF=0

5 INI=0

CALCULO DE VARIACION DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA

8 CALL VARP(VPMAX, VQMAX, INDM, INDF, NB, NT, NBUS, VP, IIREC, V, G, D, B, P IN, NODE, QN, E, N9, MB)

PRUEBA DE CONVERGENCIA DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA

IF(VPMAX.LE.CONF.AND.VQMAX.LE.CONQ) GO TO 10

PRUEBA DE LIMITE DEL MAXIMO NUMERO DE ITERACIONES

IF(ITER.GE.MAXIT) GO TO 15

ENCERAMIENTO DE LOS ARREGLOS EN LOS CUALES SE
ALMACENA INFORMACION CONCERNIENTE AL JACOBIANO J

CALL ENCERO(NS, ITAG, ITAG1, ITAG2, CE, RE, LNXT)

DETERMINACION DE LOS ELEMENTOS DEL JACOBIANO J

CALL JACOB(NB, NS, NBUS, LCOL, IREC, V, G, D, B, ITAG, ITAG1, ITAG2, LNXT, RE, CE, DE, NOZE, NSEQ, NODE, LF, N5, N9, NT, INI1, MB)

ORDENAMIENTO DE ACUERDO A COLUMNAS
DE LOS ELEMENTOS DEL JACOBIANO J

CALL ORDEN(LF, ITAG1, ITAG2, CE, N5)

N7=2*MB-2

REORDENAMIENTO DE J, PREVIO A LA
APLICACION DE LA BIFACTORIZACION

CALL SIMORD(N7, LF, LCOL, NOZE, ITAG, LNXT, CE, RE, N5, N9, NSEQ, JW)

```
C
C
C      APLICACION DE LA BIFACTORIZACION
C
C      CALL REDUC(N7, LCOL, DE, ITAG, LNXT, CE, RE, N5, N9, NSEB)
C
C      OBTENCION DEL VECTOR SOLUCION
C
C      CALL SOLUC(N7, LCOL, DE, ITAG, LNXT, CE, RE, VP, N5, N9, NSEB)
C
C      CORRECCIONES DE VOLTAJE EN MAGNITUD Y ANGULO
C
C      CALL CORREC(NB, N9, D, VP, V, NODE, MB)
C
C      ITER=ITER+1
C      GO TO 8
C
C      PRUEBA DE VIOLACION DE MAX. Y MIN. GENERACION DE REACTIVOS
C
10  CALL VIOLA(NB, NODE, GMAX, QL, QN, QG, IND, QMIN, MB)
C      IF(IND.EQ.1) GO TO 5
C
C      CALCULO DE GENERACION DE
C      - POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA EN LA BARRA OSCILANTE
C      - POTENCIA REACTIVA EN BARRAS DE VOLTAJE CONTROLADO
C
C      CALL GENER(NB, NODE, PG, PN, PL, QG, QN, QL, MB)
C
C      CALCULO DE FLUJOS Y PERDIDAS EN ELEMENTOS
C
C      CALL FLUJO(NB, NBUS, IREC, FP, G, V, D, B, FQ, S, FQC, NT, INC, PP, PQ, MB,
C      IMT, BASE, TPP, TPQ)
C
15  RETURN
C      END
C      SUBROUTINE SALIDI(JW, NB, NT, NBUS, IREC, NBUK, NOMB, FP, FQ, PP, PQ, D, NODE,
C      IV, PG, QG, PL, QL, FQC, N9, MB, BASE, TPP, TPQ, ITER, RAT)
C      DIMENSION NBUS(NB), IREC(NT), NBUK(NB), FP(NT), FQ(NT), PP(NT), PQ(NT)
C      DIMENSION D(NB), NODE(NB), V(NB), PG(NB), QG(NB), PL(NB), QL(NB)
C      DIMENSION FQC(NB), RAT(NT)
C      REAL*8 NOMB(NB)
C
C      IMPRESION DE RESULTADOS PARA FLUJO DE POTENCIA DETERMINISTICO
C
C      WRITE(JW, 140)
C      TPG=0.
C      TPQ=0.
C      TPL=0.
C      TQI=0.
C      TFQC=0.
C      J=0
C      DO 35 I=1, MB
C      N=NBUS(I)
C      DO 5 M=1, N
C      J=J+1
C      K=IREC(J)
C      IF(I.EQ.K) GO TO 5
C      WRITE(JW, 150) NBUK(K), NOMB(K), FP(J), FQ(J), PP(J), PQ(J)
C      FS=SQRT(FP(J)**2+FQ(J)**2)
C      IF(FS.GT. RAT(J)) WRITE(JW, 155)
C      5 CONTINUE
```

```
DI=I(I)*J80./3.14159265
PG(I)=PG(I)*BASE
QG(I)=QG(I)*BASE
PL(I)=PL(I)*BASE
QL(I)=QL(I)*BASE
TPG=TPG+PG(I)
TQG=TQG+QG(I)
TPL=TPL+PL(I)
TQL=TQL+QL(I)
TFQC=TFQC+FQC(I)
IF(ABS(FQC(I)).GT.0.001) GO TO 10
WRITE(JW,160) NBUK(I),NOMB(I),V(I),DI,PG(I),QG(I),PL(I),QL(I)
GO TO 15
10 WRITE(JW,160) NBUK(I),NOMB(I),V(I),DI,PG(I),QG(I),PL(I),QL(I),FQC(
I)
15 IF(V(I).LT.0.9495. OR V(I).GT.1.0505) WRITE(JW,165)
II=NODE(I)
GO TO (35,20,35,25,30),II
20 WRITE(JW,170)
GO TO 35
25 WRITE(JW,180)
GO TO 35
30 WRITE(JW,190)
35 WRITE(JW,191)
WRITE(JW,192) TPG,TQG,TPL,TQL,TFQC,TPF,TPQ,ITER
RETURN
140 FORMAT(/////20X,' REPORTE DE CALCULOS DE FLUJO DE POTENCIA DETERMIN
LISTICO'/20X,55(1H-),///,' X',21(1H-),' D A T O S   D E   B A R R A
2S',21(1H-),' XX',9(1H-),' F L U J O S',10(1H-),' XX---PERDIDAS---X'///,'
3 BUS NOMBRE',7X,' VOL   ANG   PG   QG',9X,' PC   QC',7X,' C
4R   BUS NOMBRE'/17X,' (PU)   (G)   (MW)   (MVAR)   (MW)   (M
5VAR)   (MVAR)',19X,' (MW)   (MVAR)   (MW)   (MVAR)'////)
150 FORMAT(179,1X,A8,2F9.2,2F7.2)
155 FORMAT('+',96X,'*')
160 FORMAT(14,1X,A8,F8.3,F7.1,2F9.2,F10.2,2F9.2)
165 FORMAT('+',20X,'*')
170 FORMAT('+',45X,'INT')
180 FORMAT('+',45X,'MAX')
190 FORMAT('+',45X,'MIN')
191 FORMAT(1X,119(1H-))
192 FORMAT(19X,' T O T A L',2F9.2,F10.2,2F9.2,32X,2F7.2///20X,' CONVERGIE
1 EN',13,' ITERACIONES')
END
SUBROUTINE NETA(NB,NODE,PN,PG,PL,QN,QG,QL,MB)
DIMENSION PN(NB),PG(NB),PL(NB),QN(NB),QG(NB),QL(NB),NODE(NB)

CALCULO DE POTENCIA NETA ESPECIFICADA

DO 5 I=1,MB
IF(NODE(I).EQ.1) 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
RETURN
END
SUBROUTINE VARP(VPMAX,VQMAX,INDM,INDE,NB,NT,NBUS,VP,IREC,V,G,II,R,IP
IN,NODE,QN,E,N9,MB)
```

DIMENSION NBUS(NB), VP(N9), IREC(NT), V(NB), G(NT), D(NB), B(NT), PN(NB)
DIMENSION NODE(NB), QN(NB), E(NB)

C
C
C

CALCULO DE VARIACION DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA

```
L=0
J=0
VPMAX=0.
VQMAX=0.
IF (INDM.EQ.2.AND.INDE.EQ.2) GO TO 55
DO 20 I=1,MB
L=L+1
VP(L)=0.
N=NBUS(1)
DO 10 M=1,N
J=J+1
K=IREC(J)
10 VP(L)=VP(L)+V(K)*(G(J)*COS(D(I)-D(K))+B(J)*SIN(D(I)-D(K)))
IF(NODE(I).NE.1) GO TO 15
PN(I)=VP(L)*V(I)
L=L-1
GO TO 20
15 VP(L)=PN(I)-VP(L)*V(I)
IF(ABS(VP(L)).LE.VPMAX) GO TO 20
VPMAX=ABS(VP(L))
20 CONTINUE
IF(INDE.EQ.1) GO TO 55
J=0
DO 50 I=1,MB
L=L+1
VP(L)=0.
N=NBUS(1)
DO 30 M=1,N
J=J+1
K=IREC(J)
30 VP(L)=VP(L)+V(K)*(G(J)*SIN(D(I)-D(K))-B(J)*COS(D(I)-D(K)))
IF(NODE(I)-2)35,40,45
35 QN(I)=VP(L)*V(I)
L=L-1
GO TO 50
40 QN(I)=VP(L)*V(I)
VP(L)=E4I)**2-V(I)**2
GO TO 50
45 VP(L)=QN(I)-VP(L)*V(I)
IF(ABS(VP(L)).LE.VQMAX) GO TO 50
VQMAX=ABS(VP(L))
50 CONTINUE
55 RETURN
END
```

SUBROUTINE JACOB(NB,NS,NBUS,I,COL,IREC,V,G,D,B,ITAG,ITAG1,ITAG2,LNXT
IT,RE,CE,DE,NOZE,NSEQ,NODE,LF,NS,N9,NT,INDI,MB)

DIMENSION NBUS(NB),I,COL(N9),IREC(NT),V(NB),G(NT),D(NB),B(NT)
DIMENSION ITAG(NS),ITAG1(NS),ITAG2(NS),LNXT(NS),RE(NS),CE(NS)
DIMENSION DE(N9),NOZE(N9),NSEQ(N9),NODE(NB),INDI(500)

C
C
C

CALCULO DEL JACOBIANO J

J1=0

```
NCN=0
I=0
LL=1
DO 60 I=1, MB
IF(NODE(I).NE.1) GO TO 5
J1=J1+NBUS(I)
GO TO 60
5 LLL=0
J=J1
L=L+1
LCOL(L)=LL
NNN=0
HII=0.
N=NBUS(I)
DO 30 MM=1, N
J=J+1
K=IREC(J)
M=K
HIK=V(I)*V(K)*(G(J)*SIN(D(I)-D(K))-B(J)*COS(D(I)-D(K)))
HII=HII+HIK
IF(K-1ABS(INDI(NS)))15, 30, 10
10 M=M-1
15 IF(LLL.EQ.M) GO TO 20
NCN=NCN+1
NNN=NNN+1
20 LLL=M
IF(K.EQ.1) GO TO 25
ITAG(NCN)=M
ITAG1(NCN)=L
ITAG2(NCN)=M
LNXT(NCN)=NCN+1
RE(NCN)=RE(NCN)+HIK
CF(NCN)=RE(NCN)
GO TO 30
25 JJ=J
NCN=NCN-1
30 CONTINUE
RE(L)=-HII-B(JJ)*V(I)**2
J=J1
LLL=0
HII=0.
DO 55 MM=1, N
J=J+1
K=IREC(J)
M=K+MB-1
HIK=V(K)*(G(J)*COS(D(I)-D(K))+B(J)*SIN(D(I)-D(K)))
HII=HII+HIK
IF(K-1ABS(INDI(NS)))40, 55, 35
35 M=M-1
40 IF(LLL.EQ.M) GO TO 45
NCN=NCN+1
NNN=NNN+1
45 LLL=M
ITAG(NCN)=M
ITAG1(NCN)=L
ITAG2(NCN)=M
LNXT(NCN)=NCN+1
IF(K.NE.1) GO TO 50
```

```
      JJ=J
      LL2=NCN
50  RE(NCN)=RE(NCN)+HIK*V(I)/V(K)
      CE(NCN)=RE(NCN)
55  CONTINUE
      LL=LL+NNN+1
      LF=NCN+1
      NOZE(L)=NNN
      NSEQ(L)=L
      LNXT(NCN)=0
      J1=J
      RE(LL2)=HI+V(1)*G(JJ)
      CE(LL2)=RE(LL2)
60  CONTINUE
      J1=0
      DO 125 I=1,MB
      IF(NODE(I).NE.1) GO TO 65
      J=J1+NBUS(1)
      GO TO 125
65  LLL=0
      J=J1
      L=L+1
      LCOL(L)=LL
      NNN=0
      HII=0.
      N=NBUS(I)
      DO 90 MM=1,N
      J=J+1
      K=IREC(J)
      M=K
      HIK=-V(I)*V(K)*(G(J)*COS(D(I)-D(K))+B(J)*SIN(D(I)-D(K)))
      HII=HII+HIK
      IF(K-IABS(INDI(NS)))75,90,70
70  M=M-1
75  IF(LLL.EQ.M) GO TO 80
      NCN=NCN+1
      NNN=NNN+1
80  LLL=M
      ITAG(NCN)=M
      ITAG1(NCN)=L
      ITAG2(NCN)=M
      LNXT(NCN)=NCN+1
      IF(K.NE.1) GO TO 85
      JJ=J
      LL2=NCN
85  RE(NCN)=RE(NCN)+HIK
      CE(NCN)=RE(NCN)
      IF(NODE(I).NE.2) GO TO 90
      RE(NCN)=0.
      CE(NCN)=0.
90  CONTINUE
      RE(LL2)=-HII-G(JJ)*V(I)**2
      CE(LL2)=RE(LL2)
      IF(NODE(I).NE.2) GO TO 95
      RE(LL2)=0.
      CE(LL2)=0.
95  J=J1
      LLL=0
```

```
HII=0.  
DO 120 MM=1, N  
J=J+1  
K=IRCC(J)  
M=K+MB-1  
HIK=V(K)*(G(J)*SIN(D(I)-D(K))-B(J)*COS(D(I)-D(K)))  
HII=HII+HIK  
IF (K-IABS(INDI(NS))) 105, 120, 100  
100 M=M-1  
105 IF (LLL.EQ.M) GO TO 110  
NCN=NCN+1  
NNN=NNN+1  
110 LLL=M  
IF (K.EQ.1) GO TO 115  
ITAG(NCN)=M  
ITAG1(NCN)=L  
ITAG2(NCN)=M  
LNXT(NCN)=NCN+1  
RE(NCN)=RE(NCN)+HIK*V(I)/V(K)  
CE(NCN)=RE(NCN)  
IF (NODE(I).NE.2) GO TO 120  
RE(NCN)=0.  
CE(NCN)=0.  
GO TO 120  
115 JJ=J  
NCN=NCN-1  
120 CONTINUE  
LL=LL+NNN-1  
LF=NCN+1  
NOZE(L)=NNN  
LNXT(NCN)=0  
NSEQ(L)=L  
J1=J  
DE(L)=HII-B(JJ)*V(I)  
IF (NODE(I).NE.2) GO TO 125  
DE(L)=V(I)*2.  
125 CONTINUE  
RETURN  
END  
SUBROUTINE CORREC(NB, N9, D, VP, V, NODE, MB)  
DIMENSION D(NB), VP(N9), V(NB), NODE(NB)
```

CALCULO DE LAS CORRECCIONES DE MAGNITUDES Y ANGULOS DE VOLTAJE

```
L=0  
L1=MB-1  
DO 5 I=1, MB  
IF (NODE(I).EQ.1) GO TO 5  
L=L+1  
L1=L1+1  
D(I)=D(I)+VP(L)  
V(I)=V(I)+VP(L1)  
5 CONTINUE  
RETURN  
END  
SUBROUTINE VIOLA(NB, NODE, QMAX, QL, QN, QG, INB, QMIN, MB)  
DIMENSION NODE(NB), QMAX(NB), QL(NB), QN(NB), QG(NB), QMIN(NB)
```



```
GO 15 I=1, MT
DO 15 J=I, MT
IF (INE(I). NE. INE(J). OR. I. EQ. J) GO TO 15
PP(I)=FP(I)+FP(J)
TPP=TPP+PP(I)
PP(J)=PP(I)
PQ(I)=FQ(I)+FQ(J)
TPQ=TPQ+PQ(I)
PQ(J)=PQ(I)
15 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE ENCIERO(N5, ITAG, ITAG1, ITAG2, CE, RE, LNXT)
DIMENSION ITAG(N5), ITAG1(N5), ITAG2(N5), LNXT(N5), CE(N5), RE(N5)
```

C
C
C

SUBROUTINA DE ENCIERAMIENTO

```
DO 5 I=1, N5
ITAG(I)=0
ITAG1(I)=0
ITAG2(I)=0
CE(I)=0.
RE(I)=0.
5 LNXT(I)=1+1
LNXT(N5)=0
RETURN
END
SUBROUTINE ORDEN (LF, ITAG1, ITAG2, CE, N5)
DIMENSION ITAG1(N5), ITAG2(N5), CE(N5)
```

C
C
C

SUBROUTINA DE ORDENAMIENTO

```
LF1=LF-1
LF11=LF-2
DO 5 I=1, LF11
J=I+1
DO 5 L=J, LF1
IF (ITAG2(I). LT. ITAG2(L)) GO TO 5
IF (ITAG2(I). EQ. ITAG2(L). AND. ITAG1(I). LE. ITAG1(L)) GO TO 5
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
5 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE SIMORD(N, LF, LCOL, NOZE, ITAG, LNXT, CE, RE, N5, N9, NSEQ, JW)
DIMENSION LCOL(N9), NOZE(N9), ITAG(N5), LNXT(N5), CE(N5), RE(N5)
DIMENSION NSEQ(N9)
```

C
C
C

SUBROUTINA DE SIMULACION Y REORDENAMIENTO

NI=N-1

```
IND=0
DO 38 J=1,N1
IF(IND.GE.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).GT.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(I)
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)
GO TO 11
18 I=N+1
GO TO 12
19 I=ITAG(L)
GO TO 12
20 LN=LNXT(L)
IF(LA)21,21,22
21 LCOL(K)=LN
GO TO 23
22 LNXT(LA)=LN
23 LNXT(L)=LI
LF=L
CF(I)=0.
RE(L)=0.
NOZE(K)=NOZE(K)-1
L=LN
GO 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
```

```
GO TO 17
30 IP=ITAG(LI)
GO TO 12
31 IF(1P-K)32, 27, 32
32 IF(LF)33, 33, 34
33 WRITE(JW, 100)
IND=1
STOP
34 LN=LF
IF(LA)35, 35, 36
35 LCOL(K)=LN
GO TO 37
36 LNXT(LA)=LN
37 LF=LNXT(LN)
LNXT(LN)=L
ITAG(LN)=IP
NOZE(K)=NOZE(K)+1
LA=LN
GO TO 27
38 CONTINUE
RETURN
100 FORMAT(//, 10X, 'FALTA CAMPO')
END
SUBROUTINE REDUC(N, LCOL, DE, ITAG, LNXT, CE, RE, NS, N9, NSEQ)
DIMENSION LCOL(N9), DE(N9), ITAG(NS), LNXT(NS), CE(NS), RE(NS), NSEQ(N9)
C
C SUBROUTINA DE REDUCCION
C
DO 24 J=1, N
KP=NSEQ(J)
D=1./DE(KP)
DE(KP)=D
LK=LCOL(KP)
IF(LK.LE.0) GO TO 24
10 RE(LK)=D*RE(LK)
LK=LNXT(LK)
IF(LK.GT.0) GO TO 10
LK=LCOL(KP)
11 K=ITAG(LK)
CF=RE(LK)
RF=CF(LK)
LI=LCOL(KP)
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(1-1P)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)18, 18, 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#CE(LI)
   GO TO 20
24 CONTINUE
   RETURN
   END
SUBROUTINE SOLUC(N,I COL, DL, ITAG, LNXT, CE, RE, VP, N5, N9, NSEQ)
DIMENSION I COL(N9), DE(N9), ITAG(N5), LNXT(N5), CE(N5), RE(N5)
DIMENSION VP(N9), NSEQ(N9)
```

C
C
C
SUBROUTINA DE RESOLUCION

```
DO 11 J=1, N
K=NSEQ(J)
CF=DC(K)*VP(K)
VP(K)=CF
L=L COL(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=L COL(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 INPUT2(NB, JW, KI, INDI, NS, N7, MB, JR, NOMB, NODE, ON, E, FV, FN, I
ISEV, IREV, MT, NTV, N5)
DIMENSION INDI(500), NODE(NB), ON(NB), E(NB), FV(N5), FN(NB), ISEV(N5)
DIMENSION IREV(N5), C(4), IAU(2, 2), AUX(2, 4), H(4)
REAL*8 NOMB(NB), NOM(2)
```

C
C
C
LECTURA E IMPRESION DE DESVIACIONES ESTANDAR Y COEFICIENTE
DE CORRELACION DE CADA UNA DE LAS BARRAS

```
WRITE(JW, 140)
KI=IABS(INDI(NS))
L=N7
M=0
```

```
10 45 J1=1, MB
READ(JR, 150, ERR=10) K, (C(1), I=1, 3)
IF(K, GT, 500) GO TO 50
M=M+1
IAU(M, 1)=K
N=IABS(INDI(K))
NOM(M)=NOMB(N)
IAU(M, 2)=NODE(N)
IF(NODE(N), EQ, 4, OR, NODE(N), EQ, 5) IAU(M, 2)=3
DO 5 I=1, 3
5 AUX(M, I)=C(I)
IF(K, GT, 0) GO TO 15
WRITE(JW, 201)
GO TO 40
10 WRITE(JW, 200)
GO TO 40
15 IF(INDI(K), NE, 0) GO TO 20
WRITE(JW, 202)
GO TO 40
20 IF(C(1), LT, 0, 0, OR, C(1), GT, 100, ) GO TO 25
IF(C(2), LT, 0, 0, OR, C(2), GT, 100, ) GO TO 25
IF(C(3), LT, -100, 0, OR, C(3), GT, 100, ) GO TO 25
GO TO 30
25 WRITE(JW, 203)
30 IF(K, NE, NS) GO TO 35
WRITE(JW, 204)
GO TO 40
35 J=N
IF(N, GT, K1) J=N-1
Y1=QN(N)
IF(NODE(N), EQ, 2) Y1=E(N)**2
JJ=J+MB-1
FV(J)=(C(1)/100, *PN(N))**2
ISEV(J)=J
IREV(J)=J
FV(JJ)=(C(2)/100, *Y1)**2
ISEV(JJ)=JJ
IREV(JJ)=JJ
IF(ABS(C(3)), LT, 0, 0001) GO TO 40
C(3)=C(3)/100, *SQRT(FV(J)*FV(JJ))
L=L+1
FV(L)=C(3)
ISEV(L)=J
IREV(L)=JJ
L=L+1
FV(L)=C(3)
ISEV(L)=JJ
IREV(L)=J
40 IF(M, LT, 2) GO TO 45
WRITE(JW, 160) (IAU(M, 1), NOM(M), IAU(M, 2), AUX(M, 1), AUX(M, 2), AUX(M, 3)
1, M=1, 2)
M=0
45 CONTINUE
50 IF(M, EQ, 0) GO TO 55
WRITE(JW, 160) IAU(1, 1), NOM(1), IAU(1, 2), (AUX(1, I), I=1, 3)
55 IF(II, EQ, MB, AND, K, GT, 500) GO TO 60
WRITE(JW, 205)
```

C
C
C

LECTURA E IMPRESION DE COEFICIENTES
DE CORRELACION ENTRE BARRAS

```
60 WRITE(JW, 170)
   M=0
   DO 130 I1=1, MT
   READ(JR, 180, ERR=70) J, K, (C(I), I=1, 4)
   IF(J.GT. 500) GO TO 135
   M=M+1
   IAU(M, 1)=J
   IAU(M, 2)=K
   DO 65 I=1, 4
65  AUX(M, I)=C(I)
   IF(J.GT. 0. AND. K.GT. 0) GO TO 75
   WRITE(JW, 207)
   GO TO 125
70  WRITE(JW, 206)
   GO TO 125
75  IF(INDI(K). NE. 0. AND. INDI(J). NE. 0) GO TO 80
   WRITE(JW, 208)
   GO TO 125
80  DO 85 I=1, 4
   IF(C(I). LT. -100. 0. OR. C(I). GT. 100. ) GO TO 90
85  CONTINUE
   GO TO 95
90  WRITE(JW, 209)
95  IF(J. NE. NS. OR. K. NE. NS) GO TO 100
   WRITE(JW, 204)
   GO TO 125
100 NJ=ABS(INDI(J))
   NK=ABS(INDI(K))
   J1(1)=NJ
   J1(2)=NK
   IF(NJ.GT. K1) J1(1)=NJ-1
   IF(NK.GT. K1) J1(2)=NK-1
   J1(3)=J1(1)+MB-1
   J1(4)=J1(2)+MB-1
   IL=J1(1)
   IM=J1(2)
   DO 120 I=1, 4
   GO TO (115, 110, 105, 110), I
105  IL=J1(3)
   IM=J1(2)
   GO TO 115
110  IM=J1(4)
115  C(I)=C(I)/100. *SQRT(FV(I) *FV(IM))
   L=L+1
   FV(L)=C(I)
   ISEV(L)=IL
   IREV(L)=IM
   L=L+1
   FV(L)=C(I)
   ISEV(L)=IM
120  IREV(L)=IL
125  IF(M.LT. 2) GO TO 130
   WRITE(JW, 190) (IAU(M, I), IAU(M, 2), AUX(M, I), AUX(M, 2), AUX(M, 3), AUX(M,
14), M=1, 2)
   M=0
```

```

130 CONTINUE
135 IF (M.EQ.0) GO TO 138
WRITE (JW, 190) (IAU(1, I), I=1, 2), (AUX(1, I), I=1, 4)
138 NTV=L
LF=L+1

```

ORDENAMIENTO DE ACUERDO A COLUMNAS
DE LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ C

CALL ORDDEM(LF, IREV, 1SEV, FV, N5)

RETURN

```

140 FORMAT(/////20X, 'DATOS DE DESVIACIONES ESTANDAR DE'//20X, 30(1H-), //
120X, 1H-, ' POTENCIA NETA ACTIVA(P) Y VOLTAJE#2(VV) EN BARRAS DE VO
2LTAJE CONTROLADO'//20X, 1H-, ' POTENCIA NETA ACTIVA(P) Y REACTIVA(Q)
3EN BARRAS DE CARGA'//20X, 'CON SU RESPECTIVO COEFICIENTE DE CORRELAC
4ION'//, ' BUS NOMBRE TIPO DESV P DESV VV/Q COEF', 20X, 'B
5US NOMBRE TIPO DESV P DESV VV/Q COEF'//26X, '(%)', 10X, '(%'
6) '(%)', 44X, '(%)', 10X, '(%)' '(%)'//)

```

```
150 FORMAT(110, 3F10. 1)
```

```
160 FORMAT(2(15, 1X, A8, 15, F10. 1, F13. 1, F8. 1, 18X))
```

```

170 FORMAT(/////20X, 'DATOS DE COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE BARRAS
1'//20X, 49(1H-), //20X, '(H REPRESENTA VV SI SE TRATA DE UNA BARRA DE
2VOLTAJE CONTROLADO)'//20X, '(H REPRESENTA Q SI SE TRATA DE UNA BARRA
3 DE CARGA)'//, ' BUS I BUS K COEF COEF COEF COEF'
4, 20X, 'BUS I BUS K COEF COEF COEF COEF'//18X, 'PI-P
5K PI-HK HI-PK HI-HK', 37X, 'PI-PK PI-HK HI-PK HI-H
6K'//19X, '(%)' '(%)' '(%)' '(%)', 39X, '(%)' '(%)' '(%)' '(%)'
7 '(%)'//)

```

```
180 FORMAT(2110, 4F10. 1)
```

```
190 FORMAT(2(16, 18, 4F9. 1, 19X))
```

```
200 FORMAT('*** ERROR EN DATO(S) DE DESVIACION(ES) Y/O CORRELACION')
```

```
201 FORMAT('*** ERROR EN NUMERACION DE BARRA')
```

```
202 FORMAT('*** BARRA NO INGRESADA')
```

```
203 FORMAT('*** DESVIACION(ES) Y/O CORRELACION FUERA DE RANGO')
```

```
204 FORMAT('*** NO DEBE INGRESAR DATOS PARA BARRA OSCILANTE')
```

```
205 FORMAT('*** FALTAN O SOBРАН DATOS DE BARRA(S)')
```

```
206 FORMAT('*** ERROR EN DATO(S) DE CORRELACION(ES)')
```

```
207 FORMAT('*** ERROR EN NUMERACION DE BARRA(S)')
```

```
208 FORMAT('*** BARRA(S) NO INGRESADA(S)')
```

```
209 FORMAT('*** CORRELACION(ES) FUERA DE RANGO')
```

END

SUBROUTINE JACOBI

```

COMMON VX, N5, ITAG, ITAG1, ITAG2, CE, RE, LNXT, NB, NS, NEBUS, LCOL, IREC, V, G,
ID, B, DE, NOZE, NSEQ, NODE, LF, N9, NT, INDI, MB, N, N7, VP
DIMENSION ITAG(1000), ITAG1(1000), ITAG2(1000), CE(1000), RE(1000)
DIMENSION LNXT(1000), NEBUS(70), LCOL(140), IREC(270), V(70), G(270)
DIMENSION D(70), B(270), DE(140), NOZE(140), NSEQ(140), NODE(70)
DIMENSION INDI(500), VP(140), VX(140, 140)

```

CALCULO DEL JACOBIANO J INVERSO EN EL PUNTO DE SOLUCION

ENCERAMIENTO DE LOS ARRREGLOS EN LOS CUALES SE
ALMACENA INFORMACION CONCERNIENTE AL JACOBIANO J

CALL ENCIER(N5, ITAG, ITAG1, ITAG2, CE, RE, LNXT)

DETERMINACION DE LOS ELEMENTOS DEL JACOBIANO J


```
C      CALL JACOB(NB, NS, NBUS, LCOL, IREC, V, G, D, B, ITAG, ITAG1, ITAG2, LNXT,  
C      LT, RE, CE, DE, NOZE, NSEQ, NODE, LF, NS, N9, NT, INDI, MB)
```

```
C      ORDENAMIENTO DE ACUERDO A COLUMNAS  
C      DE LOS ELEMENTOS DEL JACOBIANO J
```

```
C      CALL ORDEN(LF, ITAG1, ITAG2, CE, NS)
```

```
C      REORDENAMIENTO DE J, PREVIO A LA  
C      APLICACION DE LA BIFACTORIZACION
```

```
C      CALL SIMORD(N7, LF, LCOL, NOZE, ITAG, LNXT, CE, RE, NS, N9, NSEQ, JW)
```

```
C      APLICACION DE LA BIFACTORIZACION
```

```
C      CALL REDUC(N7, LCOL, DL, ITAG, LNXT, CE, RE, NS, N9, NSEQ)
```

```
DO 10 I=1, N7
```

```
DO 5 J=1, N7
```

```
5 VP(J)=0.
```

```
VP(1)=1.
```

```
C      OBTENCION DE LAS COLUMNAS DE J INVERSO
```

```
C      CALL SOLUC(N7, LCOL, DE, ITAG, LNXT, CE, RE, VP, NS, N9, NSEQ)
```

```
DO 10 J=1, N7
```

```
10 VX(J, 1)=VP(J)
```

```
RETURN
```

```
END
```

```
SUBROUTINE COVX
```

```
COMMON VX, NS, ITAG, ITAG1, ITAG2, CE, RE, LNXT, NB, NS, NBUS, LCOL, IREC, V, G,  
10, B, DE, NOZE, NSEQ, NODE, LF, N9, NT, INDI, MB, N, N7, VP
```

```
COMMON /BB/NTV, ISEV, IREV, FV, DCSVX, AX, CX
```

```
DIMENSION AX(140, 140), ISEV(1000), IREV(1000), VX(140, 140), FV(1000)
```

```
DIMENSION CX(9900), DCSVX(140), INDI(500), VP(140)
```

```
DIMENSION ITAG(1000), ITAG1(1000), ITAG2(1000), CE(1000), RE(1000)
```

```
DIMENSION LNXT(1000), NBUS(70), LCOL(140), IREC(270), V(70), G(270)
```

```
DIMENSION D(70), B(270), DE(140), NOZE(140), NSEQ(140), NODE(70)
```

```
C      CALCULO DE LA MATRIZ COVARIANZA DE X
```

```
C      CALCULO DE LAS DESVIACIONES ESTANDAR DE X
```

```
DO 5 I=1, N7
```

```
DO 5 J=1, N7
```

```
5 AX(I, J)=0.
```

```
DO 10 I=1, N7
```

```
DO 10 J=1, NTV
```

```
K=ISEV(J)
```

```
L=IREV(J)
```

```
10 AX(I, K)=AX(I, K)+VX(I, L)*FV(J)
```

```
L=0
```

```
DO 20 I=1, N7
```

```
DO 15 J=1, I
```

```
L=L+1
```

```
CX(L)=0.
```

```
DO 15 K=1, N7
```

```
15 CX(L)=CX(L)+AX(J, K)*VX(I, K)
```

```
20 DCSVX(1)=SQRT(CX(L))
```

```
RETURN
END
SUBROUTINE JACOBK(NB, NT, N6, N8, MB, NODL, NBUS, IREC, K1, G, D, B, V, PN, QN, M
LT, ISEN, S, FQC, DESVZ, FA, CZ, L2, ISEZ, FK, L)
COMMON /BB/NTV, ISEV, IREV, FV, DE-SVX, AX, CX
DIMENSION NODL(NB), NBUS(NB), FK(50), IREC(NT), ISEZ(50), G(NT), D(NB)
DIMENSION B(NT), V(NB), PN(NB), QN(NB), CX(9900), DESVZ(NB), ISEN(N1)
DIMENSION S(NT), FQC(NB), FA(50), CZ(NB), ISEV(1000), IREV(1000)
DIMENSION FV(1000), DESVX(140), AX(140, 140)
J=0
L=0
```

C
C
C

CALCULO DE LOS SUBJACOBIANOS K1 Y K2 EN EL PUNTO DE SOLUCION

```
DO 55 I=1, MB
IF(NODE(I).LT.3) GO TO 5
J=J+NBUS(I)
GO TO 55
5 JJ=J
N=NBUS(I)
MN=2
IF(NODE(I).EQ.1) MN=1
DO 50 MJ=MN, 2
LLL=0
J=JJ
L=L+1
DO 10 L1=1, 50
10 FK(L1)=0.
L1=0
N1=1
DO 45 MM=1, N
J=J+1
K=IREC(J)
M1=K
M2=K+MB-1
IF(K-K1) 20, 45, 15
15 M1=M1-1
M2=M2-1
20 IF(L11.EQ.M1) GO TO 25
L1=L1+N1
L2=L1+1
N1=2
25 L11=M1
ISEZ(L1)=M1
ISEZ(L2)=M2
IF(K.EQ.I) GO TO 40
HIK=G(J)*SIN(D(I)-D(K))-B(J)*COS(D(I)-D(K))
PIK=G(J)*COS(D(I)-D(K))+B(J)*SIN(D(I)-D(K))
GO TO (30, 35), MJ
30 FK(L1)=FK(L1)+V(I)*V(K)*HIK
FK(L2)=FK(L2)+V(I)*PIK
GO TO 45
35 FK(L1)=FK(L1)-V(I)*V(K)*PIK
FK(L2)=FK(L2)+V(I)*HIK
GO TO 45
40 FK(L1)=PN(I)-G(J)*V(I)**2
FK(L2)=QN(I)/V(I)-V(I)*B(J)
45 CONTINUE
```



```
FK(L2)=-V(I)*V(K)*FIK
L2=L2+1
ISEZ(L2)=M4
FK(L2)=V(I)*IDK
GO TO 110
100 IF (ABS(FQC(1))).GT.0.001) GO TO 105
L=L-1
GO TO 115
105 ISEZ(1)=M2
FK(1)=-Z.*S(J)*V(1)
L2=1
110 CALL CDVZ(N6, N8, L2, ISEZ, FK, L, DESVZ, FA, CZ)
115 CONTINUE
120 CONTINUE
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE CDVZ(N6, N8, L2, ISEZ, FK, L, DESVZ, FA, CZ)
COMMON /BB/NTV, ISEV, TR-V, FV, DESVX, AX, CX
DIMENSION ISEZ(50), FA(50), FK(50), CX(9900), CZ(N8), DESVZ(N8)
DIMENSION ISEV(1000), IREV(1000), FV(1000), DESVX(140), AX(140, 140)
```

C
C
C

CALCULO DE LAS DESVIACIONES ESTANDAR DE Z

```
DO 10 I=1, L2
NN=ISEZ(I)
FA(1)=0.
DO 10 MM=1, L2
J=ISEZ(MM)
M=J
N=NN
IF(NN LE J) GO TO 5
M=NN
N=J
5 K=(M**2-M)/2+N
10 FA(I)=FA(I)+FK(MM)*CX(K)
CZ(L)=0.
DO 15 I=1, L2
15 CZ(L)=CZ(L)+FA(I)*FK(I)
CZ(L)=ABS(CZ(L))
DESVZ(L)=SQRT(CZ(L))
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE SALIDZ(NB, N8, NT, N9, JW, MB, BASI, NOME, PN, CC, DESVZ, ON, NBUS,
I IREC, K1, FP, FQ, NBUK, NOMB, FQC, D, DESVX, V, C)
DIMENSION NOME(NB), PN(NB), DESVZ(N8), ON(NB), NBUS(NB), IREC(NT)
DIMENSION FP(NT), FQ(NT), NBUK(NB), FQC(NB), D(NB), DESVX(N9), V(NB)
REAL*8 NOMB(NB)
WRITE(JW, 140) CC, C
```

C
C
C
C
C
C

IMPRESION DE RESULTADOS DE
- MAGNITUDES Y ANGULOS DE VOLTAJE
- CAPACITORES Y/O REACTORES A TIERRA
EN BARRAS DE VOLTAJE CONTROLADO Y CARGA

```
WRITE(JW, 150)
L1=0
L2=MB-1
L=2
```

```

DO 15 I=1, M
  IF (NBUK(I) .EQ. 2) GO TO 10
  CONTINUE
  X=1.0 / (1.41**M**2)
  L=0
  B=BA*5
  DO 20 J=1, MB
    IF (NBUK(I) .EQ. 1) GO TO 18
    L1=L+1
    L2=L+2+L1
    I0=(D(I)-CC*DELSVX(L1))*X
    I05=(D(I)+CC*DELSVX(L1))*X
    D(I)=D(I)*X
    V1=V(I)-CC*DELSVX(L2)
    V5=V(I)+CC*DELSVX(L2)
18 N=NBUK(I)
    DO 15 M=L, N
      J=J+1
      K=J*(J+1)
      IF (I .EQ. K1 .AND. I .EQ. K2) GO TO 15
      L=L+2
      IF (I .NE. K) GO TO 15
      IF (ABS(FRC(I)) .GT. 0.001) GO TO 10
      L=L+2
      WRITE (JW, 160) NBUK(I), NOMB(I), V1, V(I), V5, D1, D(I), I0, I05, I, L, L1, L2, F, X, B, TO
      GO TO 15
10 L=L+1
    FRC0=FRC(I)-CC*DELSVZ(I)*B
    FRC5=FRC(I)+CC*DELSVZ(I)*B
    WRITE (JW, 160) NBUK(I), NOMB(I), V1, V(I), V5, D1, D(I), I0, I05, I, L, L1, L2, F, X, B, TO
15 CONTINUE
20 CONTINUE

```

C
C IMPRESION DE RESULTADOS DE
C - POTENCIA NEGA DE IVA Y DE ALIIVA EN LA BARRA DE MONTAJE
C - POTENCIA NEGA REACTIVA EN BARRAS DE MONTAJE CON IVA

```

WRITE (JW, 170)
L=0
DO 25 J=1, MB
  IF (NBUK(I) .EQ. 3) GO TO 18
  IF (NBUK(I) .EQ. 2) GO TO 25
  L=L+1
  I01=(D(I)-CC*DELSVZ(I))*B
  I05=(D(I)+CC*DELSVZ(I))*B
  PN(I)=PN(I)*B
25 L=L+1
  QN1=(Q(I)-CC*DELSVZ(I))*B
  QN5=(Q(I)+CC*DELSVZ(I))*B
  QN(I)=QN(I)*B
  IF (NBUK(I) .EQ. 1) GO TO 30
  WRITE (JW, 180) NBUK(I), NOMB(I), QN1, Q(I), QN5
  GO TO 35
30 WRITE (JW, 190) NBUK(I), NOMB(I), I01, I05, I01, I05, QN1, QN5
35 CONTINUE

```

C
C IMPRESION DE RESULTADOS DE FLUJO EN ELEMENTOS

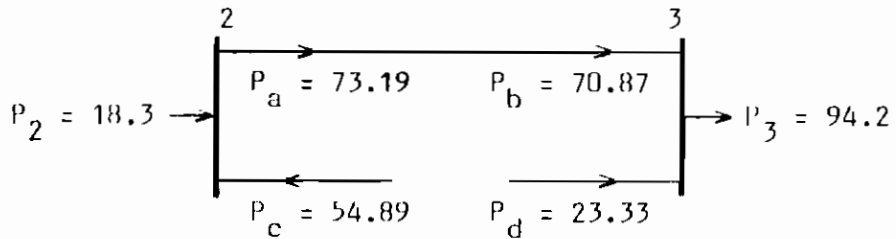
```
WRITE(JW, 200)
J=0
DO 50 I=1, MB
N=NBUS(I)
DO 45 M=1, N
J=J+1
K=IREC(J)
IF(I.EQ.K1.AND.K.EQ.K1) GO TO 45
L=L+1
IF(I.EQ.K) GO TO 40
FPI=FP(J)-CC*DESVZ(L)*B
FPS=FP(J)+CC*DESVZ(L)*B
L=L+1
FQI=FQ(J)-CC*DESVZ(L)*B
FQS=FQ(J)+CC*DESVZ(L)*B
WRITE(JW, 210) NBUK(K), NOMB(K), FPI, FP(J), FPS, FQI, FQ(J), FQS
GO TO 45
40 IF(ABS(FQC(I)).GT.0.001) GO TO 45
L=L-1
45 CONTINUE
50 WRITE(JW, 220) NBUK(I), NOMB(I)
RETURN
140 FORMAT(////20X, /REPORTE DE CALCULOS DE FLUJO DE POTENCIA ESTOCAS-
TICO//20X, 52(1H-), //20X, /COEFICIENTE DE CONFIANZA: /, F6. 2/20X, /INTER-
VALO DE CONFIANZA: /, F8. 2, /%///)
150 FORMAT(/10X, /X/, 14(1H-), /BARRAS DE VOLTAJE CON-
TROLADO Y CARGA/, 13(1H-), /X//10X, /BUS NOMBRE
2X-----VOLTAJE(PU)-----X/, 9X, /X-----ANGULO(G)-----X/, 9X, /X-----CR(M
3VAR)-----X//34X, /MEDIO/, 25X, /MEDIO/, 27X, /MEDIO//)
160 FORMAT(I13, 1X, A8, F9. 3, 2F8. 3, F14. 1, 2F8. 1, F15. 2, 2F9. 2)
170 FORMAT(////10X, /X/, 16(1H-), /BARRAS OSCILANTE Y DE VOLTAJE CONTROL-
ADO/, 15(1H-), /X//10X, /BUS NOMBRE X-----PNETA(MW)-----X/, /
2X, /X-----QNETA(MVAR)-----X//36X, /MEDIO/, 28X, /MEDIO//)
180 FORMAT(I13, 1X, A8, F43. 2, 2F9. 2)
190 FORMAT(I13, 1X, A8, F10. 2, 2F9. 2, F15. 2, 2F9. 2)
200 FORMAT(////10X, /X/, 38(1H-), /F L U J O S/, 38(1H-), /X//10X, /BUS NO
MBRE BUS. NOMBRE X/, 9(1H-), / (MW) /, 9(1H-), /X/, 9X, /X/, 8(1H-
2), / (MVAR) /, 8(1H-), /X//52X, /MEDIO/, 28X, /MEDIO//)
210 FORMAT(I27, 1X, A8, F12. 2, 2F9. 2, F15. 2, 2F9. 2)
220 FORMAT(I13, 1X, A8/10X, 89(1H-))
END
```

C\$ENTRY

ANEXO E

OBTENCION DE LOS
COEFICIENTES DE CORRELACION

Cuando no se tiene experiencia sobre un sistema de potencia y no se dispone de datos históricos, los coeficientes de correlación requeridos en el estudio de flujo estocástico pueden obtenerse realizando un análisis teórico sobre el sistema. Así por ejemplo, los coeficientes de correlación utilizados en la Prueba d. del Capítulo 4 se determinaron del siguiente modo: En las barras 2 y 3, los flujos de potencia que llegan y salen de ellas son:



Para establecer $\rho_{P_2 P_3}$, previamente se calcula el coeficiente de correlación entre P_b que procede de la barra 2 y P_3 . Para ello, debe notarse que las variaciones de P_3 absorben tanto P_b como P_d , y, suponiendo que esto es proporcional a sus potencias,

$$\rho_{P_b P_3} = \frac{70.87}{94.2} = 0.75$$

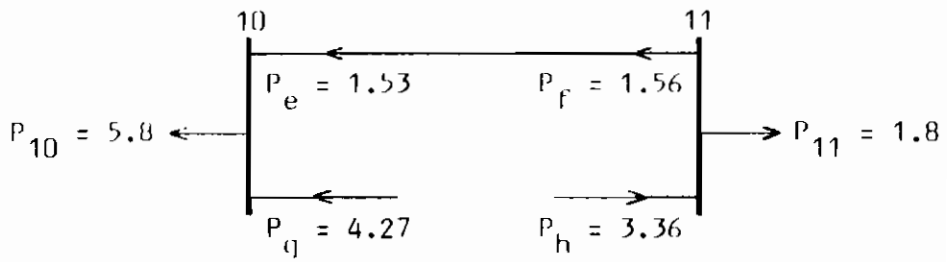
Ahora,

$$\beta_{P_2 P_3} = 0.75 \beta_{P_2 P_a}$$

A las variaciones de P_a responden P_2 y P_c , y suponiendo que es proporcional a sus potencias,

$$\beta_{P_2 P_3} = \frac{18.3}{73.19} \times 0.75 \times 100 = 19\%$$

En el caso de los coeficientes que resultan ser cero, como por ejemplo $\beta_{Q_{10} Q_{11}}$, se procede de idéntica manera al caso anterior:



- Cuando varía P_{10} , responden P_e y P_g ; P_e a través de P_h .
- Cuando varía P_{11} , responde sólo P_h .

Por tanto, las variaciones de P_{10} no afectan a P_{11} y a su vez las variaciones de P_{11} no afectan a P_{10} , en consecuencia:

$$\beta_{Q_{10} Q_{11}} = 0$$

REFERENCIAS

- (1) Aboytes F. and Cory B.J., "An Alternative Formulation of the Stochastic Load Flow Method", IEEE PICA Conference, New Orleans, July 1975.
- (2) Argüello G., "Flujo de Potencia", Seminario sobre Técnicas de Computación para Supervisión y Control de Sistemas Eléctricos de Potencia, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, Enero 1983.
- (3) Argüello G., "Flujo de Potencia Estocástico", Anales de las Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, Mayo 1983.
- (4) Argüello G., "Estimación de Estado en Sistemas de Potencia", Seminario FPN, Quito-Ecuador, Enero 1983.
- (5) Borkowska B., "Probabilistic Load Flow", IEEE T-PAS, vol. 93, pp 752-759, May/June 1974.
- (6) Christopher B., "Monte Carlo Methods for Stochastic Power Flow Studies", Purdue University, West Lafayette, Indiana, March 1976.
- (7) Dopazo J.F., Klitin O.A. and Sasson A.M., "Stochastic Load Flows", IEEE T-PAS, vol. 94, pp 299-309, March/April 1975.
- (8) Gross Ch., "Análisis de Sistemas de Potencia", Nueva Editorial Interamericana S.A., México, D.F., primera edición 1982.
- (9) Heydt G.T., "Stochastic Power Flow Calculations", IEEE Summer Power Meeting, paper A 75-530-6, San Francisco, California, July 1975.

- (10) Heydt G.F. and Sauer P.W., "Stochastic Power Flow Study Methods", Proc. Fifth annual Allerton Conference on Circuits and Systems, Monticello, Illinois, July 1976.
- (11) Heydt G.F., "Matrix Methods in Electric Power System Analysis and Design", Purdue University, Lafayette, Indiana, 1975.
- (12) Hoel P., "Introducción a la Estadística Matemática", Editorial Ariel S.A., Barcelona-España, segunda edición 1976.
- (13) INECEL, Archivos del Centro Nacional de Control de Energía, 1984.
- (14) Mármol E., "Estudio de Flujos de Carga mediante los Métodos de Newton Raphson", Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 1983.
- (15) Meyer P., "Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas", editado por Fondo Educativo Interamericano S.A., México, segunda edición 1973.
- (16) Romero D., "Nuevas Formulaciones del Estudio de flujos para la Operación de Sistemas Eléctricos de Potencia", Tesis, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F., Octubre 1979.
- (17) Sauer P.W. and Heydt G.F., "Stochastic Power Flow-Line Power Statistics", IEEE Midwest Power Symposium, Manhattan, Kansas, October 1976.
- (18) Stagg G.W. and El-Abiad A.H., "Computer Methods in Power System Analysis", editorial McGraw-Hill Book Company, 1968.