

## PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS DE POTENCIA PARA LABORATORIO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

MONICA P. GUERRERO M.

CONSUELO B. GUTJARRO F.

Escuela Politécnica Nacional

GABRIEL ARGUELLO R.

Instituto Ecuatoriano de Electrificación  
Escuela Politécnica Nacional

cástico.

### **RESUMEN**

El objetivo de este artículo es el presentar un paquete de programas **INTERACTIVOS DE FLUJOS DE POTENCIA**, que se ha desarrollado en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional.

Este paquete de programas incluye: el Flujo de Potencia Convencional con sus diferentes métodos de solución, el Flujo de Potencia para Sistemas mal condicionados, Flujo de Potencia Estocástico, Flujo de Potencia Lineal y el Flujo Optimo de Potencia en sus diferentes tipos. Estos programas serán utilizados en el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia.

El usuario tendrá la posibilidad de preparar razonablemente los datos de algún sistema eléctrico, diagnosticar sus resultados, y tomar decisiones sobre el control de algunas variables involucradas en él.

Además podrá almacenar, consultar ó modificar información de varios sistemas eléctricos de Potencia.

En la actualidad estos programas se encuentran operativos en el laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia.

### **1.- INTRODUCCION**

En los años recientes, gran énfasis ha sido puesto en el uso interactivo de los computadores para la educación de Ingeniería Eléctrica, en reemplazo a los Analizadores de Redes usados anteriormente, para demostrar y explorar varios aspectos en el análisis de un sistema de potencia.

La disponibilidad y bajo costo de los denominados computadores personales y el consiguiente desarrollo de la programación interactiva ha abierto una nueva dimensión en la educación de la ingeniería y en este caso, de los Sistemas Eléctricos de potencia, ya que es posible ver casi inmediatamente resultados de un flujo ejecutado. Además este formato interactivo proporciona un significativo lazo entre el estudiante y el computador.

En el presente artículo se describe un programa interactivo para la resolución de Flujos de Potencia y otro para Flujos Optimos de Potencia, implantados en computadores personales y con aplicación especialmente para el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia.

El estudio de los Flujos de Potencia es uno de los tópicos más importantes en el análisis de un sistema eléctrico de potencia en estado estacionario.

En los últimos cinco años se ha trabajado en la EPN en programas digitales que resuelven el Flujo de Potencia Convencional, El Flujo de Potencia para Sistemas Mal Condicionados y El Flujo de Potencia Estoc-

Para resolver el Flujo de Potencia Convencional se ha desarrollado programas que utilizan los métodos de Newton-Raphson Formal tanto en coordenadas polares como en rectangulares, los métodos desacoplado y desacoplado rápido de Newton-Raphson; también la variante de Newton-Raphson de Segundo Orden.

El programa desarrollado agrupa en una sola Biblioteca todos los tipos y métodos de resolución de flujos de Potencia por este motivo, se añade a los trabajos anteriormente realizados, el método de Gauss-Seidel y el Flujo de Potencia Lineal.

El Flujo Optimo de Potencia, en el presente trabajo, utiliza el método propuesto por Dommel-Tinney [14]. El método hace uso de la técnica de optimización de los multiplicadores de Lagrange, del teorema de Kuhn y Tucker y del método del gradiente reducido, para llegar a un punto de operación del sistema de potencia en el cual las funciones objetivo planteadas tienen un valor óptimo. Se tendría la posibilidad de efectuar los siguientes flujos óptimos: Flujo Optimo de Potencia, en el que se realiza simultáneamente, despacho económico y minimización de pérdidas [21], Flujo Optimo de Potencia Reactiva, en el cual se realiza solamente minimización de pérdidas [21], Flujo Optimo de Potencia Activa, en el cual se realiza solamente minimización de costos [21].

Para el programa interactivo se ha desarrollado una base de datos informatizada, en la cual se ingresa la información existente de un sistema Eléctrico de Potencia, correspondiente a datos generales, nodos, elementos serie, elementos shunt.

El desarrollo de la base de datos, se lo hace utilizando el concepto de Base de Datos Relacionales [22].

Por consiguiente, las materias de especialización del área de Sistemas Eléctricos de Potencia pueden ser complementadas adecuadamente con ayudas de laboratorio. El estudiante a más de recibir una buena base teórica, podrá adquirir experiencia en el análisis y control de Sistemas Eléctricos de Potencia.

### **2.- FLUJOS DE POTENCIA**

#### **2.1 DEFINICION**

Se denomina flujo de potencia a la solución en estado estacionario de un Sistema Eléctrico de Potencia bajo ciertas condiciones preestablecidas de generación, carga y topología de red.

Con el flujo de potencia se obtienen los niveles de tensión en magnitud y ángulo de todas las barras del sistema, la potencia que circula por los elementos de la red y

sus pérdidas.

## 2.2 FLUJO DE POTENCIA CONVENCIONAL

La ecuación de equilibrio de un sistema eléctrico de potencia en base al sistema de referencia nodal es:

$$I_B = Y_B * \bar{E}_B \quad (1)$$

donde:

$I_B$  = vector de corrientes netas inyectadas en la red.  
 $Y_B$  = matriz admitancia de barra.  
 $\bar{E}_B$  = vector de voltajes de barra.

Entonces para una barra p cualquiera, se tiene que:

$$I_p = \sum_{i=1}^n Y_{pi} E_i \quad (2)$$

p = 1, ..., n  
n = No. total de barras la red.

Si se define a  $S_p$  como potencia neta inyectada a la barra p la misma que es igual a:

$$S_p = P_p + jQ_p = E_p I_p^* \quad (3)$$

al relacionar a las corrientes inyectadas con las potencias netas inyectadas a las barras se obtiene un sistema de ecuaciones que resuelve el flujo de potencia:

$$S_p = P_p + jQ_p = E_p \sum_{i=1}^n Y_{pi} E_i^* \quad (4)$$

p = 1, ..., n

Por lo tanto, dependiendo del tipo de barra que se defina en la red, el sistema de ecuaciones a resolver es:

- Para las barras de carga:

$$P_p + jQ_p = E_p^* I_p = E_p^* \sum_{i=1}^n Y_{pi} E_i \quad (4)$$

p = 1, ..., m  
m = No. de Barras de carga.  
p ≠ barra oscilante.

- Para las barras de tensión controlada:

$$P_p = \text{Re}\{E_p^* I_p\} = \text{Re}\{E_p^* \sum_{i=1}^n Y_{pi} E_i\} \quad (5)$$

$$|V_p| = |E_p| \quad (5)$$

p = m+1,  
p ≠ barra osc.

Por consiguiente, el sistema lineal de ecuaciones (2) se transforma en el sistema (4) y (5) y son estas ecuaciones las que se deben resolver. Las incógnitas son los elementos del vector voltaje de barra ( $E_B$ ) excepto para la barra oscilante.

Hay que notar que el sistema de ecuaciones (4) y (5) es no lineal (existen términos complejos  $E_p E_i$ ), por eso, para su solución se recurre a técnicas iterativas tales como las de Gauss-Seidel y de Newton-Raphson.

Una vez encontrados los elementos del vector  $E_B$ , se debe determinar el flujo de potencia por cada uno de los elementos, también la generación de la barra oscilante y las pérdidas del sistema. Con esto se obtiene el flujo de potencia de un sistema eléctrico.

### 2.2.1 METODO DE NEWTON-RAPHSON

El método de Newton-Raphson Formal convierte el sistema no lineal de ecuaciones del flujo de potencia en un conjunto lineal. Se consigue dicha linealización, al expandir las funciones no lineales en series de Taylor alrededor del punto de solución del problema.

El sistema de ecuaciones no lineal a resolver expresado en forma matricial es:

$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{P} \\ \Delta \bar{Q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{\delta} \\ \Delta \bar{V}/V \end{bmatrix}$$

A la matriz formada por H, N, J, L se le denomina matriz JACOBIANO. La división  $\Delta V/V$  sirve para simplificar algunos términos de esta matriz.

Por lo tanto el conjunto de ecuaciones lineales se resuelve para  $\Delta \bar{\delta}$  y  $\Delta \bar{V}$  por algún método directo o iterativo, por ejemplo el método de bifactorización.

Los métodos de N-R Desacoplado, N-R Desacoplado Rápido y de Segundo Orden parten del método de N-R Formal o General, la concepción teórica de estos métodos se pueden encontrar en las referencias [1], [2], [3], [4], [26].

### 2.3 FLUJO DE POTENCIA PARA SISTEMAS MAL CONDICIONADOS

El sistema de ecuaciones que determinan el problema de flujo de potencia de un SEP, generalmente tiene algunas soluciones, pero solamente una corresponde al modo físico de operación; sin embargo existen algunas redes eléctricas que operan cerca de sus límites de estabilidad y al aplicar dos o más programas o algoritmos de resolución de flujos se obtienen soluciones distintas, que matemáticamente convergen, a este tipo de redes se las denomina MAL CONDICIONADAS.

Existen también otro tipo de redes que con ningún método de resolución de flujos de potencia converge, es decir no se puede obtener resultados.

Para esta clase de redes que presentan problemas de mal condicionamiento (ya sea por su estructura o por su punto de operación) se presenta un método de resolución, el mismo que se basa en el de Newton-Raphson Segundo Orden y en la utilización de un multiplicador óptimo, que corrige los incrementos  $\Delta P$ ,  $\Delta Q$ ,  $\Delta V^2$  para asegurar la convergencia. El modelo matemático vease en la referencia [26].

### 2.4 FLUJO DE POTENCIA ESTOCÁSTICO

En los planteamientos matemáticos determinísticos, los valores de las

potencias activa y reactiva inyectadas en las barras, son cantidades pronosticadas y se las especifican como valores fijos, por lo tanto la validez de los resultados depende básicamente de esos datos pronosticados.

Para determinar los posibles rangos de variación de las variables de estado comunmente se analizan metódica y organizadamente varios casos de flujos de potencia.

Una característica primordial del flujo estocástico es que los valores esperados coinciden con la solución determinística del problema; razón por la cual este tipo de flujo de potencia parte de una solución convencional ó determinística y luego se realiza el cálculo de las variaciones de las variables alrededor de su solución esperada, en base a la incertidumbre de los datos de entrada.

La ventaja de correr un flujo de potencia estocástico debidamente formulado, es que ahorra el análisis de muchos flujos determinísticos.

El planteamiento matemático del Flujo de Potencia Estocástico véase en la referencia [26].

## 2.5 FLUJO DE POTENCIA LINEAL

El flujo de potencia lineal ó de corriente continua es una aproximación del flujo de potencia convencional.

Este tipo de flujo convierte las ecuaciones no lineales del flujo de potencia en ecuaciones lineales a través de algunas suposiciones, las mismas que son:

- Se asume que todas las barras del sistema tienen como magnitud de voltaje 1.0 pu
- Se desprecia las resistencias de las líneas.

De esta manera se conocerá aproximadamente la distribución de la potencia activa por la red. Por lo tanto se plantea unicamente la ecuación de potencias activas netas inyectadas en las barras, es decir:

$$\bar{P} = [B] \bar{\delta} \quad (6)$$

donde:

[B] = matriz formada por la parte imaginaria de la matriz admitancia de barra.

$\bar{P}$  = vector de las potencias netas inyectadas a las barras.

$\bar{\delta}$  = vector de los ángulos de voltaje de las barras.

Al resolver el sistema lineal (6) se encuentra el vector  $\bar{\delta}$  y por consiguiente se puede calcular el flujo de potencia activa que circula por los elementos del sistema.

$$P_{pq} = \frac{1}{x_{pq}} (\delta_p - \delta_q)$$

$x_{pq}$  = reactancia del elemento ubicado entre la barra p y q

## 2.6 FLUJO OPTIMO DE POTENCIA

Es un flujo de potencia optimizado en algún sentido y que cumple con un conjunto de restricciones. Se requiere de una función objetivo, la cual se debe optimizar (maximizar o minimizar) y de una técnica de optimización.

Entre las funciones objetivo se tienen:

- Minimizar los costos de generación.
- Minimizar las pérdidas del sistema.
- Minimización de los costos de generación

Es repartir la potencia total de carga entre las diferentes unidades de generación, con el objeto de obtener la mayor economía en el funcionamiento del sistema.

Para realizar el despacho económico se considera que las unidades de generación son térmicas. Si las unidades de generación son hidráulicas se considera que puede obtenerse el equivalente en unidades térmicas.

- Minimización de pérdidas

Se considera que se puede minimizar aún más los costos, realizando una adecuada distribución del flujo de reactivos por el sistema, con una configuración de voltaje en las barras adecuada. La minimización de pérdidas se obtiene minimizando la generación de potencia activa de la barra oscilante.

Se formula el flujo óptimo de potencia partiendo de un flujo de potencia factible. El proceso de optimización conjuga la técnica de los multiplicadores de Lagrange y la técnica del gradiente reducido. Como restricciones de igualdad toma el flujo de potencia mismo y como restricciones de desigualdad los límites máximo y mínimo de las variables de control. Se incluyen las restricciones funcionales de desigualdad para tomar en cuenta los límites máximos y mínimos de las variables de estado y las potencias reactivas de generación y se amplían las funciones objetivo con penalizaciones para incluir tales restricciones.

En el caso de flujo óptimo, la optimización es una minimización, para la que se requiere de un conjunto de variables de control, que se las toma del vector y de variables independientes y se lo divide en dos vectores:

$$\bar{y} = \begin{bmatrix} \bar{u} \\ \bar{p} \end{bmatrix}$$

$\bar{u}$  = Vector de variables de control.

$\bar{p}$  = Vector de variables fijas.

El vector  $\bar{u}$  estará formado por parámetros controlables que son:

- Magnitudes de voltaje en las barras PV

laps en los transformadores  
Potencias activas de generaci3n PG

Se establece tres tipos de optimizaci3n:

- Flujo 3ptimo de potencia activa (despacho econ3mico)
- Flujo 3ptimo de potencia reactiva (minimizaci3n de p3rdidas)
- Flujo 3ptimo general (los dos a la vez)

Para cada tipo de optimizaci3n es necesario definir la funci3n objetivo.

### 2.6.1 FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA

La funci3n objetivo se la define para minimizar costos de generaci3n.

Se asumen unidades t3rmicas de generaci3n, por cuanto la funci3n objetivo para  $c$ /unidad ser3 la funci3n de costo de combustible la cual se le aproxima a una funci3n cuadr3tica aunque en algunos casos se puede considerar que es lineal 3 c3bica [13]. De modo que:

$$C(PG) = aPG^2 + bPG + c \quad (7)$$

Para el sistema que habiamos considerado con M barras PU, S barras PV y una barra oscilante, dividimos a las S barras en dos tipos:

- SS barras PV asociadas a condensadores s3ncr3nicos.
- (S-SS) barras PV, con generaci3n de potencia activa y reactiva.

La funci3n objetivo de todo el sistema para despacho econ3mico ser3:

$$f = a_1 P_{e1}^2 + b_1 P_{e1} + c_1 + \sum_{i=1}^{k_2} (a_i P_{e_i}^2 + b_i P_{e_i} + c_i) \quad (8)$$

donde:

$$k_1 = M+1$$

$$k_2 = M+S-SS+1$$

El vector de control u estar3 formado por las siguientes variables:

$$u = \begin{cases} \text{Potencias activas de generaci3n en las barras PV no asociadas a condensadores s3ncr3nicos.} \end{cases}$$

### 2.6.2 FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA

Al resolver el flujo de potencia, la barra oscilante cubre las p3rdidas del sistema, por esta raz3n no se especifica potencias en la barra oscilante.

La ecuaci3n de equilibrio ser3:

$$PG_1 = PL + \sum PC - \sum PR \quad (9)$$

donde:

PG<sub>1</sub> : Potencia de generaci3n de la barra oscilante  
PL : Potencia de p3rdidas del sistema

SPC : Potencia total de carga del sistema  
SPG : Potencia total de generaci3n, excluyendo la barra oscilante.

De acuerdo a esto, minimizar las p3rdidas del sistema, significa minimizar la potencia activa neta de la barra oscilante. La funci3n objetivo ser3:

$$f = P_{NET1} = P_1(x,y) \quad (10)$$

El vector u estar3 formado por las siguientes variables:

$$u = \begin{cases} \text{- Magnitudes de voltaje en las barras de tensi3n controlada.} \\ \text{- Magnitud de voltaje en la barra oscilante} \\ \text{- laps en los transformadores} \end{cases}$$

### 2.6.3 FLUJO OPTIMO DE POTENCIA GENERAL

Se va a realizar despacho econ3mico y minimizaci3n de p3rdidas simult3neamente. La funci3n objetivo ser3 la misma que para despacho econ3mico. La diferencia se encontrar3 en las variables de control:

$$f = a_1 P_{e1}^2 + b_1 P_{e1} + c_1 + \sum_{i=k_1}^{k_2} (a_i P_{e_i}^2 + b_i P_{e_i} + c_i) \quad (11)$$

En donde:

$$k_1 = M+2$$

$$k_2 = M+S-SS+1$$

El vector de control u estar3 formado por:

$$u = \begin{cases} \text{- Magnitudes de voltaje en las barras PV} \\ \text{- Magnitud de voltaje en la barra oscilante} \\ \text{- laps en los transformadores} \\ \text{- Potencias activas de generaci3n en las barras PV, no asociadas a condensadores s3ncr3nicos.} \end{cases}$$

El flujo 3ptimo de potencia, utiliza el m3todo de N-R formal para la resoluci3n del flujo de potencia y para el proceso de optimizaci3n usa el m3todo propuesto por Dommel-Bonney [14], que hace uso de la t3cnica de los multiplicadores de Lagrange, del teorema de Kuhn-Tucker y del m3todo del gradiente reducido [21], [27].

### 2.6.4 MODELOS DEL FLUJO OPTIMO DE POTENCIA

El flujo 3ptimo de potencia, puede tener diferentes planteamientos en funci3n de las restricciones del problema a optimizar, as3:

- a.- Modelo sin restricciones de desigualdad.
- b.- Modelo con restricciones de desigualdad.

c.- Modelo con restricciones funcionales.

Los modelos matemáticos para la resolución de estos modelos se hallan descritos en las referencias [21],[27].

### 3.- FORMULACION Y DISEÑO DEL MODELO INTERACTIVO PARA FLUJOS DE POTENCIA

Para la formulación y diseño del modelo interactivo para Flujos Potencia, se ha construido una base de datos informatizada, la cual tiene la finalidad de administrar la información total existente sobre un Sistema Eléctrico de Potencia.

La base de datos puede definirse como una colección de datos interrelacionados, almacenados en conjunto sin redundancias perjudiciales o innecesarias. Los datos se almacenan de modo que resulten independientes de los programas que los usan [22].

La base de datos se encuentra conformada por entidades y cada una de estas entidades dispone de atributos.

El proceso desarrollado para la conformación de los programas interactivos, consiste de tres niveles de transformación:

- El análisis conceptual
- La concepción lógica
- La concepción física

#### 3.1 DEFINICION CONCEPTUAL DEL MODELO

El análisis conceptual, conduce a elaborar una descripción completa del sistema de información que se desea implementar, que es independiente de la noción misma de la herramienta informática. Esta descripción constituye las especificaciones de la solución deseada [11].

Para el presente caso se desea desarrollar un sistema interactivo; para resolver flujos de potencia; que permita una fácil comunicación a través del teclado y pantalla del computador. Se podrá obtener información teórica de los flujos de potencia, presentará menús de ayuda que faciliten el ingreso de datos, se detectarán errores en el ingreso de datos. Se podrá ejecutar los tipos de flujos de potencia indicados.

##### 3.1.1 DEFINICION DE FUNCIONES.-

En el modelo del Sistema Eléctrico de Potencia se considera las siguientes funciones:

- \* Mantenimiento de Datos. (Edición, creación ó eliminación de datos.)
- \* Consulta de Datos, resultados
- \* Reportes tanto de datos como de resultados.
- \* Funciones específicas tales como los programas que resuelven cinco tipos de flujos de potencia (Flujo Convencional resuelto por seis métodos, Flujo para sistemas mal condicionados, flujo estocástico, flujo de potencia lineal, flujo de potencia óptimo).

\* Funciones operacionales esto es los menús, submenús de ayuda y todos los programas que le dan al modelo una característica interactiva.

\* Funciones de apoyo, es decir funciones que faciliten la consulta de información teórica sobre Flujos de Potencia y el Manual de Uso de los programas

#### 3.1.2 ESQUEMA CONCEPTUAL DE LA BASE DE DATOS

Con las funciones definidas, se elabora el esquema conceptual y se determina las siguientes entidades:

Sistemas, Barras, Elementos Serie y para flujos estocásticos además se define una entidad para los Coeficientes de Correlación.

En el Gráfico 1 se puede observar la relación entre las distintas entidades para el caso del programa interactivo de flujos de potencia.

En el Gráfico 2 se presenta el esquema conceptual resultante específicamente para el programa interactivo de flujos óptimos de potencia.

#### 3.2 ANALISIS LOGICO DEL SISTEMA DE BASE DE DATOS

La concepción lógica conduce a partir de la solución conceptual a la definición de una solución más detallada, que es ejecutable, por una máquina abstracta, estrictamente independiente de las máquinas reales [11]. La secuencia de eventos de los programas interactivos para flujos de potencia se presentan en los Gráficos 3 y 4.

#### 3.3 ANALISIS FISICO DEL SISTEMA DE BASE DE DATOS

La concepción física da una solución correcta, eficaz y ejecutable para una máquina real [11].

En el presente caso, tanto para el esquema físico de la base, como para la elaboración de los programas que satisfacen las funciones definidas en los análisis conceptual y lógico, se ha escogido el administrador de base de datos FOXBASE, por las ventajas que ofrece para el desarrollo de sistemas computacionales necesarios para almacenar y recuperar la información de una forma más eficiente y también en el desarrollo de ficheros de órdenes para formar el sistema basado en menús que aparezcan en la pantalla y permitan ingresar, obtener y manipular la información de la base de datos.

Para los programas especiales se ha utilizado el FORTRAN IV.

Estos programas funcionarán en un computador compatible con IBM que tenga una memoria como mínimo de 640 kb. Además es indispensable la existencia de un disco duro.

Los programas de flujo de potencia, resuelven sistemas eléctricos de hasta 100 barras con 125 elementos de interconexión, 100 elementos en derivación a tierra, y excepción del flujo estocástico que resuelve

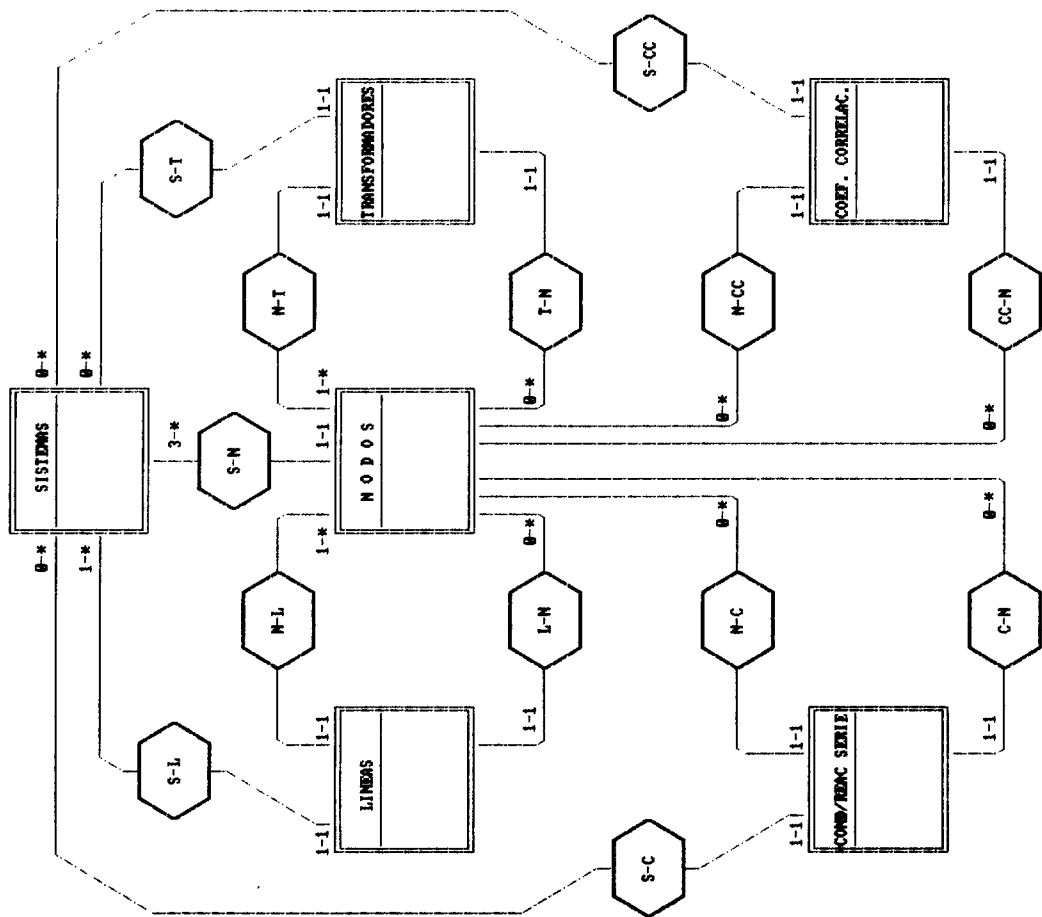


Grafico No. 1 Esquema Conceptual de la Base de Datos para Flujos de Potencia

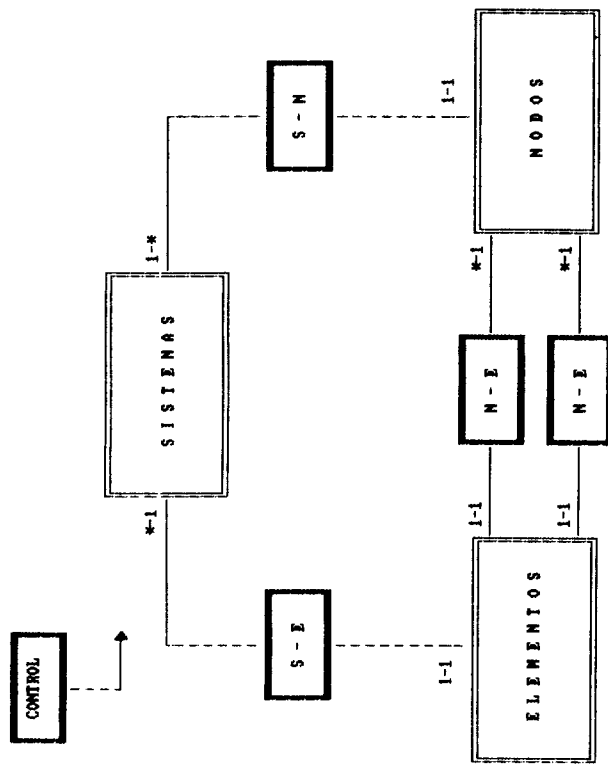


Grafico 2. Esquema Conceptual de la Base de Datos para Flujos Optimos.

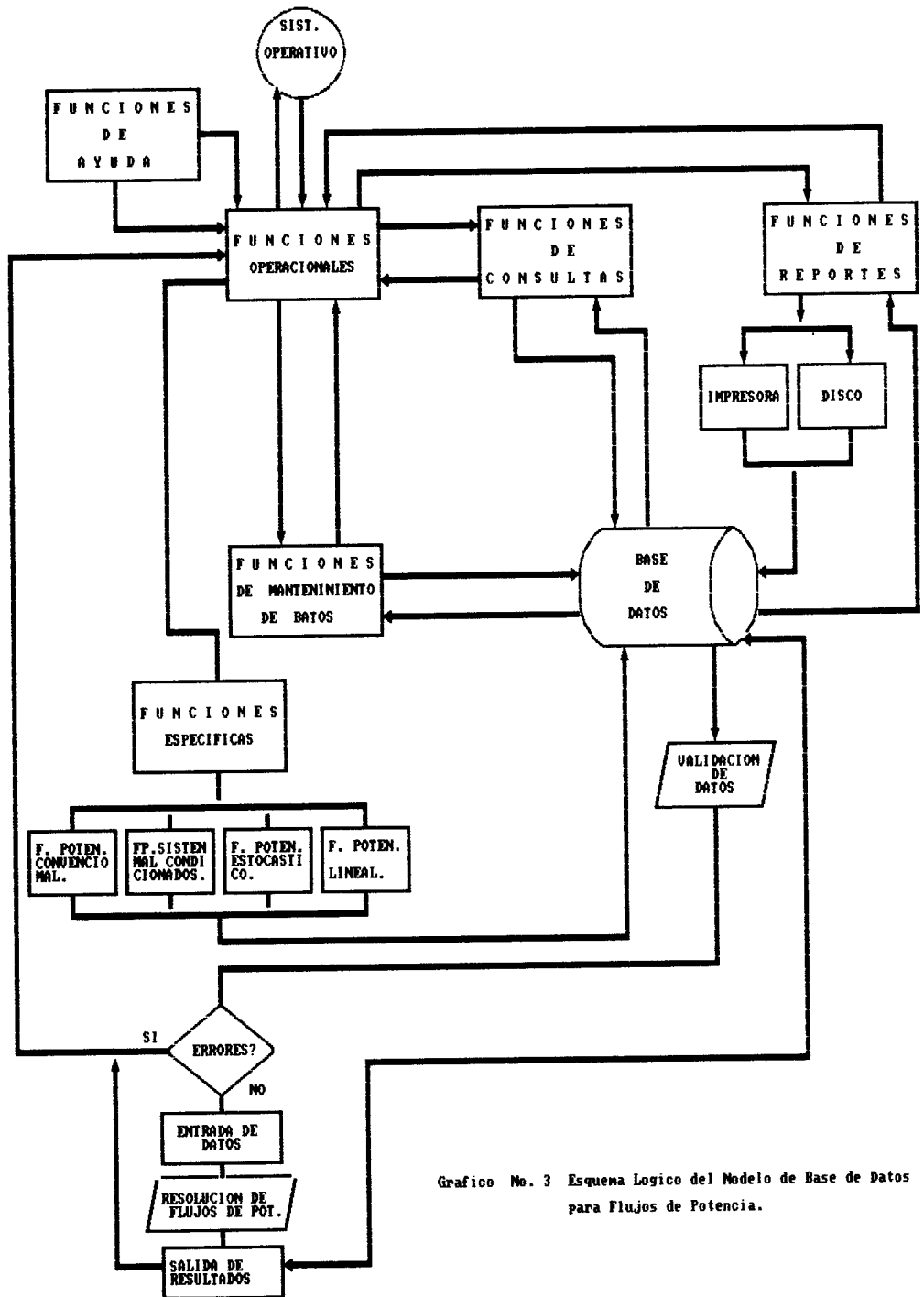


Grafico No. 3 Esquema Logico del Modelo de Base de Datos para Flujos de Potencia.

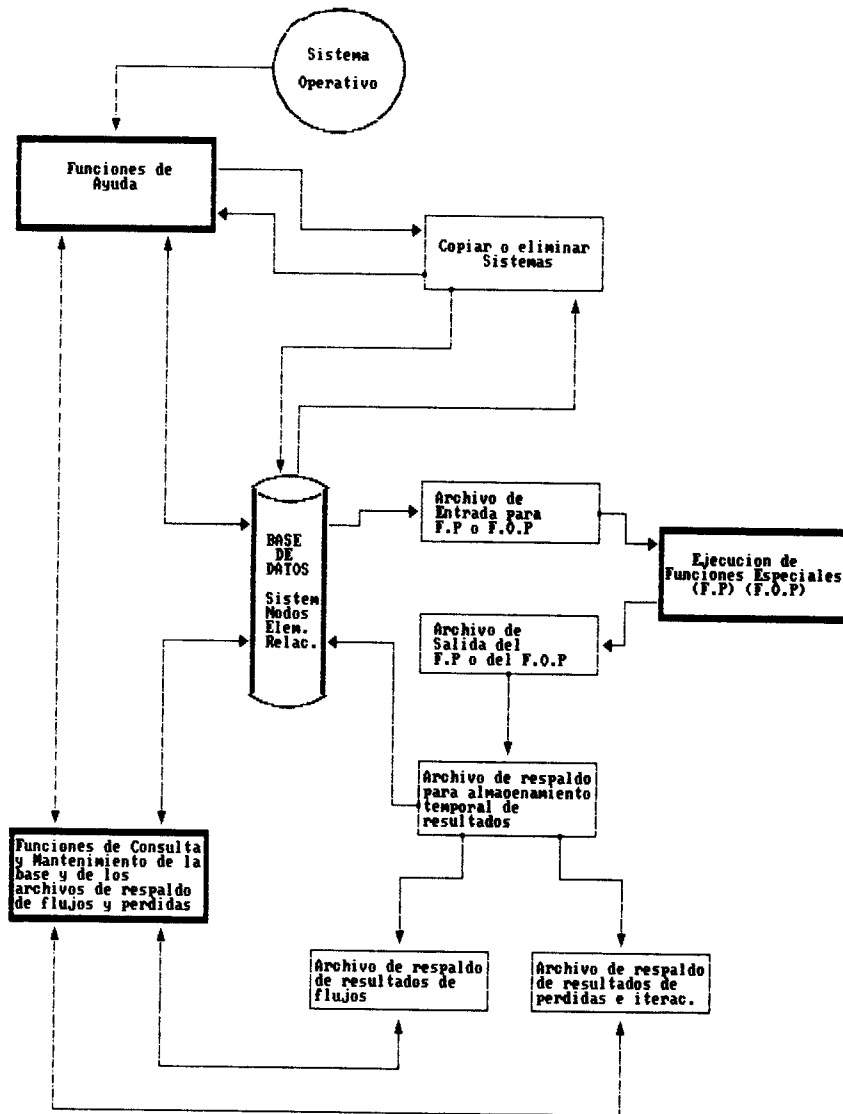


Grafico 4 Secuencia de eventos del Programa Interactivo para Flujos Optimos.



sistemas de hasta 30 barras y 40 elementos de interconexión.

En el caso de flujo óptimo de potencia la capacidad de resolución es de 40 barras.

Los programas funcionan con cualquier número de barras de tensión controlada, además deben poseer por lo menos una barra de carga y la barra oscilante.

El ingreso de datos de barras puede ser en cualquier orden, la numeración de las barras se efectúa automáticamente es decir ya no es necesario que el usuario las enumere. Los valores iniciales de las variables de cada barra (de acuerdo al tipo de barra) son asignados internamente, así por ejemplo para la barra de carga no se pide el valor del Módulo del voltaje, automáticamente se asigna 1.0 pu.

Es importante indicar que el ingreso de datos a la Base es único, indistintamente del tipo de flujo ó método a utilizar. A partir de los datos de la Base se genera otros datos que requieren los distintos flujos.

La entrada de datos de los programas desarrollados se adaptaron para que los datos sean leídos de un archivo secuencial, los mismos que serán validados antes de ser procesados en los programas de resolución.

En igual forma se adaptó la salida de datos, para tener como resultado un archivo secuencial.

### 1 APLICACIONES DE LOS PROGRAMAS INTERACTIVOS DE FLUJOS DE POTENCIA

En la actualidad, con los computadores personales se tiene una herramienta muy útil para la enseñanza de Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) ya que tiene gran importancia la realización de ejemplos ilustrativos, con el objeto de ejercitar al estudiante en la resolución de problemas que se presentan en un SEP.

Usando pequeñas redes de potencia, los estudiantes están en posibilidad de observar los efectos de cambios en parámetros de la red y de estrategias operativas sobre voltajes, corrientes y flujos de potencia. Otro uso de esta programación interactiva, sería para que el estudiante aprenda a ajustar certeramente parámetros, con el objeto de obtener valores de otros parámetros, que se encuentren dentro de tolerancias especificadas [9].

En el programa de flujos de potencia se centraliza cuatro tipos de flujos y seis métodos de resolución para flujos de potencia convencional, de esta forma el estudiante puede resolver cada flujo ó método con un mismo SEP y comparar sus resultados; de su análisis puede ir adquiriendo criterios para saber que método utilizar con los diferentes Sistemas Eléctricos. El programa también es un medio didáctico para estudiar la teoría de flujos de potencia, puesto que el usuario puede consultar por la pantalla del computador ó imprimir, las definiciones básicas de flujos de potencia, sus planteamientos matemáticos, los métodos de resolución y algoritmos.

La pantalla del menú principal para el caso de flujos de potencia se presenta en el gráfico No. 6.

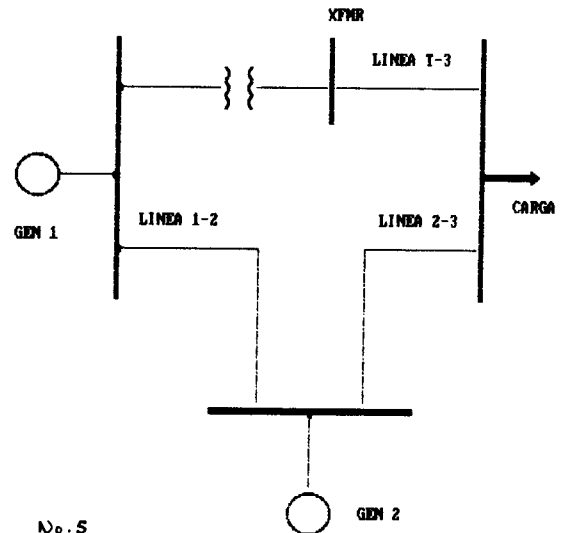
El programa de flujos óptimos de potencia presentará la factibilidad de ejecutar un flujo de potencia por el método de N-R, o la ejecución de cualquiera de los tres tipos de optimización: de potencia activa, de potencia reactiva o general. Con un sistema se puede instruir al estudiante en casi todos los importantes conceptos del flujo óptimo de potencia manteniendo en él el interés y la seguridad de que siempre el resultado será exitoso impidiendo que en algún momento se quede sin ninguna opción a realizar.

El menú principal del programa de Flujos Óptimos se indica en el Gráfico No. 7.

Como ejemplo demostrativo para flujos de potencia se presenta el siguiente sistema eléctrico de 3 barras, en el cual al resolver los distintos flujos de potencia se obtienen los resultados que se observan en las siguientes tablas. Para la tabulación de los resultados se asumirá el siguiente convenio:

- Gauss-Seidel [G-S]
- N-R Formal en coord. polares [N-R(FP)]
- N-R Desacoplado coord. polares [N-R(DP)]
- N-R-D Rápido coord. polares [N-R(DRP)]
- N-R Formal en coord. rectang. [N-R(CR)]
- N-R Segundo Orden [N-R(SO)]
- N-R con multiplicador óptimo [N-R(MO)]
- Flujo de Potencia Lineal [FP-LIN]
- Flujo de Pot. Estocástico [FP-EST]

DIAGRAMA UNIFILAR DEL EJEMPLO DEMOSTRATIVO  
FLUJOS DE POTENCIA



MANTENIMIENTO DE ARCHIVOS DE DATOS	CONSULTA	REPORTES	CALCULO DE FLUJOS DE POTENCIA
Paramet. Generales Sistemas Barras Líneas Transformadores Cond/React Serie Coef. Correlación Conexiones	Parámet. Generales Sistemas Barras Líneas Transformadores Cond/React Serie Coef. Correlación Conexiones Validaciones Resultados Direc. Resultados Teoría Manual de Uso	Barras Líneas Transformadores Cond/React Serie Estocásticos Result. Determin.  Salir al Sistema	Gauss-Seidel NR Formal NR Descacoplado NR Desac. Rápido NR Coor. Rectang. NR 2do. Orden F.P.S. Mal Cond. F.P. Estocástico F.P. Lineal

Posicione el cursor junto a la opción que desee y presione <RTN>

Verificación y edición de Parámetros de Generales de Flujos de Potencia.

Grafico No. 6

PROGRAMAS INTERACTIVOS DE FLUJO OPTIMO PARA LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

CREACION Y EDICION DE SISTEMAS	CONSULTAS	REPORTES	EJECUCION PROGRAMAS
Crear Datos Gnrls. Editar Datos Gnrls. Crear/Edt. Barras Crear/Edt. Element. Crear/Edt. Reac/Co Crear/Edt. Lim. Gen Crear/Edt. Lim. Tap Elimina Dat. Flujos	Teoría F.O.P Direct. Sistemas DATOS Datos de Barra Datos de Element. Datos de Reac/Cond Dat. de Lim. Generac. Datos de Lim. Taps. RESULTADOS Res. Variab. Control Función Objetivo Result. de Barras Result. de Flujos Pérdidas. Iterac.	DATOS Dat. Generales Dat. Barras Dat. Element. Dat. Reac/Cond. Dat. Lim. Generac. Dat. Lim. Taps RESULTADOS Resul. Barras Resul. Flujos Función Objet. Res. Variab. Control Perdidas. Iterac.	Flujo de Potencia Flujo Optimo 1 Flujo Optimo 2 Flujo Optimo 3 Copia de Sistemas Eliminar Sistemas Empaquetamiento

Ingreso de Datos Generales Sistemas Eléctricos de Potencia

Grafico No. 7

DATOS DE BARRAS

CODIGO	TIPO	VOLT.	F-GEN	Q-GEN	Q-MAX	Q-MIN	F-L	Q-L
		(pu)	(MW)	(MVAR)	(MVAR)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)
GEN1	PV	1.02	276.57	0.00	300.0	0.00	0.00	0.00
GEN2	NS	1.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
LOAD	PQ	1.00	0.00	0.00	0.0	0.00	359.99	119.99
XFMR	PQ	1.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00

DATOS DE LINEAS

CODIGO	BARRA P	BARRA Q	RESIST.	REACT.	SUSCEP.	P.LIMITE
			(%)	(%)	(MVAR)	(MW)
L12	GEN1	GEN2	2.50	10.0	10.0	100.0
L23	GEN2	LOAD	3.75	15.0	20.0	100.0
LT3	LOAD	XFMR	1.25	5.0	10.0	100.0

DATOS DE TRANSFORMADORES

CODIGO	BARRA P	BARRA Q	REACT.	TAP-P	TAP-Q	P.NOMINAL
			(%)	(pu)	(pu)	(MW)
A1	GEN1	XFMR	2.00	1.00	1.00	100.0

Se asumirá como Potencia Base 100 MVA

POTENCIA DE GENERACION DE LA BARRA FLOTANTE

METODO	MW	MVAR
G-S	99.984	13.262
NR-(FP)	99.970	13.261
NR-(DP)	99.966	13.261
NR-(DRP)	99.966	13.261
NR-(CR)	99.969	13.259
NR-(SO)	99.929	13.201
NR-(MO)	99.971	13.261
FP-LIN	83.436	0.000
FP-EST	99.970	13.261

VOLTAJES DE BARRA

MODULO (pu):

BARRA	G-S	NR(FP)	NR(DP)	NR(DRP)	NR(CR)	NR(SO)	NR(MO)	FP-LIN	FP-EST
GEN1	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.00	1.02
GEN2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
LOAD	0.903	0.903	0.903	0.903	0.903	0.903	0.903	1.00	0.903
XFMR	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	1.00	0.994

ANGULO (grad):

BARRA	G-S	NR(FP)	NR(DP)	NR(DRP)	NR(CR)	NR(SO)	NR(MO)	FP-LIN	FP-EST
GEN1	0.543	0.542	0.542	0.542	0.542	0.543	0.542	1.226	0.542
GEN2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00
LOAD	-9.810	-9.800	-9.800	-9.800	-9.800	-9.800	-9.800	-9.01	-9.800
XFMR	-2.430	-2.430	-2.430	-2.430	-2.430	-2.430	-2.430	1.70	-2.430

EJEMPLO DE APLICACION PARA FLUJOS OPTIMOS DE POTENCIA. SISTEMA DE 5 BARRAS

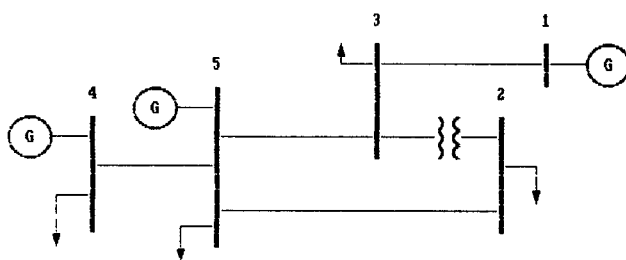


Diagrama Unifilar del Ejemplo para Flujos Optimos.

DATOS DE BARRA

BARRA No.	TIPO	VOLT. (P.U.)	VOLT. MAX (P.U.)	VOLT. MIN. (P.U.)	ANGULO (RAD)	P. ACT. GEN. (MW)	P. REACT. GEN. MAX (MVAR)	P. REACT. GEN. MIN. (MVAR)	P. ACT. CARGA (MW)	P. REACT. CARGA (MVAR)
2	PD	1.00	1.05	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	12.00
3	PD	1.00	1.05	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	70.00	3.00
4	PVG	1.05	1.05	0.95	0.00	100.00	70.00	50.00	86.00	20.00
5	PVG	1.05	1.05	0.95	0.00	100.00	100.00	0.00	80.00	10.00
1	DSC	1.05	1.05	0.95	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00

PQ= CARGA PVG= TENSION CONTROLADA CON GENERACION DSC=OSCI LANTE

DATOS DE ELEMENTOS SERIE

TIPO ELEM.	BARRA P	BARRA Q	IMPEDANCIA		ADMITANCIA A TIERRA (P.U.)	POSICION INICIAL DEL TAP
			P. REAL (P.U.)	P. IMAGINARIA (P.U.)		
L	4	5	0.03000	0.10300	0.00000	0.0000
L	2	5	0.08000	0.26200	0.00000	0.0000
L	3	5	0.10500	0.34700	0.00000	0.0000
T1	2	3	0.00000	0.01950	0.00000	1.0250
L	3	1	0.10500	0.40300	0.00000	0.0000

T1= Transformador cuyo tap se optimiza

DATOS DE LIMITES DE GEN. DE POT. ACTIVA Y COEF. DE FUNCIONES OBJETIVO

TIPO	BARRA No.	P. ACT. GEN. MAX. (MW)	P. ACT. GEN. MIN. (MW)	COEF. A (\$/H)	COEF. B (\$/H)	COEF. C (\$/H)
PVG	4	200.00	50.00	50.00	245.00	105.00
PVG	5	100.00	20.00	50.00	389.00	40.6
DSC	1	100.00	20.00	50.00	351.00	44.00

LIMITES DE TAPS DE TRAFOS DE TIPO T1

TIPO TAP	BARRA P CONTROLADA	BARRA Q DE CONTROL	VALOR MAXIMO DEL TAP	VALOR MINIMO DEL TAP
T1	2	3	1.05	0.95

Potencia base : 100.00

FLUJO OPTIMO GENERAL

RESULTADOS DE BARRAS

BARRA No.	NOMBRE	TIPO	VOLTAJE		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (P.U)	ANGULO (GRADOS)	ACTIVA (MW)	REACTIVA (MVAR)	ACTIVA (MW)	REACTIVA (MVAR)
1		OSC	1.05	0.00	54.46	10.55	0.00	0.00
2		PQ	0.998	-11.77	0.00	0.00	30.00	12.00
3		PQ	0.9749	-11.74	0.00	0.00	70.00	3.00
4		PVG	1.05	-3.4	170.55	12.89	86.00	20.00
5		PVG	1.0362	-8.11	47.11	43.59	80.00	10.00

RESULTADO DE LA FUNCION OBJETIVO

COSTO TOTAL DE GENERACION (MINIMO) : 1153.20 \$

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA (MINIMAS): 6.115 MW

FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA

RESULTADOS DE BARRAS

BARRA No.	NOMBRE	TIPO	VOLTAJE		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (P.U)	ANGULO (GRADOS)	ACTIVA (MW)	REACTIVA (MVAR)	ACTIVA (MW)	REACTIVA (MVAR)
1		OSC	1.0500	0.00	54.25	7.93	0.00	0.00
2		PQ	1.0090	-11.76	0.00	0.00	30.00	12.00
3		PQ	0.9853	-11.72	0.00	0.00	70.00	3.00
4		PVG	1.0500	-3.38	170.37	-0.75	86.00	20.00
5		PVG	1.0500	-8.22	47.55	59.97	80.00	10.00

RESULTADO DE LA FUNCION OBJETIVO

COSTO TOTAL DE GENERACION (MINIMO) : 1153.53 \$

FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA

RESULTADOS DE BARRAS

BARRA No.	NOMBRE	TIPO	VOLTAJE		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (P.U)	ANGULO (GRADOS)	ACTIVA (MW)	REACTIVA (MVAR)	ACTIVA (MW)	REACTIVA (MVAR)
1		OSC	1.0500	0.00	54.24	8.21	0.00	0.00
2		PQ	1.0078	-11.75	0.00	0.00	30.00	12.00
3		PQ	0.9843	-11.72	0.00	0.00	70.00	3.00
4		PVG	1.0500	-3.37	170.37	0.70	86.00	20.00
5		PVG	1.0486	-8.20	47.54	58.20	80.00	10.00

RESULTADO DE LA FUNCION OBJETIVO

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA (MINIMAS) : 6.154 MW

Además estos paquetes de programas se pueden utilizar en la resolución de flujos de potencia en sistemas eléctricos reales (tomando en cuenta las limitaciones observadas para cada uno de ellos), puesto que el diseño de la Base de datos y de los programas de resolución así lo permiten. Los sistemas eléctricos que se han probado son: El Sistema Nacional Interconectado, y el Sistema Quito.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

##### CONCLUSIONES

1. Los programas interactivos se encuentran constituidos por una colección de programas pequeños, a los que podríamos llamar módulos, cada uno realizando una función específica, de tal forma que muchas de las subrutinas presentadas pueden ser utilizadas en otros programas.
2. La Base de Datos está diseñada de tal forma que existe un archivo por cada elemento del sistema eléctrico. De esta manera el modelo de la Base de Datos corresponde a un Sistema Eléctrico real.
3. La Base de Datos cumple con la característica de ser independiente de sus programas de aplicación, que en este caso son los programas que resuelven los flujos de potencia, de esta forma, esta Base fácilmente puede ser adaptada a otras aplicaciones tales como Estabilidad, Cortocircuitos etc.
4. Los paquetes desarrollados constituyen un sistema basado en menú que aparecen en la pantalla, liberando al usuario del ingreso de datos que deben ajustarse a un determinado formato. Además en el proceso de ingreso de datos, se verifican si los datos ingresados tienen validez y se encuentran dentro de ciertos rangos especificados, caso contrario envía a pantalla mensajes de error y el proceso de ingreso de datos no continuará mientras el dato ingresado no tenga un valor adecuado.
5. El programa interactivo de flujos de potencia convencional, para sistemas mal condicionados y lineal permite el ingreso de datos de cualquier sistema que tenga un número de barras como máximo de 100, mientras que los flujos de potencia estocásticos y óptimo resuelven sistemas eléctricos de hasta 30 y 40 barras respectivamente. Por lo tanto, tienen aplicación para fines didácticos como también para utilización práctica en la resolución de sistemas eléctricos de empresas. Este límite irá aumentando, con el desarrollo de computadores cada vez más rápidos y con mayor capacidad de memoria.
6. Es importante recalcar la rapidez con la que se puede obtener resultados con los programas desarrollados para flujos de potencia, tal es así que para sistemas pequeños (alrededor de 14 barras) el tiempo promedio de

resolución es de medio minuto. Para sistemas reales como el SNI, el tiempo promedio es de tres a cuatro minutos. En el caso del flujo óptimo de potencia, sistemas pequeños como el presentado en el ejemplo se resuelven en un tiempo promedio de 5 minutos, incrementándose este valor conforme aumenta el número de barras del sistema a resolverse.

7. Con los programas creados, se pueden diseñar sistemas en condiciones tales que no satisfagan tolerancias especificadas para una solución satisfactoria. Este diseño puede ser realizado con el objeto de forzar al estudiante a tomar pasos correctivos, basados en sus conocimientos sobre los fundamentos de los sistemas de potencia. O teniendo la solución de un caso base, el estudiante puede proceder a realizar sus propios cambios, sobre este caso y observar los efectos sobre el sistema analizado.
8. El programa interactivo, presenta una significativa importancia, ya que actualmente, los computadores han venido a constituir la más importante herramienta en el diseño y operación de modernos sistemas de potencia. Por tanto es importante, que el estudiante siga familiarizándose con el uso de un programa de este tipo, de manera que en el futuro pueda desempeñarse adecuadamente con otros programas similares que más tarde pudiere encontrar.
9. Es necesario recalcar el importante aporte que puede dar la Escuela Politécnica Nacional al país en la producción de modelos computacionales de este tipo.

##### RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que estos programas interactivos desarrollados sean utilizados en el laboratorio, como parte de la enseñanza formal de SEP.
2. Ante la disponibilidad de las distintas variantes del método de Newton Raphson se recomienda que el método de Gauss-Seidel se lo utilice únicamente con fines didácticos y con Sistemas Eléctricos pequeños, esto es por el elevado número de iteraciones que requiere para llegar a la solución. En tanto, los métodos de Newton Raphson pueden utilizarse para fines prácticos o didácticos.
3. Se recomienda utilizar estos paquetes de programas en Empresas Eléctricas debido a que el diseño del sistema de Base de Datos permite almacenar gran cantidad de información codificada; los programas de resolución están dimensionados para ser aplicados en sistemas reales como ya se indicó anteriormente y; dada la interactividad del paquete, este puede ser utilizado fácilmente por los analistas de sistemas eléctricos para estudios de planificación, diseño y operación.

4. Un próximo adelanto, dentro de la resolución de los Flujos de Potencia, consistiría en la creación de una alternativa, que permita el ingreso y salida gráfica de datos y resultados, con los mismos controles con que se realiza el ingreso de datos en el presente programa interactivo desarrollado. Cabe indicar, que para llevar a cabo este propósito se requiere de un software de gráficos especial, teniendo conocimiento de la existencia de un programa llamado General Integral System (GIS), adecuado para este fin. Además se puede utilizar un monitor a color.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Mamol E., "ESTUDIOS DE FLUJOS DE CARGA MEDIANTE LOS METODOS DE NEWTON-RAPHSON", Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 1983.
- [2] Duque N., "NUEVOS METODOS DE FLUJO DE POTENCIA Y SU APLICACION A SISTEMAS MÁS COMPLICADOS", Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 1984.
- [3] Suñarro R., "FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO", Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 1984.
- [4] Stagg G. y El-Abiad, "COMPUTER METHODS IN POWER SYSTEM ANALYSIS", McGraw-Hill, 1968.
- [5] Arquello G., "FLUJOS DETERMINISTICOS Y ESTOCASTICOS PARA ANALISIS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA", Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 1985.
- [6] Arquello G., "FLUJO DE POTENCIA ESTOCASTICO", Anales de las Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 1983.
- [7] Arquello G., "FLUJO DE POTENCIA", Seminario sobre técnicas de Computación para Supervisión y Control de Sistemas Eléctricos de Potencia, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 1983.
- [8] "MANUAL GUÍA DE LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA", Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 1984.
- [9] Saadlet H., Hersting M y Dube I., "AN INTERACTIVE API POWER FLOW DEMONSTRATOR FOR POWER SYSTEM ENGINEERING EDUCATION", IEEE Transactions on Education, Vol. E-26, No. 2, Mayo 1983.
- [10] Jones P., "APPLIQUE EL DBASE III", Osborne-McGraw Hill, Madrid, 1986.
- [11] Hagood J., "CONCEPTION ASSISTEE DES APPLICATIONS INFORMATIQUES", Masson, Paris-Francia, 1986.
- [12] Serinano G., "ELEMENTOS DE BASE DE DATOS", Comisión Nacional de Informática, Quito-Ecuador, 1982.
- [13] Arquello, G., "OPERACION OPTIMA DE SISTEMAS DE POTENCIA", INECEL, Quito, 1977.
- [14] H. W. Dommel, W. F. Tinney, "OPTIMAL POWER FLOW SOLUTIONS", IEEE, Trans. on PAS Vol 87, 1968, pp 1866-1876.
- [15] W. F. Tinney, W. L. Powell, "NOTES ON NEWTON-RAPHSON METHOD FOR SOLUTIONS OF AC POWER FLOW PROBLEM", BPA, Portland, 1971.
- [16] H. H. Happ, "OPTIMAL POWER DISPATCH - A COMPREHENSIVE SURVEY", IEEE Trans. on PAS Vol 96, 1977, pp. 841-851.
- [17] A. M. Sasson, "OPTIMAL LOAD FLOW - A PRACTICAL OUTLOOK", IEEE Tutorial Course, New York, 1976.
- [18] F. Aboytos, B. Vidrio, H. Torres, "ESTUDIOS DE FLUJOS OPTIMOS EN SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA", GGD, Atlixetzia, 1979.
- [19] J. Peschon, W. F. Tinney, O. J. Tveit, M. Quecod, "OPTIMUM CONTROL OF REACTIVE FLOW", IEEE Trans. on PAS Vol. 87, 1968, pp. 40-48
- [20] Cruz J. J., "PROGRAMA DIGITAL PARA DESPACHO ECONOMICO DE POTENCIA REAL", Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, E.P.N., 1983.
- [21] Vinueza F. J., "FLUJO OPTIMO DE POTENCIA", Tesis Previa a la Obtención del título de Ingeniero Eléctrico, con Especialización en Sistemas Eléctricos de Potencia, E.P.N., 1984.
- [22] Martín J., "ORGANIZACIÓN DE LAS BASES DE DATOS", PHI, España, 1981.
- [23] Herdoiza M. D., "BASE DE DATOS", Universidad Central del Ecuador, 1980.
- [24] Date C. J., "AN INTRODUCTION TO DATABASE SYSTEMS", Addison-Wesley Systems Programming Series, 1975.
- [25] Semlyen A., Hamadanizadeh H., "COMPUTATIONAL EXPERIMENTS IN POWER SYSTEMS", IEEE Trans. on PAS Vol. 104, 1985, pp. 2290-2294
- [26] Guerrero M., "PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS DE POTENCIA PARA EL LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA", Tesis de Grado, EPN, Quito, Enero 1988.
- [27] Guizarro C., "PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJO OPTIMO PARA LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA", Tesis de Grado, EPN, Quito, Diciembre 1987.

#### BIOGRAFIAS



GUERRERO MELO MONICA PATRICIA. Nació el 18 de Febrero de 1963 en Quito. Se graduó de Bachiller en Humanidades Modernas en el Colegio La Providencia de Quito. Sus estudios superiores los

realizó en la Escuela Politécnica Nacional, en la especialidad de Sistemas Eléctricos de Potencia. Se graduó en el año de 1988.



GUIJARRO FREYRE CONSUELO BEATRIZ. Nació el 12 de Noviembre de 1962 en Quito. Se graduó de Bachiller en Humanidades Modernas en el Colegio Experimental "24 de Mayo" de Quito. Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional, en la especialidad de Sistemas Eléctricos de Potencia. Se graduó en el año de 1988.



ARGUETA RIOS GABRIEL, Ingeniero Eléctrico, Escuela Politécnica Nacional, 1974. Master of Electrical Engineering University of Utah, 1975. Tesis sobre Análisis de Funciones Avanzadas de aplicación para Sistemas de Potencia en la Universidad de Berkeley, 1981 y Universidad de Wisconsin 1982. A partir de 1974 hasta la presente ha trabajado en INECEL en Despacho de Carga para el SIN, actualmente en el Proyecto Centro Nacional de Control de Energía. Su área de especialización es análisis de Sistemas de Potencia para operación en tiempo real. Miembro del CIEEP, del IEEE.