

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

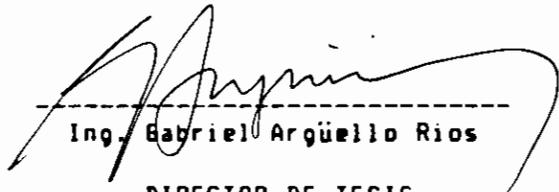
"PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJO OPTIMO"  
"PARA LABORATORIO DE"  
"SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA"

CONSUELO BEATRIZ GUIJARRO FREIRE

TESIS PREVIA LA OBTENCION DEL TITULO DE  
INGENIERO ELECTRICO, CON ESPECIALIZACION  
EN SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

Quito, Diciembre de 1987

Certifico que el presente trabajo  
ha sido realizado en su totalidad  
por la Srta. Consuelo Beatriz  
Guijarro Freire.



-----  
Ing. Gabriel Argüello Ríos

DIRECTOR DE TESIS

## AGRADECIMIENTO

Al personal docente de la Escuela Politécnica Nacional y en particular, de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, por haber depositado en mí sus conocimientos, constituyéndome en una persona técnicamente preparada para desempeñarme en la vida profesional.

Al Ing. Gabriel Arguello Rios, por su valioso apoyo y acertada dirección durante el desarrollo de esta tesis.

A mis padres y hermanos, quienes siempre me dieron comprensión y ayuda en el transcurso de mi vida estudiantil.

A los Ingenieros: Fernando Gómez y Raúl Ruiz, por la valiosa e inestimable ayuda que me brindaron en la ejecución de la tesis, ayuda tanto técnica como moral, por la que guardaré siempre hacia ellos una imperecedera gratitud.

Al Ing. Edgar Mármol, quien en forma digna de encomio, puso a disposición sus amplios conocimientos, y me dispuso su importante ayuda a lo largo del desarrollo de la tesis.

Al personal de la División de Operación, del Departamento de Sistemas y de Despacho de Carga, por la amistad, ayuda y comprensión que me ofrecieron durante la realización de este trabajo.

En general mi reconocimiento a la Empresa Eléctrica Quito, por su fundamental e invaluable participación en el desarrollo y culminación de esta tesis.

# I N D I C E

	Pág
Resumen: Objetivo y alcance	
1.- INTRODUCCION	
Introducción	1
2.- EL FLUJO OPTIMO DE POTENCIA	
2.1 Modelo del Flujo de Potencia	4
2.1.1 Definición	4
2.1.2 Planteamiento matemático del flujo de potencia	5
2.1.3 El método de Newton-Raphson para la solución del flujo de potencia	9
2.2 Modelo del Flujo Optimo de Potencia	11
2.2.1 Definición	11
2.2.2 Formulación matemática del flujo óptimo de potencia	12
2.2.3 Método del gradiente reducido para la resolución del flujo óptimo de potencia	18
2.3 Algoritmo para la resolución del Flujo Optimo de Potencia	21
2.3.1 Modelo sin restricciones de desigualdad	21
2.3.2 Modelo con restricciones de desigualdad	27
2.3.3 Modelo general con restricciones funcionales	30

<b>3.- FORMULACION Y DISEÑO DEL MODELO INTERACTIVO PARA FLUJOS OPTIMOS DE POTENCIA.</b>	
3.1 Definición conceptual del modelo	37
3.1.1 Esquema conceptual de la base de datos	37
3.1.2 Especificación de las funciones	38
3.2 Estructura y características del programa de Flujos Optimos de Potencia	39
3.3 Diseño de la programación interactiva	39
3.3.1 Funciones de ayuda	40
3.3.2 Funciones de mantenimiento, consulta y reportes	41
3.4 Esquema de la Base de Datos.- Lógico.- Físico	43
3.4.1 Concepción Lógica	44
3.4.2 Concepción física	52
<b>4.- UTILIZACION DEL PROGRAMA INTERACTIVO</b>	
4.1 Aplicación didáctica	63
4.1.a Ejemplo con un sistema de demostración del uso didáctico del programa interactivo	63
4.2 Aplicación en análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia	73
4.3 Guía de Laboratorio	77
4.3.1 Flujo Optimo de Potencia Activa o Despacho Económico	77
<b>5.- CONCLUSIONES</b>	
Conclusiones y Recomendaciones	87
REFERENCIAS	90

## APENDICES

Ap.1	MODELACION DEL TRANSFORMADOR CON CAMBIADOR DE TAPS	92
Ap.2	BASE DE DATOS	
	- Definición	95
	- Términos usados para describir los datos	95
	- Entidades y atributos	96
	- Metodología para el diseño de una base de datos	98
	- Administrador de una base de datos	99
Ap.3	OBJETIVOS DE LA ORGANIZACION DE UNA BASE DE DATOS	101
Ap.4	ESQUEMA CONCEPTUAL DE LA BASE DE DATOS	103
Ap.5	ESQUEMA LOGICO DE LA BASE DE DATOS	107
Ap.6	ESQUEMA FISICO DE LA BASE DE DATOS	110
Ap.7	ESTRUCTURA FISICA DE LOS ARCHIVOS DE RESPALDO	115
Ap.8	MANUAL DE USO DEL PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJO OPTIMO PARA EL LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA	118
	- Objetivo	118
	- Estructura del programa interactivo	118
	- Descripción del programa interactivo	119
Ap.9	DATOS DEL EJEMPLO 1	178
Ap.10	RESULTADOS DE LOS FLUJOS PARA EL EJEMPLO 1	182
	- Resultados de flujo de potencia	182
	- Resultados de flujo óptimo general	184
	- Resultados de flujo óptimo de potencia activa	186
	- Resultados de flujo óptimo de potencia reactiva	188
Ap.11	RESULTADOS DE LOS FLUJOS PARA EL EJEMPLO 2	190

- Resultados de flujo de potencia	190
- Resultados de flujo óptimo general	192
- Resultados de flujo óptimo de potencia activa	194
- Resultados de flujo óptimo de potencia reactiva	196
Ap.12 RESULTADOS DE LOS FLUJOS PARA EL EJEMPLO 3	198
- Resultados de flujo de potencia	198
- Resultados de flujo óptimo general	200
- Resultados de flujo óptimo de potencia activa	202
- Resultados de flujo óptimo de potencia reactiva	204
Ap.13 DATOS DEL SISTEMA EEQSA	206
Ap.14 RESULTADOS DE LOS FLUJOS PARA EL SISTEMA EEQSA-2	211
- Resultados de flujo de potencia	211
- Resultados de flujo óptimo general	212
- Resultados de flujo óptimo de potencia activa	214
- Resultados de flujo óptimo de potencia reactiva	216

## RESUMEN: OBJETIVO Y ALCANCE

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental el desarrollo de programas utilizando computadores personales, para la enseñanza del Flujo Óptimo en Sistemas Eléctricos de Potencia. Adicionalmente, este programa tendrá aplicación práctica para la resolución de sistemas reales.

Los programas serán interactivos, permitiendo una fácil comunicación a través del teclado y pantalla del computador y dando la información necesaria sobre el proceso seguido en la resolución de los Flujos Óptimos de Potencia.

En cuanto al alcance, el programa a modelarse tendrá la capacidad de permitir el ingreso y modificación, en forma interactiva de los datos de un Sistema Eléctrico de Potencia. Dará la facultad de ejecutar un flujo de potencia, un flujo óptimo de potencia general, un flujo óptimo de potencia reactiva y un flujo óptimo de potencia activa, pudiendo luego consultar los datos y resultados del flujo ejecutado, y obtener reportes de los mismos. Además se podrá realizar la copia de un sistema ó su eliminación luego de realizar la identificación de la clave asignada por el usuario.

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

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

El Analizador de Redes, proveía de un convincente, pero inconveniente, medio de ilustración del comportamiento de un sistema de potencia real, para futuros ingenieros, proporcionando una analogía física entre el sistema actual y la solución resultante. Inconveniente, por la dificultad de uso y la probabilidad de error que se presentaba en la lectura de datos y resultados.

La disponibilidad de la computación 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 resumen, la programación interactiva aplicada a la educación de Ingeniería Eléctrica, mantiene al estudiante interesado, dándole siempre una exitosa experiencia, lo cual es un incentivo cuando se empieza a estudiar cualquier nuevo tópico.

En el presente trabajo se desarrollará un programa interactivo para la resolución del Flujo Óptimo de Potencia y con aplicación especialmente en el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia.

El Flujo Óptimo de Potencia, que se aplica en el presente trabajo, utiliza el método propuesto por Dommel-Tinney [2]. 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.

El programa desarrollado tiene la posibilidad de efectuar lo siguiente:

- Flujo de potencia por el método de Newton-Raphson
- Flujo Optimo de Potencia, en el que se realiza simultáneamente, despacho económico y minimización de pérdidas [10].
- Flujo Optimo de Potencia Reactiva, en el cual se realiza solamente minimización de pérdidas [10].
- Flujo Optimo de Potencia Activa, en el cual se realiza solamente despacho económico [10].

Para el programa interactivo se desarrollará una base de datos informatizada, en la cual se ingresará 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 hará utilizando el concepto de Base de Datos Relacionales, donde las entidades componentes de la base de datos, se relacionan por alguna característica en especial.

Se utilizará el FOXBASE, como el administrador de la base de datos, en el desarrollo de ficheros de órdenes, para formar un sistema basado en menús que aparezcan en la pantalla y permitan ingresar, obtener o manipular la información existente en la base de datos desarrollada. Y con este lenguaje, se dispone de algunas subrutinas utilitarias, que serán usadas, con la autorización del Ing. Miguel Mármol.

El programa interactivo presenta cuatro tipos de opciones:

- Creación y edición de sistemas, para el ingreso y modificación de los datos de un sistema.
- Consultas, para revisar la teoría de los flujos óptimos de potencia, directorio de sistemas, datos y resultados de un flujo ejecutado.
- Reportes de datos y de resultados.
- Ejecución de programas especiales, como son flujos de potencia, flujo óptimo de potencia, flujo óptimo de potencia activa y flujo óptimo de potencia reactiva.

El programa permitirá el ingreso y modificación de datos de un sistema, que contenga todos los esenciales componentes de un sistema de potencia, realizando un control sobre los datos ingresados y enviando mensajes de error, en caso de que los valores se encuentren fuera de rangos especificados o no tengan valores adecuados.

En resumen, el objetivo de este trabajo es el uso de programas interactivos para la enseñanza de flujos óptimos de potencia. Durante el desarrollo del programa los estudiantes están en capacidad de revisar en el computador, la teoría sobre este tema y también en capacidad de crear sistemas de potencia sobre los cuales pueden realizar cambios en los parámetros y probar estrategias de operación sobre voltajes, potencias, etc, para luego observar resultados por efecto de los cambios realizados.

El contenido y desarrollo del presente trabajo, está en los siguientes cinco capítulos:

1. Introducción, donde se da una descripción del trabajo a desarrollarse.
2. El flujo óptimo de potencia, donde se desarrolla una explicación de la formulación matemática del mismo, se expone el método del gradiente reducido y como para su análisis, es fundamental el flujo de potencia, se hace inicialmente la modelación del flujo de potencia en variables de control y de estado.
3. Formulación y diseño del modelo interactivo para Flujos Óptimos de Potencia, se explica todo el proceso para la creación de la base de datos y de los programas utilitarios del programa interactivo, como son menús, programas de mantenimiento, consulta y reportes y programas especiales, como es el de flujos.
4. Utilización del programa interactivo, donde se realiza un análisis de resultados de ejemplos de aplicación, de manera de resaltar la importancia del programa interactivo en el campo de la enseñanza y también en el campo técnico.
5. Conclusiones y recomendaciones.

## CAPITULO 2

### EL FLUJO OPTIMO DE POTENCIA

#### 2.1 MODELO DEL FLUJO DE POTENCIA

##### 2.1.1 Definición.-

El flujo de potencia proporciona la solución en estado estacionario de un sistema de potencia, bajo ciertas condiciones preestablecidas de generación, carga y topología de la red [1].

Como solución del flujo de potencia se obtiene normalmente el voltaje en magnitud y ángulo en cada una de las barras así como las potencias activa y reactiva que fluyen por cada uno de los elementos y las pérdidas del sistema en estudio.

Se conoce satisfactoriamente el estado estacionario de un sistema cuando se definen cuatro cantidades eléctricas en cada una de sus barras:

- Potencia activa neta ( P )
- Potencia reactiva neta ( Q )
- Magnitud de voltaje ( V )
- Angulo de fase (  $\theta$  )

De estas cantidades se pueden establecer o definir dos en cada barra y las otras dos deben ser determinadas mediante el flujo de potencia.

La ecuación de equilibrio de un sistema trifásico balanceado; representado con su equivalente unifilar de secuencia positiva, sería:

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

$\bar{I}_B$  = Vector de corrientes netas inyectadas al sistema

$\bar{E}_B$  = Vector de voltajes en las barras, con respecto a tierra.

$Y_B$  = Matriz admitancia de barra.

En el flujo de potencia se desconocen las corrientes netas inyectadas, conociéndose las potencias netas inyectadas, esto hace que el sistema de ecuaciones a resolver sea no lineal.

Se definen tres tipos de barras de acuerdo a las cantidades especificadas en cada una de ellas:

- Barras PQ .- Llamadas también barras de carga. Se especifica la potencia neta tanto activa como reactiva.

$$S_k = P_k + j Q_k = (P_{Gk} - P_{Ck}) + j (Q_{Gk} - Q_{Ck})$$

- Barras PV .- Conocidas como barras de tensión controlada. Se define la potencia activa neta y la magnitud de voltaje.

$$P_k = P_{Gk} - P_{Ck}$$

$$V_k = | \bar{E}_k |$$

- Barras Vθ .- Se la conoce como barra oscilante. En esta barra se especifica el voltaje en magnitud y ángulo.

$$\bar{E}_k = V_k \angle \theta_k = V_k e^{j\theta_k}$$

Para resolver el flujo de potencia se requiere definir las cantidades especificadas para cada tipo de barra. Además se requiere información del sistema en sí mismo, es decir de la topología de la red, lo cual se logra con la matriz YBARRA que es la descripción matemática de la conectividad del sistema y de las características de sus elementos componentes.

### 2.1.2 Planteamiento matemático del Flujo de Potencia.-

Se considera un sistema con M barras de carga, S barras de tensión controlada y una barra oscilante, de manera que el número total de barras N sería:

$$N = M + S + 1$$

La potencia aparente en la barra k es:

$$S_k = \bar{E}_k \cdot \bar{I}_k^* \tag{2}$$

en donde:

$$k = 1, \dots, N$$

La corriente compleja  $I_k$  inyectada en la barra  $k$  puede ser expresada en función de los elementos de la matriz admitancia de barra, de acuerdo a la ecuación de equilibrio del sistema (ec.1):

$$I_k = \sum_{i=1}^N Y_{ki} \cdot E_i ; k = 1, \dots, N \quad (3)$$

$Y_{ki}$  = Elementos de la matriz admitancia de barra

$E_i$  = Elementos del vector  $\vec{E}$

Al combinar la ecuación (2) conjugada con la ecuación (3):

$$P_{NETk} - j Q_{NETk} = E_k \sum_{i=1}^N Y_{ki} \cdot E_i \quad (4)$$

En coordenadas polares:

$$E_i = V_i e^{j\theta_i} = V_i \angle \theta_i \quad (5)$$

$$Y_{ki} = G_{ki} + j B_{ki} = |Y_{ki}| e^{j\tau_{ki}} = |Y_{ki}| \angle \tau_{ki}$$

$k = 1, \dots, N$   
 $i = 1, \dots, N$

Reemplazando en la ecuación (4) y separando esta ecuación en sus partes real e imaginaria se tiene que:

$$P_{NETk} = \sum_{i=1}^N V_k V_i |Y_{ki}| \cos(\theta_i - \theta_k + \tau_{ki}) \quad (6)$$

$$Q_{NETk} = - \sum_{i=1}^N V_k V_i |Y_{ki}| \sin(\theta_i - \theta_k + \tau_{ki}) \quad (7)$$

Si llamamos a los segundos términos de estas ecuaciones  $P_k(V, \theta)$  y  $Q_k(V, \theta)$  respectivamente [2]:

$$P_k(V, \theta) - P_{NETk} = 0 \quad k=1, \dots, N \quad (8)$$

$$Q_k(V, \theta) - Q_{NETk} = 0 \quad k=1, \dots, N \quad (9)$$

Con las ecuaciones (8) y (9) y con la tipificación de las barras se puede decir que:

- En la barra oscilante como se conoce el voltaje en magnitud y ángulo, no será necesario plantear ecuación alguna.
- En las barras de tensión controlada se conoce  $P_{NETk}$  y  $V_k$  por lo tanto se requiere plantear una ecuación de la forma de la ecuación (8).
- En las barras de carga, conocemos  $P_{NETk}$ ,  $Q_{NETk}$  y desconocemos  $V_k$  y  $\theta_k$ , por lo tanto será necesario plantear dos ecuaciones. Una de la forma de la ecuación (8) y otra de la forma de la ecuación (9), para hallar la solución. Como se tienen M barras de carga se plantearán 2M ecuaciones.

En resumen para encontrar la solución del flujo de potencia será necesario plantear  $(2M+S)$  ecuaciones con  $(2M+S)$  incógnitas.

Una vez conocidos los voltajes en magnitud y ángulo en cada una de las barras del sistema, el estado eléctrico del mismo puede ser completamente determinado, calculando el flujo de potencia por los elementos del sistema, las pérdidas, la potencia activa y reactiva de la barra oscilante y las potencias reactivas de las barras de tensión controlada.

El flujo de potencia por los elementos del sistema se puede calcular a partir del modelo matemático del elemento:

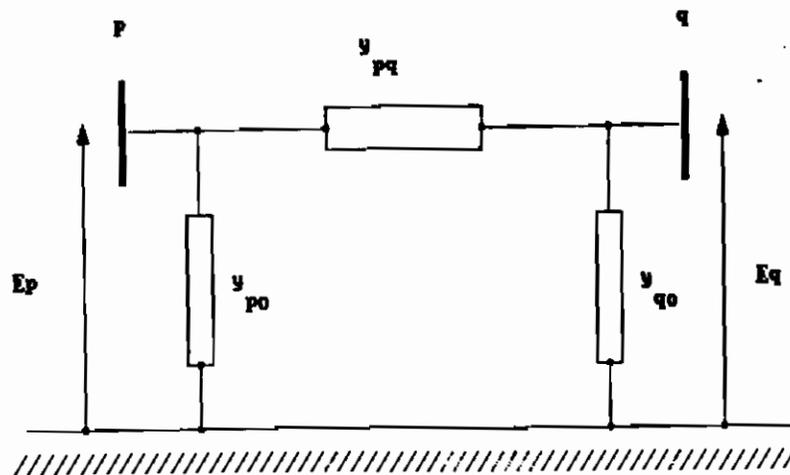


Fig. 1 Modelo Matemático de un elemento del SEP

$$S_{pq} = E_p I_{pq} = P_p - jQ_p$$

$$I_{pq} = (E_p - E_q) y_{pq} + E_p y_{po} \quad (10)$$

$$\rightarrow S_{pq} = E_p (E_p - E_q) y_{pq} + E_p E_p y_{po}$$

$$S_{qp} = E_q (E_q - E_p) y_{pq} + E_q E_q y_{qo}$$

La potencia de la barra oscilante:

$$S_1 = E_1 I_1 = E_1 \sum_{i=1}^N Y_{1i} E_i \quad (11)$$

La potencia activa de pérdidas:

$$P_L = \sum_{i=1}^N P_{Gi} - \sum_{i=1}^N P_{Ci} \quad (12)$$

La potencia reactiva de pérdidas será el sumatorio de todas las fuentes de potencia reactiva (generadores, líneas, condensadores), menos el sumatorio de la potencia reactiva de carga [1].

### 2.1.3 El método de Newton-Raphson para la solución del flujo de potencia.-

En sistemas eléctricos de potencia es típico trabajar con matrices porosas, el método de Newton-Raphson es muy eficaz cuando va acompañado de técnicas que explotan la porosidad, de aquí que si es importante el algoritmo de resolución, importantes son también las técnicas de programación, sin las cuales el método sería totalmente degradado. La presentación del método de Newton-Raphson que se da a continuación se encuentra en variables de estado.

Dado el sistema de M barras de carga, S barras de tensión controlada y una barra oscilante, se definen tres vectores:

$\bar{x}$  = Vector de estado. Contiene todos los  $V, \theta$  desconocidos.

$\bar{y}$  = Vector de variables independientes. Contiene todas las variables especificadas.

$\bar{g}(\bar{x}, \bar{y})$  = Vector de incrementos. Se forma de la ecuación (8) y (9)

Estos vectores tendrán la siguiente forma [2]:

$$\bar{x} = \left[ \begin{array}{l|l} V & \text{En las barras PQ} \\ \theta & \\ \theta & \text{En las barras PV} \end{array} \right]$$

$$\bar{y} = \left[ \begin{array}{l|l} \text{PNET} & \\ \text{QNET} & \text{En las barras PQ} \\ \text{PNET} & \\ V & \text{En las barras PV} \\ V1 & \\ \theta1 & \text{En la barra OSC} \end{array} \right]$$

$$\bar{g}(\bar{x}, \bar{y}) = \begin{bmatrix} \text{ecuac(8)} & \text{En las barras PQ} \\ \text{ecuac(9)} & \\ \text{ecuac(8)} & \text{En las barras PV} \end{bmatrix}$$

El vector  $\bar{y}$  se lo puede dividir en dos vectores, uno de control  $\bar{u}$  y otro de variables especificadas  $\bar{p}$ :

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

El algoritmo de Newton-Raphson en variables de estado sería:

- 1.- Asumir valores iniciales para el vector  $\bar{x}$
- 2.- Formar el vector  $\bar{g}(\bar{x}, \bar{y})$
- 3.- Encontrar mejoramientos sucesivos para  $\bar{x}$

$$\bar{x}^{(h+1)} = \bar{x}^{(h)} + \Delta \bar{x}^{(h+1)}, \text{ mediante}$$

$$\left[ \frac{\delta \bar{g}(\bar{x}^{(h)}, \bar{y})}{\delta \bar{x}} \right] \Delta \bar{x}^{(h+1)} = - \bar{g}(\bar{x}^{(h)}, \bar{y}) \quad (13)$$

- 4.- Probar un criterio de convergencia

$$\left| E_k^{(h+1)} - E_k^{(h)} \right| \leq \epsilon \quad ; k=2, \dots, N \quad (14)$$

También se puede probar con  $|\Delta \bar{x}| \leq \epsilon$

Si no se cumple el criterio de convergencia ir al paso 2 de lo contrario se tendrá la solución.

Con el vector de estado  $\bar{x}$ , el vector de variables independientes  $\bar{y}$  y las ecuaciones (10), (11), (12), se puede obtener el flujo de potencia por los elementos, la potencia de la barra oscilante y la potencia activa de pérdidas.

En la ecuación (13) se tiene la matriz  $[\partial \bar{g} / \partial \bar{x}]$  que es la matriz jacobiano.

Nótese que las ecuaciones de flujo dadas por  $\bar{g}(\bar{x}, \bar{y}) = 0$  pueden expresarse también como:

$$\bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) = 0$$

## 2.2 MODELO DEL FLUJO OPTIMO DE POTENCIA

### 2.2.1 Definición.-

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.

Se debe dividir a las variables del sistema en variables de control y variables de estado. La solución óptima se obtiene encontrando las variables de control que minimicen la función objetivo y al mismo tiempo satisfagan las restricciones del problema [1].

#### - 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 las líneas, 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.

## 2.2.2 Formulación matemática del flujo óptimo de potencia.-

### a) Definición de variables

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
- Taps en los transformadores
- Potencias activas de generación P<sub>G</sub>

Se considerarán tres tipos de optimización:

- Flujo óptimo de potencia activa (despacho económico)
- Flujo óptimo de potencia reactiva (minimización de pérdidas)
- Flujo óptimo general (los dos a la vez)

Para cada tipo de optimización será necesario definir la función objetivo.

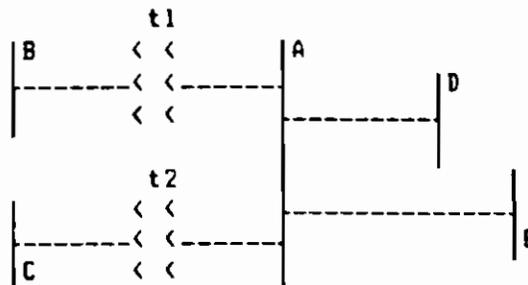
Para el desarrollo del vector  $\bar{y}$  se tomará en cuenta algunas consideraciones sobre las barras.

- Barras PV: De las S barras PV, SS son barras asociadas a condensadores sincrónicos y (S-SS) barras asociadas a generación de potencia activa y reactiva.
- Barras PQ: Dentro de las M barras PQ, consideraremos que existen los siguientes tipos de barras:
  - \* T1: Número de barras de carga asociadas a transformadores con cambiadores de taps, cuya magnitud de voltaje controla la magnitud de voltaje de otra barra. A cada una de estas barras llega solamente un transformador.



La barra A aunque tiene conexiones con otras barras solamente controla a la barra B mediante taps, en mayor grado, ya que el efecto se manifiesta en todo el sistema.

- \* T2: Número de barras asociadas a dos trafos con cambiadores de taps, cuya magnitud de voltaje controla la magnitud de voltaje de las barras, mediante taps de transformadores que llegan a cada una de estas barras. Gráficamente :



t1, t2 transformadores con cambiadores de taps.

La barra A aunque tiene conexiones con otras barras, controla solamente a las barras B y C, mediante, taps en mayor grado.

En el Apèndice # 1 se tiene la modelación de transformadores con cambiadores de taps. Según esta modelación se designarán los taps con el número de la barra cuyo voltaje se controla.

Tomando en cuenta estas consideraciones diremos que existen  $T$  barras cuya magnitud de voltaje se controla mediante taps, en donde:

$$T = T_1 + 2T_2$$

De aquí que de las  $M$  barras de carga,  $M - 2T + T_2$  serán barras PQ no asociadas a transformadores con cambiadores de taps.  $T$  barras de magnitud de voltaje controlada mediante taps y  $T_1 + T_2$  serían barras de control de voltaje mediante taps [9].

$$M = (M - 2T + T_2) + T + (T_1 + T_2)$$

b) Función objetivo y variables de control para flujo óptimo de potencia activa (Despacho Económico)

La función objetivo se la definirá para minimizar costos de generación.

Se asumen unidades térmicas de generación, por cuanto la función objetivo para c/unidad será la función de costo de combustible, que es una curva polinómica, siendo su representación gráfica:

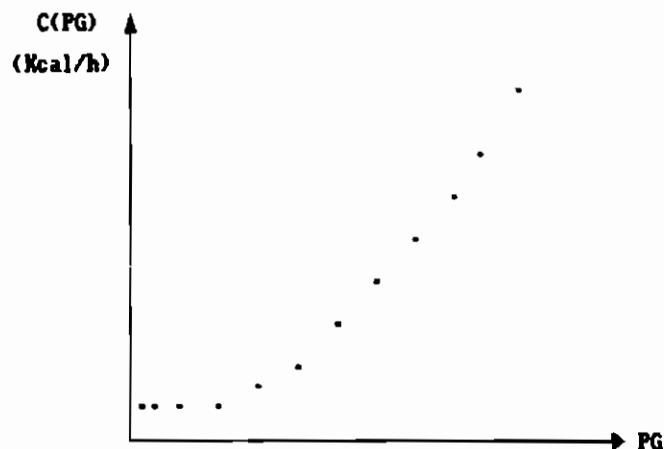


Fig. 2 Curva Típica de Entrada-Salida

$C(PG)$  se puede traducir a \$/HORA y  $PG$  es la potencia generada.

Estas curvas se obtienen midiendo experimentalmente la cantidad de combustible por hora que se consume para una potencia fija de generación, con lo que se consigue un punto de la curva. Se le aproxima a una función cuadrática aunque en algunos casos se puede considerar que es lineal ó cúbica [1]. De modo que:

$$C(PG) = aP^2 + bP + c \quad (15)$$

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

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

Esto porque teóricamente el condensador sincrónico no genera potencia activa y lo que necesitamos es saber que unidades tienen generación de potencia activa.

La función objetivo de todo el sistema para despacho económico sería:

$$f = \sum_{i=1}^{k1} (a P_i^2 + b P_i + c) + \sum_{i=k1+1}^{k2} (a P_i^2 + b P_i + c) \quad (16)$$

donde :

$$k1 = M+2$$

$$k2 = M+S-SS+1$$

Se toman en cuenta todas las funciones de costo de todas las centrales generadoras; es decir de todas las barras PV capaces de generar potencia activa, más la barra oscilante.

El vector de control  $\bar{u}$  estaría formado por las siguientes variables :

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

Se debe notar que :

- Las potencias de generación están intrínsecamente relacionadas con el vector  $y$ , ya que :

$$P_{NETi} = P_{Gi} - F_{Ci}$$

$P_{Ci}$  = Potencia de carga de la barra  $i$

- No se toma la potencia de la barra oscilante como variable de control, puesto que se deberán tomar en cuenta las pérdidas del sistema [9].

c) Función objetivo y variables de control para flujo óptimo de potencia reactiva (Minimización de pérdidas)

Al resolver el flujo de potencia, la barra oscilante cubre las pérdidas del sistema, (por esta razón no se especifica potencias en la barra oscilante).

La ecuación de equilibrio sería:

$$P_{G1} = P_L + \sum PC - \sum P_G \quad (17)$$

donde:

- $P_{G1}$  : Potencia de generación de la barra oscilante
- $P_L$  : Potencia de pérdidas del sistema
- $\sum PC$  : Potencia total de carga del sistema
- $\sum P_G$  : Potencia total de generación, excluyendo la barra oscilante.

De acuerdo a esto, minimizar las pérdidas del sistema, significa minimizar la potencia activa neta de la barra oscilante. La función objetivo será:

$$f = P_{NET1} = P_1(\bar{x}, \bar{y}) \quad (18)$$

$$P_1(\bar{x}, \bar{y}) = \sum_{i=1}^N V_1 V_i |Y_{li}| \cos(\theta_1 - \theta_i + \tau_{li})$$

El vector  $\bar{u}$  estará formado por las siguientes variables :

- Magnitudes de voltaje en las barras de tensión controlada.
- Magnitud de voltaje en la barra oscilante
- Taps en los transformadores

d) Función objetivo y variables de control para flujo óptimo de potencia activa y reactiva

Se va a realizar despacho económico y minimización de pérdidas simultáneamente. La función objetivo será la misma que para despacho económico. La diferencia se encontraría en las variables de control:

$$f = a \sum_{i=1}^2 P_{G_i}^2 + b \sum_{i=1}^2 P_{G_i} + c + \sum_{i=k_1}^{k_2} I_i (a P_{G_i}^2 + b P_{G_i} + c) \quad (19)$$

En donde:

$$\begin{aligned} k_1 &= M+2 \\ k_2 &= M+S-SS+1 \end{aligned}$$

El vector de control  $\bar{u}$  estará formado por:

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

La potencia activa de generación de la barra oscilante no forma parte del vector de control  $\bar{u}$ . Sin embargo será una variable intermedia en la derivación de la función objetivo [9].

d) Modelo General de la Optimización

Una vez planteada la función objetivo y las variables de control para cada uno de los casos; el modelo general propuesto puede ser expresado de la siguiente forma:

$$\min_{\bar{u}} f(\bar{x}, \bar{u}) \quad (20)$$

( Se lee: "Obtener el mínimo de  $f$  con  $\bar{u}$  óptimo" )

Sujeto a las restricciones de igualdad impuestas por el flujo de potencia:

$$\bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) = 0 \quad (21)$$

Para resolver el problema se usará el método clásico de optimización de los multiplicadores de Lagrange, para lo cual se

debe cumplir la función objetivo, con las restricciones de igualdad, es decir que debemos plantear la función ampliada de Lagrange:

$$L(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) = f(\bar{x}, \bar{u}) + \bar{\lambda}^T g(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) \quad (22)$$

Los  $\lambda_i$ , elementos del vector  $\bar{\lambda}$  son llamados multiplicadores de Lagrange. La función ampliada de Lagrange deberá cumplir con las siguientes condiciones necesarias en el mínimo: ( $\delta$ =derivada parcial)

$$\frac{\delta L}{\delta \bar{x}} = \frac{\delta f}{\delta \bar{x}} + \left[ \begin{array}{c} \frac{\delta g}{\delta \bar{x}} \end{array} \right]^T \bar{\lambda} = 0 \quad (23)$$

$$\frac{\delta L}{\delta \bar{u}} = \frac{\delta f}{\delta \bar{u}} + \left[ \begin{array}{c} \frac{\delta g}{\delta \bar{u}} \end{array} \right]^T \bar{\lambda} = 0 \quad (24)$$

$$\frac{\delta L}{\delta \bar{\lambda}} = g(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) = 0 \quad (25)$$

La ecuación (23) contiene la matriz  $[\delta g / \delta \bar{x}]$ , que es la matriz jacobiana de la última iteración del flujo de potencia, razón por la cual se ha usado el método formal de Newton-Raphson en el cual el jacobiano varía en cada iteración.

La ecuación (24) contiene la matriz  $[\delta g / \delta \bar{u}]$ , que se conoce como el jacobiano reducido.

Las ecuaciones (25) son las ecuaciones del flujo de potencia. Estas ecuaciones se igualan a cero para obtener la optimización.

Al encontrar los valores de  $\bar{u}$  y  $\bar{x}$  que satisfacen las ecuaciones (23), (24), (25), se ha encontrado el valor óptimo de  $\bar{u}$  que minimiza la función objetivo planteada tomando en cuenta además que se deben cumplir con las restricciones adicionales sobre máximos y mínimos en las variables  $\bar{u}$  y  $\bar{x}$  [9].

### 2.2.3 Método del gradiente reducido para la resolución del flujo óptimo de potencia

En general en cualquier punto de solución factible, no

necesariamente el óptimo, el flujo de potencia puede ser resuelto o sea que las ecuaciones (25) pueden ser satisfechas. Una vez resuelto el flujo de potencia, con la ayuda del Jacobiano de la última iteración y con el vector de las derivadas de  $f$  con respecto al vector  $\bar{x}$ , se puede encontrar el vector de los multiplicadores de Lagrange, aplicando la ecuación (23). Reemplazando el vector en la ecuación (24) se encontrará en general, con que el vector  $[dL/d\bar{u}]$  no es igual a cero ya que no necesariamente estaremos en el punto óptimo.

Este vector  $dL/d\bar{u}$  tiene un significado importante, es el vector gradiente,  $\bar{\nabla} f_u$ , el cual es ortogonal a los contornos de valores constantes de la función objetivo [2]

Los contornos de valores constantes de las funciones objetivo planteadas tienen en el caso de dos dimensiones las siguientes formas:

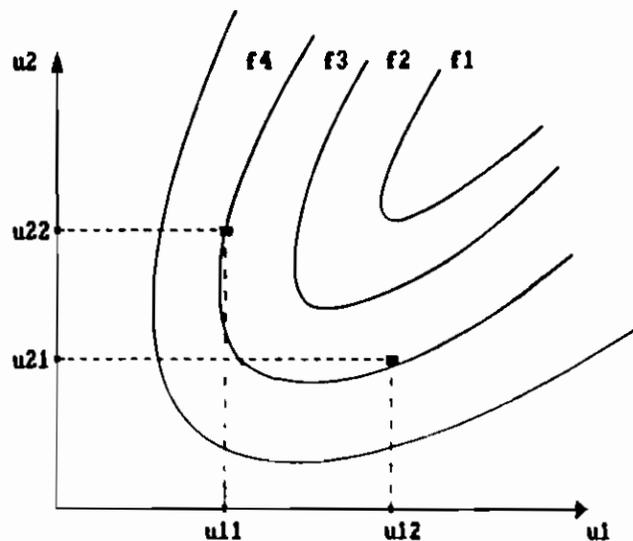


Fig. 3 Contornos de valor constante de las funciones objetivo.

En donde las curvas más abiertas tienen mayor valor, así:

$$f_4 > f_3 > f_2 > f_1$$

Cada una de estas curvas indica el lugar geométrico en donde la función objetivo tiene un valor constante. Así por ejemplo se tendrá un valor  $f_4$  de la función objetivo cuando las variables de control tomen los valores  $(u_{11}, u_{21})$  o cuando tomen los valores  $(u_{12}, u_{22})$ .

Para obtener un valor de la función objetivo se puede obtener un infinito número de soluciones de las cuales unas serán factibles y otras no, como se verá cuando se introduzca restricciones de

desigualdad sobre los parámetros de control.

Las ecuaciones (23), (24) y (25) son no lineales y pueden resolverse solamente con métodos iterativos. El esquema iterativo más simple es el método del gradiente.

La idea básica de este método es partir de una solución factible del flujo de potencia (en un punto en la Fig. anterior) y moverse a lo largo dirección del descenso más pronunciado o sea en la dirección del gradiente negativo, para encontrar un nuevo punto factible de solución, pero que estará más cerca al punto óptimo, o sea que tendrá un menor valor de la función objetivo.

En dos dimensiones lo que se tendría es:

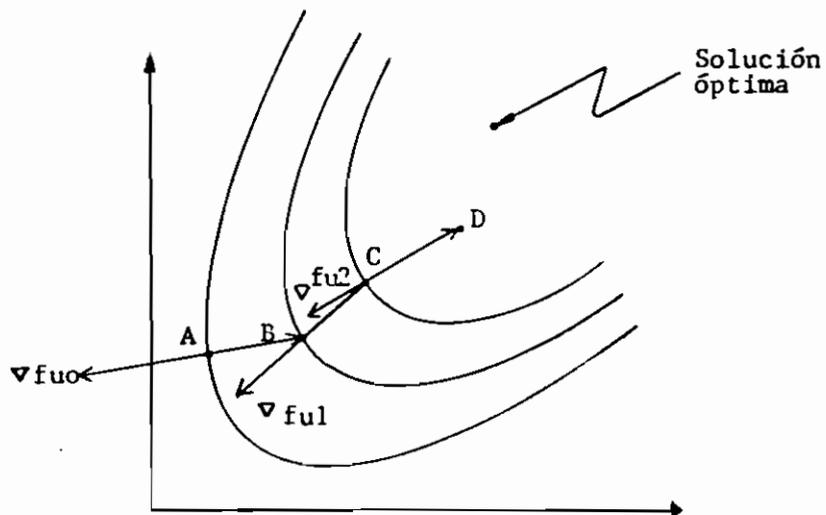


Fig. 4 Movimiento en la dirección del gradiente negativo.

En el gráfico, A es el punto de solución inicial del flujo de potencia. En este punto evaluamos el vector gradiente  $\bar{\nabla} f_{u0}$  y nos movemos al punto B a lo largo de la dirección del gradiente negativo. En el punto B se tendrá un valor de la función objetivo que será menor que el valor que tenía para el punto A, por lo cual, estaremos más cerca del óptimo que antes. Ahora en el punto B se deberá satisfacer la ecuación (25), por lo que se deberá resolver un flujo de potencia para conocer el vector de estado  $\bar{x}$ . Una vez satisfecha la ecuación (25), se tendrá que B es un nuevo punto de solución factible y se podrá nuevamente iniciar el proceso, llegando al punto C y luego al punto D, y así sucesivamente hasta satisfacer un criterio de convergencia y consecuentemente se encontrará el valor mínimo de la función objetivo.

El método se llamará del "gradiente reducido", porque no sólo se

cambia el signo del gradiente, sino que además se le multiplica por una constante "C", cuyo valor dependerá del valor del gradiente así como del valor de la función objetivo que se tenga en un punto dado; o más bien, gráficamente, el valor de "c" será tal en cada iteración, que permita un camino corto entre el punto A inicial y el punto óptimo.

### 2.3 ALGORITMO PARA LA RESOLUCION DEL FLUJO OPTIMO DE POTENCIA.-

#### 2.3.1 Modelo sin restricciones de desigualdad.-

La modelación del problema de optimización sin restricciones de desigualdad, puede ser planteado como :

$$\min f(\bar{x}, \bar{u})$$

sujeto a las restricciones de igualdad:

$$\bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) = 0$$

Lo cual puede ser resuelto mediante el método de optimización de los multiplicadores de Lagrange, al ampliar la función objetivo con las restricciones de igualdad:

$$L(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) = f(\bar{x}, \bar{u}) + \bar{\lambda}^T \bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})$$

Esta función ampliada en el mínimo debe cumplir con:

( $\delta$ =derivada parcial)

$$\frac{\delta L(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})}{\delta \bar{x}} = \frac{\delta f(\bar{x}, \bar{u})}{\delta \bar{x}} + \left[ \frac{\delta \bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})}{\delta \bar{x}} \right]^T \bar{\lambda} = 0$$

$$\frac{\delta L(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})}{\delta \bar{u}} = \frac{\delta f(\bar{x}, \bar{u})}{\delta \bar{u}} + \left[ \frac{\delta \bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})}{\delta \bar{u}} \right]^T \bar{\lambda} = 0$$

$$\frac{\delta L(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})}{\delta \bar{\lambda}} = \bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) = 0$$

Como son ecuaciones no lineales aplicamos un método iterativo para lo cual tomamos el método del gradiente explicado anteriormente.

### 2.3.1.1 Algoritmo de solución.

Luego de definir las funciones objetivo y las variables de control para cada uno de los casos propuestos, para solucionar el problema de optimización, el algoritmo por el método del gradiente es el siguiente [2]:

- a) Asumir un conjunto de variables de control, para formar el vector de control  $\bar{u}$ .
- b) Encontrar una solución factible del flujo de potencia por el método de Newton-Raphson formal. Con esto se obtendrá la matriz jacobiano en el punto de solución, en forma factorizada.
- c) Resolver la ecuación (23) para obtener el vector:

$$\left[ \frac{\delta \bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})}{\delta \bar{x}} \right]^T \bar{\lambda} = - \frac{\delta f(\bar{x}, \bar{u})}{\delta \bar{x}} \quad (26)$$

El vector  $\bar{\lambda}$  será obtenido mediante el proceso de bifactorización. El vector  $\bar{\lambda}$  será utilizado solamente en la iteración que se está efectuando.

- d) Insertar el vector  $\bar{\lambda}$  obtenido de la ecuación (26), en la ecuación (24) para obtener el gradiente  $\bar{\nabla} f_u$ :

$$\bar{\nabla} f_u = \frac{\delta f(\bar{x}, \bar{u})}{\delta \bar{u}} + \left[ \frac{\delta \bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})}{\delta \bar{u}} \right]^T \bar{\lambda} \quad (27)$$

El gradiente  $\bar{\nabla} f_u$  mide la sensibilidad de la función objetivo con respecto a los cambios del vector  $\bar{u}$ , sujeto a las restricciones de igualdad [2].

- e) Verificación de convergencia: Si  $|\bar{\nabla} f_u|$  es suficientemente pequeño el mínimo ha sido alcanzado,

de otra forma ir al paso siguiente.

- f) Encontrar un nuevo valor para c/u de las variables de control :

$$\bar{u} \text{ (nuevo)} = \bar{u} \text{ (anterior)} + \Delta \bar{u} \quad (28)$$

con :  $\Delta \bar{u} = -c \bar{\nabla} f u$

Luego regresar al paso b)

Los pasos del a) hasta el b) son directos. El paso f) es la parte más crítica del algoritmo ya que la corrección del vector  $u$  puede ser hecha de algunas maneras más o menos complicadas.

Al usar la fórmula de corrección dada por la ecuación (28), la convergencia hacia la solución óptima depende grandemente del escogitamiento de la constante  $C$ . Si se escoge un valor de la constante  $C$  muy pequeño, la corrección del vector  $u$  va a ser muy pequeña, por lo cual se asegura la convergencia, pero esta requerirá de muchos ciclos iterativos y consecuentemente la optimización tomará mucho tiempo. En el caso de que se tome un valor de  $C$  muy grande se produce una oscilación del proceso iterativo alrededor del punto óptimo [2]. Por otro lado un valor de la constante  $C$  es válido solamente para un ciclo iterativo de optimización, puesto que no en todos los puntos factibles a los que se ha llegado se requiere de una misma corrección.

Por ejemplo en el caso de dos dimensiones y en base a la siguiente figura se tendría:

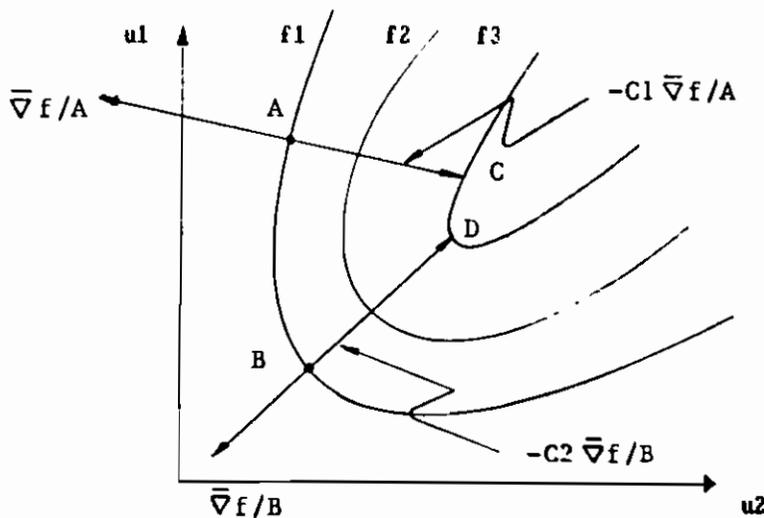


Fig. 5 Corrección para dos puntos factibles diferentes  $A$  y  $B$ .

El punto A y el punto B tienen un mismo valor para la función objetivo y los dos son puntos factibles que pueden haber sido escogidos inicialmente. Para llegar a tener un valor  $f_3$ , partiendo desde A y recorriendo en dirección negativa del gradiente, necesitamos de una corrección  $-c_1 \bar{\nabla} f/A$ , mientras que si partimos del punto B se necesita una corrección  $-c_2 \bar{\nabla} f/B$  y por lo general se tendrá que  $c_1$  no es igual a  $c_2$ .

Como no existe una fórmula matemática para escoger un valor apropiado de esta constante, el escogitamiento se hace empírico. Se recomienda el uso de la siguiente fórmula:

$$c = \frac{1}{NU} \sum_{i=1}^i c_i \quad (29)$$

donde:

$$c_i = \frac{u_i(\text{nuevo}) - u_i(\text{anterior})}{\bar{\nabla} f_{u_i}(\text{nuevo}) - \bar{\nabla} f_{u_i}(\text{anterior})}$$

$u_i$  = Componente  $i$  del vector  $\bar{u}$   
 $\bar{\nabla} f_{u_i}$  = Componente  $i$  del vector  $\bar{\nabla} f_u$

$NU$  = Número de componentes del vector  $\bar{u}$

En la ecuación (26) se observa que se requiere conocer  $\delta f(\bar{x}, \bar{u})/\delta \bar{x}$  y el jacobiano transpuesto  $[\delta \bar{q}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})/\delta \bar{x}]$ . Este último es conocido ya que se ha resuelto un flujo de potencia. El vector  $\delta f/\delta \bar{x}$  debe ser calculado. Este cálculo depende del tipo de optimización que se esté realizando porque la función objetivo es diferente para cada caso [9].

### 2.3.1.2 Formación de $\delta f(\bar{x}, \bar{u})/\delta \bar{x}$ para el flujo óptimo de potencia activa y reactiva

Teniendo la función objetivo:

$$f(x, u) = \sum_{i=1}^2 a_i P_i^2 + \sum_{i=1}^2 b_i P_i^2 + c + \sum_{i=k_1}^{k_2} (a_i P_i^2 + b_i P_i^2 + c_i)$$

En donde:

$$k_1 = M+2$$

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

La derivación directa de  $f(\bar{x}, \bar{u})$  no es posible puesto que estamos derivando con respecto a  $\bar{x}$  y  $f(\bar{x}, \bar{u})$  no es una función explícita de  $\bar{x}$ . Por otro lado la potencia activa de generación de la barra oscilante debe ser tomada en cuenta de alguna forma en el proceso de optimización. Por esta razón se toma la potencia de generación de la barra oscilante como variable intermedia de derivación [9]:

$$\frac{\delta f(\bar{x}, \bar{u})}{\delta \bar{x}} = \frac{\delta f(\bar{x}, \bar{u})}{\delta P_{G1}} \cdot \frac{\delta P_{G1}}{\delta \bar{x}} \quad (30)$$

y

$$P_1(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) = P_{G1} - P_{C1} \quad (31)$$

por tanto:

$$\frac{\delta P_{G1}}{\delta \bar{x}} = \frac{\delta P_1(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})}{\delta \bar{x}}$$

de modo que:

$$\frac{\delta f(\bar{x}, \bar{u})}{\delta \bar{x}} = (2a \frac{P_{G1}}{1} + b \frac{1}{1}) \cdot \frac{\delta P_1(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})}{\delta \bar{x}} \quad (32)$$

### 2.3.1.3 Formación de $\delta f(\bar{x}, \bar{u})/\delta \bar{x}$ para flujo óptimo de potencia activa

Como la función objetivo para el flujo óptimo de potencia activa es igual que para el caso anterior, el vector  $\delta f(\bar{x}, \bar{u})/\delta \bar{x}$  para este caso también se lo podrá representar por la ecuación (32) [9].

### 2.3.1.4 Formación de $\delta f(\bar{x}, \bar{u})/\delta \bar{x}$ para flujo óptimo de potencia reactiva

La función objetivo para este caso:

$$f(\bar{x}, \bar{u}) = P_1(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})$$

Entonces:

$$\frac{\delta f(\bar{x}, \bar{u})}{\delta \bar{x}} = \frac{\delta P_1(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})}{\delta \bar{x}} \quad (33)$$

2020

Si siguiendo con el algoritmo, se observa que para encontrar el vector gradiente  $\nabla f_u$  además del vector  $\bar{\lambda}$  necesitamos conocer  $\delta f(\bar{x}, \bar{u})/\delta \bar{u}$  y la matriz  $[\delta g(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})/\delta \bar{u}]$ . Esto en igual forma que para el caso anterior, depende del tipo de optimización que se esté realizando, variando en cada caso las componentes del vector  $u$  y por consiguiente la dimensión del vector [9].

**2.3.1.5 Formación del vector  $\delta f(\bar{x}, \bar{u})/\delta \bar{u}$  para flujo óptimo de potencia activa y reactiva**

La función objetivo viene expresada por la ecuación (16) y las potencias de generación, excepto la de la barra oscilante, forman parte del vector de control y para incluir la potencia de esta barra, hacemos lo mismo que antes con lo que tendremos [9]:

$$\frac{\delta f(\bar{x}, \bar{u})}{\delta \bar{u}} = \frac{\delta f_i}{\delta P_{Gi}} \cdot \frac{\delta P_{Gi}}{\delta \bar{u}} + \frac{\delta f_1}{\delta \bar{u}} \quad (34)$$

En donde:

$$i = M+2, \dots, M+S-SS+1$$

$$f_i = a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i$$

$$f_1 = a_1 P_{G1}^2 + b_1 P_{G1} + c_1$$

de donde:

$$\frac{\delta f(\bar{x}, \bar{u})}{\delta \bar{u}} = (2a_i P_{Gi} + b_i) \cdot \frac{\delta P_{Gi}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})}{\delta \bar{u}} + \frac{\delta f_1}{\delta \bar{u}} \quad (35)$$

**2.3.1.6 Formación de  $\delta f(\bar{x}, \bar{u})/\delta \bar{u}$  para flujo óptimo de potencia activa**

Con la función objetivo dada por la ecuación (16) y como el vector de control  $\bar{u}$  está formado sólo por las potencias activas de generación de las barras, no asociadas a condensadores sincrónicos, la derivación será directa [9].

### 2.3.1.7 Formación de $\delta f(\bar{x}, \bar{u})/\delta \bar{u}$ para flujo óptimo de potencia reactiva

Como en este caso la función objetivo es la potencia activa neta de la barra oscilante y puesto que las variables de control son las magnitudes de voltaje de las barras PV y los taps, entonces también en este caso se tendrá que la derivación es directa.

Para la formación de la matriz  $[\delta \bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})/\delta \bar{u}]$  se hace necesario redefinir el vector  $\bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})$ , cambiando los términos del vector  $\bar{y}$  por los términos del vector  $\bar{u}$ , en donde sea posible, para de esta forma poder obtener cada uno de los elementos de la matriz, dependiendo también del tipo de optimización que se esté realizando [9].

### 2.3.2 Modelo con restricciones de desigualdad

Las restricciones de desigualdad son sobre los parámetros de control.

Al restringir los parámetros de control se reduce el espacio amplio de soluciones a un espacio más pequeño y a la vez técnicamente factible [9].

Representando las restricciones de desigualdad en el caso de dos dimensiones se tendría el siguiente gráfico:

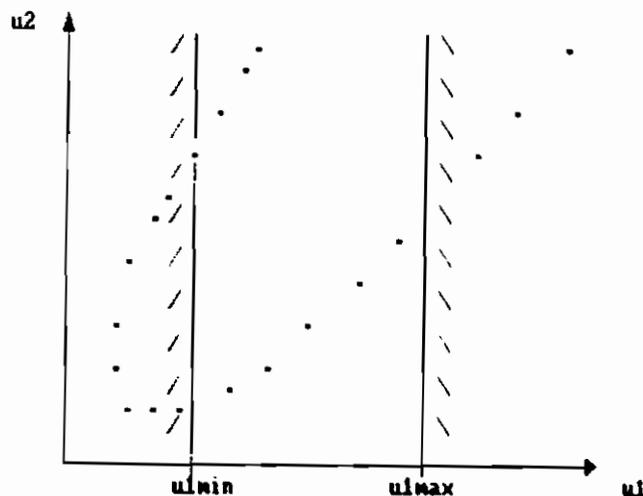


Fig. 6 Contornos de valor  $f$  con una variable de control restringida.

La solución deberá estar dentro de estas restricciones, es decir que la solución debe ser tal que  $u_1$  debe estar entre  $u_{1min}$  y  $u_{1max}$ , pudiendo  $u_2$  tomar cualquier valor.

Si se hubiesen restringido las dos variables de control, la solución debería estar comprendida dentro de un rectángulo para el caso de dos dimensiones.

El modelo con restricciones de desigualdad para los parámetros de control puede ser planteado como sigue:

$$\min f(\bar{x}, \bar{u})$$

$$\bar{u}$$

Sujeto a las restricciones de igualdad:

$$\bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) = 0$$

y a las restricciones de desigualdad:

$$\bar{u}_{min} \leq \bar{u} \leq \bar{u}_{max} \quad (36)$$

Las restricciones de la expresión (36) son manipuladas de modo que el algoritmo estudiado en la sección 2.3.1 no envíe a los parámetros de control más allá de sus límites permisibles. Si cualquier  $u_i$  componente del vector  $\bar{u}$  al corregirse con  $\Delta u_i$  llega a tener un valor tal que exceda uno de sus límites, entonces  $u_i$  se colocará en el límite correspondiente [2].

$$u_i(\text{nuevo}) = \begin{cases} u_{i \max} & ; \text{ si } (u_i(\text{anterior}) + \Delta u_i) > u_{i \max} \\ u_{i \min} & ; \text{ si } (u_i(\text{anterior}) + \Delta u_i) < u_{i \min} \\ u_i(\text{anterior}) + \Delta u_i & ; \text{ de cualquier otra forma} \end{cases} \quad (37)$$

Las condiciones necesarias para el mínimo serán:

$$\bar{\nabla} L = 0 \quad (38)$$

(En donde  $\bar{L}$  es el gradiente evaluado respecto a  $\bar{x}, \bar{u}, \bar{\lambda}$  )

y:

$$\left. \begin{array}{l} \bar{\mu}_{\max}^T (\bar{\mu} - \bar{u}_{\max}) = 0 \\ \bar{\mu}_{\min}^T (\bar{\mu} - \bar{u}) = 0 \\ \bar{\mu}_{\max} \geq 0 \quad \bar{\mu}_{\min} \geq 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Ecuaciones de} \\ \text{exclusión} \end{array} \quad (39)$$

L es una función ampliada de Lagrange con términos adicionales  $\mu$ , para tomar en cuenta las restricciones de desigualdad:

$$L = f(\bar{x}, \bar{u}) + \bar{\lambda}^T g(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) + \bar{\mu}_{\max}^T (\bar{u} - \bar{u}_{\max}) + \bar{\mu}_{\min}^T (\bar{u}_{\min} - \bar{u})$$

$\mu_{\max}$  y  $\mu_{\min}$  son variables duales asociadas con los límites superior e inferior, son variables auxiliares similares a los multiplicadores de Lagrange.

Si  $u_i$  alcanza un límite, el desarrollo de la ecuación (38):

$$\frac{\delta L}{\delta \bar{x}} = \frac{\delta f(\bar{x}, \bar{u})}{\delta \bar{x}} + \left[ \begin{array}{c} \delta g \\ \delta \bar{x} \end{array} \right]^T \bar{\lambda} = 0 \quad (41)$$

$$\frac{\delta L}{\delta \bar{u}} = \frac{\delta f}{\delta \bar{u}} + \left[ \begin{array}{c} \delta g \\ \delta \bar{u} \end{array} \right]^T \bar{\lambda} + \bar{\mu} = 0 \quad (42)$$

en donde :

$$\mu_i = \mu_{\max} \quad , \quad \text{si } u_i - u_{i\max} > 0$$

$$\mu_i = \mu_{\min} \quad , \quad \text{si } u_{i\min} - u_i > 0$$

$$\frac{\delta L}{\delta \bar{\lambda}} = g(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) = 0$$

La única diferencia con las condiciones necesarias para el mínimo no restringido de (26), (27), (28), está en el término adicional  $\mu$  de la ecuación (42). Si se compara (27) con (42) vemos que  $\mu = -\bar{\nabla}f_u$ . Para cumplir con las ecuaciones de exclusión (39) el vector  $u$  deberá tener las componentes [9]:

$$\mu_i = 0 \quad \text{si} \quad u_{i\min} < u_i < u_{i\max}$$

$$\mu_i = \mu_{i\max} \geq 0 \quad \text{si} \quad u_i = u_{i\max}$$

$$\mu_i = -\mu_{i\min} \leq 0 \quad \text{si} \quad u_i = u_{i\min}$$

Tomando en cuenta que  $\bar{u} = -\bar{\nabla}f_u$ , entonces:

$$\bar{\nabla}f_{u_i} = 0 \quad \text{si} \quad u_{i\min} < u_i < u_{i\max}$$

$$\bar{\nabla}f_{u_i} \leq 0 \quad \text{si} \quad u_i = u_{i\max}$$

$$\bar{\nabla}f_{u_i} \geq 0 \quad \text{si} \quad u_i = u_{i\min}$$

que son las condiciones necesarias en el mínimo.

Como  $\bar{\nabla}f_u = \delta L / \delta \bar{u}$ , entonces se tendrá que:

$$\frac{\delta L}{\delta u_i} = 0 \quad \text{si} \quad u_{i\min} < u_i < u_{i\max}$$

$$\frac{\delta L}{\delta u_i} \leq 0 \quad \text{si} \quad u_i = u_{i\max}$$

$$\frac{\delta L}{\delta u_i} \geq 0 \quad \text{si} \quad u_i = u_{i\min}$$

### 2.3.3 Modelo general con restricciones funcionales

Además de las restricciones de desigualdad sobre el vector de control  $\bar{u}$ , pueden también haber restricciones funcionales de desigualdad:

$$\theta(\bar{x}, \bar{u}) \leq 0 \quad (43)$$

Un caso frecuente de este tipo de restricciones son los límites superior e inferior de las variables dependientes o de estado, componentes del vector  $\bar{x}$ .

$$\bar{x}_{\min} \leq \bar{x} \leq \bar{x}_{\max}$$

Gráficamente en dos dimensiones la forma como se presentan dichas restricciones es:

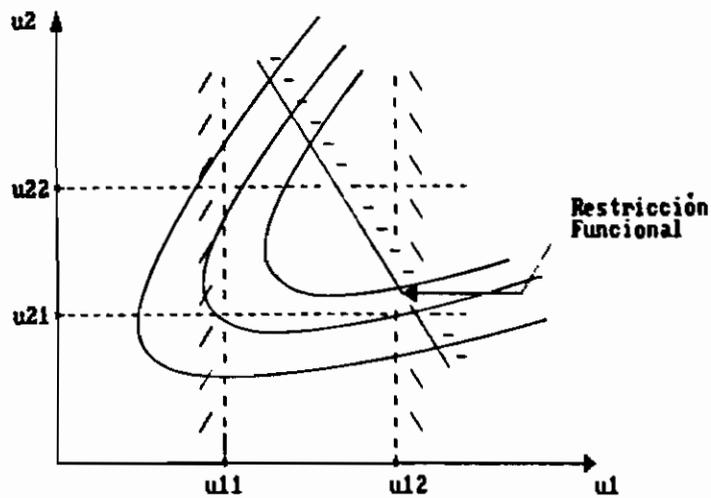


Fig. 7 Representación de una restricción funcional en el caso de dos dimensiones.

El método de Dommel-Tinney es un método de penalización que consiste en aumentar a la función objetivo penalizaciones a las restricciones funcionales, lo cual hace retroceder a la solución a un punto lo suficientemente cercano a la restricción. Para usar este método de penalización se deberá modificar la función objetivo de la siguiente manera [9]:

$$f(\text{con penalización}) = f(\bar{x}, \bar{u}) + \sum W_j$$

En donde se introduce una penalización  $W_j$  para cada una de las restricciones funcionales. Las funciones de penalización  $W_j$  tienen la siguiente forma:

$$N_j = \begin{cases} S_j (x_j - x_{j\max})^2 & ; \text{ cuando } x_j > x_{j\max} \\ S_j (x_j - x_{j\min})^2 & ; \text{ cuando } x_j < x_{j\min} \end{cases}$$

Las funciones de penalización pueden ser representadas gráficamente del siguiente modo:

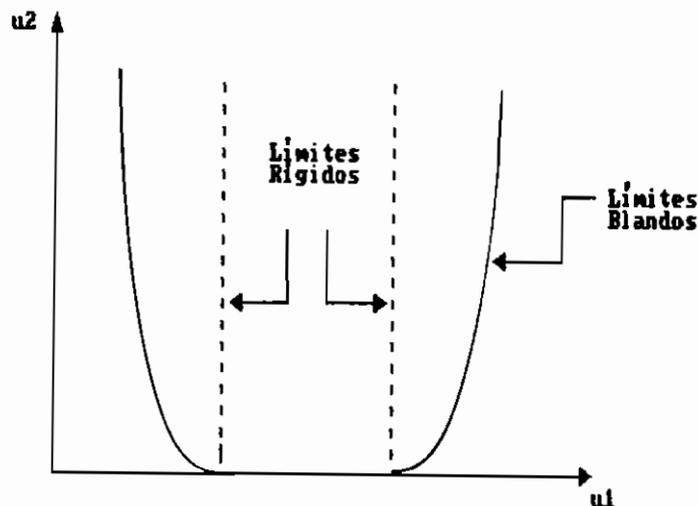


Fig. 8 Función de penalización

Se observa como una función de penalización reemplaza los límites rígidos con los límites blandos. Mientras más escarpada sea la función de penalización, es decir con  $S_j$  más altos, la solución permanecerá más cercana a los límites rígidos.

Del valor de los  $S_j$  dependerá la cercanía o la lejanía entre los límites rígidos y los límites blandos, de aquí que el método sugiere que se empiece la optimización con valores bajos de  $S_j$ ; puede inicializarse con un valor de 5, y que se los vaya incrementando a lo largo del proceso si la solución excede a un determinado límite de tolerancia [9].

En algunas barras del sistema de potencia, dos y hasta tres restricciones de desigualdad deberán ser observadas simultáneamente, por ejemplo:

- En las barras PV asociadas a condensadores sincrónicos se deberán tener en cuenta los límites máximos y mínimos de las magnitudes de voltaje, así como también los límites máximos y mínimos de las potencias reactivas de generación.

De estas restricciones de desigualdad, unas serán tomadas como restricciones de desigualdad sobre los parámetros de control y otras serán tomadas como restricciones funcionales de desigualdad.

Las magnitudes de voltaje de las barras PV y de la oscilante y las potencias activas de generación son tomadas como parámetros de control, dependiendo del tipo de optimización y los valores máximos y mínimos de estas variables serán restricciones de desigualdad sobre los parámetros de control [9].

Se tomarán como restricciones funcionales :

- Defasamientos angulares entre dos barras que se encuentran conectadas, que deberán ser menores a un cierto ángulo  $\alpha_{max}$ . Esto porque si tomamos en cuenta que el vector  $x$  está formado por ángulos de todas las barras, excepto la oscilante y magnitudes de voltaje en las barras PQ, entonces restringir ángulos como tales no tiene sentido. En cambio restringir diferencias angulares, es importante, desde el punto de vista de estabilidad.
- Magnitudes de voltaje de las barras PQ, que deberán estar dentro de sus límites máximo y mínimo y que no son controlables.
- Potencias reactivas de generación de todas las barras, y en la barra oscilante, que deberán estar dentro de sus límites máximo y mínimo. Esto porque ninguna de estas potencias forma parte del vector de control ni siquiera del vector de variables independientes y de modo que de alguna forma se debe tomar en cuenta las restricciones sobre estas cantidades [9].

## CAPITULO 3

### FORMULACION Y DISEÑO DEL MODELO INTERACTIVO

#### PARA FLUJOS OPTIMOS DE POTENCIA

Para la formulación y diseño del modelo interactivo para Flujos Optimos de Potencia, se construirá una base de datos informatizada. La base de datos informatizada tendrá 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; su finalidad es la de servir a una aplicación o más de la mejor manera posible. Los datos se almacenan de modo que resulten independientes de los programas que los usan. Se emplean métodos bien determinados para incluir datos nuevos y para modificar o extraer los datos almacenados [10].

Será necesario eliminar o armonizar el grado de redundancia, esto porque se acarrearán algunos inconvenientes como son: utilización adicional de memoria y lo más grave el hecho de que para actualizar por lo menos una parte de las copias redundantes, es necesario recurrir a múltiples operaciones de actualización.

Una característica importante que debe cumplir una base de datos, es la de mantenerse en plena crisis de cambio y crecimiento. Debe presentar una facilidad a la reestructuración, siempre que se presente la necesidad de agregar nuevos tipos de datos ó utilizarla para nuevas aplicaciones.

Es necesario dar una independencia de datos, siendo este uno de los atributos destacados de la base de datos. Esto implica que los datos y los programas de aplicación que de ellos se sirven son mutuamente independientes. De manera que unos u otros puedan ser modificados sin afectar a los restantes. La aplicación que se da a la base de datos no debe ser afectada por los cambios que se introduzcan en los datos, en su organización o en los dispositivos físicos que los almacenan [10].

Conceptos importantes sobre base de datos, se los desarrolla en el Apéndice # 2

La organización de la base de datos deben cumplir con ciertos

objetivos, que se presentan en el Apéndice # 3.

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

Se llamará entidades a las cosas sobre las cuales se almacena información [10]. Puede ser algo intangible como un suceso, un nombre de tarea, los sistemas eléctricos, las barras, etc. Toda entidad tiene propiedades que eventualmente conviene registrar tales como nombre, número de barras, voltaje, potencia de generación, etc. A estas propiedades se las conoce como atributos.

Se mantiene un registro para cada entidad y agrupamos en conjuntos de registros de entidad todos los registros pertinentes a entidades similares. Esta agrupación se llama archivo. Los registros contienen atributos de las entidades y los valores de estos atributos. A estos atributos se los almacena en campos de la base de datos [11].

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

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

Cada proceso a realizarse se caracteriza por un criterio, siendo los criterios a ser tomados en cuenta, hasta que sea posible, independientes los unos de los otros. Inicialmente se tiene el mundo real, lo que se quiere desarrollar, que en este caso es un programa interactivo para flujos óptimos de potencia. Se analiza esta realidad en una forma más detallada, determinando que condiciones debe cumplir el programa. Esto constituye un análisis conceptual y de este análisis se obtienen las especificaciones del programa, lo que constituye la solución conceptual del problema [10].

En el segundo nivel se tiene ya un dominio de las ideas y la información existente en la mente de las personas y de los programadores acerca del problema planteado. Se habla ya de una solución que es realizable. Este es el análisis lógico del problema, llegando a partir de este, a una solución lógica del problema, que es la definición de la estructura que tendrá la solución del problema [10].

En el tercer nivel, se introduce ya un lenguaje de programación, dando lugar a una solución ejecutable para una máquina real. Se definen las características que pueden tener los programas de acuerdo a la flexibilidad y disponibilidad del lenguaje a ser utilizado, Esto sería la concepción física del problema. Los programas desarrollados constituirían la solución física [10].

El esquema general del proceso sería el mostrado en la Fig.9:

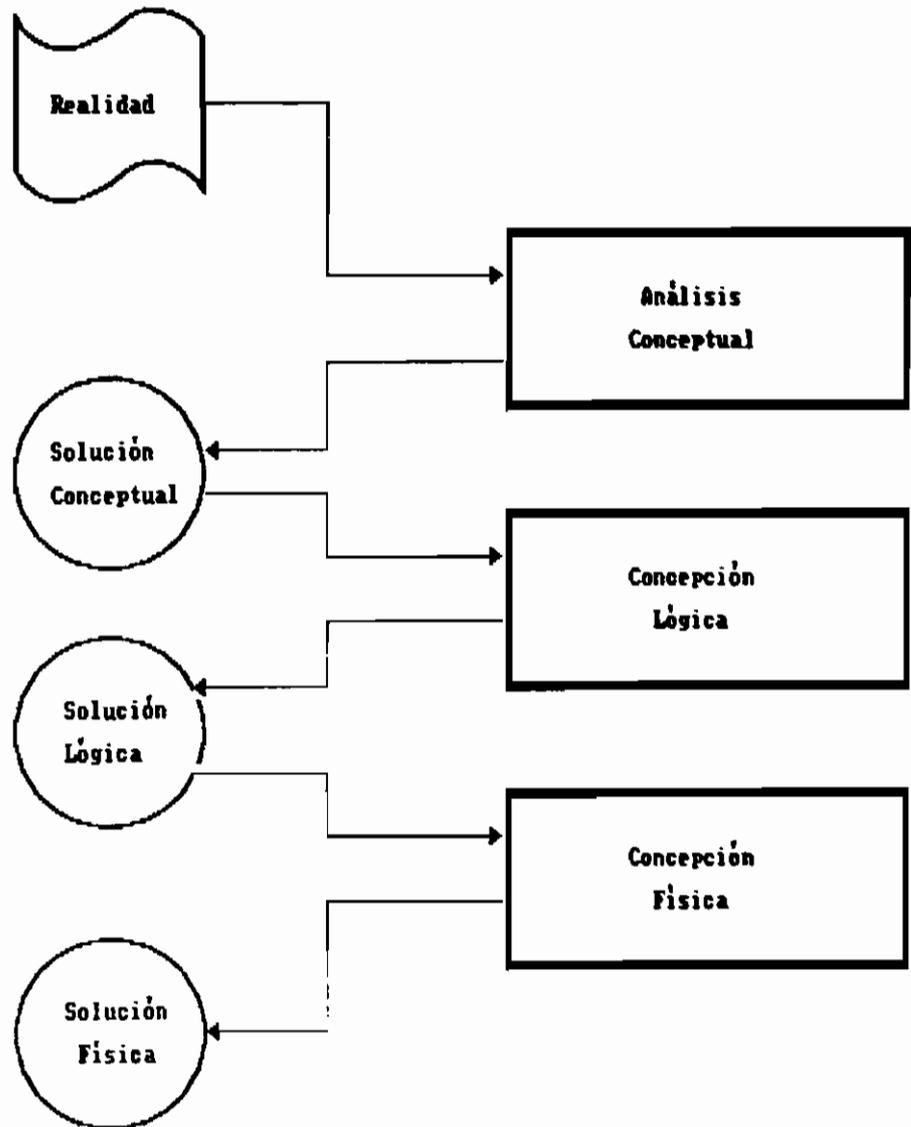


Fig.9 Esquema General del Proceso

Como se explicó anteriormente, cada proceso produce una nueva descripción del problema, equivalente a la descripción dada en el proceso precedente.

El proceso descrito ofrece una modularidad que permite adaptarlo a diferentes casos.

Estas fases del proceso se dan en base a los siguientes objetivos:

- Da lugar de una manera sistemática a una solución, que respete las especificaciones dadas del problema y que sea eficaz para aplicaciones siguientes.

- Reduce la dependencia de la solución respecto a los lenguajes de programación.

El concepto que se utilizará será el de base de datos relacionales.

Las base de datos relacionales, son aquellas en que las entidades que la componen, tienen campos en común, a través de los cuales se establecen relaciones entre estas entidades [10].

### 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. La solución conceptual de la base está constituida de un esquema conceptual de la base [15].

Para el presente caso se desea desarrollar un sistema interactivo; para resolver flujos óptimos de potencia; que permita una fácil comunicación a través del teclado y pantalla del computador. Deberá presentar la capacidad de dar la información teórica de los flujos óptimos de potencia, de presentar menús de ayuda que faciliten el ingreso de datos, de detectar errores en el ingreso de datos. Se podrá ejecutar un flujo de potencia o un flujo óptimo de potencia, consultar y obtener reportes de los resultados.

#### 3.1.1 Esquema conceptual de la base de datos

El modelo interactivo tendrá como entidades los sistemas eléctricos de potencia a crearse, los nodos del sistema y los elementos serie del sistema.

La relación que existe entre sistemas y nodos es de membrecía: el sistema es el propietario y puede tener muchos nodos. Los nodos son miembros del sistema.

Cada sistema podrá tener uno o muchos nodos, lo cual se representaría como (1- $\infty$ ), en tanto que cada nodo pertenecerá a uno y sólo un sistema (1-1). Entre el sistema y sus nodos va a existir una relación que se la definirá como S-N [15].

La relación que existe entre nodos, son los elementos serie (líneas, transformadores), pero esta relación tiene atributos propios y por razones técnicas se transforma en entidad. La relación entre nodos y elementos es de membrecía. Los elementos son miembros de los nodos.

La relación existente entre elementos serie y sistemas es

también de membrecía. Los elementos son miembros de los sistemas.

Todo sistema puede tener uno o muchos elementos serie (1- $\infty$ ), en tanto que cada elemento serie puede pertenecer a uno y sólo un sistema (1-1). La relación existente entre los sistemas y los elementos serie se la definirá como S-E

Un elemento serie puede estar conectado por uno de sus extremos a uno y sólo un nodo (1-1). El nodo puede estar conectado a uno o muchos elementos serie (1- $\infty$ ). La relación existente entre el elemento serie y el nodo se la representará como N-E

El elemento serie estará conectado por el otro de sus extremos a uno y sólo un nodo (1-1). El nodo podrá estar conectado a uno o muchos elementos serie (1- $\infty$ ). La relación existente entre los nodos y los elementos serie tendrá la misma representación anterior, N-E.

Esta descripción de las entidades y sus relaciones se la puede observar en el esquema conceptual de la base de datos presentado en la Apéndice # 4, además se determinarán los atributos de los sistemas, nodos y de los elementos serie, los cuales se definen en función de los requerimientos de las aplicaciones de la base de datos. En este caso, los atributos de las entidades definidas, (sistemas, nodos, elementos) se han establecido de acuerdo a los datos de entrada del programa de flujos óptimos de potencia y a los datos de salida que se obtienen.

### 3.1.2 Especificación de las funciones

Las funciones presentes en el modelo interactivo a desarrollarse serán de tres tipos [15]:

- Funciones especiales.
- Funciones de ayuda y operación.
- Funciones de mantenimiento, consulta y de reportes.

Como funciones especiales se tiene el programa para resolver flujos de potencia y flujos óptimos de potencia.

Dentro de las funciones de ayuda y operación se tendrán los menús y programas auxiliares.

En las funciones de mantenimiento, consulta y reportes, se tendrán todos los programas destinados a trabajar con la la base de datos, tanto para ingresar información en ella como para obtener información de la misma, teniendo la capacidad también de modificar los datos existentes en esta base de datos a formarse y de obtener reportes de la información almacenada en la misma.

Sobre estas funciones se detallará más en los literales

siguientes.

### **3.2 ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA DE FLUJOS ÓPTIMOS DE POTENCIA**

El programa de Flujos Óptimos de Potencia se realizará utilizando el método propuesto por Dommel-Tinney [2]. Este método requiere primeramente de una división de variables, en variables de control y variables de estado, planteándose por tanto el flujo de potencia en variables de control y variables de estado.

Además se requiere definir ciertas funciones objetivo.

Luego de realizar estos dos requerimientos, el método usa la técnica de optimización de los multiplicadores de Lagrange, el teorema de Kuhn y Tucker y el método del gradiente reducido, con el objeto de obtener iterativamente correcciones sucesivas sobre las variables de control hasta llegar a un punto de operación del sistema de potencia, en el cual las funciones objetivo tienen un valor óptimo.

El programa digital tendrá la capacidad de ejecutar tres tipos de optimización a más del flujo de potencia. Los tipos de optimización a realizarse serán los siguientes:

- Flujo óptimo de potencia general, en el que se realiza a la vez despacho económico y minimización de pérdidas.
- Flujo óptimo de potencia activa, en el que se realiza sólo despacho económico.
- Flujo óptimo de potencia reactiva, en el que se realiza solamente la minimización de pérdidas.

La modelación del flujo de potencia se la hará; como se indicó; por el método de Dommel-Tinney incluyendo restricciones de desigualdad sobre los parámetros de control y restricciones funcionales de desigualdad [9].

### **3.3 DISEÑO DE LA PROGRAMACION INTERACTIVA**

Como se indicó, el programa interactivo debe dar ayuda al usuario sobre el proceso matemático de los flujos óptimos de potencia. Además debe presentar facilidades y menús de ayuda para el ingreso de datos, detectando errores en el ingreso de los mismos.

El diseño de la programación interactiva, comprende las especificaciones de las funciones de ayuda, y las funciones de mantenimiento, consulta y reportes de la base de datos.

### 3.3.1 Funciones de ayuda

Se deberá desarrollar un menú principal que presente la posibilidad de realizar las siguientes acciones:

- Ingreso de datos del sistema
- Consulta de teoría, de datos de un sistema y de resultados de un flujo ejecutado.
- Reportes de datos y de resultados.
- Procesos Especiales

Dentro del ingreso de datos se deberá tener la capacidad de ingresar o modificar datos: generales, de barras, de elementos, de reactores y/o condensadores, de límites de taps de trafos o límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo (estos dos últimos para el caso de flujo óptimo), además se requiere eliminar los datos de flujos que no se desea que consten en un reporte de datos de flujos o al consultar los resultados de flujos.

Las consultas que se requiere realizar, son las siguientes: consulta de teoría de F.O.P, de los sistemas existentes, de los datos de los sistemas existentes (datos de barras, de elementos serie, de reactores y/o condensadores, de límites de generación y de límites de taps), de los resultados de flujos realizados (resultados de barras, resultados de flujos, valores resultantes de las funciones objetivo, valores resultantes de las variables de control, número de iteraciones de convergencia en la optimización, pérdidas en el sistema).

Los reportes que el programa tendrá la capacidad de proporcionar son: de datos del sistema (generales, de barras, de elementos serie, de reactores y/o condensadores de límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo, de límites de taps de transformadores), reportes de resultados del flujo realizado (resultados en barras, resultados de flujos, valor resultante de la función objetivo, valor de las variables de control, número de iteraciones de optimización y pérdidas de potencia activa).

En procesos especiales, se deberá tener la capacidad de realizar: flujo de potencia, flujo óptimo de potencia general, flujo óptimo de potencia reactiva y flujo óptimo de potencia activa. Además se podrá realizar la copia ó la eliminación de un sistema eléctrico de potencia.

Se desarrollará otro menú, para la consulta de la teoría de F.O.P. Las consultas que se podrán realizar son de:

- Flujo de potencia
- Flujo óptimo de potencia
- Algoritmo del flujo óptimo de potencia
- Programa digital

En flujo de potencia se podrá efectuar la consulta de los siguientes temas :

- Definición del problema de flujos de potencia
- Planteamiento matemático del flujo de potencia
- El método de Newton-Raphson
- Definición del flujo de potencia en variables de estado
- Modelación de los taps de transformadores

Dentro del flujo óptimo de potencia se dará la capacidad de consultar los siguientes temas:

- Definición del flujo óptimo de potencia
- Formulación matemática
- Despacho económico
- Optimización de pérdidas
- El flujo óptimo de potencia
- Modelo general del flujo óptimo de potencia
- Método del gradiente reducido para la resolución del flujo óptimo de potencia.

En el algoritmo del flujo óptimo de potencia, se revisarán los temas :

- Modelación del flujo óptimo de potencia sin restricciones de desigualdad.
- Modelación del flujo óptimo de potencia con restricciones de desigualdad.
- Modelación del flujo óptimo de potencia con restricciones funcionales de desigualdad.

Sobre el programa digital, se revisará la estructura del programa de flujos óptimos de potencia.

Además de los menús indicados se presentarán algunos menús de ayuda para el ingreso de datos generales, dando una explicación adicional de los datos a ser ingresados.

Se desarrollarán además otros menús con el objeto de diferenciar el tipo de flujo para el que se requiere observar los datos o resultados, u obtener reportes, puesto como se indicó, los flujos pueden ser de los siguientes tipos:

- Flujo de potencia.
- Flujo óptimo de potencia general.
- Flujo óptimo de potencia reactiva.
- Flujo óptimo de potencia activa.

### 3.3.2 Funciones de mantenimiento, consulta y reportes

Las funciones de mantenimiento, consulta y reportes estarán destinadas a ingresar información en la base de datos, a

modificar los datos existentes, a eliminar ciertos datos existentes o a obtener reportes de la información almacenada en la base.

Los datos que se deberán ingresar ó modificar son los siguientes:

- Datos generales

Se ingresarán o modificarán los valores correspondientes al número de taps de tipo T3, criterio de convergencia para flujo de potencia, potencia base, número de barras de tipo T1, número de barras de tipo T2, tolerancia máxima de las restricciones funcionales, número de iteraciones de convergencia de la optimización, ángulo máximo de defasamiento, criterio de convergencia para flujo óptimo.

- Datos de barras

Deberá tener la capacidad de ingresar o modificar el número, el nombre, y el tipo de la barra, la magnitud de voltaje, la magnitud máxima de voltaje, la magnitud mínima de voltaje, el valor del ángulo, la potencia activa de generación, potencia activa de generación máxima, potencia activa de generación mínima, la potencia reactiva de generación máxima, la potencia reactiva de generación mínima, la potencia activa de carga, la potencia reactiva de carga y los coeficientes de las funciones objetivo a, b, c.

- Datos de elementos serie

Se ingresarán o modificarán los siguientes datos de elementos serie: tipo de elemento serie, resistencia, reactancia, admitancia a tierra, valor del tap en el caso de ser un transformador, valor del tap máximo y valor del tap mínimo. Estos dos últimos en el caso de tratarse de un flujo óptimo.

El ingreso de estos datos se hará en forma interactiva de manera que el usuario se guíe por mensajes que aparezcan en la pantalla y se presentarán mensajes de error en caso de equivocaciones al ingresar los datos.

En el caso de consultas se deberá tener la capacidad de consultar los sistemas existentes en la base con sus respectivas descripciones, los datos de barras enumerados anteriormente, los datos de elementos serie indicados. Además se podrán consultar resultados de ejecución de un flujo de potencia o de un flujo óptimo de potencia. Los resultados que se podrían consultar serían: .

- Resultados en barras

Se presentarán los siguientes valores: Número de la barra, nombre de la barra, magnitud de voltaje, ángulo, potencia activa de generación, potencia reactiva de generación, potencia activa

de carga, potencia reactiva de carga.

- Resultados de flujos

En pantalla aparecerán los siguientes resultados: Número de la barra de salida, nombre de la barra de salida, número de la barra de llegada del flujo, nombre de la barra de llegada, flujo de potencia activa, flujo de potencia reactiva.

- Resultados de la función objetivo

Para el caso de optimización general, se presentará el valor optimizado del costo de generación, y el valor optimizado de las pérdidas de potencia activa.

En el caso de despacho económico se presentará el valor optimizado del costo de generación.

Para optimización de pérdidas se presentará el valor mínimo de las pérdidas de potencia activa.

- Resultados de las variables de control

En la optimización general se requiere consultar la magnitud de voltaje de las barras de tensión controlada, con su respectivo número de barra, la potencia activa de generación de las barras de tensión controlada asociadas a generadores, con el costo de generación para cada barra. Además se deberá presentar el valor optimizado de los taps de tipo T1 y T2, en caso de existir taps a optimizarse.

Para despacho económico, aparecerá en pantalla la potencia activa de generación para barras de tensión controlada asociadas a generadores, con su respectivo número de barra, y el costo de generación para cada barra.

En el caso de optimización de pérdidas, se presentará el valor de la magnitud de voltaje para barras de tensión controlada, con su respectivo número de barra y se consultará además el valor optimizado de los taps de transformadores de tipo T1 y T2.

- Resultados de pérdidas y número de iteraciones

Se presentará en pantalla las pérdidas de potencia activa del sistema y el número de iteraciones de convergencia de la optimización para el caso de flujo óptimo de potencia.

### 3.4 ESQUEMA DE LA BASE DE DATOS.- LÓGICO.- FÍSICO

Se definirá la estructura final de la base de datos y para esto se continuará con el proceso lógico y físico en el desarrollo de la base de datos y de las funciones, cuyo análisis conceptual se realizó anteriormente.

### 3.4.1 Concepción lógica

La concepción lógica conduce a partir de la solución conceptual, a la definición de una solución que es ejecutable, por una máquina abstracta, estrictamente independiente de las máquinas reales [15]. La solución lógica está dotada de tres propiedades siguientes:

- Es correcta.
- Es eficaz.
- Es independiente de las máquinas reales.

La solución lógica es correcta porque los algoritmos que se obtienen satisfacen las especificaciones dadas en el esquema conceptual, reduciendo la semántica del esquema conceptual [15].

La solución lógica es eficaz ya que los accesos a los datos que se realizan a través de los algoritmos están optimizados [15].

La solución lógica es independiente de la máquina real, ya que lo que se obtendrá son algoritmos, que podrán ser adaptados a cualquier lenguaje de programación [15].

Como se indicó anteriormente, para el programa interactivo de flujos óptimos de potencia se desarrollarán funciones tanto de ayuda como de mantenimiento de la base de datos. La base tendrá como entidades los sistemas, los nodos y los elementos serie.

Del sistema operativo, se ingresará al menú principal y a partir de este se podrán ingresar todos los datos de un nuevo sistema o modificar datos de un sistema existente mediante las funciones de consulta y mantenimiento de las base de datos.

Para ejecutar un flujo de potencia o un flujo óptimo de potencia, se parte de la base de datos, se forma un archivo secuencial de entrada al programa de flujos óptimos de potencia luego de realizar la validación de los datos del sistema. Se ejecuta el flujo de potencia ó el flujo óptimo de potencia de cualquier tipo. Como resultado de esta ejecución se obtiene un archivo secuencial de salida. Con este archivo secuencial de salida del programa de flujos óptimos se alimenta temporalmente un archivo de apoyo. A partir de este archivo de apoyo; alimentado con los resultados del flujo óptimo; se alimenta a la base de datos, a un archivo de apoyo para almacenar los resultados de flujos y a otro archivo de apoyo para almacenar los valores resultantes de las funciones objetivo, resultados de pérdidas totales de potencia activa del sistema y número de iteraciones de convergencia de la optimización.

El archivo de apoyo en el que se almacenarán los resultados de flujos tendrá la capacidad de receptor los siguientes datos: potencia activa, potencia reactiva, el número de la barra de salida del flujo y el número de la barra de llegada del flujo. El nombre de la barra de salida del flujo y el nombre de la barra de

llegada del flujo. Se almacenará además el nombre del sistema al que pertenecen los flujos.

Para el caso de querer copiar o eliminar un sistema existente, se parte del menú principal y se copia a elimina la información del sistema deseado.

Siempre, luego de realizar algún proceso se retorna al menú principal.

La secuencia de eventos se presenta en la Fig.10

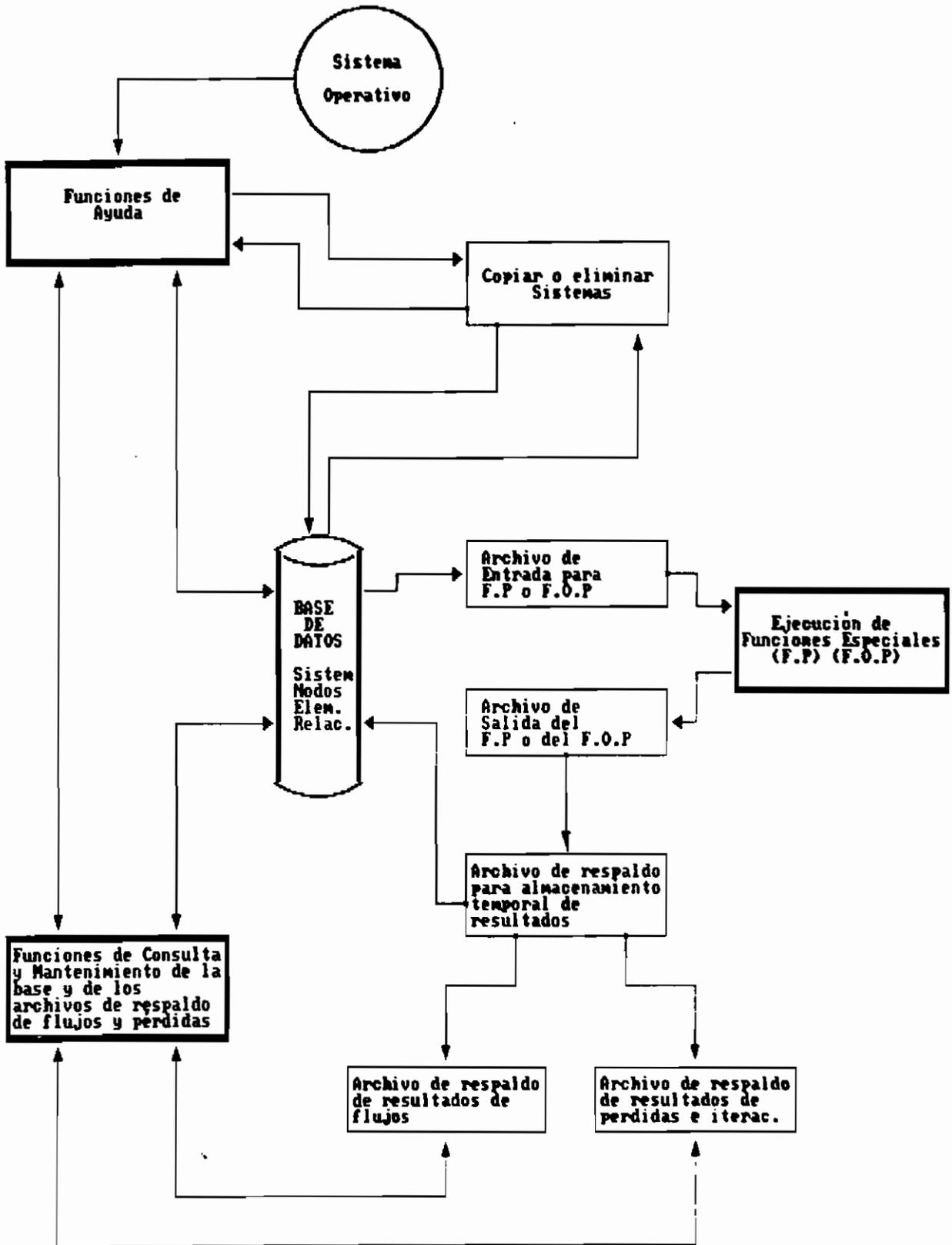


Fig.10 Secuencia de eventos del Programa Interactivo

**a.) Esquema lógico de la base de datos**

Es una representación correcta y lo más directa que sea posible del esquema conceptual de la base de datos [15].

Considerando el esquema conceptual dado en el literal 3.1.1, tenemos el siguiente análisis :

La entidad sistemas tendrá como atributo el código del sistema que es un atributo obligatorio constituyéndose en clave de entrada a la entidad sistemas. A partir del sistema, se podrá acceder a la entidad elementos o a la entidad nodos. De la entidad elementos se podrá pasar a la entidad sistemas con el nombre del sistema (<----->). De la entidad nodos se podrá pasar a la entidad sistemas conociendo el nombre del sistema (<----->).

Un sistema puede tener muchos nodos (1-n) y cada nodo puede pertenecer sólo a un sistema (n-1). Un sistema puede tener muchos elementos serie (1-n) y cada elemento serie puede pertenecer sólo a un sistema (n-1).

Un nodo puede estar conectado a muchos elementos serie (1-n).

Las relaciones se representarán con . Las relaciones existentes serán entre sistemas y nodos (S-N), entre sistemas y elementos serie (S-E) y entre nodos y elementos serie (N-E).

El análisis realizado se representa en el esquema lógico dado en el apéndice # 5. También se presenta el desarrollo de los atributos de la entidad sistemas, de la entidad nodos y de la entidad elementos.

**b) Concepción lógica de las funciones**

**b.1) Funciones especiales.**

El programa de resolución de flujos óptimos de potencia, tendrá el siguiente algoritmo de resolución:

- Se leen los datos generales del sistema eléctrico de potencia y se definen las variables auxiliares útiles para el dimensionamiento de las matrices a ser utilizadas. Se define el valor de indicadores para realizar flujo de potencia o flujo óptimo de potencia.
- Se realiza el enceramiento de los arreglos que tienen valores iniciales nulos. Además se inicializa con el valor de 5 a los vectores que se usan para incluir las restricciones funcionales.
- Se leen los datos de cada una de las barras del sistema.

Además se leen los coeficientes de las funciones objetivo, en el caso de flujo óptimo de potencia activa y reactiva y en el caso de flujo óptimo de potencia activa.

- Si existen taps de transformadores a optimizarse, de acuerdo al modelo matemático utilizado, se ordena a las barras de una forma determinada, y con este ordenamiento se procede a leer los datos de los elementos de interconexión, taps de transformadores, datos de elementos shunt, a partir de los cuales se forma la la matriz YBARRA. Esta matriz inicial YBARRA variará en cada iteración de optimización, en caso de haber taps que se optimicen en el proceso.
- Cuando el número de taps a optimizarse es diferente de cero se debe modificar la matriz YBARRA, una vez que haya variado el valor de los taps en el proceso de optimización.
- Se evalúan los términos del jacobiano.
- Se calcula el vector de incrementos y se lo asigna en un vector de resultados.
- Luego se resuelve el sistema de ecuaciones mediante el método de bifactorización, utilizando el jacobiano.
- Se verifica convergencia del flujo de potencia. Si el flujo converge, se pasa a realizar la optimización. Si no converge se regresa a calcular al jacobiano y a seguir el proceso descrito hasta obtener convergencia.
- Si el flujo de potencia converge, se toma el jacobiano de la última iteración. Se evalúa las potencias activas y reactivas de todas las barras PV, así como también de la barra oscilante.
- Dependiendo del tipo de optimización, se forma el vector de variables de control para luego calcular el valor de la derivada parcial de la función objetivo con respecto al vector de estado. Se realiza la transposición del jacobiano.
- Se resuelve el sistema de ecuaciones, utilizando el método de bifactorización. Para obtener el vector de los multiplicadores de Lagrange.
- Se calcula la derivada de la función objetivo con respecto al vector de control.
- Evaluación del jacobiano reducido y transposición del mismo. Se resuelve la segunda ecuación de las tres necesarias de cumplir para obtener la optimización. De acuerdo a esto se observa si converge o no el flujo óptimo de potencia. Si converge, se pasa a imprimir resultados del flujo óptimo y resultados del flujo de potencia y se

termina el proceso. Si no se obtiene convergencia, se procede al siguiente paso.

- Se evalúa la constante C.
- Encontrado un valor de la constante C, se corrige el valor de las componentes del vector de control, corrigiéndose por tanto también las componentes del vector de variables independientes. Se procede a ejecutar el flujo de potencia para los nuevos valores obtenidos luego de la iteración de optimización. Si existen taps de transformadores a optimizarse se procede primero a modificar la matriz YBARRA, de acuerdo a los nuevos valores de taps que se tienen, luego de la iteración de optimización.
- Se ejecuta el flujo de potencia y se continúa con el proceso descrito.

Como resultados del flujo óptimo de potencia se tendrán los siguientes datos:

Resultados de las variables de control, para cada uno de los tipos de optimización realizado.

Valor resultante de la función objetivo, para cada uno de los casos de optimización realizado.

Valores resultantes en barras, para los tres casos de optimización y para el caso de un flujo de potencia.

Valores resultantes de flujos, en el caso de ejecutarse cualquiera de los tres casos de optimización, o un flujo de potencia. Se calcula el flujo de potencia activa y reactiva, que fluye por cada uno de los elementos del SEP.

Pérdidas de potencia activa en el sistema y número de iteraciones de convergencia de la optimización.

## b.2) Funciones de ayuda

Las funciones de ayuda se refieren a menús que se presentarán en pantalla, con el objeto de que el usuario escoja la opción deseada, debiendo por lo tanto presentar las opciones de forma clara y precisa.

El menú principal a formarse presentará la estructura mostrada en la Fig.11

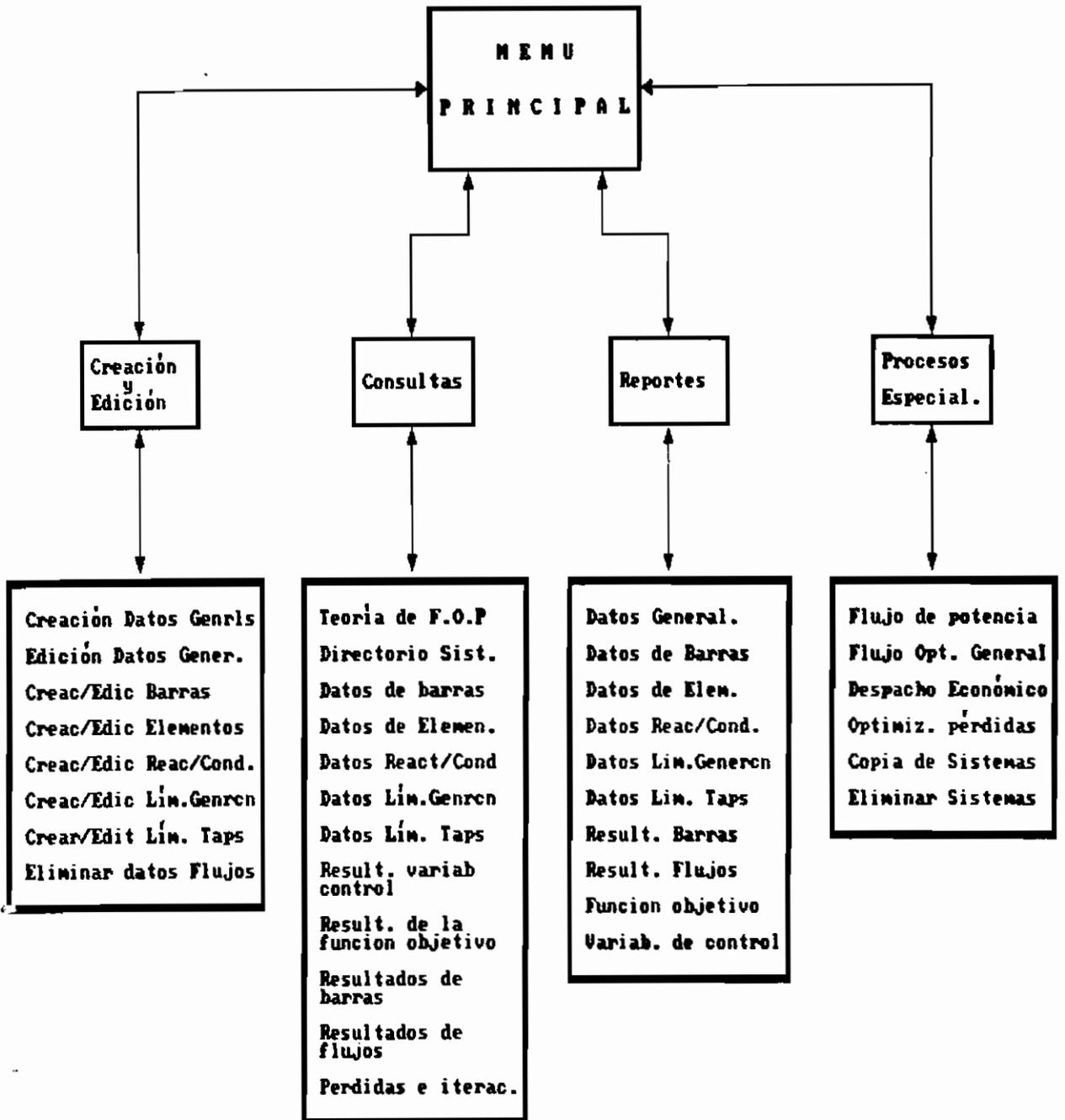


Fig.11 Diagrama del Menú Principal

Se tendrá otro menú de ayuda correspondiente a la teoría de flujos óptimos de potencia. Este menú presentará la estructura mostrada en la Fig.12

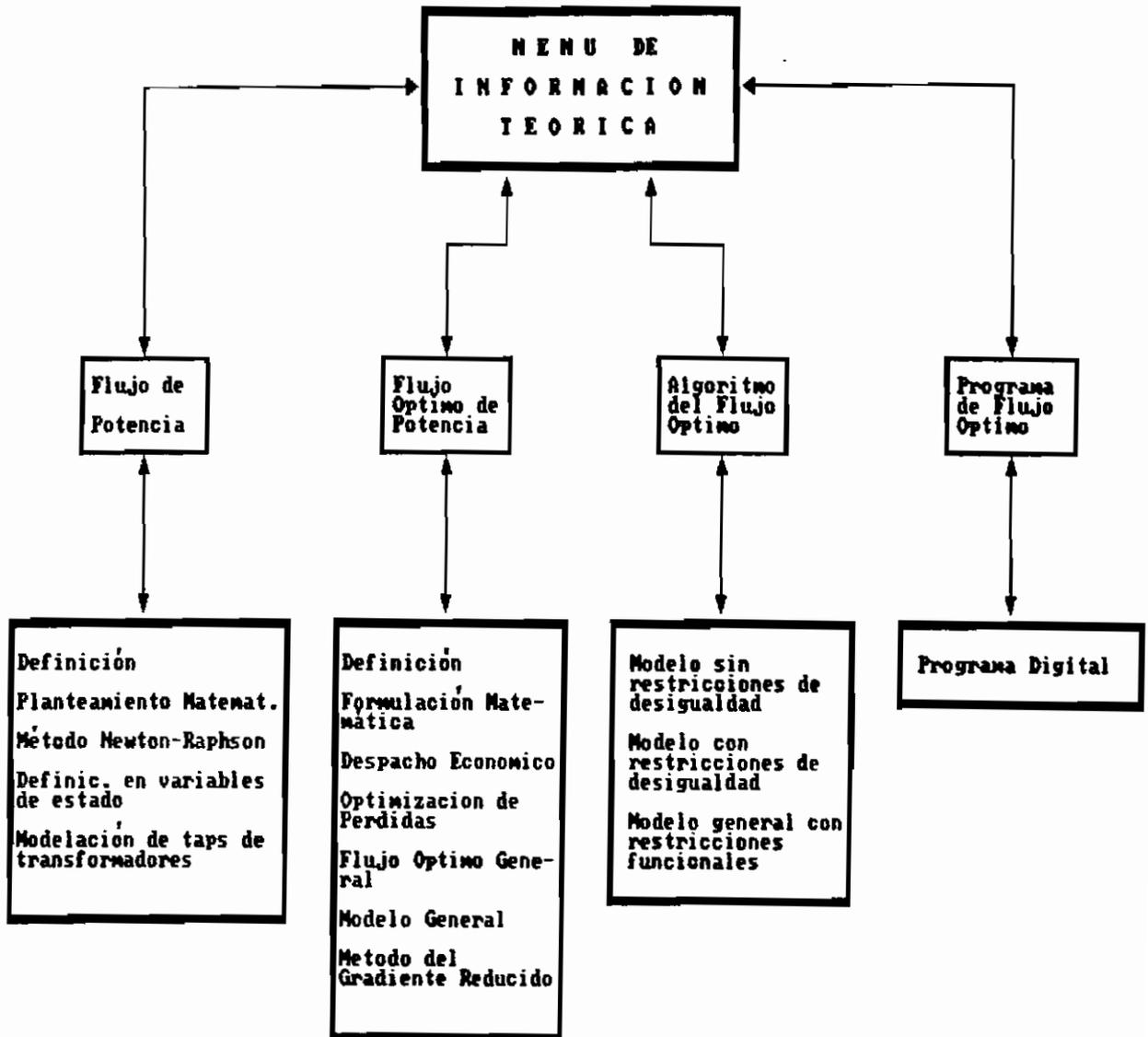


Fig.12 Diagrama del Menú de Información Teórica

Además se tendrán, algunos menús de ayuda para el ingreso de datos de un sistema eléctrico de potencia.

**b.3) Funciones de mantenimiento, consulta y reportes de la base de datos**

Las funciones, tendrán datos de entrada de la función, un proceso a desarrollarse y los datos de salida que se obtienen. Este procedimiento se lo puede observar, más detalladamente en el Manual de Uso (Apéndice # 8).

**3.4.2 Concepción física**

La concepción física da una solución correcta, eficaz y ejecutable para una máquina real [15].

La solución física es correcta, porque los programas y procedimientos traducen los algoritmos desarrollados a partir de las especificaciones de la base dadas en el análisis conceptual [15].

La solución física es ejecutable, porque ella se expresa por medio de programas y procedimientos redactados en un lenguaje con el que una máquina real puede procesar información [15].

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. La representación gráfica de lo que se tendría, se da en la Fig.13

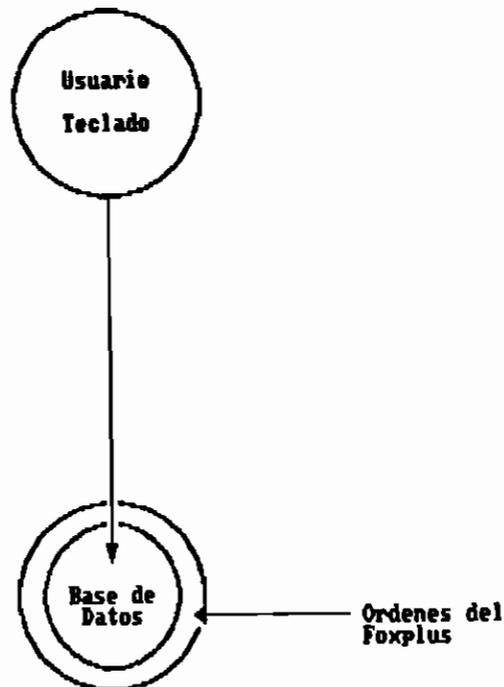


Fig.13 Esquema simplificado del Administrador de base de datos

Para los programas especiales se ha utilizado el FORTRAN.

**a) Esquema físico de la base de datos**

Se convierten las relaciones existentes entre las entidades. La forma de convertir estas relaciones es transformándolas en atributos, para lo cual a todas las entidades cuya relación con otras sea de membresía se incorpora como atributo, el identificador de la entidad propietaria [15].

De acuerdo a esto la relación existente entre sistemas y nodos es el código del sistema, por tanto código del sistema pasa a ser atributo de la entidad nodos.

La relación existente entre sistemas y elementos es el código del sistema. Se suprime la relación haciendo que el código del sistema pase a ser atributo de la entidad elementos.

La relación existente entre la entidad nodos y la entidad elementos esta dada por el código del nodo de salida del elemento serie y por el código del nodo de llegada del elemento serie. Para convertir la relación, el código del nodo de salida y el

código del nodo de llegada pasan a ser atributos de la entidad elementos.

Este es el concepto de base de datos relacionales, ya que todas las entidades tendrán un campo en común, que sería el código del sistema.

Para definir la estructura física de los atributos, se toma en cuenta que cada atributo será un campo de la entidad. Para esto se determina el nombre del campo, el tipo de campo, se determina el número de caracteres que tiene el campo y en caso de ser numérico, se define también el número de decimales.

Los campos en el FOXBASE, pueden ser de los siguientes tipos [16]:

- Numérico.- Se usan números con o sin dígitos decimales. Sólo se puede introducir números y el signo menos.
- Caracter.- Se usan para almacenar algunos caracteres que incluyen las letras, números, algunos símbolos especiales o los espacios en blanco.
- De Fecha.- Se usan para almacenar fechas. El formato normal para introducir fechas es MM/DD/AA.
- Lógicos .- Consisten en una sola letra que representa un valor verdadero o falso. La letra T o la Y representan verdadero y la F o la N representan falso.
- Memo .- Puede almacenar grandes bloques de texto por cada registro.

La definición del número de caracteres se la realiza tomando en cuenta las necesidades del programa.

Las entidades tomarán los siguientes nombres ya dentro de los programas:

Entidad	Nombre en programa
SISTEMAS	SISTEMAS.DBF
NODOS	NODOS.DBF
ELEMENTOS	LINEAS.DBF

Por las necesidades de la programación, se ha requerido añadir un atributo tanto a la entidad nodos como a la elementos, este atributo se refiere al número de ingreso de la barra y del elemento.

Cada uno de estos archivos de la base de datos, tiene archivos índices asociados, ordenados de acuerdo a cierto criterio, fijado este por las necesidades de los programas utilitarios desarrollados.

Los archivos índice, creados serían los siguientes:

Para la entidad Sistemas :

ARCHIVO	CRITERIO DE ORDENACION
INSIS.IDX	Código del sistema

Para la entidad Nodos:

ARCHIVO	CRITERIO DE ORDENACION
INNOD.IDX	Código del sistema + Número de ingreso de la Barra.
INNOD1.IDX	Código del sistema + Código de la barra.
INNOD2,IDX	Código del Sistema + Indicador del tipo de barra.

Para la entidad elementos :

ARCHIVO	CRITERIO DE ORDENACION
INLIN.IDX	Código del sistema + Número de ingreso del elemento.
INLIN1.IDX	Código del sistema + Tipo del elemento + Código de la barra de llegada.
INLIN2.IDX	Código del sistema + Indicador del tipo de elemento.

El esquema resultante físico de la base de datos se presenta en el Apéndice # 6 .

En cuanto a los archivos tipo FOXBASE, los nombres que toman en el programa serian los siguientes:

FLUJOS.DBF	Al archivo tipo FOXBASE donde se almacenan los resultados de flujos para cada uno de los tipos de flujos.
RESULFLU.DBF	Al archivo tipo FOXBASE donde se almacenan los resultados de las funciones objetivo, pérdidas de potencia activa y el número de iteraciones de convergencia de la optimización, para los tipos de flujos que se pueden realizar.
RESULTAD.DBF	Es el archivo temporal tipo FOXBASE donde se almacenan a partir del archivo secuencial de salida del programa de flujos óptimos, los resultados del flujo ejecutado, para a partir de este archivo realizar la realimentación a la base de datos y a los archivos tipo FOXBASE: Flujos y Resulflu.

A su vez cada uno de estos archivos de respaldo, tiene archivos índices asociados a cada uno de ellos. Estos archivos se indexan de acuerdo a las necesidades de los programas utilitarios. Los archivos índice creados serán los siguientes:

Para el archivo tipo FOXBASE Flujos :

ARCHIVO	CRITERIO DE ORDENACION
INFLU.IDX	Código del sistema + Código de la barra de salida + Código de la barra de llegada.
INFLU1.IDX	Código del sistema + Número de ingreso del flujo.

Para el archivo tipo FOXBASE Resultflu:

ARCHIVO	CRITERIO DE ORDENACION
INRES.IDX	Código del sistema

De acuerdo con lo indicado la estructura física de los archivos tipo FOXBASE de respaldo sería la mostrada en el Apéndice # 7.

#### b) Definición física de las funciones

La definición física de las funciones corresponde específicamente a la realización de los programas. Se tendrán tres tipos de programas de acuerdo a la definición dada de las funciones.

- Programas Especiales
- Programas de Ayuda
- Programas de Mantenimiento, Consulta y Reportes.

##### b.1) Programas Especiales

Corresponde al desarrollo del programa de flujos óptimos de potencia. El autor del programa original es el Ing. Francisco Vinuesa. Para la adaptación al microcomputador ha sido indispensable, realizar algunos cambios en cuanto a la utilización de la memoria (dimensionamiento de las matrices en el

programa principal). Por efecto de limitaciones de memoria y del compilador, el programa que inicialmente fue diseñado para 100 barras ha quedado con un límite de utilización de 40 barras.

Se mantiene la restricción de que la barra oscilante tenga el código igual a 1.

Este programa como se indicó funcionará en un computador que tenga una memoria como mínimo de 640 Kb.

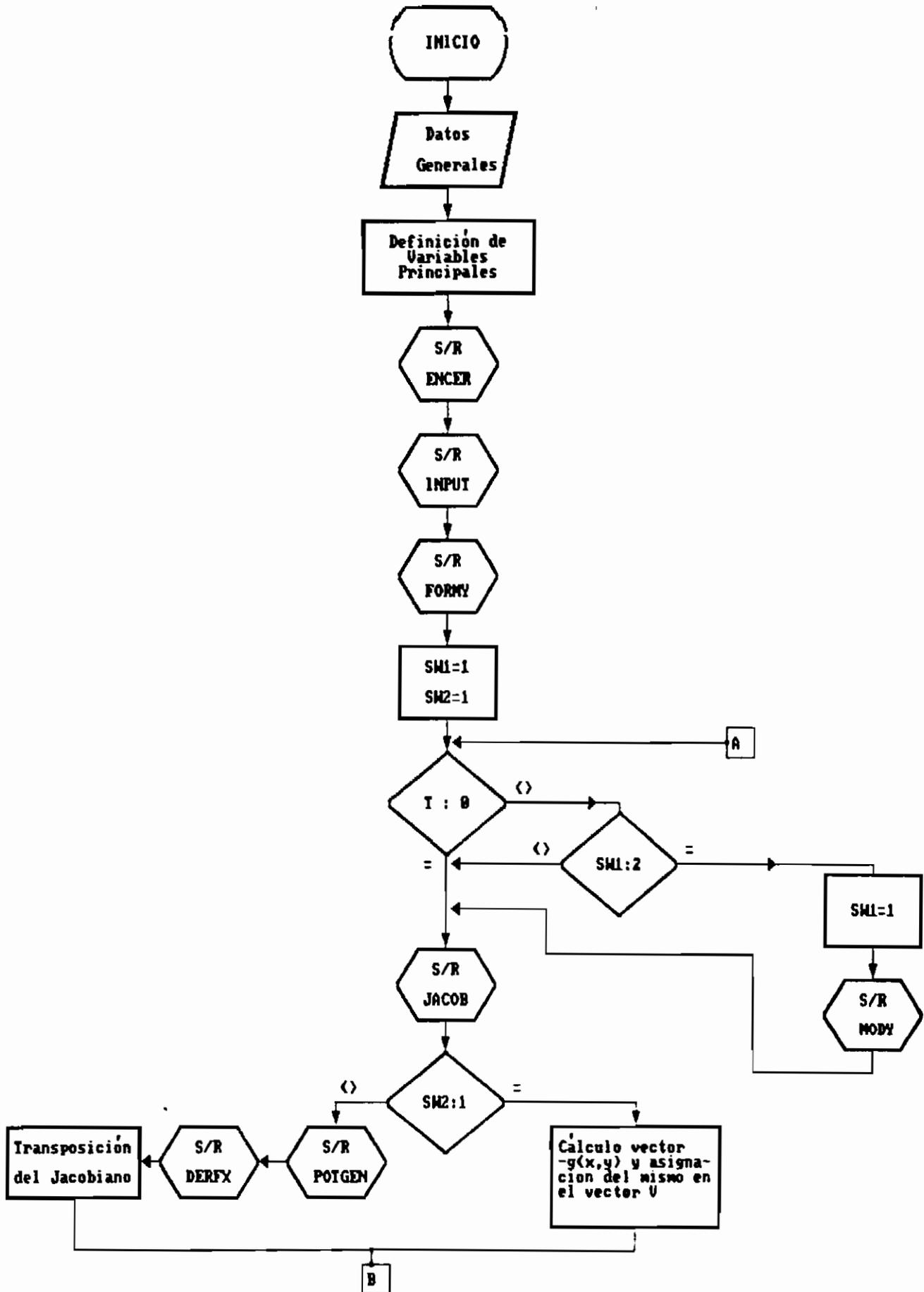
Para la adaptación del programa de flujos óptimos al esquema interactivo, se debieron realizar cambios en las entradas y salidas del programa.

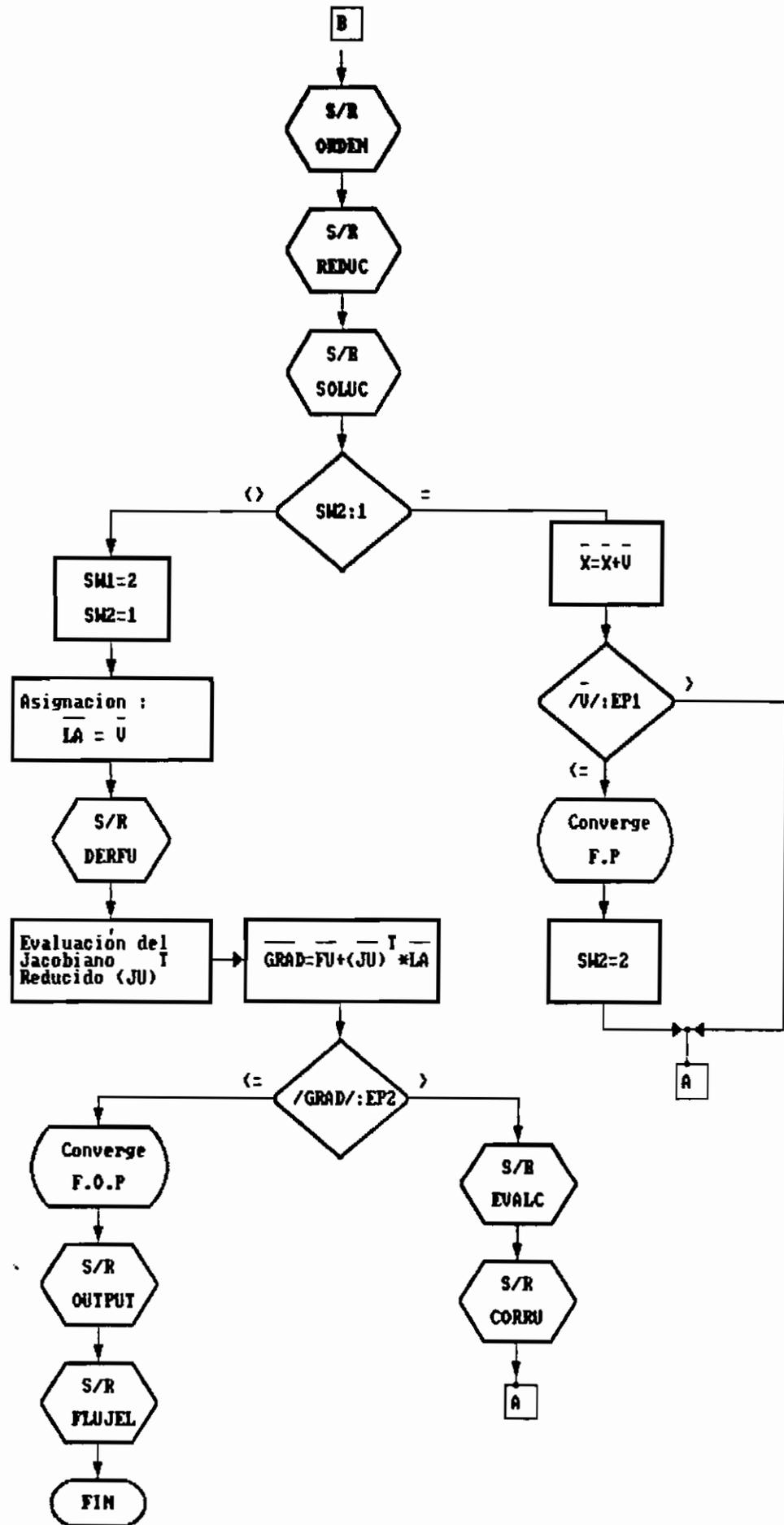
La entrada de datos del programa de flujos óptimos se adaptó, para que los datos sean leídos de un archivo secuencial.

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

El diagrama de flujo, del programa de flujos óptimos de potencia se presenta en la Fig.14

Fig.14 Diagrama de Flujo del Programa Principal





En el caso de ejecutar un flujo óptimo de potencia se darán los siguientes resultados :

- Valores resultantes en barras.
- Valores resultantes de flujos.
- Valores resultantes de las variables de control.
- Valor resultante de la función objetivo.
- Número de iteraciones de convergencia de la optimización y potencia activa de pérdidas .

El listado de este programa se presenta en el Anexo # 1.

## b.2) Programas de Ayuda

El esquema físico de los programas de ayuda, corresponde al listado del programa del Menú Principal, y al listado del programa de consultas de la teoría de Flujos Optimos de Potencia.

El listado del programa del Menú Principal se lo presenta en el Anexo 2. El movimiento se realizará utilizando las teclas de control de posición del cursor. Se escogerá la opción con <Rtn> y se retorna al sistema operativo con <Esc>.

El programa del Menú de Teoría de Flujos Optimos de Potencia se presenta en el Anexo # 3. Al igual que en el menú principal, el movimiento en pantalla se realizará utilizando las teclas de control de posición del cursor. Se escogerá la opción con <Rtn> y se retorna al menú principal con <Esc>. Dentro de este programa de información teórica, se tendrán los siguientes programas de teoría:

- Definición del programa, en el Anexo # 4
- Planteamiento matemático del flujo de potencia, en el Anexo # 5
- Método de Newton-Raphson, en el Anexo # 6
- Definición en variables de estado del flujo de potencia, en el Anexo # 7
- Modelación de Taps, en el Anexo # 8
- Definición del Flujo OPTimo de Potencia, en el Anexo # 9
- Formulación matemática del flujo óptimo de potencia, en el Anexo # 10
- Despacho Económico, en el Anexo # 11
- Optimización de pérdidas, en el Anexo # 12
- Flujo Optimo de Potencia General, en el Anexo # 13
- Modelo general del flujo Optimo de Potencia, en el Anexo # 14
- Método del Gradiente Reducido para la solución del Flujo Optimo de Potencia, en el Anexo # 15
- Modelo sin restricciones de desigualdad del flujo óptimo de potencia, en el Anexo # 16
- Modelo con restricciones de desigualdad del flujo óptimo de potencia, en el Anexo # 17
- Modelo con restricciones funcionales de desigualdad, en el Anexo # 18
- Descripción del programa de flujos óptimos de potencia, en el

## Anexo # 19

**b.3) Programas de Mantenimiento, Consulta y Reportes de la Base de Datos**

Los listados de estos programas se presentan de la siguiente forma :

- Creación de Datos Generales, en el Anexo # 20
- Modificar Datos Generales, en el Anexo # 21
- Creación y Edición de Datos de Barras, en el Anexo # 22
- Creación y Edición de Datos de Elementos Serie, en el Anexo # 23
- Creación y Edición de Datos de Reactores y/o Condensadores, en el Anexo # 24
- Creación y Edición de Datos de Límites de Generación y Coeficientes de las Funciones Objetivo, en el Anexo # 25
- Creación y Edición de Datos de Límites de Taps de Transformadores con cambiadores de Taps, en el Anexo # 26
- Eliminación de Datos de Flujos, en el Anexo # 27
- Directorio de Sistemas, en el Anexo # 28
- Consulta de datos de Barras, en el Anexo # 29
- Consulta de datos de Elementos Serie, en el Anexo # 30
- Consulta de datos de Reactores y/o Condensadores, en el Anexo # 31
- Consulta de datos de Límites de Generación y Coeficientes de las Funciones Objetivo, en el Anexo # 32
- Consulta de datos de Límites de Taps de Transformadores, en el Anexo # 33
- Consulta de resultados en barras, en el Anexo # 34
- Consulta de resultados de flujos, en el Anexo # 35
- Consulta de valores resultantes de las variables de control, en el Anexo # 36
- Consulta del valor resultante de la función objetivo, en el Anexo # 37
- Consulta del número de iteraciones de convergencia de la optimización y pérdidas de potencia activa en el sistema, en el Anexo # 38
- Reporte de los datos generales del Sistema, en el Anexo # 39
- Reporte de los datos de barras, en el Anexo # 40
- Reporte de los datos de elementos serie, en el Anexo # 41
- Reporte de los datos de reactores y/o condensadores, en el Anexo # 42
- Reporte de los datos de límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo, en el Anexo # 43
- Reporte de los datos de límites de taps de transformadores, en el Anexo # 44
- Reporte de valores resultantes en barras, en el Anexo # 45
- Reporte de valores resultantes de flujos, en el Anexo # 46
- Reporte de valores resultantes de las variables de control, en el Anexo # 47
- Reporte del valor resultante de la función objetivo, en el Anexo # 48

- Reporte del número de iteraciones de convergencia de la optimización y pérdidas de potencia activa, en el Anexo # 49

Para el caso de ejecución de cualquier tipo de flujos se tienen los siguientes programas :

- Un programa de validación de datos, cuyo listado se presenta en el Anexo # 50
- Un programa para formar el archivo secuencial de entrada al programa de Flujos Optimos, su listado se presenta en el Anexo # 51
- Un programa para realimentar la base de datos, a partir del archivo secuencial de salida del programa de Flujos Optimos. Su listado se presenta en el Anexo # 52
- Copia de sistemas, en el Anexo # 53
- Eliminación de sistemas, en el Anexo # 54
- Además se tiene un programa conocido como archivo de procedimientos dentro del FOXBASE. Su listado se presenta en el Anexo # 55.

## **CAPITULO 4**

### **UTILIZACION DEL PROGRAMA INTERACTIVO**

#### **4.1 APLICACION DIDACTICA**

En la enseñanza de la Ingeniería Eléctrica, tiene una gran importancia, la realización de ejemplos ilustrativos, con el objeto de ejercitar al estudiante en la resolución de problemas que se presentan en un sistema eléctrico de potencia.

Con el advenimiento de la programación interactiva, se ha dado una nueva orientación a la educación de la Ingeniería Eléctrica en Sistemas de Potencia, por la rapidez con que los resultados pueden ser obtenidos. 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 [13].

El estudiante puede partir de un caso base, y se encuentra en libertad de cambiar los valores iniciales, conforme sigue usando el programa. Con un sistema se puede instruir el estudiante en casi todos los importantes conceptos del flujo óptimo de potencia. Además el programa mantendrá en el estudiante el interés, y le dará la seguridad de que siempre el resultado será exitoso impidiendo que en algún momento el estudiante se quede sin ninguna opción a realizar.

#### **4.1.a Ejemplo con un sistema de demostración, del uso didáctico el programa interactivo**

Inicialmente se tomará un caso base (Ejemplo 1) y en este sistema se realizarán cambios, para luego proceder a ejecutar todos los tipos de flujos que se pueden realizar con este programa:

- Flujo de Potencia
- Flujo Optimo General
- Flujo Optimo de Potencia Activa

- Flujo Óptimo de Potencia Reactiva

Una vez obtenidos los resultados, se procede a analizar los resultados del programa digital, considerando que se obtendrán los siguientes resultados:

Para el caso de flujo de potencia:

- Valores resultantes de voltajes en barras
- Flujos de potencia a través de los elementos.
- Pérdidas de potencia activa y número de iteraciones

Para cualquier tipo de optimización:

- Valores resultantes en barras.
- Flujos de potencia a través de los elementos.
- Valor resultante del vector de control
- Valor resultante de la función objetivo
- Pérdidas de potencia activa y número de iteraciones.

Para el análisis de resultados, se hará la siguiente consideración:

F.P = Flujo de potencia.  
F.O.P = Flujo óptimo de potencia general.  
F.O.P.A = Flujo óptimo de potencia activa.  
F.O.P.R = Flujo óptimo de potencia reactiva.

#### 4.1.a.1 Ejemplo 1

Se ha escogido, para la demostración el sistema mostrado en la Fig.15, que será el sistema base del análisis que se realizará a continuación.

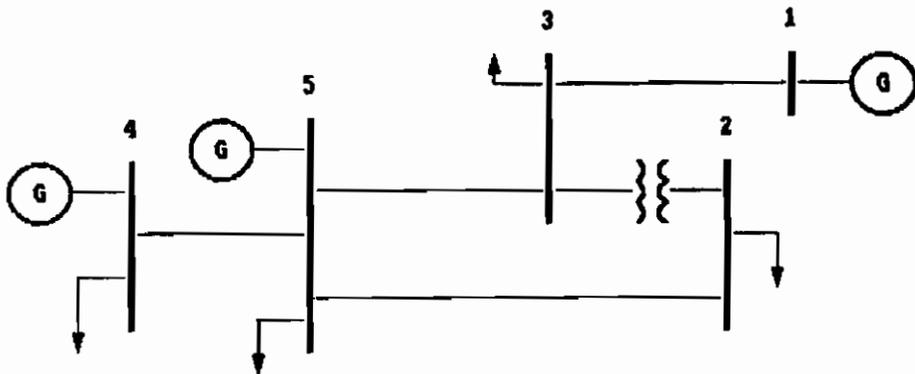


Fig.15 Diagrama Unifilar del Ejemplo 1

Este sistema pequeño, es una representación simplificada de un sistema de potencia, y contiene la mayoría de los esenciales componentes encontrados en un sistema real. El ingreso de datos se lo realiza en la forma indicada en el Manual de Uso del programa interactivo, en el Apéndice # 8

Los reportes de datos del sistema Ejemplo 1, obtenidos a partir del programa interactivo se presentan en el Apéndice # 9.

No se tienen reactores o condensadores en paralelo.

Los valores iniciales de voltaje y los datos de los elementos serie, se encuentran en p.u. En cuanto a los valores iniciales de voltaje, pueden tener cualquier valor, siempre que se encuentren dentro de límites de operación.

### Resultados del programa digital

La ejecución del flujo óptimo de potencia reactiva, se la realiza tomando en cuenta un criterio de convergencia para la optimización de 0.01.

Los resultados obtenidos para cada uno de estos flujos, se presentan en el Apéndice # 10

### Análisis de Resultados

#### a. Análisis de resultados de barras

	Barra	VAL.	F.P	F.O.P	F.O.P.A	F.O.P.R
	No. Tipo	INIC.				
Magnitud de Voltaje	1 DSC	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	2 PQ	1.00	1.0061	0.998	1.009	1.0078
	3 PQ	1.00	0.9818	0.9749	0.9853	0.9843
	4 PV	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	5 PV	1.05	1.05	1.0362	1.05	1.0486
Potencia de Generación activa (Mw)	1	0.0	71.88	54.46	54.25	54.24
	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	100	100.00	170.55	170.37	170.37
	5	100	99.99	47.11	47.55	47.54

En el caso de flujo de potencia, se observa que los valores de voltaje en las barras de tensión controlada y la oscilante son iguales a los valores iniciales dados. Esto porque en el flujo de potencia, los voltajes de las barras PV y oscilante, permanecen constantes. En tanto que en el flujo óptimo general, como una de las variables de control es el voltaje en barras de tensión controlada y oscilante, estos valores varían del inicial, pudiendo tomar el valor de uno de los límites. Se observa que el voltaje de la barra 5 varía con respecto al inicial. En el flujo óptimo de potencia activa, las variables de control, son las potencias de generación activa, por tanto los valores de voltaje de las barras PV y oscilante permanecen constantes. En el flujo óptimo de reactivos, se observa que el voltaje de la barra 5 varía respecto al inicial una vez realizada la optimización, lo cual es justificado, porque para la optimización de reactivos los voltajes de las barras PV y oscilante constituyen variables de control.

En cuanto a la distribución de la potencia de generación, para el caso de flujo de potencia, se observa que la mayor carga la toma la barra 4, siguiéndole la barra 5, y por último la barra oscilante. En el caso del flujo óptimo general, como se realiza una optimización de costos, y de acuerdo a las funciones de costos dadas, la barra que mayor función de costo tiene es la 5, luego la 1 y por último la 4, la distribución de la potencia de generación entre estas barras que tienen generación se da de manera que la que mayor función de costo tiene, es la que menos genera.

- b. Análisis de los valores resultantes de las funciones objetivo y de las pérdidas de potencia activa

	F.P	F.O.P	F.O.P.A	F.O.P.R
Costo mínimo de generación (\$/H)	1201.68	1153.2	1153.53	
Pérdidas mínimas (Mw)		6.115		6.154
Pérdidas de potencia activa (Mw)	5.9263	6.149	6.1956	6.1823

De acuerdo a resultados obtenidos, se puede observar, que el valor de las funciones objetivo es menor en el caso en que se realiza el flujo óptimo general, que cuando se realiza individualmente cada uno de los flujos óptimos, aunque los valores de las funciones objetivo, obtenidos individualmente, no difieren en mucho de los valores obtenidos en el flujo óptimo general.

Las pérdidas de potencia activa mayores, se dan en el caso en que se ejecuta únicamente flujo óptimo de potencia activa, debido a la distribución inicial de potencia de generación frente al óptimo. La reducción de costos, del valor que se tenía en el caso de flujo de potencia, a 1153.2 causa un pequeño aumento en las pérdidas de transmisión.

#### c. Análisis de los valores resultantes del vector de control

	Barra No.	VAL. Tipo	F.O.P	F.O.P.A	F.O.P.R
Magnitud de Voltaje de barras PV y DSC	1 DSC	1.05	1.05		1.05
	4 PV	1.05	1.05		1.05
	5 PV	1.05	1.0362		1.05
Potencia activa de Generac. en barras PV asociadas a generac.	4	100	170.55	170.37	
	5	100	47.11	47.55	
Costo de generación en barras PV con generador.	4		668.29	667.543	
	5		234.94	236.867	
Valor optimizado del tap	2		1.025		1.0

El análisis de voltajes y potencias de generación, corresponde al realizado en los resultados de barras.

En cuanto a los taps, se observa una variación en su valor, para el caso de optimización de reactivos, ya que los taps de los transformadores de tipo T1 y T2, varía al irse corrigiendo en cada iteración de optimización,

**d. Análisis de los resultados de flujos por las líneas**

Comparando los flujos por las líneas de un flujo de potencia, con los flujos correspondientes a una optimización, se observa que se realiza una redistribución de los flujos a través de las líneas, debido a la redistribución de potencia activa.

Comparando los flujos resultantes de una optimización de potencia activa, con los flujos resultantes de una optimización de potencia reactiva, se tiene que los valores de potencia activa que fluye entre las líneas, son prácticamente iguales, en tanto que en los que corresponde al flujo de potencia reactiva, se produce una redistribución de los reactivos, por los elementos del sistema.

**4.1.a.2 Ejemplo 2**

Corresponde al Ejemplo 1, pero en este caso se considera que los coeficientes de la función objetivo de la barra 4, aumentan de valor, teniéndose, los siguientes datos de coeficientes de las funciones objetivo:

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

**DATOS DE LIMITES DE GEN. DE POT. ACTIVA Y COEF. DE FUNCIONES OBJETIVO  
EJEMPLO2**

TIPO	BARRA No.	P.ACT. GEN.MAX ( Mw )	P.ACT. GEN.MIN ( MW )	COEF.A (\$/H)	COEF.B (\$/H)	COEF.C (\$/H)
PV6	4	200.00	50.00	60.00000	300.00000	200.00000
PV6	5	100.00	20.00	50.00000	389.00000	40.60000
DSC	1	100.00	20.00	50.00000	351.00000	44.00000

**Resultados del programa digital**

En este caso, el criterio de convergencia que se utiliza para ejecutar el flujo óptimo de potencia reactiva es de 0.001

Los resultados del programa digital para el Ejemplo 2, se presentan en el Apéndice # 11.

**Análisis de Resultados**

**a. Análisis de resultados de barras**

	Barra No.	Tipo	VAL. INIC.	F.P	F.O.P	F.O.P.A	F.O.P.R
Magnitud de Voltaje	1	DSC	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	2	PQ	1.00	1.0061	1.0025	1.0073	1.0015
	3	PQ	1.00	0.9818	0.9787	0.9833	0.9777
	4	PV	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	5	PV	1.05	1.05	1.0439	1.05	1.0427
Potencia de Generación activa (Mw)	1		0.0	71.88	65.54	65.73	65.72
	2		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4		100	100.00	128.59	128.70	128.70
	5		100	99.99	77.46	77.21	72.20

Comparando los resultados obtenidos, con los listados para el Ejemplo 1, es importante tomar en cuenta la forma en que se realiza la nueva distribución de potencia activa de generación. La barra 4, cuyos valores de los coeficientes de las funciones objetivo, fueron aumentados, empieza a generar menos que en el caso del Ejemplo 1, y la diferencia de potencia activa se reparte entre los otros dos generadores.

**b. Análisis de los valores resultantes de las funciones objetivo y de las pérdidas de potencia activa**

	F.P	F.O.P	F.O.P.A	F.O.P.R
Costo mínimo de generación (\$/H)	1361.68	1352.46	1352.58	
Pérdidas mínimas (Mw)		5.597		5.615
Pérdidas de potencia activa	5.9263	5.6480	5.6931	5.6671

El valor del costo mínimo de generación, aumentó con respecto al que se tenía en el caso del Ejemplo 1, para la misma potencia de carga. Lo cual se podría explicar, porque los coeficientes de una de las funciones objetivo aumentaron de valor.

En cuanto a las pérdidas, se observa que las pérdidas mínimas disminuyeron con respecto al Ejemplo 1.

**c. Análisis de los valores resultantes del vector de control**

	Barra No. Tipo	VAL. INIC.	F.O.P	F.O.P.A	F.O.P.R
Magnitud de Voltaje de barras PV y OSC	1 OSC 4 PV 5 PV	1.05 1.05 1.05	1.05 1.05 1.0439		1.05 1.05 1.0427
Potencia activa de Generación en barras asociadas a generac.	4 5	100 100	128.59 77.46	128.70 77.21	
Costo de generación en barras PV con generador.	4 5		684.978 371.936	685.49 370.75	
Valor optimizado del tap	2		1.025		1.0

Los costos de generación de las unidades han aumentado, por efecto del aumento de valor de los coeficientes de una de las funciones objetivo.

El valor del tap, ha variado, para el caso de flujo óptimo de potencia reactiva.

**d. Análisis de los resultados de flujos por las líneas**

Al igual que en el caso anterior, existe una gran diferencia entre los flujos en los elementos en el caso de flujo de potencia, y los flujos en los elementos en el caso del flujo óptimo. Dentro de los tres casos de optimización, los flujos de potencia activa tienen valores similares, en tanto que en el caso

de la potencia reactiva, se presenta una apreciable diferencia entre el flujo de reactivos en el caso de optimización de potencia activa y el flujo de reactivos en el caso de optimización de potencia reactiva. La optimización de reactivos, constituye una distribución del flujo de potencia reactiva, de manera de obtener las pérdidas mínimas de potencia activa.

**4.1.a.3 Ejemplo 3**

Corresponde al Ejemplo 1, pero considerando que a la barra 2 de carga, se le quita toda la potencia activa y reactiva de carga, con el objeto de analizar los efectos que esta acción, produce sobre el sistema.

Los datos de barras, quedarían de la siguiente manera:

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

DATOS DE BARRA  
EJEMPLOS

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	PQ	1.0000	1.0500	0.9500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	PQ	1.0000	1.0500	0.9500	0.00	0.00	0.00	0.00	70.00	3.00
4	PVG	1.0500	1.0500	0.9500	0.00	100.00	70.00	-50.00	86.00	20.00
5	PVG	1.0500	1.0500	0.9500	0.00	100.00	100.00	0.00	80.00	10.00
1	OSC	1.0500	1.0500	0.9500	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00

**Resultados del programa digital**

Los resultados del programa digital para el Ejemplo 3, se presentan en el Apéndice # 12.

**Análisis de resultados**

**a. Análisis de resultados de barras**

	Barra No. Tipo	VAL. INIC.	F.P	F.D.P	F.D.P.A	F.D.P.R
Magnitud de Voltaje	1 DSC	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	2 PB	1.00	1.0366	1.0245	1.0364	1.0352
	3 PB	1.00	1.0114	0.9996	1.011	1.0098
	4 PV	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	5 PV	1.05	1.05	1.0347	1.05	1.0484
Potencia de Generación activa (Mw)	1	0.0	37.98	44.44	44.51	44.45
	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	100	100.00	160.43	160.56	160.56
	5	100	99.99	34.94	34.86	34.90

Los voltajes para todos los casos de flujos, del Ejemplo 3, son mayores en magnitud que los obtenidos en el caso del Ejemplo 1. Lo cual está de acuerdo a la teoría de los flujos de potencia.

En cuanto a la generación, como la potencia que se tiene que generar es menor, comparando con los resultados obtenidos en el Ejemplo 1, se tiene que la barra que más disminuye en su generación es la número 5, que corresponde a la vez con la barra que tiene los coeficientes de las funciones objetivo más altas.

**b. Análisis de los valores resultantes de las funciones objetivo y de las pérdidas de potencia activa**

	F.P	F.O.P	F.O.P.A	F.O.P.R
Costo mínimo de generación (\$/H)	1064.07	1019.18	1019.69	
Pérdidas mínimas (Mw)		3.799		3.908
Pérdidas de potencia activa	1.9772	3.8088	3.9004	3.8808

Los costos mínimos de generación disminuyen, con respecto a los obtenidos en el Ejemplo 1, esto porque se está generando menos.

Las pérdidas de potencia activa mínimas, también disminuyen.

**c. Análisis de los valores resultantes del vector de control**

	Barra No. Tipo	VAL. INIC.	F.D.P	F.D.P.A	F.D.P.R
Magnitud de Voltaje de barras PV y OSC	1 OSC 4 PV 5 PV	1.05 1.05 1.05	1.05 1.05 1.0347		1.05 1.0484 1.05
Potencia activa de Generación en barras asociadas a generac.	4 5	100 100	160.43 34.94	160.56 34.86	
Costo de generación en barras PV con generador.	4 5		626.73 182.61	627.25 182.3	
Valor optimizado del tap	2		1.025		1.0

Los análisis de voltaje, de potencia de generación y costos se los ha realizado ya en el análisis de resultados de barras.

El valor del tap, sufre modificación en el caso de la optimización de potencia reactiva.

#### d. Análisis de los resultados de flujos por las líneas

El comportamiento de los flujos de potencia activa y reactiva por los elementos, es similar al explicado en los ejemplos anteriores.

## 4.2 APLICACION EN ANALISIS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

Si bien el presente programa interactivo ha sido desarrollado para una aplicación en el laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia, puede ser también utilizado para aplicaciones en sistemas reales, con la única restricción de que el número de barras que debe tener el sistema de trabajo, debe ser menor de 40 barras, que es el límite de aplicación del programa en cuanto al número de barras.

El programa, por tanto puede constituirse en una herramienta de la ingeniería, para la resolución de una variedad de problemas de Sistemas Eléctricos de Potencia.

**Ejemplo de aplicación en análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia**

Para realizar una aplicación del programa a un sistema real, se ha obtenido un equivalente de 15 barras del sistema de la Empresa Eléctrica Quito.

Los coeficientes de las funciones objetivos de los generadores de este sistema, han sido supuestos.

Este sistema, al que se le ha asignado el código EEQSA, se presenta en la Fig.16:

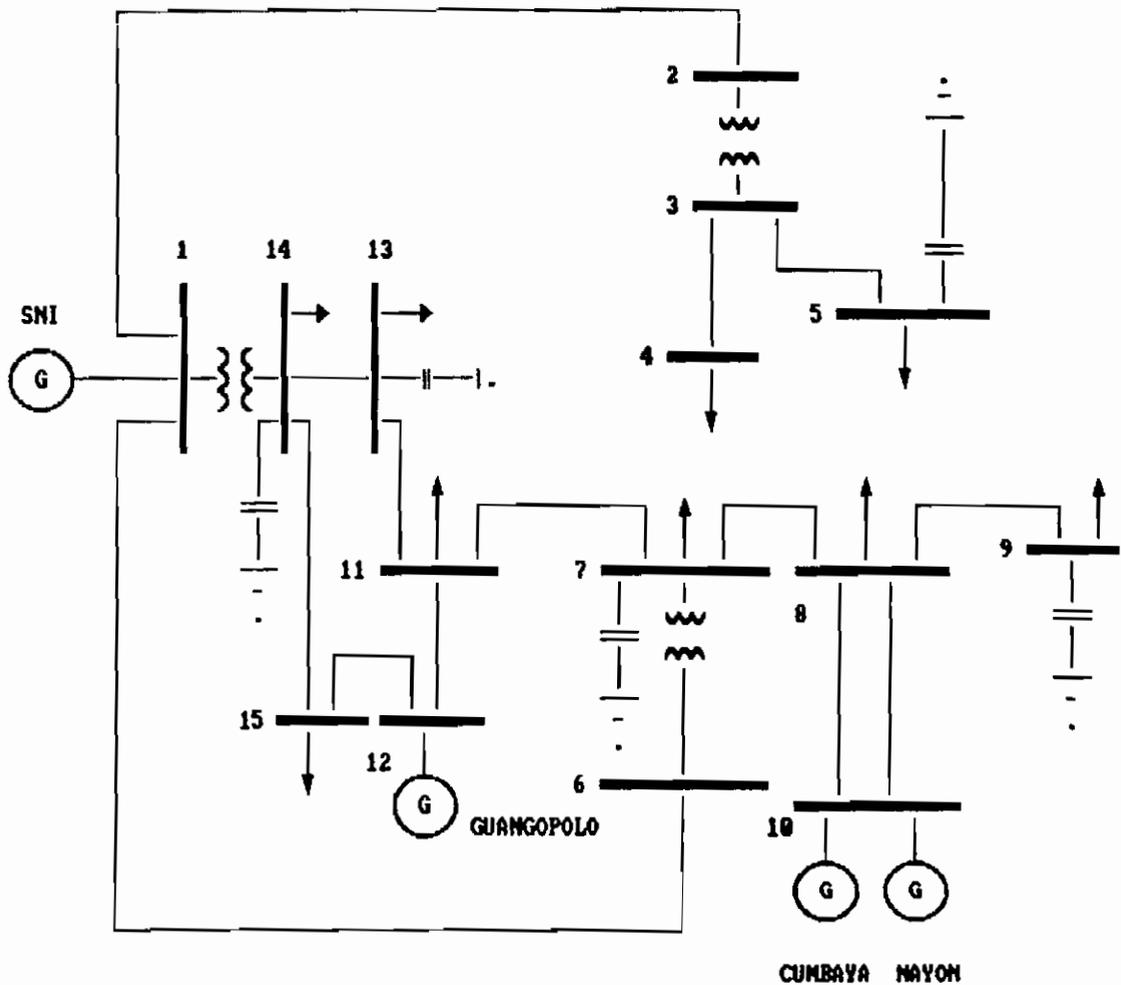


Fig. 16 Diagrama Unifilar del Sistema EEQSA

Los datos asignados al sistema se presentan en el Apndice # 13.

Ejecución del caso base

Para obtener el caso base del sistema EEQSA, se corrió un flujo de potencia, con los datos listados anteriormente y se obtienen los siguientes resultados en barras:

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO DE POTENCIA  
EEQSA

BARRA No.	NOMBRE	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)
1		OSC	1.0100	0.00	128.12	35.81	0.00	0.00
2		PQ	0.9899	-1.95	0.00	0.00	0.00	0.00
3		PQ	0.9649	-6.88	0.00	0.00	0.00	0.00
4		PQ	0.9472	-8.47	0.00	0.00	36.80	7.56
5		PQ	0.9534	-7.84	0.00	0.00	21.26	8.25
6		PQ	1.0019	-0.96	0.00	0.00	0.00	0.00
7		PQ	0.9947	-3.12	0.00	0.00	31.77	11.50
8		PQ	0.9928	-2.48	0.00	0.00	21.12	6.40
9		PQ	0.9823	-4.20	0.00	0.00	35.00	7.70
10		PV6	1.0000	-1.41	65.00	5.12	0.00	0.00
11		PQ	0.9892	-3.68	0.00	0.00	13.20	6.80
12		PV6	1.0000	-2.89	15.00	6.54	0.00	0.00
13		PQ	0.9865	-4.25	0.00	0.00	30.00	10.60
14		PQ	1.0006	-2.76	0.00	0.00	9.20	4.50
15		PQ	0.9973	-3.17	0.00	0.00	7.45	3.00

**Análisis de resultados del caso base**

En los resultados de barras, para el sistema EEQSA, se observa que el voltaje en la barra 4, es menor al valor de 0.95. Para subir el valor del voltaje en esta barra, aumentamos el valor de los reactivos aportados por la barra 5. El cambio lo vamos a realizar, en un sistema copia del sistema EEQSA, y se le asignará el código EEQSA-2.

Los datos correspondientes a los reactores y condensadores quedarían como se lista a continuación:

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

**DATOS DE REACTORES Y/O CONDENSADORES DEL SISTEMA  
EEQSA-2**

BARRA P No.	POTENCIA REACTIVA ( MVAR )
1	0.00
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	9.00
6	0.00
7	12.00
8	3.00
9	4.50
10	0.00
11	0.00
12	0.00
13	6.80
14	4.50
15	0.00

Con este cambio se ejecuta el flujo de potencia, y se obtienen resultados aceptables, con lo que se procede a ejecutar los flujos de optimización, obteniéndose los resultados que se presentan en el Apéndice # 14.

#### **Análisis de resultados**

Como se observa a partir de los resultados, el programa es ejecutable para un sistema real, que tenga un número de barras como máximo de 40. Una observación importante que se debe realizar para este caso en particular, es que en el caso del flujo óptimo general, no se llega a la convergencia del flujo. Se podrían aumentar las iteraciones de convergencia, pero el tiempo que se necesitaría para la ejecución aumentaría aún más de lo que necesita para las 40 iteraciones. En este caso, se recomienda primero ejecutar el flujo óptimo de potencia activa y luego ejecutar el flujo óptimo de potencia reactiva.

### **4.3 GUÍA DE LABORATORIO**

La siguiente guía de laboratorio, puede ser utilizada para la práctica de los Flujos Óptimos de Potencia, en el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia.

#### **4.3.1 Flujo Óptimo de Potencia Activa o Despacho Económico**

a. **Objetivo.-** Determinar la distribución de potencia activa de generación entre varias unidades térmicas de un sistema propuesto.

b. **Información.-**

Un flujo óptimo de potencia es un flujo optimizado en algún sentido, cumpliendo a la vez un conjunto de restricciones.

Dentro del flujo óptimo, se requiere de una función objetivo, cuyo valor se debe maximizar o minimizar y de una técnica de optimización [9].

Como funciones objetivo, se tienen:

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

La repartición de la potencia total de carga, entre las diferentes unidades de generación, de un sistema de potencia

realizando la mayor economía posible, recibe el nombre de despacho económico.

Por tanto, el despacho económico es un flujo óptimo de potencia, en el que la función objetivo a minimizar son los costos de generación.

Para la ejecución del Despacho Económico, se considera que las unidades de generación son térmicas.

El método que se utiliza para la optimización es el formulado por Dommel-Tinney. Este método 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 máximos y mínimos de las variables de control. Incluye las restricciones funcionales para tomar en cuenta los límites máximos y mínimos de las variables de estado y las potencias reactivas de generación y amplía las funciones objetivo con penalizaciones para incluir estas restricciones [9].

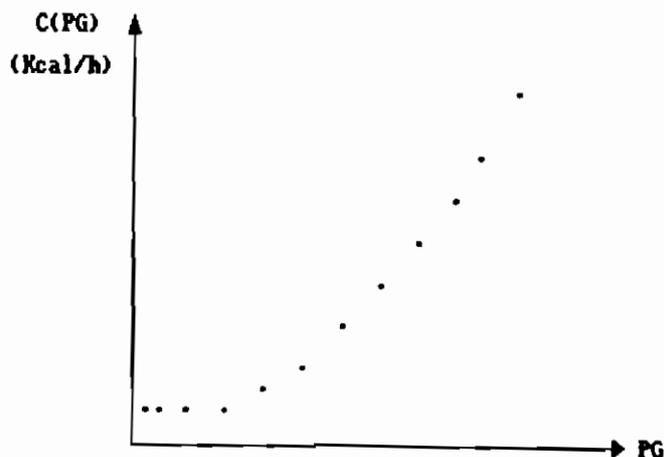
Este método tiene la ventaja de no necesitar la matriz de coeficientes [B], ni la fórmula de pérdidas.

#### Formulación matemática del flujo óptimo de potencia activa

La función objetivo para despacho económico, es minimizar costos de generación.

Como se asumen unidades térmicas, la función objetivo para cada unidad será la función de costo de combustible.

La representación de las funciones de costo de combustible será:



Curva típica de Entrada y Salida  
 $C(PG)$  = Consumo de combustible en Kcal/hora  
 $PG$  = Potencia generada

En la optimización, se necesita una función analítica de la curva, para lo cual se le aproxima a una función cuadrática:

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

La función objetivo para todo el sistema en despacho económico será:

$$f = \sum_{i=1}^{k1} (a_i PG_i^2 + b_i PG_i + c_i) + \sum_{i=k1+1}^{k2} (a_i PG_i^2 + b_i PG_i + c_i) \quad (1)$$

En donde:

$$k1 = M+2$$

$$k2 = M+S-SS+1$$

Para la optimización por este método, se debe dividir al vector de variables independientes y en dos vectores, uno de variables de control u, y otro de variables fijas p, de modo que:

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

El vector  $\bar{u}$  para despacho económico estará formado por:

- Potencias activas de generación PG, en las barras PV, no asociadas a condensadores sincrónicos.

Una vez planteada la función objetivo y el vector de control, el modelo general de la optimización sería el siguiente:

$$\min f(\bar{x}, \bar{u}) \quad (2)$$

donde  $\bar{x}$  = vector de variables de estado (constituyen las incógnitas del flujo de potencia)

Con las restricciones de igualdad impuestas por el flujo de potencia:

$$\bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) = 0 \quad (3)$$

La resolución se la hará utilizando, el método de optimización de los multiplicadores de Lagrange; aumentando la función objetivo con las restricciones de igualdad; es decir se plantea la función ampliada de Lagrange:

$$L(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) = f(\bar{x}, \bar{u}) + \bar{\lambda}^T \bar{g}(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) \quad (4)$$

$\lambda_i$  = Elementos del vector, se llaman multiplicadores de Lagrange

La función ampliada deberá cumplir con las siguientes ecuaciones en el mínimo [9]:

( $\delta$ =derivada parcial)

$$\frac{\delta L}{\delta \bar{x}} = \frac{\delta f}{\delta \bar{x}} + \left[ \begin{array}{c} \bar{\delta g} \\ \bar{\delta x} \end{array} \right]^T \bar{\lambda} \quad (5)$$

$$\frac{\delta L}{\delta \bar{u}} = \frac{\delta f}{\delta \bar{u}} + \left[ \begin{array}{c} \bar{\delta g} \\ \bar{\delta u} \end{array} \right]^T \bar{\lambda} \quad (6)$$

$$\frac{\delta L}{\delta \bar{\lambda}} = g(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p}) = 0 \quad (7)$$

La matriz  $[\delta \bar{g} / \delta \bar{x}]$ , es la matriz jacobiano de la última iteración del flujo de potencia. Se ha usado el método formal de Newton-Raphson.

La matriz  $[\delta \bar{g} / \delta \bar{u}]$ , es el jacobiano reducido.

Las ecuaciones (7), son las ecuaciones del flujo de potencia.

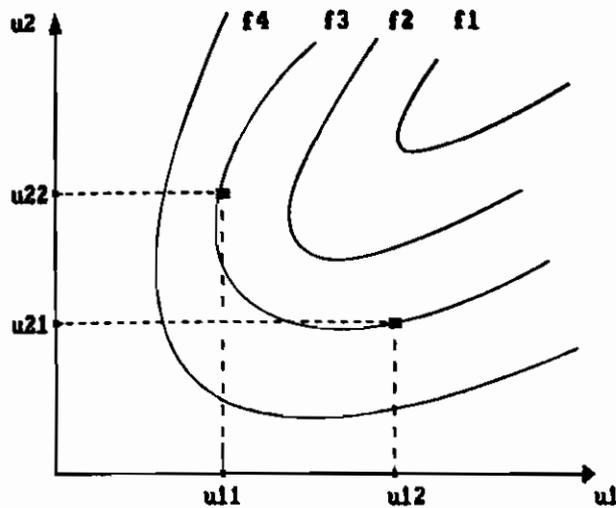
Estas ecuaciones se igualan a cero, para obtener la optimización [9].

**Método del gradiente reducido para la solución del flujo óptimo de potencia**

Las ecuaciones (7), pueden tener varios puntos de solución, no necesariamente óptimos.

Resuelto el flujo de potencia, con la ayuda del jacobiano de la última iteración y con el vector de las derivadas de  $f$  con respecto al vector  $\bar{x}$ , se puede encontrar el vector de los multiplicadores de Lagrange, aplicando la ecuación (5). Reemplazando este vector en la ecuación (6), se encontrará en general, que el vector  $\delta L / \delta \bar{u}$  no es igual a cero, ya que no necesariamente el punto encontrado de solución será el óptimo. El vector  $\delta L / \delta \bar{u}$ , es el vector gradiente  $\bar{\nabla} f_u$ , el cual es ortogonal a los contornos de valores constantes de las funciones objetivo [2].

Los contornos de igual valor de las funciones objetivo, presentarán en el caso de dos dimensiones, la siguiente forma:

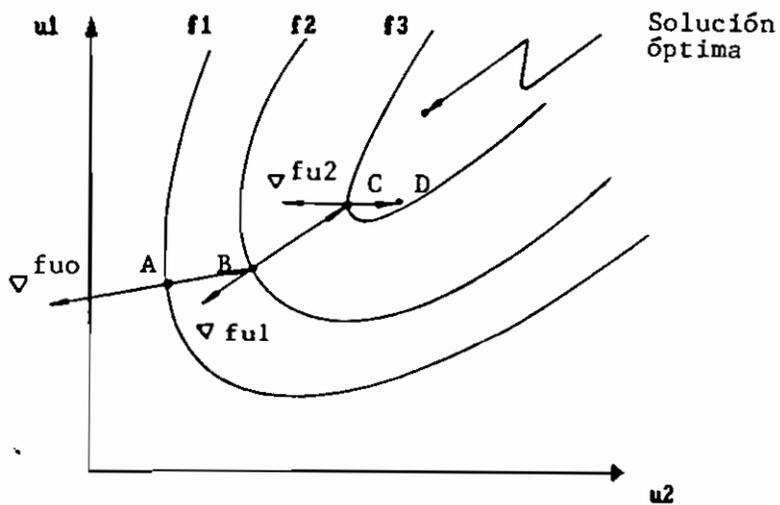


Contornos de valor constante de las funciones objetivo

Donde  $f_3 > f_2 > f_1$

El valor de la función objetivo en  $(u_{11}, u_{21})$ , es igual al valor que tiene en  $(u_{12}, u_{22})$

El esquema interactivo más simple, para la resolución de las ecuaciones (5), (6), (7), es el método del gradiente reducido, que consiste en partir de una solución factible del flujo de potencia y moverse en la dirección del gradiente negativo para encontrar un nuevo punto factible de solución, pero que estará más cerca al punto óptimo [9]. En dos dimensiones se tendrá el siguiente gráfico:



Movimiento en la dirección del gradiente negativo

### Proceso de optimización

Una vez obtenida la convergencia del flujo de potencia, se toma el jacobiano de la última iteración del flujo de potencia, de acuerdo a la ecuación (5), a partir de la cual se podrá obtener el vector de los Multiplicadores de Lagrange.

$$-\frac{\delta f(\bar{x}, \bar{u})}{\delta \bar{x}} = \left[ \frac{\delta g(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})}{\delta \bar{x}} \right]^T \bar{\lambda}$$

Con el vector  $\bar{\lambda}$  y con la ayuda de la ecuación (6), se podrá obtener el vector gradiente  $\bar{\nabla} f_u$ .

$$\bar{\nabla} f_u = \frac{\delta f(\bar{x}, \bar{u})}{\delta \bar{u}} + \left[ \frac{\delta g(\bar{x}, \bar{u}, \bar{p})}{\delta \bar{u}} \right]^T \bar{\lambda}$$

El vector gradiente  $\bar{\nabla} f_u$ , mide la sensibilidad de la función objetivo con respecto a los cambios en el vector de control  $\bar{u}$ , sujeto a las restricciones de igualdad (7)

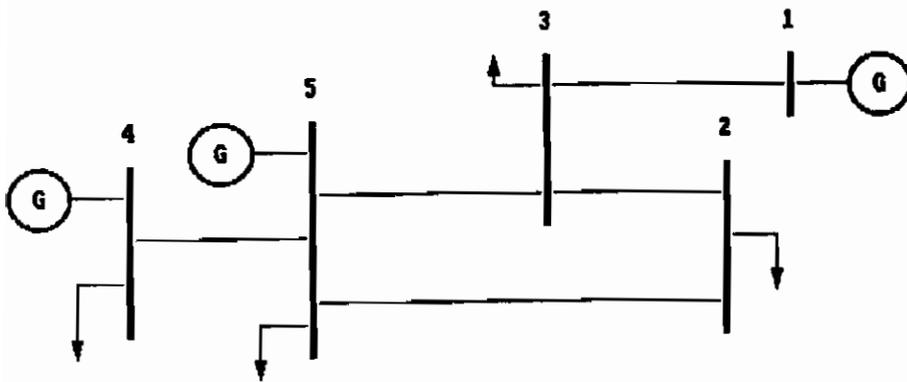
El proceso de optimización, requerirá además de los vectores  $\delta f/\delta \bar{x}$  y  $\delta f/\delta \bar{u}$ , cuya obtención tendrá su grado de dificultad, cuanto más si se considerarán las restricciones funcionales.

Con el gradiente  $\bar{\nabla} f_u$ , el proceso de optimización verifica convergencia, con un criterio dado para el flujo óptimo de potencia. Se tomarán en cuenta las restricciones de desigualdad sobre los parámetros de control, se verifica si en el punto obtenido se cumplen ciertas condiciones, cuando una o más variables de control han violado los límites establecidos. Con todo esto, si se satisface el criterio de convergencia, se obtiene la solución final.

Si no se ha satisfecho el criterio de convergencia, se corregirán los parámetros de control y por lo tanto el vector  $\bar{y}$  y en esas nuevas condiciones se deberá ejecutar un nuevo flujo de potencia y empezar con el proceso de optimización [9].

### c. Procedimiento

Se tiene el siguiente sistema:



Una vez instalado el programa proceda a ingresar los datos, de acuerdo al siguiente listado:

**DATOS GENERALES DEL SISTEMA : SBARRASPO**  
 -----

<b>0. DESCRIPCION DEL SISTEMA</b>		
Sistema de 5barras del ejemplo No.1 para flujo optimo de potencia general		
1. NUMERO TOTAL DE BARRAS :		5
2. NUMERO DE BARRAS DE CARGA :		2
3. NUMERO DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA :		2
4. NUMERO DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA ASOCIADAS A CONDENSADORES SINCRONICOS :		0
5. NUMERO DE TAPS DE TRANSFORMADORES CON CAMBIO DE TAPS ASOCIADOS A BARRAS DE TENSION CONTROLADA :		0
6. CRITERIO DE CONVERGENCIA PARA FLUJO DE POTENCIA :		0.0010
7. POTENCIA BASE :		100
8. NUMERO DE BARRAS ASOCIADAS A UN TRANSFORMADOR CON CAMBIO DE TAPS :		0
9. NUMERO DE BARRAS ASOCIADAS A DOS TRANSFORMADORES CON CAMBIO DE TAPS :		0
10. TOLERANCIA MAXIMA DE LAS RESTRICCIONES FUNCIONALES :		0.3000
11. ANGULO MAXIMO DE DEFASAMIENTO ENTRE BARRAS :		0.8000
12. NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION :		50
13. CRITERIO DE CONVERGENCIA PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA :		0.1000

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

DATOS DE BARRA  
SBARRASPQ

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	PQ	1.0000	1.0500	0.9500	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	12.00
3	PQ	1.0000	1.0500	0.9500	0.00	0.00	0.00	0.00	70.00	3.00
4	PVG	1.0500	1.0500	0.9500	0.00	100.00	70.00	-50.00	86.00	20.00
5	PVG	1.0500	1.0500	0.9500	0.00	100.00	100.00	0.00	80.00	10.00
1	OSC	1.0500	1.0500	0.9500	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

DATOS DE ELEMENTOS SERIE DEL SISTEMA  
SBARRASPQ

TIPO ELEM.	BARRA P	BARRA Q	IMPEDANCIA (p.u)		ADMITANCIA A TIERRA (p.u)	POSICION INICIAL DEL TAP
			P.REAL	P.IMAGINARIA		
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
L	2	3	0.03300	0.11800	0.00000	0.0000
L	3	1	0.10600	0.40300	0.00000	0.0000

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

TIPO	BARRA No.	P.ACT. GEN.MAX ( MW )	P.ACT. GEN.MIN ( MW )	COEF.A (\$/H)	COEF.B (\$/H)	COEF.C (\$/H)
PV6	4	200.00	50.00	50.00000	245.00000	105.00000
PV6	5	100.00	20.00	50.00000	389.00000	40.60000
Osc	1	100.00	20.00	50.00000	351.00000	44.00000

No existen reactores ni condensadores ni taps de transformadores a optimizar, por tanto no se ingresará, dato alguno en estas opciones.

- Obtenga reportes de los datos ingresados. Reviselos.
- Ejecute un Flujo Optimo 2 (Optimización de potencia activa)
- Obtenga los reportes de resultados de barras.
- Varie por tres ocaciones los valores de los coeficientes de las funciones objetivo y obtenga reportes de los resultados luego de ejecutar el flujo óptimo 2 para cada variación.

d. Informe

- Determine los costos de generación, para cada uno de los generadores, en los distintos casos realizados.
- Analice resultados.
- Conclusiones.

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES**

Ha sido desarrollado un programa interactivo implantado en microcomputadora, cuyo objeto es la resolución de Flujos Optimos de Potencia y con aplicación didáctica y técnica.

1. El programa interactivo se encuentra constituido por una colección de programas pequeños, a los que podríamos llamar módulos, cada uno realizando una función específica. Se dispone de un programa principal, desde donde se controlan todos los procesos a desarrollarse dentro del programa interactivo, como son: creación y edición de sistemas, consultas de datos, de resultados, así como de la teoría de flujos óptimos de potencia y el directorio de sistemas, reportes de datos y de resultados y procesos especiales como son la ejecución del flujo de potencia, del flujo óptimo general, del flujo óptimo de potencia activa ó del flujo óptimo de potencia reactiva. Teniendo adicionalmente la capacidad de copiar ó eliminar sistemas existentes.
2. Constituye un sistema basado en menús 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.
3. El programa interactivo diseñado, permite el ingreso de datos de cualquier sistema que tenga un número de barras como máximo de 40, por lo tanto, tiene aplicación para fines didácticos y 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.

4. Con el programa creado, 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.
5. 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.

#### RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que este programa interactivo desarrollado sea utilizado en el laboratorio, como parte de la enseñanza formal de SEP.
2. Un importante aporte al programa interactivo desarrollado, constituiría la optimización del programa en FORTRAN de aplicación, para la resolución de los distintos tipos de flujo óptimo de potencia, ya que el programa se hace más lento cuanto más grande es el sistema de potencia que se analiza. Esto porque el jacobiano aumenta en dimensiones y por tanto su evaluación y factorización requiere mayor tiempo. Como una alternativa de solución se tendría la investigación de la utilización del método de Newton-Raphson desacoplado rápido en la solución del flujo de potencia, analizando la influencia de esta innovación en los resultados de la optimización, ya que se resolvería el flujo de potencia con el método desacoplado rápido de Newton-Raphson y una vez que este converge, se calcularía el jacobiano correspondiente a la última iteración y con éste se procedería a realizar la optimización.
3. Un próximo adelanto, dentro de la resolución de los Flujos Óptimos de Potencia, constituiría 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 Kernel System (GKS), adecuado para este fin. Además se puede utilizar un monitor a color.

4. Es necesario recalcar el importante aporte que puede dar la Escuela Politécnica Nacional al país en la producción de modelos computacionales de este tipo.

## REFERENCIAS

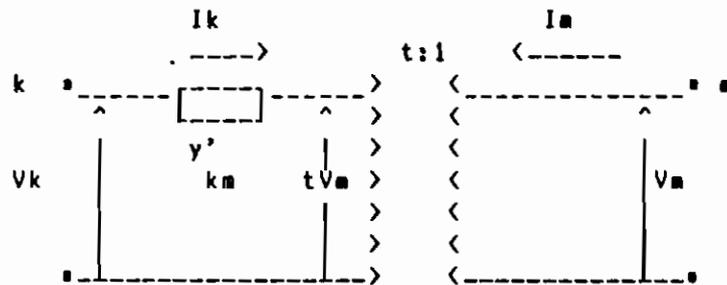
1. Arguello, G., Operación Óptima de Sistemas de Potencia, INECEL, Quito, 1977
2. H. W. Dommel, W. F. Tinney, Optimal Power Flow Solutions, IEEE, Trans. on PAS Vol 87, 1968, pp 1866-1876.
3. W. F. Tinney, W. L. Powell, Notes on Newton-Raphson Method For Solutions of AC Power Flow Problem, BPA, Portland, 1971.
4. H. H. Happ, Optimal Power Dispatch - A Comprehensive Survey, IEEE Trans. on PAS Vol 96, 1977, pp. 841-851.
5. A. M. Sasson, Optimal Load Flow - A practical Outlook, IEEE Tutorial Course, New York, 1976.
6. F. Aboytes, B. Vidrio, H. Torres, Estudios de Flujos Óptimos en Sistemas Eléctricos de Potencia, 660, Atliguetzia, 1979.
7. J. Peschon, W. F. Tinney, O. J. Tveit, M. Cuécod, Optimum Control of Reactive Flow, IEEE Trans. on PAS Vol. 87, 1968, pp. 40-48
8. Cruz J. J., Programa Digital para Despacho Económico de Potencia Real, Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, E.P.N., 1983.
9. Vinuesa F. J., Flujo Óptimo de Potencia, Tesis Previa a la Obtención del Título de Ingeniero Eléctrico, con Especialización en Sistemas Eléctricos de Potencia, E.P.N., 1984.
10. Martín J., Organización de las Bases de Datos, PHI, España, 1981.

11. Herdoiza M. D., Base de Datos, Universidad Central del Ecuador, 1980.
12. Date C. J., An introduction to Database Systems, Addison-Wesley Systems Programming Series, 1975.
13. Smolleck H.A., Kersting W. H., Dube K. A., An interactive APL Power-Flow Demonstrator for Power System Engineering Education, IEEE Trans. on Education Vol. 26, 1983, pp. 57-64
14. Semlyen A., Hamadanizadeh H., Computational Experiments in Power Systems, IEEE Trans. on PAS Vol. 104, 1985, pp. 2290-2294
15. LUCHAINAUT J., Conception Assistée Def Applications Informatiques, Masson, Paris, 1986.
16. Jones E., Aplique el Dbase III, McGraw-Hill, España, 1986

## APENDICE 0 1

### MODELACION DEL TRANSFORMADOR CON CAMBIADOR DE TAPS

El transformador con cambiador de tap bajo carga, puede ser representado como una admitancia entre dos barras en combinación con un transformador ideal:



En el transformador ideal, la potencia compleja vista desde cada uno de los lados será:

$$S_k = t V_m \cdot I_k \quad (1)$$

$$S_m = V_m \cdot I_m \quad (2)$$

Las dos potencias son iguales:

$$t V_m \cdot I_k = -V_m \cdot I_m$$

$$t I_k = -I_m \quad (3)$$

$$I_k = (V_k - t V_m) y'_{km}$$

$$I_k = V_k \cdot y'_{km} - t V_m \cdot y'_{km} \quad (4)$$

Reemplazando (3) en (4):

$$-\frac{I_m}{t} = \frac{V_k \cdot y'_{km}}{km} - t \frac{V_m \cdot y'_{km}}{km}$$

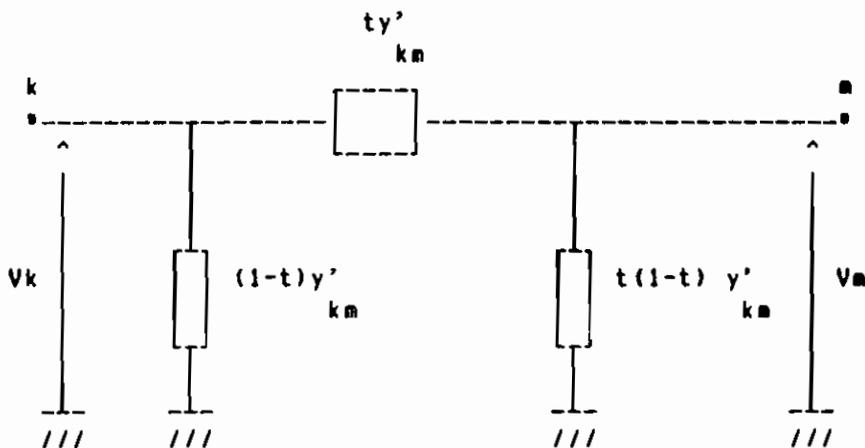
$$I_m = -t \frac{V_k \cdot y'_{km}}{km} + t^2 \frac{V_m \cdot y'_{km}}{km} \quad (5)$$

De (4) y (5) las ecuaciones del cuadripolo k-m serian:

$$I_k = y'_{km} V_k - t y'_{km} V_m$$

$$I_m = -t y'_{km} V_k + t^2 y'_{km} V_m$$

A partir de estas ecuaciones se obtiene el circuito equivalente siguiente:



$$Y_{kk} = y'_{km}$$

$$Y_{km} = -t y'_{km}$$

$$Y_{mk} = -t y'_{km}$$

$$Y_{mm} = t^2 y'_{km}$$

De modo que si consideramos el transformador con cambiador de taps entre las barras k y m; en la matriz admitancia de barra tendremos:

$$Y_B = \begin{bmatrix} y'_{km} & -t y'_{km} \\ -t y'_{km} & t^2 y'_{km} \end{bmatrix}$$

En donde:

$$Y'_{kk} = y'_{km} + \sum_i y_{ii}$$

$y_i$  = Admitancias primitivas que adicionalmente llegan al nodo k

$$Y'_{mm} = t y'_{km} + \sum_j y_{jj}$$

$y_j$  = Admitancias primitivas que adicionalmente llegan al nodo m

Para identificar el tap al cual nos referimos, adoptamos la convención de que los  $t$  serán acompañados por un subíndice, que corresponde a la barra cuyo voltaje es controlado mediante el transformador, en este caso se identificaría al tap como  $t_k$ .

Los taps serán incluidos en la optimización, como variables de control en el caso de flujo óptimo de potencia reactiva y en el caso de flujo óptimo de potencia activa y reactiva, con lo que el modelo de la matriz admitancia se mantendrá constante durante una iteración de optimización, lo cual no ocurriría si los taps fueran modelados como variables de estado. Cuando se ha completado una iteración de optimización las variables de control tomarán nuevos valores y habrá que corregir la matriz admitancia de barra.

## APENDICE # 2

### BASE DE DATOS

#### DEFINICION .-

No se tiene una definición precisa de lo que es una base de datos. Generalmente se dice que una Base de Datos es un depósito de todos los datos de interés y de valor para los miembros de una organización.

Una definición que se daría es que constituye un conjunto de datos interrelacionados, almacenados en conjunto, sin redundancias perjudiciales o innecesarias. Su finalidad es la de servir a una aplicación ó más, de la mejor manera posible. Los datos se almacenan de manera que resulten independientes de los programas que los usen. Se emplean métodos determinados para incluir datos nuevos y para modificar o extraer los datos almacenados.

#### TERMINOS USADOS PARA DESCRIBIR LOS DATOS

Desde el punto de vista del programador, los términos que se usan para describir los datos serian los siguientes [10]:

##### **Byte**

Es el grupo de bits más pequeño con dirección propia. Convencionalmente el byte comprende ocho bits.

##### **Campo de datos**

Es el grupo de datos nominado más pequeño. Puede estar formado por cualquier número de bits o de bytes.

##### **Registro**

Es una colección nominada de campos.

## Archivo

El archivo es la colección nominada de todas las ocurrencias de un tipo de registro dado.

## Base de datos

La base de datos es una colección de ocurrencias de múltiples tipos de registros, pero incluye además las relaciones que existen entre registros y entre campos de datos.

## ENTIDADES Y ATRIBUTOS

Las entidades son los lugares donde se almacena la información.

Una entidad puede ser un empleado, un artículo, un suceso, un nombre de tarea, la cuenta de un cliente, o un concepto abstracto.

Las entidades tienen propiedades que se deben registrar, como son: nombre, valor. Estas propiedades constituyen los atributos de las entidades. El campo de datos representa un atributo y el atributo tiene que estar asociado con la entidad correspondiente.

Los atributos de las entidades pueden ser de distintos tipos. La clasificación de los atributos sería la siguiente:

### Clasificación

#### a) Atributos elementales y atributos compuestos

Los atributos elementales son aquellos que no pueden ser descompuestos en otros atributos que sean significativos para el sistema de información. Por ejemplo nombre de un sistema, clave del sistema, etc.

Los atributos compuestos, pueden ser descompuestos en otros atributos. Por ejemplo si se define como atributo la potencia neta del sistema, este atributo puede ser descompuesto en potencia activa neta y potencia reactiva neta.

#### b) Atributos simples y atributos repetitivos

Un atributo de una entidad es simple si se le asigna un solo valor para definirlo.

Un atributo de una entidad es repetitivo, si se define con varios valores. Por ejemplo, para el atributo estadísticas de carga se pueden tener muchos datos asignados.

#### c) Atributos obligatorios y atributos facultativos

Se dice que un atributo es obligatorio si es necesario especificarlo.

Será facultativo, si el ingreso de este atributo puede o no ser realizado.

**d) Atributos identificadores y atributos no identificadores**

Un atributo es identificador si no se repite en las ocurrencias de la entidad. En los sistemas, por ejemplo, un atributo identificador sería, el código del sistema.

**Representación .-**

La representación gráfica de los atributos se la hace como se presenta en la Fig.17 .

- Atributo simple identificador : Con una flecha (  $\longrightarrow$  )
- Atributo simple no identificador : Con un triángulo (  $\longrightarrow\triangle$  )
- Atributo repetitivo identificador : Con un triángulo (  $\longleftarrow\triangle\longrightarrow$  )
- Atributo repetitivo no identificador : Con doble triángulo (  $\longleftarrow\triangle\triangleright\longrightarrow$  )
- Atributo simple con caracter de obligatorio : Se representa con una barra (  $\perp\longrightarrow$  )
- Atributo simple no obligatorio : ausencia de barra (  $\longrightarrow$  )

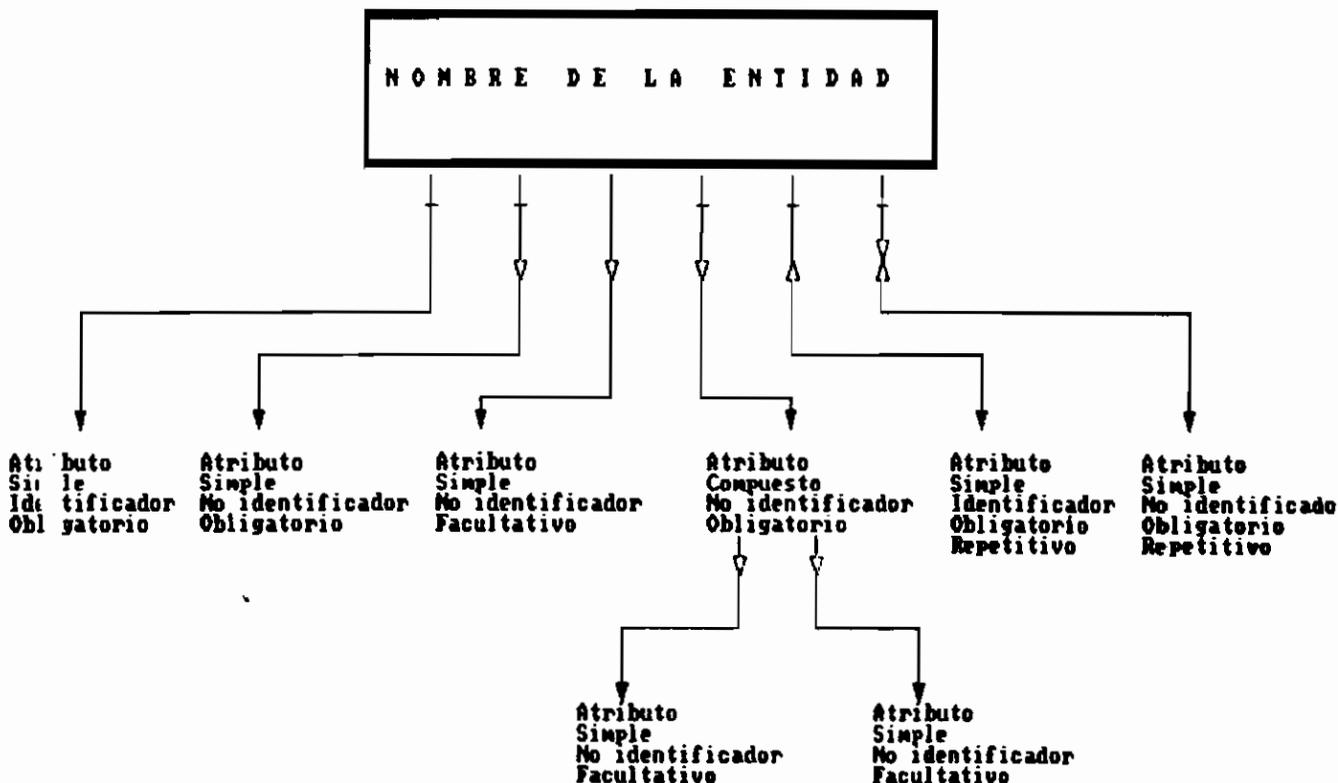


Fig. 17 Representación de Entidades y Atributos

## **METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DE UNA BASE DE DATOS.-**

Se tienen tres niveles de transformación:

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

En el primer nivel se tiene el mundo real, en el que existen entidades y las entidades tienen propiedades.

En el segundo nivel, existe el dominio de las ideas y de la información que existe en la mente de las personas y de los programadores. Se habla de los atributos de las entidades y sus representaciones simbólicas.

En el tercer nivel se tienen ya los datos, en los que se usan caracteres o bytes para codificar los diversos campos de información. En este nivel se introduce ya un lenguaje de programación.

### **Análisis conceptual**

Se define una descripción completa del sistema de información que se va a desarrollar. A partir del análisis conceptual se llega a una solución conceptual, que sería el esquema conceptual de la base de datos.

Durante este análisis, se dan características generales de las funciones de mantenimiento, consulta de la base de datos, y de las funciones de ayuda.

### **Concepción lógica**

Partiendo de la solución conceptual, se llega a una solución que es ejecutable para una máquina abstracta. Esta solución es estrictamente independiente del lenguaje de programación.

Como resultado de la concepción lógica, se obtiene un esquema lógico de la base de datos. En cuanto a las funciones, se desarrollan algoritmos, que pueden ser implementados; en otra etapa; con un determinado lenguaje de programación.

## Concepción física

A partir de este nivel, se obtiene una solución correcta, eficaz y ejecutable para una máquina real.

La solución física es ejecutable, porque ella se expresa por medio de programas y procedimientos redactados en un lenguaje con el que una máquina real puede procesar información. En este nivel se determina el nombre del campo, el tipo del campo, se determina el número de caracteres que tiene cada uno de los campos de la entidad.

## Esquema

Considerando que la base de datos a más de los archivos, presenta relaciones que existen entre los diversos registros de dichos archivos, la organización de una base de datos debe ser analizada y diseñada cuidadosamente y presentar características de flexibilidad, ya que ésta tiende a expandirse y variar conforme transcurre el tiempo.

Un esquema constituye la definición global de una base de datos. En él se definen las entidades, los atributos que tienen cada una de las entidades, así como las relaciones que se establecen entre las diferentes entidades que conforman los archivos.

Para diseñar un esquema se deben dar los siguientes pasos:

- 1) Definición de entidades básicas.
- 2) Definición de los atributos de las entidades. Pudiéndose dar el caso de que un atributo pueda ser considerado como entidad debido a la importancia de su función.
- 3) Definición de sucesos, es decir de preguntas básicas que deben satisfacer en una forma dinámica los requerimientos de información. Es en base a los sucesos, que se definen las relaciones existentes entre las diferentes entidades.

## ADMINISTRADOR DE UNA BASE DE DATOS

La función de la administración de la base de datos, es una actividad humana que se refiere al manejo de la base de datos y sus interacciones con una variedad de usuarios. El uso de la base de datos debe ser coordinado y controlado por el administrador de la base de datos.

Como principales funciones del administrador de base de datos se tiene:

- a) Organización de la base de datos.
- b) Integridad y control de la base de datos.

### **Organización de la base de datos**

Está constituida por las siguientes actividades:

- 1) Recepción de los datos de entrada por parte de los usuarios.
- 2) Empleo de estructuras de datos que modelan las necesidades de información.
- 3) Asignación de los nombres de los campos o atributos para asegurar standarización y unicidad.
- 4) Desarrollo de métodos de almacenamiento y recuperación de manera que varios requisitos de los usuarios sean logrados.
- 5) Asignar códigos de acceso de los usuarios.
- 6) Determinar el nivel de autorización de acceso.
- 7) Cargar la base de datos.
- 8) Seleccionar y estructurar el subconjunto propio de la base de datos que va a estar disponible al programador de aplicaciones.

El administrador de la base de datos, realiza operaciones de monitoreo en el uso del modelo, en las acciones de respuesta, y manipulación de la información almacenada en la base.

El administrador de base de datos, requerirá de un número de programas utilitarios que le ayuden en su trabajo.

Los programas utilitarios, son parte esencial de un sistema práctico de base de datos.

## APENDICE # 3

### OBJETIVOS DE LA ORGANIZACION DE UNA BASE DE DATOS

La organización de una base de datos, puede tener diferentes formas. Los principios que deben guiar las técnicas de organización, son los siguientes:

#### **1. Versatilidad para la representación de relaciones**

En ciertas bases de datos se puede tener una interrelación entre datos, muy compleja. Al organizar la base de datos se debe tener la capacidad de representar estas relaciones y adaptar los cambios que se susciten en el futuro.

#### **2. Desempeño**

La organización de la base de datos se realizará de manera que se asegure un tiempo de respuesta adecuado para el diálogo entre hombre y máquina.

#### **3. Costo mínimo**

Es necesario definir técnicas que, minimicen las necesidades totales de almacenamiento. Además como el costo de programación va en aumento, se debe mantener sencilla la programación de aplicación. Las organizaciones lógicas de las bases de datos deben realizarse en este sentido.

#### **4. Redundancia mínima**

La redundancia no es deseable porque ocupa más memoria que la necesaria y requiere múltiples operaciones de actualización, además como diferentes copias de la misma información podrían hallarse en diferentes etapas de actualización, la redundancia da a menudo origen a respuestas incoherentes. Por tanto se debe tratar en una base de datos de: eliminar los valores de datos redundantes, siempre que resulte económico y de controlar las incoherencias a que pueden dar lugar esos valores redundantes.

#### **5. Capacidad de búsqueda**

La organización de la base de datos debe dar capacidad de

explorar rápidamente y con diferentes criterios de búsqueda. Por tanto se debe dar capacidad para búsqueda rápida y flexible.

#### 6. Integridad

Cuando una base de datos incluye información utilizada por muchos usuarios, es importante que no puedan destruirse los datos almacenados ni las relaciones que existen entre los distintos ítems. Toda instalación debe garantizar la integridad de la información que almacena. Además deben incluirse procedimientos de chequeo que aseguren que los valores de los datos se ajusten a ciertas reglas prescritas de antemano.

#### 7. Reserva y seguridad

Los datos almacenados en una base deben ser conservados con seguridad y reserva. Debe ser protegida de pérdida. Se debe proteger de su destrucción por parte de personas no autorizadas.

#### 8. La interfase con el futuro

En el futuro, los datos y los medios de almacenamiento pueden experimentar cambios. De manera que es importante en el diseño de una base de datos que se la pueda modificar sin necesidad de tener que alterar los programas de aplicación de uso. Esto es lo que se llama independencia física de los datos.

#### 9. Afinación

Cuando se requiere un acceso en tiempo real a los datos, es importante el tiempo de respuesta del sistema. Muchas veces esta afinación se la va haciendo después que el sistema ha entrado en servicio y se han aclarado suficientemente las pautas de uso. A veces, éstas han sido tan importantes como para marcar la diferencia entre lo que es una aplicación rentable y lo que no lo es. El responsable de la administración, es el administrador de la base de datos.

Para una correcta afinación se requiere de la independencia física de los datos y una supervisión de la base de datos con el fin de que puedan hacerse los ajustes necesarios.

#### 11. Migración de Datos

Existen ciertos datos que se usan con mucha frecuencia y otros solo raramente. Se debería almacenar los datos de uso frecuente de manera que resulte fácil y rápido acceder a ellos.

#### 12. Simplicidad

Los medios que se utilizan para representar la vista general de los datos deben ser concebidos de manera simple y nitida.

## APENDICE # 4

### ESQUEMA CONCEPTUAL DE LA BASE DE DATOS

En el esquema conceptual de la base de datos, se definen las entidades, y las relaciones existentes entre entidades, para el modelo interactivo. El esquema se presenta en la Fig.18.

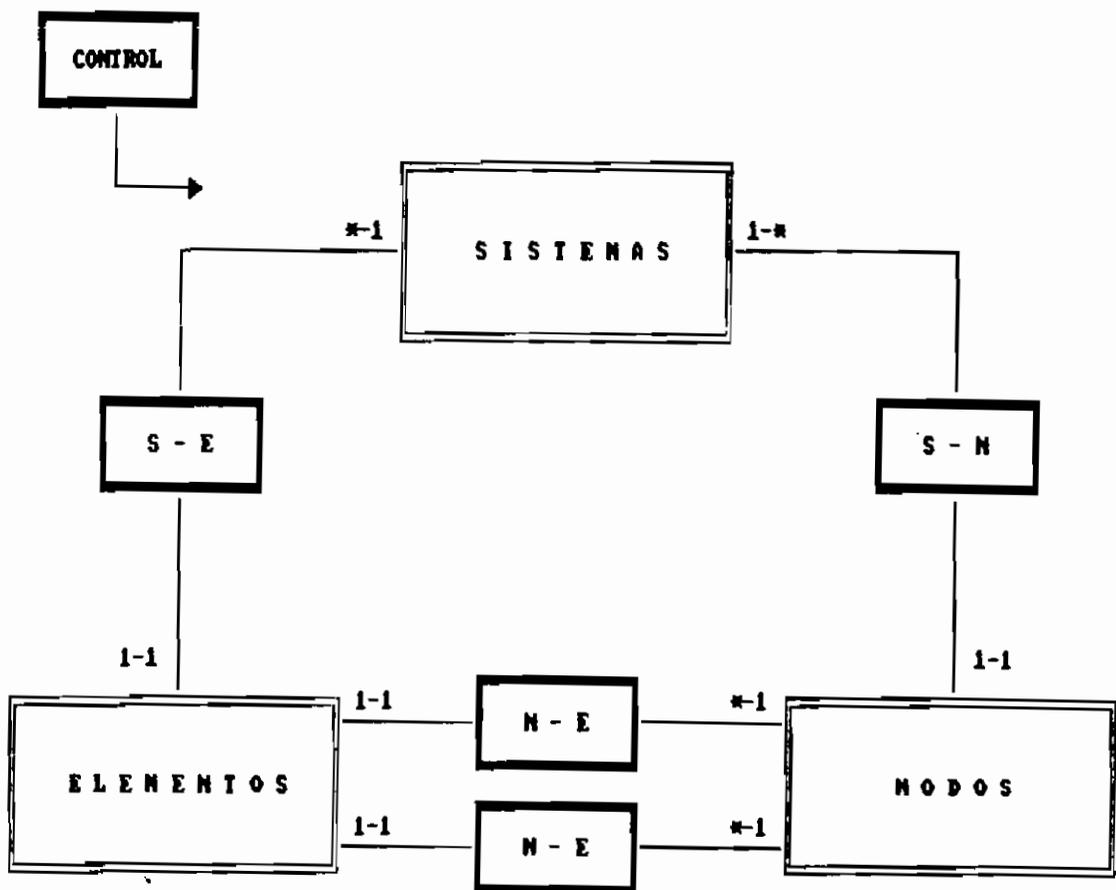


Fig.18 Esquema Conceptual de la Base de Datos

El desarrollo de los atributos de las entidades, para el esquema conceptual de la base de datos, se presenta en la Fig.19. En este desarrollo, se subrayan los atributos que son llaves de acceso a las entidades.

En el caso de la entidad sistemas, la llave de acceso es el código del sistema.

Para la entidad nodos, la llave de acceso es el código del nodo.

S I S T E M A S	
-	<u>Código del sistema</u>
-	Clave del sistema
-	Descripción del sistema
-	Número total de barras
-	Número de barras de tensión controlada
-	Número de barras de carga
-	Número de barras de tensión controlada asociadas a condensadores sincrónicos
-	Número de transformadores de tipo T3
-	Número de transformadores de tipo T1
-	Número de transformadores de tipo T2
-	Número total de transformadores cuyo tap se optimiza
-	Número total de nodos ingresados
-	Número total de elementos ingresados
-	Número de datos de flujos
-	Potencia base
-	Criterio de convergencia para flujo de potencia
-	Tolerancia máxima de las restricciones funcionales
-	Ángulo máximo de defasamiento
-	Indicador del tipo de optimización
-	Indicador de resultados del flujo de potencia
-	Criterio de convergencia para flujo óptimo de potencia
-	Número máximo de iteraciones de optimización

N O D O S	
-	<u>Código del Nodo</u>
-	Tipo del nodo
-	Nombre del nodo
-	Magnitud de voltaje
-	Ángulo
-	Magnitud de voltaje máxima
-	Magnitud de voltaje mínima
-	Potencia activa de carga
-	Potencia reactiva de carga
-	Potencia activa de generación
-	Potencia activa de generación máxima
-	Potencia activa de generación mínima
-	Potencia reactiva de generación máxima
-	Potencia reactiva de generación mínima
-	Coefficiente a de las funciones objetivo
-	Coefficiente b de las funciones objetivo
-	Coefficiente c de las funciones objetivo
-	Conductancia de elementos shunt
-	Potencia reactiva aportada por elementos shunt
-	Indicador del tipo de nodo
-	Indicador de último dato de elem. shunt
-	Resultado de Mag.voltaje para flujo de potencia
-	Resultado de Mag.voltaje para fluj. opt. general
-	Resultado de Mag.voltaje para despacho económico
-	Resultado de Mag.voltaje para opt. de pérdidas
-	Resultado de ángulo para flujo de potencia
-	Resultado de ángulo para fluj. opt. general
-	Resultado de ángulo para despacho económico
-	Resultado de ángulo para opt. de pérdidas
-	Resultado de Pot.Gen.Act. para flujo de potencia
-	Resultado de Pot.Gen.Act. para fluj. opt. general
-	Resultado de Pot.Gen.Act. para despacho económico
-	Resultado de Pot.Gen.Act. para opt. de pérdidas
-	Resultado de Pot.Gen.React. para flujo de potencia
-	Resultado de Pot.Gen.React. para fluj. opt. general
-	Resultado de Pot.Gen.React. para despacho económico
-	Resultado de Pot.Gen.React. para opt. de pérdidas
-	Valor del costo de generación en barras de tensión controlada asociadas a generadores, para flujo opt. general
-	Valor del costo de generación en barras de tensión controlada asociadas a generadores, para despacho económico

E L E M E N T O S	
-	Tipo del elemento serie
-	Resistencia del elemento serie
-	Reactancia del elemento serie
-	Conductancia de la admitancia a tierra
-	Suceptancia de la admitancia a tierra
-	Valor del tap en caso de ser transformador
-	Valor del tap máximo
-	Valor del tap mínimo
-	Indicador del tipo de elemento
-	Indicador del último elemento ingresado
-	Valor optimizado del tap, en flujo óptimo general
-	Valor optimizado del tap, en optimización de pérdidas

Fig.19 Atributos asignados a cada una de las Entidades. Diseño Conceptual

## APENDICE # 5

### ESQUEMA LOGICO DE LA BASE DE DATOS

Para el esquema lógico de la base de datos, las relaciones entre entidades son ya definidas. El esquema lógico se presenta en la Fig.20

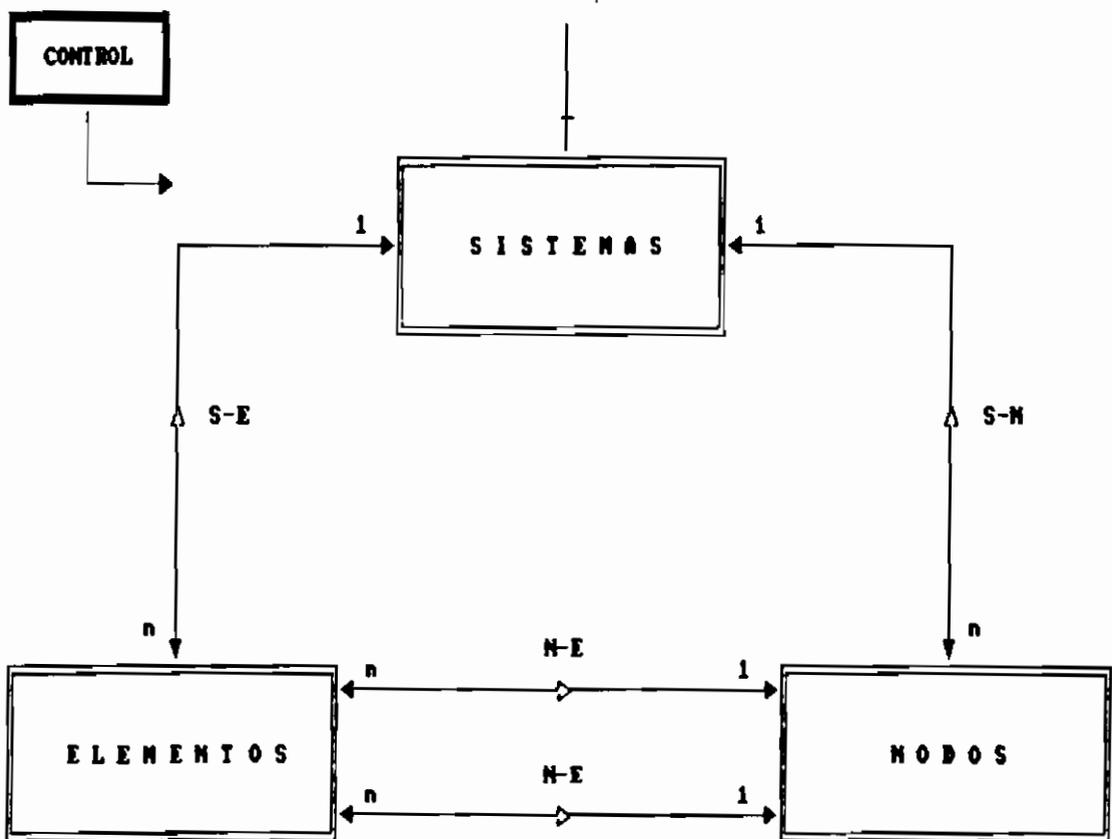


Fig.20 Esquema Lógico de la Base de Datos

En cuanto a los atributos, ya se dan las características de los atributos de cada una de las entidades.

Los atributos de la entidad sistemas se presentan en la Fig.21

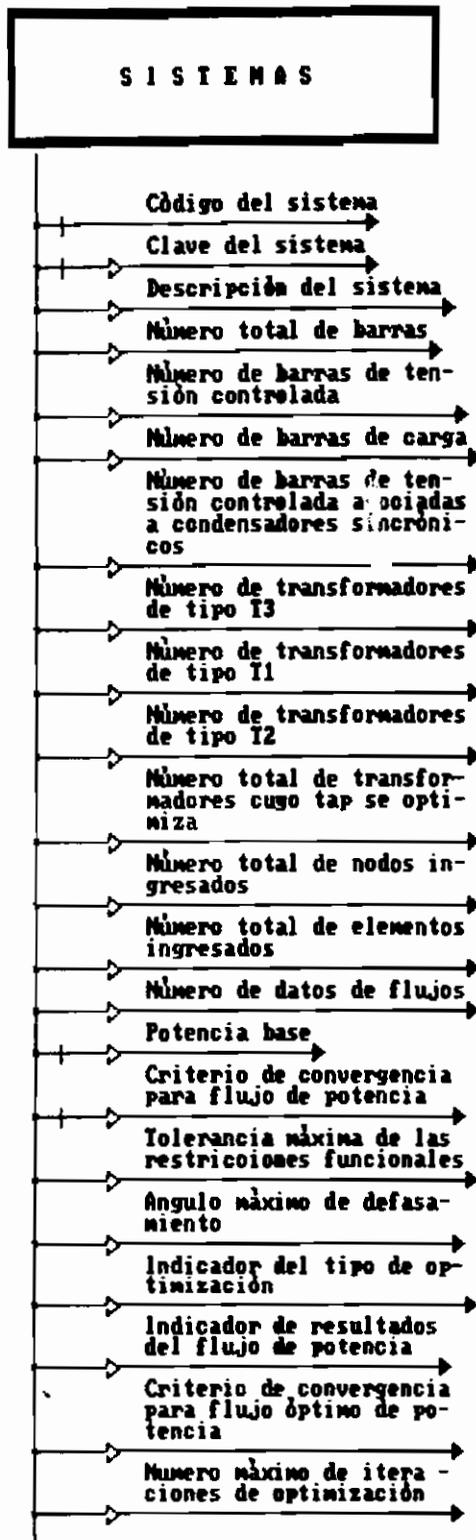


Fig.21 Atributos de la entidad sistemas. Concepción Lógica

Los atributos de la entidad nodos, se desarrollan en la Fig.22

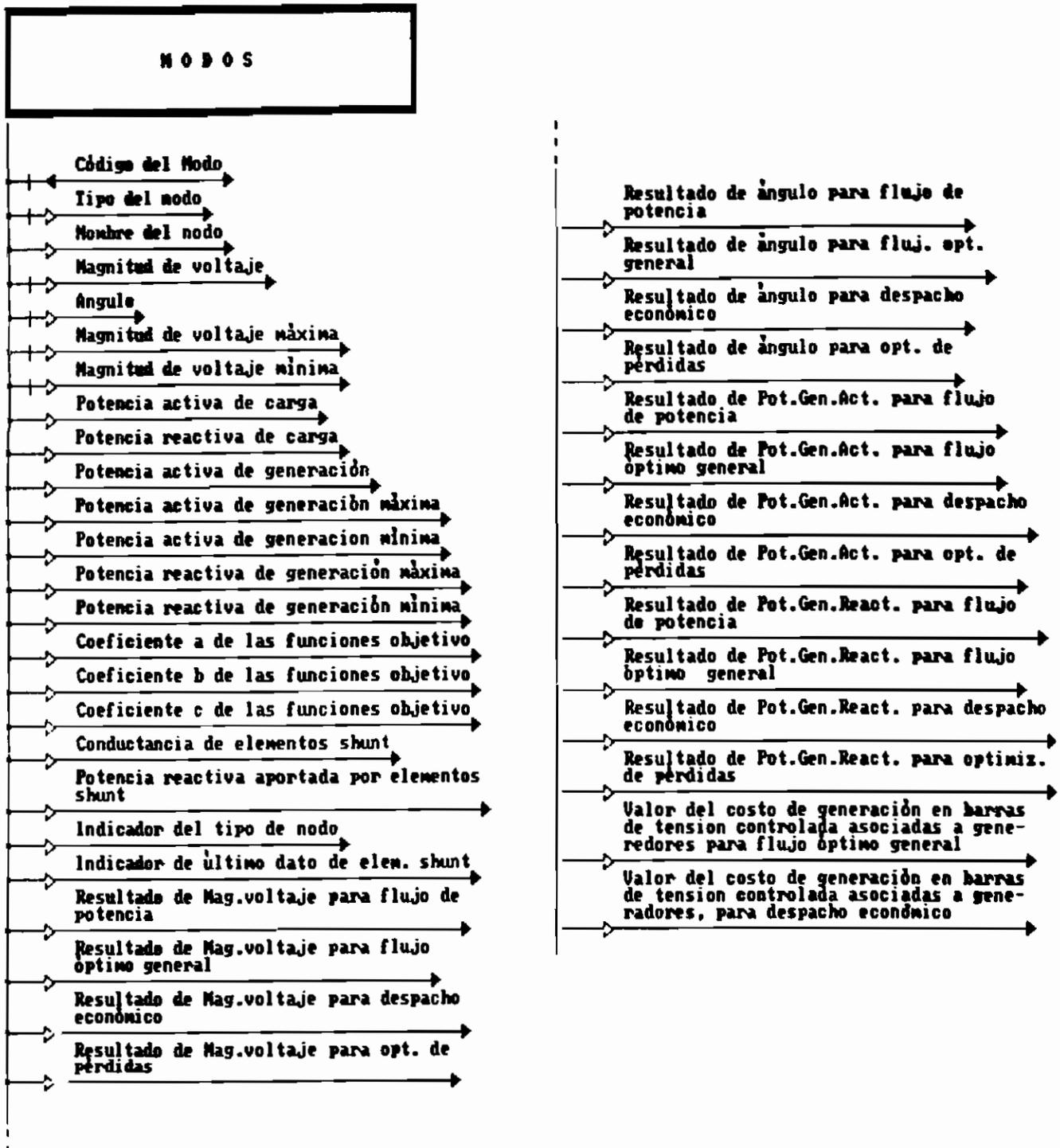


Fig.22 Atributos de la entidad Nodos. Análisis Lógico

Los atributos de la entidad elementos se presentan en la Fig.23

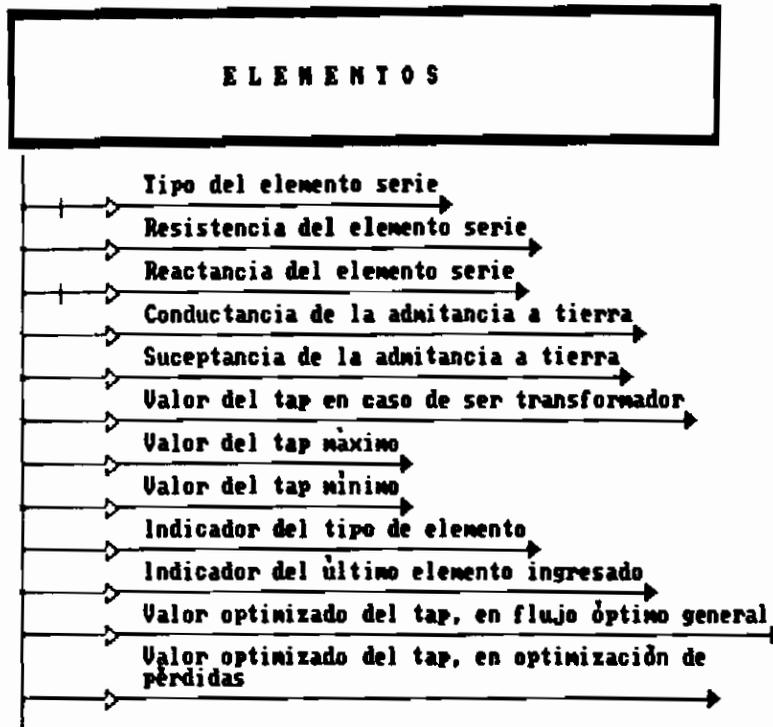


Fig.23 Atributos de la Entidad Elementos  
Concepción Lógica.

## APENDICE # 6

### ESQUEMA FISICO DE LA BASE DE DATOS

En el esquema físico de la base de datos, se determina la estructura física de cada uno de los campos de las entidades definidas: sistemas, nodos, elementos.

Para esto se determina, el nombre del campo, el tipo de campo, se determina el número de caracteres que tiene el campo y en caso de ser numérico se define el número de decimales.

Las entidades toman los siguientes nombres, ya en los programas:

Entidad	Nombre en Programas
SISTEMAS	SISTEMAS.DBF
NODOS	NODOS.DBF
ELEMENTOS	LINEAS.DBF

Además cada uno de estos archivos, tienen archivos índices asociados, indexados de acuerdo a diferentes criterios en vista de las necesidades propias de los programas utilitarios desarrollados.

La estructura física de la entidad Sistemas se presenta en la Fig.24

La estructura física de la entidad Nodos se presenta en la Fig.25, con continuación en la Fig.26

La estructura física de la entidad Elementos se presenta en la Fig.27

## ENTIDAD : SISTEMAS

NOMBRE DEL ARCHIVO : SISTEMAS.DBF

ARCHIVO INDICE : INSIS.IDX, Código del sistema

<u>CAMPO</u>	<u>TIPO</u>	<u>LONGITUD</u>	<u>DECIMALES</u>	<u>NOMBRE</u>
NONSIS	Caracter	10		Código del sistema
CLAVE	Caracter	10		Clave
DESCRIP1	Caracter	40		Descripción del sistema
DESCRIP2	Caracter	40		Descripción del sistema
DESCRIP3	Caracter	40		Descripción del sistema
NBAR	Numérico	3		Número total de barras
NBTC	Numérico	3		Número de barras de tensión controlada
PQ	Numérico	3		Número de barras de carga
SS	Numérico	3		Número de barras de tensión controlada asociadas a condensadores sincrónicos
T3	Numérico	3		Número de transformadores de tipo T3
T1	Numérico	3		Número de transformadores de tipo T1
T2	Numérico	3		Número de transformadores de tipo T2
T	Numérico	3		Número total de transformadores cuyo tap se optimiza
NUMBAR	Numérico	3		Número total de nodos ingresados
NUMLIN	Numérico	3		Número total de elementos ingresados
NUMFLU	Numérico	3		Número de datos de flujos
BASE	Numérico	5		Potencia base
CONUP	Numérico	6	4	Criterio de convergencia para flujo de potencia
TOL	Numérico	6	4	Tolerancia máxima de las restricciones funcionales
ALMAX	Numérico	6	4	Angulo máximo de defasamiento
IOPT1	Numérico	2		Indicador del tipo de optimización
IFL	Numérico	2		Indicador de resultados del flujo de potencia
EP2	Numérico	6	4	Criterio de convergencia para flujo óptimo de potencia
NIIMX	Numérico	3		Número máximo de iteraciones de optimización

Fig.24 Diseño Físico de la Entidad Sistemas

ENTIDAD : NODOS

NOMBRE DEL ARCHIVO : NODOS.DBF

ARCHIVOS INDICES : INNOD.IDX ; Código del sistema+Numero de ingreso del nodo  
 INNOD1.IDX ; Código del sistema+Código del nodo  
 INNOD2.IDX ; Código del sistema+Indicador del tipo de nodo

<u>CAMPO</u>	<u>TIPO</u>	<u>LONGITUD</u>	<u>DECIMALES</u>	<u>NOMBRE</u>
NOMSIS	Caracter	10		Código del sistema
CODNOD	Númerico	3		Código de la barra
TIPO	Caracter	3		Tipo de la barra
NOMBRE	Caracter	15		Nombre de la barra
MUOL	Númerico	6	4	Magnitud de voltaje
AVOL	Númerico	5	2	Angulo
MUOLMX	Númerico	6	4	Magnitud de voltaje máxima
MUOLMN	Númerico	6	4	Magnitud de voltaje mínima
PL	Númerico	6	2	Potencia activa de carga
QL	Númerico	6	2	Potencia reactiva de carga
PG	Númerico	6	2	Potencia activa de generación
PGMAX	Númerico	6	2	Potencia activa de generación máxima
PGMIN	Númerico	6	2	Potencia activa de generación mínima
QGMAX	Númerico	6	2	Potencia reactiva de generación máxima
QGMIN	Númerico	6	2	Potencia reactiva de generación mínima
COEFA	Númerico	10	5	Coficiente a de las funciones objetivo
COEFB	Númerico	10	5	Coficiente b de las funciones objetivo
COEFC	Númerico	10	5	Coficiente c de las funciones objetivo
GP	Númerico	6	4	Conductancia de elementos shunt
QP	Númerico	7	2	Potencia reactiva aportada por los elementos
ITIP	Númerico	1		Indicador del tipo de nodo
ELEM	Númerico	3		Número de ingreso del nodo
IWI	Númerico	1		Indicador del último dato de elemento shunt ingresado

Fig.25 Disenio Físico de la Entidad Nodos

CONTINUACION.....

## ENTIDAD : NODOS

<u>CAMPO</u>	<u>TIPO</u>	<u>LONGITUD</u>	<u>DECIMALES</u>	<u>NOMBRE</u>
RMVOL0	Caracter	6	4	Resultado de la magnitud de voltaje para flujo de potencia
RMVOL1	Númeroico	6	4	Resultado de la magnitud de voltaje para flujo óptimo general
RMVOL2	Caracter	6	4	Resultado de la magnitud de voltaje para optimización de pérdidas
RMVOL3	Caracter	6	4	Resultado de la magnitud de voltaje para despacho económico
RAVOL0	Númeroico	7	2	Resultaso de ángulo para flujo de potencia
RAVOL1	Númeroico	7	2	Resultado de ángulo para flujo óptimo general
RAVOL2	Númeroico	7	2	Resultado de ángulo para optimiz. de pérdidas
RAVOL3	Númeroico	7	2	Resultado de ángulo para despacho económico
RPG0	Númeroico	6	2	Resultado de potencia activa de generación para flujo de potencia
RPG1	Númeroico	6	2	Resultado de potencia activa de generación para flujo óptimo general
RPG2	Númeroico	6	2	Resultado de potencia activa de generación para optimización de pérdidas
RPG3	Númeroico	6	2	Resultado de potencia activa de generación para despacho económico
RQG0	Númeroico	6	2	Resultado de potencia reactiva de generación para flujo de potencia
RQG1	Númeroico	6	2	Resultado de potencia reactiva de generación para flujo óptimo general
RQG2	Númeroico	6	2	Resultado de potencia reactiva de generación para optimización de pérdidas
RQG3	Númeroico	6	2	Resultado de potencia reactiva de generación para despacho económico
COST01	Númeroico	8	4	Valor del costo de generacion en barras de tensión controlada asociadas a generadores, para flujo óptimo general
COST03	Númeroico	8	4	Valor del costo de generacion en barras de tensión controlada asociadas a generadores, para despacho económico

Fig.26 Diseño Físico de la Entidad Nodos

ENTIDAD : ELEMENTOS

NOMBRE DEL ARCHIVO : LINEAS.DBF

ARCHIVOS INDICES : INLIN.IDX ; Código del sistema+Número de ingreso del elemento  
 INLINI.IDX ; Código del sistema+Tipo de elemento+Código de la barra de llegada  
 INLIN2.IDX ; Código del sistema+Indicador del tipo de elemento

<u>CAMPO</u>	<u>TIPO</u>	<u>LONGITUD</u>	<u>DECIMALES</u>	<u>NOMBRE</u>
NOMNIS	Caracter	10		Código del sistema
CODNODD	Númeroico	3		Código de la barra de salida
CODNODH	Caracter	3		Código de la barra de llegada
TIPO	Caracter	15		Tipo de elemento serie
RI	Númeroico	6	4	Resistencia del elemento serie
XI	Númeroico	5	2	Reactancia del elemento serie
GI	Númeroico	6	4	Conductancia de la admitancia a tierra
BI	Númeroico	6	4	Suceptancia de la admitancia a tierra
IP	Númeroico	6	2	Valor del tap en caso de ser transformador
TMAX	Númeroico	6	2	Valor del tap máximo
TMIN	Númeroico	6	2	Valor del tap mínimo
IIIP	Númeroico	6	2	Indicador del tipo de elemento
ELEM	Númeroico	6	2	Numero de ingreso del elemento
IW	Númeroico	6	2	Indicador del último elemento ingresado
RTAP1	Númeroico	6	2	Valor optimizado del tap en flujo óptimo general
RTAP2	Númeroico	10	5	Valor optimizado del tap en optimización de pérdidas

Fig.27 Diseño Físico de la Entidad Elementos

## APENDICE # 7

### ESTRUCTURA FISICA DE LOS ARCHIVOS DE RESPALDO

Los archivos de respaldo son utilizados, como archivos de soporte en los programas utilitarios, y cumplen la función específica de almacenar determinados resultados de los procesos especiales.

Se han definido tres archivos de respaldo:

- FLUJOS.DBF
- RESULTAD.DBF
- RESULTAD.DBF

La estructura física definida para cada uno de estos archivos dependerá de las necesidades presentes en los programas utilitarios desarrollados.

Además se listarán los archivos indexados, definidos para cada uno de estos tres archivos.

La estructura física del archivo Flujos se presenta en la Fig.28

La estructura física del archivo Resultad, se presenta en la Fig.29

La estructura física del archivo Resultad, se presenta en la Fig.30

ARCHIVO FOXBASE : FLUJOS

NOMBRE DEL ARCHIVO FOXBASE : FLUJOS.BBF

NOMBRE DE LOS ARCHIVOS INDICE : INFLM.IDX ; Código del sistema+código de la barra de salida+código de la barra de llegada  
 INFLM1.IDX ; Código del sistema+Número de ingreso del dato de flujo

CAMPO	TIPO	LONGITUD	DECIMALES	NOMBRE
NOMSYS	Caracter	10		Código del sistema
CODNODD	Numérico	3		Código del nodo de salida del flujo
CODNODH	Numérico	3		Código del nodo de llegada del flujo
NOMBRED	Caracter	15		Nombre del nodo de salida del flujo
NOMBREN	Caracter	15		Nombre del nodo de llegada del flujo
FT?	Numérico	8	3	Flujo de potencia activa, para el caso de flujo de potencia
FL?	Numérico	8	3	Flujo de potencia activa, para el caso de flujo óptimo de potencia general
F?	Numérico	8	3	Flujo de potencia activa, para el caso de optimización de pérdidas
F?	Numérico	8	3	Flujo de potencia activa, para el caso de despacho económico
F?	Numérico	8	3	Flujo óptimo de potencia reactiva, para flujo de potencia
F?	Numérico	8	3	Flujo óptimo de potencia reactiva, para flujo óptimo general
FQ?	Numérico	8	3	Flujo óptimo de potencia reactiva, para optimización de pérdidas
FQ?	Numérico	8	3	Flujo óptimo de potencia reactiva, para despacho económico
ELE?	Numérico	3		Número de ingreso del datos de flujo

Fig.28 Estructura Física del Archivo FOXBASE Flujos

ARCHIVO DBASE : RESULTFLU

---

NOMBRE DEL ARCHIVO FOXBASE : RESULTFLU.DBF

NOMBRE DE LOS ARCHIVOS INDICE : IMRES.IDX ; CODIGO DEL SISTEMA

<u>CAMPO</u>	<u>TIPO</u>	<u>LONGITUD</u>	<u>DECIMALES</u>	<u>NOMBRE</u>
NONSIS	Caracter	10		Codigo del sistema
COSTOM1	Numerico	10	2	Valor optimizado del costo de generaci3n para flujo 3ptimo general
COSTOM3	Numerico	10	2	Valor optimizado del costo de generaci3n para despacho econ3mico
PERDIDASM1	Numerico	8	3	Valor optimizado de las p3rdidas para flujo 3ptimo general
PERDIDASM2	Numerico	8	3	Valor optimizado de las p3rdidas para optimizaci3n de p3rdidas
PPER0	Numerico	8	4	Perdidas de potencia activa para flujo de potencia
PPER1	Numerico	8	4	Perdidas de potencia activa para flujo 3ptimo de potencia general
PPER2	Numerico	8	4	Perdidas de potencia activa para optimizaci3n de p3rdidas
PPER3	Numerico	8	4	Perdidas de potencia activa para despacho econ3mico
ITER0	Numerico	7		N3mero de iteraciones de convergencia de optim. para flujo de potencia
ITER1	Numerico	7		N3mero de iteraciones de convergencia de optim. para flujo 3ptimo general
ITER2	Numerico	7		N3mero de iteraciones de convergencia de optim. para optimizaci3n de p3rdidas
ITER3	Numerico	7		N3mero de iteraciones de convergencia de optim. para despacho econ3mico

Fig.29 Estructura F3sica del Archivo FOXBASE Resultflu

ARCHIVO DBASE : RESULTAD

---

NOMBRE DEL ARCHIVO : RESULTAD.IDX

<u>CAMPO</u>	<u>TIPO</u>	<u>LONGITUD</u>	<u>DECIMALES</u>	<u>NOMBRE</u>
LINEA	Caracter	80		L3nea de resultados del archivo secuencial de del programa de flujos 3ptimos de potencia.

Fig.30 Estructura F3sica del Archivo FOXBASE Resultad

## APENDICE # 9

### MANUAL DE USO DEL PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJO OPTIMO PARA EL LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

#### 1. OBJETIVO

El objetivo fundamental de este programa es la utilización interactiva de programas para el ingreso de datos de sistemas, ejecución de programas de flujos de potencia y de flujos óptimos de potencia, consulta de datos y de resultados y por último obtención de reportes tanto de datos como de resultados.

Los programas que se podrán ejecutar son los siguientes:

- Flujo de potencia por el método de Newton-Raphson.
- Flujo óptimo de potencia general.
- Flujo óptimo de potencia reactiva.
- Flujo óptimo de potencia activa.

La optimización se realiza utilizando el algoritmo de Donnell-Tinney.

Además se dará la información necesaria sobre el proceso matemático de los flujos de potencia y de los flujos óptimos de potencia, existiendo la posibilidad de detectar errores en datos de entrada antes de su procesamiento.

#### 2. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA INTERACTIVO

Para el desarrollo de estos programas interactivos se creó una base de datos informatizada que administra la información total existente sobre un Sistema Eléctrico de Potencia.

Se tienen 55 programas y 5 base de datos.

Se usa el FOXBASE, como un medio para administrar la base de datos, para almacenar, recuperar y modificar la información existente en la misma en forma más eficiente y también en el

desarrollo de ficheros de órdenes para formar un sistema basado en menús que aparecen en la pantalla y permite de esta manera ingresar, obtener y manipular la información de la base de datos.

Se utiliza el programa desarrollado por el Ing. Francisco Vinuesa; en su tesis titulada "Flujos Óptimos de Potencia"; para la ejecución de flujo de potencia, flujo óptimo de potencia general, flujo óptimo de potencia reactiva y flujo óptimo de potencia activa.

### INGRESO AL PROGRAMA INTERACTIVO

Se ingresará, al programa interactivo de flujos óptimos, desde el sistema operativo, digitando la instrucción:

FLUOP

Digitada esta instrucción, se presentará en pantalla el Menú Principal del programa interactivo.

## 3. DESCRIPCION DEL PROGRAMA INTERACTIVO

### 3.1 MENU PRINCIPAL

El programa interactivo desarrollado presenta inicialmente un menú principal que consta de cuatro secciones:

- Creación y edición de sistemas.
- Consultas.
- Reportes.
- Programas Especiales.

#### 3.1.a Creación y edición de sistemas

En esta sección se presentarán las siguientes opciones:

- Creación de datos generales del sistema
- Edición de datos generales
- Creación y Edición de datos de barras.
- Creación y Edición de datos de elementos en serie (líneas y transformadores).
- Creación y Edición de datos de reactores y/o condensadores en paralelo.
- Creación y Edición de datos de límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo.
- Creación y Edición de datos de límites de taps de transformadores.

- Eliminación de datos de flujos correspondientes a dos barras especificadas.

Los datos de límites de generación, coeficientes de las funciones objetivo y límites de taps de transformadores son datos necesarios para ejecutar un flujo óptimo de potencia.

### 3.1.b Consultas

Dentro de esta sección de consultas se presentan las siguientes opciones:

- Consulta de la teoría de Flujos Óptimos de Potencia.
- Directorio de Sistemas.
- Consulta de datos de barras, sin opción a modificar.
- Consulta de datos de elementos serie, sin opción a modificar.
- Consulta de datos de reactores y condensadores, sin opción a modificar.
- Consulta de datos de Lim. de Generación y Coeficientes de las Funciones Objetivo, sin opción a modificar.
- Consulta de Límites de taps de Transformadores, sin opción a modificar.
- Consulta del valor resultante de las variables de control en el caso de flujo óptimo de potencia.
- Consulta del valor final de la función objetivo, para el caso de flujo óptimo de potencia. -
- Consulta de valores resultantes en las barras del sistema luego de ejecutado un flujo de potencia o un flujo óptimo de potencia.
- Consulta de los flujos resultantes por todos los elementos del sistema luego de realizado un flujo de potencia o un flujo óptimo de potencia.
- Consulta de las pérdidas de potencia activa en el sistema y del número de iteraciones de convergencia en un flujo de potencia o en un flujo óptimo de potencia.

### 3.- Reportes

Se pueden obtener reportes de datos y de resultados de un flujo de potencia ó de un flujo óptimo de potencia.

Las opciones de reportes de datos son las siguientes:

- Reporte de los datos generales de un sistema.
- Reporte de los datos de barras de un sistema.
- Reporte de los datos de elementos serie de un sistema.
- Reporte de los datos de reactores y condensadores en paralelo de un sistema.
- Reporte de los límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo.
- Reporte de los límites de taps de transformadores.

En los reportes de resultados se tienen las siguientes opciones:

- Reporte de valores resultantes en las barras del sistema.
- Reporte de los flujos resultantes por todos los elementos del sistema.
- Reporte del valor resultante de la función objetivo, para el caso de flujo óptimo de potencia.
- Reporte del valor resultante de las variables de control para el caso de flujo óptimo de potencia.
- Reportes de pérdidas de potencia activa y número de iteraciones de convergencia para la optimización.

#### 4.- Programas Especiales

Esta sección comprende las siguientes opciones:

- Ejecución de un flujo de potencia por el método de Newton-Raphson.
- Ejecución de un flujo óptimo 1, que se trata de una optimización general. (Optimización de potencia activa y optimización de potencia reactiva).
- Ejecución de flujo óptimo 2. Se trata de un flujo óptimo de potencia reactiva. (Optimización de pérdidas)
- Ejecución de un flujo óptimo 3. Se trata de un flujo óptimo de potencia activa. (Despacho Económico).
- Copia de todos los datos de un sistema con el fin de trabajar y efectuar modificaciones sobre la copia sin alterar el sistema origen.
- Eliminación de todos los datos de un sistema, y de los resultados de flujos ejecutados con el mismo.
- Empaquetamiento, que es la eliminación física de la base de datos de todos los datos eliminados.

#### 3.1.b Movimiento en la pantalla del Menú Principal

En el Menú Principal cada fila tendrá cuatro opciones, y cada columna tendrá las opciones correspondientes a cada sección.

La opción en la que se encuentra actualmente el cursor, se presenta resaltada en un tono más intenso y en inversa (la pantalla de color blanco y las letras de un tono más claro).

Inicialmente el cursor se presenta en:

Crear Datos Gnrls.

Para desplazarse a través de la pantalla horizontalmente ó verticalmente se usarán las teclas de control de posición del cursor siguientes:

Movimiento Horizontal :

- < → > : Para moverse a la opción que se encuentra a la derecha de la posición actual del cursor. En caso de llegar a la cuarta y última opción de la fila y presionar esta tecla el cursor se posicionará en la primera opción de la misma línea.
- < ← > : Para moverse a la opción que se encuentra a la izquierda de la actual. Si se posiciona en la primera opción de la línea y se pulsa esta tecla el cursor se posicionará en la cuarta y última opción de la misma línea.

**Movimiento Vertical :**

- < ↑ > : Se usa esta tecla para moverse a la opción superior anterior a la dada ese momento por el cursor. Nos movemos en la columna. Si la posición actual es la primera opción de la columna y se presiona esta tecla de control de posición el cursor se colocará en la última opción de la misma columna.
- < ↓ > : Al usar esta tecla de control de posición el cursor se moverá a la opción inferior siguiente a la actual en que se encuentra el cursor. Si la posición del cursor es en la última opción de la columna y se pulsa esta tecla, el cursor se posicionará en la primera opción de la misma columna.

Otras teclas de control de posición del cursor que se pueden usar son:

- < PgUp > : Encontrándose el cursor en cualquier posición de la columna, al presionar esta tecla el cursor se posiciona en la primera opción de la misma columna.
- < PgDn > : Encontrándose el cursor en cualquier posición de la columna, al presionar esta tecla el cursor se posiciona en la última opción de la misma columna.
- < Home > : Encontrándose el cursor en cualquier posición del Menú Principal, al presionar esta tecla el cursor se posicionará en la primera opción de la primera columna.
- < End > : Encontrándose el cursor en cualquier posición del Menú Principal, al presionar esta tecla el cursor se posicionará en la última opción de la cuarta columna de opciones.

Conforme el cursor se posiciona en las diferentes opciones, en la posición inferior izquierda de la pantalla aparece una expli-

cación adicional sobre la alternativa actual en la que se encuentra el cursor.

Una vez que se ha posicionado el cursor sobre la opción escogida, se confirma la decisión de ejecutar esa opción presionando la tecla < RTN >, pasando de esta manera el programa a ejecutar la opción deseada.

Finalizada la sesión de trabajo se pulsará la tecla < Esc > para salir al sistema operativo.

## # CREACION Y EDICION DE SISTEMAS #

### 3.2 CREAR DATOS GENERALES

Esta opción se refiere al ingreso de los datos generales del sistema.

#### 3.2.a. Ingreso del código del sistema

Inicialmente se pregunta el código del sistema, pudiendo ser este un alfa-numérico de hasta diez caracteres. El código que aparece corresponde al último sistema con que trabajó el programa. Para ingresar el nuevo código se superpone el nuevo código al presentado en la pantalla, y se presiona la tecla <RTN>.

Si el código ingresado existe, aparecerá en la posición inferior de la pantalla el siguiente mensaje:

```
"CODIGO EXISTENTE.CONSULTE CATALOGO DE SISTEMAS"
"DESDE EL MENU PRINCIPAL."
"Presione cualquier tecla para continuar..."
```

Esto porque siendo el código su descripción específica no pueden existir dos sistemas con el mismo código.

Al presionar cualquier tecla, el cursor se volverá a posicionar en el punto de petición del código, pudiendo optar entre tres acciones:

- Presionar < Esc > y retornar al menú principal para revisar el directorio de sistemas, donde se presentan los códigos existentes con sus respectivas descripciones.
- Ingresar un código que no exista.
- Revisar los códigos de sistemas existentes, desde el punto de petición del código. La revisión se la hará en ORDEN ALFABETICO presionando las siguientes teclas:

<PgUp> , < ↑ > : Para observar códigos anteriores al código que se presenta en la pantalla. Cuando se llegue al primer código del ordenamiento aparecerá el siguiente mensaje:

" Inicio de Archivo "  
 " Presione cualquier tecla para continuar..."

En este caso al presionar cualquier tecla el cursor se posicionará nuevamente mostrando el último código del ordenamiento.

<PgDn> , < ↓ > : Para observar códigos posteriores de acuerdo al ordenamiento alfabético que se tiene. Cuando se llegue al último código del ordenamiento se observará en la pantalla el siguiente mensaje:

"FIN DE ARCHIVO"  
 "Presione cualquier tecla para continuar..."

Al presionar cualquier tecla el cursor se posicionará en el punto de petición del código presentando en pantalla el primer código del ordenamiento alfabético de los sistemas.

<Ctrl Home> : Presenta en la pantalla el primer código del ordenamiento alfabético de los sistemas.

<Ctrl End> : Presenta en la pantalla el último código del ordenamiento alfabético de los sistemas.

< ↑ > : Si se ingresa la primera letra del código a ser ingresado y se presiona ↑ , se presentará en el punto de petición, el primer código que tenga esa o esas letras.

En caso de que no exista el código ingresado se pasa a pedir los datos del sistema, sin tener la alternativa de retornar al Menú Principal, sino hasta terminar el ingreso de datos.

### 3.2.b. Ingreso de la descripción del sistema

En la descripción del sistema, se puede anotar características y una descripción del sistema que se va a crear lo cual se lo hace en una manera resumida.

Para retornar a la línea anterior de la descripción se utilizará la tecla < ↑ > .

Terminado el ingreso de la descripción se procede a presionar <RTN> hasta que se cambie de pantalla.

En caso de que no se desee ingresar la descripción del sistema se presiona <Esc>, y se pasa a la siguiente pantalla.

### 3.2.c. Ingreso de la clave del sistema

La clave del sistema puede ser un alfa-numérico de hasta diez caracteres.

La clave del sistema se utilizará en el caso de que se desee eliminar el sistema.

Durante el ingreso de la clave no se observará lo que se va editando.

**IMPORTANTE :** Ingrese este dato con cuidado porque no tendrá opción de modificarlo o verificarlo .

Una vez ingresado se presiona la tecla <RTN>, para continuar con el ingreso de los datos generales necesarios para el flujo de potencia o el flujo óptimo de potencia.

En las pantallas el movimiento de un dato a otro se puede realizar utilizando las teclas:

- < ↑ > : Para posicionarse en datos anteriores.
- < ↓ > : Para posicionarse en datos siguientes al actual en el que se encuentra el cursor.

En la posición superior de la pantalla aparecerán menús de ayuda para el ingreso de los datos que se piden en la pantalla.

### 3.2.d. Ingreso del número de transformadores con cambio de taps asociados a barras de tensión controlada

La posición de los taps de estos transformadores no se optimiza en el flujo óptimo de potencia. Su valor influye en la YBARRA. Si no existen, se presiona <RTN> y se continúa con el ingreso de datos.

### 3.2.e. Criterio de convergencia para flujo de potencia

La convergencia se realiza en potencia. El valor del criterio de convergencia del flujo de potencia debe ser menor a 0.1. Si el valor ingresado es mayor al dado como máximo en la posición inferior de la pantalla aparecerá el siguiente mensaje de error:

"ERROR : VALOR DEMASIADO GRANDE.INGRESE OTRO VALOR"

Y el cursor se posicionará pidiendo un nuevo valor del criterio

de convergencia de flujo de potencia, que se encuentre dentro del rango dado. Un valor recomendado sería: 0.001

**3.2.f. Potencia base**

La potencia base puede ser cualquier valor positivo mayor que cero, en MVA. En caso de ingresar un valor menor o igual a cero aparecerá en la posición inferior de la pantalla el siguiente mensaje de error:

" EL VALOR DE LA POTENCIA BASE DEBE SER MAYOR QUE "  
 " CERO.INGRESE UN VALOR"

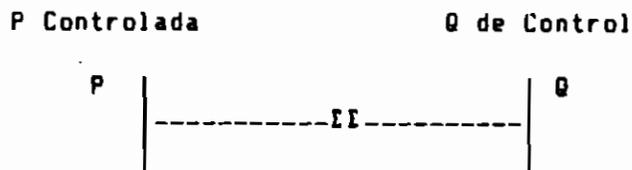
Y el cursor pedirá un nuevo valor de la potencia base.

Terminado el ingreso de datos de la pantalla, aparece en la posición inferior de la pantalla el siguiente mensaje:

" PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR..."

Presionando cualquier tecla aparece la siguiente pantalla

**3.2.g. Número de barras asociadas a un transformador con cambio de taps**

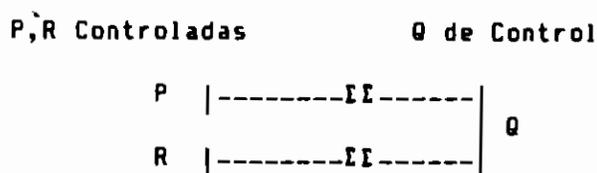


Corresponde al número de barras Q asociadas a un transformador con cambiador de taps. La barra Q controla el voltaje de la barra P por medio del tap del transformador. El valor de este tap (tap de tipo T1) se optimiza, en caso del flujo óptimo.

Si se realiza un flujo de potencia o flujo óptimo, su valor influye en la YBARRA.

Las barras P,Q son barras de carga.

**3.2.h. Número de barras asociadas a dos transformadores con cambio de taps**



Corresponde al número de barras Q asociadas a dos transformadores con cambiadores de taps. La barra Q controla el voltaje de las barras P, R por medio del tap del transformador que las conecta a esta. El valor de estos taps (Taps de tipo T2), se optimiza en el caso de flujo óptimo.

Las barras P, R, Q son barras de carga.

El número de taps a optimizarse debe ser menor a 30, en caso de sobrepasar este número aparecerá el siguiente mensaje:

```
"ERROR: No. TAPS A OPTIMIZARSE = T1 + 2*T2 ES MAYOR A 30"
"      REVISE LOS DATOS INGRESADOS."
```

Posicionándose el cursor en el punto de petición del número de barras conectadas a un solo trafo. Se deberá proceder a revisar los dos últimos datos ingresados.

### 3.2.i. Tolerancia máxima de las restricciones funcionales

El valor recomendado para las restricciones funcionales es de 0.3

Este dato se requiere para ejecutar un flujo óptimo de potencia. En caso del flujo de potencia no ingresar ningún valor y presionar <RTN>

### 3.2.j. Angulo máximo de defasamiento entre barras (ALMAX)

El ángulo máximo de defasamiento entre barras debe ser menor a 1 radián. En caso de ingresar un valor mayor al indicado aparecerá el mensaje de error:

```
" ERROR : ALMAX DEMASIADO GRANDE "
"      INGRESE OTRO VALOR."
```

El cursor se posicionará para el ingreso de otro valor del ángulo máximo de defasamiento.

Este dato se requiere para ejecutar un flujo óptimo de potencia. En caso del flujo de potencia no ingresar ningún valor y presionar <RTN>

### 3.2.k. Número máximo de iteraciones de optimización

El valor recomendado es 50. Este dato se requiere para ejecutar un flujo óptimo de potencia. En caso del flujo de potencia no ingresar ningún valor y presionar <RTN>.

### 3.2.1. Criterio de convergencia para flujo óptimo de potencia

Su valor aumenta conforme aumenta el número de barras. Los valores recomendados son los siguientes:

Para:

Flujo Optimo de Potencia General : 0.1 - 1  
 Flujo Optimo de Potencia Activa : 0.1 - 1  
 Flujo Optimo de Potencia Reactiva : 0.001 - 0.01

En caso de ingresar un valor mayor a 1, se presentará en pantalla un mensaje de error:

"ERROR : VALOR DEMASIADO GRANDE . INGRESE OTRO VALOR "

El cursor se posicionará para el ingreso de un nuevo valor del criterio de convergencia de flujo óptimo.

Este dato se requiere para ejecutar un flujo óptimo de potencia. En caso del flujo de potencia no ingresar ningún valor y presionar <RTN>

### 3.2.a. Opción para revisar los datos generales

Luego de terminado el ingreso de los datos generales aparecerá en pantalla la siguiente pregunta:

"DESEA REVISAR LOS DATOS GENERALES"  
 "INGRESADOS ? " Si No

Aparecerá inicialmente la opción "No" resaltada en un tono más intenso.

Se escoge la opción deseada utilizando las teclas <←> y <→> para moverse de la opción "No" a la "Si" y viceversa.

Si se desea escoger la opción "No" se presiona <RTN> y se regresa al Menú Principal.

En caso de decidir escoger la opción "Si" aparece una pantalla donde se lista los datos generales con el número del dato a la izquierda y a la derecha el valor del dato.

En la posición inferior de la pantalla se pregunta el número del dato a modificar en caso de querer hacerlo y la opción de presionar <Esc> para retornar al Menú Principal.

En caso de desear modificar alguno de los datos que se presentan en la pantalla se deberá ingresar en el punto de petición el número del dato a modificar.

Si el número del dato ingresado corresponde a alguno de los

presentados en la pantalla el cursor se ubicará a la derecha del dato a ser modificado y se procederá a realizar el cambio.

En caso de que el número ingresado no corresponda a ninguno de los presentados en la pantalla en la posición inferior de la pantalla aparecerá el siguiente mensaje de error:

## Número no corresponde a los propuestos en la pantalla...

Y luego de presionar cualquier tecla el cursor se posicionará para el ingreso de un nuevo número de dato a modificar.

En caso de que el dato que se desee modificar no se encuentre en esta pantalla se puede pasar a una pantalla siguiente usando las teclas de control de posición:

<PgUp> ; <PgDn> ; <↑> ; <↓>

Con la ayuda de cualquiera de estas teclas, se puede pasar de una pantalla a otra conforme se requiera. Realizándose en la segunda pantalla los mismos controles que para la primera pantalla.

Como se indicó estando en cualquiera de las pantallas se puede retornar al Menú Principal presionando la tecla <Esc>.

### 3.3 MODIFICAR DATOS GENERALES

Dentro de esta opción se realiza la modificación de los datos generales del sistema.

#### 3.3.a. Ingreso del código del sistema

Se pregunta el código del sistema, pudiendo ser este como se indicó anteriormente en el caso del ingreso de datos generales un alfa-numérico de hasta diez caracteres.

El código que aparece correspondiente al último sistema con que trabajó el programa. Para ingresar el nuevo código se superpone el nuevo código al presentado en la pantalla, y se presiona la tecla <RTN>.

Si el código ingresado no existe, aparecerá en la posición inferior de la pantalla el siguiente mensaje:

```
"CODIGO NO EXISTENTE.CONSULTE CATALOGO DE SISTEMAS"
"DESDE EL MENU PRINCIPAL."
"Presione cualquier tecla para continuar..."
```

Al presionar cualquier tecla, el cursor se volverá a posicionar en el punto de petición del código, pudiendo optar entre tres acciones:

- Presionar < Esc > y retornar al menú principal para revisar el directorio de sistemas existentes, con la descripción de cada uno.
- Ingresar un código existente
- Revisar los sistemas existentes desde el punto de petición del código. La revisión se la hará en ORDEN ALFABETICO presionando las siguientes teclas:

<PgUp> , < ↑ > : Para observar códigos anteriores al código que se presenta en la pantalla. Cuando se llegue al primer código del ordenamiento aparecerá el siguiente mensaje:

" Inicio de Archivo "  
" Presione cualquier tecla para continuar..."

En este caso al presionar cualquier tecla el cursor se posicionará nuevamente mostrando el último código del ordenamiento.

<PgDn> , < ↓ > : Para observar códigos posteriores al presentado en la pantalla. Al llegar al último código de acuerdo al ordenamiento alfabético que se tiene de los códigos, se observará en la pantalla el siguiente mensaje :

"FIN DE ARCHIVO"  
"Presione cualquier tecla para continuar..."

Al presionar cualquier tecla el cursor se posicionará en el punto de petición del código, presentando en pantalla el primer código del ordenamiento alfabético de los sistemas.

<Ctrl Home> : Presenta en la pantalla el primer código del ordenamiento alfabético de los sistemas.

<Ctrl End> : Presenta en la pantalla el último código del ordenamiento alfabético de los sistemas.

En caso de que exista el código ingresado, se pasa a realizar la modificación de los datos generales.

La modificación de los datos generales se realiza de la misma forma en que se realiza la revisión de los datos generales explicada en el literal 3.2.m

### 3.4 CREAR Y EDITAR DATOS DE BARRAS

Esta opción se refiere al ingreso de datos de barras para

sistemas nuevos y a la edición y modificación de datos de barras de sistemas ya existentes.

#### 3.4.a Ingreso del código del sistema

Se realizará el ingreso del código del sistema de igual forma a la explicada en el caso de modificación de datos generales en el literal 3.3.a

Luego del ingreso del código se presenta una pantalla de ingreso de datos de barra. El ingreso de datos se lo realiza por filas.

#### 3.4.b Pantalla para el creación y edición de datos de barra

La pantalla presenta un encabezado que permite el ingreso de los siguientes datos:

- Secuencial
- Número de la barra
- Tipo de barra
- Magnitud de voltaje
- Magnitud de voltaje máxima
- Magnitud de voltaje mínima
- Angulo
- Potencia activa de generación
- Potencia reactiva de generación máxima
- Potencia reactiva de generación mínima
- Potencia activa de carga
- Potencia reactiva de carga

Además se ingresará el nombre de la barra.

En la posición superior derecha de la pantalla se indicará el número de barras que se encuentran ingresadas.

#### 3.4.c Opciones presentadas para el crear y editar los datos de barras

En la posición inferior izquierda de la pantalla se presentan las siguientes opciones:

" Ing/editar Localizar Eliminar "

Aparece inicialmente resaltada en un tono más intenso la opción "Ing/editar".

Es posible moverse entre estas tres opciones utilizando las teclas de control de posición:

< → > ; < ← >

Una vez escogida la opción se confirma presionando la tecla <RTN>.

#### 3.4.d Ing/editar

Si se escoge esta opción, se ingresarán datos para nuevas barras ó modificarán los datos de barras existentes. El ingreso o modificación se realizará en la barra donde se encuentre el indicador de posición " \* ". El secuencial aparecerá conforme se ingresen nuevas barras.

#### 3.4.e Localizar

Al escoger esta opción se preguntará:

" Secuencial : "

debiéndose contestar con el secuencial de la barra que se desee localizar.

Si el secuencial existe, el indicador de posición se ubicará en el secuencial buscado.

Si el secuencial no existe, el indicador de posición " \* " permanece en la misma barra.

#### 3.4.f Eliminar

Con esta opción se eliminarán los datos de la barra donde se encuentra el indicador de posición " \* ". Aparecerá la pregunta :

" Esta Seguro : No Si "

con la opción "No" resaltada en un tono más intenso.

Se escogerá la alternativa deseada utilizando las teclas de control de posición:

<←> ; < →>

Y se confirma la opción deseada con <RTN>.

Si la opción escogida es "Si" se elimina la barra y el secuencial se reenumera. Si la alternativa escogida es "No" el programa retorna a preguntar entre las tres opciones presentadas.

#### 3.4.g Ingreso de Datos

Luego de haber escogido la opción "Ing/editar", se procede a ingresar ó modificar datos de una barra.

##### 1.- Número de la barra

Se refiere al código de la barra. En caso de ingresar el código de barra 0 ó en blanco aparecerá un mensaje de error:

"Error : La barra debe tener un número..."

Si se ingresa un número de barra ya ingresado anteriormente se presentará el siguiente mensaje:

"Error : Código de Barra Repetido..."

en cualquiera de los dos casos presionando cualquier tecla el cursor se posicionará pidiendo un nuevo valor del número de barra.

## 2.- Nombre de la barra

Se refiere a la denominación o descripción de la barra. Puede ser un alfanumérico de hasta 15 caracteres.

## 3.- Tipo de la barra

Las barras pueden ser de cuatro tipos:

- "PQ " : Barras de Carga.
- "PVG " : Barras de Tensión Controlada asociadas a generadores.
- "PVCS" : Barras de Tensión Controlada asociadas a Condensadores Sincrónicos.
- "OSC " : Barra Oscilante

En la posición inferior de la pantalla aparecerá el siguiente mensaje:

"Escoja el tipo con <PgUp> ; <PgDn>. Confirme con <RTN>..."

y una explicación del tipo de barra que se presenta en la pantalla en el punto de petición del tipo de barra.

Si se desea cambiar el tipo de barra se utiliza las teclas indicadas <PgUp> ; <PgDn>

Una vez escogido el tipo de barra, se confirma con <RTN>

En caso de escoger el tipo de barra "OSC " y tener el número de barra diferente a 1 ó de tener el número de la barra igual a 1 y escoger un tipo de barra diferente "OSC", en pantalla aparecerá el siguiente mensaje :

" Error : Sólo la barra oscilante tiene el número 1"

Esto porque una de las condiciones del programa de flujos óptimos de potencia es que el número de la barra oscilante sea 1.

## 4.- Magnitud de voltaje

El valor del voltaje de la barra debe estar dado en p.u y en el siguiente rango:

0.9 < Mag. de Voltaje <= 1.1

Si el valor ingresado se encuentra fuera de este rango

aparecerá en pantalla el siguiente mensaje:

" Error : .9 < Mag.Voltaje <= 1.1"

presionando cualquier tecla el cursor se posiciona para el ingreso de un nuevo valor de magnitud de voltaje.

#### 5.- Magnitud de voltaje máxima

El valor de la magnitud de voltaje máxima se debe dar en p.u y encontrarse en el siguiente rango:

Mag.Voltaje <= Mag.Voltaje Máximo <= 1.1

Al ingresar un valor fuera de este rango se presenta la siguiente comunicación:

"Error : Mag.Voltaje <= Voltaje máximo <= 1.1"

Presionando cualquier tecla se pedirá un nuevo valor de la magnitud de voltaje máxima.

#### 6.- Magnitud de voltaje mínima

El valor de la magnitud de voltaje mínima se da en p.u y se debe encontrar en el siguiente rango:

0.9 <= Mag.Voltaje Mínimo < Mag.Voltaje

Al ingresar un valor fuera de este rango se presenta la siguiente mensaje:

"Error : 0.9 <= Voltaje mínimo < Mag.Voltaje "

Presionando cualquier tecla se pedirá un nuevo valor de la magnitud de voltaje mínima.

#### 7.- Angulo

El ángulo debe estar dado en radianes y su valor debe ser menor a 1 radián.

Si el valor dado es mayor a 1 radián, en pantalla aparecerá a continuación el aviso:

" Error : Angulo demasiado grande, mayor que 1 radián"

Se deberá ingresar un valor de ángulo que no viole el límite dado.

#### 8.- Potencia activa de generación

Se ingresará la potencia activa de generación (en Mw) para el caso de que se trate de una barra tipo "PVG ". En caso de que se trate de otro tipo de barra no se ingresará este dato.

**9.- Potencia reactiva de generación máxima**

La potencia reactiva de generación máxima se ingresará en MVAR. Este dato se ingresa para el caso de que no se trate de una barra de carga "PQ "

**10.- Potencia reactiva de generación mínima**

La potencia reactiva de generación mínima se ingresará en MVAR.

Se introduce este dato en el caso de que no sea una barra tipo "PQ "

Debe cumplirse que la potencia reactiva de generación mínima sea menor que la potencia reactiva de generación máxima. En caso de no cumplirse esta condición aparece el siguiente mensaje:

" Error : Reactivos Máximos < Reactivos Mínimos "

**11.- Potencia activa de carga**

Este dato se ingresa para todos los tipos de barras. Esta dado en MW.

**12.- Potencia reactiva de carga**

Este dato se ingresa para todos los tipos de barras. Esta dado en MVAR.

**3.4.h Movimiento en la pantalla**

El movimiento en la pantalla se lo realizará utilizando las teclas de control de posición siguientes:

< ↑ > : Colocará al indicador de posición " \* ", en la barra anterior a la que se encuentra actualmente.

< ↓ > : Colocará al indicador de posición " \* ", en la barra siguiente a la que se encuentra actualmente.

< ← > : Si al encontrarse ingresando datos de una barra se desea regresar a un dato anterior.

< PgUp > : En caso de querer observar los datos de barra de la página anterior.

< PgDn > : Para observar los datos de barra de una página siguiente.

< Home > : Colocará al indicador de posición " \* ", en la primera barra ingresada.

< End > : Colocará al indicador de posición " \* ", en la

última barra ingresada.

### 3.4.1 Salir del programa de Creación y edición de datos de barras

Para salir de este programa bastará presionar la tecla <Esc> y se retornará al Menú Principal.

## 3.5 CREAR Y EDITAR DATOS DE ELEMENTOS SERIE

Esta opción se refiere al ingreso de datos de líneas y transformadores para sistemas nuevos y a la edición y modificación de datos de líneas y transformadores de sistemas ya existentes.

### 3.5.a Ingreso del código del sistema

Se realizará el ingreso del código del sistema de igual forma a la explicada en el literal 3.3.a

En caso de ingresar el código de un sistema para el cual no se ingresan datos de barras se enviará el mensaje:

"SISTEMA SIN BARRAS.DEFINALAS PRIMERO"  
"Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

Por tanto se deberá ingresar primero datos de barras antes de pasar a definir datos de elementos serie.

Luego del ingreso del código se presenta una pantalla de ingreso de datos de elementos serie.

### 3.5.b Pantalla para el creación y edición de datos de elementos serie

La pantalla presenta un encabezado que permite el ingreso de los siguientes datos:

- Secuencial
- Tipo de elemento
- Número de la barra P
- Número de la barra Q
- Resistencia ( en p.u )
- Reactancia ( en p.u )
- Admitancia a tierra ( en p.u )
- Posición inicial del tap (para el caso de un transformador con cambiador de taps)

En la posición superior derecha de la pantalla se indicará el número de elementos serie que se encuentran ingresados.

### 3.5.c Opciones presentadas para el ingreso y edición de datos de elementos serie

Se presentan las mismas opciones del literal 3.4.c

Una vez escogida la opción se confirma presionando la tecla <RTN>.

El comportamiento de estas opciones es similar al descrito para el caso de Creación/Edición de barras, pero en este caso se trata de elementos serie.

### 3.5.d Ingreso de Datos

Luego de haber escogido la opción "Ing/editar", se procede a ingresar o modificar datos de un elemento serie.

#### 1.- Tipo del elemento serie

Los elementos serie pueden ser de cuatro tipos:

- "L " : Línea que conecta dos barras
- "T " : Transformador sin cambiador de taps
- "T1" : Transformador con tap de tipo "T1" (su explicación se dio en el literal 3.2.g)
- "T2" : Transformador con tap de tipo "T2" (su explicación se dio en el literal 3.2.h)
- "T3" : Transformador con cambiador de taps, conectado a barras de tensión controlada.

En la posición inferior de la pantalla aparecerá el siguiente mensaje:

"Escoja el tipo con <PgUp> ; <PgDn>.Confirme con <RTN>..."

y una explicación del tipo de elemento serie que se presenta en la pantalla.

Si se desea cambiar el tipo de elemento serie se utiliza las teclas indicadas <PgUp> ; <PgDn>

Una vez escogido el tipo de elemento se confirma con <RTN>

De acuerdo a las explicación dada en el literal 3.2.h el número de taps de tipo "T2" debe ser un número par y cada par de taps de tipo "T2" debe tener la misma barra Q de control.

#### 2.- Número de la barra P

Se refiere al código de la barra P. En el caso de ingresar los datos de un transformador con cambiador de taps, la barra P debe ser la barra cuyo voltaje se controla por medio del tap.

En caso de ingresar un código de barra no existente en datos de

barras, aparecerá el mensaje de error:

"Error : Barra no existente ..."

Presionando cualquier tecla el cursor se posicionará pidiendo un nuevo valor del número de barra P.

### 3.- Número de la barra Q

Se refiere al código de la barra Q. En el caso de ingresar los datos de un transformador con cambiador de taps, la barra Q debe ser la barra cuyo voltaje controla el voltaje de la barra P por medio del tap.

En caso de ingresar el código de barra no existente en datos de barras se presentará el mensaje de error:

"Error : Barra no existente..."

Si se ingresa un número de barra Q igual al número de barra P, se muestra en pantalla el aviso:

"Error : Elemento conectado a una misma barra..."

en cualquiera de los dos casos presionando, cualquier tecla el cursor se posicionará pidiendo un nuevo valor del número de barra.

### 4.- Resistencia

La resistencia de la línea o transformador debe ser dado en p.u

### 5.- Reactancia

El valor de la reactancia de la línea o transformador debe ser dado en p.u y su valor debe ser mayor que cero. Si esto no ocurre, se envía el mensaje:

"Error : Reactancia debe ser > 0"

Presionando cualquier tecla se pedirá un nuevo valor de la reactancia.

### 6.- Admitancia a tierra

Debe ser ingresado en p.u

### 7.- Valor del Tap

Este dato se ingresa para el caso de transformadores con cambiadores de taps. Se debe cumplir que el tap del transformador se encuentre en el siguiente rango:

0.89 < Tap del transformador < 1.2

En caso de que el valor ingresado no se encuentre en este rango el programa enviará el siguiente aviso:

" Error : Valor no adecuado del Tap ..."

Presionando cualquier tecla el cursor se posicionará para el ingreso de un nuevo valor del tap.

### 3.5.e Movimiento en la pantalla

El movimiento en la pantalla se lo realizará de igual forma a la explicada en el literal 3.4.h

### 3.5.f Salir del programa de Creación y edición de datos de elementos

Para salir de este programa bastará presionar la tecla <Esc> y se retornará al Menú Principal.

## 3.6 CREAR Y EDITAR DATOS DE REACTORES/CONDENSADORES

Se ingresará datos de reactores y/o condensadores en paralelo, para sistemas nuevos y para sistemas ya existentes.

### 3.6.a. Ingreso del código del sistema

Se realizará el ingreso del código en forma similar a la explicada en el literal 3.3.a

Si el código ingresado existe pero aún no se ingresan datos de barras aparecerá en pantalla el mensaje:

"SISTEMAS SIN BARRAS."  
"DEFINALAS PRIMERO."

Y en este caso se deberá primero ingresar datos de barras.

### 3.6.b Pantalla para el creación y edición de datos de reactores y/o condensadores

La pantalla presenta un encabezado que permite el ingreso de los siguientes datos:

- Secuencial
- Número de la barra P
- Potencia Reactiva (MVAR)

En la posición superior derecha de la pantalla se indicará el número de barras ingresadas.

Aparecerá un listado de todas las barras ingresadas en el archivo de datos de barras, para ese sistema, con el secuencial correspondiente y el número de la barra.

### 3.6.c Opciones presentadas para el ingreso y edición de datos de reactores y/o condensadores

En la posición inferior izquierda de la pantalla se presentan las siguientes opciones:

" Editar                      Localizar "

Aparece inicialmente resaltada en un tono más intenso la opción "Editar".

Es posible moverse entre estas dos opciones utilizando las teclas de control de posición:

<← > ; < → > .

Una vez escogida la opción se confirma presionando la tecla <RTN>.

### 3.6.d Editar

En este caso se tiene la opción de editar únicamente, porque el ingreso de barras se lo realizará en la opción de Crear/Edit Barras.

Si se escoge esta opción, se editarán o modificarán los datos de los reactores o condensadores donde se encuentre el indicador de posición " \* ".

### 3.6.e Localizar

Al escoger esta opción se preguntará:

" Secuencial : "

debiéndose contestar con el secuencial de la barra que se desee ubicar.

Si el secuencial existe, el indicador de posición se ubicará en el secuencial buscado.

Si el secuencial no existe, el indicador de posición " \* " permanece en la misma barra.

### 3.6.f Ingreso de Datos

Luego de haber escogido la opción "Editar", se procede a

ingresar ó modificar datos del reactor o condensador.

### 1.- Potencia Reactiva

La potencia reactiva aportada por el reactor o condensador conectado en paralelo debe ser dado en MVAR. La potencia reactiva dada debe ser:

( - ) : Para el caso de un reactor  
 ( + ) : Para el caso de un condensador

### 3.6.g Movimiento en la pantalla

El movimiento en la pantalla se lo realizará en igual forma a la explicada en el literal 3.4.h

### 3.6.h Salir del programa de Creación y edición de datos de reactores y/o condensadores

Para salir de este programa bastará presionar la tecla <Esc> y se retornará al Menú Principal.

## 3.7 CREAR Y EDITAR LIMITES DE GENERACION DE POTENCIA ACTIVA Y COEFICIENTES DE LAS FUNCIONES OBJETIVO

Dentro de esta opción se permitirá la edición y modificación de límites de generación de potencia activa y coeficientes de las funciones objetivo. Estos datos son necesarios para la ejecución de un flujo óptimo de potencia.

Los datos de límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo se ingresarán únicamente para barras de tensión controlada asociadas a generadores (tipo "PVG ") y para la barra oscilante ( tipo "OSC ").

### 3.7.a. Ingreso del código del sistema

El ingreso del código del sistema se lo realizará en forma similar al literal 3.3.a

Si el código ingresado existe pero aún no se ingresan datos de barras aparecerá en pantalla el mensaje :

"SISTEMAS SIN BARRAS."  
 "DEFINALAS PRIMERO."

### 3.7.b Pantalla para el creación y edición de datos de límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo

La pantalla presenta un encabezado que permite el ingreso de los siguientes datos:

- Secuencial
- Tipo de barra
- Número de la barra
- Resistencia ( en p.u )
- Potencia activa de generación máxima (Mw)
- Potencia activa de generación mínima (Mw)
- Coeficiente " a " de las funciones objetivo en p.u
- Coeficiente " b " de las funciones objetivo en p.u
- Coeficiente " c " de las funciones objetivo en p.u

En la posición superior derecha de la pantalla se indicará el número de barras que se encuentran ingresadas.

Aparecerá un listado del secuencial correspondiente, el tipo de barra y el número de la barra de todas las barras ingresadas en el archivo de datos de barras para ese sistema.

### 3.7.c Opciones presentadas para el ingreso y edición de límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo

En la posición inferior izquierda de la pantalla se presentan las siguientes opciones:

" Editar Localizar buscar Siguiente buscar Anterior"

Aparece inicialmente resaltada en un tono más intenso la opción "Editar". Es posible moverse entre las cuatro opciones utilizando las teclas de control de posición:

<← > ; < → >

Una vez escogida la opción se confirma presionando la tecla <RTN>.

### 3.7.d Editar

Si se escoge esta opción, se ingresarán ó modificarán los datos de límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo de la barra donde se encuentre el indicador de posición " \* ".

En caso de escoger esta opción y el tipo de la barra no ser "PV6 " u "OSC " se presenta en pantalla el mensaje:

‡Tipo de Barra no es "PV6 " u "OSC "

y luego de presionar cualquier tecla volverá a pedir una opción.

### 3.7.e Localizar

Al escoger esta opción se preguntará:

" Secuencial : "

debiéndose contestar con el secuencial de la barra que se desea localizar. Si el secuencial existe, el indicador de posición "•" se ubicará en el secuencial buscado.

Si el secuencial no existe, el indicador de posición "•" permanece en la misma barra.

### 3.7.f Buscar Siguiente

Con esta opción se ubica el indicador de posición "•" en la siguiente barra de tipo "PVG" ó barra oscilante, para el ingreso de límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo.

En caso de no existir una siguiente barra de tipo "PVG" o la "OSC" en pantalla se mostrará el aviso siguiente:

"No hay más barras de tipo PVG u OSC "

y luego de presionar cualquier tecla volverá a pedir una opción.

### 3.7.g Buscar Anterior

Con esta opción se ubica el indicador de posición "•" en la anterior barra de tipo "PVG" o barra oscilante, para el ingreso de límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo. En caso de no existir una barra anterior de tipo "PVG" o la "OSC" en pantalla se mostrará el aviso siguiente:

"No hay más barras de tipo PVG ó OSC "

y luego de presionar cualquier tecla volverá a pedir una opción.

### 3.7.h Ingreso de Datos

Luego de haber escogido la opción "Editar", se procede a ingresar o modificar datos de límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo.

#### 1.- Potencia activa de generación máxima

El ingreso se lo realizará en Mw .

Si se trata de una barra de tipo "PVG" se controlará que el valor de la potencia de generación máxima sea mayor o igual que el valor de generación de potencia activa dada en datos de barra.

En caso de no cumplir con esta condición se presentará el valor de la potencia de generación y se mandará el siguiente mensaje de error:

" Error :  $P_{gmax} < P_g$  "

y luego de presionar cualquier tecla el cursor se posicionará pidiendo un nuevo valor de la potencia de generación máxima.

## 2.- Potencia activa de generación mínima

El ingreso se lo realizará en Mw.

Si se trata de una barra de tipo "PVG " se controlará que el valor de la potencia de generación mínima sea menor que el valor de generación de potencia activa dada en datos de barra. En caso de no cumplir con esta condición se presentará el valor de la potencia de generación y se mandará el siguiente mensaje de error:

" Error :  $P_{gmin} > P_g$  "

En caso de ser una barra de tipo "PVG " u "OSC " debe darse que la potencia activa de generación máxima sea mayor que la potencia activa de generación mínima, de otra forma el programa mandará el aviso:

" Error :  $P_{gmin} > P_{gmax}$  "

y luego de presionar cualquier tecla el cursor se posicionará pidiendo un nuevo valor de la potencia de generación máxima.

## 3.- Coeficientes " a,b,c " de las funciones objetivo

Estos coeficientes, en valores reales, tienen las siguientes características:

COEFICIENTE	ORDEN	UNIDAD
	-3	2
$a_i(\text{real})$	10	\$/h.Mw
$b_i(\text{real})$	10	\$/h.Mw
	2	
$c_i(\text{real})$	10	\$/h

Los cálculos en el programa de flujos óptimos se realizan en por unidad, por tanto se requiere hacer una equivalencia entre los valores reales de los coeficientes de las funciones objetivo y los valores en por unidad.

Para obtener el valor en por unidad de los coeficientes de las funciones objetivo se ha seguido el siguiente procedimiento:

$$\begin{aligned}
 & a_i(\text{real}) P_{6i}^2(\text{MW}) + b_i(\text{real}) P_{6i}(\text{MW}) + c_i(\text{real}) = \\
 & a_i(\text{p.u.}) P_{6i}^2(\text{p.u.}) + b_i(\text{p.u.}) P_{6i}(\text{p.u.}) + c_i(\text{p.u.})
 \end{aligned}$$

De donde se tendría que:

$$\begin{aligned}
 a_i(\text{real}) P_{6i}^2(\text{MW}) &= a_i(\text{p.u.}) P_{6i}^2(\text{p.u.}) \\
 b_i(\text{real}) P_{6i}(\text{MW}) &= b_i(\text{p.u.}) P_{6i}(\text{p.u.}) \\
 c_i(\text{real}) &= c_i(\text{p.u.})
 \end{aligned}$$

Obteniendo las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned}
 a_i(\text{p.u.}) &= a_i(\text{real}) \times (\text{PBASE})^2 \\
 b_i(\text{p.u.}) &= b_i(\text{real}) \times (\text{PBASE}) \\
 c_i(\text{p.u.}) &= c_i(\text{real})
 \end{aligned}$$

Como conclusión se puede indicar que los coeficientes de las funciones objetivo en por unidad tendrán las siguientes características:

COEFICIENTE	ORDEN	UNIDAD
$a_i(\text{p.u.})$	10 † 2	\$/h
$b_i(\text{p.u.})$	10 † 2	\$/h
$c_i(\text{p.u.})$	10	\$/h

† El orden de los coeficientes  $a_i$  y  $b_i$  depende de la potencia base. Los coeficientes han sido referidos para una potencia base de 100 MVA.

Se verificará además que el valor de los coeficientes de las funciones objetivo sean diferentes de cero.

### 3.7.i Movimiento en la pantalla

El movimiento en la pantalla se lo realizará en igual forma a la indicada en 3.4.h

### 3.7.j Salir del programa de Creación y edición de datos de límites de generación y coeficientes de funciones objetivo

Para salir de este programa bastará presionar la tecla <Esc> y se retornará al Menú Principal.

### 3.8 CREAR Y EDITAR LIMITES DE TAPS DE TRANSFORMADORES DE TIPO "T1" Y TIPO "T2"

Se editarán y modificarán los límites de taps de transformadores de tipo "T1" y de tipo "T2". Estos datos son necesarios para la ejecución de un flujo óptimo de potencia.

De acuerdo a las explicación dada en el literal 3.2.h el número de taps d tipo "T2" debe ser un número par y cada par de taps de tipo "T2" debe tener la misma barra Q de control.

#### 3.8.a. Ingreso del código del sistema

Se lo realiza en forma similar a la explicada en el literal 3.3.a

Si el código ingresado existe pero aún no se ingresan datos de líneas aparecerá en pantalla el mensaje:

"SISTEMAS SIN LINEAS."  
"DEFINALAS PRIMERO."

#### 3.8.b Pantalla para el creación y edición de datos de límites de taps de transformadores de tipo "T1" y "T2"

La pantalla presenta un encabezado que permite el ingreso de los siguientes datos:

- Secuencial
- Tipo de elemento
- Número de la barra P controlada
- Número de la barra Q de control
- Valor máximo del tap
- Valor mínimo del tap

En la posición superior derecha de la pantalla se indicará el número de elementos que se encuentran ingresados.

En pantalla se presentará el listado de todos los elementos serie ingresados desplegándose el secuencial, el tipo del elemento, el número de la barra P, el número de la barra Q.

Se considera que la barra Q controla el voltaje de la barra P, por medio del tap del transformador.

#### 3.8.c Opciones presentadas para el ingreso y edición de límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo

Se presentan similares opciones al literal 3.7.c

### 3.8.d Editar

Si se escoge esta opción, se ingresarán o modificarán los datos de límites de taps de transformadores donde se encuentre el indicador de posición " \* ".

En caso de escoger esta opción y el tipo de elemento no ser un trafo de tipo "T1" ó "T2" en pantalla aparecerá el siguiente mensaje:

"Tipo de Elemento no es "T1 " , "T2"

y luego de presionar cualquier tecla volverá a pedir una opción.

### 3.8.e Localizar

Al escoger esta opción se preguntará:

" Secuencial : "

debiéndose contestar con el secuencial del elemento que se desea localizar.

Si el secuencial existe, el indicador de posición " \* " se ubicará en el secuencial buscado.

Si el secuencial no existe, el indicador de posición " \* " permanece en el mismo elemento serie.

### 3.8.f Buscar Siguiente

Con esta opción se ubica el indicador de posición " \* " en la siguiente transformador de tipo "T1" o "T2" que exista, para el ingreso de límites de los taps. En caso de no existir un siguiente trafo de tipo "T1" o "T2" en pantalla se mostrará el aviso siguiente:

"No hay más taps de tipo T1 ó T2 "

y luego de presionar cualquier tecla volverá a pedir una opción.

### 3.8.g Buscar Anterior

Con esta opción se ubica el indicador de posición " \* " en el anterior transformador de tipo "T1" o "T2" que exista, para el ingreso de límites de los taps. En caso de no existir un trafo anterior de tipo "T1" o "T2" en pantalla se mostrará el aviso siguiente:

"No hay más taps de tipo T1 ó T2 "

y luego de presionar cualquier tecla volverá a pedir una opción.

### 3.8.h Ingreso de Datos

Luego de haber escogido la opción "Editar", se procede a ingresar o modificar datos de límites de taps de transformadores de tipo "T1" o "T2"

#### 1.- Valor del tap máximo

Se controlará que el valor del tap máximo sea mayor que el valor del tap dado en datos de líneas. En caso de no cumplirse esta condición se presenta el valor del tap y el siguiente mensaje:

" Error : Tmax < Tap"

#### 2.- Valor del tap mínimo

Se controlará que el valor del tap mínimo sea menor que el valor del tap dado en datos de líneas. En caso de no cumplirse esta condición se presenta el valor del tap y a continuación el mensaje:

" Error : Tmin > Tap"

Además se verifica que el valor máximo del tap sea mayor que el valor mínimo del tap, de otra forma el programa mandará el aviso:

" Error : Tmin > Tmax "

y luego de presionar cualquier tecla el cursor se posicionará pidiendo un nuevo valor del tap mínimo.

### 3.8.h Movimiento en la pantalla

El movimiento en la pantalla se lo realizará en forma similar a la explicada en 3.4.h.

### 3.8.i Salir del programa de Creación y edición de límites de taps de transformadores de tipo "T1" ó "T2"

Para salir de este programa bastará presionar la tecla <Esc> y se retornará al Menú Principal.

## 3.9 ELIMINACION DE DATOS DE FLUJOS

Cuando se ejecuta un flujo de potencia ó un flujo óptimo de potencia con un determinado número de barras los resultados de flujos para cada elemento serie, se almacenan en un archivo de flujos.

Al eliminar una barra de este sistema, y ejecutar un nuevo flujo de potencia o flujo óptimo de potencia, al revisar resultados,

### 3.8.h Ingreso de Datos

Luego de haber escogido la opción "Editar", se procede a ingresar o modificar datos de límites de taps de transformadores de tipo "T1" o "T2"

#### 1.- Valor del tap máximo

Se controlará que el valor del tap máximo sea mayor que el valor del tap dado en datos de líneas. En caso de no cumplirse esta condición se presenta el valor del tap y el siguiente mensaje:

" Error : T<sub>max</sub> < Tap"

#### 2.- Valor del tap mínimo

Se controlará que el valor del tap mínimo sea menor que el valor del tap dado en datos de líneas. En caso de no cumplirse esta condición se presenta el valor del tap y a continuación el mensaje:

" Error : T<sub>min</sub> > Tap"

Además se verifica que el valor máximo del tap sea mayor que el valor mínimo del tap, de otra forma el programa mandará el aviso:

" Error : T<sub>min</sub> > T<sub>max</sub> "

y luego de presionar cualquier tecla el cursor se posicionará pidiendo un nuevo valor del tap mínimo.

### 3.8.h Movimiento en la pantalla

El movimiento en la pantalla se lo realizará en forma similar a la explicada en 3.4.h.

### 3.8.i Salir del programa de Creación y edición de límites de taps de transformadores de tipo "T1" ó "T2"

Para salir de este programa bastará presionar la tecla <Esc> y se retornará al Menú Principal.

## 3.9 ELIMINACION DE DATOS DE FLUJOS

Cuando se ejecuta un flujo de potencia ó un flujo óptimo de potencia con un determinado número de barras los resultados de flujos para cada elemento serie, se almacenan en un archivo de flujos.

Al eliminar una barra de este sistema, y ejecutar un nuevo flujo de potencia o flujo óptimo de potencia, al revisar resultados,

continuarán saliendo los datos de flujos correspondientes a los elementos que hayan estado conectados a la barra eliminada, aunque con un flujo de potencia activa y reactiva igual a cero. Con esta opción se eliminarán los archivos de flujos correspondientes a los elementos que incluyen la barra eliminada.

### 3.9.a. Ingreso del código del sistema

Se pregunta el código del sistema, pudiendo ser este como se indicó anteriormente en el caso del ingreso de datos generales un alfa-numérico de hasta diez caracteres.

El código que aparece corresponde al último sistema con que trabajo el programa. Para ingresar el nuevo código se superpone el nuevo código al presentado en la pantalla, y se presiona la tecla <RTN>.

Si el código ingresado no existe, aparecerá en la posición inferior de la pantalla el siguiente mensaje:

```
"CODIGO NO EXISTENTE.CONSULTE CATALOGO DE SISTEMAS"  
"DESDE EL MENU PRINCIPAL."  
"Presione cualquier tecla para continuar..."
```

Si el código ingresado existe pero aún no se ha ejecutado ningún caso de flujo de potencia o flujo óptimo de potencia aparecerá en pantalla el mensaje:

```
"NO SE HA EJECUTADO NINGUN CASO DE FLUJOS "
```

En cualquiera de los dos casos al presionar cualquier tecla, el cursor se volverá a posicionar en el punto de petición del código, pudiendo optar entre las acciones explicadas en el literal 3.3.a

Si el código existe se pasa a preguntar datos del elemento serie cuyos resultados de flujos se quieren borrar.

### 3.9.b Ingreso de datos del elemento cuyo archivo se quiere borrar de los datos de flujos

Inicialmente se preguntará el número de la barra P, para luego pasar a preguntar el número de la barra Q. Si el elemento no existe en el archivo de flujos se indicará:

```
"NO EXISTEN FLUJOS ENTRE LAS DOS BARRAS DADAS"  
" Presione CuaIquier Tecla Para Continuar..."
```

al presionar cualquier tecla pasa a preguntar nuevamente los números de las barras entre las que se encuentra conectado el elemento a ser eliminado del archivo de flujos.

Si al preguntarle los números de las barras P y Q se desea abandonar la operación de eliminación bastará con presionar la

tecla <Esc> para retornar al Menú Principal.

Si luego de preguntar los números de las barra P y de la barra Q se verifica que el elemento existe en el archivo de flujos se presentará la siguiente pregunta:

" ESTA SEGURO ? : Si No "

apareciendo inicialmente en un tono más intenso la opción "Si". La opción deseada se escoje con las teclas:

<←> ; <→>

y para confirmar la opción escogida se presiona la tecla <RTN>

Si la opción escogida es "No" el programa regresa al Menú Principal.

Si la opción escogida es "Si" aparecera en pantalla el aviso:

"Eliminando..."

para luego pasar a preguntar:

"DESEA ELIMINAR LOS DATOS DE FLUJOS "  
"ENTRE OTRAS BARRAS ? : Si No "

Si la opción escogida es "No" el programa regresa al Menú Principal.

Si la alternativa seleccionada es "Si", se volverá a preguntar los códigos de las barras entre las cuales se encuentra conectado el elemento cuyos datos en el archivo de flujos van a ser eliminados.

### ‡ CONSULTA DE DATOS Y RESULTADOS ‡

#### 3.10 CONSULTA DE LA TEORIA DE FLUJOS OPTIMOS DE POTENCIA (F.O.P)

Seleccionada esta alternativa aparece un nuevo menú de información teórica, similar al menú principal.

##### 3.10.a Secciones del Menú de Información Teórica

Se despliegan cuatro secciones:

- 1.- Teoria de flujo de potencia
- 2.- Teoria de flujo óptimo de potencia (F.O.P)
- 3.- Teoria del Algoritmo F.O.P
- 4.- Programa Digital de resolución del F.O.P

## 1.- Teoría de flujo de potencia

Dentro de esta opción se mostrarán las siguientes alternativas:

- Definición del problema.
- Planteamiento matemático.
- Método de Newton-Raphson.
- Definición del flujo de potencia en variables de estado
- Modelación de los taps de transformadores.

## 2.- Teoría de Flujo Óptimo de Potencia

Dentro de esta sección se presentan siguientes opciones:

- Definición del Flujo Óptimo de Potencia.
- Formulación matemática del flujo óptimo de potencia.
- Despacho Económico.
- Optimización de pérdidas.
- Flujo óptimo de potencia general.
- Modelo general del flujo óptimo de potencia.
- Método del gradiente reducido.

## 3.- Algoritmo del Flujo Óptimo de Potencia

Presenta las siguientes alternativas:

- Modelo del flujo óptimo de potencia sin restricciones de desigualdad. (Model. 1)
- Modelo del flujo óptimo de potencia con restricciones de desigualdad. (Model.2)
- Modelo del flujo óptimo de potencia con restricciones funcionales. (Model.3)

## 4.- Programa Digital

En esta sección se dará una descripción de la estructura del programa de resolución del flujo óptimo de potencia. Las subrutinas que lo conforman y su forma de funcionamiento.

### 3.1.b Movimiento en la pantalla del Menú de Información Teórica

El movimiento en la pantalla de información teórica se realizará en forma similar al movimiento en la pantalla del Menú Principal explicado en el literal 3.1.b

### 3.11 DIRECTORIO DE SISTEMAS

Se utilizará esta opción con el objeto de observar los códigos de los sistemas existentes al momento, con su respectiva descripción.

La presentación de los sistemas se la realizará en orden alfabético.

Los sistemas aparecerán por páginas. En la parte inferior de la pantalla aparecerá el siguiente mensaje:

" <PgUp>:Pag.Ant <PgDn>:Pag.Sig <Esc>:Retorna Menú "

El mensaje indica que al presionar:

< PgUp > : Se observarán sistemas anteriores a los mostrados ese momento en pantalla.

< PgDn > : Se observarán sistemas siguientes a los mostrados ese momento en pantalla

Con el mismo fin pueden ser utilizadas las teclas:

< ↓ > ; < ↑ >

< Esc > : Al presionar esta tecla el programa presenta el Menú Principal.

### 3.12 CONSULTA DE DATOS DE BARRAS

Con esta alternativa se mostrará una pantalla similar a la de Crear/Edit Datos de Barras, pero en este caso no existirá la posibilidad de alterar los datos sino únicamente de revisarlos.

Se preguntará el código del sistema cuyos datos de barra se desea observar.

Si el código ingresado no existe, aparecerá en la posición inferior de la pantalla el siguiente mensaje:

"CODIGO NO EXISTENTE.CONSULTE CATALOGO DE SISTEMAS"  
 "DESDE EL MENU PRINCIPAL."  
 "Presione cualquier tecla para continuar..."

Si el código ingresado existe pero aún no se ingresan datos de barras aparecerá en pantalla el mensaje:

"SISTEMA SIN BARRAS."  
 "DEFINALAS PRIMERO."

En cualquiera de los dos casos al presionar cualquier tecla, el cursor se volverá a posicionar en el punto de petición del código, pudiendo ejecutar cualquiera de las tres acciones explicadas anteriormente en el literal 3.3.a

Si el sistema existe y se tienen barras ingresadas se hará el despliegue de datos en el mismo orden con el que los ingreso el usuario.

Para regresar al Menú Principal se presiona la tecla <Esc>

### 3.13 CONSULTA DE DATOS DE ELEMENTOS SERIE

Se presenta una pantalla similar a la de Crear/Edit. datos de elementos serie pero no existirá la capacidad de alterar los datos de los elementos serie.

Se preguntará el código del sistema cuyos datos de elementos se desea observar en forma similar a la explicada en 3.12

En este caso si el código ingresado existe pero aún no se ingresan datos de elementos aparecerá en pantalla el mensaje:

"SISTEMA SIN ELEMENTOS"  
"DEFINALOS PRIMERO."

En cualquiera de los dos casos al presionar cualquier tecla, el cursor se volverá a posicionar en el punto de petición del código, pudiendo ejecutar cualquiera de las acciones explicadas anteriormente.

Si el sistema existe y se tienen elementos ingresados se hará el despliegue de datos en el mismo orden con el que los ingreso el usuario.

Para regresar al Menú Principal se presiona la tecla <Esc>

### 3.14 CONSULTA DE DATOS DE REACT/CONDENSADORES

Se presenta una pantalla similar a la de Crear/Edit. datos de elementos en paralelo.No existirá la capacidad de alterar los datos desplegados.

Se preguntará el código del sistema cuyos datos de elementos shunt se desea observar en igual forma a la explicada en 3.12

Si el sistema existe y se tienen barras ingresadas se hará el despliegue de datos en el mismo orden con el que los ingreso el usuario.

Para regresar al Menú Principal se presiona la tecla <Esc>

### 3.14 CONSULTA DE LIMITES DE GENERACION Y COEFICIENTES DE LAS FUNCIONES OBJETIVO

Se presenta una pantalla similar a la de Crear/Edit. datos límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo. No se podrán alterar los datos desplegados

Se preguntará el código del sistema cuyos datos de límites se desea observar en igual forma a 3.12

Si el sistema existe y se tienen barras ingresadas se hará el despliegue de datos en el mismo orden con el que los ingreso el usuario.

Para regresar al Menú Principal se presiona la tecla <Esc>

### 3.14 CONSULTA DE LIMITES DE TAPS DE TRANSFORMADORES DE TIPO "T1" Y TIPO "T2"

Se presenta una pantalla similar a la de Crear/Edit. datos límites de taps de transformadores. No se podrán alterar los datos desplegados.

Se preguntará el código del sistema cuyos datos de límites se desea observar en forma similar a la explicada en 3.12

Si el código ingresado existe pero aún no se ingresan datos de elementos aparecerá en pantalla el mensaje:

"SISTEMA SIN ELEMENTOS  
"DEFINALOS PRIMERO"  
"Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

Si el sistema existe y se tienen elementos ingresados se hará el despliegue de datos en el mismo orden con el que los ingreso el usuario.

Para regresar al Menú Principal se presiona la tecla <Esc>

### 3.15 CONSULTA DEL VALOR RESULTANTE DE LAS VARIABLES DE CONTROL PARA EL CASO DE FLUJO OPTIMO

#### 3.15.a Ingreso del código del sistema

Inicialmente se pregunta el código del sistema. Se ingresa el código en forma similar a la explicada en 3.3.a

Si el sistema existe, se preguntará las variables de control pertenecientes a que flujo se desean revisar mediante el siguiente menú de opciones:

"DESEA REVISAR LAS VARIABLES DE CONTROL DE :"  
"FLUJO OPTIMO GENERAL"  
"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA"  
"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA"

con la primera opción resaltada en un tono más intenso.

El movimiento entre estas opciones se realizará utilizando las teclas de control de posición:

< ↑ > ; < ↓ > ; < PgUp > ; < PgDn > ; < Home >

Se confirma la opción escogida presionando la tecla <RTN>

Para retornar al menú principal se presiona la tecla <Esc>

### 3.15.b Variables de control de flujo óptimo general

Si se desea revisar las variables de control resultantes para el caso de flujo óptimo general se presentará un submenú que muestra las variables de control definidas para flujo óptimo de potencia, y pregunta cual se desea observar. El submenú que se presenta es el siguiente:

"EL VECTOR DE CONTROL DE OPTIMIZACION GENERAL ESTA FORMADO POR :"

"MAG.VOLTAJE EN BARRAS PV Y OSCILANTE Y POT.GENERAC.EN BARRAS PV "  
 "TAPS DE TRANSFORMADORES A OPTIMIZARSE"

La alternativa deseada se escoje con las teclas de control de posición indicadas anteriormente y se confirma con <RTN>.

Para salir de este menú se presiona la tecla <Esc>.

#### 1.- Despliegue de Mag.Voltaje en barras PV y oscilante y Pot.Generac. en barras PV

Se presentarán los números y magnitudes de voltaje de las barras de tensión controlada asociadas a generadores (tipo "PVG") y de las barras de tensión controlada asociadas a condensadores sincrónicos (tipo "PVCS") y de la barra "OSC " mostrándose además el valor de la potencia de generación activa en el caso de las barras tipo "PVG " con su respectivo costo.

Se listarán primero las barras de tensión controlada asociadas a generadores y luego las barras de tensión controlada asociadas a condensadores sincrónicos.Por último la barra oscilante.

Los valores de voltaje vienen dados en p.u , en tanto que los de potencia de generación activa vienen dados en MW y los costos de generación en \$/HORA

En caso de no ejecutarse el flujo óptimo general para ese sistema no se mostrarán resultados.

Para retornar al menú que pregunta para que flujo se desea observar las variables de control se presiona <Esc>

#### 2.- Despliegue de taps de transformadores a optimizarse

Se listan los valores de los taps optimizados luego del flujo

^[ptimo general. Se muestra el número de la barra controlada y el valor del tap. El orden de despliegue será primero los taps de tipo T1 (si existen) y luego los taps de tipo T2 (si existen)

En caso de no ejecutarse el flujo óptimo general para ese sistema o de no existir taps a optimizarse no se mostrarán resultados.

Para retornar al menú donde se pregunta para que flujo se desea observar las variables de control, se presiona <Esc >

### 3.15.c Variables de control de flujo óptimo de potencia reactiva

Al escoger esta alternativa se presentará un submenú que muestra las variables de control definidas para flujo óptimo de potencia reactiva, y pregunta cuales son las variables que desea observar. Se presentará el submenú:

"EL VECTOR DE CONTROL DE OPTIMIZACION DE REACTIVOS ESTA FORMADO POR :"

"MAG.VOLTAJE EN BARRAS PV Y OSCILANTE "  
 "TAPS DE TRANSFORMADORES A OPTIMIZARSE"

La alternativa deseada se escoje con las teclas de control de posición indicadas anteriormente y se confirma con <RTN>.

Para salir de este submenú se presiona la tecla <Esc>.

#### 1.- Despliegue de Mag.Voltaje en barras PV y oscilante

Se presentarán los números y magnitudes de voltaje de las barras de tensión controlada asociadas a generadores (tipo "PVG"), de las barras de tensión controlada asociadas a condensadores sincrónicos (tipo "PVCS"), y de la barra oscilante.

Se listarán primero las barras de tensión controlada asociadas a generadores y luego las barras de tensión controlada asociadas a condensadores sincrónicos.

Los valores de voltaje vienen dados en p.u

En caso de no ejecutarse el flujo óptimo de reactivos para ese sistema no se mostrarán resultados.

Para retornar al menú que presenta las alternativas de los flujos, presiona <Esc>.

#### 2.- Despliegue de taps de transformadores a optimizarse

Se listan los valores de los taps optimizados luego del flujo óptimo de reactivos, en forma similar a la explicada en el punto 3.15.b para el caso 2

### 3.15.d Variables de control de flujo optimo de potencia activa

Al escoger esta alternativa listarán los valores de generación de potencia activa para barras de tensión controlada asociadas a generadores, valor que vendrá dado en MW. Además se presentarán los costos de generación en \$/HORA

Para salir del programa se presiona <Esc>

## 3.16 CONSULTA DEL VALOR RESULTANTE DE LAS FUNCIONES OBJETIVO PARA EL CASO DE FLUJO OPTIMO

### 3.16.a Ingreso del código del sistema

Se realiza en forma similar a 3.3.a

Si el sistema existe, se preguntará el flujo para el cual se desea revisar la función objetivo mediante el siguiente menú de opciones:

```

"DESEA REVISAR LA FUNCION OBJETIVO DE : "
"FLUJO OPTIMO GENERAL"
"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA"
"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA"
    
```

con la primera opción resaltada en un tono más intenso. El movimiento entre estas opciones se realizará utilizando las teclas de control de posición :

```

< ↑ > ; < ↓ > ; < PgUp > ; < PgDn > ; < Home >
    
```

Se confirma la opción escogida presionando la tecla <RTN>

Para retornar al menú principal se presiona la tecla <Esc>.

### 3.16.b Despliegue de la función objetivo para el caso de flujo ótimo general

Los datos que se desplegarán serán:

- Costo total de generación mínimo, en \$
- Pérdidas de potencia activa mínimas, en MW

Para salir del programa al menú se presiona <Esc>

### 3.16.c Despliegue de la función objetivo para el caso de flujo ótimo de reactivos

El dato que se mostrará es:

- Pérdidas de potencia activa mínimas, en MW

Para salir del programa al menú se presiona <Esc>

**3.16.d Despliegue de la función objetivo para el caso de flujo ótimo de potencia activa**

El dato que se mostrará es:

- Costo total de generación mínimo, en \$

Para salir del programa al menú se presiona <Esc>

**3.17 CONSULTA DE LOS RESULTADOS EN BARRAS PARA FLUJO DE POTENCIA Y FLUJO OPTIMO**

**3.17.a Ingreso del código del sistema**

Inicialmente se pregunta el código del sistema en forma similar a 3.3.a

Si el sistema existe, se preguntará el flujo para el cual se desea revisar los resultados de barras:

"DESEA REVISAR LOS RESULTADOS DE BARRAS DE :"

"FLUJO DE POTENCIA"

"FLUJO OPTIMO GENERAL"

"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA"

"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA"

con la primera opción resaltada en un tono más intenso.

El movimiento entre estas opciones se realizará utilizando las teclas de control de posición:

< ↑ > ; < ↓ > ; < PgUp > ; < PgDn > ; < Home >

Se confirma la opción escogida presionando la tecla <RTN>

Para retornar al menú principal se presiona la tecla <Esc>

**3.17.b Despliegue de datos**

Para cualquiera de los casos de flujos que se escogiere se listarán los siguientes datos:

- Número de la barra
- Nombre de la barra
- Tipo de la barra
- Magnitud de voltaje en p.u
- Angulo del voltaje en grados
- Potencia activa de generación en MW
- Potencia reactiva de generación en MVAR
- Potencia activa de carga en MW

- Potencia reactiva de carga en MVAR

Los resultados de barras aparecerán en orden ascendente con respecto al número de la barra.

### 3.18 CONSULTA DE LOS RESULTADOS DE FLUJOS PARA FLUJO DE POTENCIA Y FLUJO OPTIMO

#### 3.18.a Ingreso del código del sistema

Inicialmente se pregunta el código del sistema en igual forma a 3.3.a

Si el sistema existe, se preguntará el flujo para el cual se desea revisar los resultados de flujos:

"DESEA REVISAR LOS RESULTADOS DE FLUJOS DE :"

- "FLUJO DE POTENCIA"
- "FLUJO OPTIMO GENERAL"
- "FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA"
- "FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA"

con la primera opción resaltada en un tono más intenso.

El movimiento entre estas opciones se realizará utilizando las teclas de control de posición:

< ↑ > ; < ↓ > ; < PgUp > ; < PgDn > ; < Home >

Se confirma la opción escogida presionando la tecla <RTN>

Para retornar al menú principal se presiona la tecla <Esc>

#### 3.18.b Despliegue de datos

Para cualquiera de los casos de flujos que se escogiere se listarán los siguientes datos:

- Número de la barra P
- Nombre de la barra P
- Número de la barra Q
- Nombre de la barra Q
- Potencia activa en MW
- Potencia reactiva de en MVAR

Los resultados de flujos aparecerán en orden ascendente con respecto al número de la barra P.

### 3.19 CONSULTA DEL NUMERO DE ITERACIONES Y DE LAS PERDIDAS DEL SISTEMA PARA FLUJO DE POTENCIA Y FLUJO OPTIMO

### 3.19.a Ingreso del código del sistema

Inicialmente se pregunta el código del sistema en forma similar a 3.3.a

Si el sistema existe, se preguntará el flujo para el cual se desea revisar estos valores resultantes:

"DESEA REVISAR LOS VALORES DE :"

"FLUJO DE POTENCIA"

"FLUJO OPTIMO GENERAL"

"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA"

"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA"

con la primera opción resaltada en un tono más intenso.

El movimiento entre estas opciones se realizará utilizando las teclas de control de posición:

< ↑ > ; < ↓ > ; < PgUp > ; < PgDn > ; < Home >

Se confirma la opción escogida presionando la tecla <RTN>

Para retornar al menú principal se presiona la tecla <Esc>

### 3.19.b Despliegue de datos

Para cualquiera de los casos de flujos que se escogiere se presentarán los siguientes datos:

- Pérdidas de potencia activa del sistema
- Iteraciones de optimización

Para el caso de flujo de potencia, el número de iteraciones que se presentarán es de 1, ya que en la primera iteración de optimización se produce una convergencia del flujo de potencia.

‡ REPORTES DE DATOS Y RESULTADOS ‡

## 3.20 REPORTE DE DATOS GENERALES DEL SISTEMA

### 3.20.a Ingreso del código del sistema

Inicialmente se pregunta el código del sistema en forma similar a 3.3.a

### 3.20.b Impresión

Si el sistema existe se preguntará:

"Prepare la impresora y presione cualquier tecla para continuar..."

Al presionar cualquier tecla se procederá a imprimir el informe de los datos generales.

En caso de desistir de obtener el reporte y querer regresar al menú, presione <Esc>

Si la impresora no esta preparada y se presiona <Rtn>, se enviará un mensaje de error, y se regresará al Menú Principal.

### 3.20.c Datos a imprimir

Al obtener el reporte se listarán los siguientes datos y a su derecha los valores dados para el sistema pedido:

- Descripción del sistema.
- Número total de barras.
- Número de barras de carga .
- Número de barras de tensión controlada.
- Número de barras de tensión controlada asociadas a condensadores sincrónicos.
- Número de taps de transformadores con cambio de taps asociados a barras de tensión controlada.
- Criterio de convergencia para flujo de potencia.
- Potencia base.
- Número de barras asociadas a un transformador con cambio de taps.
- Número de barras asociadas a dos transformadores con cambio de taps.
- Tolerancia máxima de las restricciones funcionales.
- Angulo máximo de defasamiento entre barras.
- Número máximo de iteraciones de optimización.
- Criterio de convergencia para flujo óptimo de potencia.

Una vez obtenido el reporte, el programa retorna al Menú Principal.

## 3.21 REPORTE DE DATOS DE BARRAS

Al escoger esta opción se presentará un reporte con una ordenación similar a la de la consulta de datos de barras.

### 3.21.a Ingreso del código del sistema

Se preguntará el código del sistema en forma similar a 3.3.a

Si el código ingresado existe pero aún no se ingresan datos de barras aparecerá en pantalla el mensaje:

```
"SISTEMA SIN BARRAS."  
"DEFINALAS PRIMERO."
```

Presionando <Esc> retorna al Menú Principal.

### 3.21.b Impresión

La impresión se realizará en forma similar a la explicada en el literal 3.20.b, pero en este caso se presenta la posibilidad de detener en cualquier punto la impresión presionando <Esc>, aparecerá el mensaje:

"Parar Impresión : No Si "

con la opción "No" resaltada en un tono más intenso. Se escoge la opción requerida con las teclas:

< ← > ; < → >

Si la opción es " No " ,continúa la impresión. Si la opción es " Si ", retorna al Menú Principal.

Luego de realizado el reporte el programa regresa al Menú Principal.

### 3.21.c Datos a imprimir

Los datos que saldrán en el reporte son los siguientes:

- Número de la barra
- Tipo de barra
- Magnitud de voltaje
- Magnitud de voltaje máxima
- Magnitud de voltaje mínima
- Angulo
- Potencia activa de generación
- Potencia reactiva de generación máxima
- Potencia reactiva de generación mínima
- Potencia activa de carga
- Potencia reactiva de carga

La impresión de datos se realizará en el mismo orden como los ingreso el usuario.

## 3.22 REPORTE DE DATOS DE ELEMENTOS

Se presentará un reporte de la misma configuración a la de consulta de datos de elementos.

### 3.22.a Ingreso del código del sistema

Se preguntará el código del sistema en forma similar a 3.21.a

Si el código ingresado existe pero aún no se ingresan datos de elementos aparecerá en pantalla el mensaje:

"SISTEMA SIN ELEMENTOS."  
"DEFINALOS PRIMERO."

### 3.22.b Impresión

Se realiza en forma similar a 3.21.b

### 3.22.c Datos a imprimir

Se obtendrá el reporte de los siguientes datos:

- Tipo de elemento
- Número de la barra P
- Número de la barra Q
- Resistencia en p.u
- Reactancia en p.u
- Admitancia a tierra en p.u
- Posición inicial del tap (para el caso de un transformador con cambiador de taps)

La impresión de datos se realizará en el mismo orden como los ingreso el usuario.

## 3.23 REPORTE DE DATOS DE REACTORES/CONDENSADORES

Se presentará un reporte de la misma configuración a la de consulta de datos de reactores/condensadores

### 3.23.a Ingreso del código del sistema

Se ingresará el código en igual forma a 3.21.a

Si el código ingresado existe pero aún no se ingresan datos de barras aparecerá en pantalla el mensaje:

"SISTEMA SIN BARRAS."  
"DEFINALAS PRIMERO."

### 3.23.b Impresión

Se realizará en forma similar a 3.21.b

### 3.23.c Datos a imprimirse

En el reporte se tendrán los siguientes datos :

- Número de la barra P
- Potencia reactiva (MVAR)

### 3.24 REPORTE DE LIMITES DE GENERACION Y COEFICIENTES DE LAS FUNCIONES OBJETIVO

Se presentará un reporte de la misma configuración a la de consulta de datos de límites de generación de potencia activa y coeficientes de las funciones objetivo para barras de tipo "PVG" y la barra "OSC"

#### 3.24.a Ingreso del código del sistema

Se preguntará el código del sistema de cuyos datos de límites y coeficientes se desea obtener el reporte en igual forma a 3.21.a

Si el código ingresado existe pero aún no se ingresan datos de barras aparecerá en pantalla el mensaje:

"SISTEMA SIN BARRAS."  
"DEFINALAS PRIMERO."

#### 3.24.b Impresión

Similar a la explicada en el literal 3.21.b

#### 3.24.c Datos a imprimirse

Se imprimirán los siguientes datos:

- Tipo de la barra
- Número de la barra
- Potencia de generación máxima
- Potencia de generación mínima
- Coeficiente " a " de las funciones objetivo
- Coeficiente " b " de las funciones objetivo
- Coeficiente " c " de las funciones objetivo

### 3.25 REPORTE DE LIMITES DE TAPS DE TRANSFORMADORES DE TIPO "T1" Y "T2"

Se presentará un reporte de la misma configuración a la de consulta de datos de límites de taps de transformadores. El orden con el que se listarán los datos de taps será:

Primero datos de taps de tipo "T1" (en caso de existir) y luego datos de taps de tipo "T2" (en caso de existir).

De no existir datos de ninguno de los dos tipos de taps indicados se imprimirá únicamente el encabezado.

#### 3.25.a Ingreso del código del sistema

Se lo realizará en forma similar a 3.21.a

Si el código ingresado existe pero aún no se ingresan datos de elementos se obtendrá el siguiente mensaje:

"SISTEMA SIN ELEMENTOS"  
"DEFINALOS PRIMERO"

### 3.25.b Impresión

Se la realizará en igual forma a 3.21.b

### 3.25.c Datos a imprimirse

Serán los siguientes:

- Tipo de elemento
- Número de la barra P controlada
- Número de la barra Q de control
- Valor máximo del tap
- Valor mínimo del tap

## 3.26 REPORTE DE RESULTADOS DE BARRAS

### 3.21.a Ingreso del código

Se realiza similarmente a 3.21.a

### 3.21.b Impresión

En forma similar a 3.21.b.

### 3.21.c Datos a imprimirse

Aparecerá el siguiente submenú:

"DESEA OBTENER EL REPORTE DE RESULTADOS DE BARRAS PARA :"

"FLUJO DE POTENCIA"  
"FLUJO OPTIMO GENERAL"  
"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA"  
"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA"

Para retornar al Menú Principal se presiona <Esc>

Este submenú permite escoger el tipo de flujo para el que se desea obtener el reporte de resultados de barras. El movimiento en este submenú se realizará utilizando las teclas de control de posición del cursor :

< ↑ > ; < ↓ > ; < Home > ; < PgUp > ; < PgDn >

Escogida la opción se presiona <RTN> para continuar con la obtención del reporte del caso deseado.

Los valores que se presentan en el reporte de resultados de barras son los siguientes:

- Número de la barra
- Nombre de la barra
- Tipo de la barra
- Magnitud de voltaje en p.u
- Angulo en grados
- Potencia activa de generación en MW
- Potencia reactiva de generación en MVAR
- Potencia activa de carga en MW
- Potencia reactiva de carga en MVAR

### 3.27 REPORTE DE RESULTADOS DE FLUJOS

#### 3.27.a Ingreso del código

El ingreso del código se lo realizará en forma similar a la dada en el literal 3.21.a

En caso de no ejecutarse ningún flujo aún para ese sistema se mostrará en pantalla el aviso luego del ingreso del código:

" AUN NO SE EJECUTA NINGUN FLUJO PARA ESE SISTEMA "

#### 3.27.b Impresión

Se realizará en igual manera a la detallada en el literal 3.21.b

#### 3.27.c Datos a imprimirse

Si el sistema existe y se han ejecutado flujos con 1, se presentará en pantalla el siguiente submenú:

"DESEA OBTENER EL REPORTE DE FLUJOS DE :"

"FLUJO DE POTENCIA"

"FLUJO OPTIMO GENERAL"

"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA"

"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA"

Si no se desea escoger ninguna opción de las presentadas sino retornar al Menú Principal , se presiona <Esc>.

Este submenú permite escoger el tipo de flujo para el que se desea obtener el reporte de resultados de flujos.

Escogida la opción se presiona <RTN> para continuar con la obtención del reporte para el caso deseado.

Los valores que se presentan en el reporte de resultados de flujos son los siguientes:

- Número de la barra P
- Nombre de la barra P
- Número de la barra Q
- Nombre de la barra Q
- Flujo de potencia activa en MW
- Flujo de potencia reactiva en MVAR

Una vez obtenido el reporte el programa retorna al submenú presentado anteriormente.

### 3.20 REPORTE DE RESULTADOS DE LA FUNCION OBJETIVO PARA EL CASO DE FLUJO OPTIMO

#### 3.20.a Ingreso del código

Se realiza de acuerdo a lo explicado en el literal 3.21.a

#### 3.20.b Impresión

De acuerdo a lo explicado en el literal 3.20.b

#### 3.20.c Datos a imprimirse

Se presentará en pantalla el siguiente submenú:

"DESEA OBTENER EL REPORTE DE LA FUNCION OBJETIVO DE :"

- "FLUJO OPTIMO GENERAL"
- "FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA"
- "FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA"

Si no se desea escoger ninguna opción de las presentadas sino retornar al Menú Principal, se presiona <Esc>

Este submenú permite escoger el tipo de flujo óptimo para el que se desea obtener el reporte de función objetivo resultante.

Si la opción escogida es de flujo óptimo general el reporte presentará los siguientes datos:

COSTO TOTAL DE GENERACION (MINIMO)	:	\$
PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA (MINIMAS)	:	MW

En tanto que si se decide por la opción de flujo óptimo de potencia reactiva se muestra el dato:

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA (MINIMAS)	:	MW
---------------------------------------	---	----

Si la opción es de flujo óptimo de potencia activa, se muestra el siguiente valor:

COSTO TOTAL DE GENERACION (MINIMO) : \$

Una vez obtenido el reporte el programa retorna al submenú presentado anteriormente.

### 3.29 REPORTE DEL VALOR DE LAS VARIABLES DE CONTROL PARA EL EL CASO DE FLUJO OPTIMO

#### 3.29.a Ingreso del código del sistema

Se realiza de igual forma a la explicada en el literal 3.21.a

#### 3.29.b Impresión

Similar a la explicada en 3.21.b

#### 3.29.c Datos a imprimirse

Se presenta en pantalla el siguiente submenú:

"REPORTE DEL VALOR DE LAS VARIABLES DE CONTROL DE :"

"FLUJO OPTIMO GENERAL"  
 "FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA"  
 "FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA"

Si no se desea escoger ninguna opción de las presentadas sino retornar al Menú Principal, se presiona <Esc>

#### 1. Reporte de las variables de control para flujo óptimo general

Las variables de control para flujo óptimo general son tres:

- Magnitud de voltaje en barras de tensión controlada
- Potencias activas de generación en barras de tensión controlada asociadas a generadores.
- Valor de taps de transformadores, a optimizarse.

Por esta razón para obtener los reportes de estos valores, se presenta un nuevo menú con las siguientes opciones :

"EL VECTOR DE CONTROL DE OPTIMIZACION GENERAL ESTA FORMADO POR:"

"MAG.VOLTAJE EN BARRAS PV Y OSCILANTE Y POT.GENERAC. EN BARRAS PV"  
 "TAPS DE TRANSFORMADORES A OPTIMIZARSE"

El reporte para la primera opción presentará los siguientes datos:

- Número de la barra (Para barras de tipo "PVG" y "PVCS")
- Magnitud de voltaje (Para barras de tipo "PVG" y "PVCS")
- Potencia de generación activa para barras tipo "PVG"
- Costo de la generación de potencia activa para barras de tipo "PVG", dado en \$/hora

En el caso de la segunda opción tendremos:

- Número de la barra P cuyo voltaje se controla con el tap.
- Valor optimizado del tap.

El orden de presentación será primero los taps de tipo T1 y luego los taps de tipo T2.

## 2. Reporte de las variables de control para flujo óptimo de reactivos

Las variables de control para flujo óptimo de reactivos son dos:

- Magnitud de voltaje en barras de tensión controlada
- Valor de taps de transformadores a optimizarse.

Por esta razón para obtener los reportes de estos valores, se presenta un nuevo menú con las siguientes opciones:

"EL VECTOR DE CONTROL DE OPTIMIZACION DE REACTIVOS ESTA FORMADO POR:"

- " MAG.VOLTAJE EN BARRAS PV Y OSCILANTE "
- " TAPS DE TRANSFORMADORES A OPTIMIZARSE"

El reporte para la primera opción presentará los siguientes datos:

- Número de la barra (Para barras de tipo "PVG" y "PVCS")
- Magnitud de voltaje (Para barras de tipo "PVG" y "PVCS")

En el caso de la segunda opción tendremos:

- Número de la barra P cuyo voltaje se controla con el tap.
- Valor optimizado del tap.

El orden de presentación será primero los taps de tipo T1 y luego los taps de tipo T2.

## 3. Reporte de las variables de control para flujo óptimo de potencia activa

Las variables de control para flujo óptimo de potencia activa son las potencias activas de generación en barras de tensión

controlada asociadas a generadores. Se presentarán los siguientes datos:

- Número de la barra tipo "PVG"
- Potencia de generación activa para barras tipo "PVG"
- Costo de la generación de potencia activa, para barras de tipo "PVG", dado en \$/hora

Luego de obtenidos los reportes el programa retornará al menú presentado para escoger el flujo para el que se desea obtener el reporte.

### **3.30 REPORTE DE RESULTADOS DEL PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA Y NUMERO DE ITERACIONES DE CONVERGENCIA DE LA OPTIMIZACION**

#### **3.30.a Ingreso del código**

Se realiza de acuerdo a lo explicado en el literal 3.21.a

#### **3.30.b Impresión**

De acuerdo a lo explicado en el literal 3.20.b

#### **3.30.c Datos a imprimirse**

Se presentará en pantalla el siguiente submenú:

```
"DESEA OBTENER LOS VALORES PARA:"  
  
"FLUJO DE POTENCIA"  
"FLUJO OPTIMO GENERAL"  
"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA"  
"FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA"
```

Si no se desea escoger ninguna opción de las presentadas sino retornar al Menú Principal, se presiona <Esc>

Este submenú permite escoger el tipo de flujo para el que se desea obtener el reporte de los datos finales de pérdidas de potencia activa y número de iteraciones de convergencia de la optimización.

### **3.31 EJECUCION DE LOS CASOS DE FLUJOS**

#### **3.31.a Ingreso del código del sistema**

Al escoger la opción de ejecutar cualquiera de los casos de flujos, se preguntará el nombre del código del sistema para el que se desea ejecutar el flujo en forma similar a la explicada en 3.3.a

Si el sistema existe, pero aún no se ingresan datos de barras saldrá el aviso:

"SISTEMA SIN BARRAS."  
" DEFINALAS PRIMERO"  
"Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

Y el programa retorna al Menú Principal.

En caso de que el sistema exista tenga ingresado datos de barras pero aún no se ingresen datos de líneas se enviará el siguiente mensaje:

"SISTEMA SIN LINEAS"  
"DEFINALAS PRIMERO"  
"Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

Y el programa retorna el Menú Principal.

Si el código ingresado corresponde a un sistema que tenga datos de barras y líneas ingresados. Se procede con la validación de datos y se presenta el siguiente mensaje:

"SE ESTA REALIZANDO LA VALIDACION DE DATOS..."

### 3.31.b Validación de datos para el caso se ejecutarse un flujo de potencia o un flujo óptimo de potencia de cualquier tipo

Se verificarán las siguientes condiciones:

- La existencia de una barra oscilante. En caso de no existir se enviará el siguiente mensaje:

"DEBE EXISTIR UNA BARRA OSCILANTE"  
"Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

- La existencia en datos de barras de todas las barras dadas en datos de elementos serie. Si se encuentra alguna barra que no conste en datos de barras se indicará:

"EN DATOS DE ELEMENTOS SERIE CONSTA LA BARRA No. "  
"QUE NO CONSTA EN DATOS DE BARRAS "  
"Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

Se indica el número de la barra que presenta problemas.

Al presionar cualquier tecla se dará la alternativa:

" DESEA QUE SE ELIMINE EL ELEMENTO ? "  
" Si No "

Con la opción "Si" resaltada en un tono más intenso. Se escoge con las teclas de control de posición:

<←> ; <→>

Si la alternativa escogida es "No", el programa retorna al Menú Principal. Por otro lado, si la opción escogida es "Si" se elimina el elemento del archivo de datos de elementos y se continua efectuando el control de las barras del archivo de elementos. Si se encuentra una nueva barra que no conste en datos de barras se repetirá el proceso descrito.

- Controla que el número de transformadores de tipo T1 ingresados en datos de elementos sea igual al dado en datos generales. Si no ocurre esto se presenta el aviso:

"EL NUMERO DE TRAFOS DE TIPO T1 EN DATOS DE LINEAS"  
 "ES DIFERENTE AL DADO EN DATOS GENERALES"  
 "Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

Luego aparecerá el mensaje :

"DESEA QUE SE REEMPLACE EL No. TAPS DE TIPO T1 DADO"  
 "EN DATOS DE LINEAS , EN DATOS GENERALES ? : "  
 " Si No "

Con la opción "Si" resaltada en un tono más intenso. Se escoje la alternativa deseada con las teclas de control de posición del cursor:

<←> ; <→>

Si la opción escogida es "No", el programa retorna al Menú Principal. En tanto que si se escoje la alternativa de "Si", el programa realiza el reemplazo indicado y continúa con la validación de datos.

- El número de taps de tipo T2 dado en datos de líneas debe ser igual a dos veces el número de barras de tipo T2 dado en datos generales (de acuerdo a la explicación dada en el ingreso de datos generales, en el literal 3.2.h). De no cumplirse con esta condición se mostrará al mensaje:

" EL NUMERO DE TAPS DE TIPO T2 DADO EN LINEAS DEBE SER"  
 " DOS VECES EL NUMERO DE BARRAS DE TIPO T2 DADO EN DATOS"  
 " GENERALES"  
 " Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

Para después preguntar:

"DESEA QUE SE REEMPLACE DE ACUERDO AL No.TAPS DE TIPO T2"  
 "DADO EN DATOS DE LINEAS , EL NUMERO DE BARRAS T2 EN LOS"  
 "DATOS GENERALES "  
 " Si No "

Al escoger la opción "No" el programa retorna al Menú

Principal. Si se escoge la opción "Si" el programa verifica que el número de taps de tipo T2, sea un número par, en caso de no cumplir esta condición se presentará:

"EL NUMERO DE TAPS DE TIPO T2 DEBE SER UN NUMERO PAR"  
 "REVISE LOS DATOS DE LINEAS INGRESADOS..."  
 "Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

El programa después retorna al Menú Principal.

Si se cumple esta última condición el programa realiza el reemplazo mencionado y continúa con la validación.

- Se comprueba que el número de taps de tipo T3 , sea igual al dado en datos generales, si no ocurre de esta forma se mandará el siguiente mensaje:

"EL NUMERO DE TRAFOS DE TIPO T3 EN DATOS DE LINEAS"  
 "ES DIFERENTE AL DADO EN DATOS GENERALES "  
 "Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

Para luego preguntar:

"DESEA QUE SE REEMPLACE EL No. TAPS DE TIPO T3 DADO"  
 "EN DATOS DE LINEAS , EN DATOS GENERALES ? : "  
 "                                    Si   No   "

Se escoge la opción seleccionada de la forma explicada anteriormente. Con la opción "No" el programa retorna al Menú Principal. En tanto que con la opción "Si", se realiza el reemplazo y se continúa con la verificación de datos.

- Verifica que no exista un nodo aislado. Se muestra el mensaje:

"REVISANDO QUE NO EXISTA UN NODO AISLADO..."

De encontrarse una barra aislada se envía el siguiente mensaje:

" BARRA AISLADA : "  
 " Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

Se indicará el número de la barra aislada. El programa después retorna al Menú Principal.

### 3.31.c Validación de datos para el caso se ejecutarse un flujo óptimo de potencia de cualquier tipo

En el caso de realizarse un flujo óptimo además de los anteriores se realizarán los siguientes controles:

- Que se hayan ingresado todos los datos generales de optimización. Si alguno de los datos generales de

optimización tiene un valor de cero, se enviará el aviso:

" INGRESE TODOS LOS DATOS GENERALES DE OPTIMIZACION..."  
" Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

A continuación el programa retorna al Menú Principal.

- Que se hayan ingresado todos los datos de límites de generación y coeficientes de funciones objetivo, para barras PVG y OSC . De no cumplir con esta condición se manda el aviso siguiente:

"INGRESE DATOS DE LIM.DE GENERAC. Y COEFICIENTES"  
"DE FUNCIONES OBJETIVO PARA BARRAS 'PVG' Y 'OSC'"  
"Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

Después el programa retornará al Menú Principal.

- Que se hayan ingresado los límites de taps de tipo T1 (en caso de existir) y los de tipo T2 (en caso de existir). Se enviará el mensaje:

"PARA EJECUTAR EL FLUJO DEBE HABER INGRESADO "  
"LOS DATOS DE LIMITES DE TAPS DE TIPO 'T1' Y/O 'T2'"

<RTN> : Continúa                    <Esc> : Retorna Menú

Si se han ingresado los datos indicados presione <RTN> para continuar con la ejecución del programa. Si aún no ingresa los datos de límites de taps debe presionar <Esc> para retornar al Menú Principal y realizar el ingreso de estos datos con la opción Crear/Edit Lim.Tap.

Es importante que si no se ingresan estos datos de límites , no se continúe con la ejecución del programa.

### 3.31.c Control para el caso de ejecutarse un flujo óptimo de potencia reactiva

Antes de ejecutar un flujo óptimo de potencia reactiva se debe haber ejecutado un flujo óptimo de potencia activa, bajo las mismas condiciones del sistema.

En caso de no ejecutarse el flujo óptimo de potencia activa, se presentará el mensaje:

"ANTES DE EJECUTAR LA OPTIMIZACION DE REACTIVOS"  
"EJECUTE LA OPTIMIZACION DE POTENCIA ACTIVA "  
"Presione Cualquier Tecla Para Continuar..."

Luego el programa retornará al Menú Principal.

Es importante indicar que los resultados de generación que se utilizarán en la optimización de reactivos, corresponderán al último flujo de potencia activa ejecutado para ese sistema. Es

por eso la importancia de ejecutar primero el flujo óptimo de potencia activa antes de ejecutar el flujo óptimo de potencia reactiva.

### 3. 31.d Recuperación de datos de la base de datos

Una vez que se ha realizado la validación de datos, el programa pasa a recuperar la información existente sobre ese sistema en la base de datos. En ese momento se enviará el mensaje:

```
"SE ESTAN RECUPERANDO LOS DATOS DE "  
"LA BASE DE DATOS PARA FORMAR EL "  
"ARCHIVO DE ENTRADA AL PROGRAMA "  
"DE FLUJOS..."
```

### 3.31.e Ejecución del programa

Luego de recuperados los datos se ejecuta el programa deseado y luego se regresa al Menú Principal, para proceder a realizar la consulta de resultados.

## 3.32 COPIA DE SISTEMAS

Con esta opción se podrá realizar la copia de un sistema, es decir copiar todos los datos generales, datos de barras, datos de elementos serie, datos de reactores/condensadores, datos de límites de generación y coeficientes de las funciones objetivo, límites de taps de transformadores.

Al copiar los datos generales se copia incluso la clave del sistema.

### 3.32.a Ingreso del código del sistema origen

Se entenderá como sistema origen el sistema del cual se va a realizar la copia.

El código se lo ingresará en forma similar a 3.3.a

### 3.32.b Ingreso del código del sistema destino

Se define como sistema destino, al sistema que va a ser la copia del sistema origen.

Se pide el código del sistema destino y se verifica que el código dado no exista .En caso de dar un código existente se envía el aviso:

```
"CODIGO EXISTENTE.CONSULTE CATALOGO DE SISTEMAS"  
"DESDE EL MENU PRINCIPAL"
```

Luego el cursor se posicionará pidiendo un nuevo valor del código.

Si se desea revisar los códigos existentes se deberá seguir el procedimiento explicado en 3.3.a

Si el código dado no existe, se pasa a realizar la copia del sistema y aparecerá en pantalla:

"ESPERE POR FAVOR..."

Una vez terminada la copia el programa retorna al Menú Principal.

### 3.33 ELIMINACION DE SISTEMAS

Se escoje esta opción cuando se desea eliminar todos los datos y resultados que se han obtenido para un sistema.

Se ingresa el código del sistema. Si el código ingresado no existe se enviará el mensaje de error:

"CODIGO NO EXISTENTE. CONSULTE CATALOGO DE SISTEMAS"  
"DESDE EL MENU PRINCIPAL"  
"Presione Cualquier Tecla Para continuar..."

Pudiendo realizar cualquiera de las tres acciones explicadas en el literal 3.3.a

Si el código del sistema existe, se hará la siguiente pregunta:

" CUAL ES LA CLAVE DEL SISTEMA ? :"

Esto para que no todos los usuarios tengan acceso a la eliminación de un sistema sino únicamente la persona que conozca la clave.

Si el dato ingresado no corresponde a la clave del sistema el cursor se volverá a posicionar pidiendo un nuevo valor.

Para salir al Menú Principal se deberá pulsar <Esc>

De otra manera si el dato ingresado coincide con la clave del sistema se preguntará:

"ESTA SEGURO : Si No "

Con la opción " Si " resaltada en un tono más intenso.

Se escogerá la opción deseada valiéndose de las teclas de control de posición:

< ← > ; < → >

Si la opción escogida es " No ", se retorna al Menú Principal.

Si la opción escogida es " Si ", se realizará la eliminación completa del sistema y luego se retornará al Menú Principal.

### 3.34 EMPAQUETAMIENTO

Se refiere a la eliminación física de los archivos borrados.

Al ejecutar esta opción no se observará ningún mensaje.

Se deberá ejecutar esta opción de tiempo en tiempo, con el objeto de limpiar la memoria de archivos que ya no se utilizan.

## APENDICE # 9

### DATOS DEL EJEMPLO 1

Los datos, para el ejemplo aplicación didáctica, se presentan a continuación:

DATOS GENERALES DEL SISTEMA : EJEMPLO1  
 -----

0. DESCRIPCION DEL SISTEMA		
Sistema de 5barras del ejemplo No.1 para flujo optimo de potencia general		
1. NUMERO TOTAL DE BARRAS :		5
2. NUMERO DE BARRAS DE CARGA :		2
3. NUMERO DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA :		2
4. NUMERO DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA ASOCIADAS A CONDENSADORES SINCRONICOS :		0
5. NUMERO DE TAPS DE TRANSFORMADORES CON CAMBIO DE TAPS ASOCIADOS A BARRAS DE TENSION CONTROLADA :		0
6. CRITERIO DE CONVERGENCIA PARA FLUJO DE POTENCIA :		0.0010
7. POTENCIA BASE :		100
8. NUMERO DE BARRAS ASOCIADAS A UN TRANSFORMADOR CON CAMBIO DE TAPS :		1
9. NUMERO DE BARRAS ASOCIADAS A DOS TRANSFORMADORES CON CAMBIO DE TAPS :		0
10. TOLERANCIA MAXIMA DE LAS RESTRICCIONES FUNCIONALES :		0.3000
11. ANGULO MAXIMO DE DEFASAMIENTO ENTRE BARRAS :		0.8000
12. NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION :		40
13. CRITERIO DE CONVERGENCIA PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA :		0.1000

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

DATOS DE BARRA  
EJEMPLO1

BARRA No.	TIPO	VOLT. (p.u)	VOLT. MAX. (p.u)	VOLT. MIN. (p.u)	ANGULO (rad)	P.ACT. GEN. (Mw)	P.REACT GEN. (Mvar)	P.REACT GEN. (Mvar)	P.ACT CARGA (Mw)	P.REACT CARGA (Mvar)
2	PQ	1.0000	1.0500	0.9500	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	12.00
3	PQ	1.0000	1.0500	0.9500	0.00	0.00	0.00	0.00	70.00	3.00
4	PVG	1.0500	1.0500	0.9500	0.00	100.00	70.00	-50.00	86.00	20.00
5	PVG	1.0500	1.0500	0.9500	0.00	100.00	100.00	0.00	80.00	10.00
1	OSC	1.0500	1.0500	0.9500	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

DATOS DE ELEMENTOS SERIE DEL SISTEMA  
EJEMPLO1

TIPO ELEM.	BARRA P	BARRA Q	IMPEDANCIA		ADMITANCIA A TIERRA	POSICION INICIAL DEL TAP
			P.REAL (p.u)	P.IMAGINARIA (p.u)	(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	0.01960	0.00000	1.0250
L	3	1	0.10600	0.40300	0.00000	0.0000

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

DATOS DE LIMITES DE GEN. DE POT. ACTIVA Y COEF. DE FUNCIONES OBJETIVO  
EJEMPLO1

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	50.00000	245.00000	105.00000
PVG	5	100.00	20.00	50.00000	389.00000	40.60000
OSC	1	100.00	20.00	50.00000	351.00000	44.00000

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

LIMITES DE TAPS DE TRAFOS DE TIPO T1 O T2  
EJEMPLO1

TIPO TAP	BARRA P CONTROLADA	BARRA Q DE CONTROL	VALOR MAXIMO DEL TAP	VALOR MINIMO DEL TAP
T1	2	3	1.0500	0.9500

APENDICE # 10

RESULTADOS DE LOS FLUJOS PARA EL EJEMPLO 1

Resultados del Flujo de Potencia

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO DE POTENCIA  
EJEMPLO1

=====								
BARRA	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA		
No.	NOMBRE	MAGNITUD	ANGULO	ACTIVA	REACTIVA	ACTIVA	REACTIVA	
=====								
		(p.u)	(grados)	(Mw)	(Mvar)	(Mw)	(Mvar)	
=====								
1	BARRA1	OSC	1.0500	0.00	71.88	8.52	0.00	0.00
2	BARRA2	PQ	1.0061	-15.93	0.00	0.00	30.00	12.00
3	BARRA3	PQ	0.9818	-15.80	0.00	0.00	70.00	3.00
4	BARRA4	PVG	1.0500	-12.99	100.00	16.03	86.00	20.00
5	BARRA5	PVG	1.0500	-13.80	99.99	42.52	80.00	10.00
=====								

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
 PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
 FECHA : 80.01.01

FLUJO DE POTENCIA  
 EJEMPLO1

BARRA P		BARRA Q		POT.ACTIVA	POT.REACTIVA
No.	NOMBRE	No.	NOMBRE	(Mw)	(Mvar)
1	BARRA1	3	BARRA3	-71.875	-8.523
2	BARRA2	3	BARRA3	11.669	-128.030
2	BARRA2	5	BARRA5	18.314	10.976
3	BARRA3	1	BARRA1	66.839	-10.626
3	BARRA3	2	BARRA2	-11.669	124.908
3	BARRA3	5	BARRA5	14.784	14.641
4	BARRA4	5	BARRA5	-14.000	3.970
5	BARRA5	2	BARRA2	-18.675	-12.156
5	BARRA5	3	BARRA3	-15.256	-16.200
5	BARRA5	4	BARRA4	13.942	-4.168

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO DE POTENCIA

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA : 5.9263 ( MW )  
 NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION : 1

**Resultados del Flujo Optimo de Potencia General**

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

**RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO OPTIMO GENERAL  
EJEMPLO1**

```
=====
```

BARRA No.	NOMBRE	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mva)
1	BARRA1	DSC	1.0500	0.00	54.46	10.55	0.00	0.00
2	BARRA2	PQ	0.9980	-11.77	0.00	0.00	30.00	12.00
3	BARRA3	PQ	0.9749	-11.74	0.00	0.00	70.00	3.00
4	BARRA4	PVG	1.0500	-3.40	170.55	12.89	86.00	20.00
5	BARRA5	PVG	1.0362	-8.11	47.11	43.59	80.00	10.00

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

**VOLTAJES Y POT. DE GENERACION DEL VECTOR DE CONTROL.- FLUJO OPTIMO GENERAL  
EJEMPLO1**

```
=====
```

BARRA No.	MAG.VOLTAJE (P.U)	POT.ACT.GEN (MW)	COSTO-GENERACION (\$/HORA)
4	1.0500	170.55	668.2885
5	1.0362	47.11	234.9427
1	1.0500		

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

**TAPS DE TRANSFORMADORES TIPO T1 Y/O T2 DEL VECTOR DE CONTROL.-FLUJO OPTIMO GENERAL  
EJEMPLO1**

```
=====
```

TRANSFORMADORES CON TAPS	
TAP No.	VALOR
2	1.02500

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

FLUJOS DE POTENCIA EN OPTIMIZACION GENERAL  
EJEMPLO1

BARRA P No.	NOMBRE	BARRA Q No.	NOMBRE	POT.ACTIVA (Mw)	POT.REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	3	BARRA3	-54.457	-10.545
2	BARRA2	3	BARRA3	3.047	-120.559
2	BARRA2	5	BARRA5	26.933	5.513
3	BARRA3	1	BARRA1	51.498	-0.701
3	BARRA3	2	BARRA2	-3.047	117.767
3	BARRA3	5	BARRA5	21.513	10.123
4	BARRA4	5	BARRA5	-84.568	7.031
5	BARRA5	2	BARRA2	-27.541	-7.500
5	BARRA5	3	BARRA3	-22.137	-12.186
5	BARRA5	4	BARRA4	82.609	-13.758

FUNCION OBJETIVO PARA FLUJO OPTIMO GENERAL

COSTO TOTAL DE GENERACION (MINIMO) : 1153.20 \$  
PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA (MINIMAS) : 6.115 MW

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO OPTIMO GENERAL

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA : 6.1490 ( MW )  
NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION : 34

Resultados del Flujo Optimo de Potencia Activa

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA  
EJEMPLO1

BARRA No.	BARRA NOMBRE	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	DSC	1.0500	0.00	54.25	7.93	0.00	0.00
2	BARRA2	PQ	1.0090	-11.76	0.00	0.00	30.00	12.00
3	BARRA3	PQ	0.9853	-11.72	0.00	0.00	70.00	3.00
4	BARRA4	PVG	1.0500	-3.38	170.37	-0.75	86.00	20.00
5	BARRA5	PVG	1.0500	-8.22	47.55	59.97	80.00	10.00

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

POTENCIAS DE GENERACION Y COSTO DE GENERACION.- FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA  
EJEMPLO1

BARRA No.	POT.ACT.GEN (MW)	COSTO-GENERACION (\$/HORA)
4	170.37	667.5430
5	47.55	236.8673

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

FLUJOS DE POTENCIA EN OPTIMIZACION DE POTENCIA ACTIVA  
EJEMPLO1

BARRA P No.	NOMBRE	BARRA Q No.	NOMBRE	POT. ACTIVA (Mw)	POT. REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	3	BARRA3	-54.248	-7.931
2	BARRA2	3	BARRA3	2.995	-124.603
2	BARRA2	5	BARRA5	26.999	6.791
3	BARRA3	1	BARRA1	51.358	-3.056
3	BARRA3	2	BARRA2	-2.995	121.685
3	BARRA3	5	BARRA5	21.615	11.262
4	BARRA4	5	BARRA5	-84.372	20.749
5	BARRA5	2	BARRA2	-27.608	-8.786
5	BARRA5	3	BARRA3	-22.258	-13.385
5	BARRA5	4	BARRA4	82.317	-27.801

FUNCION OBJETIVO PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA

COSTO TOTAL DE GENERACION (MINIMO) : 1153.53 \$

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA : 6.1956 ( MW )  
NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION : 20

Resultados del Flujo Optimo de Potencia Reactiva

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA  
EJEMPLO1

```
=====
```

BARRA No.	NOMBRE	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	DSC	1.0500	0.00	54.24	8.21	0.00	0.00
2	BARRA2	PQ	1.0078	-11.75	0.00	0.00	30.00	12.00
3	BARRA3	PQ	0.9843	-11.72	0.00	0.00	70.00	3.00
4	BARRA4	PVG	1.0500	-3.37	170.37	0.70	86.00	20.00
5	BARRA5	PVG	1.0486	-8.20	47.54	58.20	80.00	10.00

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

VOLTAJES DEL VECTOR DE CONTROL.-FLUJO OPTIMO DE REACTIVOS  
EJEMPLO1

```
=====
```

BARRA No.	MAG.VOLTAJE (P.U)
4	1.0500
5	1.0486
1	1.0500

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

TAPS DE TRANSFORMADORES TIPO T1 Y/O T2 DEL VECTOR DE CONTROL.-FLUJO OPTIMO DE REACTIVOS  
EJEMPLO1

```
=====
```

TRANSFORMADORES CON TAPS	
TAP No.	VALOR
2	1.00000

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
 PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
 FECHA : 80.01.01

FLUJOS DE POTENCIA EN OPTIMIZACION DE REACTIVOS  
 EJEMPLO1

BARRA P No.	NOMBRE	BARRA Q No.	NOMBRE	POT. ACTIVA (Mw)	POT. REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	3	BARRA3	-54.244	-8.208
2	BARRA2	3	BARRA3	2.988	-124.169
2	BARRA2	5	BARRA5	27.005	6.652
3	BARRA3	1	BARRA1	51.351	-2.794
3	BARRA3	2	BARRA2	-2.988	121.265
3	BARRA3	5	BARRA5	21.615	11.138
4	BARRA4	5	BARRA5	-84.370	19.304
5	BARRA5	2	BARRA2	-27.615	-8.
5	BARRA5	3	BARRA3	-22.256	-13.256
5	BARRA5	4	BARRA4	82.331	-26.302

FUNCION OBJETIVO PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA (MINIMAS) : 6.154 MW

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA : 6.1823 ( MW )  
 NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION : 3

APENDICE # 11

RESULTADOS DE LOS FLUJOS PARA EL EJEMPLO 2

Resultados del Flujo de Potencia

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO DE POTENCIA  
EJEMPLO2

BARRA No.	BARRA NOMBRE	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	DSC	1.0500	0.00	71.88	8.52	0.00	0.00
2	BARRA2	PQ	1.0061	-15.93	0.00	0.00	30.00	12.00
3	BARRA3	PQ	0.9818	-15.80	0.00	0.00	70.00	3.00
4	BARRA4	PVG	1.0500	-12.99	100.00	16.03	86.00	20.00
5	BARRA5	PVG	1.0500	-13.80	99.99	42.52	80.00	10.00

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

FLUJO DE POTENCIA  
EJEMPLO2

BARRA P No.	NOMBRE	BARRA Q No.	NOMBRE	POT.ACTIVA (Mw)	POT.REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	3	BARRA3	-71.875	-8.523
2	BARRA2	3	BARRA3	11.669	-128.030
2	BARRA2	5	BARRA5	18.314	10.976
3	BARRA3	1	BARRA1	66.839	-10.626
3	BARRA3	2	BARRA2	-11.669	124.908
3	BARRA3	5	BARRA5	14.784	14.641
4	BARRA4	5	BARRA5	-14.000	3.970
5	BARRA5	2	BARRA2	-18.675	-12.156
5	BARRA5	3	BARRA3	-15.256	-16.200
5	BARRA5	4	BARRA4	13.942	-4.168

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO DE POTENCIA

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA : 5.9263 ( MW )  
NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION : 1

Resultados del Flujo Optimo de Potencia General

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO OPTIMO GENERAL  
EJEMPLO2

```
=====
```

BARRA No.	NOMBRE	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mv)
1	BARRA1	OSC	1.0500	0.00	65.54	9.27	0.00	0.00
2	BARRA2	PQ	1.0025	-14.42	0.00	0.00	30.00	12.00
3	BARRA3	PQ	0.9787	-14.33	0.00	0.00	70.00	3.00
4	BARRA4	PVG	1.0500	-9.36	128.59	14.72	86.00	20.00
5	BARRA5	PVG	1.0439	-11.74	77.46	41.81	80.00	

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

VOLTAJES Y POT. DE GENERACION DEL VECTOR DE CONTROL.- FLUJO OPTIMO GENERAL  
EJEMPLO2

```
=====
```

BARRA No.	MAG.VOLTAJE (P.U)	POT.ACT.GEN (MW)	COSTO-GENERACION (\$/HORA)
4	1.0500	128.59	684.9775
5	1.0439	77.46	371.9361
1	1.0500		

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

TAPS DE TRANSFORMADORES TIPO T1 Y/O T2 DEL VECTOR DE CONTROL.-FLUJO OPTIMO GENERAL  
EJEMPLO2

```
=====
```

TRANSFORMADORES CON TAPS	
TAP No.	VALOR
2	1.02500

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

FLUJOS DE POTENCIA EN OPTIMIZACION GENERAL  
EJEMPLO2

BARRA P No.	NOMBRE	BARRA Q No.	NOMBRE	POT. ACTIVA (Mw)	POT. REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	3	BARRA3	-65.545	-9.267
2	BARRA2	3	BARRA3	8.572	-125.000
2	BARRA2	5	BARRA5	21.416	8.849
3	BARRA3	1	BARRA1	61.332	-6.750
3	BARRA3	2	BARRA2	-8.572	122.013
3	BARRA3	5	BARRA5	17.201	12.885
4	BARRA4	5	BARRA5	-42.589	5.280
5	BARRA5	2	BARRA2	-21.843	-10.249
5	BARRA5	3	BARRA3	-17.708	-14.558
5	BARRA5	4	BARRA4	42.088	-7.001

FUNCION OBJETIVO PARA FLUJO OPTIMO GENERAL

-----  
COSTO TOTAL DE GENERACION (MINIMO) : 1352.46 \$  
PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA (MINIMAS) : 5.597 MW

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO OPTIMO GENERAL

-----  
PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA : 5.6480 ( MW )  
NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION : 20

Resultados del Flujo Optimo de Potencia Activa

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA  
EJEMPLO2

BARRA No.	NOMBRE	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	OSC	1.0500	0.00	65.73	8.12	0.00	0.00
2	BARRA2	PQ	1.0073	-14.47	0.00	0.00	30.00	12.00
3	BARRA3	PQ	0.9833	-14.37	0.00	0.00	70.00	3.00
4	BARRA4	PVG	1.0500	-9.39	128.70	8.55	86.00	20.00
5	BARRA5	PVG	1.0500	-11.86	77.21	49.29	80.00	10.00

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

POTENCIAS DE GENERACION Y COSTO DE GENERACION.- FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA  
EJEMPLO2

BARRA No.	POT. ACT. GEN (MW)	COSTO-GENERACION (\$/HORA)
4	128.70	685.4898
5	77.21	370.7531

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
 PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
 FECHA : 80.01.01

FLUJOS DE POTENCIA EN OPTIMIZACION DE POTENCIA ACTIVA  
 EJEMPLO2

BARRA P No.	NOMBRE	BARRA Q No.	NOMBRE	POT.ACTIVA (Mw)	POT.REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	3	BARRA3	-65.735	-8.116
2	BARRA2	3	BARRA3	8.687	-126.855
2	BARRA2	5	BARRA5	21.302	9.475
3	BARRA3	1	BARRA1	61.517	-7.919
3	BARRA3	2	BARRA2	-8.687	123.809
3	BARRA3	5	BARRA5	17.134	13.437
4	BARRA4	5	BARRA5	-42.701	11.447
5	BARRA5	2	BARRA2	-21.730	-10.878
5	BARRA5	3	BARRA3	-17.649	-15.139
5	BARRA5	4	BARRA4	42.170	-13.273

FUNCION OBJETIVO PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA

COSTO TOTAL DE GENERACION (MINIMO) : 1352.58 \$

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA : 5.6931 ( MW )  
 NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION : 25

**Resultados del Flujo Optimo de Potencia Reactiva**

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

**RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA  
EJEMPLO2**

BARRA No.	BARRA NOMBRE	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	DSC	1.0500	0.00	65.72	9.51	0.00	0.00
2	BARRA2	PQ	1.0015	-14.46	0.00	0.00	30.00	12.00
3	BARRA3	PQ	0.9777	-14.37	0.00	0.00	70.00	3.00
4	BARRA4	PVG	1.0500	-9.42	128.70	15.92	86.00	20.00
5	BARRA5	PVG	1.0427	-11.78	77.20	40.44	80.00	10.

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

**VOLTAJES DEL VECTOR DE CONTROL.-FLUJO OPTIMO DE REACTIVOS  
EJEMPLO2**

BARRA No.	MAG.VOLTAJE (P.U)
4	1.0500
5	1.0427
1	1.0500

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

**TAPS DE TRANSFORMADORES TIPO T1 Y/O T2 DEL VECTOR DE CONTROL.-FLUJO OPTIMO DE REACTIVO  
EJEMPLO2**

TRANSFORMADORES CON TAPS	
TAP No.	VALOR
2	1.00000

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

FLUJOS DE POTENCIA EN OPTIMIZACION DE REACTIVOS  
EJEMPLO2

```

=====
      BARRA P          BARRA Q          POT.ACTIVA          POT.REACTIVA
      No.   NOMBRE      No.   NOMBRE      (Mw)              (Mvar)
=====
1 BARRA1          3 BARRA3          -65.717            -9.508
2 BARRA2          3 BARRA3           8.651             -124.671
2 BARRA2          5 BARRA5          21.336              8.775
3 BARRA3          1 BARRA1          61.478             -6.609
3 BARRA3          2 BARRA2          -8.651             121.694
3 BARRA3          5 BARRA5          17.134             12.815
4 BARRA4          5 BARRA5          -42.700              4.078
5 BARRA5          2 BARRA2          -21.761            -10.165
5 BARRA5          3 BARRA3          -17.637            -14.477
5 BARRA5          4 BARRA4          42.199             -5.797
=====
    
```

FUNCION OBJETIVO PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA

-----

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA (MINIMAS) :            5.615 MW

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA

-----

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA :                    5.6671        ( MW )  
NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION :        20

APENDICE # 12

RESULTADOS DE LOS FLUJOS PARA EL EJEMPLO 3

Resultados del Flujo de Potencia

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO DE POTENCIA  
EJEMPLO3

BARRA No.	BARRA NOMBRE	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	OSC	1.0500	0.00	37.98	2.71	0.00	0.00
2	BARRA2	PQ	1.0366	-7.95	0.00	0.00	0.00	0.00
3	BARRA3	PQ	1.0114	-8.13	0.00	0.00	70.00	3.00
4	BARRA4	PVG	1.0500	-4.70	100.00	16.03	86.00	20.00
5	BARRA5	PVG	1.0500	-5.51	99.99	21.58	80.00	10.00

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

FLUJO DE POTENCIA  
EJEMPLO3

BARRA P No.	NOMBRE	BARRA Q No.	NOMBRE	POT.ACTIVA (Mw)	POT.REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	3	BARRA3	-37.977	-2.706
2	BARRA2	3	BARRA3	-17.541	-136.573
2	BARRA2	5	BARRA5	17.548	-0.443
3	BARRA3	1	BARRA1	36.583	-2.592
3	BARRA3	2	BARRA2	17.541	133.199
3	BARRA3	5	BARRA5	15.858	6.121
4	BARRA4	5	BARRA5	-14.000	3.970
5	BARRA5	2	BARRA2	-17.778	-0.308
5	BARRA5	3	BARRA3	-16.154	-7.101
5	BARRA5	4	BARRA4	13.942	-4.168

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO DE POTENCIA

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA : 1.9772 ( MW )  
NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION : 1

Resultados del Flujo Optimo de Potencia General

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO OPTIMO GENERAL  
EJEMPLO3

```
=====
```

BARRA No.	NOMBRE	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	OSC	1.0500	0.00	44.44	5.03	0.00	0.00
2	BARRA2	PQ	1.0245	-9.38	0.00	0.00	0.00	0.00
3	BARRA3	PQ	0.9996	-9.53	0.00	0.00	70.00	3.00
4	BARRA4	PVG	1.0500	-3.23	160.43	16.51	86.00	20.00
5	BARRA5	PVG	1.0347	-7.33	34.94	25.24	80.00	10.00

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

VOLTAJES Y POT. DE GENERACION DEL VECTOR DE CONTROL.- FLUJO OPTIMO GENERAL  
EJEMPLO3

```
=====
```

BARRA No.	MAG.VOLTAJE (P.U)	POT.ACT.GEN (MW)	COSTO-GENERACION (\$/HORA)
4	1.0500	160.43	626.7317
5	1.0347	34.94	182.6077
1	1.0500		

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

TAPS DE TRANSFORMADORES TIPO T1 Y/O T2 DEL VECTOR DE CONTROL.-FLUJO OPTIMO GENERAL  
EJEMPLOS

```
=====
```

TRANSFORMADORES CON TAPS	
TAP No.	VALOR
2	1.02500

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

FLUJOS DE POTENCIA EN OPTIMIZACION GENERAL  
EJEMPLO3

BARRA P No.	NOMBRE	BARRA Q No.	NOMBRE	POT.ACTIVA (Mw)	POT.REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	3	BARRA3	-44.435	-5.027
2	BARRA2	3	BARRA3	-14.256	-133.268
2	BARRA2	5	BARRA5	14.251	-0.609
3	BARRA3	1	BARRA1	42.512	-2.283
3	BARRA3	2	BARRA2	14.256	129.995
3	BARRA3	5	BARRA5	13.212	5.894
4	BARRA4	5	BARRA5	-74.442	3.421
5	BARRA5	2	BARRA2	-14.406	0.101
5	BARRA5	3	BARRA3	-13.432	-6.621
5	BARRA5	4	BARRA4	72.931	-8.610

FUNCION OBJETIVO PARA FLUJO OPTIMO GENERAL

COSTO TOTAL DE GENERACION (MINIMO) : 1019.18 \$  
PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA (MINIMAS) : 3.799 MW

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO OPTIMO GENERAL

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA : 3.8088 ( MW )  
NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION : 16

Resultados del Flujo Optimo de Potencia Activa

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA  
EJEMPLO3

BARRA No.	BARRA NOMBRE	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	DSC	1.0500	0.00	44.51	2.15	0.00	0.00
2	BARRA2	PQ	1.0364	-9.46	0.00	0.00	0.00	0.00
3	BARRA3	PQ	1.0110	-9.60	0.00	0.00	70.00	3.00
4	BARRA4	PVG	1.0500	-3.24	160.56	1.28	86.00	20.00
5	BARRA5	PVG	1.0500	-7.53	34.86	43.46	80.00	10.00

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

POTENCIAS DE GENERACION Y COSTO DE GENERACION.- FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA  
EJEMPLO3

BARRA No.	POT.ACT.GEN (MW)	COSTO-GENERACION (\$/HORA)
4	160.56	627.2538
5	34.86	182.2972

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

FLUJOS DE POTENCIA EN OPTIMIZACION DE POTENCIA ACTIVA  
EJEMPLO3

```
=====
```

BARRA P No.	NOMBRE	BARRA Q No.	NOMBRE	POT. ACTIVA (Mw)	POT. REACT (Mvar)
1	BARRA1	3	BARRA3	-44.512	-2.150
2	BARRA2	3	BARRA3	-14.226	-138.0
2	BARRA2	5	BARRA5	14.193	0.75
3	BARRA3	1	BARRA1	42.602	-5.109
3	BARRA3	2	BARRA2	14.226	134.608
3	BARRA3	5	BARRA5	13.236	7.163
4	BARRA4	5	BARRA5	-74.556	18.721
5	BARRA5	2	BARRA2	-14.343	-1.287
5	BARRA5	3	BARRA3	-13.468	-7.932
5	BARRA5	4	BARRA4	72.948	-24.242

```
=====
```

FUNCION OBJETIVO PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA

COSTO TOTAL DE GENERACION (MINIMO) : 1019.69 \$

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA : 3.9004 ( MW )  
NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION : 19

Resultados del Flujo Optimo de Potencia Reactiva

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA  
EJEMPLO3

```

=====
BARRA          TIPO  V O L T A J E      POTENCIA GENERADA POTENCIA DE CARGA
No.            NOMBRE          MAGNITUD  ANGULO    ACTIVA  REACTIVA  ACTIVA  REACTIVA
              (p.u)    (grados)  (Mw)    (Mvar)  (Mw)    (Mvar)
=====
1  BARRA1      OSC    1.0500    0.00    44.45    2.46    0.00    0.00
2  BARRA2      PQ     1.0352   -9.43    0.00    0.00    0.00    0.00
3  BARRA3      PQ     1.0098   -9.58    0.00    0.00    70.00    3.00
4  BARRA4      PVG    1.0500   -3.23   160.56    2.91    86.00   20.00
5  BARRA5      PVG    1.0484   -7.49    34.90   41.46    80.00   10.00
=====
    
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

VOLTAJES DEL VECTOR DE CONTROL.-FLUJO OPTIMO DE REACTIVOS  
EJEMPLO3

```

=====
BARRA          MAG.VOLTAJE
No.            (P.U)
=====
4              1.0500
5              1.0484
1              1.0500
=====
    
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

TAPS DE TRANSFORMADORES TIPO T1 Y/O T2 DEL VECTOR DE CONTROL.-FLUJO OPTIMO DE REACTIV  
EJEMPLO3

```

=====
TRANSFORMADORES CON TAPS
TAP No.          VALOR
=====
2                1.00000
=====
    
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

FLUJOS DE POTENCIA EN OPTIMIZACION DE REACTIVOS  
EJEMPLO3

BARRA P No.	NOMBRE	BARRA Q No.	NOMBRE	POT. ACTIVA (Mw)	POT. REACTIVA (Mvar)
1	BARRA1	3	BARRA3	-44.452	-2.458
2	BARRA2	3	BARRA3	-14.257	-137.521
2	BARRA2	5	BARRA5	14.227	0.627
3	BARRA3	1	BARRA1	42.546	-4.787
3	BARRA3	2	BARRA2	14.257	134.110
3	BARRA3	5	BARRA5	13.255	7.013
4	BARRA4	5	BARRA5	-74.560	17.089
5	BARRA5	2	BARRA2	-14.378	-1.122
5	BARRA5	3	BARRA3	-13.486	-7.779
5	BARRA5	4	BARRA4	72.968	-22.555

FUNCION OBJETIVO PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA (MINIMAS) : 3.908 MW

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA : 3.8808 ( MW )  
NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION : 3

APENDICE # 13

DATOS DEL SISTEMA EEQSA

Los datos, para el ejemplo de aplicación técnica, se presentan a continuación:

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

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

TIPO	BARRA No.	P.ACT. GEN.MAX ( Mw )	P.ACT. GEN.MIN ( MW )	COEF.A (\$/H)	COEF.B (\$/H)	COEF.C (\$/H)
OSC	1	500.00	100.00	50.00000	351.00000	44.00000
PVG	10	72.00	40.00	50.00000	245.00000	105.00000
PVG	12	20.00	5.00	50.00000	389.00000	40.60000

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

LIMITES DE TAPS DE TRAFOS DE TIPO T1 O T2  
EEQSA

TIPO TAP	BARRA P CONTROLADA	BARRA Q DE CONTROL	VALOR MAXIMO DEL TAP	VALOR MINIMO DEL TAP
T1	3	2	1.1500	0.9000

DATOS GENERALES DEL SISTEMA : EEQSA  
 -----

0. DESCRIPCION DEL SISTEMA	
Sistema Electrico Quito	
1. NUMERO TOTAL DE BARRAS :	15
2. NUMERO DE BARRAS DE CARGA :	12
3. NUMERO DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA :	2
4. NUMERO DE BARRAS DE TENSION CONTROLADA ASOCIADAS A CONDENSADORES SINCRONICOS :	0
5. NUMERO DE TAPS DE TRANSFORMADORES CON CAMBIO DE TAPS ASOCIADOS A BARRAS DE TENSION CONTROLADA :	0
6. CRITERIO DE CONVERGENCIA PARA FLUJO DE POTENCIA :	0.0010
7. POTENCIA BASE :	100
8. NUMERO DE BARRAS ASOCIADAS A UN TRANSFORMADOR CON CAMBIO DE TAPS :	1
9. NUMERO DE BARRAS ASOCIADAS A DOS TRANSFORMADORES CON CAMBIO DE TAPS :	0
10. TOLERANCIA MAXIMA DE LAS RESTRICCIONES FUNCIONALES :	0.3000
11. ANGULO MAXIMO DE DEFASAMIENTO ENTRE BARRAS :	0.8000
12. NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION :	40
13. CRITERIO DE CONVERGENCIA PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA :	0.1000

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

DATOS DE BARRA  
EEQSA

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)
1	DSC	1.0100	1.1000	0.9000	0.00	0.00	250.00	50.00	0.00	0.00
2	PQ	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	PQ	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	PQ	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	0.00	0.00	0.00	36.80	7.56
5	PQ	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	0.00	0.00	0.00	21.26	8.25
6	PQ	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	PQ	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	0.00	0.00	0.00	31.77	11.50
8	PQ	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	0.00	0.00	0.00	21.12	6.40
9	PQ	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	0.00	0.00	0.00	35.00	7.70
10	PVG	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	65.00	36.00	0.00	0.00	0.00
11	PQ	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	0.00	0.00	0.00	13.20	6.80
12	PVG	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	15.00	10.00	0.00	0.00	0.00
13	PQ	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	10.60
14	PQ	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	0.00	0.00	0.00	9.20	4.50
15	PQ	1.0000	1.1000	0.9000	0.00	0.00	0.00	0.00	7.45	3.00

DATOS DE ELEMENTOS SERIE DEL SISTEMA  
EEQSA

TIPO ELEM.	BARRA P	BARRA Q	IMPEDANCIA		ADMITANCIA A TIERRA	POSICION INICIAL DEL TAP
			P.REAL (p.u)	P.IMAGINARIA (p.u)	(p.u)	
L	1	2	0.01200	0.06200	0.00500	0.0000
T1	3	2	0.00000	0.14000	0.00000	1.0000
L	3	4	0.02900	0.07500	0.00000	0.0000
L	3	5	0.03000	0.08000	0.00000	0.0000
L	1	6	0.01300	0.05100	0.00600	0.0000
L	6	7	0.00000	0.10760	0.00000	0.0000
L	7	8	0.03300	0.12000	0.00000	0.0000
L	8	9	0.02000	0.08600	0.00000	0.0000
L	8	10	0.00900	0.02900	0.00100	0.0000
L	11	7	0.03000	0.09000	0.00000	0.0000
L	11	12	0.04800	0.15500	0.00000	0.0000
L	11	13	0.04300	0.11600	0.00000	0.0000
L	13	14	0.03500	0.12500	0.00100	0.0000
L	14	15	0.08100	0.29000	0.00000	0.0000
L	15	12	0.00300	0.10000	0.00000	0.0000
L	14	1	0.00000	0.14400	0.00000	0.0000

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

DATOS DE REACTORES Y/O CONDENSADORES DEL SISTEMA  
EEQSA

BARRA P No.	POTENCIA REACTIVA ( MVAR )
1	0.00
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	3.00
6	0.00
7	12.00
8	3.00
9	4.50
10	0.00
11	0.00
12	0.00
13	6.80
14	4.50
15	0.00

APENDICE # 14

RESULTADOS DE LOS FLUJOS PARA EL SISTEMA EEQSA-2

Resultados del Flujo de Potencia

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO DE POTENCIA  
EEQSA-2

BARRA No.	NOMBRE	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA	POTENCIA DE CARGA		
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)
1		OSC	1.0100	0.00	128.07	29.50	0.00	0.00
2		PQ	0.9938	-1.98	0.00	0.00	0.00	0.00
3		PQ	0.9775	-6.83	0.00	0.00	0.00	0.00
4		PQ	0.9601	-8.38	0.00	0.00	36.80	7.56
5		PQ	0.9709	-7.86	0.00	0.00	21.26	8.25
6		PQ	1.0019	-0.96	0.00	0.00	0.00	0.00
7		PQ	0.9947	-3.12	0.00	0.00	31.77	11.50
8		PQ	0.9928	-2.48	0.00	0.00	21.12	6.40
9		PQ	0.9823	-4.20	0.00	0.00	35.00	7.70
10		PVG	1.0000	-1.41	65.00	5.12	0.00	0.00
11		PQ	0.9892	-3.68	0.00	0.00	13.20	6.80
12		PVG	1.0000	-2.89	15.00	6.54	0.00	0.00
13		PQ	0.9865	-4.25	0.00	0.00	30.00	10.60
14		PQ	1.0006	-2.76	0.00	0.00	9.20	4.50
15		PQ	0.9973	-3.17	0.00	0.00	7.45	3.00

Resultados del Flujo Optimo de Potencia General

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO OPTIMO GENERAL  
EEQSA-2

BARRA No.	NOMBRE	TIPO	V O L T A J E MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	POTENCIA GENERADA ACTIVA (Mw)	POTENCIA REACTIVA REACTIVA (Mvar)	POTENCIA DE CARGA ACTIVA (Mw)	POTENCIA DE CARGA REACTIVA (Mvar)
1		DSC	1.0684	0.00	116.03	41.70	0.00	0.00
2		PQ	1.0545	-1.78	0.00	0.00	0.00	0.00
3		PQ	1.0413	-6.07	0.00	0.00	0.00	0.00
4		PQ	1.0251	-7.43	0.00	0.00	36.80	7.56
5		PQ	1.0361	-6.99	0.00	0.00	21.26	8.25
6		PQ	1.0581	-0.63	0.00	0.00	0.00	0.00
7		PQ	1.0433	-2.18	0.00	0.00	31.77	11.50
8		PQ	1.0402	-1.10	0.00	0.00	21.12	6.40
9		PQ	1.0305	-2.68	0.00	0.00	35.00	7.70
10		PVG	1.0466	-0.01	72.00	1.51	0.00	0.00
11		PQ	1.0327	-2.59	0.00	0.00	13.20	6.80
12		PVG	1.0302	-1.42	20.00	-8.23	0.00	0.00
13		PQ	1.0332	-3.31	0.00	0.00	30.00	10.60
14		PQ	1.0492	-2.14	0.00	0.00	9.20	4.50
15		PQ	1.0327	-1.85	0.00	0.00	7.45	3.00

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

VOLTAJES Y POT. DE GENERACION DEL VECTOR DE CONTROL.- FLUJO OPTIMO GENERAL  
EEQSA-2

```
=====
```

BARRA No.	MAG.VOLTAJE (P.U)	POT.ACT.GEN (MW)	COSTO-GENERACION (\$/HORA)
10	1.0466	72.00	307.3201
12	1.0302	20.00	120.3995
1	1.0684		

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

TAPS DE TRANSFORMADORES TIPO T1 Y/O T2 DEL VECTOR DE CONTROL.-FLUJO OPTIMO GENERAL  
EEQSA-2

```
=====
```

TRANSFORMADORES CON TAPS	
TAP No.	VALOR
3	1.00000

```
=====
```

FUNCION OBJETIVO PARA FLUJO OPTIMO GENERAL

```
-----
```

COSTO TOTAL DE GENERACION (MINIMO) :	946.29	\$
PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA (MINIMAS) :	2.127	MW

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO OPTIMO GENERAL

```
-----
```

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA :	2.1202	( MW )
NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION :	40	

## Resultados del Flujo Optimo de Potencia Activa

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA  
EEQSA-2

BARRA No.	NOMBRE	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)
1		OSC	1.0100	0.00	116.16	30.67	0.00	0.00
2		PQ	0.9938	-1.98	0.00	0.00	0.00	0.00
3		PQ	0.9775	-6.83	0.00	0.00	0.00	0.00
4		PQ	0.9601	-8.38	0.00	0.00	36.80	7.56
5		PQ	0.9709	-7.86	0.00	0.00	21.26	8.25
6		PQ	1.0024	-0.74	0.00	0.00	0.00	0.00
7		PQ	0.9939	-2.45	0.00	0.00	31.77	11.50
8		PQ	0.9925	-1.30	0.00	0.00	21.12	
9		PQ	0.9820	-3.03	0.00	0.00	35.00	
10		PVG	1.0000	-0.11	72.00	4.06	0.00	
11		PQ	0.9886	-2.99	0.00	0.00	13.20	6.80
12		PVG	1.0000	-1.96	20.00	5.89	0.00	0.00
13		PQ	0.9857	-3.72	0.00	0.00	30.00	10.60
14		PQ	0.9997	-2.39	0.00	0.00	9.20	4.50
15		PQ	0.9975	-2.38	0.00	0.00	7.45	3.00

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
 PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
 FECHA : 80.01.01

POTENCIAS DE GENERACION Y COSTO DE GENERACION.- FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA  
 EEQSA-2

```
=====
```

BARRA No.	POT.ACT.GEN (MW)	COSTO-GENERACION (\$/HORA)
10	72.00	307.3195
12	20.00	120.3998

```
=====
```

FUNCION OBJETIVO PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA

-----

COSTO TOTAL DE GENERACION (MINIMO) : 946.91 \$

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA ACTIVA

-----

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA : 2.2669 ( MW )  
 NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION : 10

Resultados del Flujo Optimo de Potencia Reactiva

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : B0.01.01

RESULTADOS DE BARRAS PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA  
EEQSA-2

BARRA No.	NOME	TIPO	V O L T A J E		POTENCIA GENERADA		POTENCIA DE CARGA	
			MAGNITUD (p.u)	ANGULO (grados)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)	ACTIVA (Mw)	REACTIVA (Mvar)
1		DSC	1.0248	0.00	116.17	39.51	0.00	0.00
2		PQ	1.0092	-1.93	0.00	0.00	0.00	0.00
3		PQ	0.9937	-6.62	0.00	0.00	0.00	0.00
4		PQ	0.9766	-8.12	0.00	0.00	36.80	7.56
5		PQ	0.9874	-7.63	0.00	0.00	21.26	8.25
6		PQ	1.0145	-0.68	0.00	0.00	0.00	0.00
7		PQ	1.0004	-2.36	0.00	0.00	31.77	11.50
8		PQ	0.9940	-1.14	0.00	0.00	21.12	6.40
9		PQ	0.9835	-2.86	0.00	0.00	35.00	7.70
10		PVG	1.0003	0.06	72.00	-0.05	0.00	0.00
11		PQ	0.9938	-2.87	0.00	0.00	13.20	6.80
12		PVG	1.0004	-1.77	20.00	0.48	0.00	0.00
13		PQ	0.9930	-3.62	0.00	0.00	30.00	10.60
14		PQ	1.0091	-2.34	0.00	0.00	9.20	4.50
15		PQ	1.0002	-2.20	0.00	0.00	7.45	3.00

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

VOLTAJES DEL VECTOR DE CONTROL.-FLUJO OPTIMO DE REACTIVOS  
EEQSA-2

```
=====
```

BARRA No.	MAG.VOLTAJE (P.U)
10	1.0003
12	1.0004
1	1.0248

```
=====
```

LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
PROGRAMA INTERACTIVO DE FLUJOS OPTIMOS

PAGINA: 1  
FECHA : 80.01.01

TAPS DE TRANSFORMADORES TIPO T1 Y/O T2 DEL VECTOR DE CONTROL.-FLUJO OPTIMO DE REACTIVOS  
EEQSA-2

```
=====
```

TRANSFORMADORES CON TAPS	
TAP No.	VALOR
3	1.00000

```
=====
```

FUNCION OBJETIVO PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA (MINIMAS) : 2.267 MW

PERDIDAS Y NUMERO DE ITERACIONES PARA FLUJO OPTIMO DE POTENCIA REACTIVA

PERDIDAS DE POTENCIA ACTIVA : 2.2709 ( MW )  
NUMERO DE ITERACIONES DE OPTIMIZACION : 4