



5
202

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO AUXILIADO POR COMPUTADORA DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N :

ADRIAN ALVAREZ MARTINEZ
CRAIGE MCCOMB SNADER GONZALEZ

D I R E C T O R
ING. JACINTO VIQUEIRA LANDA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

CAPITULO 1 INTRODUCCION

1.1	DESCRIPCION DEL PROBLEMA Y DESARROLLO HISTORICO . . .	1
1.2	OBJETIVOS	5
1.3	ORGANIZACION DEL TRABAJO ESCRITO	5

CAPITULO 2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

2.1	ESTUDIOS DE FALLAS POR CORTO CIRCUITO MONOFASICO O TRIFASICO	11
2.2	ESTUDIOS DE FLUJOS DE CARGA	11
2.3	PROCEDIMIENTO GENERAL DE ESTUDIO	12
2.4	DIAGRAMAS AUXILIARES PARA EL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO	16
2.4.1	Red De Secuencia Positiva	17
2.4.2	Red De Secuencia Negativa	17
2.4.3	Red De Secuencia Cero	17

CAPITULO 3 FALLAS POR CORTO CIRCUITO

3.1	SIMPLIFICACIONES EN LOS CALCULOS DE CORTO CIRCUITO	19
3.2	FALLAS POR CORTO CIRCUITO MONOFASICO Y TRIFASICO .	20
3.3	METODO EMPLEADO PARA EL ESTUDIO DE FALLAS POR CORTO-CIRCUITO	21
3.4	ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO UTILIZANDO LA MATRIZ Z _{BUS}	22
3.4.1	Representación Del Sistema	22
3.4.2	Corrientes Y Voltajes De Falla	22
3.4.3	Modificación De La Matriz De Impedancias De Bus Por Cambios En La Red	22

CAPITULO 4 ESTUDIOS DE FLUJOS DE CARGA

4.1	COMPARACION DE LOS METODOS PARA EL ESTUDIO DE FLUJOS DE CARGA	25
4.2	METODO EMPLEADO PARA EL ESTUDIO FLUJOS DE CARGA	27
4.3	ALGORITMO PARA LA FORMACION DE LA MATRIZ DE ADMITANCIAS DE BUS	27
4.3.1	Ecuación De Funcionamiento De Una Red	27
4.3.2	Matriz De Admitancias De Bus	28
4.3.3	Modificación De La Matriz De Admitancias De Bus Por Cambios En La Red	29
4.4	METODO DE NEWTON-RAPHSON UTILIZANDO LA MATRIZ Y_BUS	29

CAPITULO 5 DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE COMPUTO EXISTENTES

5.1	IEEE	31
5.2	FANON Y FATRI	33
5.3	FLUJOS	34
5.4	ESTABI	35
5.5	HAWK Y PRELI45	37
5.6	CONCLUSIONES	38

CAPITULO 6 SISTEMA PROPUESTO

6.1	CARACTERISTICAS DEL SISTEMA PROPUESTO	40
6.1.1	Relacionadas Con El Usuario	41
6.1.2	Relacionadas Con Sistemas Eléctricos De Potencia	42
6.1.3	Relacionadas Con Los Sistemas De Cómputo	43
6.2	REPRESENTACION DE LA RED	44
6.3	PARTES DEL SISTEMA	47
6.3.1	Editor	47
6.3.2	Análisis	48
6.3.3	Topología	49
6.3.4	Módulos Auxiliares	49
6.3.4.1	Ayuda	50
6.3.4.2	Cálculos	50
6.3.4.3	Pantalla/Teclado	50
6.4	PROBLEMAS DE APLICACION	51
6.4.1	Problema De Corto Circuito	51
6.4.2	Solución	52
6.4.3	Problema De Flujos De Carga	58
6.4.4	Solución	60
6.5	LISTADO DE LAS RUTINAS DE CALCULO DEL SISTEMA	63

CAPITULO 7 CONCLUSIONES

7.1	RESPECTO A LOS SISTEMAS EXISTENTES	110
7.2	RESPECTO A NUESTRO SISTEMA	111
7.3	GENERALES	112

APENDICE A CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

A.1	PASOS PARA RESOLVER UN PROBLEMA POR MEDIO DE LA COMPUTADORA DIGITAL	113
A.2	DISEÑO MODULAR	114
A.2.1	Generalidades	114
A.2.2	Ventajas	115
A.2.3	Desventajas	116
A.3	LA PROGRAMACION ESTRUCTURADA	116
A.3.1	Generalidades	116
A.3.2	Teorema De La Estructura	119
A.3.3	Figuras Lógicas (estructuras)	120
A.3.4	Ventajas	122
A.3.5	Desventajas	122
A.4	DESARROLLO DESCENDENTE	123
A.4.1	Generalidades	123
A.4.2	Ventajas	124
A.4.3	Desventajas	124
A.5	DESARROLLO POR PROTOTIPOS	125
A.5.1	Ventajas	125
A.5.2	Desventajas	125
A.6	CONCLUSIONES	126

APENDICE B BIBLIOGRAFIA

APENICE C REFERENCIAS

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA Y DESARROLLO HISTORICO

La planeación, diseño y operación de Sistemas Eléctricos de Potencia (SEPs) requiere de un continuo análisis para evaluar su comportamiento actual y para estudiar la eficiencia de planes alternativos para su expansión. Estos estudios permiten asegurar que el sistema será confiable, además de proporcionar un medio para garantizar la utilización adecuada del capital.

Durante el análisis y el diseño de un SEP se lleva a cabo un sinnúmero de cálculos que involucran, por lo general, a más de un ingeniero y requiere de muchas horas de trabajo. El proceso de cálculo es muy repetitivo, lo que lo hace tedioso y sujeto a errores. Por lo tanto, la confiabilidad de dichos cálculos disminuye en proporción directa a la magnitud del sistema en estudio.

En el diseño de un sistema, cualquiera que sea su índole, es necesario modificar, cambiar, añadir o suprimir los diferentes elementos que lo componen de manera que éste satisfaga en la mayor medida posible las necesidades que dieron origen a dicho diseño. Si se trata de un SEP, cuando se desea conocer su comportamiento al presentarse un cambio en alguno de sus elementos, es necesario repetir todos los cálculos, lo que hace que el diseño de un sistema de este tipo requiera de mucho tiempo.

Si existiera una forma de reducir el tiempo de cálculo, se podrían estudiar muchas más configuraciones, además de aprovechar cada hora-ingeniero con mayor eficiencia, permitiendo a éstos desarrollar actividades de mayor trascendencia que la realización mecánica de cálculos. Afortunadamente, los computadores proveen el medio para efectuar millones de operaciones por segundo y, por lo tanto, quitarle de encima esa carga a los ingenieros.

INTRODUCCION

A partir del gran avance tecnológico en el diseño y producción de computadoras digitales de propósito científico al inicio de los años 50, se ha proporcionado a los ingenieros una herramienta muy poderosa. Este avance ha hecho económicamente posible la utilización de computadoras digitales para la realización de los cálculos de rutina inherentes al desarrollo de proyectos de ingeniería. Además, ha provisto la capacidad para desarrollar una ingeniería más avanzada de naturaleza más compleja.

La necesidad de medios de cálculo que facilitaran el estudio de SEPs llevó, en 1929, al diseño de una computadora analógica de propósito específico llamada "Analizador de Redes de Corriente Alterna". Este dispositivo permitía el estudio de una gran variedad de condiciones de operación de los SEPs, actuales y futuros. Proveía la capacidad para determinar los flujos de carga y los voltajes y corrientes en diferentes partes del sistema durante condiciones de operación normales y de fallas; además, otros modelos reducidos permitían estudiar el comportamiento transitorio de un sistema debido a fallas o conmutaciones.

La utilización de computadoras digitales en el estudio de SEPs data de finales de los años 40, sin embargo, la mayor parte de las aplicaciones se encontraban limitadas por la pequeña capacidad de las computadoras de aquel entonces. El desarrollo de grandes computadoras digitales a partir de mediados de los años 50 proporcionó el equipo con suficiente capacidad y velocidad de cálculo necesarios en el estudio de grandes SEPs. En 1957, la Corporación Americana de Servicio de Energía Eléctrica (AEPSC) desarrolló un programa para la computadora digital IBM 704 que calculaba los voltajes y los flujos de potencia de un SEP específico.

La aplicación de dicho programa para los estudios de transmisión de energía eléctrica fue tan efectiva que todos los estudios posteriores se llevaron a cabo en la computadora digital en vez de en el analizador de redes. El éxito de este programa condujo al desarrollo de programas para el estudio de fallas por corto circuito y análisis de estabilidad. Hoy en día la computadora es una herramienta indispensable en todas las fases de la planeación, diseño y operación de los SEPs.

De todo lo anterior se puede concluir que:

- 1) Gracias a las computadoras, se cuenta con un medio más eficiente y económico para la realización de todos los cálculos involucrados en la planeación, diseño y operación de los SEPs.

INTRODUCCION

- 2) Existe una mejor utilización del talento de los ingenieros gracias a que éstos han sido relevados de la tediosa labor de los cálculos a lápiz y papel, permitiendo que ocupen más tiempo en actividades creativas.
- 3) Se ha logrado una mayor habilidad para desarrollar estudios más efectivos por medio de la aplicación de métodos de cálculo para obtener un gran número de soluciones alternativas a un problema particular con lo que se logra una amplia base para la toma de decisiones.
- 4) Se pueden efectuar estudios que antes se presentaban imposibles debido al gran volumen de cálculo que requieren.
- 5) Han disminuido los costos de planeación, diseño y operación ya que se logra un mejor aprovechamiento de los recursos.

Hasta aquí, parece que el problema ha sido resuelto. En efecto, el problema ha sido resuelto, pero no en la mejor de las formas. De los años 50 a la fecha, grandes estudiosos de esta ciencia han desarrollado varios métodos y algoritmos de cálculo para la formación y solución de los enormes sistemas de ecuaciones que describen un SEP. Dichos métodos son efectivos y precisos, sin embargo, se han preocupado poco por la interacción del usuario del programa con la computadora por lo que los programas resultan complejos en su utilización.

Los métodos de cálculo por computadora, por lo general, parten de simplificaciones que debe llevar a cabo el usuario, esta tarea, aunque menor que la de efectuar todos los cálculos a mano, sigue siendo muy laboriosa y se encuentra expuesta a muchos errores.

El problema que pensamos resolver es, pues, lograr una más fácil interacción entre el ingeniero y la computadora, de manera que ella realice las simplificaciones necesarias, efectúe los cálculos y traduzca los resultados a los valores reales. Con esto, el usuario se limitará a especificar los elementos que componen el SEP en estudio y la computadora se encargará del resto de la tarea.

INTRODUCCION

Cabe aclarar que no estamos presentando un nuevo método de cálculo, lo que hacemos es desarrollar nuevos conceptos en la producción de sistemas de cómputo utilizando los actuales métodos de cálculo. Estos nuevos conceptos son:

- Desarrollo de medios computacionales para la traducción de los valores reales a valores en por unidad y viceversa, de manera que la labor artesanal de preparación de información se elimine por completo.
- Utilización de una base de datos para describir la red del SEP y almacenar los resultados parciales y finales.
- Búsqueda de compatibilidad con sistemas anteriores. Trabajar, también, con el diagrama de impedancias y con valores en por unidad.
- Descripción de la red por medio del concepto de buses y rutas de manera que se reduzca (al usuario) el número de buses de interconexión.
- Despliegue de resultados para permitir elaborar estudios comparativos directamente en la terminal sin necesidad de esperar un listado, que en la mayoría de los casos dificultaba la localización de la información requerida.
- Etc.

Todos estos conceptos se detallan en el capítulo 6 donde se presenta la descripción de nuestro sistema.

Por lo tanto, la suma de nuestra solución con los métodos de cálculo desarrollados con anterioridad logra el desarrollo de un sistema computacional que permita al ingeniero interactuar "amigablemente" con la computadora para la planeación, diseño y operación de cualquier sistema eléctrico de potencia, independientemente de su magnitud o grado de complejidad.

INTRODUCCION

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos que persigue el presente trabajo son los siguientes:

- 1) Desarrollar un sistema de computadora que permita elaborar estudios de flujos de carga y fallas monofásicas y trifásicas en sistemas eléctricos de potencia a partir de los valores reales o de placa de cada uno de los elementos del sistema y a partir del diagrama unifilar.
- 2) Que el sistema entregue los resultados en valores reales.
- 3) Establecer los elementos para que la configuración del SEP se conserve en un medio de almacenamiento masivo en la forma de una base de datos.
- 4) Proporcionar al ingeniero una herramienta que permita analizar y simular diferentes condiciones de operación de un sistema eléctrico de potencia para facilitar su diseño.
- 5) Reducir al mínimo el tiempo de ejecución de manera que se reduzcan los costos por utilización del equipo de cómputo.
- 6) Hacer que el sistema sea fácil de utilizar para conseguir que se reduzca al mínimo el tiempo de capacitación.
- 7) Lograr que el sistema pueda crecer para realizar otros estudios (coordinación de protecciones, ajuste de relevadores, etc.) aprovechando los módulos ya existentes.

1.3 ORGANIZACION DEL TRABAJO ESCRITO

El presente trabajo ha sido dividido en siete partes, a saber:

El primer capítulo es esta introducción en la que se presenta la descripción del problema y sus antecedentes históricos, los objetivos del proyecto y la organización del trabajo escrito.

INTRODUCCION

En el capítulo 2 se presentan los conceptos fundamentales generales para el estudio de los sistemas eléctricos de potencia; sus aplicaciones y la importancia de los estudios de fallas por corto circuito y de flujos de carga.

En el capítulo 3 se exponen los dos tipos de falla por corto circuito que se analizarán y la forma de resolverlos.

En el capítulo 4 se expone la forma de resolver los problemas de flujos de carga.

El capítulo 5 es un análisis de varios sistemas de computadora existentes en diferentes instituciones que tienen que ver con el estudio de los sistemas eléctricos de potencia (Comisión Federal de Electricidad; tanto en su Gerencia de Planeación; como en la Unidad de Ingeniería Especializada; Centro Nacional de Control de Energía; Centro de Cálculo de la Facultad de Ingeniería U.N.A.M.; Departamento de Ingeniería Eléctrica U.N.A.M.; Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE; etc.); sus alcances y características.

El capítulo 6 es un resumen con ejemplos de nuestro sistema; sus ventajas; alcances y limitaciones. Además; se presenta el listado de las rutinas de cálculo que se utilizan dentro del sistema.

Por último; el capítulo 7 lista las diferentes conclusiones a que llegamos durante el desarrollo del proyecto.

En el apéndice se presentan los conceptos fundamentales de las diferentes técnicas de programación que se utilizaron para el desarrollo de este trabajo; sus generalidades; ventajas y desventajas.

Finalmente; se lista la bibliografía y referencias utilizadas en el desarrollo de este trabajo.

INTRODUCCION

NOTA IMPORTANTE

Debido a que el presente trabajo es un sistema de computadora para el estudio de sistemas eléctricos de potencia, en lo que resta del trabajo se hablará de sistemas cuando se haga referencia al programa de computadora y de SEP cuando se trate de los sistemas eléctricos de potencia.

CAPITULO 2

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

Cada uno de los elementos que constituyen la red de un SEP se puede incluir, básicamente, en uno de los siguientes cinco grupos: (a) Fuentes generadoras de energía; (b) Elementos de transformación; (c) Líneas de transmisión; (d) Redes de distribución y (e) Cargas. Todos los elementos se encuentran interconectados, inclusive a muy largas distancias, con el fin de proporcionar un servicio indispensable para el desarrollo de casi cualquier aspecto en la vida cotidiana. Por lo tanto, es de primordial importancia el que dicho servicio sea lo más confiable posible.

El suministro de energía eléctrica debe realizarse con una calidad adecuada, de manera que los aparatos que utilizan dicha energía funcionen correctamente. La calidad del suministro de energía eléctrica queda definida por los siguientes tres factores:

- Continuidad en el servicio: La energía eléctrica ha adquirido tal importancia en la vida moderna que una interrupción en su suministro causa grandes trastornos y pérdidas económicas descomunales. Para asegurar la continuidad del suministro deben tomarse las disposiciones necesarias para hacer frente a una falla en algún elemento del sistema. Las principales medidas a tomar son:
 - Disponer de la reserva de generación adecuada para hacer frente a la posible salida de servicio, o indisponibilidad, de cierta capacidad de generación.
 - Disponer de un sistema de protección automático que permita eliminar, con la rapidez necesaria, cualquier elemento del sistema que ha sufrido una falla.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

- Diseñar el sistema de manera que la falla y desconexión de un elemento tenga la menor repercusión sobre el resto del sistema.
 - Disponer de circuitos de alimentación de emergencia para hacer frente a una falla en la alimentación normal.
 - Disponer de los medios necesarios para un restablecimiento rápido del servicio, disminuyendo así la duración de las interrupciones cuando éstas no han podido ser evitadas.
- **Regulación de voltaje:** Los aparatos que funcionan con energía eléctrica están diseñados para operar a un voltaje determinado y su funcionamiento será satisfactorio siempre que el voltaje aplicado no varíe más allá de ciertos límites. Una variación de $\pm 5\%$ del voltaje en los puntos de utilización, con respecto al voltaje nominal, se considera satisfactoria; una variación de $\pm 10\%$ se considera tolerable.
- **Control de frecuencia:** Los sistemas de energía eléctrica funcionan a una frecuencia determinada, dentro de cierta tolerancia. En general, el equipo eléctrico de un sistema, principalmente los generadores y los transformadores, está diseñado para funcionar a una frecuencia dada y lo mismo puede decirse de los aparatos de utilización.

El rango de variación de frecuencia que puede tolerarse en un sistema depende tanto de las características de dichos aparatos, como del funcionamiento del sistema mismo. Las cargas resistivas son, evidentemente, insensibles a la variación de frecuencia. En cambio, las cargas constituidas por motores eléctricos que mueven diferentes tipos de máquinas giratorias son afectados en mayor o menor grado por las variaciones de frecuencia. Por ejemplo, en la industria del papel, la variación de velocidad en los motores debida a la variación de frecuencia puede afectar el buen funcionamiento del proceso de fabricación. Tomando todo esto en cuenta puede decirse que, desde el punto de vista del buen funcionamiento de los aparatos de utilización, la frecuencia en un SEP no debe tener variaciones mayores de $\pm 1\%$.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

La planeación, diseño y operación de sistemas de potencia requiere de diversos estudios para evaluar el funcionamiento actual del sistema, su confiabilidad, seguridad y capacidad de crecimiento. Por otra parte, la administración se encarga de analizar las modificaciones en las redes y su efecto en la producción y costos. Por lo tanto, sea para la planeación, diseño y operación de los sistemas o para su administración, se requiere de estudios que justifiquen la adición o modificación de elementos y que determinen su impacto en el funcionamiento futuro del sistema.

Existen básicamente tres aspectos relacionados con la operación de los SEPs que se resumen de la siguiente forma:

- 1) La operación normal del sistema, lo que implica que no existe interrupción en el servicio.
- 2) La prevención de fallas, lo que significa que en los criterios de diseño de los sistemas de protección se debe encontrar un equilibrio entre confiabilidad y economía, ya que teóricamente es factible diseñar sistemas libres de fallas, pero su costo puede ser varias veces mayor de lo económicamente realizable y, por el contrario, el diseño más económico no será el más confiable.
- 3) La reducción de los efectos de las fallas y, además, que éstos se transmitan a la menor cantidad posible de partes del sistema.

De todo lo dicho anteriormente (Juárez [2]) se puede resumir que es tan importante el estudio de un SEP tanto en condiciones de operación normal, como en estado de falla. Entre los estudios básicos que se aplican a un SEP son:

- Estudios de flujos de carga para el análisis de la red en estado estable, es decir, en operación normal.
- Estudios de corto circuito para el análisis de la red en estado de falla.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

2.1 ESTUDIOS DE FALLAS POR CORTO CIRCUITO MONOFASICO O TRIFASICO

La corriente que fluye en las diferentes partes de un sistema de potencia al momento de una falla difiere de aquella que circula algunos ciclos después de la misma, justo antes de que los interruptores aislen la falla. Obviamente, ambas corrientes son diferentes de aquella que circula durante condiciones de estado permanente. La selección apropiada de los interruptores depende principalmente de dos factores: (a) La corriente al momento de la falla y (b) La corriente con la que se deben disparar los interruptores. Los estudios de corto circuito se utilizan para determinar estas corrientes para varios tipos distintos de falla en diferentes partes del sistema. La información obtenida de los cálculos de falla también determina la calibración de los relevadores que llevan el control de los interruptores. Además, el estudio de las corrientes de falla en los diferentes puntos de un sistema eléctrico de potencia es indispensable para llevar a cabo la correcta coordinación de protecciones y la selección adecuada de los buses y los conductores.

2.2 ESTUDIOS DE FLUJOS DE CARGA

Los estudios de flujos de carga determinan el voltaje, corriente, potencia y factor de potencia en diferentes puntos de un sistema eléctrico de potencia bajo condiciones de operación normal. Los estudios de flujos de carga son básicos para la planeación de los SEPs. Se utilizan para determinar el mejor procedimiento de operación de un sistema, especialmente en el caso de la pérdida de una o varias unidades generadoras o líneas de transmisión. Estos estudios proporcionan información relativa a las pérdidas del sistema, especificaciones del equipo, capacidad y limitaciones generales del sistema, situación de transformadores dentro del sistema y mejor aprovechamiento de los circuitos.

Otros campos de aplicación de los estudios de flujos de carga son: (a) Cambios en el sistema para asegurar la correcta operación general del sistema y (b) Localización de capacitores con el fin de corregir el factor de potencia del sistema.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

2.3 PROCEDIMIENTO GENERAL DE ESTUDIO

Para realizar el análisis de un SEP, el proceso se divide en cuatro pasos:

- 1) Construir el diagrama unifilar de la red.

El primer paso para realizar el estudio de un sistema eléctrico de potencia es la preparación del diagrama unifilar. La precisión y utilidad del estudio dependen de la confiabilidad de este diagrama. Deben representarse todos los elementos mayores: motores, transformadores, reactores, generadores, líneas, cargas estáticas y buses. El diagrama debe ser revisado minuciosamente para poder asegurar una representación adecuada del sistema en estudio.

- 2) Transformar el diagrama unifilar en el diagrama de impedancias equivalente.

El diagrama de impedancias es un diagrama simplificado en el que se han eliminado los transformadores de manera que el diagrama se convierte en un circuito eléctrico sencillo. Este diagrama se obtiene a partir de un diagrama unifilar en el que se han substituido todos los elementos por sus modelos equivalentes y donde las impedancias, voltajes y corrientes han sido substituidos por sus valores en por unidad. En este diagrama, también se han especificado ya los buses de referencia.

- 3) Formular las ecuaciones matemáticas que describen al circuito.

El análisis de un SEP utilizando una computadora digital requiere del planteamiento correcto de las ecuaciones de redes, puesto que de las mismas se derivarán los resultados que se obtengan. Si las ecuaciones están incorrectamente planteadas, entonces los resultados serán, también, incorrectos.

- 4) Resolver el sistema de ecuaciones obtenido.

Existen varios métodos numéricos para la solución de sistemas de ecuaciones. La exactitud o precisión de los resultados depende del método elegido, por lo tanto, la selección del método es tan importante como el correcto planteamiento de las ecuaciones.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

Dado que un SEP trifásico tiene un alto grado de simetría entre sus tres fases debido a que se busca que cada fase se encuentre igualmente cargada, los cálculos se pueden realizar para una sola fase y luego generalizarse para las otras dos. Esto significa que se puede representar un SEP adecuadamente por medio de un diagrama en el que se coloque exclusivamente una fase. Este diagrama es el que recibe el nombre de diagrama unifilar y cuyo objetivo es representar de una manera concisa y clara los datos más significativos del SEP.

Para analizar el comportamiento de un sistema en condiciones normales o de falla, el diagrama unifilar se transforma a un diagrama de impedancias que muestra la impedancia equivalente de cada elemento del sistema. Es necesario conocer las impedancias de secuencia positiva (Z_1), negativa (Z_2) y cero (Z_0). Para algunos elementos o para algunos estudios es suficiente con una o dos de las impedancias anteriores, por lo tanto, el tipo de estudio o elemento es el que determina cuáles de ellas son necesarias. Por ejemplo, en los estudios de corto circuito, para los generadores es necesario especificar las reactancias de secuencia cero (X_0) y las de secuencia positiva transitoria y subtransitoria.

El cálculo se simplifica si todas las cantidades eléctricas (impedancias, corrientes, voltajes y potencias) se expresan como el cociente de la cantidad eléctrica dividida por una referencia del mismo tipo. Esto permite eliminar los diferentes niveles de tensión, estableciendo un circuito equivalente en el que no aparecen transformadores. A este método se le conoce como transformación a valores en por unidad (Juárez [2]). Una vez transformados todos los datos, éstos se pueden combinar en serie o paralelo para reducir el sistema a uno equivalente en el punto de estudio.

La formulación del modelo matemático adecuado es el siguiente paso para el análisis de una red eléctrica. El modelo debe describir las características de cada uno de los componentes de la red, así como las reglas que rigen la interconexión entre ellos. En este caso, una ecuación matricial es el modelo matemático más adecuado para ser simulado en una computadora digital.

Es necesario formar una matriz que describa el funcionamiento y características de la red interconectada. La forma de la matriz de la red utilizada en la ecuación de funcionamiento depende del marco de referencia, a saber, buses o mallas. Si se habla de buses, las variables son los voltajes y corrientes en los nodos. Si se trata de mallas, las variables son los voltajes y corrientes en las mallas. La formación adecuada de la matriz de la red es la parte

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

primordial del programa de computadora digital que se utilice en la solución de problemas de sistemas eléctricos de potencia.

La formulación de las ecuaciones se hace por medio de un grafo que es un diagrama que muestra gráficamente la interconexión de los elementos de la red. Se puede describir la topología de una red substituyendo cada uno de los elementos por una línea, independientemente de las características de cada uno de ellos. Dentro del grafo estas líneas se denominan elementos y sus terminales se denominan nodos. Se dice que un elemento incide en un nodo si dicho nodo es una terminal del elemento. Varios elementos pueden incidir sobre un nodo.

Un subgrafo se forma con cualquier subconjunto de elementos del grafo. Una trayectoria es cualquier subgrafo de elementos interconectados de manera que no existan más de dos elementos conectados a un mismo nodo. Si a cada elemento del grafo se le asigna una dirección, se dice que el diagrama es orientado. La representación de un sistema de potencia (a) y su correspondiente grafo orientado (b) se muestran en la figura 2.1.

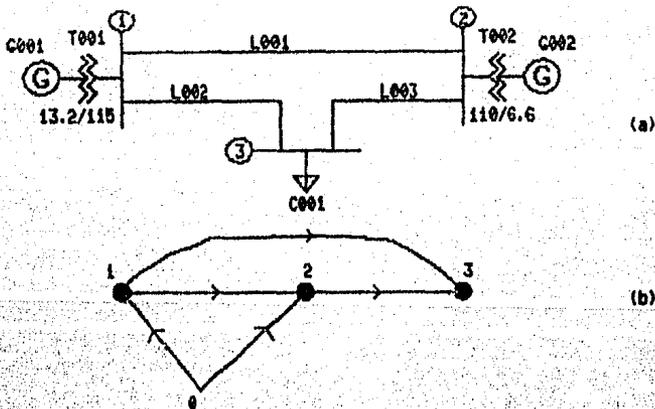


Figura 2.1

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

Un subgrafo que contenga todos los nodos del grafo y que no incluya ninguna trayectoria cerrada se denomina árbol. Los elementos del árbol se llaman ramas. El número de ramas b que se requieren para formar un árbol es:

$$b = n - 1 \quad (2.1)$$

donde n es el número de nodos.

Todos aquellos elementos del grafo que no se incluyen en el árbol se denominan ligas y forman un subdiagrama, no necesariamente interconectado, llamado coárbol. Obviamente, el coárbol es el complemento del árbol. El número de ligas l de un grafo con e elementos es:

$$l = e - b$$

De la ecuación (2.1) se puede deducir que:

$$l = e - n + 1 \quad (2.2)$$

El árbol (línea continua) y su respectivo coárbol (línea discontinua) se muestran en la figura 2.2 (Stagg [3]).

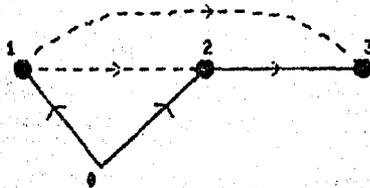


Figura 2.2

Con este antecedente se pueden formular ya las ecuaciones de red, lo cual consiste simplemente en aplicar las dos leyes de Kirchhoff. Cuando se utiliza como marco de referencia a la malla, se aplica la ley de tensiones. En el caso en que se utilice como marco de referencia los nodos, se aplicará la ley de corrientes.

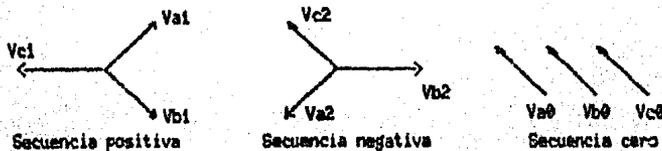
CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

2.4 DIAGRAMAS AUXILIARES PARA EL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO

En la sección anterior se describieron los antecedentes necesarios para analizar cualquier red eléctrica. Sin embargo, para el estudio de corto circuito es necesario conocer algunos aspectos adicionales relativos a la misma.

Uno de los métodos más usado para el estudio de fallas es el de componentes simétricas, el cual demuestra que un sistema trifásico desequilibrado puede descomponerse en tres sistemas de fasores denominados componentes simétricas de los fasores originales (Stevenson [4]). Los tres sistemas son:

- 1) Componentes de secuencia positiva, formadas por tres fasores de igual módulo con una diferencia de fase de 120 grados y con la misma secuencia de fase de los fasores originales.
- 2) Componentes de secuencia negativa, formadas por tres fasores de igual módulo con una diferencia de fase de 120 grados y con secuencia de fases opuesta a la de los fasores originales.
- 3) Componentes de secuencia cero, formadas por tres fasores de igual módulo y con igual fase.



Los fasores desequilibrados originales son iguales a la suma de sus tres componentes, es decir:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0}$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0}$$

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

En los sistemas trifásicos simétricos, la caída de tensión que se origina en un circuito por la corriente de una secuencia determinada depende de la impedancia del circuito para la corriente de dicha secuencia. Para calcular las componentes simétricas es esencial determinar la impedancias de secuencia y combinarlas para formar las redes de secuencia.

2.4.1 Red De Secuencia Positiva

Esta red se obtiene de una manera simple al reemplazar cada elemento de la red, representado en el diagrama unifilar, por su respectiva impedancia referida a la base correspondiente y representando la fuentes de voltaje por sus valores expresados en por unidad y referidas también a la base de tensión correspondiente. El nodo o barra de referencia para la red de secuencia positiva está representado por el neutro del SEP.

2.4.2 Red De Secuencia Negativa

La red de secuencia negativa se elabora de la misma forma que la de secuencia positiva y la única diferencia consiste en que la red de secuencia negativa no contiene fuentes de voltaje. Las fuerzas electromotrices se omiten bajo la hipótesis de que las tensiones generadas son equilibradas y que hay ausencia de tensiones de secuencia negativa inducidas por fuentes exteriores. Es bastante común que sólo se haga la red de secuencia positiva y las reactancias se tomen igual para las secuencias positiva y negativa en los cálculos.

2.4.3 Red De Secuencia Cero

La red de secuencia cero requiere de algunas consideraciones adicionales a las hechas para las redes de secuencia positiva y negativa, ya que las corrientes de secuencia cero circulan a través de tierra, por lo que influye en forma determinante la manera en que se encuentran conectados a tierra los neutros de los distintos elementos de la red. Por lo tanto, conviene hacer una revisión de los diagramas de reactancias para diferentes formas de conexión a tierra de algunos elementos, especialmente generadores y transformadores. Una vez que los circuitos equivalentes de secuencia cero han sido determinados, éstos se combinan para formar la red de secuencia cero.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

Las componentes de corriente y tensión para cualquiera de las fases se obtienen a partir de las ecuaciones determinadas por las redes de secuencias. Dichas ecuaciones se deducen para una fase y son el punto de partida para la deducción de las ecuaciones en los diferentes tipos de falla (Juárez [2]).

CAPITULO 3

FALLAS POR CORTO CIRCUITO

El corto circuito es una situación indeseable en un SEP, pero que se presenta eventualmente. Tiene diversos orígenes, tales como sobretensión por descargas atmosféricas, fallas en el aislamiento, manobras erróneas, etc. En condiciones de corto circuito es necesario conocer, en diferentes puntos de la instalación, las magnitudes de las corrientes. Los cálculos de corto circuito son necesarios en los SEPs en todas sus partes, es decir, desde la generación hasta la distribución. Estos cálculos proporcionan corrientes y voltajes durante condiciones de falla, siendo esta información necesaria para diseñar un sistema adecuado de protección; determinar las características mecánicas de buses y líneas de transmisión y determinar la capacidad de los interruptores en cada punto de la instalación. Los sistemas de protección a base de relevadores deben reconocer la existencia de una falla e iniciar la operación de los interruptores para desconectar los puntos de falla. Esta acción es requerida para asegurar una mínima interrupción del servicio eléctrico y además limitar el daño al equipo afectado por la falla (Júarez [2]).

3.1 SIMPLIFICACIONES EN LOS CALCULOS DE CORTO CIRCUITO

Es frecuente en el cálculo de corto circuito realizar las siguientes consideraciones:

- 1) No se toman en cuenta las cargas conectadas al sistema ni otras conexiones de fase a neutro, como la capacitancia de las líneas de transmisión o la excitación de los transformadores. Lo anterior significa que se considera que antes de que ocurra la falla no circula ninguna corriente por la red. Esta simplificación se justifica considerando que las corrientes debidas al corto circuito son mucho mayores que las corrientes que circulan por

FALLAS POR CORTO CIRCUITO

elementos capacitivos o inductivos conectados en paralelo.

- 2) Se considera que el sistema es simétrico, o sea que las impedancias propias de las tres fases son iguales entre sí y las impedancias mutuas entre fases son también iguales entre sí.
- 3) Se supone que las fuerzas electromotrices del sistema son equilibradas.
- 4) La impedancia de falla se considera igual a cero, ya que para esta condición se tiene el valor máximo de corriente de falla.

3.2 FALLAS POR CORTO CIRCUITO MONOFASICO Y TRIFASICO

Dentro de un SEP se pueden presentar cuatro diferentes tipos de falla por corto circuito:

- 1) Una fase a tierra
- 2) Fase a fase
- 3) Dos fases a tierra
- 4) Trifásica

Estas fallas pueden ocurrir francamente o a través de una impedancia.

La falla por corto circuito que tiene la mayor probabilidad de ocurrir es la de una fase a tierra y la de menor probabilidad es la trifásica. Normalmente se hacen estudios para estos dos tipos de falla, monofásica porque es la que ocurre con mayor frecuencia y trifásica pues es la que somete al SEP a los mayores esfuerzos. Por lo tanto, sólo se desarrollan los estudios correspondientes a estos dos tipos de falla (Juárez [2]).

FALLAS POR CORTO CIRCUITO

3.3 METODO EMPLEADO PARA EL ESTUDIO DE FALLAS POR CORTO-CIRCUITO

El primer método que se utilizó para la solución por computadora digital de fallas por corto circuito fue el de la matriz Y_{bus} (matriz de admitancias del bus). Este método, muy parecido al que se utiliza para la solución de problemas de flujos de carga, requiere de un método iterativo distinto para cada tipo de falla y localización. Este procedimiento consume mucho tiempo, particularmente si, como sucede generalmente, se requiere conocer los voltajes y corrientes en varios puntos de la red. Consecuentemente, el uso de este método no se generalizó.

El desarrollo de técnicas para utilizar la computadora empleando el método de la matriz Z_{bus} (matriz de impedancias del bus) hizo posible la aplicación del teorema de Thevenin para el cálculo de problemas de corto circuito. Este enfoque proporcionó un medio eficiente para determinar los voltajes y corrientes de corto circuito debido a que estos valores pueden obtenerse a partir de unas cuantas operaciones aritméticas que involucran solamente algunas porciones de la matriz de impedancias.

Para el cálculo de fallas por corto circuito se obtendrá directamente la matriz de impedancias de bus, esto tiene la ventaja de que no es necesario hacer inversiones matriciales y las modificaciones a la red en estudio requieren de un número menor de operaciones. Para una descripción detallada del método, ver STAGG (capítulo 6).

Al emplear la matriz de impedancias del bus en el cálculo de corrientes y voltajes de corto-circuito, se presentan dos ventajas fundamentales:

- 1) Una vez que está formada la matriz, pueden ser usados sus elementos directamente para calcular las corrientes y voltajes asociados a varios tipos y lugares de falla.
- 2) Es el método más adecuado para sistemas interactivos.

FALLAS POR CORTO CIRCUITO

3.4 ESTUDIOS DE CORTO CIRCUITO UTILIZANDO LA MATRIZ Z-BUS

3.4.1 Representación Del Sistema

En general, en estudios de corto circuito se puede obtener suficiente precisión con una representación simplificada. La representación simplificada del sistema se obtiene de la siguiente manera:

- 1) Representando cada máquina como una fuente de voltaje constante detrás de su reactancia, transitoria o subtransitoria.
- 2) Despreciando las conexiones en paralelo.
- 3) Colocando todos los transformadores en sus taps nominales.

3.4.2 Corrientes Y Voltajes De Falla

La matriz Z-bus es un medio muy práctico para calcular fallas por corto circuito cuando se escoge el potencial de tierra como referencia. La principal ventaja de este método es que, una vez formada la matriz, los elementos de ella pueden ser usados directamente para calcular las corrientes y los voltajes asociados con varios tipos de fallas y en varias localizaciones dentro de la red.

En la representación derivada del teorema de Thevenin de un sistema con una falla en un bus dado, la impedancia de Thevenin se representa por medio de la matriz Z-bus incluyendo las reactancias de las máquinas. El voltaje de circuito abierto se representa como el voltaje anterior a la falla.

3.4.3 Modificación De La Matriz De Impedancias De Bus Por Cambios En La Red

La matriz de impedancias Z-bus puede ser modificada para reflejar los cambios en la red, estos cambios pueden ser la adición, eliminación o modificación de sus elementos. El procedimiento a seguir para la eliminación de elementos, o para cambiar la impedancia de alguno(s) de ellos es el mismo. Si un elemento es retirado y no está acoplado mutuamente a ningún otro elemento, la matriz de impedancias de bus modificada puede ser obtenida por la adición, en paralelo con el elemento, de una línea cuya impedancia sea igual a la impedancia del elemento a remover, con signo negativo.

FALLAS POR CORTO CIRCUITO

Si la impedancia de un elemento no acoplado es modificada, la matriz de impedancias de bus modificada, puede ser obtenida agregando una línea en paralelo con el elemento de tal forma que la impedancia equivalente sea la del nuevo valor (Stass [3]).

CAPITULO 4

ESTUDIOS DE FLUJOS DE CARGA

Los cálculos de flujos de carga proporcionan los valores de voltaje y flujos de potencia sujetos a la capacidad de los generadores, capacitores, transformadores de derivaciones variables bajo carga, así como el intercambio neto entre sistemas individuales en operación. El análisis requiere de numerosos cálculos, tanto en condiciones normales de operación como en las de emergencia.

La representación unifilar es adecuada dado que la secuencia positiva es la única que se encuentra excitada y además los sistemas de potencia están generalmente balanceados.

El modelo matemático del problema de flujo de carga está constituido por un conjunto de ecuaciones algebraicas no lineales, que pueden ser generadas empleando ya sea nodos como marco de referencia o bien mallas. Los coeficientes asociados a las ecuaciones dependen de la selección de las variables, ésto es, voltajes o corrientes. De tal forma que pueden ser usadas las matrices de impedancias o de admitancias indistintamente. La solución de las ecuaciones algebraicas que describen al sistema de potencia están basadas en una técnica iterativa debido a su no linealidad. La solución debe satisfacer las leyes de Kirchhoff, esto es, la suma algebraica de todos los flujos en un bus debe ser igual a cero, así como la suma algebraica de todos los voltajes en una malla debe ser cero. Los algoritmos de computadora pueden usar cualquiera de estas leyes para probar la convergencia de la solución. Otras restricciones contempladas en la solución son: los límites de capacidad de potencia reactiva de las fuentes, el rango de los transformadores de derivaciones variables bajo carga y el intercambio específico de potencia entre sistemas interconectados (Stads [3]).

ESTUDIOS DE FLUJOS DE CARGA

4.1 COMPARACION DE LOS METODOS PARA EL ESTUDIO DE FLUJOS DE CARGA.

La evaluación de los métodos para obtener una solución al problema de flujos de carga debe incluir lo siguiente:

- El tiempo de cómputo requerido para procesar la información de entrada del sistema a fin de obtener los parámetros para el cálculo iterativo.
- Requerimientos de programación y almacenamiento.
- Tiempo consumido por la solución iterativa.
- El tiempo de computadora requerido para modificar la información de la red y efectuar cambios en el sistema en operación.

El primer paso a seguir para el cálculo de flujos de carga es la codificación de la red y la formación apropiada de la matriz de la red. En la configuración con buses como marco de referencia, la asignación de números a los buses y a las terminales de los elementos de la red, proporciona la información adecuada para describir las conexiones de la red. Con las mallas como marco de referencia es necesaria la identificación de las mallas básicas de la red.

La matriz de admitancias del bus puede ser formada por simple inspección (ver punto 4.3.2), dado que no se involucra el acoplamiento mutuo entre elementos. Un elemento diagonal Y_{pp} de la matriz es igual a la suma de las admitancias de los elementos de la red conectados al bus p . El elemento Y_{pa} fuera de la diagonal principal es igual a la admitancia con signo negativo del elemento de la red que conecta al bus p con el bus a . Además, dado que la matriz de admitancias de bus es porosa, esto es, un gran número de elementos son cero, hay que calcular relativamente pocos elementos.

La formación de la matriz de impedancias del bus requiere o bien de una inversión matricial, o bien de transformaciones no singulares. A diferencia de la matriz de admitancias del bus, la matriz de impedancias del bus es una matriz no porosa que no contiene elementos nulos excepto en el renglón y columna asociados al bus de referencia. Pero dado que la matriz de impedancias del bus es simétrica, sólo hay que almacenar los elementos de la diagonal principal y la mitad de los elementos fuera de ella.

ESTUDIOS DE FLUJOS DE CARGA

La formación de la matriz de admitancias de malla involucra una inversión matricial, usando ya sea la matriz de impedancias de malla, obtenida a partir de una transformación singular, o bien empleando la matriz de admitancias de malla aumentada, obtenida a partir de una transformación no singular. Como una alternativa, la matriz de impedancias del bus puede ser formada, y luego mediante un algoritmo, obtener la matriz de admitancias de malla, la matriz de admitancias de malla es una matriz no porosa.

El desarrollo de programas de computadora basados en los métodos de Gauss, Gauss-Seidel y Newton-Raphson empleando la matriz de admitancias del bus, puede significar una reducción en el número de operaciones aritméticas por iteración, si se toma ventaja de su porosidad característica.

El método de Gauss empleando la matriz de admitancias de malla necesita de operaciones aritméticas y lógicas adicionales para relacionar las cantidades de malla y de bus a lo largo de la solución iterativa, además de que el tiempo por iteración varía aproximadamente con el cuadrado del número de buses, ya que la matriz de admitancias del bus es una matriz no porosa.

El método de Gauss-Seidel empleando la matriz de impedancias del bus requiere de un procedimiento de solución relativamente sencillo, sin embargo, el tiempo consumido en cada iteración es proporcional al número de buses que conforman el sistema.

El número de operaciones requeridas para completar una iteración resulta ser menor en el método de Gauss-Seidel empleando la matriz de admitancias del bus, debido a la porosidad de la matriz de la red y a la simplicidad de la técnica de solución, consecuentemente, este método consume poco tiempo en cada iteración.

El método de Newton-Raphson con la matriz de admitancias de bus aunque requiere, generalmente, de un número menor de iteraciones para obtener la solución, tiene el inconveniente de consumir mayor tiempo al tener que evaluar en cada iteración los elementos del Jacobiano asociado.

El método de Newton-Raphson desacoplado posee una convergencia muy superior a la de los demás métodos, sin embargo, debido a las consideraciones hechas por el método, no se puede garantizar su convergencia ni la exactitud de los resultados.

ESTUDIOS DE FLUJOS DE CARGA

4.2 METODO EMPLEADO PARA EL ESTUDIO FLUJOS DE CARGA

Para estudios de flujos de carga se empleará la matriz de admitancias de bus formada por inspección y el método de Newton-Raphson debido a que la formación de dicha matriz por inspección, además de ser más rápida y sencilla, permite modificaciones en la configuración de la red. Este método de cálculo se eligió ya que converge rápidamente, los resultados que arroja son bastante buenos y consume poco tiempo de cómputo ya que el número de iteraciones que se requieren para la convergencia es reducido a pesar de tener que calcular los Jacobianos.

4.3 ALGORITMO PARA LA FORMACION DE LA MATRIZ DE ADMITANCIAS DE BUS

4.3.1 Ecuación De Funcionamiento De Una Red

Toda red eléctrica está constituida por un conjunto interconectado de elementos que, en el caso de ser modelada con buses como referencia, será descrita por un conjunto de $n-1$ ecuaciones nodales independientes, donde n es el número de nodos. En notación matricial, la ecuación de funcionamiento de la red en base a admitancias es:

$$\bar{I}_{\text{bus}} = Y_{\text{bus}} \bar{E}_{\text{bus}}$$

donde:

\bar{I}_{bus} : es el vector de corrientes de bus suministradas.

Y_{bus} : es la matriz de admitancias de bus de los elementos de la red.

\bar{E}_{bus} : es el vector de voltajes medidos con respecto al bus de referencia.

ESTUDIOS DE FLUJOS DE CARGA

4.3.2 Matriz De Admitancias De Bus

El procedimiento para la generación de la matriz de admitancias de bus que a continuación se describirá es conocido con el nombre de método por inspección y consiste en la formación de la matriz de admitancias de bus a partir de los valores de los elementos del diagrama de impedancias de bus equivalente.

La matriz de impedancias de bus tiene la siguiente forma:

$$Y_{\text{bus}} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix}$$

Esta matriz de orden $n \times n$ es simétrica dado que se considera que los elementos pasivos son bilaterales, esto es:

$$Y_{i,j} = Y_{j,i}$$

Los elementos de la matriz fuera de la diagonal principal son los valores de las admitancias conectadas entre los nodos de la red, es decir, el elemento Y_{12} es la admitancia del elemento conectado entre los nodos 1 y 2, el elemento Y_{13} es la admitancia entre los nodos 1 y 3, etc.

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & i=j \\ -z_{ij} & i \neq j \end{cases} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

ESTUDIOS DE FLUJOS DE CARGA

donde:

- Y : elemento (i,J) de la matriz Y
ij bus
- z : impedancia conectada entre los nodos i y J.
ij
- n : número de nodos de la red.

Con esta ecuación se obtienen los valores de la matriz de impedancias de bus, considerando la no existencia de acoplamientos mutuos.

4.3.3 Modificación De La Matriz De Admitancias De Bus Por Cambios En La Red

La matriz de admitancias de bus puede ser modificada para reflejar los cambios en la red, estos cambios pueden ser la adición, eliminación y/o modificación de sus elementos.

En caso de que la modificación no implique un incremento o disminución en el número de nodos que constituyen a la matriz de admitancias de bus, sólo será necesario afectar aquellos elementos que estén conectados a los nodos incidentes del elemento del que se trata.

Si la modificación implica la adición o retiro de nodos, la matriz de admitancias se verá afectada además en su dimensión, reduciéndose o aumentándose el número de sus elementos.

4.4 METODO DE NEWTON-RAPHSON UTILIZANDO LA MATRIZ Y-BUS

Los problemas de flujos de carga se pueden resolver aplicando el método de Newton-Raphson a un sistema de ecuaciones no lineales que representen las potencias real y reactiva en términos de los voltajes en los buses.

Este método requiere de un sistema de ecuaciones lineales que expresen la relación entre los cambios de las potencias real y reactiva. El resultado es un sistema de ecuaciones lineales, dos por cada bus del sistema. Los datos son las potencias real y reactiva y las incógnitas son las componentes real e imaginaria de los voltajes en todos los buses excepto en el bus de compensación donde el voltaje se especifica y permanece constante. Así pues, existen $2(n-1)$ ecuaciones a ser resueltas para un problema de flujos de carga (Stagg [3]).

ESTUDIOS DE FLUJOS DE CARGA

En resumen, los pasos para obtener la solución de un problema de flujos de carga por el método de Newton-Raphson son:

- 1) Formar la matriz de admitancias del bus.
- 2) Determinar valores iniciales de voltaje en los buses.
- 3) Calcular la potencia real y reactiva en cada bus.
- 4) Calcular la diferencia entre el valor calculado y el requerido en cada bus.
- 5) Si la diferencia se encuentra dentro de la tolerancia, entonces se ha concluido con el cálculo y se procede a calcular los flujos de potencia entre los buses. En caso contrario, se continúa con el siguiente paso:
- 6) Calcular las corrientes en los buses.
- 7) Calcular los elementos del sistema de ecuaciones, cuya solución, proporcionará los incrementos de voltaje a emplear en la siguiente iteración.
- 8) Resolver el sistema de ecuaciones generado.
- 9) Calcular los nuevos valores de voltaje.
- 10) Repetir el paso 4.

CAPITULO 5

DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE COMPUTO EXISTENTES

Con objeto de poder realizar, en poco tiempo, estudios confiables de diseño y operación de sistemas eléctricos de potencia; evaluar su comportamiento bajo ciertas condiciones y asegurar la efectividad de planes alternativos de expansión; se han elaborado varios programas de computadora tanto en la industria eléctrica como en las instituciones educativas.

A continuación hacemos una breve descripción de las características de algunos de los sistemas de cómputo existentes para el cálculo de fallos y de flujos de carga; limitando el estudio a la forma en que se introduce la información; los procedimientos de cálculo empleados; la manera en que se obtienen los resultados y la secuencia de pasos a seguir para la realización de los estudios.

5.1 IEEE

El libro de la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) "IEEE Recommended Practice For Power System Analysis" describe uno de los programas de computadora existentes en la industria norteamericana para el estudio de flujos de carga. A continuación se presenta un resumen de sus principales características:

- Considera la introducción de los parámetros de sus elementos en valores reales.
- Los elementos con los que trabaja son: buses, líneas, transformadores, transformadores de fase variable, transformadores de derivación variable bajo carga y líneas de reactancia negativa o reactiva.

DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE COMPUTO EXISTENTES

- Permite establecer buses de las siguientes características: regulados, no regulados, limitados en vares, flotantes, pasivos y/o compensadores.
- Permite modificar la información relativa a un estudio ya efectuado, debido a la inclusión, modificación o eliminación de algún elemento.
- Emplea el método iterativo de Gauss-Seidel y tiene la opción de modificar las constantes que definen el número de iteraciones y el factor de aceleración (real e imaginario).
- Los resultados que emite contienen: identificación del estudio, número de iteraciones efectuadas, las potencia real, reactiva y aparente (en MW, MVAR y MVA respectivamente) que fluyen entre los buses que constituyen la red, las pérdidas en cada línea y, en caso de existir transformadores, la relación de transformación empleada.
- Los datos deben ser introducidos de acuerdo a códigos y formatos preestablecidos en el siguiente orden:
 - Identificación de la compañía
 - Lugar
 - Fecha
 - Título del estudio
 - Nombre del Usuario
 - Número de iteraciones
 - Factor de aceleración
- Por cada elemento debe generarse un registro que contenga: Nombre, número, tipo y los parámetros que lo caracterizan (resistencia, reactancia, voltaje, potencia, base de voltaje, base de potencia, etc.)

Este sistema presenta la mayor parte de las características que se buscaban en cuanto a forma y tipo de información que debe proporcionar el usuario ya que, trabaja con valores reales, no hay que hacer simplificaciones, y

DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE COMPUTO EXISTENTES

parte directamente de un diagrama unifilar. Por otra parte, los resultados que arroja pueden limitarse a los de aquellos elementos de interés ya que existe la posibilidad de selección.

5.2 FAMON Y FATRI

El departamento de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, cuenta con dos programas para el cálculo de fallas monofásicas y trifásicas conocidos como FAMON y FATRI respectivamente. Estos paquetes emplean para la solución del problema de fallas por corto-circuito, la matriz de impedancias del bus, obtenida a partir de la inversión de la matriz de admitancias (Ybus).

Los pasos a seguir para llevar a cabo estudios de fallas por corto-circuito son:

Paso 1: Generar un archivo de datos que, para el diagrama de impedancias de secuencia positiva equivalente, contenga lo siguiente:

- Número de nodos.
- Número de elementos.
- Número asignado, nodo origen, nodo destino, resistencia e impedancia en por unidad de secuencia positiva de cada elemento.

En el caso de fallas por corto-circuito monofásico (FAMON) se incluyen además, los siguientes datos:

- Número de nodos del diagrama de impedancias de secuencia cero equivalente.
- Número de elementos.
- Número asignado, nodo origen, nodo destino, resistencia e impedancia en por unidad de secuencia cero de cada elemento.

Paso 2: Correr la versión ejecutable, FAMON.EXE (para fallas monofásicas) o FATRI.EXE (para fallas trifásicas).

Paso 3: Mandar a impresión el archivo de resultados creado por estos programas.

DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE COMPUTO EXISTENTES

Estos programas se encuentran disponibles en la computadora del CECAFI a la que tienen acceso los alumnos de la Facultad de Ingeniería y representan una herramienta muy útil para los estudiantes del área.

5.3 FLUJOS

Otro de los programas con que cuenta el departamento de Ingeniería Eléctrica es FLUJOS, este programa realiza estudios de flujos de carga, basado en el método de Newton-Raphson desacoplado y la matriz de admitancias del bus (ésta es generada por inspección).

Los pasos a seguir para efectuar este estudio son:

Paso 1: Generar un archivo de datos que contenga:

- Número de nodos del diagrama de impedancias de secuencia positiva en por unidad equivalente.
- Número de líneas.
- Número de generadores.
- Número de transformadores fuera de su tap nominal.
- Número de derivaciones (shunts).
- Tolerancias para las potencias real y reactiva.
- Nodo de envío, nodo de recepción, resistencia, reactancia y admitancia en paralelo de cada línea.
- Número asignado, flujo de potencia real y flujo de potencia reactiva de cada nodo.
- Potencia base en MVA.
- Nodo de conexión, voltaje de generación, potencia real y reactiva suministrada y límites de potencia real y reactiva de cada generador.
- Nodo origen, nodo destino y posición del tap de cada transformador fuera de tap nominal.
- Nodo de conexión y admitancia de cada elemento en derivación (shunt).

Paso 2: Correr la versión ejecutable, FLUJOS.EXE.

DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE COMPUTO EXISTENTES

Paso 3: Mandar a impresión el archivo de resultados creado por este programa.

Entre las ventajas que presenta el programa están su rapidez de convergencia y la precisión de los resultados que arroja.

5.4 ESTABI

El Departamento de Metodología de la Subgerencia de Estudios Eléctricos de la Gerencia General de Estudios e Ingeniería Preliminar de la Comisión Federal de Electricidad cuenta con un paquete de computadora llamado: Simulador Interactivo del Comportamiento Transitorio del Sistema Eléctrico (ESTABI) que permite entre otras cosas, efectuar el cálculo de flujos de carga de sistemas eléctricos de potencia.

Este estudio se efectúa por medio del método de Newton-Raphson desacoplado y la formación, por inspección, de la matriz de impedancias del bus.

Este simulador puede realizar, además del cálculo de flujos de carga, otras actividades, que pueden ser llevadas a cabo, sin necesidad de seguir secuencia alguna. Para ayudar al usuario, se cuenta con un menú de actividades que permite:

1: Introducir datos.

Los datos requeridos son:

- Nombre del estudio
- Nombre, potencia real (en MW) y potencia reactiva (en MVAR) de cada nodo de la red
- Nombre, nombre del nodo de alta, potencia generada (en MW), límites máximo y mínimo de potencia reactiva (en MVAR) y magnitud de voltaje terminal de cada generador.
- Nombre del nodo extremo 1, Nombre del nodo extremo 2, resistencia, reactancia, susceptancia y derivación (tap) de cada línea (todos estos valores en por unidad).

DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE COMPUTO EXISTENTES

- Nombre del nodo y susceptancia (en p.u.) de los elementos en derivación (shunts).
- 2) Realizar el estudio de flujos de carga.
 - 3) Desplegar los resultados en la terminal de video.
 - 4) Terminar la ejecución del programa.

Una vez terminado el estudio, los resultados que arroja son:

- Número de unidades generadoras.
- Número total de nodos.
- Dimensión del vector de admitancias del bus.
- Nombre de la unidad generadora, número asignado, magnitud y ángulo de fase del voltaje, potencia activa y corriente.
- Nombre de la unidad generadora, número asignado, nombre del nodo de alta, número a él asignado, magnitud y ángulo de fase del voltaje.
- Nombre del nodo, número asignado, magnitud y ángulo de fase del voltaje, potencia real y potencia reactiva.
- Además proporciona datos de la matriz de admitancias.

Este sistema tiene la ventaja de ser muy versátil debido a la variedad de estudios que tiene integrados (Flujos de carga, Estabilidad, Estudio de las condiciones de operación de las máquinas, etc) y la interrelación que entre ellos que existe.

DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE COMPUTO EXISTENTES

5.5 HAWK Y PRELI45

El Departamento de Simulación Digital y Analógica de la Unidad de Ingeniería Especializada de la Subdirección de Construcción de la Comisión Federal de Electricidad ha implementado algunos programas para la solución del problema de estudios de flujo de carga y de fallas por corto-circuito, entre los que destacan HAWK y PRELI45. El primero de ellos se encuentra fuera de operación y era utilizado para el cálculo de corto-circuitos a partir de la matriz de impedancias de malla obtenida luego de la inversión de la matriz de admitancias. PRELI45 permite al usuario elegir por qué método calcular los flujos de potencia, ya sea por Newton-Raphson o bien, por el método de Gauss-Seidel y en lo que toca a las fallas por corto-circuito, emplea la matriz de impedancias del bus, formada a partir de la matriz Ybus.

Para ejecutar este programa, hay que generar un archivo con la siguiente información:

- Número del nodo, tipo, nombre, voltaje (en KV), potencia real (en MW), potencia reactiva (en MVAR) y elementos en derivación (shunts).
- Número del bus, voltaje a generar, ángulo, potencia (en MN) y límites de la potencia reactiva (en MVAR).
- Nodo de salida de la línea, nodo de entrada, resistencia, reactancia, susceptancia, tipo de derivación (tap) y número de circuitos.

El programa despliega en la terminal de video del usuario un menú de las opciones con que PRELI cuenta:

- 1) Leer archivo de datos.
- 2) Listar todo el archivo en terminal.
- 3) Listar únicamente los nodos.
- 4) Resolver el problema de flujos por el método de Newton-Raphson.
- 5) Resolver el problema de flujos por el método de Gauss-Seidel.

DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE COMPUTO EXISTENTES

- 6) Resolver mostrando el nodo conflictivo.
- 7) Imprimir los resultados del cálculo de flujos.
- 8) Guardar en un archivo la solución.
- 9) Modificar el archivo de datos.
- 10) Detenerse.

Este sistema es uno de los más completos que existen en la industria eléctrica, debido a los estudios que tiene integrados y a la cohesión que existe entre ellos.

El Centro Nacional de Control de Energía cuenta con el mismo simulador implementado en la Unidad de Ingeniería Especializada, aunque con modificaciones como son la inclusión de rutinas para la solución de fallas por corto-circuito y diferente formato de la información desplegada en la terminal de video.

Aunque se han desarrollado varios programas de computadora como seminarios de tesis tanto de licenciatura como de posgrado en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, no son muy empleados ya sea porque o no han tenido difusión, no están normalmente cargados en la computadora, no existe manual de usuario, se han perdido muchos de los programas fuentes, el análisis es muy limitado o es necesario hacer muchas simplificaciones para que realicen los estudios.

5.6 CONCLUSIONES

- Del análisis realizado pudimos ver que la mayor parte de los sistemas requería de la previa transformación de los valores reales a valores en por unidad. Adicionalmente, en aquellos sistemas más completos, había que ajustar los valores de algunos elementos a modelos simplificados y/o referir valores a alguna base, para ahorrar espacio en memoria y acelerar el proceso. Estos

DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE COMPUTO EXISTENTES

requerimientos traen consigo la necesidad de efectuar manualmente un gran número de operaciones tanto para alimentar los datos al programa, como para interpretar los resultados del estudio, ya que es necesario llevar a cabo el proceso inverso.

- Aunque existen sistemas interactivos, éstos no son "amigables", ya que el usuario debe memorizar el tipo de información que se solicita a lo largo de un estudio, debe estar familiarizado con los mnemónicos que identifican tal o cual actividad y debe conocer las instrucciones del sistema operativo de la computadora para la realización de operaciones de edición, ejecución, impresión, compilación, etc.
- El usuario, en la gran mayoría de los sistemas de cómputo desarrollados, no tiene la posibilidad de elegir que información quiere que le sea desplegada, lo que dificulta encontrar la información requerida.

CAPITULO 6

SISTEMA PROPUESTO

6.1 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA PROPUESTO

Como se estudió en el capítulo anterior donde se presentan los diferentes sistemas de cómputo evaluados, la interacción del usuario con el sistema es un punto que deja mucho que desear. En nuestro caso, el centro de atención al diseñar el sistema fue precisamente dicha interacción. De ningún modo estamos proponiendo un nuevo método de cálculo; al contrario, nos basamos en los métodos ya existentes para producir un sistema que, cuantitativamente, sea preciso y que, además, presente las ventajas que tiene un sistema de cómputo realmente interactivo.

En el libro 'IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power System Analysis' se da un ejemplo de un sistema de cómputo que se describe como "poco sofisticado" en el sentido que los resultados que arroja son satisfactorios, aunque no son muy precisos. Sin embargo, dicho sistema se diseñó pensando en el usuario; es decir, es un sistema fácil de usar.

El sistema que proponemos incorpora tanto cálculos de gran precisión, como fácil uso. Nuestro sistema cuenta con varias características atractivas, muchas de ellas innovadoras. Sin embargo, aun cuando muchas las presentan otros sistemas ya existentes, creemos que éste es de los pocos sistemas que las reúnen en uno solo. Sus principales características se describen a continuación.

SISTEMA PROPUESTO

6.1.1 Relacionadas Con El Usuario

- **Amigable:** Como ya se ha mencionado, el criterio de diseño fundamental fue el crear un sistema muy fácil de usar y que presente la información en forma ordenada de manera que sea fácil su localización. El sistema podrá ser usado por ingenieros que nunca hayan trabajado con él ya que se van presentando diferentes menús para dirigir las acciones del sistema. Por otro lado, presenta una serie de facilidades para que quien ya tenga un poco de experiencia en su uso lo maneje con mayor rapidez.
- **Ayuda inmediata a lo largo del sistema:** Desde el principio hasta el final del sistema se puede llamar una función de ayuda que despliega en la pantalla mensajes que recuerdan los pasos a seguir o recomiendan el mejor camino a seguir para el desarrollo de un proceso determinado. La ayuda puede referirse a cualquier parte del sistema y no exclusivamente a la parte del sistema por la que se esté pasando. De esta manera, el usuario no requiere ir a consultar el manual de usuario, sino que puede consultar sus dudas directamente en la terminal sin pérdidas de tiempo.
- **Permite análisis comparativos inmediatos:** En un sistema se puede realizar un estudio para una serie de condiciones dadas y ver los resultados. Inmediatamente después, se pueden cambiar estas condiciones y volver a realizar el estudio. Con esto se pueden tener ambos resultados a la mano y compararlos directamente, sin necesidad de introducir nuevamente todos los datos.
- **Manejable por menús o por teclado auxiliar:** Si nunca se ha trabajado con el sistema, éste irá presentando menús para que el ingeniero escoja la función que ha de realizar. Paralelamente, con el teclado auxiliar no es necesario esperar a que aparezca el menú en la pantalla ya que dicho teclado tiene asignada una función del menú a cada tecla. Con esto se logra un ahorro considerable de tiempo.
- **Almacenamiento permanente de datos:** Los datos y características de las redes quedan permanentemente almacenados en la computadora. De esta forma, si se desea realizar un estudio sobre una red ya estudiada con anterioridad, no es necesario

SISTEMA PROPUESTO

introducir todos sus datos y características, simplemente se le indica al sistema que utilice esa red y el sistema se encarga del resto.

- Fácil manejo de errores: Si por cualquier motivo el usuario comete un error en la forma de dar los datos, en la forma de solicitar un estudio determinado o en la forma de solicitar los resultados, el sistema es capaz de recuperarse de esos errores evitándose la tediosa labor de "comenzar de nuevo".

6.1.2 Relacionadas Con Sistemas Eléctricos De Potencia

- Análisis por "rutas": Los sistemas de cómputo existentes pueden encontrar el diagrama de impedancias de dos maneras: (a) Encontrando la impedancia equivalente de cada rama o (b) Numerando todos los nodos del sistema. El primero elimina la tediosa labor de numerar todos los nodos, pero cualquier cambio en el diagrama hace que se tenga que recalcular todo el diagrama nuevamente. El segundo método permite realizar cambios en la red sin tener que recalcular las matrices, pero se requiere identificar y numerar todos los nodos.

Nuestro sistema trabaja por "rutas", es decir, sólo se especifican los buses y los elementos conectados entre ellos. Posteriormente, en la fase de análisis, el sistema se encarga de identificar y numerar los nodos intermedios. Con esto, se tienen ambas ventajas: Sólo se numeran los buses como en el caso (a) y, además, se pueden hacer modificaciones en la red sin tener que recalcular todo como en el caso (b).

- Realización exclusiva de los cálculos pertinentes al estudio en cuestión: Durante la fase de análisis del sistema, se pasa del diagrama unifilar al diagrama de impedancias, posteriormente se genera la matriz de incidencia y de ahí se generan la matriz Z_{bus} (directamente) o la matriz Y_{bus} (por inspección) según sea el caso. Una vez generadas estas matrices se detiene el proceso en espera del estudio específico a realizar. Hasta este momento, se realizan los cálculos requeridos, eliminando operaciones innecesarios.

SISTEMA PROPUESTO

- **Datos en valores reales o en por unidad:** Los datos y los resultados del sistema se dan y se obtienen en valores reales, es decir, el ingeniero ya no tiene que hacer las transformaciones como en casi todos los otros sistemas. Sin embargo, también permite dar y recibir los datos y resultados en valores en por unidad para mantener la compatibilidad con otros sistemas.
- **Versatilidad:** El sistema es versátil no sólo porque permite la introducción de datos y la obtención de resultados en valores reales o en por unidad, sino porque se puede incluir en el diagrama cualquier tipo de elemento. Existen ya programados dentro del sistema los modelos matemáticos de motores, generadores, transformadores, líneas de transmisión y cargas estáticas. Sin embargo, en el caso de que el diagrama contenga elementos diferentes a los mencionados, existe una función que permite proporcionar al sistema, directamente, la impedancia en serie o en paralelo (shunt) del elemento. De esta forma, se puede incluir, prácticamente, cualquier tipo de elemento dentro del sistema.

6.1.3 Relacionadas Con Los Sistemas De Cómputo

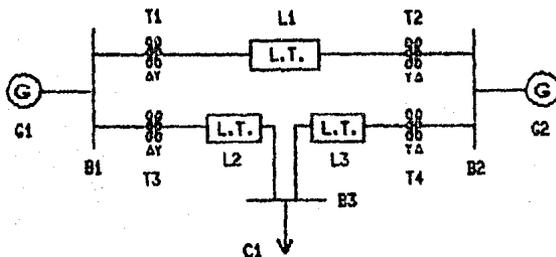
- **No secuencial:** Todo sistema dirigido por menús se extiende como un árbol por el cual el usuario se va desplazando por cada una de sus ramas. Si se desea "brincar" de una rama a otra es necesario regresar al tronco y recorrer la rama desde el principio. En el caso de nuestro sistema si es posible trasladarse de una rama a otra. Inclusive es posible brincar de una parte específica de una rama a alguna posición de otra rama, directamente. El sistema es suficientemente inteligente para no perderse y saber qué es lo que se está haciendo.
- **Modularidad:** El sistema que presentamos sólo presenta las partes de cálculos por corto circuito y flujos de carga. Sin embargo, el sistema está diseñado modularmente de manera que a futuro se puedan agregar otros estudios como coordinación de protecciones y ajustes de relevadores. Este trabajo no pretende ser exhaustivo, sino demostrar la posibilidad de realización de un sistema de cómputo eficaz y de fácil uso para aplicaciones

SISTEMA PROPUESTO

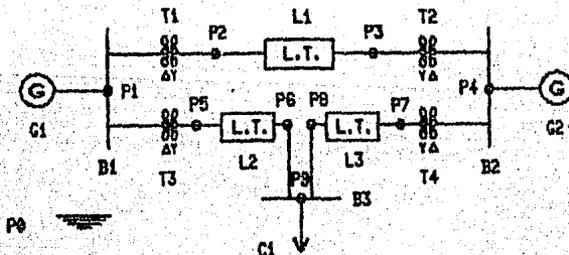
industriales y académicas.

6.2 REPRESENTACION DE LA RED

El sistema desarrollado facilita la especificación y manipulación de la información de la red a estudiar al introducirse el concepto de ruta. Del análisis efectuado sobre los sistemas de cómputo existentes, se encontró que la forma de introducir la información es muy similar. Esta metodología puede ilustrarse con el siguiente ejemplo:



Tradicionalmente, el usuario tenía que dar una identificación a todos los puntos de conexión, para posteriormente emplearlos como referencia para la introducción de los elementos. Así, el diagrama con los puntos identificados sería:



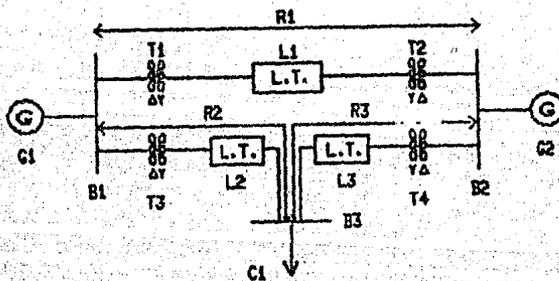
SISTEMA PROPUESTO

Así, la red se especificaría como:

Punto origen	Punto destino	Elemento
P0	P1	G1 (generador 1)
P1	P2	T1 (transformador 1)
P2	P3	L1 (línea de transm 1)
P3	P4	T2 (transformador 2)
P0	P4	G2 (generador 2)
P1	P5	T3 (transformador 3)
P5	P6	L3 (línea de transm 3)
P6	P7	L4 (línea de transm 4)
P7	P4	T4 (transformador 4)
P6	P0	C1 (carga estática 1)

Como se puede ver, esto resulta laborioso y propenso a errores ya que es posible especificar equivocadamente los puntos origen y destino.

Al emplear el concepto de rutas se reducen en gran medida estos problemas. Una ruta podría definirse como una serie de elementos interconectados entre un bus origen y un bus destino. De este modo, en el ejemplo anterior, se distinguen tres rutas:



SISTEMA PROPUESTO

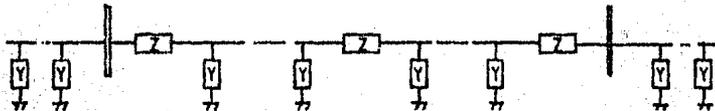
u se definirían de la siguiente forma:

Ruta	Elementos que la componen
R1	B1 - G1 - T1 - L1 - T2 - G2 - B2
R2	B1 - T3 - L2 - C1 - B3
R3	B3 - L3 - T4 - B2

Así, el sistema crea los puntos intermedios necesarios (en forma similar al método tradicional) pero esto es transparente al usuario.

En general, una ruta se puede representar como:

Forma general de una ruta



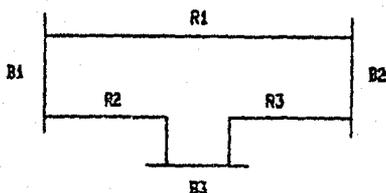
Cabe aclarar que un bus puede tener asociados a él, una serie de elementos paralelo (motores, generadores, etc) que no forman parte de la ruta, pero se incluyen por claridad.

Así una red se puede representar con 3 objetos básicos:

- Bus: Extremo de una ruta; puede tener asociados a él un sinnúmero de elementos paralelo.
- Elemento: dispositivo que está interconectado a la red, puede ser serie (tiene dos puntos de conexión) o paralelo (sólo tiene un punto de conexión libre y el otro se asume referencia).
- Ruta: Conjunto de elementos interconectados entre un bus origen y un bus destino.

SISTEMA PROPUESTO

Tomando estos conceptos en cuenta, la red para nuestro sistema sería:



y asociados a los buses se tienen los siguientes elementos paralelo:

Bus	Elemento paralelo
B1	G1
B2	G2
B3	C1

6.3 PARTES DEL SISTEMA

El sistema consta principalmente de tres bloques funcionales básicos: (a) Editor, (b) Análisis y (c) Topología. El usuario sólo trabaja en modo EDITOR o en modo ANALISIS y puede cambiar de uno a otro libremente. Todos los demás módulos son transparentes al usuario.

6.3.1 Editor

Esta es la parte del sistema con la que el usuario tendrá mayor interacción. A través de este bloque se describirá el SEF a partir del diagrama unifilar y se especificarán las características de cada uno de los elementos que lo componen.

SISTEMA PROPUESTO

Por lo general, para otros sistemas de cómputo se requiere especificar y dar nombre a cada uno de los nodos del diagrama. De esa forma, el número de nodos (y de datos) se incrementa conforme aumenta el número de elementos en la red. En nuestro caso, el diagrama se especificará por medio de rutas, es decir, sólo tendrán que numerarse los buses y todos aquellos elementos que se encuentran entre uno y otro. El sistema se encargará de localizar todos los nodos no especificados, es decir, los nodos entre cada uno de los elementos de la ruta. Así pues, si se desea agregar un elemento, sólo tendrán que especificarse sus características (datos de placa) y en que ruta se ha añadido, ahorrándose la especificación del nuevo nodo generado con la añadidura.

El EDITOR no sólo sirve para especificar una red nueva, también permite consultar y modificar las características de la red, de una ruta y de un elemento determinado. Este módulo solicita los datos según el tipo de estudio a realizar, y si se desea cambiar el tipo de estudio, sólo será necesario agregar aquellos datos que no se dieron al efectuar el estudio inicial.

6.3.2 Análisis

Este es el bloque que efectúa los cálculos generales que se requieren para cualquier tipo de estudio. Su primera función es analizar la configuración de la red para determinar si todas las ramas están completas.

Una vez completa la red, se procede a encontrar todos los nodos del sistema. Se optó por encontrar los nodos, y no por encontrar la impedancias equivalentes por rama, ya que aquello permite mayor versatilidad aun cuando las matrices se hagan más grandes. Una vez determinados los nodos, se "construye" el diagrama de impedancias del cual, posteriormente, se obtiene la matriz de incidencia.

Recuérdese también que se puede interrumpir el proceso en cualquier momento, pasar al EDITOR y agregar una nueva ruta. El módulo de ANALISIS se encarga de hacer las modificaciones pertinentes a los renglones y columnas de las matrices que se ven afectadas.

Con la matriz de incidencia se procede a formar la matriz Z_{bus} (directamente) o la matriz Y_{bus} (por inspección) según sea el caso de corto circuito o flujos de carga, respectivamente. Los resultados, relativos al punto de estudio, aparecerán en pantalla y serán almacenados en la base de datos.

SISTEMA PROPUESTO

6.3.3 Topología

Este bloque está constituido por un conjunto de rutinas que permiten el empleo de la base de datos en que se almacenó el SEP en estudio. Si bien el EDITOR nos permite especificar las características de los elementos, es TOPOLOGIA quien se encarga de abrir cerrar y modificar los archivos donde realmente queda almacenada la topología de la red.

En la fase de diseño de este módulo se determinó que un manejador de bases de datos daría mayor flexibilidad al sistema. Sin embargo, el Centro de Cálculo de la Facultad de Ingeniería (CECAFI) no cuenta con uno, de manera que fue necesario implementarlo acorde a nuestras necesidades.

Este módulo, aunque transparente para el usuario, es el que se encarga de dar forma a los archivos para que el EDITOR pueda llevar a cabo sus funciones de edición y consulta, además, para que ANALISIS tenga la información debidamente ordenada para efectuar sus cálculos. En pocas palabras, TOPOLOGIA es la lisa que une estos bloques del sistema.

Si recordamos, se establece entre las características del sistema que la configuración de la red del SEP queda guardada en un medio de almacenamiento masivo. Es TOPOLOGIA quien se encarga de cumplir este requisito al guardar la información introducida a través del EDITOR y ANALISIS en los diferentes archivos de la base de datos que para ello se han destinado. Estos archivos quedan almacenados en disco hasta que el usuario, explícitamente, los borra. Esto quiere decir que el usuario puede utilizar varias veces la misma red para diferentes análisis o guardar sus características para análisis futuros.

6.3.4 Módulos Auxiliares

El sistema cuenta, además, con tres módulos auxiliares: AYUDA, CALCULOS y PANTALLA/TECLADO.

SISTEMA PROPUESTO

6.3.4.1 Ayuda

Es un conjunto de rutinas que proporcionan información al usuario y que pueden ser llamadas por ANALISIS o EDITOR. Este módulo hace uso exhaustivo de las rutinas del módulo de manejo de PANTALLA/TECLADO. Gracias a este módulo se puede desplegar en pantalla información de ayuda en caso de duda, cuando el usuario lo solicite.

6.3.4.2 Cálculos

El módulo de CALCULOS es un conjunto de rutinas que se encargan de realizar los cálculos necesarios para cada tipo de estudio. Si se desea conocer la corriente de corto circuito en un bus determinado, es en este momento cuando una rutina toma la matriz Z_{bus} formada por ANALISIS y la utiliza para hacer todas las operaciones necesarias para llegar al resultado. De esta manera, se llevan a cabo sólo aquellos cálculos necesarios para el tipo de estudio ahorrando tiempo de cálculo.

Cuando se pide un resultado específico por primera vez, CALCULOS realiza el cálculo del mismo y almacena el resultado en la base de datos (TOPOLOGIA). Posteriormente, al solicitar un resultado específico, el módulo busca en TOPOLOGIA si ya se efectuó dicho cálculo. En caso afirmativo, sólo despliega el resultado; en caso negativo, se lleva a cabo el cálculo. Esto se debe a que por la forma matricial de trabajar el problema, se obtienen varios resultados simultáneamente que al ser almacenados en la base de datos, pueden buscarse posteriormente sin tener que recalcularlos.

6.3.4.3 Pantalla/Teclado

Este módulo permite la interfaz del usuario con el sistema. En un principio se pretendía utilizar el manejador de formas (FMS: Forms Management System) con que cuenta la computadora del Centro de Cálculo de la Facultad de Ingeniería; sin embargo, éste no presenta todas las características que el sistema requiere, como son:

- Posibilidad para manejo de formas simultáneas
- Capacidad de decodificación de teclado en forma interruptiva.

SISTEMA PROPUESTO

Por lo anterior, fue necesario crear una serie de rutinas para satisfacer dichas necesidades. Estas rutinas son:

- 1) KB: Permite la detección interruptiva del teclado.
- 2) SCR: Manejador de formas para el control de menús, diálogo con el usuario y despliegue de texto.
- 3) SCAN: Rutinas que interpretan y validan los datos del usuario.
- 4) FMS: Rutinas para aprovechar las capacidades del manejador de formas de la computadora del Centro de Cálculo.

6.4 PROBLEMAS DE APLICACION

A través de los siguientes ejemplos se muestra la manera de introducir los datos y de obtener los resultados al correr el programa, tanto para un problema de corto circuito, como de flujos de carga.

6.4.1 Problema De Corto Circuito

El sistema eléctrico a analizar es el de la figura 2.1 que se repite aquí para mayor claridad:

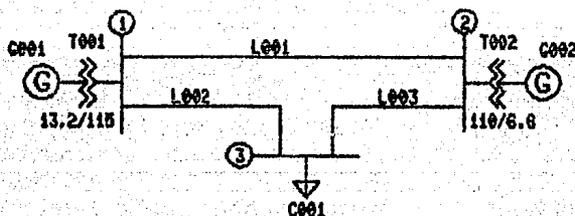


Figura 6.1

SISTEMA PROPUESTO

Los datos de los elementos que constituyen el sistema son:

Generador G001

50 MVA
13.8 KV
X1=J0.30
X2=J0.30
X0=J0.15

Generador G002

50 MVA
6.6 KV
X1=J0.40
X2=J0.40
X0=J0.60

Transformador T001

50 MVA
13.2/115 KV
X1=J0.10
X2=J0.10
X0=J0.10

Transformador T002

50 MVA
6.6/110 KV
X1=J0.10
X2=J0.10
X3=J0.10

Línea L001

Z1=10+J40 ohms
Z2=10+J60 ohms
Z0=37+J193.8 ohms

Línea L002

Z1=10.7+J40 ohms
Z2=10.7+J40 ohms
Z0=24.7+J125.8 ohms

Línea L003

Z1=5.3+J20 ohms
Z2=5.3+J20 ohms
Z0=12.3+J68 ohms

Suponiendo que ocurre un corto circuito monofásico en el bus 2 se calcularán las contribuciones de corriente de los buses adyacentes.

6.4.2 Solución

El primer paso en la solución del problema es indicarle al programa el nombre de la red a estudiar y el tipo de estudio a realizar; en este caso un estudio de corto circuito monofásico. Ato seguidor se introducen con ayuda de las formas de captura, los datos correspondientes a los diferentes elementos de la red. El orden en que se introducirán los datos es: bus origen, elementos paralelo, elementos serie y bus destino (para cada una de las rutas).

SISTEMA PROPUESTO

La primera pantalla es la 'portada' del sistema:

DISEÑO AUXILIADO POR COMPUTADORA DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

Realizado por:

Adrian Alvarez Martinez
Craig McComb Snader Gonzalez

CECAFI

Version 1.00 - 1988

A continuación se muestra el menú Principal del sistema:

MENU PRINCIPAL	
NOVORE DE RED:	Identificar la red de trabajo.
TIPO ESTUDIO:	Seleccionar el tipo de estudio a realizar.
AGREGAR RUTAS:	Agregar rutas a la red de trabajo.
CONSULTAR RED:	Consultar la red de trabajo.
ANALIZAR RED:	Analizar los resultados del estudio efectuado.
SALIR A DCL:	Terminar la sesioX'n de trabajo.

Las siguientes formas corresponden a las pantallas de captura de los elementos de la red de la figura 6.1.

SISTEMA PROPUESTO

Pantalla de entrada de datos del generador G001:

IDENTIFICACION: GENERADOR A		GENERADOR: G001		CONEXION (Y/D): Y	
Z1 = 0.0	+ 0.3	J	(ohm/pu)	V = 13.8	KV
Z2 = 0.0	+ 0.3	J	(ohm/pu)	S = 50.6	MVA
Z0 = 0.0	+ 0.15	J	(ohm/pu)		
ZN =	+	J	(ohm/pu)		

Valores en p.u. (S/N)? N V base = KV S base = MVA
 Estan correctos los datos (S/N)?

Los datos se van proporcionando en los diferentes campos destinados para ello. Una vez proporcionado el dato, se oprime la tecla <return> para pasar al siguiente campo. Si se cometiera un error al introducir los datos, se puede mover el cursor de campo en campo de manera que se pueda regresar a corregir la informacion equivocada.

Ya que se han dado todos los datos, se nos pregunta, a manera de confirmacion, si estos son todos correctos. En caso afirmativo, se teclan una S para proseguir con el proceso. En caso contrario, nos permite regresar a los campos respectivos para corregir los errores.

Las pantallas para la introduccion de los datos de los demas elementos se muestran a continuacion:

Pantalla de entrada de datos del generador G002:

IDENTIFICACION: GENERADOR B		GENERADOR: G002		CONEXION (Y/D): Y	
Z1 = 0.0	+ 0.4	J	(ohm/pu)	V = 6.6	KV
Z2 = 0.0	+ 0.4	J	(ohm/pu)	S = 50.6	MVA
Z0 = 0.0	+ 0.6	J	(ohm/pu)		
ZN =	+	J	(ohm/pu)		

Valores en p.u. (S/N)? N V base = KV S base = MVA
 Estan correctos los datos (S/N)?

SISTEMA PROPUESTO

Pantalla de entrada de datos de la línea L001:

LINEA DE TRANSMISION: L001
IDENTIFICACION: LINEA 1 A 2

Z1 = 16.0	+ 60.0	J (ohm/pu)
Z2 = 16.0	+ 60.0	J (ohm/pu)
Z0 = 37.0	+ 193.8	J (ohm/pu)

Longitud = 1.0 Km

Valores en p.u. (S/N)?: N V base = KV S base = MVA
Estan correctos los datos (S/N)?:

Pantalla de entrada de datos de la línea L002:

LINEA DE TRANSMISION: L002
IDENTIFICACION: LINEA 1 A 3

Z1 = 10.7	+ 40.0	J (ohm/pu)
Z2 = 10.7	+ 40.0	J (ohm/pu)
Z0 = 24.7	+ 125.8	J (ohm/pu)

Longitud = 1.0 Km

Valores en p.u. (S/N)?: N V base = KV S base = MVA
Estan correctos los datos (S/N)?:

Pantalla de entrada de datos de la línea L003:

LINEA DE TRANSMISION: L003
IDENTIFICACION: LINEA 2 A 3

Z1 = 5.3	+ 20.0	J (ohm/pu)
Z2 = 5.3	+ 20.0	J (ohm/pu)
Z0 = 12.3	+ 66.8	J (ohm/pu)

Longitud = 1.0 Km

Valores en p.u. (S/N)?: N V base = KV S base = MVA
Estan correctos los datos (S/N)?:

SISTEMA PROPUESTO

Pantalla de entrada de datos del transformador T001:

TRANSFORMADOR DE VOLTAJE: T001			
IDENTIFICACION: TRANS. A			CONEXION (Y/D)?: D - Y
Z1 = 0.0	+ 0.1	(ohm/pu)	V prim = 13.2 KV
Z2 = 0.0	+ 0.1	(ohm/pu)	V sec = 135.0 KV
Z0 = 0.0	+ 0.1	(ohm/pu)	S = 50.0 MVA
Zn prim =	+	(ohm/pu)	
Zn sec = 0.0	+ 0.0	(ohm/pu)	
Valores en p.u. (S/N)?: N		V base =	KV G base = MVA
Estan correctos los datos (S/N)?:			

Pantalla de entrada de datos del transformador T002:

TRANSFORMADOR DE VOLTAJE: T002			
IDENTIFICACION: TRANS. B			CONEXION (Y/D)?: Y - D
Z1 = 0.0	+ 0.11	(ohm/pu)	V prim = 110.0 KV
Z2 = 0.0	+ 0.11	(ohm/pu)	V sec = 6.6 KV
Z0 = 0.0	+ 0.11	(ohm/pu)	S = 50.0 MVA
Zn prim = 0.0	+ 0.0	(ohm/pu)	
Zn sec =	+	(ohm/pu)	
Valores en p.u. (S/N)?: N		V base =	KV G base = MVA
Estan correctos los datos (S/N)?:			

En el caso de las líneas de transmisión, las impedancias se piden en ohms/km. Dado que en este ejemplo el valor de impedancia dado es el total, se establece que la longitud de la línea es de 1 km.

Con la opción CONSULTAR RED se obtiene la descripción de la red, es decir, la interconexión de los elementos que la conforman. Se especifica el bus origen, el bus destino y todos los elementos que conforman la ruta entre ambos buses.

SISTEMA PROPUESTO

Pantalla de descripción de la topología de la red:

ORIGEN	DESTINO	ELEMENTOS QUE COMPONEN LA RUTA					
B000	B001	C001	T001	-	-	-	-
B000	B002	C002	T002	-	-	-	-
B001	B002	L001	-	-	-	-	-
B001	B003	L002	-	-	-	-	-
B002	B003	L003	-	-	-	-	-

Finalmente, al elegir la opción ANALIZAR RED obtenemos la pantalla que especifica las corrientes, voltajes y potencias de cada ruta. De esta pantalla, se puede escoger una ruta en particular y de ella obtener los valores de corriente, voltaje y potencia de cada uno de los elementos.

Pantalla de salida de resultados (general):

ORIGEN	DESTINO	I (AMP)	V (KV)	S (VA)
B000	B001	1.0345E+03	0.0000E+00	0.0000E+00
B000	B002	221.1183	79.2783	17.8299
B001	B002	110.4576	79.2783	8.7869
B001	B003	110.5888	89.7057	9.9205
B002	B003	110.5888	10.4265	1.1531

Aquí vemos las corrientes y voltajes en cada una de las rutas que conforman la red.

SISTEMA PROPUESTO

Pantalla de salida de resultados (Por ruta):

ELEMENTO	I (AMP)	V (KV)	S (KVA)
B002	1.2547E+03	0.0000E+00	0.0000E+00
L001	119.4079	79.2783	9.7885E+00
B003	0.0000E+00	79.2783	0.0000E+00

Aquí, se escogió la ruta que va del bus B002 al bus B003. Se obtienen los voltajes y corrientes de cada bus y de todos sus elementos; en este caso, la línea L001.

6.4.3 Problema De Flujos De Carga

Considerando el sistema eléctrico de la figura 6.2, hacer un análisis de flujos de carga tomando el bus B001 como el bus de compensación.

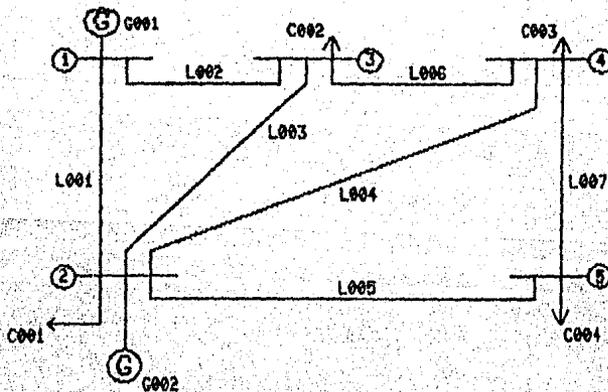


Figura 6.2

SISTEMA PROPUESTO

Los datos del problema son:

Bus Origen	Bus Destino	Impedancia Serie	Admittancia Paralelo
B001	B002	0.02+0.06J	0.0+0.030J
B001	B003	0.08+0.24J	0.0+0.025J
B002	B003	0.06+0.18J	0.0+0.020J
B002	B004	0.06+0.18J	0.0+0.020J
B002	B005	0.04+0.12J	0.0+0.015J
B003	B004	0.01+0.03J	0.0+0.010J
B004	B005	0.08+0.24J	0.0+0.025J

Los voltajes en los buses y las potencias de generación y de carga se muestran en la siguiente tabla:

Bus	Voltaje de Bus	Generación		Carga	
		MW	MVA	MW	MVA
B001	1.06+0.0J	0	0	0	0
B002	1.00+0.0J	40	30	20	10
B003	1.00+0.0J	0	0	45	15
B004	1.00+0.0J	0	0	40	5
B005	1.00+0.0J	0	0	60	10

Nótese que en este caso, los valores se darán en por unidad, a diferencia de los del ejemplo anterior, para demostrar la versatilidad del sistema y su compatibilidad con sistemas anteriores.

SISTEMA PROPUESTO

6.4.4 Solución

La primera pantalla es la 'portada' del sistema:

DISEÑO AUXILIADO POR COMPUTADORA DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

Realizado por:

Adrian Alvarez Martinez
Craig McComb Sneider Gonzalez

CECAFI

Version 1.00 - 1986

Nuevamente aparecerá el menú principal, por medio del cual se proporcionarán la identificación de la red y el tipo de estudio a realizar.

MENU PRINCIPAL	
NOMBRE DE RED:	Identificar la red de trabajo.
TIPO ESTUDIO:	Seleccionar el tipo de estudio a realizar.
AGREGAR RUTAS:	Agregar rutas a la red de trabajo.
CONSULTAR RED:	Consultar la red de trabajo.
ANALIZAR RED:	Analizar los resultados del estudio efectuado.
SALIR A DCL:	Terminar la sesio'n de trabajo.

S E L P O Y

Seleccione la opcion deseada del Menu.

MENU. Principal : F2: Ayuda ; ^: Sube Cursor ; v: Baja Cursor;RETURN; Elija ;FUN

SISTEMA PROPUESTO

A continuación se muestran algunas de las pantallas de captura de datos.

BUS: B001

IDENTIFICACION: COMPENSADOR

El sistema debe asignar los valores de P y Q requeridos (S/N): N

Pgen =	KW	Ogen =	KVar
Pcarga =	KW	Ocarga =	KVar

Valores en p.u. (S/N): S V base = 1.0 KV S base = 0.1 MVA

Estan correctos los datos (S/N):

LINEA DE TRANSMISION: L001

IDENTIFICACION: LINEA 1 A 2

Z = 0.02	+ 0.06	j (ohm/pu)
Yc = 0.0	+ 0.03	j (moh/pu)
Longitud = 1.0	KM	

Valores en p.u. (S/N): N V base = KV S base = MVA

Estan correctos los datos (S/N):

BUS: B002

IDENTIFICACION: BUS 2

El sistema debe asignar los valores de P y Q requeridos (S/N): N

Pgen = 40.0	KW	Ogen = 20.0	KVar
Pcarga = 30.0	KW	Ocarga = 10.0	KVar

Valores en p.u. (S/N): S V base = 1.0 KV S base = 0.1 MVA

Estan correctos los datos (S/N):

SISTEMA PROPUESTO

LINEA DE TRANSMISION: L002		
IDENTIFICACION: LINEA 1 A 3		
Z = 0.00	+ 0.24	j (ohm/pu)
Yc = 0.0	+ 0.025	j (moh/pu)
Longitud = 1.0	Ka	
Valores en p.u. (S/N)?: M V base =		KV S base = MVA
Estan correctos los datos (S/N)?:		

A continuacion se muestra la topologia de la red, obtenida al elegir la opcion 'CONSULTAR RED':

ORIGEN	DESTINO	ELEMENTOS QUE COMPONEN LA RUTA					
B001	B002	L001	-	-	-	-	-
B001	B003	L002	-	-	-	-	-
B002	B003	L003	-	-	-	-	-
B002	B004	L004	-	-	-	-	-
B002	B005	L005	-	-	-	-	-
B003	B004	L006	-	-	-	-	-
B004	B005	L007	-	-	-	-	-

Como resultado obtenemos los valores de potencia real, reactiva y aparente de cada ruta. Cada ruta está especificada por el bus de origen y el bus de destino:

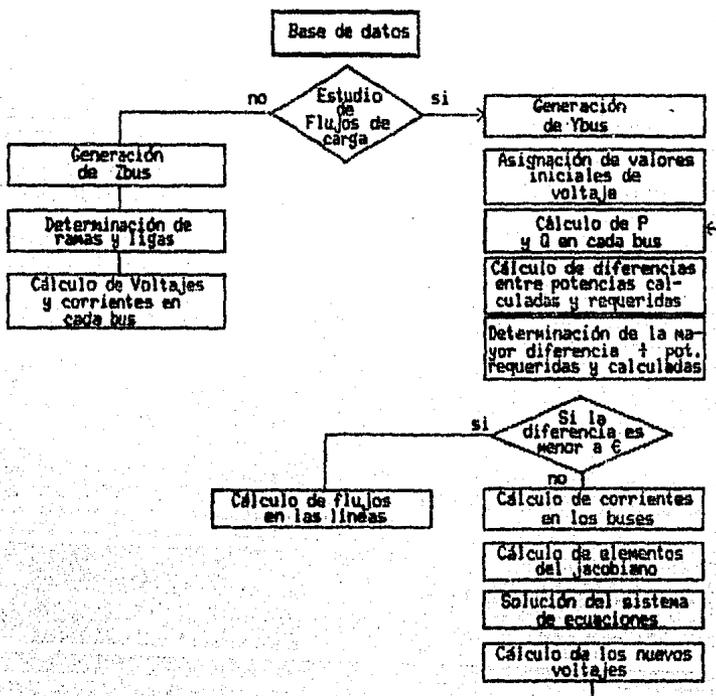
ORIGEN	DESTINO	P(KW)	Q(KVAR)	S(KVA)
B001	B002	88.8637E+03	-85.7935E+02	89.2769E+03
B001	B003	46.7230E+03	11.5843E+02	46.7395E+03
B002	B001	-87.4533E+03	61.4851E+02	87.6691E+03
B002	B003	24.6943E+03	35.4641E+02	24.9477E+03
B002	B004	27.9361E+03	29.6201E+02	28.0327E+03
B002	B005	54.8229E+03	73.4281E+02	55.3124E+03
B003	B001	-39.6310E+03	-36.1390E+02	39.6458E+03
B003	B002	-24.3428E+03	-67.8398E+02	25.2704E+03
B003	B004	18.8739E+03	-52.0194E+02	19.5776E+03

SISTEMA PROPUESTO

6.5 LISTADO DE LAS RUTINAS DE CALCULO DEL SISTEMA

El módulo de CALCULOS, por medio de las rutinas que lo constituyen y de la información almacenada en la base de datos, genera el modelo matemático que representa a la red en estudio, efectúa los cálculos y almacena los resultados en la base de datos. A continuación se presenta la estructura del módulo:

Estructura del módulo CALCULOS



A continuación se presentan los listados de las principales rutinas de cálculo que se utilizan en el sistema:

SISTEMA PROPUESTO

```

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!
!!!! NOMBRE
!!!! DEL SISTEMA : SELPOT / CALCULOS
!!!!
!!!! NOMBRE DE
!!!! LA Rutina : CALCULOS_INICIAL
!!!!
!!!! TIPO : Subrutina
!!!!
!!!! SINOPSIS : Esta rutina genera, a partir del archivo
!!!! que contiene la informacion relativa a la
!!!! matriz de incidencia de la red y del tipo
!!!! de estudio a realizar, la matriz de impe-
!!!! dancias de barra de secuencia positiva, -
!!!! nesativa y/o cero (en caso de estudios de
!!!! corto circuito) o la matriz de admittancias
!!!! de barra (para estudios de flujo de carga).
!!!!
!!!! PARAMETROS
!!!! DE ENTRADA :
!!!!
!!!! Parametro tipo Concepto
!!!!
!!!! ARCHIVO_MATIN C*50 Nombre del archivo que -
!!!! contiene la informacion
!!!! de los parametros de cada
!!!! elemento de la red en es-
!!!! tudio.
!!!! ESTUDIO I*4 Variable que indica el -
!!!! tipo de estudio a reali-
!!!! zar.
!!!!
!!!! 1 para corto cto trifasico.
!!!! 2 para corto cto monofasico.
!!!! 3 para flujos de carga.
!!!!
!!!! NUM_TOTAL_NODOS I*4 Numero de nodos que compo-
!!!! nen la red.
!!!! ZBUS_0 C*8(100,100) Matriz de impedancias de
!!!! barra de secuencia cero
!!!! de la red.
!!!! ZBUS_1 C*8(100,100) Matriz de impedancias de
!!!! barra de secuencia posi-
!!!! tiva de la red.
!!!! ZBUS_2 C*8(100,100) Matriz de impedancias de
!!!! barra de secuencia nesa-
!!!! tiva de la red.
!!!!
!!!! PARAMETROS
!!!! DE ENT/SAL :
!!!!

```


SISTEMA PROPUESTO

```

CHARACTER
1      DUMMY#1,
1      SECUENCIA#1

COMPLEX#8
1      Z_0(100),
1      Z_1(100),
1      Z_2(100),
1      YC(100),
1      ZBUS_0(100,100),
1      ZBUS_1(100,100),
1      ZBUS_2(100,100),
1      YC_BUS(100,100),
1      YBUS(100,100),
1      Z_AUX

INTEGER#4
1      NUM_TOTAL_ELEMENTOS_0,
1      NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1,
1      NUM_TOTAL_ELEMENTOS_2,
1      NUM_TOTAL_ELEMENTOS_3,
1      ORIGEN_0(100),
1      ORIGEN_1(100),
1      ORIGEN_2(100),
1      ORIGEN_3(100),
1      DESTINO_0(100),
1      DESTINO_1(100),
1      DESTINO_2(100),
1      DESTINO_3(100),
1      ORIGEN_AUX,
1      DESTINO_AUX,
1      NUM_TOTAL_NODOS,
1      ESTUDIO,
1      AUX,
1      I,
1      J

LOGICAL#1
1      HAY_DATOS,
1      RAMA(100),
1      MODIFICACION/.FALSE./

NUM_TOTAL_ELEMENTOS_0 = 0
NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1 = 0
NUM_TOTAL_ELEMENTOS_2 = 0
NUM_TOTAL_ELEMENTOS_3 = 0
OPEN (UNIT = DB_FCH_MATIN, FILE = DB_FN_MATIN, STATUS = 'OLD',
1     ORGANIZATION = 'INDEXED', ACCESS = 'SEQUENTIAL',
1     FORM = 'FORMATTED')

READ (UNIT = DB_FCH_MATIN, FMT = 10000)DUMMY,NUM_TOTAL_NODOS

```

SISTEMA PROPUESTO

```

HAY_DATOS = .TRUE.
DO WHILE (HAY_DATOS)
  READ ( UNIT = DR_FCH_MATIN, FMT = 20000, END = 100)
  1   SECUENCIA, ORIGEN_AUX, DESTINO_AUX, AUX, Z_AUX

  IF (SECUENCIA, EQ. '1') THEN
    NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1 = NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1 + 1
    ORIGEN_1(NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1) = ORIGEN_AUX
    DESTINO_1(NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1) = DESTINO_AUX
    Z_1(NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1) = Z_AUX
  ELSE
    IF (SECUENCIA, EQ. '2') THEN
      NUM_TOTAL_ELEMENTOS_2 = NUM_TOTAL_ELEMENTOS_2 + 1
      ORIGEN_2(NUM_TOTAL_ELEMENTOS_2) = ORIGEN_AUX
      DESTINO_2(NUM_TOTAL_ELEMENTOS_2) = DESTINO_AUX
      Z_2(NUM_TOTAL_ELEMENTOS_2) = Z_AUX
    ELSE
      IF (SECUENCIA, EQ. '0') THEN
        NUM_TOTAL_ELEMENTOS_0 = NUM_TOTAL_ELEMENTOS_0 + 1
        ORIGEN_0(NUM_TOTAL_ELEMENTOS_0) = ORIGEN_AUX
        DESTINO_0(NUM_TOTAL_ELEMENTOS_0) = DESTINO_AUX
        Z_0(NUM_TOTAL_ELEMENTOS_0) = Z_AUX
      ELSE
        NUM_TOTAL_ELEMENTOS_3 = NUM_TOTAL_ELEMENTOS_3 + 1
        ORIGEN_3(NUM_TOTAL_ELEMENTOS_3) = ORIGEN_AUX
        DESTINO_3(NUM_TOTAL_ELEMENTOS_3) = DESTINO_AUX
        YC(NUM_TOTAL_ELEMENTOS_3) = Z_AUX
      ENDIF
    ENDIF
  ENDIF
  IF (.FALSE.) THEN
    100 HAY_DATOS = .FALSE.
  ENDIF
ENDDO
CLOSE(DR_FCH_MATIN)
DO I = 1, NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1
  DO J = 1, NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1
    ZBUS_0(I,J) = CMPLX (0.,0.)
    ZBUS_1(I,J) = CMPLX (0.,0.)
    ZBUS_2(I,J) = CMPLX (0.,0.)
  ENDDO
ENDDO
GO TO(1000,2000,3000)ESTUDIO
!!!!!! SECUENCIA POSITIVA
!!!!!!
1000 CALL GENERA_ZBUS (
  1
  1
  1
  1
  1
  NUM_TOTAL_NODOS,
  NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1,
  ORIGEN_1,
  DESTINO_1,
  Z_1,

```

SISTEMA PROPUESTO

```
1 ZBUS_1,
1 MODIFICACION
1 )
GO TO 4000
!!!! SECUENCIA POSITIVA
!!!!
2000 CALL GENERA_ZBUS (
1 NUM_TOTAL_NODOS,
1 NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1,
1 ORIGEN_1,
1 DESTINO_1,
1 Z_1,
1 ZBUS_1,
1 MODIFICACION
1 )
```

```
!!!! SECUENCIA NEGATIVA
!!!!
CALL GENERA_ZBUS (
1 NUM_TOTAL_NODOS,
1 NUM_TOTAL_ELEMENTOS_2,
1 ORIGEN_2,
1 DESTINO_2,
1 Z_2,
1 ZBUS_2,
1 MODIFICACION
1 )
```

```
!!!! SECUENCIA CERO
!!!!
CALL GENERA_ZBUS (
1 NUM_TOTAL_NODOS,
1 NUM_TOTAL_ELEMENTOS_0,
1 ORIGEN_0,
1 DESTINO_0,
1 Z_0,
1 ZBUS_0,
1 MODIFICACION
1 )
GO TO 4000
```

```
!!!! YBUS
!!!!
3000 CALL GENERA_YBUS (
1 NUM_TOTAL_NODOS,
1 NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1,
1 ORIGEN_1,
1 DESTINO_1,
```

SISTEMA PROPUESTO

1
1
1
1
1
1
1

Z_1,
NUM_TOTAL_ELEMENTOS_3,
ORIGEN_3,
DESTINO_3,
YC,
YBUS

DO I = 1, NUM_TOTAL_ELEMENTOS_3
 YC_BUS(ORIGEN_3(I), DESTINO_3(I)) = YC (I)
 YC_BUS(DESTINO_3(I), ORIGEN_3(I)) = YC (I)

ENDDO

4000 CONTINUE

10000 FORMAT(A4)

20000 FORMAT(A,A4,A4,A4,2A4)

RETURN

END

SISTEMA PROPUESTO

```

1      ZBUS (100,100),
1      E(100)
LOGICAL*1
1      RAMA(100),
1      MODIFICACION

INTEGER*4
1      ORIGEN(100),
1      DESTINO(100),
1      REFERENCIA,
1      NUM_TOTAL_ELEMENTOS,
1      NUM_TOTAL_NODOS,
1      I

IF (MODIFICACION) THEN
DO I = 1, NUM_TOTAL_ELEMENTOS
    RAMA(I) = .FALSE.
ENDDO
ELSE
    CALL DETERMINA_RAMAS_D_LIGAS (
1      NUM_TOTAL_NODOS,
1      NUM_TOTAL_ELEMENTOS,
1      ORIGEN,
1      DESTINO,
1      RAMA
1
1      ENDIF
1      REFERENCIA = 1
1      DO I = 1, NUM_TOTAL_ELEMENTOS
1          CALL MODIFICA_ZBUS(
1      NUM_TOTAL_NODOS,
1      NUM_TOTAL_ELEMENTOS,
1      REFERENCIA,
1      ORIGEN(I),
1      DESTINO(I),
1      Z(I),
1      RAMA(I),
1      ZBUS
1
1      ENDDO
1      RETURN
1      END

```


SISTEMA PROPUESTO

```
NUM_TOTAL_RAMAS = NUM_TOTAL_NODOS - 1
```

```
I = 1
```

```
RAMA(1) = .TRUE.
```

```
NUMERO_RAMAS = 1
```

```
DO WHILE ( (NUMERO_RAMAS .LT. NUM_TOTAL_RAMAS) .AND.  
1 (I .LE. NUM_TOTAL_ELEMENTOS) )
```

```
    I = I + 1
```

```
    K = 1
```

```
    IF ( DESTINO(I) .NE. DESTINO(I-1) ) THEN
```

```
1    DO WHILE ( (K .LT. I) .AND.  
        (DESTINO(I) .NE. DESTINO(K)) )
```

```
        K = K + 1
```

```
    ENDDO
```

```
    IF ( K .EQ. I ) THEN
```

```
        RAMA(I) = .TRUE.
```

```
        NUMERO_RAMAS = NUMERO_RAMAS + 1
```

```
    ENDIF
```

```
ENDIF
```

```
ENDDO
```

```
RETURN
```

```
END
```

SISTEMA PROPUESTO

```

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!
!!!! NOMBRE
!!!! DEL SISTEMA : SELPOT / CALCULOS
!!!!
!!!! NOMBRE DE
!!!! LA RUTINA : MODIFICA_ZBUS
!!!!
!!!! TIPO : Subrutina
!!!!
!!!! SINOPSIS : Esta rutina incluye a la matriz de impedancias de barra-el elemento definido por los
!!!! parametros de entrada (Ver metodo en -
!!!! COMPUTER METHODS IN POWER SYSTEM ANALYSIS,
!!!! Staus and El-Abiad, pag 79).
!!!!
!!!! PARAMETROS
!!!! DE ENTRADA :
!!!!
!!!! Parametro tipo Concepto
!!!!
!!!! DESTINO I*4 Numero asociado al nodo destino del elemento
!!!! a incluir.
!!!! componen la red.
!!!!
!!!! NUM_TOTAL_NODOS I*4 Numero de nodos que
!!!! componen la red.
!!!!
!!!! NUM_TOTAL_ELEMENTOS I*4 Numero de elementos
!!!! componen la red.
!!!!
!!!! ORIGEN I*4 Numero asociado al nodo
!!!! origen del elemento
!!!! a incluir.
!!!!
!!!! RAMA L*1 Bandera que si es -
!!!! verdadera indica que
!!!! el elemento a agregar
!!!! debe considerarse como
!!!! una rama.
!!!!
!!!! REFERENCIA I*4 Numero asociado al
!!!! nodo de referencia.
!!!!
!!!! Z C*8(100) Valore de impedancia
!!!! del elemento que se
!!!! incluye.
!!!!
!!!! PARAMETROS
!!!! DE ENT/SAL :
!!!!
!!!! Parametro tipo Concepto
!!!!
!!!! ZBUS C*8(100,100) Matriz de impedancias
!!!! de barra de la red a
!!!! estudiar.
!!!!

```


SISTEMA PROPUESTO

```

1      REFERENCIA,
1      NUM_TOTAL_ELEMENTOS,
1      NUM_TOTAL_NODOS,
1      INDICE_LIGAS,
1      I,
1      CONT1,
1      CONT2
INDICE_LIGAS = 99
DO I = 1, NUM_TOTAL_NODOS
  IF(RAMA)THEN
    IF(ORIGEN .EQ. REFERENCIA)THEN
      IF(I .NE. DESTINO)THEN
        ZBUS(DESTINO,I) = CMPLX(0.)
        ZBUS(I,DESTINO) = CMPLX(0.)
      ELSE
        ZBUS(DESTINO,DESTINO) = Z
      ENDIF
    ELSE
      IF(I .NE. DESTINO)THEN
        ZBUS(DESTINO,I) = ZBUS(ORIGEN,I)
        ZBUS(I,DESTINO) = ZBUS(ORIGEN,I)
      ELSE
        ZBUS(DESTINO,DESTINO) = ZBUS(ORIGEN,DESTINO) + Z
      ENDIF
    ENDIF
  ELSE
    IF(ORIGEN .EQ. REFERENCIA)THEN
      ZBUS(INDICE_LIGAS,I) = - ZBUS(DESTINO,I)
      ZBUS(I,INDICE_LIGAS) = ZBUS(INDICE_LIGAS,I)
    ELSE
      ZBUS(INDICE_LIGAS,I) = ZBUS(ORIGEN,I)
      - ZBUS(DESTINO,I)
      ZBUS(I,INDICE_LIGAS) = ZBUS(INDICE_LIGAS,I)
    ENDIF
  ENDIF
ENDIF
ENDDO
IF(.NOT. RAMA)THEN
  IF(ORIGEN .EQ. REFERENCIA)THEN
    ZBUS(INDICE_LIGAS,INDICE_LIGAS) =
1      - ZBUS(DESTINO,INDICE_LIGAS) + Z
  ELSE
1      ZBUS(INDICE_LIGAS,INDICE_LIGAS)=
1      ZBUS(ORIGEN,INDICE_LIGAS) -
1      ZBUS(DESTINO,INDICE_LIGAS) + Z
  ENDIF
  DO CONT1 = 1, NUM_TOTAL_NODOS
    DO CONT2 = CONT1, NUM_TOTAL_NODOS
      IF( (CONT1 .NE. REFERENCIA).AND.
1      (CONT2 .NE. REFERENCIA) )THEN
1      ZBUS(CONT1,CONT2) = ZBUS(CONT1,CONT2)
1      - ( ( ZBUS(CONT1,INDICE_LIGAS)
1      * ZBUS(INDICE_LIGAS,CONT2) )

```

SISTEMA PROPUESTO

1

```
                                / ZBUS(INDICE_LIGAS,INDICE_LIGAS) )
ZBUS(CONT2,CONT1) = ZBUS(CONT1,CONT2)
ENDIF
ENDDO
ZBUS(INDICE_LIGAS,CONT1) = 0.
ZBUS(CONT1,INDICE_LIGAS) = 0.
ENDDO
ENDIF
RETURN
END
```

SISTEMA PROPUESTO

```

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!
!!!! NOMBRE
!!!! DEL SISTEMA : SELPOT / CALCULOS
!!!!
!!!! NOMBRE DE
!!!! LA Rutina : CALCULA_CORTO_CTO_TRIFASICO
!!!!
!!!! TIPO : Subrutina
!!!!
!!!! SINOPSIS : Esta rutina calcula, para el nodo pedido,
!!!! la magnitud de voltaje y de corriente al
!!!! ocurrir un corto-circuito trifasico a
!!!! tierra a traves de la impedancia ZF en el
!!!! nodo especificado.
!!!!
!!!! PARAMETROS
!!!! DE ENTRADA :
!!!!
!!!! Parametro tipo Concepto
!!!!
!!!! E_I C*8 Magnitud de voltaje en el
!!!! nodo a evaluar.
!!!!
!!!! E_P C*8 Magnitud de voltaje en el
!!!! nodo en falla.
!!!!
!!!! NODO_A_EVALUAR I*4 Numero asociado al nodo a
!!!! evaluar.
!!!!
!!!! NODO_EN_FALLA I*4 Numero asociado al nodo en
!!!! falla.
!!!!
!!!! Z..F C*8 Impedancia de falla a -
!!!! tierra en el nodo en falla.
!!!!
!!!! Z..I C*8 Impedancia del nodo a evaluar.
!!!!
!!!! Z..P C*8 Impedancia del nodo en -
!!!! falla.
!!!!
!!!! PARAMETROS
!!!! DE ENT/SAL :
!!!!
!!!! Parametro tipo Concepto
!!!!
!!!! - - -
!!!!
!!!! PARAMETROS
!!!! DE SALIDA :
!!!!
!!!! Parametro tipo Concepto
!!!!
!!!! E..F C*8 Magnitud de voltaje de
!!!! falla.
!!!!

```

SISTEMA PROPUESTO

```

!!!! I_F          C#8          Magnitud de corriente de      !!!!
!!!!                               falla.                    !!!!
!!!! ARCHIVOS                                          !!!!
!!!! EMPLEADOS   :   -----                            !!!!
!!!! RUTINAS                                          !!!!
!!!! EMPLEADAS   :   -----                            !!!!
!!!! HOST SYSTEM : VAX 11/780      VMS  V3.4           !!!!
!!!! LENGUAJE    : FORTRAN 77 con Extensiones de VMS   !!!!
!!!! DOCUMENTACION EXTERNA : Para mas informacion consulte el manual !!!!
!!!!                               tecnico.              !!!!
!!!! REALIZO     : Adrian Alvarez Martinez             !!!!
!!!!                               Craise M Snader Gonzalez !!!!
!!!!                               Febrero 1986.         !!!!
!!!!                               CECAFI                !!!!
!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

```

SUBROUTINE CALCULA_CORTO_CTO_TRIFASICO(
1
1      NODO_EN_FALLA,
1      NODO_A_EVALUAR,
1      Z_I,
1      E_I,
1      Z_P,
1      E_P,
1      Z_F,
1      E_F,
1      I_F
1
1      IMPLICIT NONE
1      INTEGER*4
1      NODO_EN_FALLA,
1      NODO_A_EVALUAR
1      COMPLEX*8
1      Z_I,
1      E_I,
1      Z_P,
1      E_P,
1      Z_F,
1      E_F,
1      I_F

```

```

I_F = CMPLX(0.,0.)
IF (NODO_A_EVALUAR .NE. NODO_EN_FALLA) THEN

```

SISTEMA PROPUESTO

```
      E_F = E_I - ( Z_I * E_P / (Z_F + Z_P) )  
ELSE  
      I_F = E_P / ( Z_F + Z_P )  
      E_F = Z_F * E_P / (Z_F + Z_P)  
ENDIF  
RETURN  
END
```


SISTEMA PROPUESTO

```

1          NODO_EN_FALLA,
1          NODO_A_EVALUAR
1  COMPLEX*8
1          Z_I_0,
1          Z_I_1,
1          Z_I_2,
1          E_I,
1          Z_P_0,
1          Z_P_1,
1          Z_P_2,
1          E_P,
1          Z_F,
1          E_F,
1          I_F,
1          DEN

```

```

I_F = CHPLX (0.,0.)
DEN = Z_P_0 + Z_P_1 + Z_P_2 + 3. * Z_F
IF(NODO_A_EVALUAR .NE. NODO_EN_FALLA)THEN
PRINT*, 'ZI1',Z_I_1,'ZI2',Z_I_2,'ZIO',Z_I_0
PRINT*, 'ZP1',Z_P_1,'ZP2',Z_P_2,'ZPO',Z_P_0
PRINT*, 'EI=',E_I,'EP=',E_P

```

```

E_F = E_I - E_P * ( (Z_I_0 + Z_I_1 + Z_I_2)/DEN )
ELSE
I_F = 3. * E_P / DEN
E_F = E_P * ( 3 * Z_F / DEN )
ENDIF
RETURN
END

```

SISTEMA PROPUESTO

```

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!
!!!! NOMBRE
!!!! DEL SISTEMA : SELPOT / CALCULOS
!!!!
!!!! NOMBRE DE
!!!! LA RUTINA : GENERA_YBUS
!!!!
!!!! TIPO : Subrutina
!!!!
!!!! SINOPSIS : Esta rutina genera la matriz de admitancias
!!!! de barra de la red descrita por los parame-
!!!! tros de entrada asi como del archivo que
!!!! contiene las características de cada uno de
!!!! los nodos que componen la red.
!!!!
!!!! PARAMETROS
!!!! DE ENTRADA :
!!!!
!!!! Parametro tipo Concepto
!!!!
!!!! ARCHIVO_PARANO C*50 Nombre del archivo que
!!!! contiene la informa-
!!!! cion de los parametros
!!!! de cada nodo de la red.
!!!!
!!!! DESTINO I*4 Vector que contiene
!!!! los numeros asociados
!!!! a los nodos destino
!!!! de los elementos que
!!!! componen la red.
!!!!
!!!! NUM_TOTAL_NODOS I*4 Numero de nodos que
!!!! componen la red.
!!!!
!!!! NUM_TOTAL_ELEMENTOS I*4 Numero de elementos
!!!! componen la red.
!!!!
!!!! ORIGEN I*4 Vector que contiene
!!!! los numeros asociados
!!!! a los nodos origen de
!!!! los elementos que
!!!! componen la red.
!!!!
!!!! Z C*8(100) Vector que contiene
!!!! los valores de impe-
!!!! dancias de los ele-
!!!! mentos que componen
!!!! la red.
!!!!
!!!! PARAMETROS
!!!! DE ENT/SAL :
!!!!
!!!! Parametro tipo Concepto
!!!!
!!!! - - -
!!!!

```


SISTEMA PROPUESTO

COMPLEX*8

```

1      Z(100),
1      Y(100),
1      YP(100),
1      YBUS (100,100),
1      YC(100)

```

INTEGER*4

```

1      UNIDAD,
1      ORIGEN(100),
1      DESTINO(100),
1      ORIGEN_1(100),
1      DESTINO_1(100),
1      NUM_TOTAL_ELEMENTOS,
1      NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1,
1      NUM_TOTAL_NODOS,
1      NODO_COMPENSADOR,
1      NUM_ITERACIONES,
1      NODO,
1      I,
1      J

```

LOGICAL*1

```

1      CONVERGE

```

REAL*4

```

1      V,
1      P,
1      Q

```

```

DO I = 1, NUM_TOTAL_NODOS
  Y(I) = CMPLX(0.0,0.0)
  YP(I) = CMPLX(0.0,0.0)

```

ENDDO

```

DO I = 1, NUM_TOTAL_NODOS
  DO J = 1, NUM_TOTAL_NODOS
    YBUS(I,J) = CMPLX(0.0,0.0)
  
```

ENDDO

```

DO I = 1, NUM_TOTAL_ELEMENTOS_1
  Y(ORIGEN_1(I)) = YC(I) + Y(ORIGEN_1(I))
  Y(DESTINO_1(I)) = YC(I) + Y(DESTINO_1(I))

```

ENDDO

```

!!!! MODIFICACION DE LAS ADMITANCIAS EN PARALELO
DO I=1,NUM_TOTAL_NODOS
  YP(I) = YP(I) + Y(I)

```

ENDDO

```

!!!! MODIFICACION DE LOS ELEMENTOS FUERA DE LA DIAGONAL PRINCIPAL
DO I=1,NUM_TOTAL_ELEMENTOS
  YBUS(ORIGEN(I),DESTINO(I)) = YBUS(ORIGEN(I),DESTINO(I)) -
    Z(I)**-1
  YBUS(DESTINO(I),ORIGEN(I)) = YBUS(ORIGEN(I),DESTINO(I))

```

ENDDO

SISTEMA PROPUESTO

!!!!

MODIFICACION DE LOS ELEMENTOS DE LA DIAGONAL PRINCIPAL

DO I=1,NUM_TOTAL_NODOS

DO J=1,NUM_TOTAL_NODOS

IF(I.NE.J)THEN

YBUS(I,I) = YBUS (I,I) - YBUS(I,J)

ENDIF

ENDDO

YBUS(I,I) = YBUS(I,I) + YP(I)

ENDDO

RETURN

END

SISTEMA PROPUESTO

```

!!!!
!!!!
!!!!
!!!! NOMBRE
!!!! DEL SISTEMA : SELPOT / CALCULOS
!!!!
!!!! NOMBRE DE
!!!! LA RUTINA : CALCULA_FLUJOS_DE_CARGA
!!!!
!!!! TIPO : Subrutina
!!!!
!!!! SINOPSIS : Esta rutina calcula, a partir de la ma-
!!!! triz de admitancias de barra, la magnitud
!!!! de voltaje, la potencia real y reactiva
!!!! de todos los nodos que constituyen la red
!!!! en estudio.
!!!!
!!!!
!!!! PARAMETROS
!!!! DE ENTRADA :
!!!!
!!!! Parametro tipo Concepto
!!!!
!!!! ARCHIVO_PARANO C*50 Nombre del archivo que
!!!! contiene la informacion
!!!! de los parametros de cada
!!!! nodo de la red.
!!!!
!!!! NUM_ITERACIONES I*4 Numero maximo de itera-
!!!! ciones a realizar.
!!!!
!!!! NUM_TOTAL_NODOS I*4 Numero de nodos que com-
!!!! ponen la red.
!!!!
!!!! NODO_COMPENSADOR I*4 Numero asociado al nodo
!!!! compensador.
!!!!
!!!! YBUS C*8(100,100) Matriz de admitancias de
!!!! barra de la red en estudio.
!!!!
!!!!
!!!! PARAMETROS
!!!! DE ENT/SAL :
!!!!
!!!! Parametro tipo Concepto
!!!!
!!!! E C*8(100) Vector de voltajes en cada
!!!! nodo de la red.
!!!!
!!!!
!!!! PARAMETROS
!!!! DE SALIDA :
!!!!
!!!! Parametro tipo Concepto
!!!!
!!!! CONVERGE L*1 Bandera que cuando es ven-
!!!! dadera indica que el meto-
!!!! do si converge en el nume-
!!!!

```


SISTEMA PROPUESTO

```

IMPLICIT NONE
INCLUDE 'SYS$SELPOT:DBFILES.DEC'
CHARACTER
1      TIPO*1
COMPLEX*8
1      E(100),
1      CORRIENTE(100),
1      YBUS(100,100),
1      Y_AUX

INTEGER*4
1      I,
1      J,
1      ITERACION,
1      NUM_ITERACIONES,
1      NUM_TOTAL_NODOS,
1      NODO_COMPENSADOR,
1      NODO

LOGICAL*1
1      BUSES_VOLTAJE_CONTROLADO/.FALSE./,
1      BUS_INTERCONEXION(100),
1      HAYOR_QUE_EPSILON,
1      HAY_DATOS,
1      CONVERGE

REAL*4
1      P_REQUERIDA(100),
1      Q_REQUERIDA(100),
1      POT_REAL(100),
1      POT_REACTIVA(100),
1      JACOBIANO(100,100),
1      DELTA_POT(100),
1      EPSILON,
1      V,
1      P,
1      Q

DO I = 1, NUM_TOTAL_NODOS
  BUS_INTERCONEXION(I) = .TRUE.
ENDDO
OPEN (UNIT = DB_FCH_PARAND, FILE = DB_FN_PARAND, STATUS = 'OLD',
1    ORGANIZATION = 'INDEXED', FORM = 'FORMATTED',
1    ACCESS = 'KEYED')
HAY_DATOS = .TRUE.
DO WHILE (HAY_DATOS)
  READ (UNIT = DB_FCH_PARAND, FMT = 10000,
1    END = 100)NODO,Y_AUX,V,P,Q,TIPO
  YBUS(NODO,NODO) = YBUS(NODO,NODO) + Y_AUX
  IF (NODO.NE.'1') THEN
    BUS_INTERCONEXION(NODO) = .FALSE.
    E(NODO) = V
  
```

SISTEMA PROPUESTO

```

P_REQUERIDA(NODO) = P
IF (NODO.NE.'2') THEN
  Q_REQUERIDA(NODO) = Q
ELSE
  BUSES_VOLTAJE_CONTROLADO = .TRUE.
ENDIF
ENDIF
IF (.,FALSE.) THEN
100  HAY_DATOS = .FALSE.
ENDIF
ENDDO
CLOSE (UNIT = DB_FCH_PARANO)
IF (.,NOT.BUSES_VOLTAJE_CONTROLADO) THEN
  CONVERGE = .TRUE.
  ITERACION = 0
  MAYOR_QUE_EPSILON = .TRUE.
  DO WHILE ( MAYOR_QUE_EPSILON .AND. CONVERGE .AND.
1      (ITERACION .LE. NUM_ITERACIONES) )
    CALL CALCULA_POT_REAL_Y_REACTIVA(
1      E,
1      YBUS,
1      NUM_TOTAL_NODOS,
1      NODO_COMPENSADOR,
1      POT_REAL,
1      POT_REACTIVA
1      )
    CALL DELTA_P_Y_Q(
1      NUM_TOTAL_NODOS,
1      NODO_COMPENSADOR,
1      POT_REAL,
1      POT_REACTIVA,
1      BUS_INTERCONEXION,
1      P_REQUERIDA,
1      Q_REQUERIDA,
1      EPSILON,
1      MAYOR_QUE_EPSILON,
1      DELTA_POT
1      )
    IF (MAYOR_QUE_EPSILON) THEN
      CALL CALCULA_CORRIENTES(
1      NUM_TOTAL_NODOS,
1      NODO_COMPENSADOR,
1      E,
1      POT_REAL,
1      POT_REACTIVA,
1      CORRIENTE
1      )

```

SISTEMA PROPUESTO

```
CALL CALCULA_JACOBIANO(  
1      NUM_TOTAL_NODOS,  
1      NODO_COMPENSADOR,  
1      E,  
1      POT_REAL,  
1      POT_REACTIVA,  
1      YBUS,  
1      CORRIENTE,  
1      JACOBIANO  
1      )  
  
CALL CALCULA_E_NUEVA(  
1      NUM_TOTAL_NODOS,  
1      NODO_COMPENSADOR,  
1      E,  
1      DELTA_POT,  
1      JACOBIANO,  
1      CONVERGE  
1      )  
  
ITERACION = ITERACION + 1  
ENDIF  
ENDDO  
ENDIF  
NUM_ITERACIONES = ITERACION  
10000 FORMAT(A4,2A4,A4,A4,A4,A)  
RETURN  
END
```

SISTEMA PROPUESTO

```

|||||
|||||
|||||
||||| NOMBRE
||||| DEL SISTEMA : SELPOT / CALCULOS
|||||
||||| NOMBRE DE
||||| LA RUTINA : CALCULA_POT_REAL_Y_REACTIVA
|||||
||||| TIPO : Subrutina
|||||
||||| SINOPSIS : Esta rutina proporciona los valores de po-
||||| tencia real y reactiva en los nodos que
||||| constituyen la red, a partir de la matriz
||||| de admitancias de barra y del vector de
||||| voltajes asociados.
|||||
||||| PARAMETROS
||||| DE ENTRADA :
|||||
||||| Parametro tipo Concepto
|||||
||||| E C*8(100) Vector de voltajes en cada
||||| nodo de la red.
||||| NUM_TOTAL_NODOS I*4 Numero de nodos que com-
||||| ponen la red.
||||| NODO_COMPENSADOR I*4 Numero asociado al nodo
||||| compensador.
||||| YBUS C*8(100,100) Matriz de admitancias de
||||| barra de la red en estudio.
|||||
||||| PARAMETROS
||||| DE ENT/SAL :
|||||
||||| Parametro tipo Concepto
|||||
||||| - - -
|||||
||||| PARAMETROS
||||| DE SALIDA :
|||||
||||| Parametro tipo Concepto
|||||
||||| POT_REACTIVA R*4(100) Vector de potencias reac-
||||| tivas en cada uno de los
||||| nodos de la red.
||||| POT_REAL R*4(100) Vector de potencias reales
||||| en cada uno de los nodos
||||| de la red.
|||||
||||| ARCHIVOS
|||||

```

SISTEMA PROPUESTO

```

!!!! EMPLEADOS : -----
!!!!
!!!! RUTINAS
!!!! EMPLEADAS : -----
!!!!
!!!! HOST SYSTEM : VAX 11/780      VMS 43.4
!!!!
!!!! LENGUAJE : FORTRAN 77 con Extensiones de VMS
!!!!
!!!!
!!!! DOCUMENTACION
!!!! EXTERNA : Para mas informacion consulte el manual
!!!!          tecnico.
!!!!
!!!! REALIZO : Adrian Alvarez Martinez
!!!!          Craise M Snader Gonzalez
!!!!          Febrero 1984.
!!!!          CECAFI
!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

```

SUBROUTINE CALCULA_POT_REAL_Y_REACTIVA(
1
1      E,
1      YBUS,
1      NUM_TOTAL_NODOS,
1      NODD_COMPENSADOR,
1      POT_REAL,
1      POT_REACTIVA
1      )

```

```

IMPLICIT NONE
COMPLEX*8
1      E(100),
1      YBUS(100,100)

INTEGER*4
1      I,
1      J,
1      NODD_COMPENSADOR,
1      NUM_TOTAL_NODOS

REAL*4
1      POT_REAL(100),
1      POT_REACTIVA(100)

J = NUM_TOTAL_NODOS
DO I = 1, NUM_TOTAL_NODOS
    POT_REAL(I) = 0.0
    POT_REACTIVA(I) = 0.0
ENDDO
NUM_TOTAL_NODOS=J
DO I = 1, NUM_TOTAL_NODOS

```

SISTEMA PROPUESTO

```
IF (I .NE. NODO_COMPENSADOR) THEN  
DO J = 1, NUM_TOTAL_NODOS
```

```
      POT_REAL(I) = POT_REAL(I) + REAL( E(I) ) *  
1      ( REAL( E(J) ) * REAL( YBUS(I,J) ) +  
1      AIMAG( E(J) ) * - AIMAG( YBUS(I,J) ) ) +  
1      AIMAG( E(I) ) *  
1      ( AIMAG( E(J) ) * REAL( YBUS(I,J) ) -  
1      REAL( E(J) ) * - AIMAG( YBUS(I,J) ) ) )
```

```
      POT_REACTIVA(I) = POT_REACTIVA(I) + AIMAG( E(I) ) *  
1      ( REAL( E(J) ) * REAL( YBUS(I,J) ) +  
1      AIMAG( E(J) ) * - AIMAG( YBUS(I,J) ) ) -  
1      REAL( E(I) ) *  
1      ( AIMAG( E(J) ) * REAL( YBUS(I,J) ) -  
1      REAL( E(J) ) * - AIMAG( YBUS(I,J) ) ) )
```

```
      ENDDO  
    ENDIF  
  ENDDO  
  RETURN  
END
```


SISTEMA PROPUESTO

```

1      JACOBIANO(100,100)
      J = 1

      !!!!   CALCULA LOS ELEMENTOS DE LA DIAGONAL PRINCIPAL DE   !!!!
      !!!!   LOS CUADRANTES DEL JACOBIANO                       !!!!

      DO I = 1, NUM_TOTAL_NODOS
        IF(I .NE. NODO_COMPENSADOR)THEN

          !!!!   PRIMER CUADRANTE DEL JACOBIANO                 !!!!

          JACOBIANO( J , J ) = REAL( E(I) ) * REAL( YBUS(I,I) ) -
1          AIMAG( E(I) ) * -AIMAG ( YBUS(I,I) ) +
1          REAL( CORRIENTE(I) )

          !!!!   SEGUNDO CUADRANTE DEL JACOBIANO                 !!!!

          JACOBIANO( J , (NUM_TOTAL_NODOS + J - 1) ) = REAL( E(I) )
1          * -AIMAG( YBUS(I,I) ) +
1          AIMAG( E(I) ) * REAL ( YBUS(I,I) ) +
1          AIMAG( CORRIENTE(I) )

          !!!!   TERCER CUADRANTE DEL JACOBIANO                 !!!!

          JACOBIANO( (NUM_TOTAL_NODOS + J - 1) , J ) = REAL( E(I) )
1          * -AIMAG( YBUS(I,I) ) +
1          AIMAG( E(I) ) * REAL ( YBUS(I,I) ) -
1          AIMAG( CORRIENTE(I) )

          !!!!   CUARTO CUADRANTE DEL JACOBIANO                 !!!!

          JACOBIANO( (NUM_TOTAL_NODOS + J - 1) ,
1          (NUM_TOTAL_NODOS + J - 1) ) =
1          - REAL( E(I) ) * REAL( YBUS(I,I) ) +
1          AIMAG( E(I) ) * -AIMAG ( YBUS(I,I) ) +
1          REAL( CORRIENTE(I) )

          J = J + 1
        ENDIF
      ENDDO
      L = 1

      !!!!   CALCULA LOS ELEMENTOS FUERA DE LA DIAGONAL PRINCIPAL   !!!!
      !!!!   DE LOS CUADRANTES DEL JACOBIANO                       !!!!

      DO I = 1 , NUM_TOTAL_NODOS
        IF ( I .NE. NODO_COMPENSADOR)THEN
          M = L + 1
          DO J = 1 + 1, NUM_TOTAL_NODOS

            !!!!   PRIMER CUADRANTE DEL JACOBIANO                 !!!!

            JACOBIANO( L , M ) = REAL( E(I) ) * REAL( YBUS(I,J) )

```

SISTEMA PROPUESTO

```

1          - AIMAG( E(I) ) * - AIMAG ( YBUS(I,J) )
      JACOBIANO( M , L ) = JACOBIANO( L , M )

      !!!!          SEGUNDO CUADRANTE DEL JACOBIANO          !!!!

      JACOBIANO( L , (NUM_TOTAL_NODOS + M - 1) ) =
1          REAL( E(I) ) * - AIMAG( YBUS(I,J) ) +
1          AIMAG( E(I) ) * REAL ( YBUS(I,J) )

      JACOBIANO( M , NUM_TOTAL_NODOS + L - 1 ) =
1          JACOBIANO( L , (NUM_TOTAL_NODOS + M - 1) )

      !!!!          TERCER CUADRANTE DEL JACOBIANO          !!!!

      JACOBIANO( (NUM_TOTAL_NODOS + L - 1) , M) =
1          REAL( E(I) ) * - AIMAG( YBUS(I,J) ) +
1          AIMAG( E(I) ) * REAL ( YBUS(I,J) )
      JACOBIANO( ( M - 1 + NUM_TOTAL_NODOS) , L ) =
1          JACOBIANO( (NUM_TOTAL_NODOS + L - 1) , M)

      !!!!          CUARTO CUADRANTE DEL JACOBIANO          !!!!

      JACOBIANO( (NUM_TOTAL_NODOS + L - 1) ,
1          (NUM_TOTAL_NODOS + M - 1) ) =
1          - REAL( E(I) ) * REAL( YBUS(I,J) ) +
1          AIMAG( E(I) ) * -AIMAG ( YBUS(I,J) )

      JACOBIANO( (NUM_TOTAL_NODOS + M - 1) ,
1          (NUM_TOTAL_NODOS + L - 1) ) =
1          JACOBIANO( (NUM_TOTAL_NODOS + L - 1) ,
1          (NUM_TOTAL_NODOS + M - 1) )

      M = M + 1
      ENDDO
      L = L + 1
      ENDIF
      ENDDO
      RETURN
      END

```


CAPITULO 7

CONCLUSIONES

7.1 RESPECTO A LOS SISTEMAS EXISTENTES

La necesidad de poder realizar estudios de diseño, simulación y comportamiento de sistemas eléctricos de potencia bajo diversas condiciones de operación así como las evaluaciones de los proyectos de expansión, han originado la elaboración e implementación de varios sistemas de cómputo.

Después de efectuar una evaluación de los sistemas existentes se detectaron los siguientes puntos

- La necesidad de transformar la representación de un SEP a un diagrama de impedancias, realizar simplificaciones, referir los parámetros de los elementos empleados a valores en por unidad, son procedimientos que consumen mucho tiempo y los lleva a cabo un ingeniero.
- Los programas, en su mayoría, no son fáciles de usar, en general se requiere tener amplios conocimientos del equipo de cómputo. Los procedimientos son de tipo "batch" y no interactivos.
- Los datos de un programa no son compatibles con los datos de los otros, por lo que para cada estudio hay que modificar los datos para que concuerden con las necesidades de cada programa específico.
- Los resultados que se obtienen de un estudio, en general, se producen en listados muy grandes que hacen muy laboriosa su interpretación.
- Los algoritmos empleados para la formulación del modelo matemático en muchos de los sistemas existentes son ineficientes.

CONCLUSIONES

7.2 RESPECTO A NUESTRO SISTEMA

La solución que proponemos trata de evitar los problemas anteriormente expuestos, con las siguientes características:

- Se utilizan datos de placa y valores reales o en por unidad.
- De fácil empleo.
- Se trabaja con el diagrama unifilar y existe la alternativa de emplear el diagrama de impedancias.
- Para poder realizar varios tipos de estudio con el mismo programa y debido a la carencia de un manejador de bases de datos en la computadora VAX 11/780 con la que cuenta el Centro de Cálculo de la Facultad de Ingeniería (CECAFI), fue necesario diseñar ciertas estructuras para lograr la compatibilidad de los datos independientemente del tipo de estudio que se esté realizando.
- Se trabaja directamente con números complejos, por lo que no es necesario hacer simplificaciones que acarrearían errores.
- Por la forma modular en que fue diseñado es posible incluir, en el sistema, otros estudios como los de estabilidad. Esto se hace añadiendo directamente el módulo del nuevo estudio y agregando la opción en el menú principal.
- El concepto de rutas es innovador, ya que el trabajo rutinario lo realiza la computadora y no el ingeniero; es decir, el trabajo tedioso lo efectúa la máquina.
- Desarrollo de rutinas y utilitarias de uso general que se pueden utilizar en otros sistemas, concretamente para manejo de ayudas interactivas para el usuario y controles de pantalla y teclado.
- Dado que se trabaja con la impedancia compleja, los resultados que se obtienen son más exactos que los que obtienen otros sistemas que desprecian la resistencia y trabajan exclusivamente con la reactancia.

CONCLUSIONES

El sistema que proponemos presenta las siguientes desventajas:

- Los procedimientos de cálculo elegidos son, en general mejores a los que se emplean en muchos de los sistemas actuales, sin embargo, existen métodos alternativos, más rápidos y precisos, que no fueron implementados, pero podrían serlo.
- La transformación que se hace del diagrama unifilar al diagrama de impedancias no es tan eficiente como la que puede hacer un ingeniero con mucha experiencia y práctica, esto produce matrices de mayor orden pero pensamos que se justifica por liberar al ingeniero de hacer tal actividad en forma manual.
- Se podría mejorar el sistema añadiendo una interfaz gráfica. Sin embargo, debido que esta interfaz requiere de una terminal especializada, esta opción se encuentra fuera del alcance de este trabajo.
- Actualmente no cuenta con un módulo para la captura masiva de datos por procesos "batch", aunque se podrían desarrollar si se requiere.
- No cuenta con módulos de transformación directa de los archivos de datos que utilizan otros sistemas al formato empleado en nuestro sistema, sin embargo, se podrían desarrollar si se justifica su uso.
- El sistema genera, internamente, todos los nodos intermedios (buses de interconexión); sin embargo, se podrían incluir rutinas de compresión y descompresión de rutas para reducir el tamaño de las matrices.

7.3 GENERALES

Creemos que, a pesar de lo que se supone a veces, es posible desarrollar dentro de la U.N.A.M. sistemas de cómputo con características competitivas en el mercado nacional e internacional. Debido a esta suposición, los industriales en México prefieren importar sistemas de cómputo que bien podrían desarrollarse en México por profesionales y estudiantes de las diferentes instituciones de educación superior.

APENDICE A

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

El sistema que se presenta se desarrolló utilizando los principios de diferentes técnicas de programación tratando de aprovechar lo mejor de cada una de ellas. A continuación se presentan las características de dichas técnicas dando una visión general de sus ventajas y desventajas.

A.1 PASOS PARA RESOLVER UN PROBLEMA POR MEDIO DE LA COMPUTADORA DIGITAL

No existe realmente una metodología universal para la solución de problemas por medio de una computadora digital, sin embargo, la mayoría de los autores coinciden en los siguientes pasos:

- 1) **Análisis del problema:** Estudio de las características que se requieren, los datos que se proporcionan, los resultados que deben obtenerse y cómo deben obtenerse, su estructura e interacción con el usuario. Además, en esta etapa, se hace el estudio de los sistemas ya existentes (si los hay).
- 2) **Determinación de alternativas:** Se ponen por escrito todas las diferentes alternativas de solución que se presenten independientemente de su grado de dificultad o de que tan realizables sean. De esta forma se amplía el universo de soluciones y se tiene un panorama más amplio de los diferentes puntos de vista al respecto del problema original.
- 3) **Elección de la(s) mejor(es):** De todas las soluciones planteadas en la etapa anterior se selecciona la que mejor resuelva el problema o las que mejor resuelvan las diferentes partes del problema. La solución final suele ser una combinación de las soluciones iniciales.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

- 4) **Elaboración de un pseudocódigo:** El pseudocódigo es una técnica que consiste en utilizar un lenguaje cotidiano para hacer una descripción sencilla y clara de los pasos a seguir con el fin de hacerlos entendibles y facilitar su posterior codificación en algún lenguaje específico de alto nivel.
- 5) **Pruebas de escritorio del pseudocódigo:** Esta etapa consiste en seguir uno por uno los pasos del pseudocódigo para corregir sus errores y realizar todas las modificaciones que se planteen pertinentes a la hora de las pruebas. Este paso es indispensable pues es una pérdida de tiempo el codificar partes que no funcionen.
- 6) **Codificación:** Aquí se estudia el lenguaje de alto nivel cuyas características específicas ayudan en la codificación del pseudocódigo. Una vez elegido el lenguaje se procede a la codificación.
- 7) **Ejecución del programa con datos de prueba y evaluación de resultados:** En caso de que los resultados obtenidos no concuerden con los esperados, se regresa al pseudocódigo y se hacen pruebas de escritorio nuevamente. El proceso se repite hasta que se obtienen los resultados esperados.
- 8) **Producción:** Esta es la etapa final y es aquí donde se tiene el problema original realmente resuelto. A partir de este momento sólo resta darle mantenimiento al programa para corregir pequeños errores que aparecen con el tiempo o para añadir nuevas partes.

A.2 DISEÑO MODULAR

A.2.1 Generalidades

Se conoce como diseño modular a la división de un programa completo en varias rutinas o módulos. El problema que se presenta es cómo subdividir el problema en pequeñas partes, autosuficientes y, luego, cómo integrar todas estas partes en un programa funcional. El principio fundamental del diseño modular es crear rutinas o módulos que lleven a cabo una única función de manera que dicha función, si falla, sea fácilmente localizable y corregible.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

Los principios del diseño modular son:

- 1) Módulos que hagan referencia a datos comunes, deben ser submódulos de un mismo módulo de mayor jerarquía.
- 2) Dos módulos en los cuales uno utiliza al otro, pero no al revés, deben estar separados.
- 3) Las estructuras de datos utilizadas por un módulo deben ser parte formativa de dicho módulo.
- 4) Cada módulo debe llevar a cabo una única función.
- 5) Cada módulo debe ser lo más corto (pocas líneas) posible.
- 6) La función que realiza cada módulo debe ser lo más general posible para que pueda ser utilizado por cualquier otro módulo del programa.
- 7) Si la función que realiza un módulo es lo suficientemente general como para ser utilizada en otros programas, éste debe diseñarse de forma que pueda ser utilizado, sin modificaciones, en cualquier otro programa.
- 8) No se debe tratar de subdividir una tarea sencilla, es decir, no se debe exagerar en el diseño modular de un programa.

A.2.2 Ventajas

- Un módulo es más fácil de escribir, probar y depurar que un programa completo.
- Es posible que un módulo sea útil en varios programas distintos, particularmente si su función es general (decodificación de teclado, manejo de pantalla, etc.). De esta forma, se puede crear una biblioteca de rutinas de uso generalizado.
- Es más fácil incorporar cambios en un módulo que en un programa completo.
- Los errores son más fácilmente localizables pues cada módulo realiza una única función. Aquella función que falle, se debe al módulo que la realiza.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

- El diseño modular permite formarse una idea de cuánto se lleva avanzado y cuánto falta por hacer.

A.2.3 Desventajas

- Puede resultar un problema el reunir todos los módulos en un sistema funcional, particularmente si los módulos fueron elaborados por diferentes diseñadores.
- Se debe documentar perfectamente cada módulo ya que puede afectar otras partes del sistema, especialmente si modifica los datos o las estructuras de datos utilizadas por otros módulos.
- Probar y depurar un módulo por separado puede resultar difícil pues existe la posibilidad de que se necesite de otros módulos para producir los datos que requiere el módulo bajo prueba.
- Es difícil modularizar un programa. Un programa mal modularizado puede resultar difícil de integrar ya que un error puede involucrar varios módulos.
- El diseño modular consume más tiempo de desarrollo y más espacio en memoria ya que pueden existir módulos que dupliquen sus funciones.

Muchas de las desventajas de modularización, integración, prueba y depuración de los módulos pueden solventarse por medio de la programación estructurada y el desarrollo arriba-abajo (desarrollo descendente).

A.3 LA PROGRAMACION ESTRUCTURADA

A.3.1 Generalidades

Los programadores profesionales pasan mucho tiempo revisando programas escritos por ellos mismos o por otros. Dijkstra, creador del lenguaje Pascal, observó que del total del tiempo, el 70% se utiliza para correcciones o modificaciones de programas ya hechos, 15% para desarrollo de programas nuevos y el 15% restante para desarrollo de programas que, aunque ya existen, es más sencillo volverlos a hacer que corregirlos. Por lo tanto, suscitó la creación de una técnica más o menos convencional de programación que redujera lo más posible el tiempo de mantenimiento de los

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

sistemas. Esta técnica es, precisamente, la programación estructurada.

Puede parecer extraño el pensar en diseñar un sistema para que pueda ser corregido posteriormente, es como pensar en un sistema que será diseñado deliberadamente con errores. Nada más falso; normalmente se desarrollan programas para aplicaciones nuevas que parece que van a ser definitivos e inalterables. Sin embargo, la realidad es otra; conforme pasa el tiempo se van presentando nuevas situaciones que requieren de modificaciones a nuestros sistemas originalmente definitivos e inalterables. Si un programa es incapaz de ser modificado, entonces su inflexibilidad hace que caiga en desuso y se abandone al cabo de un tiempo. Debido a esto se fue viendo la importancia del mantenimiento de los sistemas; es decir, su adaptación continua a cambios tales como:

- 1) Aumento en el volumen de datos
- 2) Cambios en la organización del sistema
- 3) Cambios en los tipos de datos
- 4) Cambios o modificaciones en el propio equipo de cómputo
- 5) Cambios en los resultados que se necesitan, tanto en forma como en contenido
- 6) Etc.

Están lejos los tiempos en que se empleaba el término de programa "definitivo", en los que un programa compilado se usaba rutinariamente llegándose a olvidar (e incluso extraviar) el programa fuente original. Las modificaciones hay que esperarlas y, si no desearlas, por lo menos ser capaz de vivir con ellas.

Si un programa debe ser claro, inteligible y corto para que una persona lo comprenda y sea capaz de introducirle mejoras, todo ello de una forma fácil y sin repercusiones sobre el resto del programa; entonces éste debe presentar las siguientes características:

- 1) Ser secuencial, es decir, que la ejecución del programa no se disperse continuamente con "brincos" de arriba hacia abajo y de regreso. Dijkstra afirma que las bifurcaciones son una de las causas principales de errores de un programa y, además, lo hacen difícil de leer o seguir por otra persona que

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

no sea el programador.

- 2) Ser estructurado, es decir, que se pueda escribir un programa empleando exclusivamente las estructuras básicas: PROCESO SECUENCIAL, IF-THEN-ELSE y la iteración DO WHILE.
- 3) Ser lo más corto posible.
- 4) Ser fragmentado, es decir, un programa de dimensión considerable debe estar subdividido en pequeñas rutinas en las cuales se realice el menor número de operaciones posible buscando la mayor independencia de una rutina con respecto de otra.

Las ventajas son:

- Al ser secuencial, el programa se ejecuta a partir de 'un' principio y se concluye en 'un' final. El escribir un programa que no sea secuencial es como pensar en un libro cuyos renglones están todos revueltos, aunque sepamos en que orden deben ir, la atención se centra en buscar que renglón sigue de cual, en lugar de fijarse en lo que dice realmente el libro.
- Utilizando las estructuras mencionadas es fácil discriminar aquellas partes del programa que, dada una serie de condiciones, no intervienen en el proceso. Esto permite eliminar o incluir nuevas estructuras sin afectar el resto del programa. Además, como las estructuras son "anidables" es muy sencillo este proceso de eliminación o inclusión.
- Un programa corto implica, casi por necesidad, que éste se limita a hacer lo que debe y no que además sabe hacer otras funciones que no se requieren.
- El hacer que un programa sea modular (fragmentado) y que, además, cada módulo sea independiente de los otros permite que se puedan modificar, incluir o eliminar módulos sin afectar a los demás.

La programación estructurada no es otra cosa que un método de construcción de programas en el cual el rigor y la estructura reemplazan a la programación intuitiva y desorganizada. La estructura de un programa está determinada por las construcciones que se usan para dirigir el flujo de ejecución o control de un programa, es decir, el orden en que se deben ejecutar las instrucciones del

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

Programa. E. Yourdon en su libro Diseño estructurado define un programa como "una precisa y ordenada secuencia de instrucciones y agregados de instrucciones que, en total, definen, describen, dirigen o caracterizan la realización de alguna tarea".

Es importante recordar que mientras se está leyendo el listado de un programa de arriba hacia abajo, la ejecución del mismo puede llevarse de una manera muy diferente. Uno de los objetivos de la programación estructurada es tratar que el flujo de control se realice en forma tal que la secuencia de ejecución sea muy similar a la secuencia de lectura del programa. Esto impone al programador una disciplina muy rigurosa en términos de las estructuras que puede usar y, además, en la forma en que estas pueden ser usadas. Por lo tanto, cualquier programa que utilice correctamente y exclusivamente estas estructuras es, por definición, un programa estructurado.

A.3.2 Teorema De La Estructura

El teorema de la estructura enuncia que: Cualquier problema susceptible de ser representado por un programa de computadora digital se puede resolver siguiendo las siguientes reglas:

- 1) Utilizar sólo las figuras lógicas (estructuras) básicas:
 - SECUENCIA
 - IF-THEN-ELSE
 - DO WHILE
- 2) Es permisible "anidar" una figura dentro de cualquier otra.
- 3) Es permisible combinar unas con otras.
- 4) Debe tener solamente una entrada y una salida.
- 5) No debe romper la secuencia de ejecución.
- 6) Debe ser claro y lesible.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

A.3.3 Figuras Lógicas (estructuras)

- **SECUENCIA:** Es una instrucción o conjunto de instrucciones que no modifican o afectan el flujo de control de la ejecución de un programa.

Por ejemplo:

```
.  
.   
.   
READ(5,200) X,Y  
Z=X+Y  
WRITE(6,400) X,Y,Z  
.   
.   
.
```

La ejecución de estas instrucciones se realiza en forma secuencial, esto es, primero se ejecuta la instrucción READ, después se hace la operación $Z=X+Y$ y así secuencialmente hasta ejecutar la última instrucción.

- **IF-THEN-ELSE:** Es una instrucción que toma una decisión en base a una condición. El resultado de esta condición sólo puede ser verdadero o falso por lo que a la condición se le conoce como condición binaria o condición booleana en honor al matemático francés George Boole que estableció las reglas del álgebra binaria.

El formato es el siguiente:

```
IF (condición) THEN  
:  
SECUENCIA 1  
:  
ELSE  
:  
SECUENCIA 2  
:  
ENDIF
```

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

Dependiendo del resultado de la evaluación de la condición se ejecutará una u otra secuencia. El bloque de instrucciones de SECUENCIA 1 se ejecutará si el resultado es verdadero. Si el resultado es falso entonces se ejecutará el bloque de instrucciones de SECUENCIA 2.

Otra parte importante de esta estructura es el sangrado. Gráficamente se puede observar que SECUENCIA 1, es decir, el bloque de instrucciones que se encuentra sangrado entre el IF y el ELSE, se ejecuta cuando la evaluación de la condición resulta verdadera. De la misma manera, el bloque de instrucciones que se encuentra sangrado entre el ELSE y el ENDIF, es decir, SECUENCIA 2, se ejecutará cuando el resultado de la evaluación de la condición sea falso. Por esto, al ir leyendo el listado del programa se pueden identificar rápidamente los diferentes bloques que constituyen las diferentes partes de las estructuras.

- DO WHILE: Es una instrucción de iteración (repetición) condicional, esto es, una instrucción o conjunto de instrucciones se ejecutará repetidamente mientras una condición booleana se cumple. Antes de ejecutar el conjunto de instrucciones se evalúa la condición, si el resultado es verdadero entonces se ejecutan las instrucciones; si el resultado es falso entonces no.

El formato es el siguiente:

```
DO WHILE (condición)
:
:
SECUENCIA
:
:
ENDDO
```

La SECUENCIA se ejecutará mientras la condición se cumple. Es obvio que dentro de la secuencia de instrucciones se debe modificar el resultado de la evaluación de la condición, ya que, de lo contrario, el bloque se ejecutará indefinidamente convirtiéndose en un ciclo infinito.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

A.3.4 Ventajas

- La secuencia de operaciones es fácil de rastrear, lo cual permite la prueba y depuración sencilla del programa.
- El número de estructuras es limitado y la terminología se ha estandarizado.
- Las estructuras facilitan la modularización aumentando la independencia entre funciones.
- Según el teorema de la estructura, cualquier programa puede ser desarrollado utilizando únicamente las tres estructuras.
- Un programa estructurado se encuentra parcialmente autodocumentado y es muy legible.
- La experiencia ha demostrado que la programación estructurada incrementa la productividad de diseñadores y programadores.

A.3.5 Desventajas

- Sólo algunos lenguajes de alto nivel aceptan las estructuras directamente.
- Los programas estructurados son, por lo general, más lentos y ocupan más espacio en memoria.
- La limitación de tres estructuras provoca que algunas tareas específicas sean sumamente difíciles de implementar.
- Cuando se anidan más de tres estructuras, la lectura se hace difícil pues se confunden los principios y los finales de cada estructura anidada.
- Los programas estructurados consideran exclusivamente el flujo de control del programa y nada dicen sobre el flujo de datos.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

A.4 DESARROLLO DESCENDENTE

A.4.1 Generalidades

Tradicionalmente, los procesos se desarrollaban de abajo hacia arriba, es decir, se desarrollaban primero los módulos o rutinas de menor jerarquía o importancia, se probaban y se dejaban listos para su posterior integración en un solo programa. Esto trae algunos inconvenientes, como la necesidad de hacer pruebas inventando lógicas externas ficticias, además, al integrar los módulos se encontraba que algunos no se acoplaban con otros y se tenían que reconstruir y probar nuevamente.

El desarrollo descendente organiza al sistema como la estructura de un árbol de módulos, donde el módulo inicial es el que tiene el nivel más alto (la mayor importancia o jerarquía) de control lógico y, por lo tanto, se encarga de tomar las decisiones dentro del sistema y de pasar el control a los módulos de menor jerarquía. Este proceso se repite en todos los niveles durante todas las funciones del sistema. Lo anterior se consigue haciendo el desarrollo del sistema por módulos jerárquicamente del mayor al menor nivel lógico.

Combinando el desarrollo descendente con la programación estructurada se obtienen sistemas de gran modularidad en cuanto a estructuras y funciones, lo cual facilita su documentación y mantenimiento con lo que se incrementa la calidad. Es conveniente tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Desarrollar por completo las lógicas externas o de mayor jerarquía antes de continuar con las de menor nivel.
- Para probar las lógicas externas, cuando se haga referencia a algún módulo interno, colocar avisos de que ese módulo se desarrollará posteriormente. Con esto, aunque el módulo no exista, es seguro que la llamada a dicho módulo sigue la lógica correcta.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

A.4.2 Ventajas

- Se evita el tener que crear programas 'manejadores' ficticios para probar módulos ya que los módulos externos van proporcionando los datos que requieren sus módulos subsiguientes.
- Evita los problemas de acoplamiento al hacer llamadas a módulos ya que los módulos internos se van desarrollando como parte integral de todo el sistema, lo que facilita su prueba. Esto se debe a que el módulo externo es el que lleva el control.
- El programa adquiere la estructura de un árbol cuyas ramas se pueden manejar independientemente ya que cada una de ellas contiene estructuras completas.
- Permite relocalizar rutinas que se repiten.
- Se obtiene un sistema en el cual los módulos más críticos son los más probados porque sus datos los generan los módulos de más alto nivel y, a su vez, pueden generar los datos que requieren sus módulos subalternos.

A.4.3 Desventajas

- El programa desarrollado puede no tomar ventaja de módulos ya desarrollados con anterioridad para otros sistemas.
- Un módulo puede llegar a complicarse mucho, especialmente si este módulo debe funcionar en varias partes y en diferentes niveles del sistema.
- Los módulos desarrollados con esta técnica difícilmente son suficientemente generales para ser utilizados por otros programas.
- Los errores en el diseño descendente pueden tener efectos catastróficos, mientras que en el diseño ascendente los errores, generalmente, se limitan a un módulo.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

A.5 DESARROLLO POR PROTOTIPOS

Esta es una técnica de programación muy nueva que aunque parece fuera de lo convencional, presenta varias ventajas sobre los métodos tradicionales. El desarrollo por prototipos es un proceso (actividad, estudio o habilidad) para modelar los requerimientos del usuario en uno o más niveles de detalle. El diseñador desarrolla un sistema (prototipo) en menor escala del software descrito por los requerimientos del usuario. La versión prototipo hace factible el que el usuario vea la solución a sus necesidades y haga las correcciones correspondientes. Una vez anotadas las correcciones, el diseñador las lleva a cabo y genera un nuevo prototipo para que lo vea el usuario, el cual a su vez hace nuevas correcciones. Este proceso se lleva a cabo hasta que tanto el diseñador como el usuario se ponen completamente de acuerdo.

A.5.1 Ventajas

La principal ventaja del desarrollo por prototipos es que se tiene la capacidad de dar una respuesta rápida a los requerimientos del usuario. Proporciona usualmente, un sistema funcional que permite al usuario incorporar los cambios que su medio ambiente establece. Finalmente, el mantenimiento del sistema es una parte integral debido a que puede verse como la continuación del proceso de diseño.

A.5.2 Desventajas

Entre las desventajas de esta técnica están el empleo de elementos de hardware y software sofisticados, el requerir de usuarios y personal de sistemas muy capacitados y el que su eficiencia, medida en términos de tiempo de ejecución, es reducida. Sin embargo, es importante hacer notar que el objetivo del diseño por prototipos no es tanto la eficiencia de la solución, sino su efectividad.

A continuación se describen las herramientas que requiere el Desarrollo por Prototipos

- Sistemas interactivos (Sistema Operativo y hardware).
- Sistemas de Administración de información. Esto incluye Manejador de base de datos y uso de un Diccionario de datos.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE PROGRAMACION

- Software generalizado para entrada/salida. Utilerias que permitan definir rápidamente entradas y salidas de resultados.
- Lenguajes de muy alto nivel (4a Generación). Este tipo de lenguajes permite realizar con algunas líneas de código sistemas muy poderosos.
- Utilerias de documentación. Permiten almacenar, en línea, la documentación del usuario.
- Utilerias de uso generalizado. Esto reduce el código redundante que deberia escribir el usuario.

A.6 CONCLUSIONES

En suma, los programas desarrollados utilizando cualquiera de las técnicas de la programación deben ser:

- 1) Manejables: Debe ser fácil entender el sistema para saber como operarlo o realizar cambios.
- 2) Productivos: El tiempo que se ahorra durante el desarrollo, se puede aprovechar para la producción de resultados.
- 3) Confiables: El sistema debe producir los resultados esperados.
- 4) Flexibles: Debe permitir hacer cambios, inclusiones o eliminaciones sin afectar otras partes del sistema.
- 5) Modulares: Cada módulo debe encargarse de una operación específica y de manejar un número determinado de submódulos lo que facilita su prueba y depuración.
- 6) Mantenibles: Debe ser fácil realizar ajustes.
- 7) Documentados: Debe ser fácil elaborar la documentación que explique su funcionamiento y facilite la tarea de mantenimiento del sistema y la forma en que debe ser operado.

APENDICE B

BIBLIOGRAFIA

- Arrona Urres, Héctor Javier, et. al. "Sistema de información de la Sociedad de Exalumnos de la Facultad de Ingeniería." Tesis, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. 1985.
- Dahl; Dijkstra; Hoare. Structured Programming. USA: Academic Press, 1972.
- Desoer, Charles. Basic Circuit Theory. 1st ed. New York: McGraw-Hill, 1975.
- Elserd, Oile Insemar. Electric Energy Systems Theory: an introduction. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1971.
- IEEE. Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis. 1st ed. (IEEE Std 399-1980). USA, 1980.
- Juárez Madariaga, José Manuel. "Programas de computadora para la aplicación en sistemas eléctricos de potencia." Tesis. Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. 1985.
- Larson, Orland. Information System Prototyping: A Proven Approach for Effective Application Design and Development. Paper 3081, INTEREXBS, Washington, D. C. Baltimore Washington Regional Users Group.
- Levine G.; Guillermo. Introducción a la computación y a la programación estructurada. México: McGraw-Hill, 1984.

BIBLIOGRAFIA

- Pressman, Roder S. **Software Engineering: A Practitioners Approach.** 1st ed. New York: McGraw-Hill, 1982.
- Stass, Glenn W. **Computer Methods in Power System Analysis.** 9th ed. Tokio: International Student Edition, 1983.
- Stevenson D., William. **Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia..** 2da. ed. México, D. F.: McGraw-Hill, 1983.
- Viqueira Landa, Jacinto. **Redes Eléctricas primera parte.** 2da. ed. México, D. F.: Representaciones y Servicios de Ingeniería, 1973.
- Viqueira Landa, Jacinto. **Redes Eléctricas segunda parte.** 2da. ed. México, D. F.: Representaciones y Servicios de Ingeniería, 1973.
- Yourdon, Edward. **Managing the Structured Techniques.** Second edition. USA: Prentice Hall, 1979.

APENDICE C
REFERENCIAS

- [1] Dahl, Dijkstra, Hoare. Structured Programming. USA: Academic Press, 1972.
- [2] Juárez Madarissa, José Manuel. "Programas de computadores para la aplicación en sistemas eléctricos de potencia." Tesis. Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. 1985.
- [3] Stass, Glenn W. Computer Methods in Power System Analysis. 9th ed. Tokio: International Student Edition, 1983.
- [4] Stevenson D., William. Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia. 2da. ed. México, D. F.: McGraw-Hill, 1983.
- [5] Viqueira Landa, Jacinto. Redes Eléctricas segunda parte. 2da. ed. México, D. F.: Representaciones y Servicios de Ingeniería, 1973.
- [6] Yourdon, Edward. Managing the Structured Techniques. Second edition. USA: Prentice Hall, 1979.