

**PROGRAMA INTERACTIVO PARA MANEJO  
DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION  
(PRINDIS Versión 1.0)**

ING. MARCO MEDINA D.  
ING. CARLOS RIOFRIO R.  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA  
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

**RESUMEN.**

Se presenta una síntesis del trabajo realizado en la Ref. [1], que elabora un programa interactivo en Lenguaje C, que permite simular redes radiales de distribución de forma sistémica, tomando como base un sistema de coordenadas geográficas para ubicar los elementos de la red a partir de la subestación de distribución. Se hace una breve descripción de la modelación de los componentes y de los algoritmos de cálculo utilizados, se presenta además, algunas de las características y limitaciones del programa.

**ABSTRACT.**

This paper is a summary of the work presented in [1], where an interactive program developed in C is used for a systemic simulation of distribution radial networks, based on geographic coordinates to locate all system elements starting at the substation. The paper presents a brief description of the element models, and the algorithms used in the program. Some of the program characteristics and limitations are also discussed.

grama pueda ser usada como la entrada de otro. Con esta concepción, en la figura No. 1 se representa lo que podría denominarse el sistema de procesamiento de datos en Redes de Distribución Ref. [4], en lo que sigue se muestra una solución parcial al problema y que podría ser tomada como base para desarrollos futuros.

**2. REPRESENTACION DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION.**

**2.1 EL CONCEPTO DE BASE DE DATOS.**

Se entiende como Base de Datos de un Sistema de Distribución el conjunto ordenado de datos que permitan simular el comportamiento tanto para operación presente, así como proyectarlo hacia el futuro. La tecnología actual permite almacenar grandes cantidades de datos, y tener acceso a los mismos en tiempos muy pequeños. Los datos deben reflejar lo más fielmente al sistema que se trata de simular.

**1. INTRODUCCION.**

En un Sistema de Distribución de energía eléctrica para garantizar un adecuado servicio, es necesario considerar tres subsistemas básicos que son: el humano, el físico y el de apoyo, de entre los cuales, indudablemente el humano es el de mayor importancia, por ser éste el que, en definitiva, viabiliza y realiza cualquier acción sobre la parte física del sistema; sin embargo, cualquier decisión y posible acción, requiere y más aún en la actualidad, de elementos de apoyo que ayuden en la sistematización de la planificación, diseño y operación del mismo.

El uso de los computadores facilita esta tarea, por lo que se convierte en una herramienta indispensable, o por qué no decirlo, la única manera posible de manejar con racionalidad un sistema bastante complejo, por la interrelación de un número muy grande de variables.

Dentro del esquema planteado, y como uno de los elementos de apoyo en la parte técnica, se constituye como una solución eficiente el contar con una colección de programas de computadora para resolver los problemas de análisis, diseño; siempre y cuando se cuente con una sólida base de datos que refleje en lo posible la realidad de la red y que la salida de un pro-

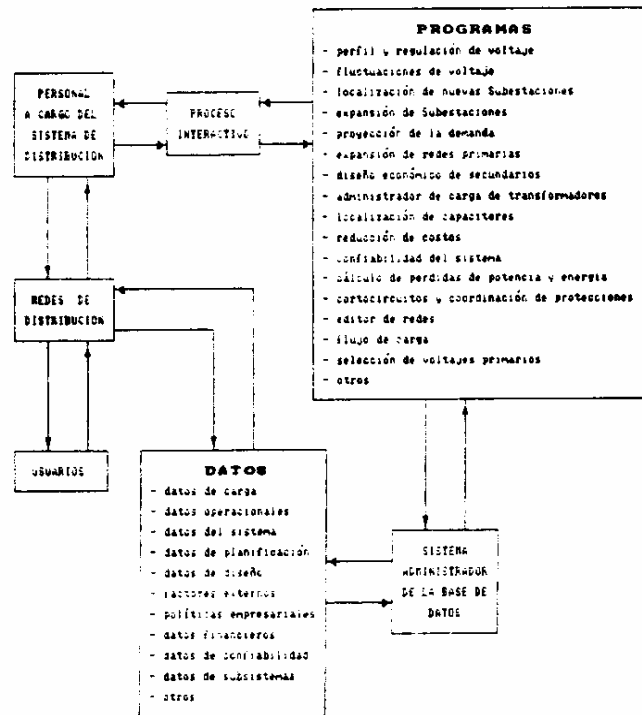


Fig. No. 1 SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DATOS EN REDES DE DISTRIBUCION

Como se puede observar en la figura No. 1, la Base de Datos juega un papel central en la operación como tal de un sistema. La idea fundamental estriba en la utilización conjunta de los mismos datos por el mayor número de aplicaciones posibles.

El sistema administrador de base de datos (DBMS) controla y coordina la estructura de la información, y provee la interfase necesaria entre los procesos que requieren acceder a los datos y los datos por sí mismos.

## 2.2 EL SISTEMA DE CUADRICULAS.

El Instituto Geográfico Militar dispone de la Carta Básica Nacional, que consiste en Hojas Topográficas a escalas 1:25.000, 1:50.000 y 1:100.000, las cuales están cuadriculadas con respecto a las coordenadas U.T.M. (Universal Transversa Mercator) para 10 km y 1 km. En la figura No. 2 se puede observar un esquema general de las hojas topográficas.

Para la representación de la red se utiliza un Sistema de Cuadrículas de 10 km x 1 km que permite de una manera sencilla codificar y localizar cada punto de una red de distribución en los mapas del I.G.M. a partir de un punto de referencia que es el extremo inferior izquierdo del Sistema.

El Sistema tiene una área de 260 km x 260 km, por lo que puede contener la información de cualquier Empresa Eléctrica del país. No se puede tomar en cuenta los puntos que están fuera de los límites del Sistema, razón por la cual al empezar a cuadricular es conveniente hacer que la región servida por la Empresa, esté dentro de los límites del Sistema.

Cada Empresa o región tiene su propio Sistema de Cuadrículas. Si se quiere analizar dos o más Empresas a la vez, entonces todos los datos de las mismas, deben estar en una Empresa común.

Para el código del punto (en este caso un Nodo) se tiene una expresión de 11 caracteres alfanuméricos, los cuales pueden ser sacados de los mapas de acuerdo con la siguiente nomenclatura:

Ay Ax Sy Sx - Y3 Y2 Y1 X3 X2 X1  
 Area Sector (menos) posición en posición en  
 el eje Y (m) el eje X (m)

En la figura No. 3 se puede observar el Sistema de Cuadrículas, el mismo que se divide en 676 Areas. Una Area es una superficie de 10 km x 10 km, y está especificada por Ay Ax que es un par de letras (A a la Z) que se pueden ver en el mapa general del Sistema. Ay es la letra del eje Y, y Ax es la letra del eje X del Area en que está el Nodo.

Cada Area a su vez se divide en 100 Sectores, que son superficies de 1 km x 1 km, y que se representan por Sy Sx que es un par de números (0 al 9). Sy es el número del eje Y, y Sx es el número del eje X del Sector.

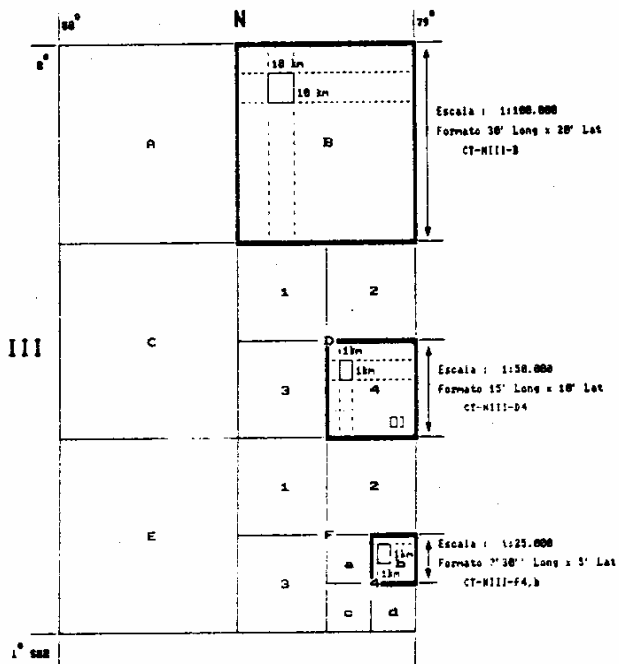


Fig. No. 2 HOJA TOPOGRAFICA CT-III (I.G.M.)

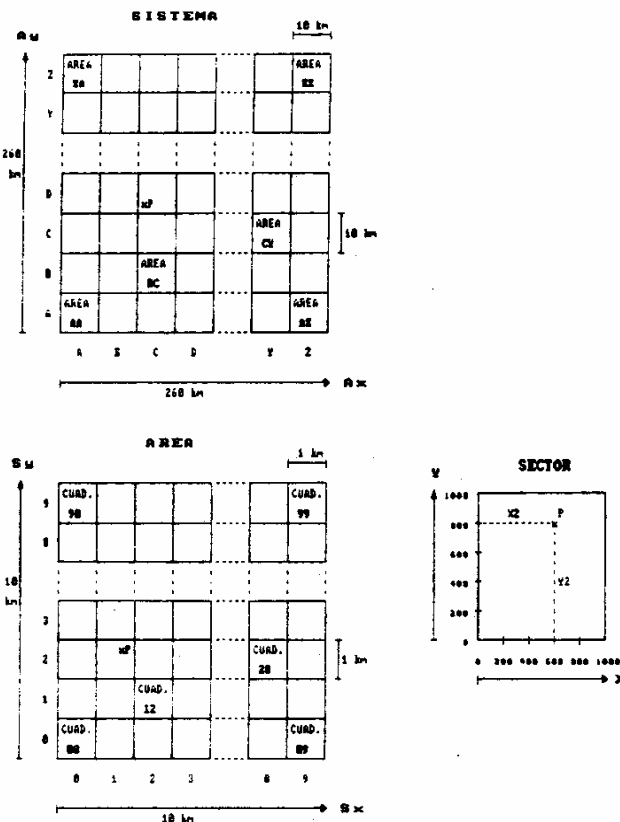


Fig. No. 3 SISTEMA DE CUADRICULAS

El mapa de un Sector generalmente tiene una escala de 1:5.000, en la cual se pueden medir directamente en metros las posiciones en el eje Y y el eje X de cualquier punto, con respecto al extremo inferior izquierdo del mapa.

Por ejemplo, el código del Nodo P es DC21-800600 ya que está a 800 m en el eje Y, y a 600 m en el eje X del Sector 21 de la Área DC.

El hallar estos códigos para cada uno de los Nodos de una Empresa Eléctrica puede resultar un trabajo tedioso. Sin embargo, se puede desarrollar programas de aplicación que realicen la entrada de datos y salida de resultados en forma gráfica, siendo esta la razón principal para utilizar el Sistema de Cuadrículas en el presente trabajo.

### 2.3 REPRESENTACION DE LOS ELEMENTOS DE LA RED.

Cada Línea, Regulador y Transformador está representado por los códigos del nodo de envío y de recepción, los mismos que sirven para definir al elemento, y conocer su localización dentro del Sistema de Cuadrículas.

### 3. MODELACION. Ref. [2] y [3]

Para la modelación de los elementos del Sistema de Distribución, la formulación del problema del flujo de carga y su solución, se utilizan las componentes de fase (A,B,C), porque los cálculos en las redes radiales de distribución son directos y sencillos.

El método más importante para el análisis de las condiciones en estado estacionario para un sistema trifásico desequilibrado es el estudio de flujos de potencia o flujos de carga trifásicos, ya que es posible considerar el desbalance tanto en las cargas como en las impedancias de las líneas, y además permite conocer:

- Voltajes, ángulos y desbalance de las fases A, B y C para cada uno de los puntos del sistema.
- Flujo de potencia activa y reactiva en los componentes del sistema. En este caso se presenta el flujo como corriente y ángulo en cada una de las fases, por ser de mayor interés para el estudio de los sistemas de distribución.
- Pérdidas en el sistema.
- Localización de líneas, reguladores y transformadores que permitan mejorar las condiciones de operación del sistema.
- Efecto que se produce en el sistema al cambiar los voltajes y localización de la barra de alimentación.
- Efecto de contingencias en los componentes del sistema.
- Efecto producido por el uso de condensadores y reguladores de voltaje.

- Efecto producido por el cambio o crecimiento de las cargas del sistema.
- Efecto producido por las transferencias de carga.

### 3.1 MODELO DE CARGA.

Se ha asumido un modelo de potencia constante para llegar a un proceso de iteración en el cálculo de corrientes y voltajes, de manera que, con pequeños cambios, puedan incorporarse modelos alternativos que consideren la variación de la carga en función de la tensión, para aplicaciones que requieran de modelos más sofisticados.

Se asume que todas las cargas son potencias complejas fijas ( $S = P + jQ$ ) por fase; además todas las cargas trifásicas están conectadas en Y con puesta a tierra y todas las cargas bifásicas y monofásicas están conectadas con la línea a un neutro con puesta a tierra.

Las corrientes de carga en los nodos se calculan por la expresión:

$$\begin{aligned} I_a &= (S_a / V_{an}) * \\ I_b &= (S_b / V_{bn}) * \\ I_c &= (S_c / V_{cn}) * \end{aligned} \quad (1)$$

donde:

$S_a, S_b$  y  $S_c$  son las potencias de las fases a, b y c.

$I_a, I_b$  y  $I_c$  son las corrientes de carga.

$V_{an}, V_{bn}$  y  $V_{cn}$  son los voltajes línea a neutro.

La modelación de cargas desequilibradas es cuando  $S_a, S_b$  y  $S_c$  tienen valores diferentes e incluso cero, que indica la ausencia de la fase respectiva, siendo esta la forma como se modelan las cargas bifásicas y monofásicas.

### 3.2 MODELO DE LINEAS.

En un Sistema de Distribución no se tiene las corrientes trifásicas equilibradas debido a que existe un gran porcentaje de cargas monofásicas y en menor parte cargas bifásicas, que hacen que el sistema no sea balanceado. A esto hay que añadir que las líneas de distribución no son transpuestas, ni tampoco se puede suponer que la disposición de los conductores sea un triángulo equilátero.

Debido a las razones anteriores, para calcular las impedancias de las líneas se utilizan las ecuaciones de Carson por ser un método más preciso. Estas ecuaciones permiten calcular la impedancia propia de un conductor con retorno por tierra y la impedancia mutua entre dos conductores con retorno común por tierra.

Para un sistema trifásico de cuatro hilos, con puesta a tierra tipo Y, las ecuaciones de Carson llevarán a desarrollar una matriz de impedancias, que se caracteriza por ser compleja y simétrica. Esta matriz permite calcular las caídas de

voltaje en los conductores en la forma indicada en la ecuación (2).

$$\begin{bmatrix} V_{aa} - V_a'g \\ V_{bb} - V_b'g \\ V_{cc} - V_c'g \\ V_{ng} - V_n'g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{an} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bn} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cn} \\ Z_{na} & Z_{nb} & Z_{nc} & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

En forma abreviada la ecuación (2) es:

$$DV_{abcn} = Z_{abcn} \cdot I_{abcn}$$

Como el conductor neutro está conectado a tierra, se tiene:

$$V_{ng} = V_n'g = 0 \quad (3)$$

Reemplazando la ecuación (3) en la ecuación (2), la configuración de cuatro conductores se reduce a un circuito equivalente de tres conductores, tal como se puede observar en la ecuación (4).

$$\begin{bmatrix} V_{aa} \\ V_{bb} \\ V_{cc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{aa} - V_a'g \\ V_{bb} - V_b'g \\ V_{cc} - V_c'g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

En forma abreviada la ecuación (4) es:

$$DV_{abc} = Z_{abc} \cdot I_{abc}$$

El caso de líneas bifásicas y monofásicas presenta algunas particularidades en el cálculo de la matriz de impedancias, siendo ceros algunos de los elementos de la ecuación (4); en todo caso, el efecto del neutro y tierra es transferido a las respectivas fases.

Las impedancias mutua y propia de un cable con retorno por tierra, se pueden calcular con las ecuaciones de Carson con la altura igual a cero, pero no las capacitancias, ya que varían con el tipo de cable, y se obtienen por medio de transformaciones propias.

En el caso de los Sistemas de Distribución las pérdidas en el forro metálico o conductor neutro concéntrico de los cables tripolares se pueden despreciar debido a que su contribución es muy insignificante para cables de corta longitud. Por lo tanto los parámetros de cables tripolares se pueden calcular de manera similar al caso aéreo sin neutro.

### 3.3 REGULADORES DE VOLTAJE.

Los parámetros que se tomar en cuenta para el regulador son: rango de regulación, ancho de banda (A.B.), compensador de caída de voltaje en la línea (LDC), voltaje en pu deseado en el punto de regulación, voltaje nominal del regulador, taps y capacidad máxima a regular por fase.

El programa permite modelar 7 arreglos de reguladores tipo paso, todos con el neutro conectado a tierra. Los arreglos corresponden a las diferentes fases que se pueden tener, estos son: ABC, AB, AC, BC, A, B, C.

Los reguladores pueden estar en serie a lo largo del alimentador principal y/o en los laterales.

Se tiene dos opciones:

a) El voltaje en el punto de regulación se mantiene constante, por lo que se ajustan los taps y se calculan los valores de RLDC y XLDC requeridos para el compensador.

b) Los valores de RLDC y XLDC se especifican, por lo que se ajustan los taps y se calcula el voltaje resultante en el punto de regulación.

### 3.4 TRANSFORMADORES DE LINEA.

Este transformador sirve para cambiar el nivel de tensión nominal desde algún punto del alimentador en adelante, con el objeto de que se puedan interconectar ramales del sistema con diferentes tensiones nominales.

El modelo que se utiliza para cada fase, es el que corresponde al circuito equivalente simplificado de un transformador monofásico de dos bobinados, en el cual se asume que la corriente de excitación es despreciable frente a la corriente de carga.

Se pueden utilizar 7 arreglos de transformadores de línea en el programa, todos con el neutro conectado a tierra. Los arreglos corresponden a las diferentes fases que se pueden tener, así: ABC, AB, AC, BC, A, B, C.

### 3.5 CAPACITORES.

En el programa sólo se consideran los capacitores en derivación por ser los de mayor uso y el modelo utilizado es el de potencia reactiva fija; por lo tanto se deben ingresar los kVAR de los condensadores en las fases respectivas de los nodos en que se hallan localizados. Además se permite simular la conexión o desconexión manual de los capacitores en cada nodo, con el dato de estado de conexión.

### 3.6 METODO ITERATIVO PARA EL ANALISIS DE UNA RED RADIAL.

Puesto que el modelo de carga asumido es el de potencias complejas constantes, la red radial es no lineal y necesita de un proceso iterativo para calcular los voltajes y corrientes.

El proceso iterativo consiste primero en asumir un voltaje inicial, generalmente 1.0 pu, en cada uno de los nodos de la red, excepto para el nodo de la Subestación cuyo voltaje es un valor que se supone conocido.

Para cada nodo  $k$  de la red se calcula la corriente de carga ( $I_{abck}$ ) con la ecuación (1).

Luego se calcula la caída de voltaje (DVabck) en cada una de las secciones de impedancia (Zabck) con la ecuación (4).

La corriente que circula por la sección  $k$  ( $I_{sabck}$ ) es la suma de la corriente de carga del nodo de recepción ( $I_{abck}$ ) más las corrientes de las secciones que salen del nodo  $k$  en dirección a la carga.

Como se conocen las caídas de voltaje en cada una de las secciones, ahora se parte desde la Subestación hasta el nodo más alejado, para calcular los nuevos voltajes de los nodos, tomando en cuenta la topología de la red.

Con los nuevos valores de voltaje se repite el proceso anterior hasta que la diferencia de los voltajes entre dos iteraciones inmediatas, sea menor que el criterio de convergencia utilizado.

#### 4. RECONFIGURACION DE ALIMENTADORES.

Los criterios principales para la reconfiguración de los alimentadores son:

- 1) Procurar la continuidad de servicio cuando se haya producido la desconexión de un alimentador primario o parte de él debido a: mantenimiento, trabajo programado, sobrecarga, condiciones de emergencia, fallas u otras condiciones anómalas, para lo cual se hacen transferencias de carga entre primarios con el fin de mantener el servicio. El primario que recibe la transferencia debe ser capaz de soportar la carga transferida.
- 2) Encontrar un mejor nivel de operación para el sistema en condiciones normales.
- 3) Las características dinámicas del sistema, que hacen necesaria la reorganización de las redes para definir áreas de influencia que estén acordes con la situación y capacidad de las subestaciones.
- 4) La importancia relativa de la carga y del mantenimiento del suministro para encontrar la mejor ubicación de las transferencias de carga.
- 5) La planificación del sistema que hace cambios o adiciones en las redes, con el fin de abastecer el crecimiento de la demanda.

Para hacer la reconfiguración de alimentadores, es indispensable que la red de distribución tenga equipos de seccionamiento y protección, los mismos que facilitan la operación y mantenimiento de la red, y, ayudan a tener un índice razonable de confiabilidad en el servicio.

Cada uno de los equipos de seccionamiento puede estar localizado en cualquier sección, regulador o transformador del alimentador, y se los simula a través del estado de conexión del elemento serie; un estado de conexión 0 indica que el equipo está abierto, y un estado de conexión 1 indica que el equipo está cerrado.

La reconfiguración de alimentadores se la puede hacer por el cambio del nodo de la subestación (nodo desde el cual empieza el alimentador), y/o cambiando el estado de conexión de los elementos serie de cualquier alimentador.

A partir del nodo de la subestación, se busca todas las secciones, reguladores y transformadores de la Empresa activa que forman parte de la nueva configuración del alimentador, para lo cual se descartan los elementos serie que tienen un estado de conexión 0 (desconectados) y los que no permiten una consistencia en las fases y magnitud de voltaje de los nodos añadidos al alimentador.

La transferencia de carga entre dos o más alimentadores de una misma subestación o de diferentes, se la hace con la conexión de los respectivos elementos serie que sirven como switch de transferencia entre los alimentadores.

#### 5. PROCESO INTERACTIVO.

Para la formulación y diseño del proceso interactivo se ha diseñado una Base de Datos, la misma que es la encargada de administrar toda la información existente de los Sistemas de Distribución; en la figura No. 4 se puede observar el esquema lógico de dicha base.

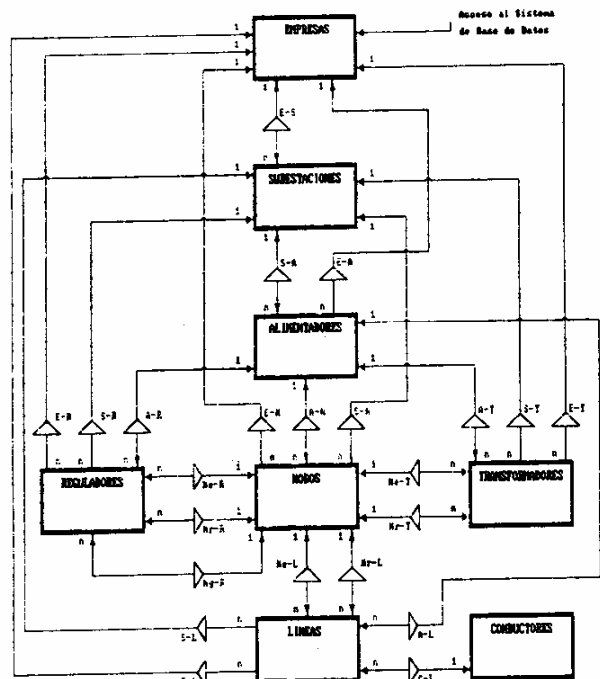


Fig. No. 4 ESQUEMA LÓGICO DE LA BASE DE DATOS

En el proceso interactivo se tienen las siguientes funciones:

a) Funciones de mantenimiento.

Son las rutinas que pueden aumentar (añadir nueva información en cada una de las entidades de la Base de Datos), borrar (eliminar información) o editar (modificar la información existente).

b) Funciones de Consulta.

Son las rutinas que permiten obtener la información de cada una de las entidades de la Base de Datos, así como de los datos y resultados de los programas de aplicación, pero que no tienen la opción de modificarla.

c) Funciones de Operación.

Son las rutinas que copian la información de algunos registros de la Base de Datos a un lugar donde se los puede modificar con facilidad, para evitar de esta manera la alteración o pérdida de los datos originales de la Base.

De una Empresa determinada se pueden copiar los datos de Subestaciones, Alimentadores y sus elementos hacia una Empresa llamada "OPERACION", donde se pueden realizar cambios con el fin de analizar diferentes condiciones de operación en los Alimentadores.

Además se tiene la opción de grabar y recuperar en archivos toda la información de la Empresa OPERACION, para permitir un trabajo continuo ya sea porque hay diferentes usuarios o porque se analizan diferentes Empresas a la vez.

d) Funciones de Reportes.

Son las rutinas que obtienen información de la Base de Datos, de los datos y resultados de los programas de aplicación, y las almacena en papel o archivos de texto ya sea para sacar un informe o tener un respaldo.

Se pueden obtener reportes totales o parciales.

e) Funciones específicas.

Se tiene el Programa de Flujos que calcula el flujo radial trifásico de carga y el perfil de voltaje de un Alimentador, y el programa de Carson que calcula los valores de la matriz de impedancias de Carson y de la matriz de impedancias de Secuencia para una determinada configuración de conductor.

f) Funciones operacionales.

Son los menús y submenús que presentan una gran cantidad de opciones, las mismas que pueden ser escogidas de una manera sencilla; también son los mensajes y rutinas de ayuda que orientan al usuario a la utilización eficiente de los programas y recuerdan aspectos teóricos, haciendo que el proceso sea interactivo.

g) Funciones de apoyo.

Son las funciones que permiten consultar información acerca de la teoría

utilizada en el desarrollo de los programas, y las maneras de usar las diferentes opciones principales del proceso interactivo.

En resumen, del D.O.S. se ingresa al menú principal que es controlado por las funciones operacionales, y a partir de este se puede realizar el mantenimiento, operación y consulta de la Base de Datos a través de las funciones respectivas. También se pueden ejecutar los programas de Flujos y de Carson, y salir al sistema operativo; obtener reportes de la Base de Datos, de los datos y resultados de los programas. La secuencia de eventos del Programa Interactivo se puede observar en la figura No. 5.

El programa interactivo de Distribución permite un fácil manejo al usuario, con la utilización de menús que facilitan el ingreso y la corrección de datos; puede presentar información teórica, ejecutar programas de aplicación, consultar y obtener reportes tanto de los datos y resultados de los programas, como de la Base de Datos propiamente.

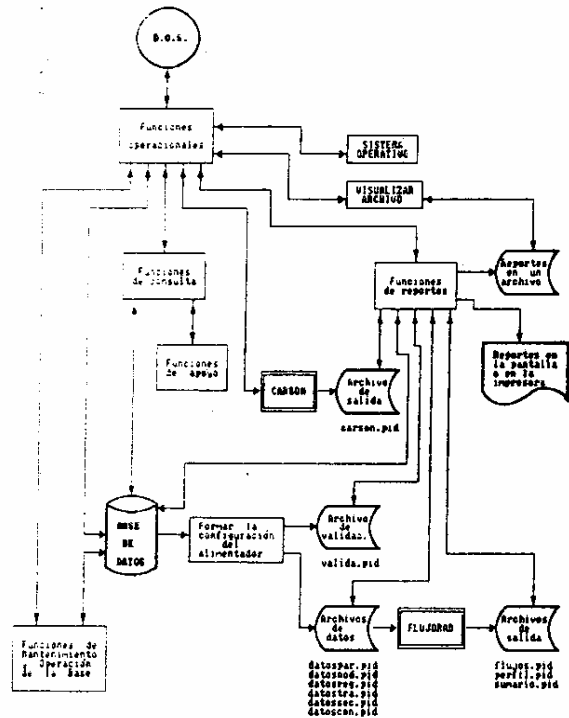


Fig. No. 5 SECUENCIA DE EVENTOS DEL PROGRAMA INTERACTIVO

6. PROGRAMA INTERACTIVO DE DISTRIBUCION (PRINDIS VERSION 1.0).

Para el desarrollo del programa se utilizó el lenguaje Microsoft C Versión 5.10, y rutinas del manejador de archivos C-TREE Versión 4.3. Además se trabajó con el sistema operativo DOS Versión 3.30.

El programa tiene dos niveles de detección de errores. El primero chequea que los datos sean correctos cada vez que ingresan o modifican los valores. El segundo nivel se lo hace antes de ejecutar el programa de flujos, y tiene que ver con los errores que se pueden dar en la formación de la topología del Alimentador.

Para facilitar el uso del programa tanto en la enseñanza como a nivel profesional se puede trabajar con dos diskettes de 360 kB, un diskette de 720 kB o en cualquier subdirectorío del disco duro. Para poder ejecutar normalmente el programa se debe utilizar la versión 3.30 del DOS o una superior.

#### 6.1 LIMITACIONES DEL PROGRAMA.

El programa PRINDIS tiene un límite de 200 Nodos y 100 Conductores para formar la configuración del Alimentador.

No trabaja con elementos en paralelo; es decir, entre dos nodos puede existir solamente un elemento.

El programa trabaja con redes aéreas, aunque puede ser utilizado para redes subterráneas, pero sin considerar la capacitancia de los cables.

Puede formar la configuración para redes malladas; sin embargo, el programa de flujos sólo trabaja con redes radiales.

Los reguladores y transformadores deben tener la conexión al neutro. No se consideran taps ni grupos de conexión en los transformadores.

La Base de Datos puede tener máximo 52 Empresas, 2704 Subestaciones, 140608 Alimentadores.

Una Empresa puede tener máximo 52 Subestaciones, 2704 Alimentadores. Una Subestación puede tener máximo 52 Alimentadores.

El número de Nodos, Reguladores, Transformadores, Secciones y Conductores sólo depende del espacio disponible en el diskette o disco duro.

#### 6.2 ESQUEMA GENERAL DEL PROGRAMA INTERACTIVO.

El Menú Principal aparece en la parte superior de la pantalla y tiene cinco opciones: Mantenimiento, Consultas, Operación, Programas y Reportes. La opción actual aparece resaltada (con un color diferente) y tiene desplegado un submenú.

Para pasarse de una opción a otra se utilizan las flechas hacia la izquierda o hacia la derecha. Cada opción al ser escogida, presenta a su vez submenús que contienen ciertos procesos relacionados con la opción principal.

Para elegir una opción del submenú se pulsa la letra que está resaltada (la primera letra de la opción), o bien se sitúa con las flechas hacia arriba o hacia abajo sobre la opción deseada y se pulsa ENTER.

Siempre en la línea 24 de la pantalla se tiene una ayuda que indica la manera de elegir un submenú, y las teclas que se utilizan en el mismo.

Hay dos tipos de submenús: unos que funcionan de manera parecida a la del menú principal; y otros en que aparece un mensaje en la línea 24 de la pantalla, en donde indican las teclas que se pueden utilizar y la acción que realizan.

En las líneas 21 y 22 se especifica el nombre de la Empresa, Subestación y Alimentador activos, es decir con las que se pueden ejecutar las diferentes opciones de los menús y submenús. Por ejemplo, si se ha seleccionado la Empresa OPERACION, entonces al elegir la opción de Alimentadores, se presentará un cuadro que indica sólo los Alimentadores que pertenecen a esa Empresa.

En la figura No. 6 se presentan algunas pantallas del programa, las mismas que muestran parte de las opciones del mismo, y la forma amigable de relación.

#### 6.3 PERSPECTIVAS FUTURAS.

El programa al estar escrito en Lenguaje C permite que con pocos cambios o ninguno pueda ser utilizado en otros computadores que sean más rápidos, tengan mayor capacidad de almacenamiento, trabajen a nivel de multiusuario o incluso posean un sistema operativo diferente.

Se pueden desarrollar otros programas de aplicación, tales como: el de administración de carga, localización de capacitores, cálculo de cortocircuitos, etc. para formar un paquete más completo que pueda ser usado tanto en la enseñanza como en las Empresas Eléctricas para la planificación, diseño y operación de Sistemas de Distribución.

Se pueden añadir rutinas que permitan observar en la pantalla el perfil de voltaje y la configuración de los alimentadores. Además es factible utilizar un modelo más completo para los reguladores y transformadores, así como también considerar las capacitancias de los cables para hacer el estudio de redes subterráneas.

Sobre la base del Sistema de Cuadrículas planteado en este trabajo se pueden desarrollar programas de aplicación que realicen la entrada de datos y salida de resultados en forma gráfica a través de digitalizadores y plotters, utilizando los mapas del Instituto Geográfico Militar.

#### 7. CONCLUSIONES.

- El programa permite manipular redes radiales aéreas de distribución de forma sistémica tanto para la etapa de diseño como en la operativa y las interrelaciones entre estas dos etapas.

- El programa interactivo da un nuevo enfoque a la enseñanza de Sistemas de Distribución, ya que el estudiante no tiene que hacer largos y tediosos cálculos para

la planificación, diseño y operación de las redes de distribución, por lo que dispone de mayor tiempo para preparar los datos, analizar los resultados y tomar decisiones. También puede ser aplicado a nivel profesional para el análisis de Sistemas de Distribución reales.

- La Base de Datos es independiente de los programas de aplicación, por lo que permite que sus datos puedan ser utilizados por otros programas.

- Es importante analizar las redes en forma trifásica ya que sólo así se pueden considerar los desbalances de las cargas y de las impedancias de las líneas y el efecto que producen en las redes.

Mantenimiento | Consultas | Operación | Programas | Reportes  
 Programa Interactivo de Distribución PRINDIS U. 1.0

**Paleta de Colores**  
 Impresión  
 Subestaciones  
 Alimentadores  
 Nodos  
 Reguladores  
 Transformadores  
 Líneas  
 Conductores  
 Modificar Redes

Ingrese la clave del sistema ?

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL      EMPRESA:      S/E:  
 FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA      ADM      A/P: A

Mantenimiento | Consultas | Operación | Programas | Reportes  
 Programa Interactivo de Distribución PRINDIS U. 1.0

**Información**  
 Empresas  
 Subestaciones  
 Alimentadores  
 Nodos  
 Reguladores  
 Transformadores  
 Líneas  
 Conductores

**Tutorial**  
 Mantenimiento  
 Consultas  
 Operación  
 Programas  
 Reportes

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL      EMPRESA: OPERACION      S/E: COMITE  
 FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA      ADM      A/P: A

<T> = Subir, <D> = Bajar, <←> = Escoger Opción, <Esc> = Salir

Mantenimiento | Consultas | Operación | Programas | Reportes  
 Programa Interactivo de Distribución PRINDIS U. 1.0

Código	Descripción	Fases	Nº de	Voltaje
AN00-000500	R3	AB	2	5.000
AN00-000700	R5	AB	2	5.000
AN00-000700	T5	AB	3	5.000
AN00-000700	T6	B	1	5.000
AN00-500200	T3	A	2	10.000
AN00-000000	T1	ABC	1	10.000
AN00-000200	T2	ABC	3	10.000
AN00-000710	T7	AB	2	10.000
AN00-000600	T4	AB	2	10.000
AN00-000700	T4	AB	2	5.000

Editar  
 Aumentar  
 Borrar  
 Salir

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL      EMPRESA: OPERACION      S/E: COMITE  
 FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA      ADM      A/P: A

Fglt(<T> = Subir, <D> = Bajar, <←> = Escoger Opción, <Esc> = Salir

Mantenimiento | Consultas | Operación | Programas | Reportes  
 Programa Interactivo de Distribución PRINDIS U. 1.0

Archivo: TENDIA.TXT  
 Llegar a obtener:

$$Zij = Z1j' - (Zin' \cdot Zaj') / Zm' \quad (2.1.10)$$

para i = a, b, c  
para j = a, b, c

donde Zij es un elemento de la matriz Zabc.

Reemplazando (2.1.10) en (2.1.8) se llega a la siguiente ecuación:

Uaa'	Uag - Ua'g	Zaa	Zab	Zac	Ia
Ubb'	Ubg - Ub'g	Zba	Zbb	Zbc	Ib
Ucc'	Ucg - Uc'g	Zca	Zcb	Zcc	Ic

Fglt(<T> = Subir, Fglt(<D> = Bajar, <F1> = Ayuda, <ESC> = Salir

Mantenimiento | Consultas | Operación | Programas | Reportes  
 Programa Interactivo de Distribución PRINDIS U. 1.0

Código del Nudo: AN00-000210  
 Descripción del Nudo: T22  
 Fases del Nudo (ABC): AB  
 Número de elementos conectados al Nudo: 2  
 Potencia activa de carga fase A (kW): 50.000  
 Potencia reactiva de carga fase A (kVAR): 10.000  
 Potencia activa de carga fase B (kW): 10.000  
 Potencia reactiva de carga fase B (kVAR): 20.000  
 Potencia activa de carga fase C (kW): 0.000  
 Potencia reactiva de carga fase C (kVAR): 0.000  
 Tasa de crecimiento de la demanda (%): 10.00  
 Estado de conexión de los condensadores (1/0): 0  
 Potencia de condensadores fase A (kW): 0.000  
 Potencia de condensadores fase B (kW): 0.000  
 Potencia de condensadores fase C (kW): 0.000  
 Magnitud de voltaje nominal en kV: 10.0000

Editar Nodos

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL      EMPRESA: OPERACION      S/E: COMITE  
 FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA      ADM      A/P: A

<T> = Subir, <D> = Bajar, <Esc> = Abandonar, <F10> = Grabar

Mantenimiento | Consultas | Operación | Programas | Reportes  
 Programa Interactivo de Distribución PRINDIS U. 1.0

Nombre del Regulador: RDG1  
 Código del nodo de envío: AN00-000200  
 Código del nodo de recepción: AN00-000210  
 Tipo de Regulador: AB  
 Código del nodo de regulación: AN00-000600  
 Opción deseada (1/2/0): 1  
 Estado de conexión (1/0): 1  
 Primario del transformador de potencial: 10000.00  
 Primario del transformador de corriente: 100  
 Resistencia de compensación en voltios: 2.000000  
 Reactancia de compensación en voltios: 4.000000  
 Voltaje en pu deseado en el punto de regulación: 1.030000  
 Voltaje nominal del Regulador en kV: 10.0000  
 Ancho de banda en voltios: 2.000000  
 Capacidad máxima a regular por fase (kW): 500.000  
 Porcentaje positivo de regulación: 10.000  
 Porcentaje negativo de regulación: 0.000  
 Número de pasos del regulador: 16

Consultar Reguladores

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL      EMPRESA: OPERACION      S/E: COMITE  
 FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA      ADM      A/P: A

Pulse una tecla para continuar

Mantenimiento | Consultas | Operación | Programas | Reportes | F10=Ayuda  
 Programa Interactivo de Distribución PRINDIS U. 1.0

El código del Nudo debe tener 11 caracteres alfanuméricos expresados de la siguiente forma:

Ay	Nº	Sy	Sr	Y3	Y2	Y1	X3	X2	X1	
Área	sector	separador	posición en el eje Y en m.	posición en el eje X en m.						

Por ejemplo el Nudo: AN00-000600

El sistema se divide en áreas que son superficies de 10 km x 10 km las mismas que están especificadas por un par de letras (A a la Z) que se pueden observar en el mapa general del sistema. en el ejemplo: AA es la primera área de sistema.

Cada área a su vez se divide en 100 sectores de 1 km x 1 km, que se representan con 2 números (del 00 al 99)

El plano del sector tiene una escala adecuada que permite medir directamente la ubicación en metros de los nodos.

en el ejemplo: 00 es el primer sector del área

Y3 Y2 Y1 es la posición del nodo en el eje Y en metros: 000 m.

X3 X2 X1 es la posición del nodo en el eje X en metros: 000 m.

Las posiciones en el eje Y y el eje X se toman con respecto al extremo inferior izquierdo del sector

Pulse una tecla para continuar

Mantenimiento | Consultas | Operación | Programas | Reportes  
 Programa Interactivo de Distribución PRINDIS U. 1.0

**Información**  
 Subestaciones  
 Alimentadores  
 Grabar Archivo  
 Recuperar Archivo  
 Borrar Archivo

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL      EMPRESA: OPERACION      S/E: COMITE  
 FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA      ADM      A/P: A

<T> = Subir, <D> = Bajar, <←> = Escoger Opción, <Esc> = Salir



Mantenimiento Consultas Operación Programas Reportes  
Programa Interactivo de Distribución PRINDIS U. 1.0

Carson  
Flujos  
Sistema Operativo  
Visualizar Archivo

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL EMPRESA: OPERACION S/E: COMITE  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA ABA A/P: A

<T> = Subir, <D> = Bajar, <4> = Escoger Opción, <Esc> = Salir

Mantenimiento Consultas Operación Programas Reportes  
Programa Interactivo de Distribución PRINDIS U. 1.0

Programa PRINDIS U. 1.0 EPN FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA SEP  
Empresa : OPERACION S/E : COMITE Alimentador : A  
PROGRAMA DE FILIJO RADIAL PERFIL DE VOLTAJE

código	descripción	FASE A		FASE B	
		MOD. (pu)	ANG. (°)	MOD. (pu)	ANG. (°)
AN00-000000	T1	1.000000	0.000000	1.000000	-120.000000
AN00-000200	T2	0.990386	-0.011020	0.990493	-120.011052
AN00-000200	T3	0.993595	-0.136596		
AN00-000210	T22	S 1.035744	-0.011020	S 1.035043	-120.011052
AN00-000490	T44	S 1.033030	-0.092469	S 1.032472	-120.100970
AN00-000700	T4	1.017563	-0.250907	1.012206	-120.304453
AN00-000700	T5	1.011930	-0.425248	1.005303	-120.520759
AN00-000700	T5	1.006386	-0.593370	1.000482	-120.690974
AN00-000900	T6			1.004229	-120.557022
AN00-000500	T3	1.004156	-0.649044	0.999152	-120.756061

<T> = Subir <D> = Bajar <F1> = Ayuda <F10> = Imprimir <ESC> = Salir

Mantenimiento Consultas Operación Programas Reportes  
Programa Interactivo de Distribución PRINDIS U. 1.0

Base de datos  
Datos de Flujos  
Resultado de Flujos  
Carson  
Validaciones

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL EMPRESA: OPERACION S/E: COMITE  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA ABA A/P: A

<T> = Subir, <D> = Bajar, <4> = Escoger Opción, <Esc> = Salir

Mantenimiento Consultas Operación Programas Reportes  
Programa Interactivo de Distribución PRINDIS U. 1.0

AN00 U. 1.0 EPN FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA SEP  
E FILIJO RADIAL SUMARIO

	FASE A		FASE B		P
	P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)	
A DE ENTRADA TOTAL :	1186.595	920.901	1127.509	869.351	
CIA DE CARGA TOTAL :	1180.000	920.000	1120.000	860.000	
CAPACITORES TOTAL :		0.000		0.000	
PERDIDAS TOTALES :	6.595	0.901	7.509	9.351	

REPORTE DE REGULADORES

Barra de Envío	Barra de Recepción	Barra de Regulación	opción	RLDC (volt)	XLDC (volt)	Tap A (%)
AN00-000200	AN00-000210	AN00-000690	1	0.576	1.152	3.75

<T> = Subir <D> = Bajar <F1> = Ayuda <F10> = Imprimir <ESC> = Salir

Fig. No. 6

8. REFERENCIAS .

- 1.- Medina, M. , "Programa Interactivo para el Diseño y Operación de Sistemas Radiales Aéreos de Distribución. (Parte 1)" , Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Eléctrica, E.P.N., Quito, 1992.
- 2.- W. H. Kersting, "A Method to Teach the Design and Operation of a Distribution System", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 7, Julio 1984.
- 3.- Clarke, E. , "Circuit Analysis of A-C Power Systems", Vol. I, New York, John Wiley and Sons, 1943.
- 4.- Gönen, T. , "Electric Power Distribution System Engineering", Mc Graw-Hill Book Company, 1986.

BIOGRAFIAS



Marco Medina Durán, nació en Quito el 7 de Mayo de 1967. Se graduó de Bachiller en Humanidades Modernas en el Colegio Benalcázar. Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional en la especialidad de Sistemas Eléctricos de Potencia, obteniendo el título de Ingeniero en junio de 1992.

Carlos Ríofrío R., nacido en Riobamba el 1 de febrero de 1949, obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en la E.P.N. en 1977, realizó estudios de posgrado en Ingeniería de Distribución en la Universidad de Sao Paulo-Brasil en 1986. Actualmente es Profesor Principal del Área de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica en la Escuela Politécnica Nacional.