

75
2 Gen.



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMAS DE COMPUTADORA PARA LA APLICACION EN SISTEMAS ELECTRICOS

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a n :

JOSE MANUEL JUAREZ MADARIAGA

REYES LUNA AGUILAR

JUAN C. GOMEZ GUZMAN

Director: **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.

INDICE

INTRODUCCION	1
PARTE I CALCULO DE CORRIENTES DE CORTO-CIRCUITO UTILIZANDO LA MATRIZ Zbarra (Formación Directa)	
CAPITULO 1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES	
1.1	INTRODUCCION 1-1
1.2	ANTECEDENTES GENERALES 1-2
1.2.1	CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA RED .. 1-2
1.2.2	FORMULACION DE ECUACIONES 1-4
1.3	ANTECEDENTES PARA EL ANALISIS DE ... FALLAS 1-10
1.3.1	RED DE SECUENCIA POSITIVA 1-13
1.3.2	RED DE SECUENCIA NEGATIVA 1-13
1.3.3	RED DE SECUENCIA CERO 1-14
1.4	IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL CORTO-CIRCUITO 1-18
1.5	FALLAS A ANALIZAR 1-19
1.5.1	CORTO-CIRCUITO MONOFASICO 1-21
1.5.2	CORTO-CIRCUITO TRIFASICO 1-23
1.6	SIMPLIFICACIONES EN LOS CALCULOS DE CORTO-CIRCUITO 1-25
CAPITULO 2 METODO DE LA MATRIZ DE IMPEDANCIA DE BARRA	
2.1	INTRODUCCION 2-1
2.2	FALLA TRIFASICA 2-1
2.3	FALLAS DESEQUILBRADAS 2-6
CAPITULO 3 ALGORITMO DE FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ Zbarra	
3.1	INTRODUCCION 3-1
3.2	ECUACION DE UNA RED PARCIAL 3-1
3.3	ADICION DE UNA RAMA 3-3
3.4	ADICION DE UNA LIGA 3-7
3.5	EJEMPLO DEL CALCULO DE CORTO-CIRCUITO UTILIZANDO Zbarra 3-14
CAPITULO 4 DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO-CIRCUITO	
4.1	INTRODUCCION 4-1
4.2	DESCRIPCION 4-1
4.2.1	MODULOS Y RUTINAS DEL PROGRAMA ... 4-1

4.2.2	DIAGRAMA DE FLUJO	4-3
4.3	APLICACION	4-20
	BIBLIOGRAFIA	4-35

PARTE II CALCULO DE FLECHAS Y TENSIONES Y LOCALIZACION DE SOPORTES EN LINEAS AEREAS

CAPITULO 1 CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

1.1	INTRODUCCION	1-1
1.2	TRAMOS LARGOS DE LINEA	1-1
1.2.1	CALCULO DE TENSIONES	1-1
1.2.2	CALCULO DE FLECHAS	1-5
1.3	TRAMOS CORTOS DE LINEA	1-10
1.3.1	CALCULO DEL NUMERO DE AISLADORES	1-10
1.3.2	CALCULO DE LA FLECHA EN FUNCION DE LA TENSION	1-12

CAPITULO 2 LOCALIZACION DE SOPORTES

2.1	INTRODUCCION	2-1
2.2	METODO GRAFICO PARA LA LOCALIZACION DE LOS SOPORTES	2-1
2.2.1	CLARO REGULADOR	2-5

CAPITULO 3 DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA

3.1	INTRODUCCION	3-1
3.2	METODO POR COMPUTADORA	3-1
3.3	DIAGRAMA DE FLUJO	3-4
3.4	EJEMPLO	3-9

	BIBLIOGRAFIA	3-15
--	--------------------	------

PARTE III CALCULO DEL AREA DEL CONDUCTOR EN CABLES SUBTERRANEOS

CAPITULO 1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.1	INTRODUCCION	1-1
1.2	CAIDA DE TENSION	1-1
1.3	RESISTENCIA A LA CORRIENTE DIRECTA	1-5
1.4	EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA RESISTENCIA OHMICA	1-6
1.5	EFECTO DE CABLEADO	1-8
1.6	RESISTENCIA A LA CORRIENTE ALTERNA	1-9
1.7	EFECTO SUPERFICIAL	1-10
1.8	EFECTO DE PROXIMIDAD	1-11
1.9	CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE	1-13
1.10	LEY DE OHM TERMICA	1-13

1.11	RESISTENCIAS TERMICAS	1-15
1.11.1	EFFECTO DE LA RESISTIVIDAD TERMICA DEL TERRENO SOBRE EL CONDUCTOR ..	1-18
1.11.2	CALCULO DE LA RESISTENCIA TERMICA DEL TERRENO	1-19
1.11.3	RESISTENCIA TERMICA APARENTE DEL TERRENO	1-21

CAPITULO 2 METODO Y ALGORITMO

2.1	INTRODUCCION	2-1
2.2	METODO	2-1
2.3	ALGORITMO DEL PROGRAMA	2-3

CAPITULO 3 DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CABLE

3.1	INTRODUCCION	3-1
3.2	DESCRIPCION DEL PROGRAMA	3-1
3.2.1	DIAGRAMA DE BLOQUES	3-1
3.2.2	DIAGRAMA DE FLUJO	3-4
3.3	APLICACION DEL PROGRAMA CABLE	3-7

	BIBLIOGRAFIA	3-9
--	--------------------	-----

APENDICE A1 MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA
CORTO-CIRCUITO

APENDICE A2 LISTADO DEL PROGRAMA CORTO-CIRCUITO

APENDICE B1 MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA
FLECHAS-TENSIONES

APENDICE B2 LISTADO DEL PROGRAMA FLECHAS-TENSIONES

APENDICE C1 MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA
CABLE

APENDICE C2 LISTADO DEL PROGRAMA CABLE

APENDICE C3 METODO DE NEWTON-RAPHSON

INTRODUCCION

Debido a los grandes avances en el diseño y producción de computadoras digitales, estas se han convertido en herramientas poderosas en el campo de la ingeniería, proporcionando la capacidad de ejecutar cálculos que antes eran imposibles de realizar, ya sea por su complejidad o por el excesivo tiempo que había que dedicarles.

La planificación, diseño y operación de los sistemas eléctricos siempre ha requerido de análisis continuos para evaluar el comportamiento del sistema y en caso de ser necesario hacer las modificaciones requeridas para garantizar una alta confiabilidad del sistema.

En un principio dichos análisis eran ejecutados por una computadora analógica llamada analizador de redes de corriente alterna. En este dispositivo se simulaban las condiciones tanto normales como de emergencia, obteniéndose resultados que se reflejaban directamente en el sistema. Sin embargo, cuando el tamaño de los sistemas eléctricos llegó a ser muy grande, la simulación de los mismos en el analizador de redes era excesivamente compleja, originando con ello errores en los resultados.

Este hecho influyó para que los estudios fueran entonces realizados a través de computadoras digitales. Sin embargo, no fue sino hasta mediados de los años 50 en que las computadoras digitales fueron lo suficientemente rápidas y capaces para resolver los problemas planteados por la ingeniería eléctrica.

Las ventajas obtenidas al utilizar computadoras digitales en los cálculos realizados en ingeniería eléctrica son:

1. Mayor eficiencia y economía en la ejecución de los cálculos rutinarios.

INTRODUCCION

2. Una mejor utilización de la capacidad del ingeniero al relevarlo de la tarea rutinaria del cálculo.
3. Habilidad de plantear los problemas de tal manera que se pueden obtener varias soluciones para un problema en particular y proporcionar de esa manera una amplia base para la toma de decisiones.
4. La capacidad de realizar estudios que por su alto volumen de cálculos eran casi imposibles de realizar.

En el presente trabajo se abordan tres aspectos relacionados con el análisis de sistemas eléctricos, los cuales son:

1. CALCULO DE CORRIENTES DE CORTO-CIRCUITO POR EL METODO DE LA MATRIZ Zbarra (Formación Directa)
2. CALCULO DE FLECHAS, TENSIONES MECANICAS Y LOCALIZACION DE SOPORTES
3. CALCULO DEL AREA DEL CONDUCTOR EN CABLES SUBTERRANEOS

Para cada uno de estos aspectos se presentan los conceptos teóricos y con base en ellos se desarrollan los programas de computadora respectivos, los cuales es conveniente aclarar están enfocados hacia un objetivo totalmente didáctico.

PARTE I

**CALCULO DE CORRIENTES DE CORTO-CIRCUITO
UTILIZANDO LA MATRIZ Zbarra
(Formación Directa)**

CAPITULO 1

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.1 INTRODUCCION

Un sistema eléctrico está constituido básicamente por fuentes productoras de energía, elementos de transformación, líneas de transmisión y redes de distribución, así como por los elementos de consumo comúnmente conocidos como cargas.

Existen básicamente tres aspectos relacionados con la operación de los sistemas eléctricos de potencia que se resumen en la siguiente forma:

1. La operación normal del sistema, lo que implica que no existe interrupción del servicio.
2. La prevención de fallas, lo que significa que en los criterios de diseño de los sistemas de protección se debe de encontrar un equilibrio entre confiabilidad y economía, ya que teóricamente es posible 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 estos se transmitan a la menor cantidad posible de partes del sistema.

Es comprensible pues porque es necesario analizar a los sistemas eléctricos bajo condiciones normales y anormales de operación de los mismos.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.2 ANTECEDENTES GENERALES

Para realizar el análisis de un sistema eléctrico, el proceso se divide en tres pasos:

1. Establecer el circuito equivalente que represente la red real.
2. Formular las ecuaciones matemáticas que describen al circuito.
3. Resolver el sistema de ecuaciones obtenido.

1.2.1 CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA RED

Puesto que un sistema eléctrico trifásico tiene un alto grado de simetría entre sus tres fases, los cálculos pueden realizarse para una sola fase y luego generalizarse para las otras dos. Esto significa que para representar un sistema eléctrico trifásico es suficiente con obtener la representación de una sola fase, conociéndose a esta representación como diagrama unifilar cuyo objetivo es suministrar de una manera concisa los datos más significativos del sistema.

En la figura 1.1 se muestra el diagrama unifilar de un sistema eléctrico sencillo.

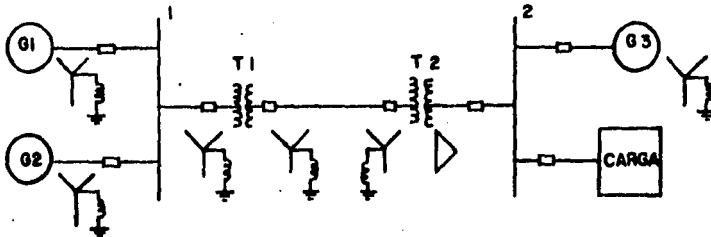


Fig. 1.1: DIAGRAMA UNIFILAR DE UN SISTEMA ELECTRICO.

Los neutros de los generadores G1 y G2 están puestos tierra a través de una reactancia y una resistencia respectivamente. Ambos generadores están conectados a la barra 1 y esta, está conectada, a través de un transformador elevador, a una línea de transmisión. El neutro del generador G3 está puesto a tierra por medio de una

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

reactancia y junto con la carga L, se hayan conectados a la barra 2; la cual está conectada también a la línea de transmisión por medio de un transformador reductor.

Para analizar el comportamiento de un sistema en condiciones normales o de falla, el diagrama unifilar se transforma en un diagrama de impedancias que muestra la impedancia equivalente de cada elemento del sistema. En la figura 1.2 se muestra el diagrama de impedancias del diagrama unifilar de la figura 1.1.

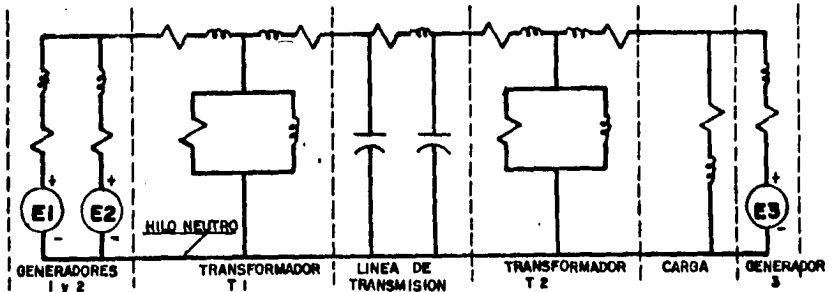


Fig.1.2. DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS CORRESPONDIENTE AL DIAGRAMA UNIFILAR DE FIGURA 1.1.

La línea de transmisión es representada con bastante exactitud por el circuito equivalente, para representar al transformador se toman en cuenta la resistencia, la reactancia de dispersión y el paso para la corriente magnetizante. Cada generador está representado por una fuente de voltaje en serie con valores adecuados de resistencia y reactancia no incluyéndose las impedancias limitadoras de corriente, puesto que en condiciones de equilibrio no circulan corrientes por tierra.

El cálculo se simplifica, si todas las cantidades eléctricas (impedancias, tensiones, corrientes, potencias, etc.) se expresan como el cociente de la cantidad eléctrica dividida por una referencia del mismo tipo. Esto permite eliminar los distintos niveles de voltaje, estableciendo un circuito equivalente en el que no aparecen transformadores. A este método se le conoce como **en por unidad**, cuya explicación queda fuera de este trabajo, considerando que es un antecedente mínimo para el lector.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.2.2 FORMULACION DE ECUACIONES

Antes de que las computadoras digitales fueran lo suficientemente rápidas, confiables y económicas, la herramienta utilizada para analizar los diferentes aspectos de un sistema eléctrico era el analizador de redes de corriente alterna. Puesto que los analizadores de redes son réplicas del sistema real, su utilización evitaba el tener que formular ecuaciones de red. Sin embargo cuando el tamaño de los sistemas eléctricos llegó a ser muy grande, resultaba muy complicado simular las condiciones de dichos sistemas en el analizador de redes, siendo preciso entonces utilizar una computadora digital para efectuar el análisis. En la actualidad las computadoras digitales dado su velocidad de procesamiento y tamaño permiten analizar sistemas eléctricos muy grandes sin grandes complicaciones y obteniéndose resultados bastante precisos en un tiempo relativamente corto, lo cual las hace superiores a los analizadores de redes.

El análisis de un sistema eléctrico utilizando una computadora digital requiere el planteamiento correcto de las ecuaciones de redes, puesto que de las mismas se derivará el programa de computadora para la solución del problema, por lo cual es muy importante comprender la formulación de las ecuaciones.

Para facilitar la formulación de las ecuaciones de red se utilizan unos esquemas geométricos llamados grafos que muestran la interconexión de los elementos de la red. En la figura 1.3 se muestra un sistema eléctrico con su respectivo grafo.

Un subgrafo que contiene todos los nodos del grafo, pero que no se cierra se llama árbol y a los elementos del árbol se les llama ramas. El número de ramas (r) requeridas para formar un árbol es:

$$r = n - 1$$

donde:

n es el número de nodos en el grafo.

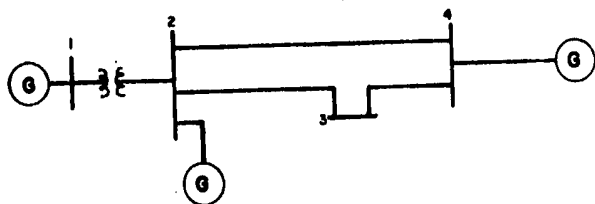
Aquellos elementos del grafo que no son incluidos en el árbol son llamados lizas. El número de lizas (l) de un grafo es:

$$l = e - r$$

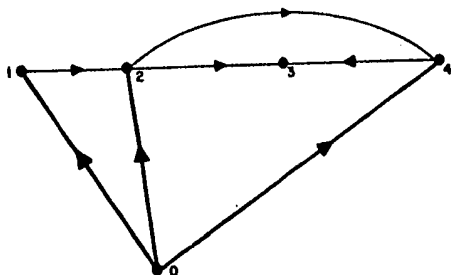
donde:

e es el número de elementos del grafo.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES



a)



b)

Fig. 1.3 a) DIAGRAMA UNIFILAR , b) GRAFO.

El árbol de la figura 1.3b es mostrado en la figura 1.4.

Si una línea es agregada al árbol, el subgrafo resultante contiene una trayectoria cerrada, la cual se llama **malla**. Las mallas del grafo de la figura 1.3b se ilustran también en la figura 1.4.

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 y en el caso de que se utilice el nodo como marco de referencia se aplica la ley de corrientes. Para ilustrar las diferencias entre ambos métodos, estos se describen a continuación para el sistema eléctrico de la figura 1.5.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

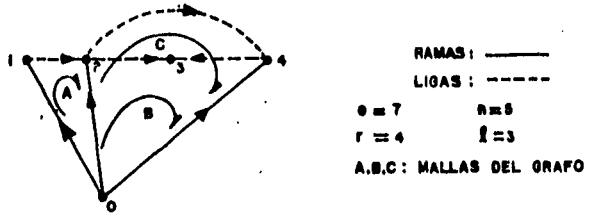


FIG. 1.4 ARBOL DE UN GRAFO.

a) METODO DE ECUACIONES DE MALLA

En primer término se dibuja el diagrama de reactancias del sistema de la figura 1.5, como se ilustra en la figura 1.6.

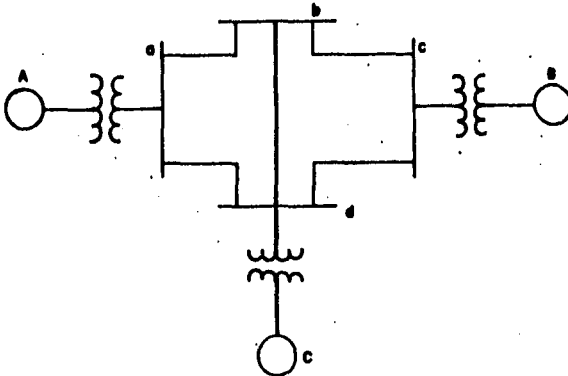


FIG. 1.5 DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELECTRICO DEL QUE SE OBTENDRAN LAS ECUACIONES DE RED BAJO DOS METODOS DISTINTOS.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

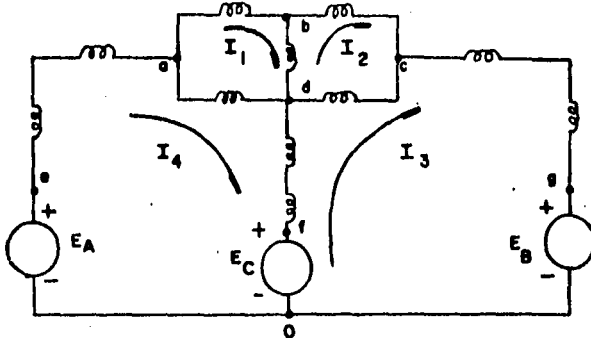


Fig. 1.6 DIAGRAMA DE REACTANCIAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA FIGURA 1.5

Para plantear las ecuaciones, se toman las mallas que señalan cada una de las corrientes y se aplica la ley de tensiones de Kirchoff.

$$0 = I_1 Z_{ob} + (I_1 - I_2) Z_{bd} + (I_1 - I_4) Z_{do} \quad 1.1$$

$$0 = (I_2 - I_1) Z_{bd} + I_2 Z_{bc} + (I_2 - I_3) Z_{cd} \quad 1.2$$

$$E_C = (I_3 - I_4) Z_{fd} + (I_3 - I_2) Z_{dc} + I_3 Z_{co} + E_B \quad 1.3$$

$$E_A = I_4 Z_{co} + (I_4 - I_1) Z_{od} + (I_4 - I_3) Z_{df} + E_C \quad 1.4$$

Rearreguando términos:

$$0 = I_1(Z_{ob} + Z_{bd} + Z_{do}) + I_2(-Z_{bd}) + I_4(-Z_{do}) \quad 1.5$$

$$0 = I_1(-Z_{bd}) + I_2(Z_{bd} + Z_{bc} + Z_{cd}) + I_3(-Z_{cd}) \quad 1.6$$

$$E_C - E_B = I_2(-Z_{dc}) + I_3(Z_{fd} + Z_{dc} + Z_{co}) + I_4(-Z_{fd}) \quad 1.7$$

$$E_A - E_C = I_1(-Z_{od}) + I_3(-Z_{fd}) + I_4(Z_{co} + Z_{od} + Z_{df}) \quad 1.8$$

La forma normalizada de escribir estas ecuaciones es:

$$E_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 + Z_{13} I_3 + Z_{14} I_4 \quad 1.9$$

$$E_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 + Z_{23} I_3 + Z_{24} I_4 \quad 1.10$$

$$E_3 = Z_{31} I_1 + Z_{32} I_2 + Z_{33} I_3 + Z_{34} I_4 \quad 1.11$$

$$E_4 = Z_{41} I_1 + Z_{42} I_2 + Z_{43} I_3 + Z_{44} I_4 \quad 1.12$$

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

El primer miembro de las ecuaciones es el aumento de la fuerza electromotriz a lo largo de su respectiva malla. Las impedancias Z_{11} , Z_{22} , Z_{33} y Z_{44} son llamadas impedancias propias de las mallas y representan la suma de las impedancias a lo largo de la malla. Las restantes impedancias se conocen como impedancias mutuas de las mallas y son las impedancias comunes a las mallas indicadas por sus subíndices.

b) METODO DE LAS ECUACIONES DE NODO

La formulación de las ecuaciones de nodo de un circuito aplicando la ley de corrientes de Kirchhoff constituye la base para el análisis de los sistemas de potencia por medio de una computadora digital. Para plantear las ecuaciones, el circuito de la figura 1.6 se ha redibujado con ciertas modificaciones, las cuales se pueden apreciar en la figura 1.7. Se han añadido capacitancias entre cada una de las barras de alta tensión y el neutro; además las fuerzas electromotrices y sus impedancias en serie se han sustituido por sus respectivas fuentes de corriente y admitancias equivalentes en paralelo y las impedancias de los elementos se han sustituido por sus respectivas admitancias.

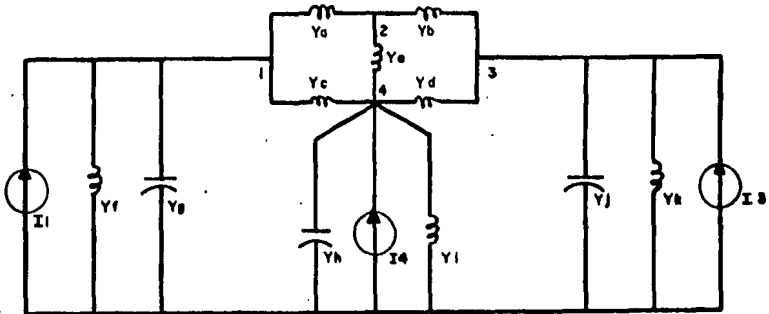


Fig. 1.7 DIAGRAMA DE REACTANCIAS MODIFICADO DEL SISTEMA ELECTRICO DE LA FIG. 1.5.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Aplicando la ley de corrientes de Kirchhoff a los nodos 1, 2, 3 y 4, tenemos:

Para el nodo 1:

$$I_1 = V_1(Y_g + Y_f) + (V_1 - V_2) Y_a + (V_1 - V_4) Y_c \quad 1.13$$

Para el nodo 2:

$$0 = (V_2 - V_1) Y_a + (V_2 - V_4) Y_e + (V_2 - V_3) Y_b \quad 1.14$$

Para el nodo 3:

$$I_3 = V_3(Y_j + Y_k) + (V_3 - V_2) Y_b + (V_3 - V_4) Y_d \quad 1.15$$

Para el nodo 4:

$$I_4 = V_4(Y_h + Y_l) + (V_4 - V_1) Y_c + (V_4 - V_3) Y_d + (V_4 - V_2) Y_e \quad 1.16$$

Reagrupando términos:

$$I_1 = V_1(Y_g + Y_f + Y_a + Y_c) + V_2(-Y_a) + V_4(-Y_c) \quad 1.17$$

$$0 = V_1(-Y_a) + V_2(Y_a + Y_e + Y_b) + V_3(-Y_b) + V_4(-Y_e) \quad 1.18$$

$$I_3 = V_2(-Y_b) + V_3(Y_j + Y_k + Y_b + Y_d) + V_4(-Y_d)$$

$$I_4 = V_1(-Y_c) + V_2(-Y_e) + V_3(-Y_d) + V_4(Y_h + Y_l + Y_c + Y_d + Y_e) \quad 1.20$$

La ecuación del quinto nodo no proporciona mayor información; por lo cual no se plantea. Por lo tanto el número de ecuaciones independientes es igual al número de nodos menos 1:

La forma normalizada de las anteriores ecuaciones es:

$$I_1 = Y_{11} V_1 + Y_{12} V_2 + Y_{13} V_3 + Y_{14} V_4 \quad 1.21$$

$$I_2 = Y_{21} V_1 + Y_{22} V_2 + Y_{23} V_3 + Y_{24} V_4 \quad 1.22$$

$$I_3 = Y_{31} V_1 + Y_{32} V_2 + Y_{33} V_3 + Y_{34} V_4 \quad 1.23$$

$$I_4 = Y_{41} V_1 + Y_{42} V_2 + Y_{43} V_3 + Y_{44} V_4 \quad 1.24$$

Las admitancias Y_{11} , Y_{22} , Y_{33} y Y_{44} se llaman admitancias propias de los nodos, siendo cada una de ellas igual a la suma de todas las admitancias conectadas al nodo que tienen como subíndice y a las demás admitancias se les

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

llama admitancias mutuas, las cuales están conectadas directamente entre los dos nodos indicados por el subíndice.

1.3 ANTECEDENTES PARA EL ANALISIS DE FALLAS

En la anterior sección se describieron los antecedentes necesarios para analizar cualquier red eléctrica. Sin embargo para el estudio del corto-circuito es necesario conocer algunos aspectos adicionales relativos al mismo.

Empecemos pues por mencionar que uno de las herramientas más usadas para el estudio de fallas es el método de los componentes simétricos, el cual demuestra que un sistema trifásico desequilibrado puede descomponerse en tres sistemas de vectores, dos de ellos equilibrados, denominados componentes simétricos de los vectores originales. Los conjuntos de componentes son:

1. Componentes de secuencia positiva, formados por tres vectores de igual módulo con una diferencia de fase de 120° y con la misma secuencia de fases que los vectores originales.
2. Componentes de secuencia negativa formados por tres vectores de igual módulo con una diferencia de fase de 120° y con secuencia de fases opuesta a la original.
3. Componentes de secuencia cero, formados por tres vectores de igual módulo con igual fase.

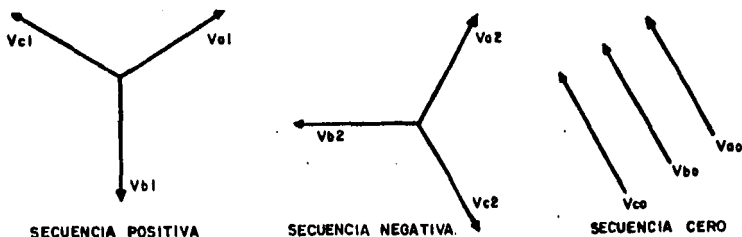


Fig. 1.8 CONJUNTO DE COMPONENTES SIMETRICOS.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

En la figura 1.8 se muestran los tres conjuntos de componentes simétricos.

Los vectores desequilibrados son iguales a la suma de sus componentes, lo cual se representa en las siguientes ecuaciones:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad 1.25$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad 1.26$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad 1.27$$

Por otro lado, se designa a la letra a como el operador unitario que origina una rotación de 120° en sentido contrario al de las manecillas del reloj. Tal operador es un número complejo de módulo igual a la unidad y argumento de 120° , definido por la siguiente expresión:

$$a = 1 \angle 120^\circ = 0.5 + j 0.866 \quad 1.28$$

Utilizando esta expresión en las ecuaciones 1.25, 1.26 y 1.27 y haciendo referencia en la figura 1.8, se tiene:

$$V_{b1} = a^2 V_{a1}; \quad V_{b2} = a V_{a2}; \quad V_{b0} = V_{a0} \quad 1.29$$

$$V_{c1} = a V_{a1}; \quad V_{c2} = a^2 V_{a2}; \quad V_{c0} = V_{a0}$$

Por lo tanto:

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

$$V_b = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} \quad 1.30$$

$$V_c = a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0}$$

Y en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a1} \\ V_{a2} \\ V_{a0} \end{bmatrix} \quad 1.31$$

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

O también:

$$\begin{bmatrix} V_{o1} \\ V_{o2} \\ V_{o0} \end{bmatrix} = 1/3 \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad 1.32$$

Las anteriores ecuaciones pueden ser escritas para cualquier conjunto de vectores relacionados entre sí y podrían haberse escrito para las corrientes en lugar de para los voltajes, esto es:

$$\begin{bmatrix} I_{o1} \\ I_{o2} \\ I_{o0} \end{bmatrix} = 1/3 \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad 1.33$$

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 el efecto de una falla por el método de las componentes simétricas es esencial determinar las impedancias de secuencia y combinarlas para formar las redes de secuencia.

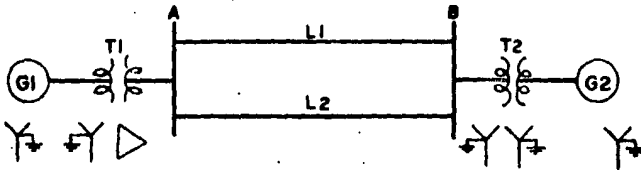


Fig: 1.9 SISTEMA ELECTRICO PARA EL CUAL SE OBTENDRAN LAS REDES DE SECUENCIA POSITIVA NEGATIVA Y CERO.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.3.1 RED DE SECUENCIA POSITIVA

Esta red se obtiene de una manera simple al reemplazar cada elemento del sistema, representado en el diagrama unifilar, por su respectiva impedancia referida a la base correspondiente y representando a las 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 sistema. Así, de acuerdo a lo anteriormente indicado, la red de secuencia positiva para el sistema de la figura 1.9 es la mostrada en la figura 1.10.

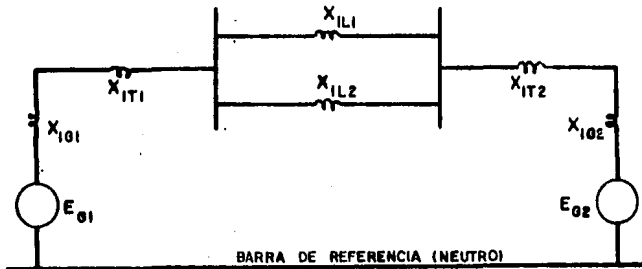


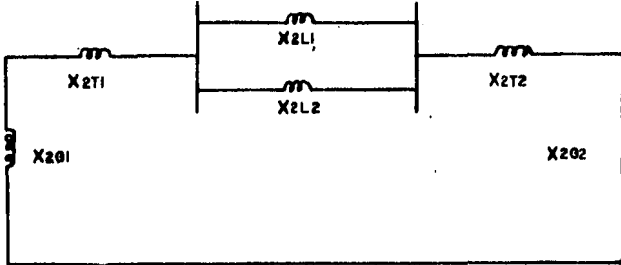
fig.1.10 RED DE SECUENCIA POSITIVA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA FIGURA 1.9.

1.3.2 RED DE SECUENCIA NEGATIVA

La red de secuencia negativa se elabora en 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 la secuencia negativa y la secuencia positiva en los cálculos.

Para el sistema de la figura 1.9, la red de secuencia negativa correspondiente se representa en la figura 1.11.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES



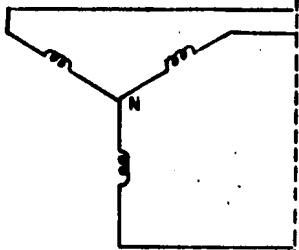
BARRA DE REFERENCIA (NEUTRO)

Fig. 1.11 RED DE SECUENCIA NEGATIVA DEL SISTEMA
ELECTRICO DE LA FIGURA 1.9.

1.3.3 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 del sistema. Por lo tanto es conveniente hacer una breve revisión de los diagramas de reactancias para diferentes formas de conexión a tierra de algunos elementos, específicamente, generadores y transformadores, mostrándose esto en las figuras 1.12 y 1.13.

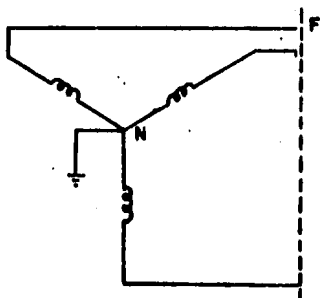
CONCEPTOS FUNDAMENTALES



NEUTRO AISLADO.



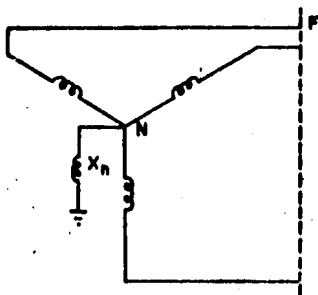
TIERRA



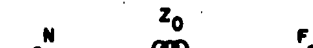
NEUTRO SOLIDAMENTE CONECTADO A TIERRA.



TIERRA



NEUTRO CONECTADO A TIERRA ATRAVES DE UNA REACTANCIA.



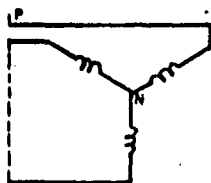
TIERRA.

CONEXION A TIERRA DEL NEUTRO.

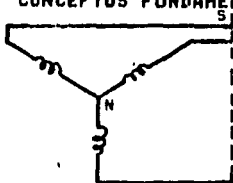
DIAGRAMA DE SECUENCIA CERO.

Fig. 1.12 CONEXIONES DEL NEUTRO DEL GENERADOR Y SU CORRESPONDIENTE DIAGRAMA DE SECUENCIA CERO.

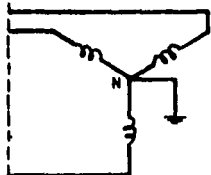
CONCEPTOS FUNDAMENTALES



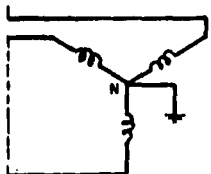
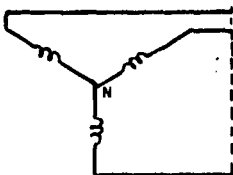
CONEXION Y-Y CON NEUTRO AISLADO



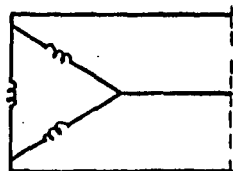
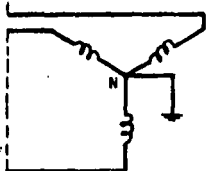
CONEXION Y-Y CON NEUTRO A TIERRA



CONEXION Y-Y CON AMBOS NEUTROS A TIERRA



CONEXION Y-Δ CON LA -Y- PUESTA A TIERRA



CONEXION Δ-Δ

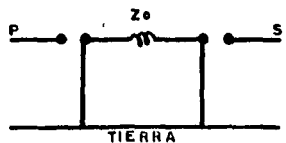
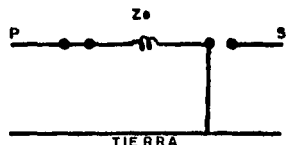
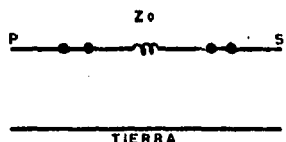
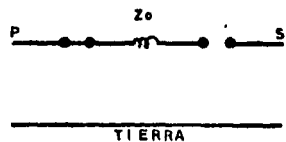
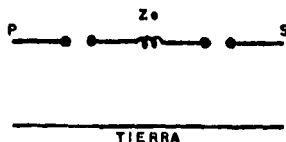
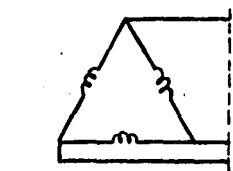
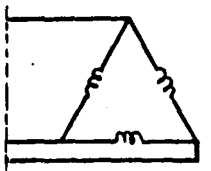
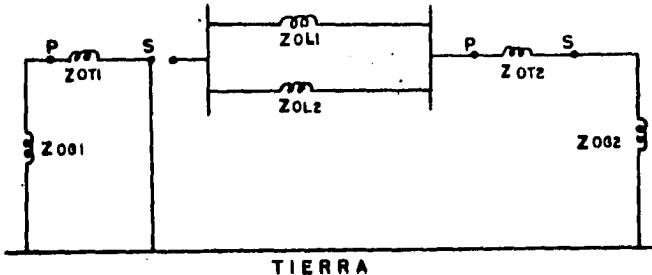


Fig. 1.13 ESQUEMAS DE CONEXIONES DE TRANSFORMADORES TRIFASICOS CON SUS CORRESPONDIENTES DIAGRAMAS DE SECUENCIA CERO.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Una vez que los circuitos equivalentes de secuencia cero han sido determinados, estos se combinan fácilmente para formar la red completa de secuencia cero. El diagrama de secuencia cero correspondiente al sistema eléctrico de la figura 1.9, se muestra en la figura 1.14.



**Fig. 1.14 RED DE SECUENCIA CERO PARA EL SISTEMA
ELECTRICO DE LA FIGURA 1.9**

Los componentes de corriente y tensión para cualesquiera de las fases se obtienen a partir de las ecuaciones determinadas por las redes de secuencia. Las ecuaciones de los componentes de tensión se deducen de la figura 1.15 en la que se muestra a un generador en vacío con sus correspondientes redes de secuencia. Dichas ecuaciones se deducen para la fase *a*, calculando la caída de tensión desde el punto *a* hasta la barra de referencia.

$$\begin{aligned}
 V_{01} &= E_0 - I_{01} Z_1 \\
 V_{02} &= -I_{02} Z_2 \\
 V_{00} &= -I_{00} Z_0
 \end{aligned}
 \tag{1.34}$$

Las anteriores ecuaciones que son aplicables a cualquier generador en condiciones de falla son el punto de partida para la deducción de las ecuaciones de componentes de corriente para diversos tipos de falla.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

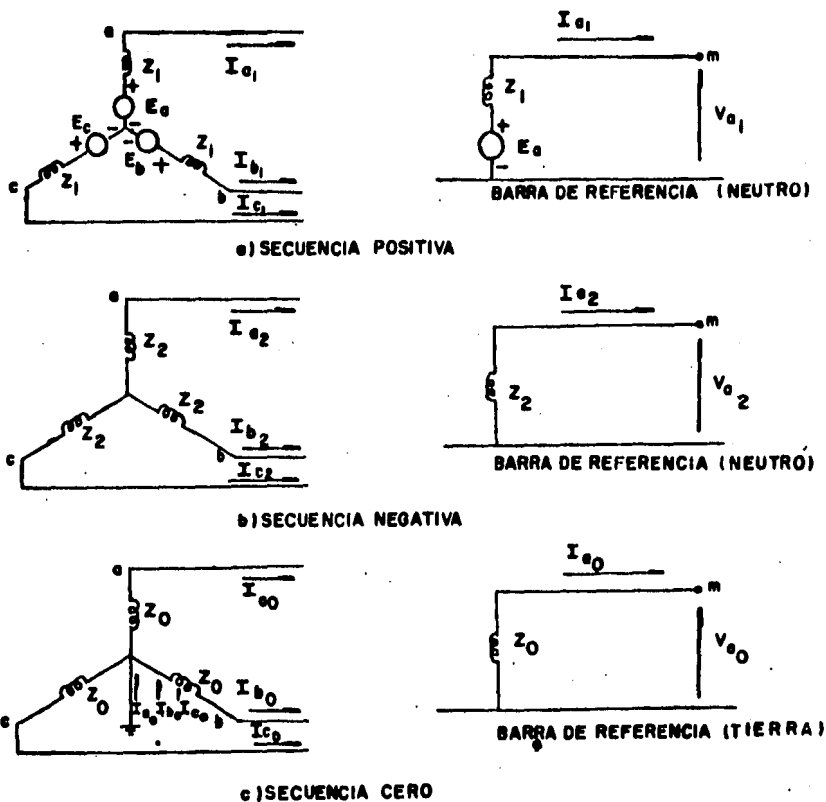


Fig. 1.15 GENERADOR EN VACIO ASI COMO SUS
RESPECTIVAS REDES DE SECUENCIA.

1.4 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL CORTO-CIRCUITO

El corto-circuito es una situación indeseable en un sistema eléctrico, pero que se presenta eventualmente. Tiene diversos orígenes, tales como sobretensión por descargas atmosféricas, fallas en el aislamiento, alguna maniobra errónea, etc., y en estas condiciones es importante

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

conocer en todos los puntos de la instalación las magnitudes de las corrientes de corto-circuito. Los cálculos de corto-circuito son necesarios en los sistemas eléctricos en todas sus etapas, es decir desde la generación hasta la utilización de la energía eléctrica. Como se dijo anteriormente estos cálculos nos proporcionan corrientes y voltajes durante condiciones de falla, siendo esta información necesaria para diseñar un sistema adecuado de protección y determinar la capacidad de interrupción de los interruptores en cada punto del sistema. 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 con falla. Esta acción es requerida para asegurar una mínima interrupción del servicio eléctrico y además limitar el daño al equipo afectado por la falla.

1.5 FALLAS A ANALIZAR

En un sistema eléctrico se pueden presentar diferentes tipos de corto-circuito que en general son los siguientes:

- Fase a tierra.
- Fase a fase.
- Dos fases a tierra.
- Trifásicas.

La falla por corto-circuito que tiene mayor probabilidad de ocurrir es la de fase a tierra y la de menor probabilidad, la trifásica, efectuándose normalmente estudios de corto-circuito sólo para estas fallas, la primera por ser la más probable de ocurrir y la segunda, porque a pesar de ser la menos probable, es la que somete al sistema a los esfuerzos más severos.

Por las anteriores razones sólo se describirán en este trabajo las fallas de fase a tierra o monofásicas y trifásicas.

Antes de entrar al análisis de las anteriores fallas, explicaremos algunos aspectos necesarios para la comprensión del mismo.

En la figura 1.16 se representa el diagrama unifilar de un sistema muy sencillo, en el cual ha ocurrido una falla en el punto marcado con la letra F.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

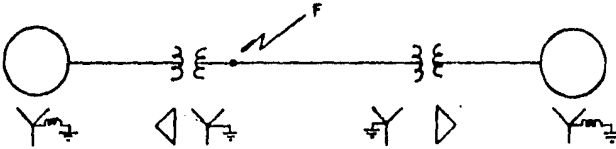
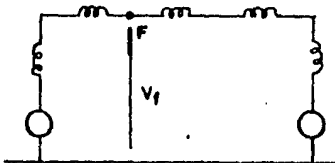
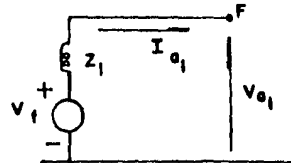


Fig. 1.16 DIAGRAMA UNIFILAR DE UN SISTEMA ELECTRICO SENCILLO.

El primer paso para analizar dicha falla es obtener las redes de secuencia del sistema. El siguiente paso es reducir las redes obtenidas a una representación semejante a la que se muestra en la figura 1.15 y a continuación se aplicarán las ecuaciones 1.34.



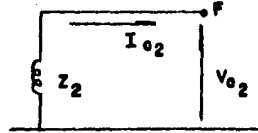
a) RED DE SECUENCIA POSITIVA



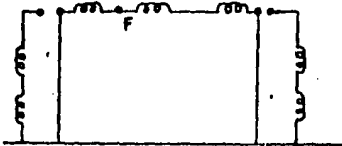
EQUIVALENTE DE THEVENIN



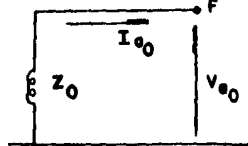
b) RED DE SECUENCIA NEGATIVA



EQUIVALENTE DE THEVENIN



c) RED DE SECUENCIA CERO



EQUIVALENTE DE THEVENIN

Fig. 1.17 REDES DE SECUENCIA DEL SISTEMA MOSTRADO

EN LA FIGURA 1.16.

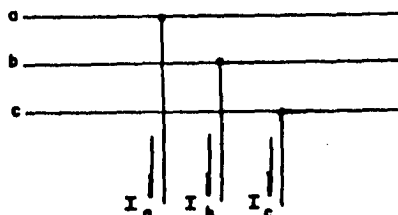
Para hacer la reducción de las redes de secuencia es importante suponer que existe linealidad en cada una de ellas, con lo cual pueden reemplazarse las redes por su respectivo equivalente de Thévenin. Las redes de secuencia y sus respectivos circuitos equivalentes de Thévenin se:

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

muestran en la figura 1.17.

La fuerza electromotriz de la red de secuencia positiva será la tensión que exista entre el punto de falla y la barra de referencia instantes antes de que ocurra la falla. La impedancia Z_1 será la impedancia equivalente de Thévenin medida entre el punto de falla y la barra de referencia con todas las fuerzas electromotrices en corto-circuito. Puesto que antes de que ocurra la falla no circulan corrientes de secuencia negativa o cero, la tensión de prefalla entre el punto de falla y la barra de referencia es nula para las redes de secuencia negativa y cero y las impedancias Z_2 y Z_0 serán las equivalentes de Thévenin medidas entre el punto de falla y la barra de referencia.

Por otro lado, consideremos los conductores de un sistema trifásico (figura 1.18), al cual se le han agregado unas varillas de toma hipotéticas en el lugar en que se presenta la falla, sobre las cuales fluyen las corrientes de falla. Haciendo las conexiones adecuadas de las varillas podemos representar diversos tipos de falla.



**Fig. 1.18 CONDUCTORES DE UN SISTEMA TRIFASICO
CON SUS RESPECTIVAS VARILLAS HIPOTETI-
CAS DE TOMA.**

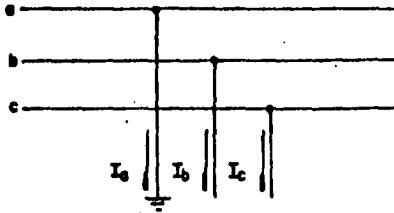
1.5.1 CORTO-CIRCUITO MONOFASICO

En este corto-circuito, la conexión de varillas hipotéticas de los tres conductores es la mostrada en la figura 1.19.

Las condiciones de falla son:

$$V_a = 0 \quad ; \quad I_b = 0 \quad ; \quad I_c = 0$$

CONCEPTOS FUNDAMENTALES



**Fig. 1.19 CONEXION DE LAS VARILLAS HIPOTETICAS
PARA UN CORTO-CIRCUITO MONOFASICO.**

Consideremos la ecuación 1.33:

$$I_{a1} = \sqrt{3} (I_a + \alpha I_b + \alpha^2 I_c)$$

$$I_{a2} = \sqrt{3} (I_a + \alpha^2 I_b + \alpha I_c)$$

$$I_{a0} = \sqrt{3} (I_a + I_b + I_c)$$

Substituyendo las condiciones de falla en la ecuación 1.33:

$$I_{a1} = \sqrt{3} I_a$$

$$I_{a2} = \sqrt{3} I_a \quad 1.35$$

$$I_{a0} = \sqrt{3} I_a$$

Por otro lado, consideremos las ecuaciones 1.34:

$$V_{a1} = V_f - I_{a1} Z_1$$

$$V_{a2} = -I_{a2} Z_2$$

$$V_{a0} = -I_{a0} Z_0$$

Substituyendo las anteriores ecuaciones en la ecuación 1.25:

$$V_a = V_f - I_{a1} Z_1 + (-I_{a2} Z_2) + (-I_{a0} Z_0) \quad 1.36$$

Pero de la ecuación 1.35 tenemos:

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$$

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Por lo tanto:

$$V_o = V_f - I_o (Z_1 + Z_2 + Z_o) \quad (1.37)$$

De condiciones de falla tenemos:

$$V_o = 0$$

Por lo tanto:

$$I_o = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_o} \quad (1.38)$$

Finalmente, considerando nuevamente la ecuación 1.35:

$$I_o = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_o} \quad (1.39)$$

La ecuación 1.39 es la que comúnmente se utiliza para calcular la corriente total de corto-circuito monofásico en un punto determinado del sistema.

1.5.2 CORTO-CIRCUITO TRIFASICO

La conexión de las varillas hipotéticas para este corto-circuito es la mostrada en la figura 1.20.

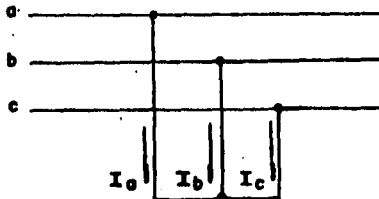


Fig. 1.20 CONEXION DE LAS VARILLAS HIPOTETICAS PARA UN CORTO-CIRCUITO TRIFASICO.

Las condiciones de falla son:

$$V_a = V_b = V_c = 0; \quad I_b = a^2 I_o; \quad I_c = a I_o$$

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Substituyendo las condiciones de falla en la ecuación

$$1.33: I_{a1} = 1/3 (I_a + \alpha^2 I_b + \alpha I_c)$$

$$I_{a2} = 1/3 (I_a + \alpha I_b + \alpha^2 I_c) \quad 1.40$$

$$I_{a0} = 1/3 (I_a + I_b + I_c)$$

De donde se obtiene:

$$I_{a1} = 1/3 (I_a + I_b + I_c)$$

$$I_{a1} = I_a$$

$$I_{a2} = 1/3 (I_a + I_b(-0.5 + j0.866) + I_c(-0.5 - j0.866)) \quad 1.41$$

$$I_{a2} = 0$$

$$I_{a0} = 1/3 (I_a + I_b(-0.5 - j0.866) + I_c(-0.5 + j0.866))$$

$$I_{a0} = 0$$

Substituyendo las ecuaciones 1.41 en las ecuaciones

$$1.34: V_{a1} = V_f - I_{a1} Z_1$$

$$V_{a2} = 0 \quad 1.42$$

$$V_{a0} = 0$$

Aplicando las ecuaciones 1.42 en la ecuación 1.25:

$$V_a = V_f - I_a Z_1 \quad 1.43$$

Pero de condiciones de falla se sabe:

$$V_a = 0$$

Por lo tanto:

$$0 = V_f - I_a Z_1$$

$$I_a = \frac{V_f}{Z_1} \quad 1.44$$

Como puede deducirse de la ecuación 1.44, el análisis del corto-circuito trifásico sólo se realiza considerando el circuito equivalente de secuencia positiva, puesto que el sistema se comporta como si estuviese equilibrado.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.6 SIMPLIFICACIONES EN LOS CALCULOS DE CORTO-CIRCUITO

Es frecuente en el cálculo del corto-circuito realizar las siguientes simplificaciones:

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 elementos capacitivos o inductivos conectados en paralelo.
2. Se puede considerar que el valor de los voltajes en los distintos puntos del sistema antes de que ocurra la falla es uno en por unidad y que todos están en fase, ya que se supone que no existe corriente alguna en el sistema.
3. Es posible despreciar la resistencia de los distintos elementos de la red, tales como generadores, transformadores y líneas de transmisión, puesto que esta es mucho menor que la reactancia inductiva de los mismos.
4. La impedancia de falla se considera igual a cero, ya que para esta condición se tiene el valor máximo de corriente de falla.

CAPITULO 2

METODO DE LA MATRIZ DE IMPEDANCIAS DE BARRA

2.1 INTRODUCCION

Como se mencionó anteriormente, el cálculo de las condiciones en un sistema afectado por una falla es necesario para diseñar un sistema efectivo de protección y así limitar los daños ocasionados por la misma. Si el sistema es una red interconectada de cierta importancia, la solución numérica del problema requiere utilizar métodos sistemáticos que se presten al empleo de computadoras digitales, siendo actualmente el método más utilizado el de la matriz de impedancias de barra, el cual se describirá en este capítulo, analizando primero su aplicación al cálculo de fallas trifásicas equilibradas y generalizando después para cualquier tipo de falla desequilibrada.

2.2 FALLA TRIFASICA

Para estudiar en forma completa el comportamiento de un sistema bajo condiciones de falla, es necesario analizar la ocurrencia de fallas en distintos puntos del sistema. Sin embargo se puede considerar en cada caso una sola falla ya que la probabilidad de que ocurran simultáneamente dos o más es mínima.

En un corto-circuito trifásico, las corrientes de falla en cada fase son de la misma magnitud y constituyen un sistema trifásico equilibrado. Por lo tanto el análisis se realiza considerando únicamente el circuito equivalente de secuencia positiva.

Como se vió en el capítulo anterior, la corriente en el punto de falla puede calcularse con la siguiente ecuación:

MÉTODO DE LA MATRIZ DE IMPEDANCIAS DE BARRA

$$I_F = \frac{V_F}{Z_T} \quad 2.1$$

donde:

- I_F = corriente de falla.
 V_F = voltaje al neutro en el punto de falla antes de que ocurra esta.
 Z_T = impedancia de la red vista desde el punto de falla.

Además, ya ha sido mencionado que para el cálculo del corto-circuito, los generadores y los motores se representan por una fuente de voltaje de igual magnitud a la fuerza electromotriz que existía inmediatamente antes de producirse el corto-circuito, conectada en serie con la reactancia subtransitoria, si se desea calcular la corriente inicial de corto-circuito o con la reactancia transitoria, si se quiere calcular la corriente subsecuente.

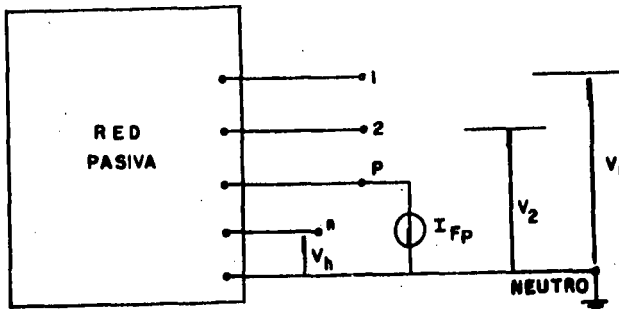


Fig. 2-1 REPRESENTACION DE LAS CONDICIONES DERIVADAS DE UNA FALLA TRIFASICA PRODUCIDA EN EL NODO P DE UNA RED.

Por lo tanto, los cambios en los voltajes y corrientes ocasionados por un corto-circuito en cualesquiera de las barras del sistema pueden determinarse mediante el cálculo de una red pasiva, formada por las impedancias de secuencia positiva de las líneas y transformadores y por las reactancias subtransitorias o transitorias de los generadores y motores y siendo alimentada por una fuente de corriente igual a la corriente de corto-circuito trifásico en ese punto, lo cual puede ser apreciado en la figura 2.1.

MÉTODO DE LA MATRIZ DE IMPEDANCIAS DE BARRA

Para una red como la mostrada en la figura 2.1 en la que existen fuentes de corriente en todos los nodos, el sistema de ecuaciones que describiría la red sería el siguiente:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= Z_{11} I_{F1} + Z_{12} I_{F2} + \dots + Z_{1p} I_{Fp} + \dots + Z_{1n} I_{Fn} \\
 V_2 &= Z_{21} I_{F1} + Z_{22} I_{F2} + \dots + Z_{2p} I_{Fp} + \dots + Z_{2n} I_{Fn} \\
 &\dots \dots \dots \\
 V_p &= Z_{p1} I_{F1} + Z_{p2} I_{F2} + \dots + Z_{pp} I_{Fp} + \dots + Z_{pn} I_{Fn} \\
 &\dots \dots \dots \\
 V_n &= Z_{n1} I_{F1} + Z_{n2} I_{F2} + \dots + Z_{np} I_{Fp} + \dots + Z_{nn} I_{Fn}
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

- donde:
- $V_1 \dots V_n$ = voltajes al neutro en los nodos 1 ... n.
 - $I_{F1} \dots I_{Fn}$ = fuentes de corriente conectadas a los nodos 1 ... n.
 - $Z_{11} \dots Z_{nn}$ = impedancias propias.
 - $Z_{12} \dots Z_{np}$ = impedancias mutuas.

En forma matricial las ecuaciones 2.2 tienen la siguiente representación:

$$[V] = [Z_{barra}] [I_{Fp}]
 \tag{2.3}$$

Por medio de las ecuaciones 2.2 se pueden calcular los cambios de voltaje en las barras de la red, si se conocen las impedancias propias y mutuas, así como las fuentes de corriente.

Si únicamente existiese una fuente de corriente, la conectada al nodo p, las ecuaciones 2.2 se reducen a:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= Z_{1p} I_{Fp} \\
 V_2 &= Z_{2p} I_{Fp} \\
 &\dots \dots \dots \\
 V_p &= Z_{pp} I_{Fp} \\
 &\dots \dots \dots \\
 V_n &= Z_{np} I_{Fp}
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

METODO DE LA MATRIZ DE IMPEDANCIAS DE BARRA

Para calcular los voltajes en las distintas barras de la red durante la falla, se deben tomar en cuenta los voltajes de las barras con respecto al neutro instantes antes de que ocurra la falla, denominando a estos voltajes como:

$$V_{01}, V_{02}, \dots, V_{0p}, \dots, V_{0n}$$

Por lo tanto, los voltajes durante la falla se obtienen superponiendo los cambios de voltaje producidos por la falla a los voltajes existentes antes de la falla.

$$V_{F1} = V_{01} - V_1 = V_{01} - Z_{1p} I_{Fp}$$

$$V_{F2} = V_{02} - V_2 = V_{02} - Z_{2p} I_{Fp}$$

$$\dots \dots \dots$$

2.5

$$V_{Fp} = V_{0p} - V_p = V_{0p} - Z_{pp} I_{Fp}$$

$$\dots \dots \dots$$

$$V_{Fn} = V_{0n} - V_n = V_{0n} - Z_{np} I_{Fp}$$

El signo menos asignado a los cambios de voltaje producidos por la falla se debe al sentido de la corriente de falla I_{Fp} , la cual sale del nodo p.

Por otra parte, se deduce de la expresión 2.4 que:

$$V_{Fp} = Z_F I_{Fp}$$

2.6

Substituyendo la anterior expresión en la ecuación 2.5 correspondiente a V_{Fp} :

$$Z_F I_{Fp} = V_{0p} - Z_{pp} I_{Fp}$$

$$I_{Fp} (Z_F + Z_{pp}) = V_{0p}$$

$$I_{Fp} = \frac{V_{0p}}{Z_F + Z_{pp}}$$

2.7

La expresión 2.7 permite calcular la corriente en el punto de falla y una vez conocida, pueden calcularse los voltajes de falla en las distintas barras.

Substituyendo la expresión 2.7 en las ecuaciones 2.5, se obtiene:

MÉTODO DE LA MATRIZ DE IMPEDANCIAS DE BARRA

$$V_{F1} = V_{01} - \frac{Z_{1p}}{Z_F + Z_{pp}} V_{0p}$$

$$V_{F2} = V_{02} - \frac{Z_{2p}}{Z_F + Z_{pp}} V_{0p}$$

.....

$$V_{Fp} = \frac{Z_F}{Z_{pp} + Z_F} V_{0p}$$

.....

$$V_{Fn} = V_{0n} - \frac{Z_{np}}{Z_{pp} + Z_F} V_{0p}$$

2.8

Si la falla está, solidamente establecida, entonces $Z_F = 0$ y las expresiones 2.8 se reducen a:

$$V_{F1} = V_{01} - \frac{Z_{1p}}{Z_{pp}} V_{0p}$$

$$V_{F2} = V_{02} - \frac{Z_{2p}}{Z_{pp}} V_{0p}$$

.....

$$V_{Fp} = 0$$

$$V_{Fn} = V_{0n} - \frac{Z_{np}}{Z_{pp}} V_{0p}$$

2.9

Una vez calculados los voltajes existentes en los distintos nodos de la red, pueden calcularse las corrientes que circulan por las distintas ramas de la red durante el corto-circuito, mediante la siguiente expresión:

$$I_{jk} = Y_{jk} (V_{Fj} - V_{Fk}) \quad 2.10$$

donde:

I_{jk} = corriente que circula por la rama comprendida entre los nodos j y k.

Y_{jk} = admitancia de la rama comprendida entre los nodos j y k.

V_{Fj} = voltaje al neutro del nodo j.

V_{Fk} = voltaje al neutro del nodo k.

La matriz Zbarra se obtiene al invertir la matriz Ybarra.

$$[Z_{barra}] = [Y_{barra}]^{-1}$$

2.11

MÉTODO DE LA MATRIZ DE IMPEDANCIAS DE BARRA

A su vez la matriz Ybarra se obtiene a partir de la matriz primitiva de admitancias y la matriz de incidencia barra-rama.

$$[Y_{\text{barra}}] = [A]^T [y] [A] \quad 2.12$$

2.3 FALLAS DESEQUILIBRADAS

Para el cálculo de fallas desequilibradas por el método de la matriz de impedancias de barra, se deben establecer las matrices de impedancia de barra de secuencia positiva, negativa y cero.

Dichas matrices pueden representarse por circuitos equivalentes, los cuales como se mencionó anteriormente pueden interconectarse de diversas formas para representar diversos tipos de fallas. En la figura 2.2 se muestra la interconexión de los tres circuitos equivalentes para representar una falla monofásica en el nodo P, aplicándose además las simplificaciones 1 y 2 descritas en el capítulo anterior.

De la figura 2.2 se verifica que:

$$I_{FP}^1 = I_{FP}^2 = I_{FP}^0 = \frac{I}{Z_{PP}^1 + Z_{PP}^2 + Z_{PP}^0} \quad 2.13$$

Una vez que han sido calculados los componentes simétricos de la corriente de falla, las corrientes de fase correspondientes en el nodo P se obtienen por la transformación:

$$\begin{aligned} I_P^a &= I_P^{01} + I_P^{02} + I_P^{00} \\ I_P^b &= \alpha^2 I_P^{01} + \alpha I_P^{02} + I_P^{00} \\ I_P^c &= \alpha I_P^{01} + \alpha^2 I_P^{02} + I_P^{00} \end{aligned} \quad 2.14$$

Los componentes de secuencia positiva, negativa y cero de los voltajes en los nodos 1, 2, ..., n durante una falla en el nodo P se obtienen restando a los voltajes que había instantes antes de la falla, los cambios de voltaje producidos por la falla.

Una vez calculados los componentes simétricos de los voltajes en un nodo, los voltajes de fase se calculan con una transformación análoga a la de las corrientes.

METODO DE LA MATRIZ DE IMPEDANCIAS DE BARRA

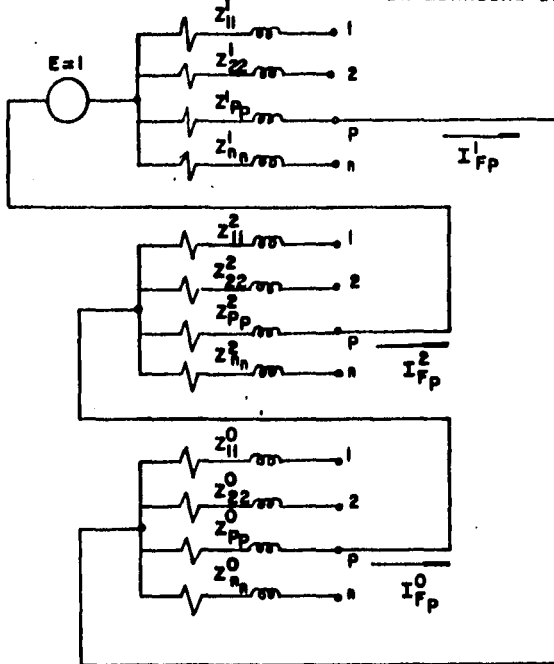


Fig. 2-2 INTERCONEXION DE LOS CIRCUITOS EQUIVALENTES DE SECUENCIA POSITIVA, NEGATIVA Y CERO PARA-- REPRESENTAR LAS CONDICIONES DEBIDAS A UNA-- FALLA MONOFASICA EN EL PUNTO P.

Habiendo calculado los voltajes de secuencia positiva, negativa y cero en cada nodo de la red, pueden calcularse las corrientes de secuencia positiva, negativa y cero que circulan por cada rama de la red durante el corto-circuito mediante las siguientes expresiones:

$$I_{jk}^1 = Y_{jk}^1 (V_{Fj}^1 - V_{Fk}^1)$$

$$I_{jk}^2 = Y_{jk}^2 (V_{Fj}^2 - V_{Fk}^2)$$

$$I_{jk}^0 = Y_{jk}^0 (V_{Fj}^0 - V_{Fk}^0)$$

2-16

MÉTODO DE LA MATRIZ DE IMPEDANCIAS DE BARRA

donde:

$Y_{jk}^1, Y_{jk}^2, Y_{jk}^0$ son, respectivamente, las admitancias de secuencia positiva, negativa y cero de la rama comprendida entre los nodos j y k .

V_j^1, V_j^2, V_j^0 son, respectivamente, los voltajes de secuencia positiva, negativa y cero del nodo j .

V_k^1, V_k^2, V_k^0 son, respectivamente, los voltajes de secuencia positiva, negativa y cero del nodo k .

$I_{jk}^1, I_{jk}^2, I_{jk}^0$ son, respectivamente, las corrientes de secuencia positiva, negativa y cero que circulan por la red comprendida entre los nodos j y k .

Finalmente, una vez que se han calculado los componentes simétricos de las corrientes de fase, estas pueden calcularse utilizando una transformación análoga a la utilizada en las ecuaciones 2.15.

En sistemas eléctricos grandes que tienen cientos de barras, las matrices de barra son excesivamente grandes, por lo que al invertir las mediante un método de computadora digital se presentan dificultades de cómputo, tales como requerimientos de memoria elevados, tiempo de procesamiento alto y poca precisión en los resultados.

Sin embargo, existen algoritmos para la formación de la matriz de impedancias de barra a partir de los datos del sistema sin necesidad de invertir la matriz de admitancias de barra. En el siguiente capítulo se presenta un algoritmo para la formación directa de la matriz de impedancias de barra.

CAPITULO 3

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

3.1 INTRODUCCION

El método presentado en la sección anterior para obtener la matriz de impedancias de barra requiere la inversión y transformación de matrices. Cuando las matrices son de una dimensión muy grande, se presentan dificultades para realizar dichas operaciones, aún utilizando una computadora digital. Sin embargo, existe un algoritmo que construye la matriz de impedancias de barra directamente de los parámetros del sistema y de los números de las barras. El principio fundamental del algoritmo es la formación de la matriz en pasos, simulando que se construye la red agregando un elemento en cada paso.

Aún cuando a continuación se realiza la deducción del algoritmo para el caso más general en el que existen acoplamientos mutuos entre los elementos de la red, se ha dado un mayor énfasis para el caso en que no hubiesen acoplamientos mutuos considerando que en un sistema eléctrico de potencia no suelen existir dichos acoplamientos entre los diferentes elementos de la red. Cabe aclarar que por dicha razón el programa de computadora que acompaña al presente capítulo, se realizó sin considerar los acoplamientos mutuos.

3.2 ECUACION DE UNA RED PARCIAL

Se asume en primer lugar que la matriz de impedancias de barra, Z_{barra} , es conocida para una red parcial de m barras, la cual tiene como nodo de referencia el nodo 0. La ecuación de esta red, mostrada en la figura 3.1, es:

$$\bar{E}_{barra} = Z_{barra} \bar{I}_{barra}$$

3.1

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

donde:

\bar{E}_{barra} = vector de voltajes de barra medidos con respecto al nodo de referencia, de dimensión $m \times 1$.

\bar{I}_{barra} = vector de corrientes de barra, de dimensión $m \times 1$.

Z_{barra} = matriz de impedancias de barra de dimensión $m \times m$.

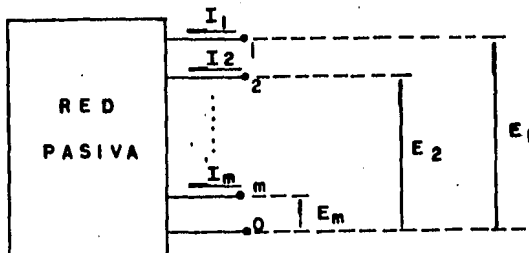


Fig. 3-1 REPRESENTACION DE UNA RED PARCIAL.

Cuando a una red parcial se le agrega un elemento $p-a$, es decir un elemento que une los nodos p y a , este puede ser una rama o una línea.

Si el elemento $p-a$ es una rama, significa que una nueva barra, a , es agregada a la red parcial y la matriz resultante es de dimensión $(m+1) \times (m+1)$; además los nuevos vectores de voltaje y corriente son de magnitud $(m+1) \times 1$. Para determinar la nueva matriz de impedancias de barra se requiere sólo el cálculo de los elementos del renglón y columna nuevos.

Si el elemento $p-a$ es una línea, no se agrega ninguna barra nueva a la red parcial; la dimensión de la matriz se mantiene igual, pero todos los elementos de la matriz deben ser recalculados para tomar en cuenta los efectos de la línea agregada.

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

3.3 ADICION DE UNA RAMA

La ecuación para una red parcial a la cual se le agrega una rama p-q es:

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_p \\ \vdots \\ E_m \\ E_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1p} & \dots & Z_{1m} & Z_{1q} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2p} & \dots & Z_{2m} & Z_{2q} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{p1} & Z_{p2} & \dots & Z_{pp} & \dots & Z_{pm} & Z_{pq} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \dots & Z_{mp} & \dots & Z_{mm} & Z_{mq} \\ Z_{q1} & Z_{q2} & \dots & Z_{qp} & \dots & Z_{qm} & Z_{qq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_p \\ \vdots \\ I_m \\ I_q \end{bmatrix} \quad 3.2$$

Si se supone que la red consiste sólo de elementos pasivos, entonces:

$$Z_{qi} = Z_{iq}$$

donde:

$$i = 1, 2, \dots, m$$

Los elementos Z_{qi} pueden ser determinados al alimentar una corriente en la i -ésima barra y calculando el voltaje en la q -ésima barra con respecto a la barra de referencia, como se muestra en la figura 3.2.

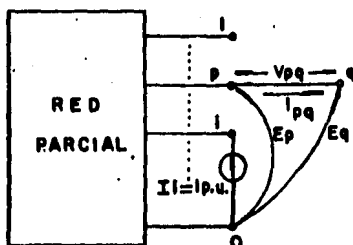


Fig. 3.2 SUMINISTRO DE CORRIENTE PARA EL CALCULO DE Z_{qi}

Puesto que las corrientes en las restantes barras son igual a cero, se cumple de la ecuación 3.2 que:

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

$$\begin{aligned}
 E_1 &= Z_{11} I_1 \\
 E_2 &= Z_{21} I_1 \\
 &\dots\dots\dots \\
 E_p &= Z_{p1} I_1 \\
 &\dots\dots\dots \\
 E_m &= Z_{m1} I_1 \\
 E_q &= Z_{q1} I_1
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

Suponiendo que $I_i = 1$ P.U., Z_{ai} puede ser obtenida directamente al calcular E_a .

El voltaje de barra asociado al elemento asreado y el voltaje propio del elemento están relacionados por:

$$E_q = E_p - V_{pq} \tag{3.4}$$

Las corrientes en los elementos de la red de la figura 3.2 están expresadas por:

$$\begin{bmatrix} I_{pq} \\ I_{r\sigma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{pq,pq} & y_{pq,r\sigma} \\ y_{r\sigma,pq} & y_{r\sigma,r\sigma} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{pq} \\ V_{r\sigma} \end{bmatrix}
 \tag{3.5}$$

donde:

I_{pq} y V_{pq} = corriente y voltaje a través del elemento asreado.

$I_{r\sigma}$ y $V_{r\sigma}$ = vectores de corriente y voltaje de los elementos de la red parcial.

$y_{pq,pq}$ = admitancia propia del elemento asreado.

$y_{pq,r\sigma}$ = vector de impedancias mutuas entre el elemento asreado p-a y los elementos de la red parcial.

= transpuesta del vector

$y_{r\sigma,pq}$
 $y_{r\sigma,r\sigma}$ = matriz primitiva de admitancias de la red parcial.

De la figura 3.2 se observa que la corriente en la rama asreada es:

$$I_{pq} = 0 \tag{3.6}$$

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

Sin embargo, V_{pq} no es igual a cero puesto que la rama adyacente está mutuamente acoplada a uno o más elementos de la red parcial.

Aplicando la ecuación 3.6 en la ecuación 3.5 se tiene:

$$I_{pq} = Y_{pq,pq} V_{pq} + Y_{pq,rs} V_{rs} = 0 \quad 3.7$$

Por lo tanto:

$$V_{pq} = - \frac{Y_{pq,rs} V_{rs}}{Y_{pq,pq}} \quad 3.8$$

Por otro lado:

$$V_{rs} = E_r - E_s \quad 3.9$$

Substituyendo la ecuación 3.9 en la ecuación 3.8, se tiene:

$$V_{pq} = - \frac{Y_{pq,rs} (E_r - E_s)}{Y_{pq,pq}} \quad 3.10$$

Aplicando la ecuación 3.4 en la ecuación 3.10, se obtiene:

$$E_p - E_q = - \frac{Y_{pq,rs} (E_r - E_s)}{Y_{pq,pq}} \quad 3.11$$

Finalmente, las ecuaciones 3.3 se aplican en la ecuación 3.11, considerando que en las ecuaciones 3.3, $i=1$ p.u.:

$$Z_{qi} = Z_{pi} + \frac{Y_{pq,rs} (Z_{ri} - Z_{si})}{Y_{pq,pq}} \quad 3.12$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$i \neq q$$

El elemento Z_{aa} puede ser calculado al alimentar una corriente en la a -ésima barra y calculando el voltaje en esa barra. Puesto que en las demás barras las corrientes son igual a cero, de la ecuación 3.2 se cumple:

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

$$\begin{aligned}
 E_1 &= Z_{1q} I_q \\
 E_2 &= Z_{2q} I_q \\
 &\dots\dots\dots \\
 E_p &= Z_{pq} I_q && 3.13 \\
 &\dots\dots\dots \\
 E_m &= Z_{mq} I_q \\
 &\dots\dots\dots \\
 E_q &= Z_{qq} I_q
 \end{aligned}$$

Haciendo $I_q=1$ p.u. y substituyendo en la ecuación 3.13, se puede obtener Z_{pq} . Los voltajes en las barras p y q están relacionados por la ecuación 3.4 y la corriente a través del elemento adrosado es:

$$I_{pq} = I_q = -1 \quad 3.14$$

Aplicando la ecuación 3.14 en la ecuación 3.5:

$$I_{pq} = y_{pq,pq} V_{pq} + y_{pq,ps} V_{ps} = -1 \quad 3.15$$

Por lo tanto:

$$V_{pq} = \frac{-1 + y_{pq,ps} V_{ps}}{y_{pq,pq}} \quad 3.16$$

Aplicando la ecuación 3.9, se tiene:

$$V_{pq} = \frac{-1 + y_{pq,ps} (E_p - E_s)}{y_{pq,pq}} \quad 3.17$$

Substituyendo la ecuación 3.4 en la ecuación 3.17:

$$E_q = E_p + \frac{1 + y_{pq,ps} (E_p - E_s)}{y_{pq,pq}} \quad 3.18$$

Finalmente, se substituyen E_q , E_p , E_p y E_s con $I_q=1$ p.u. en la ecuación 3.13, obteniendose:

$$Z_{qq} = Z_{pq} + \frac{1 + y_{pq,ps} (Z_{ps} - Z_{sq})}{y_{pq,pq}} \quad 3.19$$

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

Por otro lado, si no se consideran los acoplamientos mutuos entre la rama agregada y los otros elementos de la red parcial, los elementos $z_{pq,pr}$ son igual a cero. Considerando lo anterior, las ecuaciones se reducirán a las siguientes expresiones:

$$Z_{qj} = Z_{pj} \quad 3.20$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$i \neq q$$

$$Z_{qq} = Z_{pq} + z_{pq,pq} \quad 3.21$$

Además, si r es la barra de referencia, se tiene que:

$$Z_{pj} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad 3.22$$

$$Z_{qj} = 0 \quad i \neq q$$

$$Z_{pq} = 0$$

$$Z_{qq} = z_{pq,pq} \quad 3.23$$

3.4 ADICION DE UNA LIGA

Si el elemento añadido $r-q$ es una liga, el procedimiento para recalcular la matriz de impedancias se realiza conectando una fuente de voltaje en serie con el elemento añadido, como se muestra en la figura 3.3.

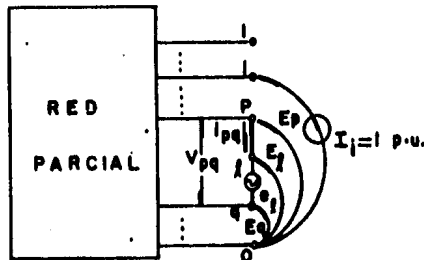


Fig. 3-3 CONEXION DE UNA FUENTE DE VOLTAJE EN SERIE CON LA LIGA AÑADIDA.

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

La conexión de la fuente de voltaje E_q crea el nodo ficticio 1, el cual será eliminado más tarde. La fuente de voltaje se selecciona de tal manera que la corriente a través de la línea añadida sea cero.

La ecuación de la red parcial es:

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_p \\ \vdots \\ E_m \\ e_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1p} & \dots & Z_{1m} & Z_{1j} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2p} & \dots & Z_{2m} & Z_{2j} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ Z_{p1} & Z_{p2} & \dots & Z_{pp} & \dots & Z_{pm} & Z_{pj} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \dots & Z_{mp} & \dots & Z_{mm} & Z_{mj} \\ Z_{j1} & Z_{j2} & \dots & Z_{jp} & \dots & Z_{jm} & Z_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_p \\ \vdots \\ I_m \\ I_j \end{bmatrix} \quad 3.24$$

Puesto que:

$$e_j = E_j - E_q$$

El elemento Z_{1i} puede ser determinado al suministrar una corriente en la i -ésima barra y calculando el voltaje en el 1-ésimo nodo con respecto a la barra q . Ya que las corrientes de las restantes barras son igual a cero, se cumple de la ecuación 3.24 que:

$$E_k = Z_{k1} I_1 \quad k = 1, 2, \dots, m \quad 3.25$$

$$e_j = Z_{j1} I_1$$

Haciendo $I_1 = 1$ p.u. y substituyendo en la ecuaciones 3.25, Z_{1i} puede ser obtenida directamente al calcular . La fuente de voltaje en serie es:

$$e_j = E_p - E_q - V_{pq} \quad 3.26$$

Además, la corriente a través de la línea añadida es:

$$i_{pq} = 0 \quad 3.27$$

Por lo tanto, el elemento $p-1$ puede ser tratado como una rama. La corriente en este elemento, utilizando la matriz de admitancias primitiva y el voltaje a través del mismo es:

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

$$I_{p1} = Y_{p1,p1} V_{p1} + Y_{p1,q1} V_{q1} \quad 3.28$$

Puesto que al elemento p-1 se le va a considerar como una rama, entonces:

$$I_{p1} = 0 \quad 3.29$$

Por lo tanto:

$$V_{p1} = - \frac{Y_{p1,q1} V_{q1}}{Y_{p1,p1}} \quad 3.30$$

Por otro lado, al seleccionar la fuente de voltaje de tal manera que no haya flujo de corriente en la rama añadida, se puede deducir que:

$$\begin{aligned} Y_{p1,p1} V_{p1} + Y_{p1,q1} V_{q1} \\ Y_{p1,p1} V_{p1} + Y_{p1,q1} V_{q1} \end{aligned} \quad 3.31$$

Entonces:

$$V_{p1} = - \frac{Y_{p1,q1} V_{q1}}{Y_{p1,p1}} \quad 3.32$$

Substituyendo la ecuación 3.9 en la ecuación 3.32:

$$V_{p1} = - \frac{Y_{p1,q1} (E_p - E_q)}{Y_{p1,p1}} \quad 3.33$$

Substituyendo la ecuación 3.26 en la ecuación 3.33:

$$e_{p1} = E_p - E_q + \frac{Y_{p1,q1} (E_p - E_q)}{Y_{p1,p1}} \quad 3.34$$

Finalmente, al substituir las ecuaciones 3.25 en la ecuación 3.34, se obtiene:

$$Z_{ij} = Z_{p1} - Z_{q1} + \frac{Y_{p1,q1} (Z_{p1} - Z_{q1})}{Y_{p1,p1}} \quad 3.35$$

para:

$$\begin{aligned} i = 1, 2, \dots, m \\ i \neq j \end{aligned}$$

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

El elemento Z_{11} puede ser calculado al suministrar una corriente en la l -ésima barra y calculando el voltaje en el nodo l -ésimo con respecto a la barra o . Puesto que las corrientes en las restantes barras son igual a cero se cumple, de la ecuación 3.24, que:

$$\begin{aligned} E_k &= Z_{kl} I_l \\ o_k &= Z_{1l} I_l \end{aligned} \quad k = 1, 2, \dots, m \quad 3.36$$

Z_{11} puede ser obtenida directamente al calcular E_l , considerando que en la ecuación 3.36, $I_l = 1$ p.u. La corriente en el elemento $p-1$ es:

$$I_{p1} = -I_l = -1 \quad 3.37$$

Substituyendo la ecuación 3.37 en la ecuación 3.28:

$$I_{p1} = Y_{p1,p1} V_{p1} + Y_{p1,p\sigma} V_{p\sigma} = -1 \quad 3.38$$

Substituyendo la ecuación 3.31 en la ecuación 3.38, se obtiene:

$$V_{p1} = - \frac{1 + Y_{p\sigma,p\sigma} V_{p\sigma}}{Y_{p1,p1}} \quad 3.39$$

Substituyendo la ecuación 3.9 en la ecuación 3.39:

$$V_{p1} = - \frac{1 + Y_{p\sigma,p\sigma} (E_p - E_\sigma)}{Y_{p1,p1}} \quad 3.40$$

Substituyendo la ecuación 3.26 en la ecuación 3.40:

$$o_{p1} = E_p - E_\sigma + \frac{1 + Y_{p\sigma,p\sigma} (E_p - E_\sigma)}{Y_{p1,p1}} \quad 3.41$$

Finalmente, aplicando las ecuaciones 3.36, con $I_l = 1$ p.u., la ecuación 3.41 se transforma en:

$$Z_{p1} = Z_{p\sigma} - E_\sigma + \frac{1 + Y_{p\sigma,p\sigma} (E_p - E_\sigma)}{Y_{p1,p1}} \quad 3.42$$

Si no existe acoplamiento mutuo entre el elemento añadido y los demás elementos de la red parcial, entonces $Y_{p1,p\sigma}$ es igual a cero, cumpliéndose que:

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

$$Z_{pq,pq} = \frac{1}{Y_{pq,pq}} \quad 3.43$$

Por lo tanto, las ecuaciones 3.25 y 3.42 se reducen a:

$$Z_{li} = Z_{pi} - Z_{qi} \quad 3.44$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$i \neq l$$

$$Z_{lj} = Z_{pj} - Z_{qj} + z_{pq,pq} \quad 3.45$$

Si no existe acoplamiento mutuo y además p es el nodo de referencia, entonces:

$$Z_{pi} = 0 \quad 3.46$$

$$Z_{pj} = 0$$

Por lo que:

$$Z_{li} = -Z_{qi} \quad 3.47$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$i \neq l$$

$$Z_{lj} = -Z_{qj} + z_{pq,pq} \quad 3.48$$

Hasta aquí se han calculado los elementos que corresponden al renglón y a la columna l-ésimos. Sin embargo, aún no se ha calculado la matriz de impedancias que refleja los efectos de la línea adyacente, obteniéndose esta matriz al modificar los elementos Z_{ij} , donde i y $j = 1, 2, \dots, m$ y eliminando el renglón y columna l-ésimos correspondientes al nodo ficticio.

Para eliminar el nodo ficticio, se pone en corto-circuito la fuente de voltaje E_A . Así, tenemos de la ecuación 3.24:

$$E_{borro} = Z_{borro} I_{borro} + Z_{li} I_l \quad 3.49$$

$$0_l = Z_{lj} I_{borro} + Z_{lj} I_l \quad 3.50$$

$$i, j = 1, 2, \dots, m$$

Despejando I_l de la ecuación 3.50 y substituyendola en la ecuación 3.49, se obtiene:

$$E_{borro} = \left(Z_{borro} - \frac{Z_{li} Z_{lj}}{Z_{ll}} \right) I_{borro} \quad 3.51$$

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

La ecuación 3.51 es la ecuación que representa a una red parcial que incluye una liga p-q.

Para obtener la matriz de impedancias que incluye los efectos de la edición de la liga p-q, la ecuación 3.51 se divide entre Z_{ll} , obteniéndose:

$$Z_{\text{barra}}' = \left(Z_{\text{barra}} - \frac{Z_{il} Z_{lj}}{Z_{ll}} \right) \quad 3.62$$

donde:

Z_{barra}' = matriz de impedancias de barra modificada.

Z_{barra} = matriz de impedancias de barra antes de la eliminación del nodo ficticio.

	P NO ES EL NODO DE REFERENCIA	P ES EL NODO DE REFERENCIA
SE AGREGA RAMA	$Z_{qi} = Z_{qj}$ $i = 1, 2, \dots, m$ $i \neq q$ $Z_{qq} = Z_{pq} + Z_{pq, pq}$	$Z_{qi} = 0$ $i = 1, 2, \dots, m$ $i \neq q$ $Z_{qq} = Z_{pq, pq}$
SE AGREGA LIGA	$Z_{ij} = Z_{pj} - Z_{qi}$ $i = 1, 2, \dots, m$ $i \neq q$ $Z_{ll} = Z_{pl} - Z_{ql} + Z_{pq, pq}$	$Z_{ij} = -Z_{qi}$ $i = 1, 2, \dots, m$ $i \neq q$ $Z_{ll} = -Z_{ql} + Z_{pq, pq}$
	MODIFICACION DE LOS ELEMENTOS AL ELIMINAR EL NODO FICTICIO.	$Z_{ij}' = Z_{ij} - \frac{Z_{il} Z_{lj}}{Z_{ll}}$ $i, j = 1, 2, \dots, m$

TABLA 1. - SUMARIO DE LAS ECUACIONES UTILIZADAS PARA LA OBTENCION DE LA MATRIZ DE IMPEDANCIAS DE BARRA.

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

Cualquier elemento de Zbarra puede ser recalculado por:

$$Z_{ij}' = Z_{ij} - \frac{Z_{i0} Z_{0j}}{Z_{00}} \quad 3-63$$

En la tabla 1 se resumen todas las ecuaciones necesarias para obtener los elementos de la matriz de impedancias de barra, considerando que no existen acoplamientos mutuos entre los elementos de la red.

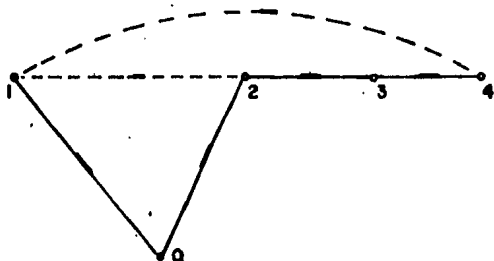
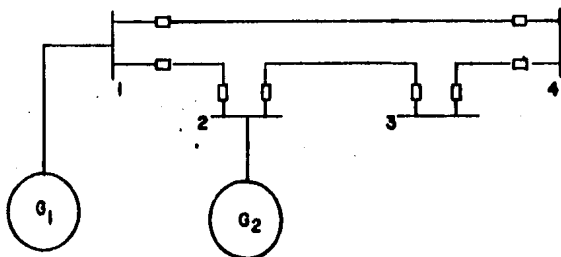


Fig. 3.4 SISTEMA ELECTRICO UTILIZADO PARA ILUSTRAR EL CALCULO DE CORRIENTES DE CORTO-CIRCUITO UTILIZANDO LA MATRIZ Zbarra.

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

3.5 EJEMPLO DEL CALCULO DE CORTO-CIRCUITO UTILIZANDO ZBARRA

Para ilustrar el método de cálculo de corrientes de corto-circuito utilizando la matriz **Zbarra**, se calculará el corto-circuito trifásico para el sistema eléctrico de la figura 3.4.

Las impedancias de las líneas que unen a cada una de las barras son:

Línea	Barras(p-q)	Impedancia(p.u.)
1	0-1	0.1
2	0-2	0.595
3	1-2	0.193
4	2-3	0.025
5	3-4	0.104
6	1-4	0.135

Con los anteriores datos puede ser formada la matriz **Zbarra**, lo cual será descrito a continuación.

1. Se empieza con la línea 1 la cual une a la barra 0 (tierra) con la barra 1, tratándose obviamente de una rama.

**SE AGREGA RAMA Y P
ES BARRA DE REFERENCIA.**

$$\begin{aligned}
 p &= 0 & Z_{qj} &= 0 \\
 q &= 1 & Z_{j0} &= 0 \\
 & & Z_{qq} &= Z_{pqpq} \\
 & & Z_{j1} &= 0.1
 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{barra}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2. Se agrega la línea 2 que une a las barras 0 y 2.

**SE AGREGA RAMA Y P
ES BARRA DE REFERENCIA.**

$$\begin{aligned}
 p &= 0 & Z_{qj} &= 0 \\
 q &= 2 & Z_{20} &= 0 \\
 & & Z_{21} &= 0
 \end{aligned}$$

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

$$Z_{qq} = Z_{pq,pq}$$

$$Z_{22} = 0.595$$

Zbarra =

	1	2
1	0.1	0
2	0	0.595

3. Se agrega la línea 3.

SE AGREGA LIGA Y P
NO ES BARRA DE REFERENCIA

$$p = 1$$

$$q = 2$$

$$Z_{11} = Z_{p1} - Z_{q1}$$

$$Z_{10} = Z_{10} - Z_{20} = 0$$

$$Z_{11} = Z_{11} - Z_{21} = 0.1$$

$$Z_{12} = Z_{12} - Z_{22} = -0.595$$

$$Z_{13} = Z_{p3} - Z_{q3} + Z_{pq,pq}$$

$$Z_{11} = Z_{11} - Z_{21} + Z_{12,12} = 0.888$$

Zbarra =

	1	2	3
1	0.1	0	0.1
2	0	0.595	-0.595
3	0.1	-0.595	0.888

ELIMINANDO EL NODO FICTICIO:

$$Z'_{11} = Z_{11} - \frac{Z_{13} Z_{31}}{Z_{33}} = 0.088$$

$$Z'_{12} = Z_{12} - \frac{Z_{13} Z_{32}}{Z_{33}} = 0.067$$

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

$$Z_{22}' = Z_{22} - \frac{Z_{21} Z_{12}}{Z_{11}} = 0.196$$

Z barra =

	1	2
1	0.088	0.067
2	0.067	0.196

4. Se agrega la línea 4 que une las barras 2 y 3.

SE AGREGA RAMA Y P
NO ES BARRA DE REFERENCIA

$$p=2$$

$$q=3$$

$$Z_{q1} = Z_{p1}$$

$$Z_{31} = Z_{21} = 0.067$$

$$Z_{32} = Z_{22} = 0.196$$

$$Z_{qq} = Z_{pq} + Z_{pq,pq}$$

$$Z_{qq} = Z_{23} + Z_{23,23}$$

$$Z_{33} = 0.196 + 0.025$$

$$Z_{33} = 0.221$$

Z barra =

	1	2	3
1	0.088	0.067	0.067
2	0.067	0.196	0.196
3	0.067	0.196	0.221

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

5. Se agrega la línea 5.

SE AGREGA RAMA Y P
NO ES BARRA DE REFERENCIA

$$p = 3$$

$$q = 4$$

$$Z_{qj} = Z_{pj}$$

$$Z_{41} = Z_{31} = 0.067$$

$$Z_{42} = Z_{32} = 0.196$$

$$Z_{43} = Z_{33} = 0.221$$

$$Z_{44} = Z_{p4} + Z_{pq,p4}$$

$$Z_{44} = Z_{34} + Z_{34,34}$$

$$Z_{44} = 0.221 + 0.104$$

$$Z_{44} = 0.325$$

	1	2	3	4
1	0.088	0.067	0.067	0.067
2	0.067	0.196	0.196	0.196
3	0.067	0.196	0.221	0.221
4	0.067	0.196	0.221	0.325

Z barra =

8. Se agrega la línea 6 que une las barras 1 y 4.

SE AGREGA LIGA Y P
NO ES NODO DE REFERENCIA

$$p = 1$$

$$q = 4$$

$$Z_{1j} = Z_{pj} - Z_{qj}$$

$$Z_{11} = Z_{11} - Z_{41} = 0.021$$

$$Z_{12} = Z_{12} - Z_{42} = -0.129$$

$$Z_{13} = Z_{13} - Z_{43} = -0.154$$

$$Z_{14} = Z_{14} - Z_{44} = -0.258$$

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

$$Z_{11} = Z_{p1} - Z_{q1} + z_{pq,pq}$$

$$Z_{12} = Z_{12} - Z_{q2} + z_{14,14}$$

$$Z_{11} = 0.4140$$

	1	2	3	4	f
1	0.088	0.067	0.067	0.067	0.021
2	0.067	0.196	0.196	0.196	-0.129
Z barra = 3	0.067	0.196	0.221	0.221	-0.164
4	0.067	0.196	0.221	0.325	-0.258
f	0.021	-0.129	-0.164	-0.258	0.414

ELIMINANDO EL NODO FICTICIO

$$Z'_{11} = Z_{11} - \frac{Z_{1f} Z_{f1}}{Z_{ff}} = 0.086$$

$$Z'_{12} = Z_{12} - \frac{Z_{1f} Z_{f2}}{Z_{ff}} = 0.073$$

$$Z'_{13} = Z_{13} - \frac{Z_{1f} Z_{f3}}{Z_{ff}} = 0.074$$

$$Z'_{14} = Z_{14} - \frac{Z_{1f} Z_{f4}}{Z_{ff}} = 0.080$$

$$Z'_{21} = Z_{21} - \frac{Z_{2f} Z_{f1}}{Z_{ff}} = 0.073$$

$$Z'_{22} = Z_{22} - \frac{Z_{2f} Z_{f2}}{Z_{ff}} = 0.156$$

$$Z'_{23} = Z_{23} - \frac{Z_{2f} Z_{f3}}{Z_{ff}} = 0.148$$

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

$$Z'_{24} = Z_{24} - \frac{Z_{21} Z_{14}}{Z_{11}} = 0.115$$

$$Z'_{33} = Z_{33} - \frac{Z_{31} Z_{13}}{Z_{11}} = 0.164$$

$$Z'_{34} = Z_{34} - \frac{Z_{31} Z_{14}}{Z_{11}} = 0.125$$

$$Z'_{44} = Z_{44} - \frac{Z_{41} Z_{14}}{Z_{11}} = 0.229$$

Z barra =

	1	2	3	4
1	0.086	0.073	0.074	0.080
2	0.073	0.155	0.148	0.115
3	0.074	0.148	0.164	0.125
4	0.080	0.115	0.125	0.164

Una vez que se ha obtenido la matriz Zbarra, sólo se tiene que aplicar la ecuación 1.44, descrita en el capítulo 1, para calcular la corriente de corto-circuito trifásico en cada una de las barras del sistema.

Por ejemplo, suponiendo que $V_f = 1$ p.u., la corriente de corto-circuito para la barra 1 será:

$$I_{01} = \frac{1}{0.086}$$

$$I_{01} = 11.62 \text{ p. u.}$$

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

Para calcular las aportaciones de corriente de cortocircuito de las barras adyacentes, basta con aplicar la ecuación 2.11 del capítulo 2, suponiendo también que los voltajes Vfj y Vfk son iguales a 1 p.u. Bajo tales condiciones, la ecuación 2.11 se transforma en:

$$I_{jk} = \frac{-Z_{jp} + Z_{kp}}{Z_{jk} + Z_{pp}}$$

donde:
 Z_{jp}, Z_{kp}, Z_{pp}

son las impedancias calculadas y pertenecientes a Zbarra.

Z_{jk}

es la reactancia primitiva que existe entre las barras j y k.

Así, la corriente que aporta la barra 0 es:

$$I_{01} = \frac{-Z_{01} + Z_{11}}{Z_{01} + Z_{11}} = \frac{0 + 0.086}{0.1(0.086)}$$

$$I_{01} = 10.0 \text{ p.u.}$$

La corriente que aporta la barra 2 es:

$$I_{21} = \frac{Z_{21} + Z_{11}}{Z_{21} + Z_{11}} = \frac{-0.073 + 0.086}{0.193(0.086)}$$

$$I_{21} = 0.783 \text{ p.u.}$$

Finalmente, la corriente que aporta la barra 4 es:

$$I_{41} = \frac{Z_{41} - Z_{11}}{Z_{41} + Z_{11}} = \frac{-0.080 + 0.086}{0.136(0.086)}$$

$$I_{41} = 0.517 \text{ p.u.}$$

Las corrientes de corto-circuito trifásico en las restantes barras, así como la contribución de corriente de cada una de las barras conectadas a la barra con falla, se calculan en forma análoga a la anteriormente descrita.

ALGORITMO PARA LA FORMACION DIRECTA DE LA MATRIZ ZBARRA

Por otro lado, para el cálculo de corto-circuito monofásico, se utiliza el método arriba descrito pero considerando ahora las impedancias de secuencia cero que existen entre las barras del sistema, para formar así la matriz de impedancias respectiva. Una vez formada la matriz de impedancias de barra de secuencia cero y habiendo obtenido ya la de secuencia positiva, bastará con aplicar la ecuación 1.17 del capítulo 1 para calcular las corrientes de corto-circuito monofásico en cada una de las barras del sistema.

CAPITULO 4

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO-CIRCUITO

4.1 INTRODUCCION

El objetivo principal del presente trabajo es el programa de computadora elaborado para calcular las corrientes de corto-circuito de un sistema eléctrico utilizando la matriz Zbarra, la cual es construida mediante el algoritmo descrito en el capítulo anterior. Por lo tanto es importante describir los módulos y rutinas que conforman el programa así como su interrelación.

Es igualmente importante aplicar el programa a la solución de un problema que requiera el cálculo de corto-circuito ya sea trifásico o monofásico, por lo cual también es descrito un ejemplo de aplicación.

Para una mayor referencia consulte los apéndices A1 y A2, donde se encuentran el manual de usuario y el listado del programa, respectivamente.

4.2 DESCRIPCION

4.2.1 MODULOS Y RUTINAS DEL PROGRAMA

El programa se haya constituido por un módulo principal desde el cual se hacen las llamadas a los submódulos TRIFASICO Y MONOFASICO, los cuales calculan los corto-circuitos trifásico y monofásico, respectivamente. Es importante aclarar que para calcular el corto-circuito monofásico es necesario calcular antes el trifásico, ya que para los cálculos de corto-circuito monofásico son necesarias las impedancias de secuencia positiva, las cuales son calculadas en el corto-circuito trifásico. Por lo tanto, el submódulo TRIFASICO es ejecutado automáticamente por el módulo principal.

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

En el submódulo TRIFASICO los datos del sistema a analizar son introducidos por medio de la rutina LECTURA. Los datos son introducidos en dos etapas, siendo leídos en la primera etapa la barra de referencia, el número de barras y el número de líneas del sistema, mientras que en la segunda etapa son leídas la barra de envío, la barra de recepción y la reactancia (en ohm por unidad) que existe entre ambas barras, demandando la repetición de esta etapa del número de líneas que conforman el sistema.

A continuación los datos son ordenados por medio de la rutina SORTEO, se que la rutina que dibuja la topología del sistema necesita los datos ordenados en forma ascendente con respecto a la barra de envío. Una vez que se han ordenado los datos, se procede entonces a formar la matriz Zbarra por medio de la rutina FORMA_MATRIZ.

La rutina FORMA_MATRIZ llama a su vez a la rutina BUC, la cual revisa si el elemento agregado es una rama o una liga. Para decidir si el elemento agregado es una rama o una liga, se hace uso de un vector llamado NODOS en el cual se van almacenando las barras que ya han sido agregadas al sistema. Así, cuando se agrega una nueva línea, la barra de recepción es comparada contra los elementos del vector NODOS y en caso de estar ya almacenada en el vector, el elemento agregado es tratado como una liga; en caso contrario, el elemento agregado es considerado una rama.

Si el elemento agregado es una rama, en esta misma rutina son efectuados los cálculos correspondientes para obtener los elementos de la matriz Zbarra. Por el contrario si el elemento agregado es una liga, la rutina FORMA_MATRIZ llama a la rutina AGREGA_LIGA la cual se encarga de calcular los elementos respectivos de la matriz Zbarra.

Además, en la rutina FORMA_MATRIZ se verifica que no existan redes aisladas, esto es, barras que no tengan ninguna conexión con otro elemento del sistema.

Una vez que se ha formado la matriz Zbarra, el submódulo TRIFASICO llama entonces a la rutina TOPOLOGIA, la cual dibuja de una manera sencilla y clara la topología del sistema a estudiar. Esta rutina hace uso de un sistema de graficación que se haya incluido en la librería de la computadora VAX-11/780.

A continuación, por medio de la rutina ORDENA es establecido el orden en el cual serán impresas las barras así como sus respectivos resultados.

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO-CIRCUITO

Finalmente, el cálculo de las corrientes de corto-circuito así como las aportaciones de corriente de cada una de las barras adyacentes a la barra con falla son calculadas e impresas por medio de la rutina CAL_IMP. Cabe aclarar que todos los cálculos son realizados de acuerdo a la forma descrita en la sección 3.5 del capítulo 3.

Una vez que se ha calculado el corto-circuito trifásico, el control del programa regresa al módulo principal donde se pregunta si se desea calcular el corto-circuito monofásico. Si la respuesta es afirmativa, entonces el control es transferido al submódulo MONOFASICO el cual ejecuta un proceso semejante al realizado por el submódulo TRIFASICO. En caso contrario el programa finaliza su proceso. Una vez que ha terminado el programa, se le inquiere al usuario si desea imprimir a papel los resultados y además si desea resolver otro problema.

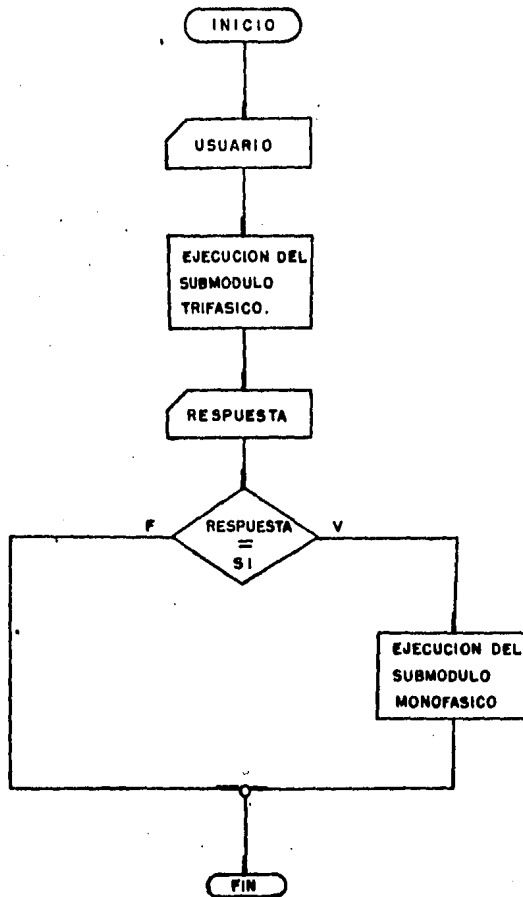
Por otro lado, el formato y la manera de introducir los datos del programa son descritos en el manual de usuario que se haya en el apéndice A1.

4.2.2 DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama de flujo que se presenta a continuación tiene por objeto describir en forma clara y concisa la estructura del programa, tomando en cuenta sólo las características generales de las rutinas de las que se haya compuesto, ya que el considerar características particulares iría en detrimento de la objetividad pretendida. Para el lector que desee examinar con mayor profundidad el programa, puede consultar el apéndice A2 donde se haya el listado del mismo.

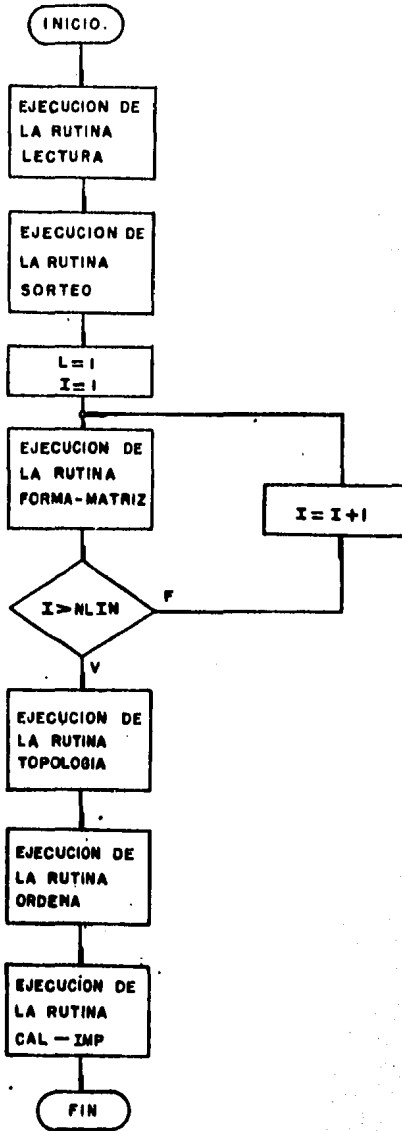
DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

MODULO PRINCIPAL



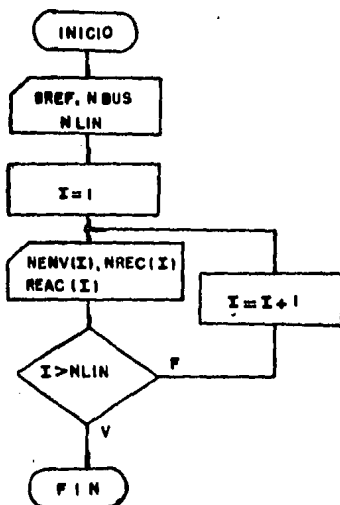
DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

SUBMODULO TRIFASICO

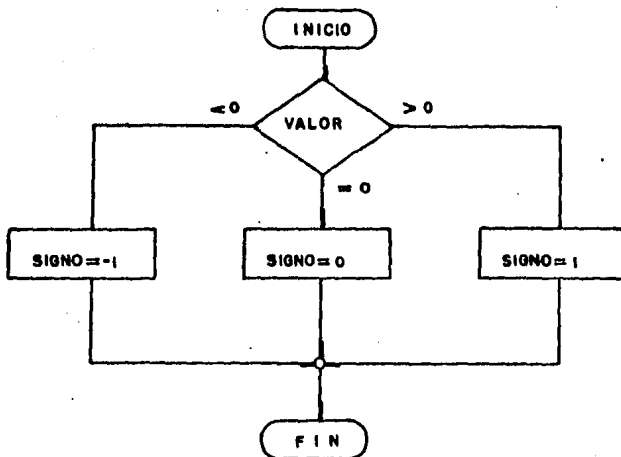


DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO-CIRCUITO

RUTINA LECTURA

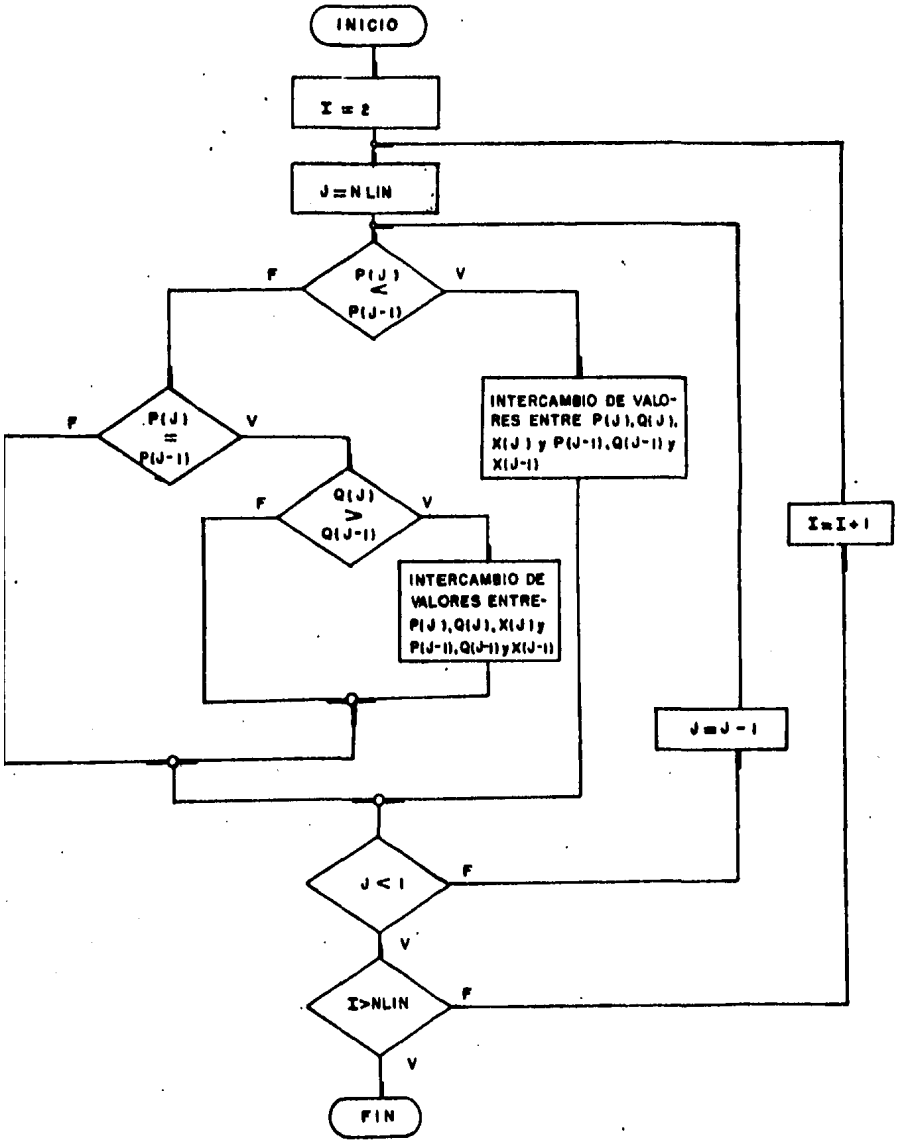


FUNCION SIGNO



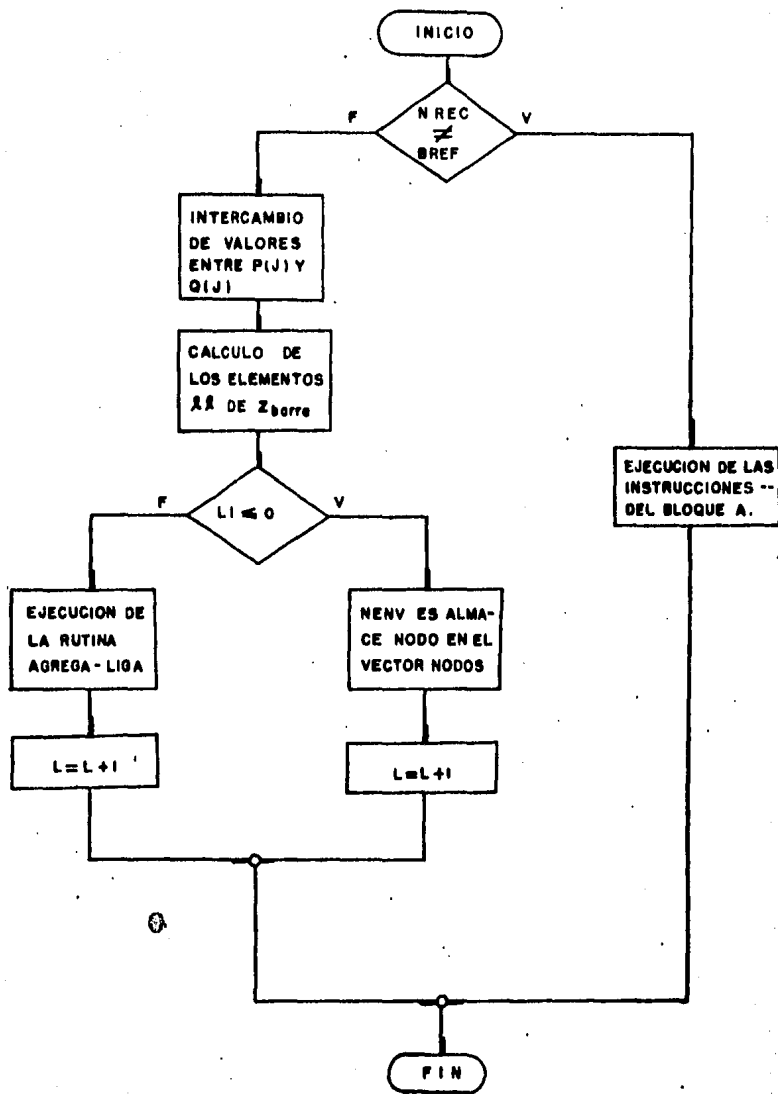
DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

RUTINA SORTEO



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO-CIRCUITO

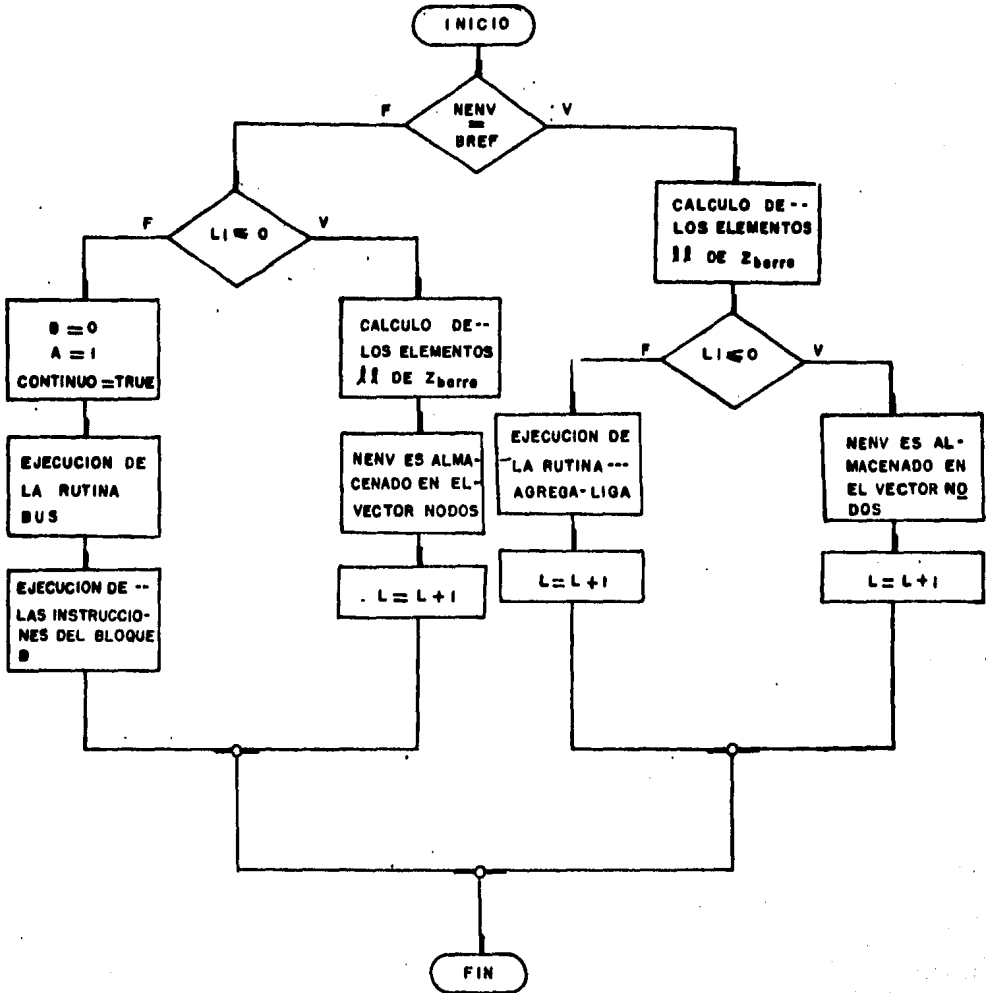
RUTINA FORMA-MATRIZ



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO-CIRCUITO

RUTINA FORMA-MATRIZ

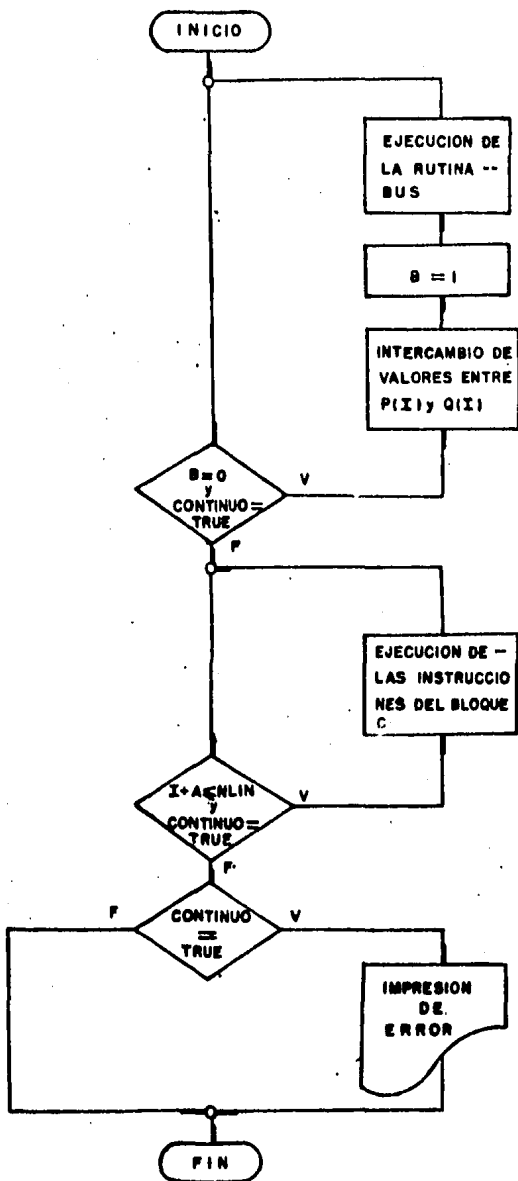
- BLOQUE A -



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

RUTINA FORMA-MATRIZ

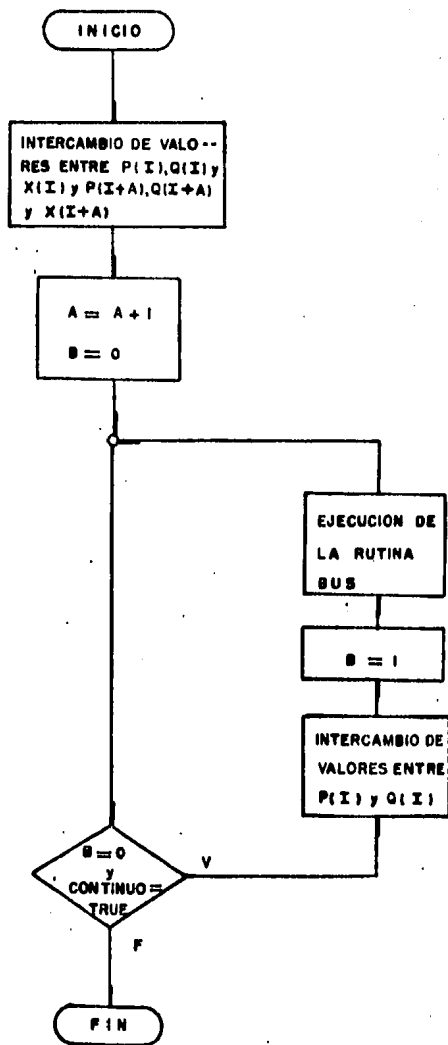
-BLOQUE B -



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

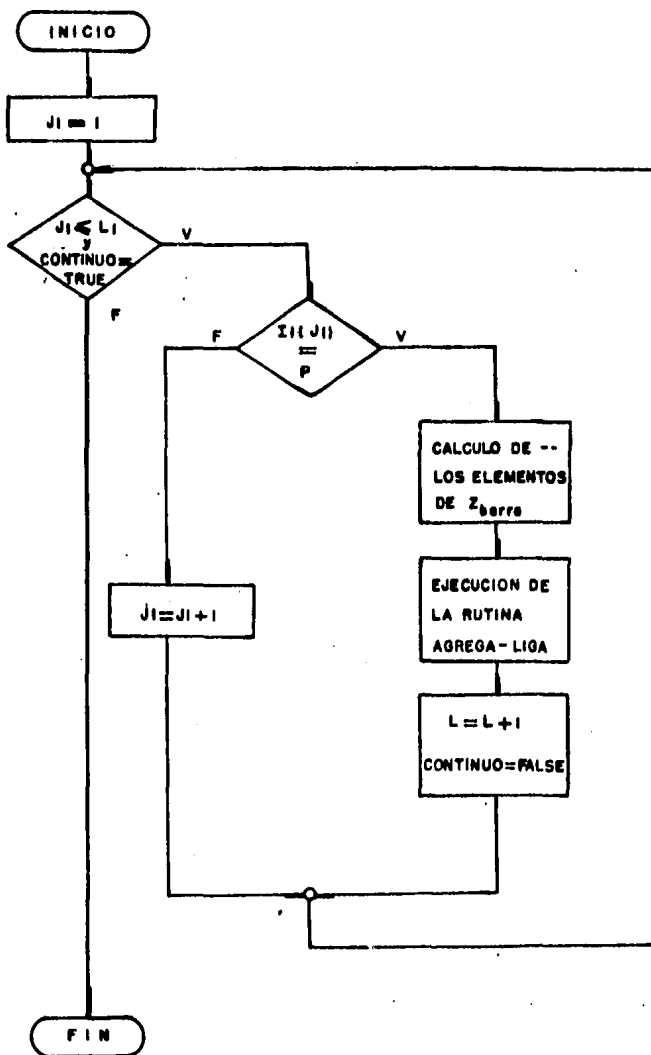
RUTINA FORMA MATRIZ

- BLOQUE C -



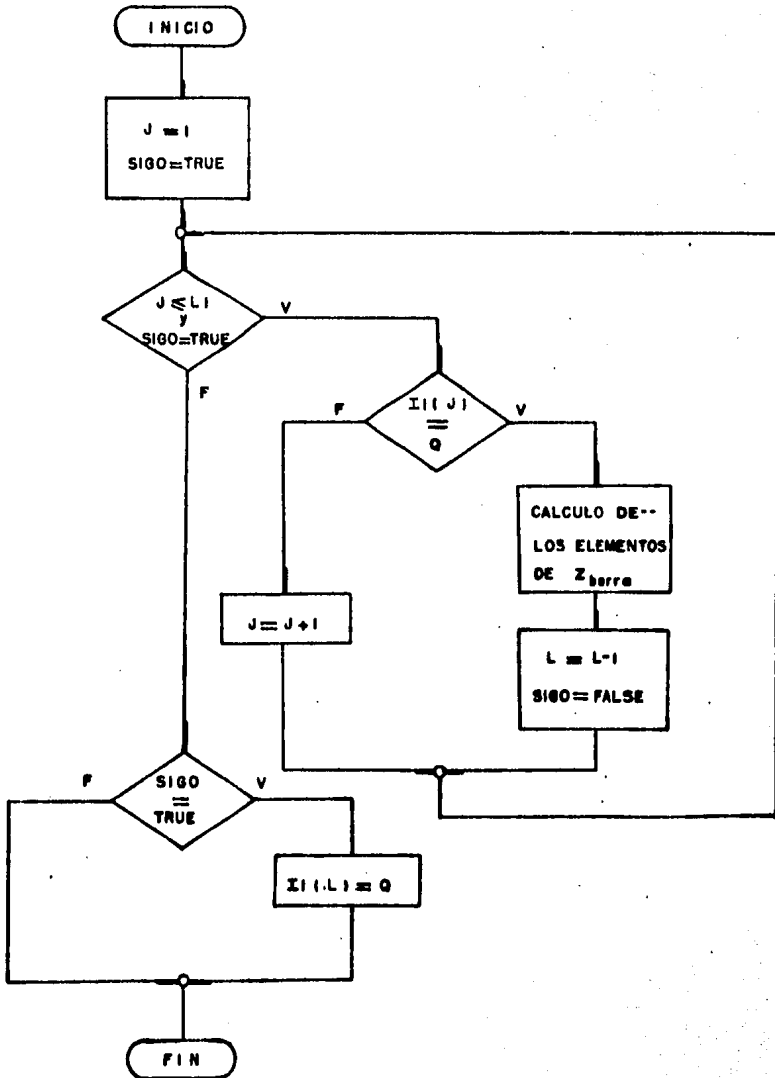
DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

RUTINA BUS



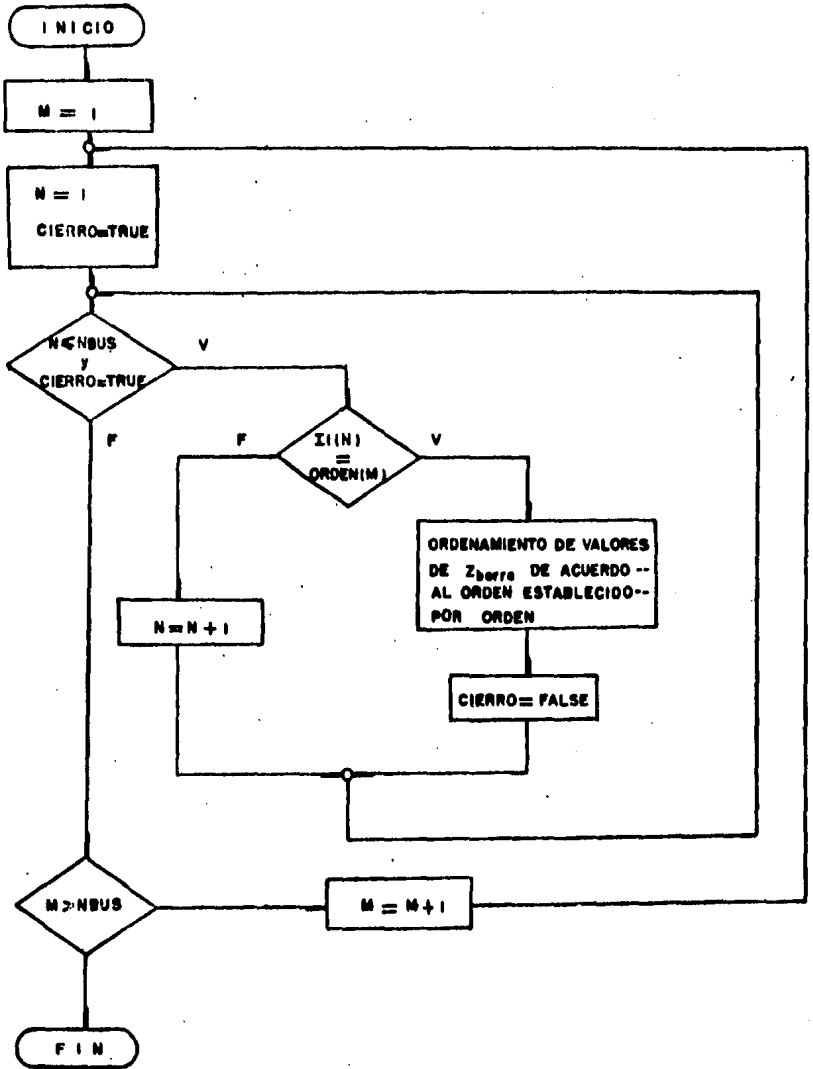
DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

RUTINA AGREGA-LIGA



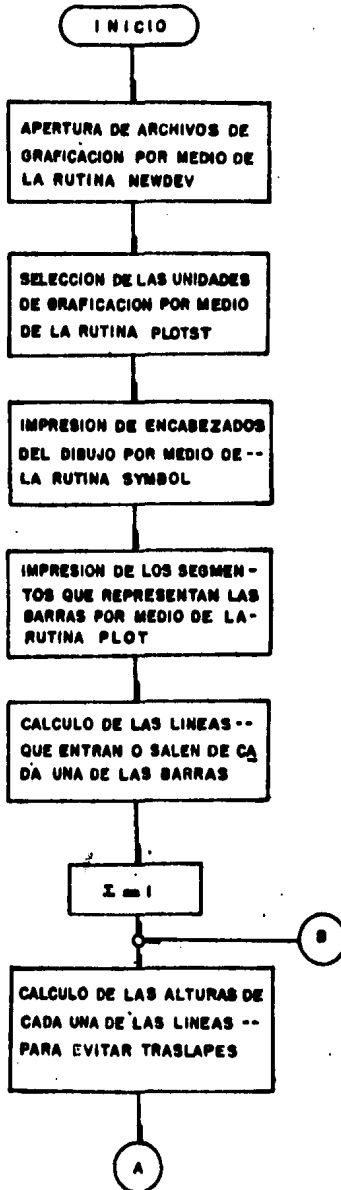
DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

RUTINA ORDENA



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

RUTINA TOPOLOGIA

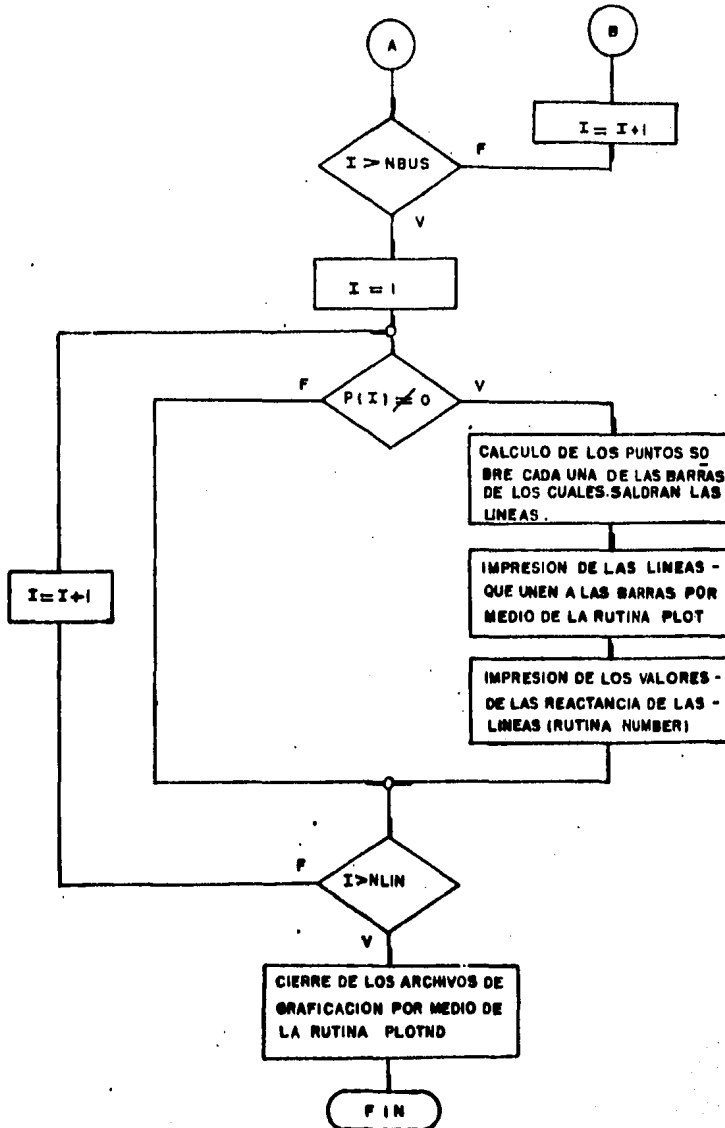


NOTA: LAS RUTINAS NEWDEV, PLOTST, SYMBOL, PLOT, NUMBER Y PLOTND, SON RUTINAS -- PROPIAS DEL SISTEMA DE GRAFICACION -- QUE POSEE VAX-11/780.

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

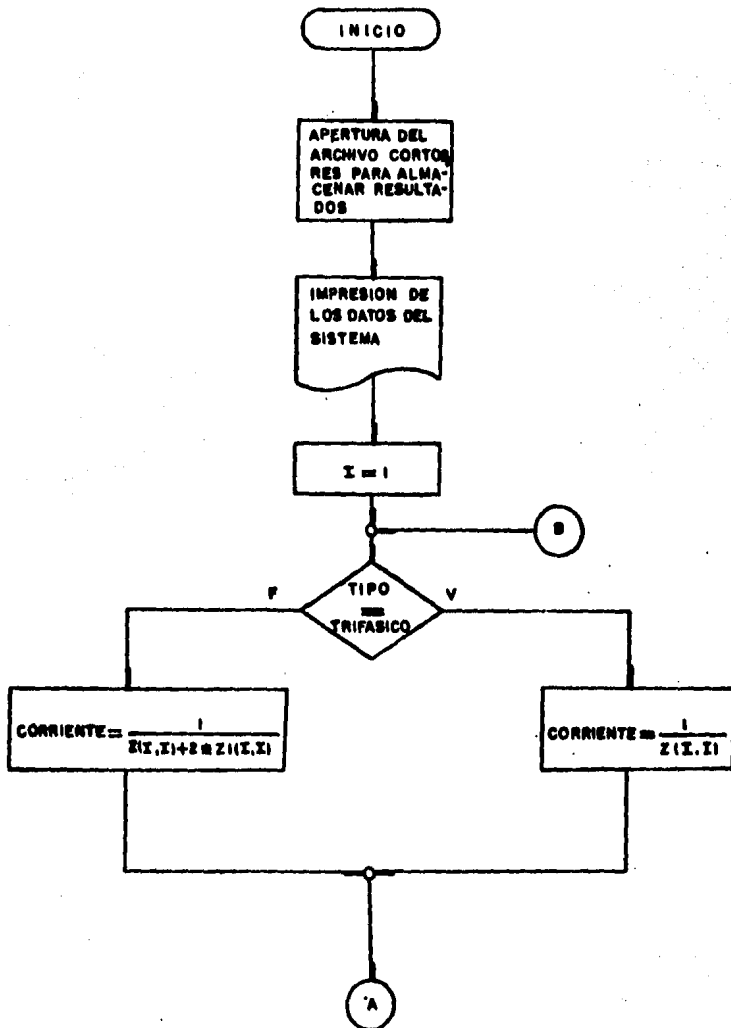
RUTINA TOPOLOGIA

- CONTINUACION -



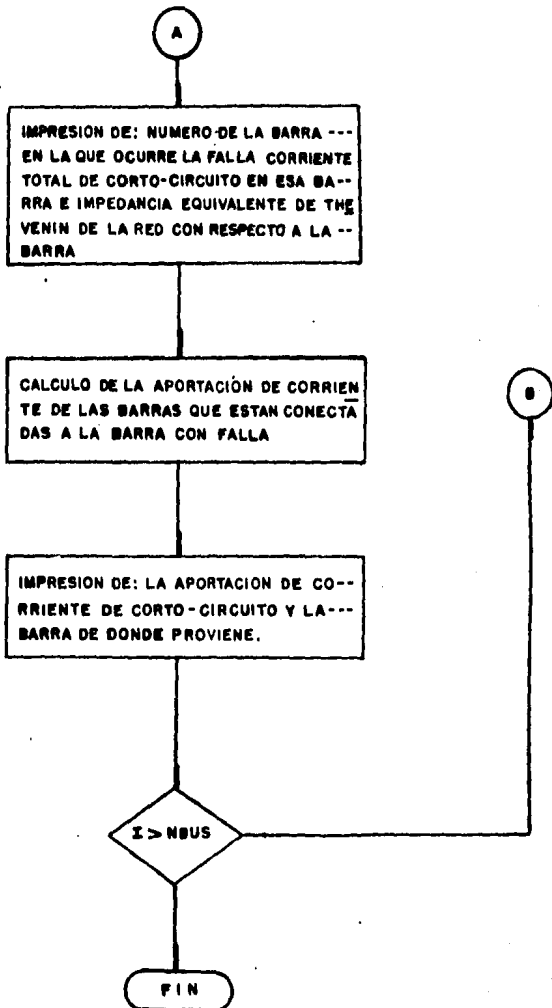
DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

RUTINA CAL-IMP

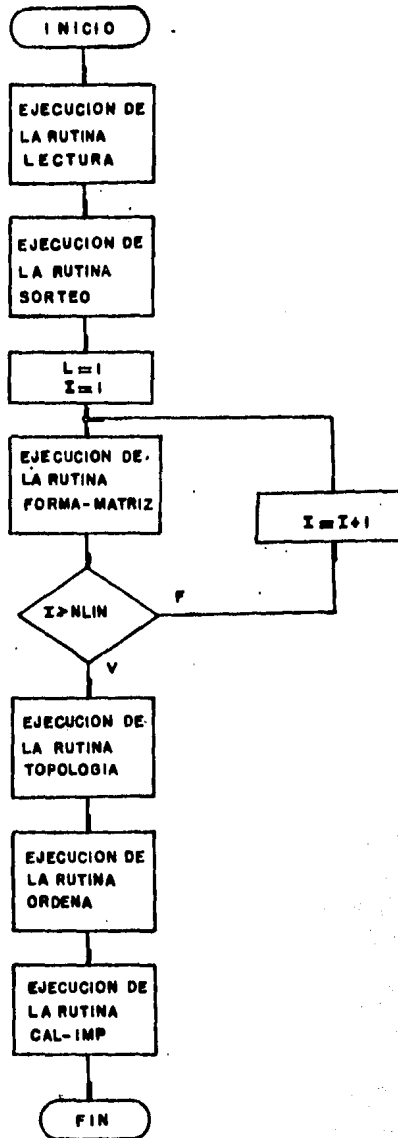


DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

RUTINA CAL-IMP.
-CONTINUACION-



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO
SUBMODULO MONOFASICO



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

4.3 APLICACION

A través del siguiente ejemplo se muestran los resultados que se obtienen al calcular las corrientes de corto-circuito de un sistema eléctrico utilizando el programa CORTO_CIRCUITO.

Problema.

El sistema eléctrico a analizar es ilustrado en la figura 4.1.

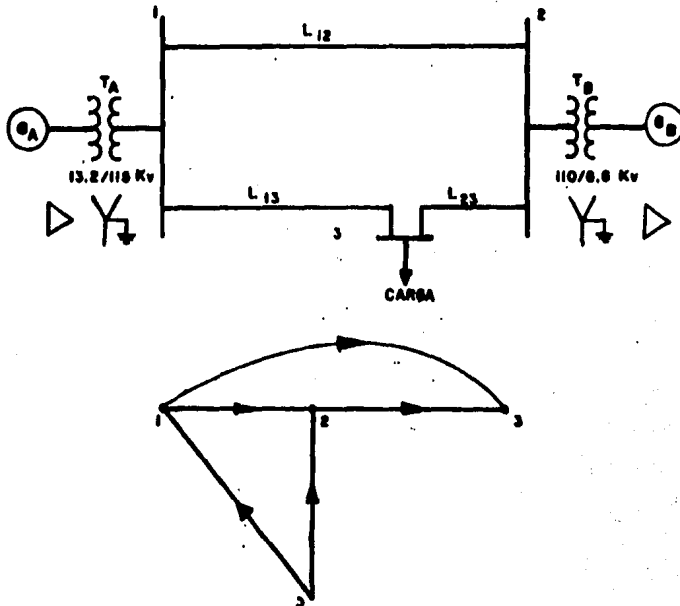


FIG. 4.1 DIAGRAMA UNIFILAR Y GRAFO DEL SISTEMA DEL EJEMPLO DE APLICACION.

Los datos de los elementos que constituyen el sistema son:

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

Generador A
50 MVA
13.8 KV
 $X1=X2=J0.3$
 $X0=J0.15$

Generador B
50 MVA
6.6 KV
 $X1=X2=J0.4$
 $X0=J0.6$

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

Transformador B
50 MVA
6.6/110 KV
 $X1=X2=X0=J0.11$

Línea 1-2
 $Z1=16+J60 \Omega$
 $Z2=16+J60 \Omega$
 $Z0=37+J193.8 \Omega$

Línea 1-3
 $Z1=10.7+J40 \Omega$
 $Z2=10.7+J40 \Omega$
 $Z0=24.7+J125.8 \Omega$

Línea 2-3
 $Z1=5.3+J20 \Omega$
 $Z2=5.3+J20 \Omega$
 $Z0=12.3+J68 \Omega$

- a) Suponiendo que ocurre un corto-circuito trifásico en una sola barra a la vez, calcule las corrientes de falla en cada una de las barras así como las contribuciones de corriente de las barras adyacentes.
- b) Realice los mismos cálculos del inciso anterior pero ahora suponiendo que ocurre un corto-circuito monofásico.

Solución.

- a) En primer término se dibuja el circuito equivalente en por unidad de secuencia positiva del sistema aplicando las simplificaciones descritas en la sección 1.6 del capítulo 1 para los cálculos de corto-circuito tales como, despreciar las resistencias y las reactancias capacitivas de los diferentes elementos del sistema, considerar que el voltaje terminal de los generadores es 1 en por unidad y considerar que antes de que ocurra la falla la carga se haya desconectada.

Para indicar las reactancias de los elementos en por unidad es necesario fijar las bases de potencia

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

y de voltaje, siendo las bases seleccionadas las siguientes:

$$\begin{aligned}S_{base} &= 50 \text{ MVA} \\V_{base} &= 110 \text{ KV} \\Z_{base} &= 242 \text{ ohms}\end{aligned}$$

Con respecto a los transformadores, estos tendrán las siguientes bases de voltaje del lado de baja tensión.

Transformador A:

$$V_{base} = 110 \left(\frac{13.2}{115} \right)$$

$$V_{base} = 12.63 \text{ KV}$$

Transformador B:

$$V_{base} = 110 \left(\frac{6.6}{110} \right)$$

$$V_{base} = 6.6 \text{ KV}$$

Aplicando las anteriores cantidades base, las impedancias en por unidad de los diferentes elementos son:

Generador A:

$$X_1 = X_2 = J0.3 \left(\frac{13.8}{12.63} \right)^2 = J0.358$$

$$X_0 = J0.15 \left(\frac{13.8}{12.63} \right)^2 = J0.179$$

Transformador A:

$$X_1 = X_2 = X_0 = J0.1 \left(\frac{115}{110} \right)^2 = J0.109$$

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

Línea 1-2:

$$Z_1 = Z_2 = \frac{16 + j20}{242} = 0.666 + j0.247$$

$$Z_0 = \frac{37 + j193.8}{242} = 0.152 + j0.800$$

Línea 1-3:

$$Z_1 = Z_2 = \frac{10.7 + j40}{242} = 0.044 + j0.165$$

$$Z_0 = \frac{24.7 + j125.8}{242} = 0.102 + j0.519$$

Línea 2-3:

$$Z_1 = Z_2 = \frac{5.3 + j20}{242} = 0.021 + j0.082$$

$$Z_0 = \frac{12.3 + j68}{242} = 0.050 + j0.280$$

Transformador B:

$$X_1 = X_2 = X_0 = j0.11 \left(\frac{110}{110} \right)^2 = j0.11$$

Generador B:

$$X_1 = X_2 = j0.4 \left(\frac{6.6}{6.6} \right)^2 = j0.4$$

$$X_0 = j0.6 \left(\frac{6.6}{6.6} \right)^2 = j0.6$$

Con base en los valores obtenidos, el diagrama de reactancias en por unidad es el mostrado en la figura 4.2.

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

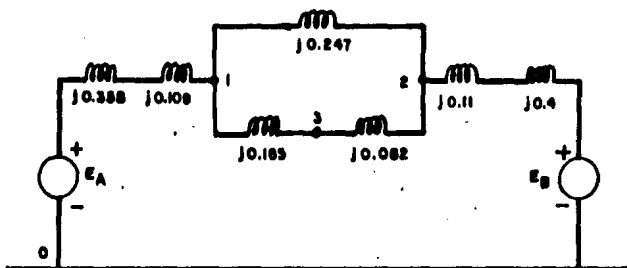


FIG. 4.2 DIAGRAMA DE REACTANCIAS DE SECUENCIA POSITIVA DEL SISTEMA DE LA FIGURA 4.1

Después de haber obtenido el diagrama el siguiente paso es elaborar una lista de los datos que serán introducidos al Programa, siendo esta lista para el presente ejemplo la siguiente:

Barra de referencia : 0
 Número de barras : 3
 Número de líneas : 5

Línea	Barras(p-q)	Reactancia(p.u)
1	0-1	0.467
2	0-2	0.510
3	1-2	0.247
4	1-3	0.165
5	2-3	0.082

En las siguientes líneas se muestran tanto la forma de introducir los datos como los resultados derivados de los mismos.

Una vez obtenidos los valores de corrientes de falla en por unidad, sólo resta multiplicarlos por la base seleccionada de corriente para obtener las corrientes reales de falla.

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

Nombre del usuario: JOSE MANUEL JUAREZ MADARIAGA

FACULTAD DE INGENIERIA LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA

Proporcione la barra de referencia, el numero de barras y el numero de lineas, separados por comas

0,3,5

Proporcione la barra de envio, la barra de recepcion, y la reactancia de la linea (en p.u.) que une las dos barras, separados por comas

0,1,0.467

Proporcione la barra de envio, la barra de recepcion, y la reactancia de la linea (en p.u.) que une las dos barras, separados por comas

0,2,0.510

Proporcione la barra de envio, la barra de recepcion, y la reactancia de la linea (en p.u.) que une las dos barras, separados por comas

1,2,0.247

Proporcione la barra de envio, la barra de recepcion, y la reactancia de la linea (en p.u.) que une las dos barras, separados por comas

1,3,0.165

Proporcione la barra de envio, la barra de recepcion, y la reactancia de la linea (en p.u.) que une las dos barras, separados por comas

2,3,0.082

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA
DATOS DEL SISTEMA

BARRA DE ENVIO	BARRA DE RECEPCION	REACTANCIA (P.U.)
0	2	0.5100
0	1	0.4670
1	3	0.1650
1	2	0.2470
2	3	0.0820

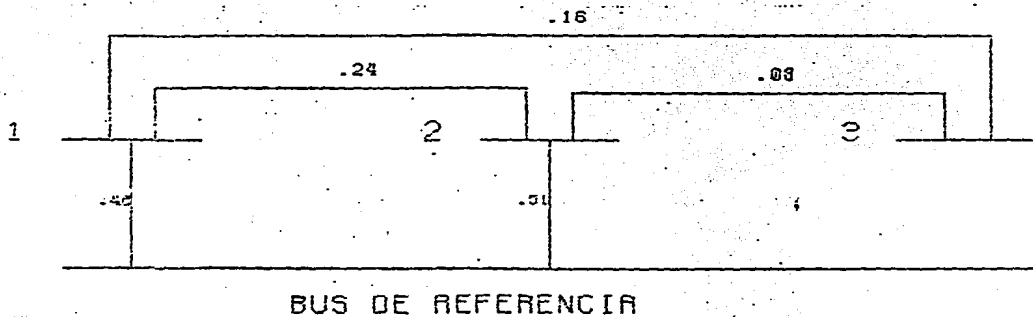
Teclée <RETURN> para continuar

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA
 CORTO CIRCUITO TRIFASICO

BARRA	CORRIENTE TOTAL DE FALLA (P.U.)	REACTANCIA DE SFUENCIA POSITIVA	APORTACION DE CORRIENTE (P.U.)	DE LA BARRA
1	3.71986	0.2688273	2.1413	>>>>>>> 0
			0.7893	>>>>>>> 3
			0.7893	>>>>>>> 2
2	3.65426	0.2736529	1.9608	>>>>>>> 0
			0.8467	>>>>>>> 1
			0.8467	>>>>>>> 3
3	3.30564	0.3025132	1.3762	>>>>>>> 1
			1.9294	>>>>>>> 2

TOPOLOGIA DEL SISTEMA
PARA
CORTO CIRCUITO TRIFASICO



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

- b) Para el caso del corto-circuito monofásico se realizan los mismos pasos descritos en el inciso (a), pero ahora el diagrama de reactancias a obtener es el de secuencia cero, en el cual influye la forma de conexión del neutro a tierra de los transformadores y generadores. Para obtener dicho diagrama se hace referencia a las conexiones mostradas en las figuras 1.12 y 1.13 del capítulo 1, siendo el diagrama de reactancias en por unidad de secuencia cero el mostrado en la figura 4.3.

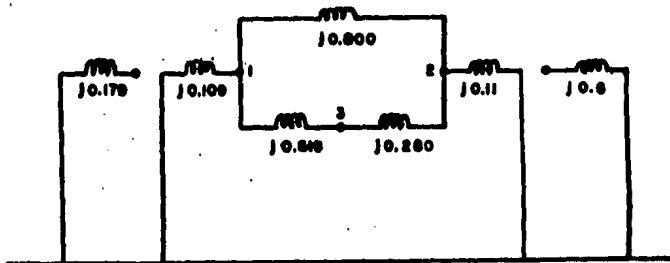


FIG. 4.3 DIAGRAMA DE REACTANCIAS DE SECUENCIA CERO DEL SISTEMA DE LA FIGURA 4.1

La lista de datos que serán introducidos al Programa es:

Barra de referencia : 0
 Número de barras : 5
 Número de líneas : 5

Línea	Barras(p-q)	Reactancia(p.u)
1	0-1	0.109
2	0-2	0.110
3	1-2	0.800
4	1-3	0.519
5	2-3	0.280

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

Además, como se explicó en la sección 4.2.1, la matriz de impedancias de barra se secuencia positiva (obtenida en el corto-circuito trifásico) se haya almacenada en un arreglo, el cual también es utilizado en los cálculos del corto-circuito monofásico.

En las líneas siguientes se encuentra la descripción de como introducir los datos al programa así como los resultados obtenidos.

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

Desas calcular el corto circuito monofasico (SI/NO)?

SI

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA

Proporcione la barra de referencia, el numero de barras y el numero de lineas, separados por comas

0,3,5

Proporcione la barra de envio, la barra de recepcion, y la reactancia de la linea (en P.U.) que une las dos barras, separados por comas

0,1,0.109

Proporcione la barra de envio, la barra de recepcion, y la reactancia de la linea (en P.U.) que une las dos barras, separados por comas

0,2,0.110

Proporcione la barra de envio, la barra de recepcion, y la reactancia de la linea (en P.U.) que une las dos barras, separados por comas

1,2,0.800

Proporcione la barra de envio, la barra de recepcion, y la reactancia de la linea (en P.U.) que une las dos barras, separados por comas

1,3,0.519

Proporcione la barra de envio, la barra de recepcion, y la reactancia de la linea (en P.U.) que une las dos barras, separados por comas

2,3,0.280

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA
DATOS DEL SISTEMA

BARRA DE ENVIO	BARRA DE RECEPCION	REACTANCIA (P.U.)
0	2	0.1100
0	1	0.1090
1	3	0.5190
1	2	0.8000
2	3	0.2800

Teclée <RETURN> para continuar

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA
 CORTO CIRCUITO MONOFASICO

BARRA	CORRIENTE TOTAL DE FALLA (P.U.)	REACTANCIA DE SECUENCIA NEGATIVA	APORTACION DE CORRIENTE (P.U.)	DE LA BARRA
1	4.78123	0.0897984	3.9390 >>>>>>>	0
			0.4214 >>>>>>>	3
			0.4209 >>>>>>>	2
2	4.70404	0.0904444	3.8678 >>>>>>>	0
			0.4179 >>>>>>>	1
			0.4184 >>>>>>>	3
3	3.55065	0.2398885	1.3398 >>>>>>>	1
			2.2109 >>>>>>>	2

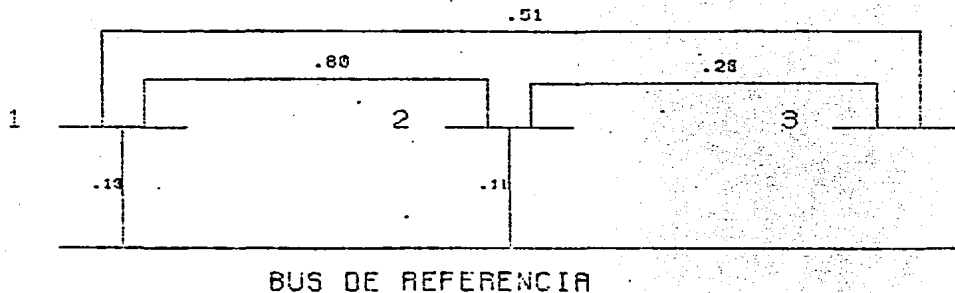
DESEA IMPRIMIR LOS RESULTADOS (SI/NO)?

SI

DESEA RESOLVER OTRO PROBLEMA (SI/NO)?

NO

TOPOLOGIA DEL SISTEMA
PARA
CORTO CIRCUITO MONOFASICO



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

BIBLIOGRAFIA

1. Guerrero C., Rafael. Cálculo de fallas en Sistemas de Potencia. Comisión Federal de Electricidad. 1974.
2. Stagg, G. and El-Abiad, A. Computer Methods in Power Systems Analysis. McGraw-Hill International Edit. 1978.
3. Stevenson D., Williams. Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia. Edit. McGraw-Hill. 1979.
4. Viqueira L., Jacinto. Redes Eléctricas, tomo I. Edit. Repre. y Serv. de Ingeniería. 1970.
5. Viqueira L., Jacinto. Notas para la materia de Sist. Eléc. de Potencia II. Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.

PARTE II

CALCULO DE FLECHAS Y TENSIONES Y LOCALIZACION DE SOPORTES EN LINEAS AEREAS

CAPITULO 1

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

1.1 INTRODUCCION

En este capitulo se da un método para el calculo de tensiones y flechas en líneas aéreas, tanto para tramos largos como para tramos cortos de línea (buses en una subestación).

1.2 TRANOS LARGOS DE LINEA

1.2.1 CALCULO DE TENSIONES

Para determinar las tensiones a diferentes condiciones ambientales en una línea de transmisión aérea, se hace uso de la ecuación de cambio de estado. Esta ecuación establece que a partir de ciertas condiciones iniciales dadas es posible obtener la variación de flecha y tensión de los conductores para condiciones diferentes de las iniciales.

La curva que adopta un cable flexible, con una carga uniformemente distribuida a lo largo del cable, suspendido de sus extremos se llama catenaria y se aproxima a una ecuación de tercer grado de la forma:

$$x^3 - Px^2 - Q = 0$$

En la figura 1.1, se representa un conductor flexible suspendido entre dos apoyos A y B, a un mismo nivel y separados uno de otro a metros

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

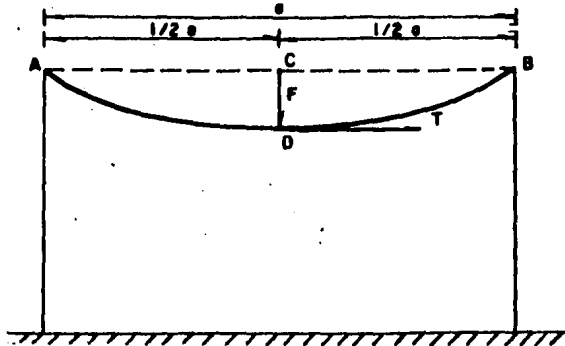


Fig. 1.1 CONDUCTOR FLEXIBLE SUSPENDIDO ENTRE DOS PUNTOS A y B.

La longitud L del cable está dada por una serie infinita de términos

$$L = e \left(1 + \frac{8f^2}{3e^2} - \frac{32f^4}{5e^4} + \dots \right) \quad (1.1)$$

Tomando los primeros dos términos del segundo miembro de la ecuación tenemos

$$L = e + \frac{8f^2}{3e} \quad (1.2)$$

La relación de la longitud L del conductor y del claro e se expresan de la siguiente forma:

$$\frac{L}{e} = 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{e} \right)^2 \quad (1.3)$$

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

En la ecuación de cambio de estado de un conductor tendido entre dos puntos se designará a α como el coeficiente de dilatación del metal del conductor bajo la influencia de un cambio de temperatura ($\theta' - \theta$). Un conductor que tiene la longitud L a la temperatura θ , resultará que a la temperatura θ' tendrá una longitud igual a :

$$L + L\alpha(\theta' - \theta)$$

Pero como el conductor está fijo a los soportes en sus extremos su alargamiento modificará la tensión .

Si designamos por 'E' el módulo de elasticidad del metal del conductor, bajo la influencia de una variación de tensión $T' - T$, la longitud del conductor sufrirá una variación igual a

$$\frac{L(T' - T)}{E}$$

La influencia simultánea de la variación de temperatura y tensión dan como resultado la expresión:

$$L' - L = L\alpha(\theta' - \theta) + L \frac{T' - T}{E} \quad \text{--- (1.4)}$$

La variación de longitud $L' - L$ puede expresarse de otra forma partiendo de la ecuación 1.2 y teniendo en cuenta la siguiente relación, que es la ecuación de la parábola:

$$T = \frac{W a^2}{8 f}$$

En donde :

T = Tensión
 W = Peso por unidad de longitud
 a = Claro interpostal
 f = flecha

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

Despejando a f y sustituyendo en la ecuación 1.2, se obtiene:

$$L = a \left(1 + \frac{a^2 W^2}{24 T^2} \right)$$

De donde se deduce que :

$$L' - L = \frac{a^3}{24} \left(\frac{W_1^2}{T_1^2} - \frac{W_2^2}{T_2^2} \right) \text{----- (1.5)}$$

Isolando las ecuaciones 1.4 y 1.5, se obtiene :

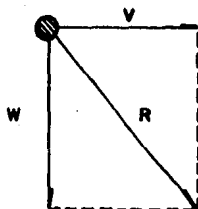
$$L \alpha (\theta' - \theta) + \frac{(T_1 - T_2)}{E} = \frac{a^3}{24} \left(\frac{W_1^2}{T_1^2} - \frac{W_2^2}{T_2^2} \right) \text{----- (1.6)}$$

Como una primera aproximación se puede considerar $L=a$, y se dividen los dos términos de la ecuación (6) por L ó bien por a , entonces :

$$\alpha (\theta' - \theta) + \frac{T_1 - T_2}{E} = \frac{a^2}{24} \left(\frac{W_1^2}{T_1^2} - \frac{W_2^2}{T_2^2} \right)$$

Que es la ecuación general de cambio de estado.

A esta ecuación se le puede dar una forma más general si en lugar de considerar solamente al peso del conductor (W), se utiliza la resultante producida por el efecto del peso del conductor con hielo y el viento sobre el conductor (R).



$$R^2 = W^2 + V^2$$

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

R= Resultante del efecto de hielo y viento sobre el conductor. [Kg/m]

W= Peso del cable con hielo. [Kg/m]

V= Fuerza del viento sobre el cable. [Kg/m]

$$\alpha (\theta' - \theta) + \frac{T' - T}{E} = \frac{a^2}{24} \left(\frac{R'^2}{T'^2} - \frac{R^2}{T^2} \right)$$

Pero si además designamos un coeficiente (M) definido como la relación del peso del conductor por unidad de longitud sin carga adicional y el peso del conductor por unidad de longitud tomando en cuenta la posible carga adicional producida por el viento y el hielo.

$$M = \sqrt{\frac{R^2}{W^2}}$$

$$\therefore M^2 W^2 = R^2$$

$$\text{y } M'^2 W^2 = R'^2$$

Que sustituyendo estos valores de R y R' en la ecuación obtendremos

$$\alpha (\theta' - \theta) = \frac{a^2 W^2}{24} \left(\frac{M^2}{T^2} - \frac{M'^2}{T'^2} \right) - \frac{T - T'}{E} \text{ ----- (1.7)}$$

Que es la forma mas completa de la ecuación general de cambio de estado.

1.2.2 CALCULO DE FLECHAS

En esta sección se calculará la flecha para los siguientes dos casos

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

a.- Cuando se tienen soportes a un mismo nivel.

b.- Cuando se tienen soportes a diferente nivel.

Cuando se tienen soportes a un mismo nivel.

De la la figura 1.1, es claro que la tensión en D para sostener el cable es horizontal, y que tiene un momento con respecto al punto A. Puesto que el centro de masas es equidistante de A y D y que el peso del tramo es el producto de la carga unitaria W y la distancia $a/2$. Resulta que:

$$T_x F = (W \frac{a}{2}) (\frac{a}{4}) = \frac{W a^2}{8}$$

Entonces:

$$F = \frac{(W)(a^2)}{(8)(T)}$$

donde:

W= Peso por unidad
de longitud [Ks/m]
F= flecha [m]
T= tensión [Ks]

Cuando se tienen soportes a diferente nivel.

El problema de soportes a diferente nivel se puede resolver de la siguiente manera:

Se calcula la flecha F como en el caso para un claro con apoyos al mismo nivel de longitud igual a la proyección horizontal de claro inclinado (ver figura 1.2), y a partir de esta flecha F, se calculan las flechas F1 y F2, para esto se establecerán las siguientes ecuaciones, tomando en cuenta que:

OP1 Es la mitad del arco de catenaria para un claro igual a $2s_1$, con apoyos al mismo nivel.

OP2 Es la mitad del arco de catenaria para un claro igual a $2s_2$, con apoyos al mismo nivel.

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

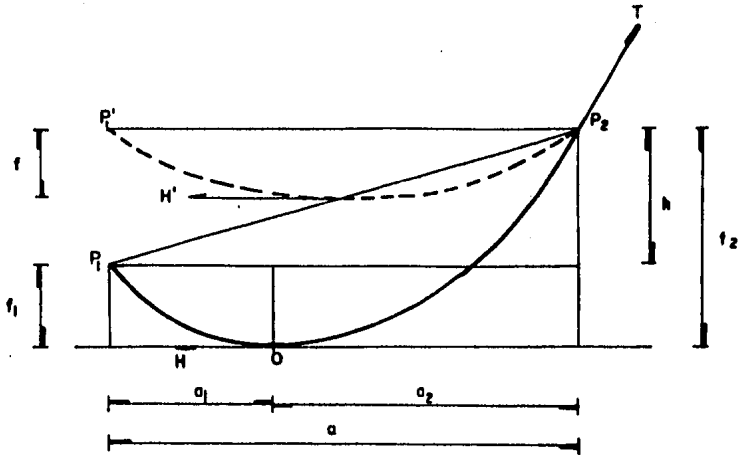


Fig. 1.2 CLARO CON APOYOS AL MISMO NIVEL.

Entonces de la figura 1.2 se deduce :

$$h = f_2 - f_1 = \frac{W a_2^2}{2H} - \frac{W a_1^2}{2H}$$

$$h = \frac{W}{2H} (a_2^2 - a_1^2)$$

$$h = \frac{W}{2H} (a_2 + a_1)(a_2 - a_1)$$

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

como:

$$\sigma_2 + \sigma_1 = d$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones simultáneas:

$$\sigma_2 - \sigma_1 = \frac{2 H h}{W d}$$

$$\sigma_2 + \sigma_1 = d$$

Se obtiene

$$\sigma_2 = \frac{d}{2} + \frac{H h}{W d} \quad \text{--- (1.9)}$$

$$\sigma_1 = \frac{d}{2} - \frac{H h}{W d} \quad \text{--- (1.10)}$$

Para el claro con apoyos al mismo nivel se verifica que:

$$f = \frac{W d^2}{8 H}$$

En la práctica se considera $H' = H$

Entonces:

$$f = \frac{W d^2}{8 H}$$

$$\frac{H}{W} = \frac{d^2}{8 f}$$

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

Sustituyendo este valor de $\frac{H}{W}$ en las ecuaciones 1.7 y 1.10

$$\sigma_2 = \frac{d}{2} + \frac{d^2}{8f} \cdot \frac{h}{d}$$

$$\sigma_2 = \frac{d}{2} \left(1 + \frac{h}{4f} \right)$$

De la misma manera para σ_1 , obtenemos el siguiente par de ecuaciones

$$\sigma_1 = \frac{d}{2} \left(1 - \frac{h}{4f} \right)$$

$$\sigma_2 = \frac{d}{2} \left(1 + \frac{h}{4f} \right)$$

Sustituyendo estos valores en las siguientes ecuaciones

$$f_2 = \frac{W(\sigma_2)^2}{8H}$$

$$f_1 = \frac{W(\sigma_1)^2}{8H}$$

Se obtiene:

$$f_2 = f \left(1 + \frac{h}{4f} \right)^2 \text{----- (1.11)}$$

$$f_1 = f \left(1 - \frac{h}{4f} \right)^2 \text{----- (1.12)}$$

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

1.3 TRANOS CORTOS DE LINEA

Cuando se tienen claros interpostales muy pequeños y cuando se trata de cables que forman buses en una subestación ya que en este caso las distancias son muy pequeñas, hay que tomar en cuenta el peso de la cadena de aisladores que influyen mucho en la tensión final de los conductores.

1.3.1 CALCULO DEL NUMERO DE AISLADORES

La cantidad de aisladores a utilizar depende del tipo de aislador, del nivel de voltaje que se trata y los efectos ambientales. Se entiende como efectos ambientales los producidos por la contaminación ambiental sobre los aisladores externos. Se hará uso de las recomendaciones de la Comisión Internacional de Electrotecnia para identificar las características contaminantes de la región y establecer las distancias de fuga correspondientes para fines de diseño. Ver tabla 1.1.

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

NIVEL DE CONTAMINACION.	CARACTERISTICAS AMBIENTALES	DISTANCIA DE FUGA - RECOMENDADA cm/Kv FASE A NEUTRO
LIGERA	AREAS SIN INDUSTRIAS, ZONAS RURALES SIN QUEMA DE FORRAJE O HIERBA, AREAS QUE ESTAN SITUADAS LEJOS DEL MAR O A GRANDES ALTITUDES SOBRE EL NIVEL DEL MAR Y QUE NO ESTAN EXPUESTAS A LA BRISA MARINA, AREAS CON BAJA DENSIDAD INDUSTRIAL PERO SUJETAS A VIENTOS FRECUENTES YO LLUVIAS, ZONAS AGRICOLAS CON BAJO USO DE FERTILIZANTES Y PLABICIDAS O CON USO MODERADO Y LLUVIAS FRECUENTES.	2.0 a 2.5
MEDIA	AREAS CON INDUSTRIAS QUE NO PRODUCEN HUMOS CONTAMINANTES, O AREAS CON INDUSTRIAS PERO QUE ESTAN EXPUESTAS A VIENTOS FRECUENTES Y/O LLUVIAS, AREAS EXPUESTAS A VIENTOS MARINOS PERO NO DEMASIADO CERCA DE LAS COSTAS (POR LO MENOS A 1 Km. DE DISTANCIA DE LA COSTAL ZONAS CON NIEBLA LIGERA, ZONAS RURALES CON USO DE FERTILIZANTES Y PLABICIDAS.	3.0 a 3.5
ALTA	AREAS CON ALTA DENSIDAD INDUSTRIAL, AREAS CERCANAS AL MAR (MENOS DE 1 Km. DE LA COSTA O EXPUESTAS A BRISAS MARINAS, ZONAS EXPUESTAS A LA ACCION DE LOS POLVOS DE CEMENTO, CARBON CON LLUVIAS LIGERAS, COMBINACIONES DE ALGUNAS CARACTERISTICAS ANTERIORES CON NIEBLA, ZONAS URBANAS DE ALTO INDICE DE POBLACION CON HUMOS DERIVADOS DEL PETROLEO POLVO Y LLUVIAS LIGERAS.	4.0 a 5.0
EXTRA ALTA	AREAS DE EXTENSIONES MODERADAS SUJETAS A HUMOS PRODUCTOS DE PROCESOS INDUSTRIALES DE TIPO CONTAMINANTE, AREAS DE EXTENSION MODERADAS CERCANAS A LAS COSTAS EXPUESTAS A BRISAS MARINAS MUY FUERTES, EN AREAS DE BAJA DENSIDAD INDUSTRIAL PERO EXPUESTAS A BRISAS MARINAS.	MAYORES DE 6.0

EN LA NORMA IEC 71-1 LOS VALORES DE DISTANCIA DE FUGA RECOMENDADOS, SE ESTABLECEN PARA MEDICIONES HECHAS EN AISLADORES DE SUSPENSION TIPO ESTANDAR POR LO QUE SE PUEDEN TENER LIGERAS VARIANTES EN LOS AISLADORES DE EQUIPOS.

TABLA 1.1

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

La distancia de fuga requerida por los aisladores externos de una subestación se calculan mediante la siguiente ecuación

$$\text{DISTANCIA DE FUGA} = \frac{KV_{\text{max.}}}{\sqrt{3}} \times \frac{C_m}{KV} \text{ ----- (1.13)}$$

donde:

$$KV_{\text{max.}} \approx (1.05) (KV \text{ Nom.})$$

$$\frac{C_m}{KV} \text{ ----- SE OBTIENE DE LA TABLA 1.1}$$

El valor que se obtiene de la ecuación 1.13, se divide entre la distancia de fuga del aislador (dado por el fabricante en cataloso), y el resultado lo redondeamos al número inmediato superior, y de esta manera obtenemos el número de aisladores.

1.3.2 CALCULO DE LA FLECHA EN FUNCION DE LA TENSION

La figura 1.3 muestra la forma en que se encuentran instalados cable y aisladores:

El diagrama de cuerpo libre de la figura 1.3, se representa en la figura 1.4

Donde:

- A, E = Puntos de sujeción
- PB = PD = Resultante del peso de aisladores
- D = Longitud total del cable
- Fc = Flecha en el punto C

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

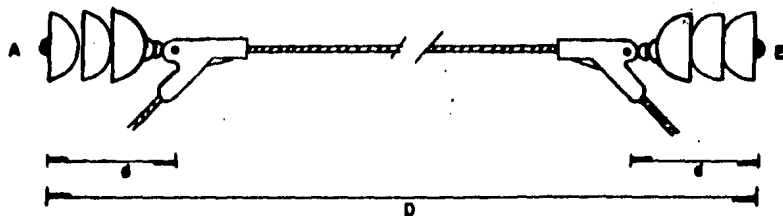


Fig. 1.3 INSTALACION DE AISLADORES Y CONDUCTOR.

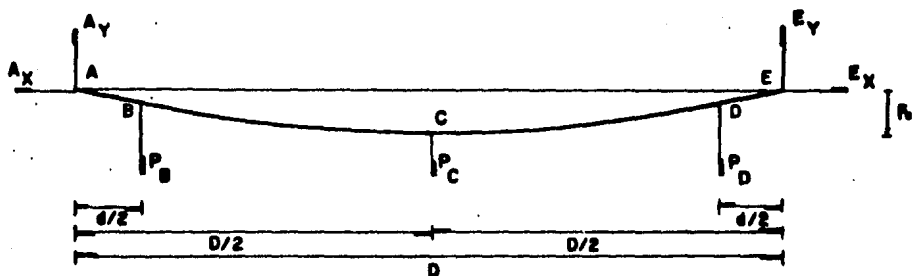


Fig. 1.4 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA FIGURA 1.3.

Realizando sumatoria de momentos en el punto E

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

$$+\sum ME=0$$

$$P_D(d/2) + P_C(D/2) + P_B(D-d/2) - A_y(D) = 0$$

$$A_y = \frac{P_D(d/2) + P_C(D/2) + P_B(D-d/2)}{D}$$

$$\text{COMO } P_D = P_B$$

$$A_y = \frac{P_B(D+d/2-d/2) + P_C(D/2)}{D}$$

$$\therefore A_y = P_B + P_C/2 \quad \dots \dots \dots (1.14)$$

Realizando sumatoria de momentos en el punto C

$$+\sum MC=0$$

$$P_B(D/2-d/2) + A_x(F_C) - A_y(D/2) = 0$$

$$F_C = \frac{A_y(D/2) - P_B(D/2-d/2)}{A_x} \quad \dots \dots \dots (1.15)$$

Sustituyendo 1.14 en 1.15

CALCULO DE TENSIONES Y FLECHAS

$$F_C = \frac{P_B (D/2) + P_C / 2 (D/2) - P_B (D/2) - P_B (d/2)}{A_X}$$

$$F_C = \frac{(P_C)(D) - (P_B)(d)}{4 A_X}$$

$$F_C = \frac{P_C (D) - 2 (P_B)(d)}{4(A_X)} \text{ ----- (1.16)}$$

La ecuación 1.16 nos relaciona la tensión y la flecha en tramos cortos de líneas.

CAPITULO 2

LOCALIZACION DE SOPORTES

2.1 INTRODUCCION

Actualmente existen dos metodos para la localizacion de estructuras, el metodo manual que será expuesto en este capitulo y el metodo por computadora que tiende a ser el único a utilizarse en el futuro.

2.2 METODO GRAFICO PARA LA LOCALIZACION DE LOS SOPORTES

La localización de estructuras sobre el perfil topográfico de la ruta de una línea de transmisión consiste en determinar graficamente por medio de una plantilla de mica, en la que se marcan las catenarias que representan al conductor a 10% a 5%. Paralelamente a la catenaria del conductor a 10% se marcan varias catenarias que corresponden a la distancia al piso y a cada una de las alturas de torres disponibles.

La plantilla se construye con las flechas finales obtenidas por medio de un cálculo de flechas y tensiones según el conductor de que se trata y en las condiciones de carga que se requieran. Las escalas horizontal y vertical de la plantilla deben corresponder a las escalas de los planos del perfil topográfico sobre los que se va a utilizar.

Las figuras 2.1, 2.2, y 2.3 muestran un ejemplo de las etapas sucesivas para trazo de las catenarias, la construcción de la plantilla y el modo de utilizarla para la localización de estructuras en el proyecto de una línea de transmisión.

LOCALIZACION DE SOPORTES

CABLE ACSR 795 MCM CONDOR
 TENSION MAXIMA = 2500 Kg. A -5°C
 Y PRESION DE VIENTO DE 24 Kg./m²

CLARO m	FLECHA -5°C	FLECHA 16°C
50	.19	.32
100	.78	1.11
150	1.79	2.28
200	3.23	3.83
250	5.10	5.78
300	7.40	8.13
350	10.13	10.90
400	13.30	14.10
450	16.92	17.74
500	20.99	21.82

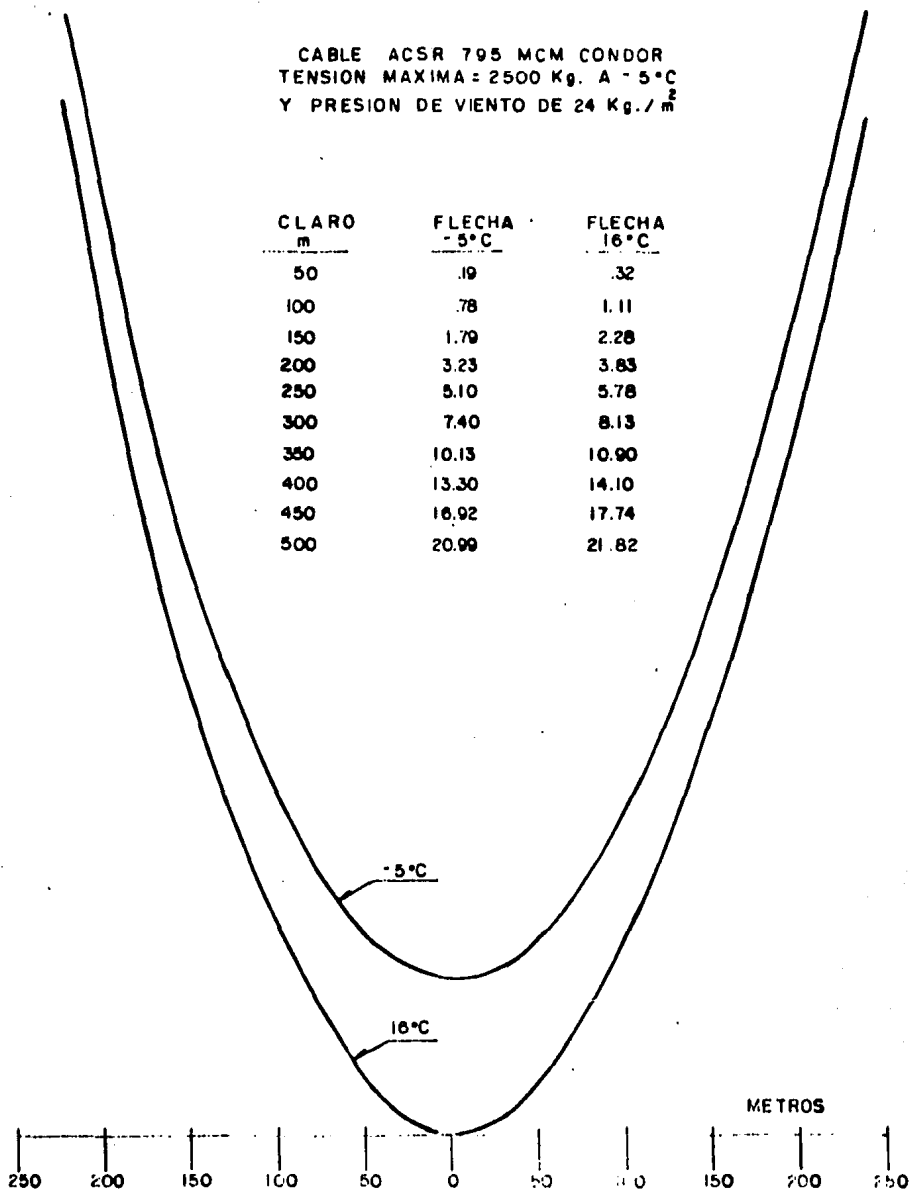


Fig. 2-1 TRAZO DE CATENARIAS A -5°C Y 16°C Y SIN VIENTO

LOCALIZACION DE SOPORTES

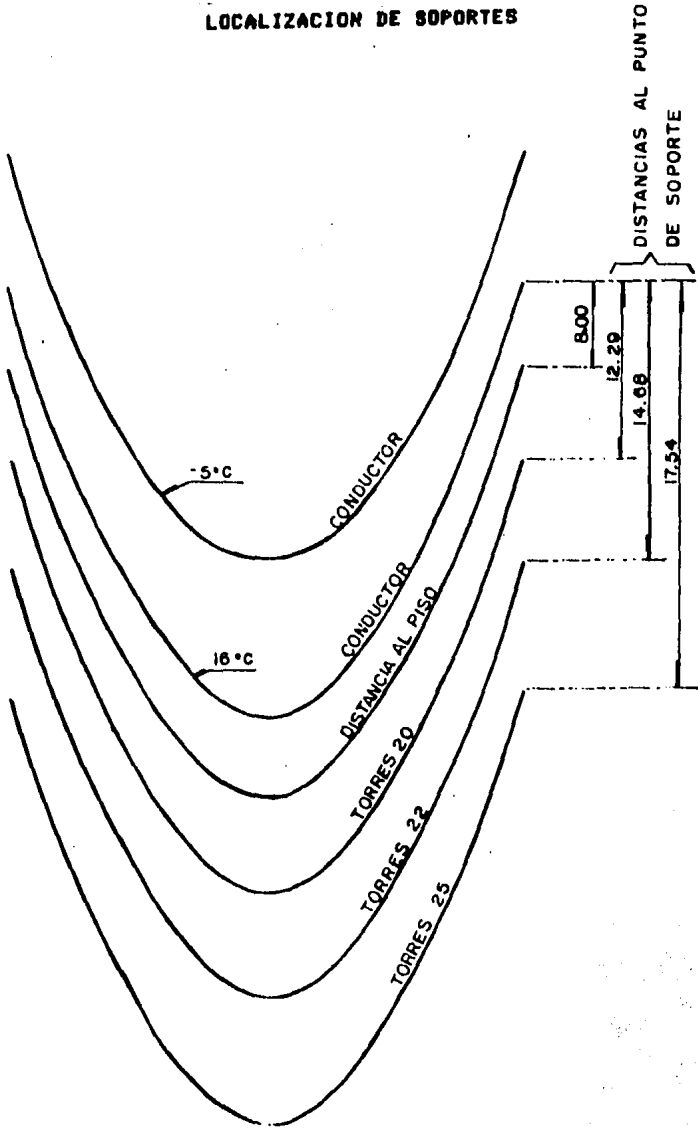


Fig. 2.2 CONSTRUCCION DE UNA PLANTILLA PARA LOCALIZACION DE TORRES EN LINEAS - DE 85 Kv.

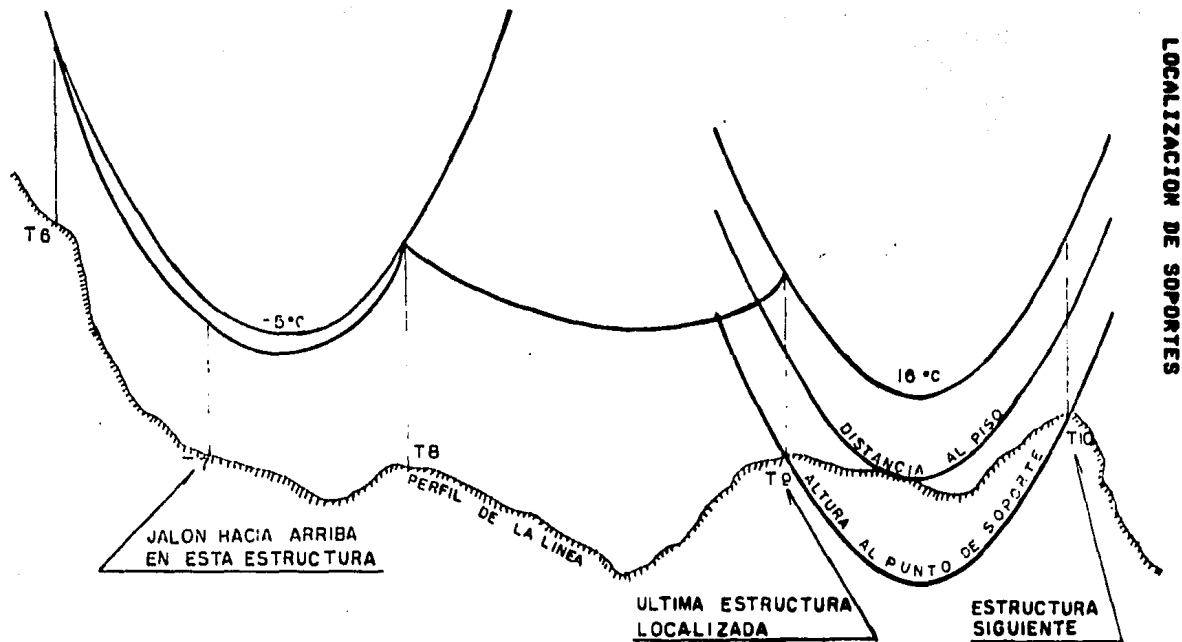


Fig. 2.3 LOCALIZACION DE ESTRUCTURAS POR MEDIO DE UNA PLANTILLA.

LOCALIZACION DE SOPORTES

2.2.1 CLARO REGULADOR

Para una serie de claros comprendidos entre dos estructuras de tensión, entre las que se tienen varias torres de suspensión se puede suponer que la tensión del conductor a 16°es constante y por lo tanto se puede utilizar una sola plantilla.

El claro entre dos torres de tensión consecutivas que tendría la misma tensión a 16° que la serie de claros anterior y que requeriría la misma plantilla se denomina claro virtual, claro equivalente o claro regulador y puede calcularse por medio de la fórmula:

$$CR = \sqrt[3]{\sum L^3 / \sum L}$$

Donde:

CR= Claro regulador
L= Longitudes de los claros

Estrictamente para el proyecto de una línea de transmisión se debe contar con una serie de plantillas para varios claros reguladores. Por supuesto el valor del claro regulador no se conoce sino hasta que se hace la localización completa entre dos torres de tensión. Si la selección inicial de la plantilla es incorrecta será necesario repetir la localización de estructuras con una plantilla diferente. Sin embargo en la práctica se acostumbra realizar los proyectos con una sola plantilla trazada con los datos de flechas para una serie de claros obtenidas con un programa de computadora que calcula flechas y tensiones.

La determinación de la posición y altura de las estructuras sobre el perfil se realiza haciendo pasar la catenaria que representa al conductor a 16° por el punto de sujeción de una torre previamente establecida y deslizando la plantilla hasta que la catenaria de libramiento mínimo al

LOCALIZACION DE SOPORTES

Piso sea tangente al perfil, ver figura 3.3. Para cruzamiento de las líneas con carreteras o vías férreas donde se requieren libramientos mayores que el mínimo normal, se puede modificar el perfil aumentando la altura del suelo en esos lugares, de tal modo que el libramiento mínimo al perfil elevado artificialmente coincida con la elevación requerida de los conductores sobre las líneas, carreteras y vías férreas cruzadas.

Una vez que se ha hecho la tangencia de la estacionaria de libramiento con el perfil, existen varias posibilidades de altura para la estructura siguiente.

CAPITULO 3

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA

3.1 INTRODUCCION

El programa tiene como objeto simular matemáticamente los movimientos que se realizan en el método manual con la plantilla de mica sobre el perfil topográfico, es decir, hace la localización para el libramiento al piso del conductor más bajo.

3.2 METODO POR COMPUTADORA

Debido a que el programa trabaja para un libramiento fijo, en aquellos lugares donde se requieren mayores libramientos, como en el caso de cruzamientos de líneas de energía eléctrica, sobre calles, carreteras y vías férreas, es necesario sobre elevar la ordenada del perfil topográfico en el punto considerado.

Para cruzamientos con zanjas, ríos, barrancas o cualquier otra área donde no se deba localizar una estructura, los puntos extremos corresponderán a puntos fuera de dicha zona, donde sí puede localizarse una estructura.

El programa de localización de estructuras está alimentado por dos conjuntos de datos: el primer conjunto representa el perfil topográfico de la línea (El cual debe ser proporcionado por el usuario del programa) - representado por dos coordenadas, la abscisa "X" que establece la distancia horizontal con relación al punto inicial de la línea y la ordenada "Y" que es la elevación del terreno (la cual puede estar referida al nivel del mar).

El siguiente ejemplo ilustra la forma de obtener los datos (X;Y).

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA./

Se tiene el perfil del terreno indicado en la figura 3.1 donde se requiere construir una línea de transmisión.

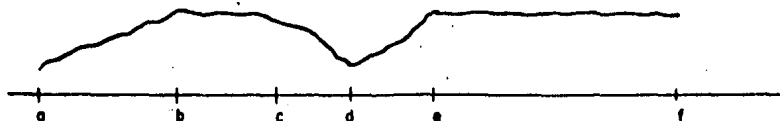


Fig. 3.1 PERFIL TOPOGRAFICO DEL TERRENO

La aproximación por medio de rectas puede ser como se muestra en la figura 3.2

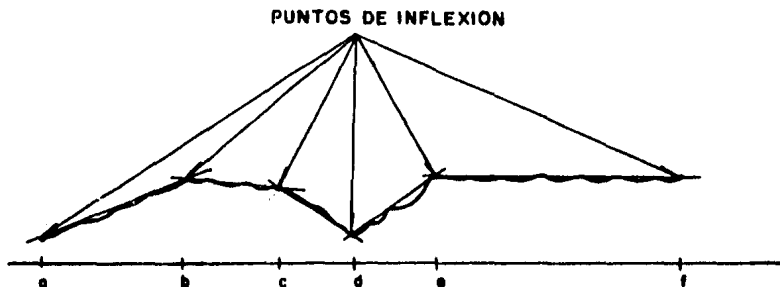


Fig. 3.2 LOCALIZACION DE PUNTOS DE INFLEXION,
PRIMERA APROXIMACION.

Pero si la distancia del punto "c" al punto "e" no es muy grande la aproximación por medio de rectas será preferentemente como se indica en la figura 3.3

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA./

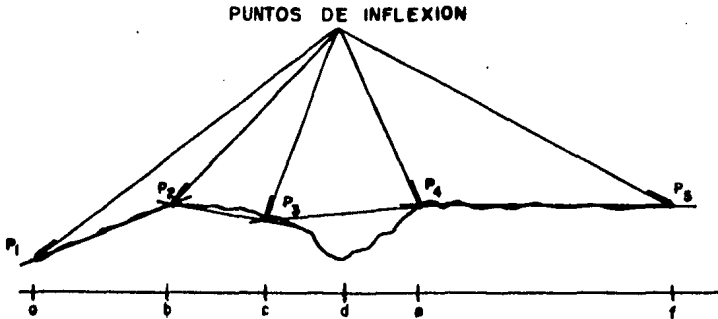


Fig. 3.3 LOCALIZACION DE PUNTOS DE INFLEXION
SEGUNDA APROXIMACION.

Debido a que el programa localiza soportes (torres o postes) en los puntos de inflexion y en puntos intermedios la segunda aproximación evitara que se localice un soporte en el que pueda presentarse un Jalon hacia arriba, para lo cual no estan diseñadas las estructuras de los soportes.

Posteriormente se referiran estos puntos de inflexion a un sistema de ejes coordenados (X,Y), como se indica en la figura 3.4

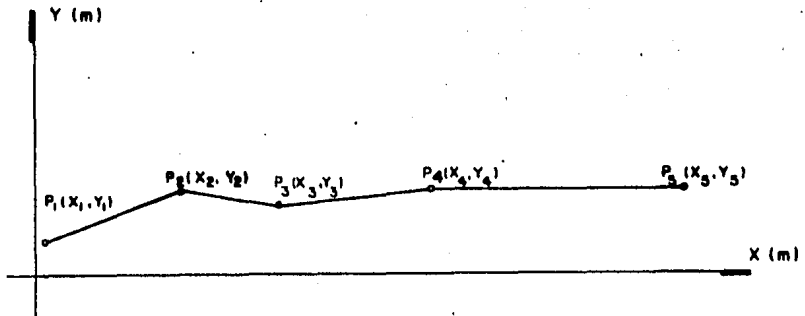


FIG. 3.4

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA./

Como se menciona anteriormente :

X= distancia horizontal con respecto al origen o punto de inicio de la línea.

Y= elevación del terreno , la cual puede estar referida al nivel del mar.

Para nuestro caso en particular los puntos : P1,P2,P3, P4 y P5 ,quedarán de la siguiente manera:

P1=(X1,Y1)

P2=(X2,Y2)

P3=(X3,Y3)

P4=(X4,Y4)

P5=(X5,Y5)

La introducción de datos será en orden P1,P2,P3,P4,.....Pn.

El segundo conjunto de datos define las características de la línea y del conductor que la forma. Los datos necesarios son :

Voltaje nominal del sistema [KV.]

Área transversal del conductor [mm^2]

Peso kilométrico del conductor [Kg/Km]

Peso específico del conductor [Kg/m/mm^2]

Coefficiente de dilatación del conductor [$1/^\circ\text{C}$]

Módulo de elasticidad del conductor [Kg/mm^2]

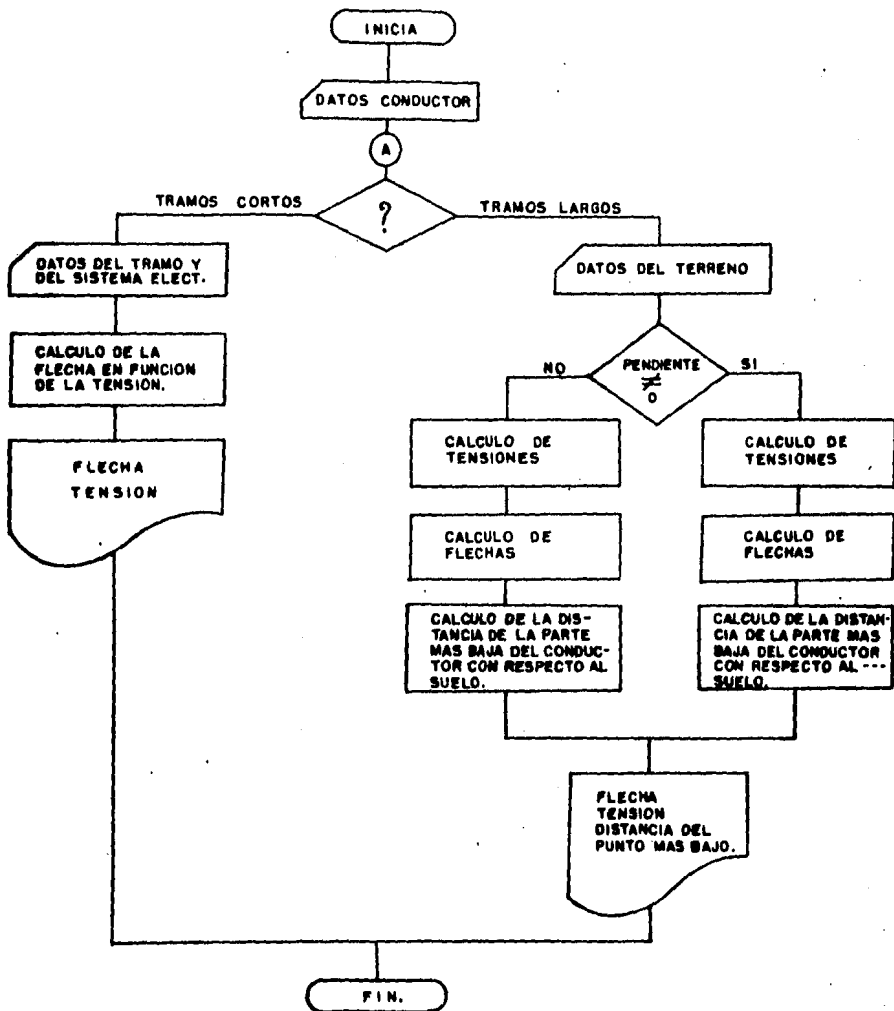
Tensión de ruptura del conductor [Ks]

Para el caso de tramos cortos (buses en subestaciones) el programa pedirá el dato del claro entre soportes [m] además de los datos de características del conductor.

3.3 DIAGRAMA DE FLUJO

Para una mayor comprensión a continuación se da en forma resumida el diagrama de flujo general que muestra las principales rutinas ejecutadas por el programa. Y posteriormente se presentará en forma particular y más completa cada una de las rutinas de cálculo que componen el programa

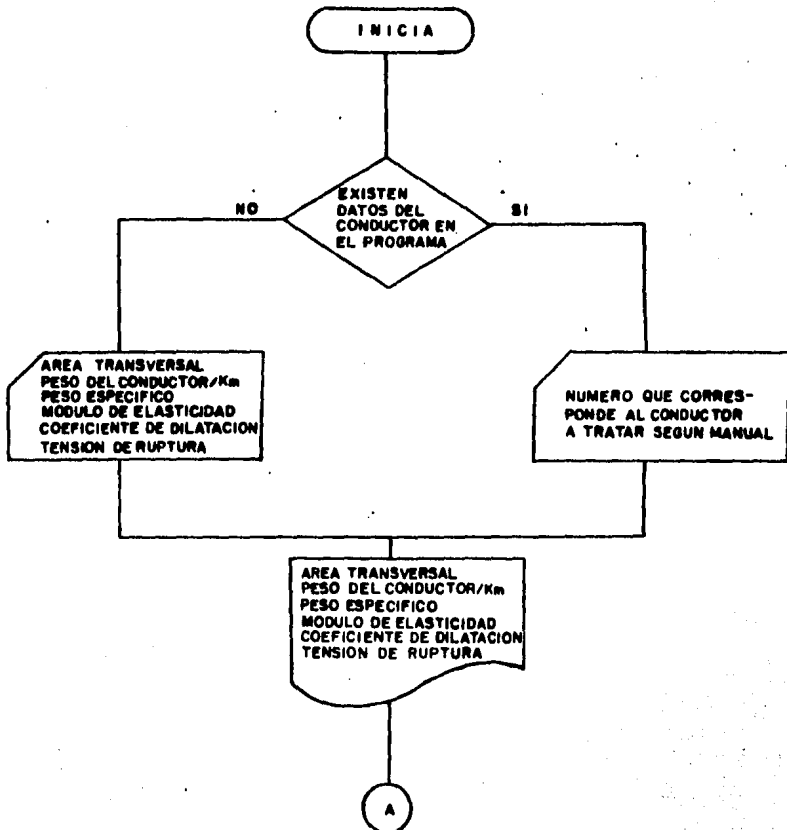
DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA./



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA./

DATOS DEL CONDUCTOR

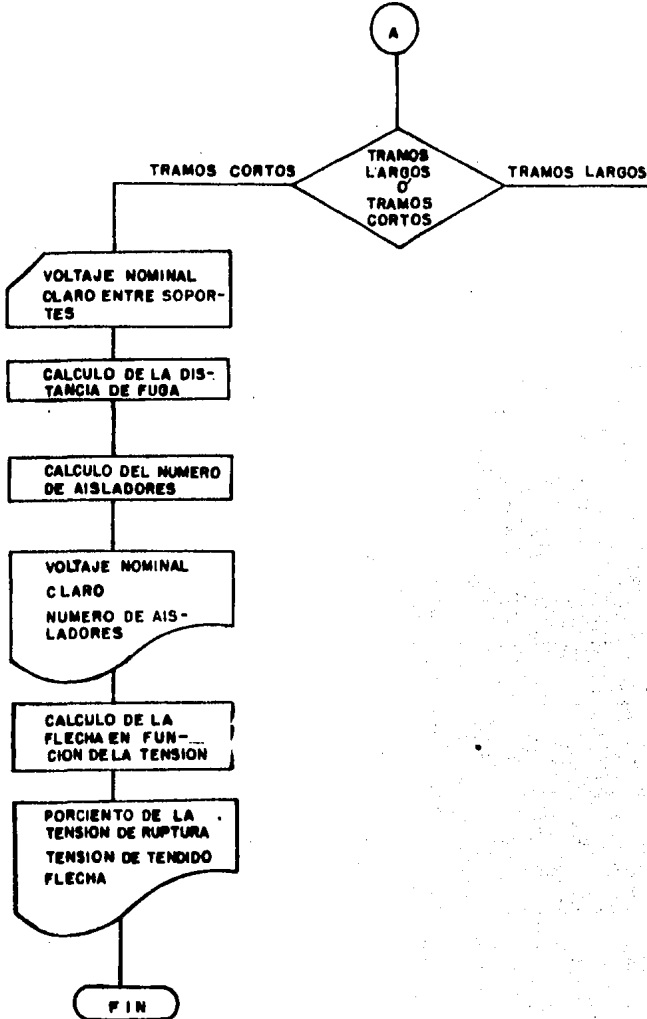
En esta parte del programa serán solicitados al usuario los datos del conductor que se utilizarán para el cálculo de tensiones. Ya que este programa almacena los datos de once tipos de conductores más usuales, sólo bastará con proporcionar la clave del conductor a utilizar.



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA

TRAMOS CORTOS

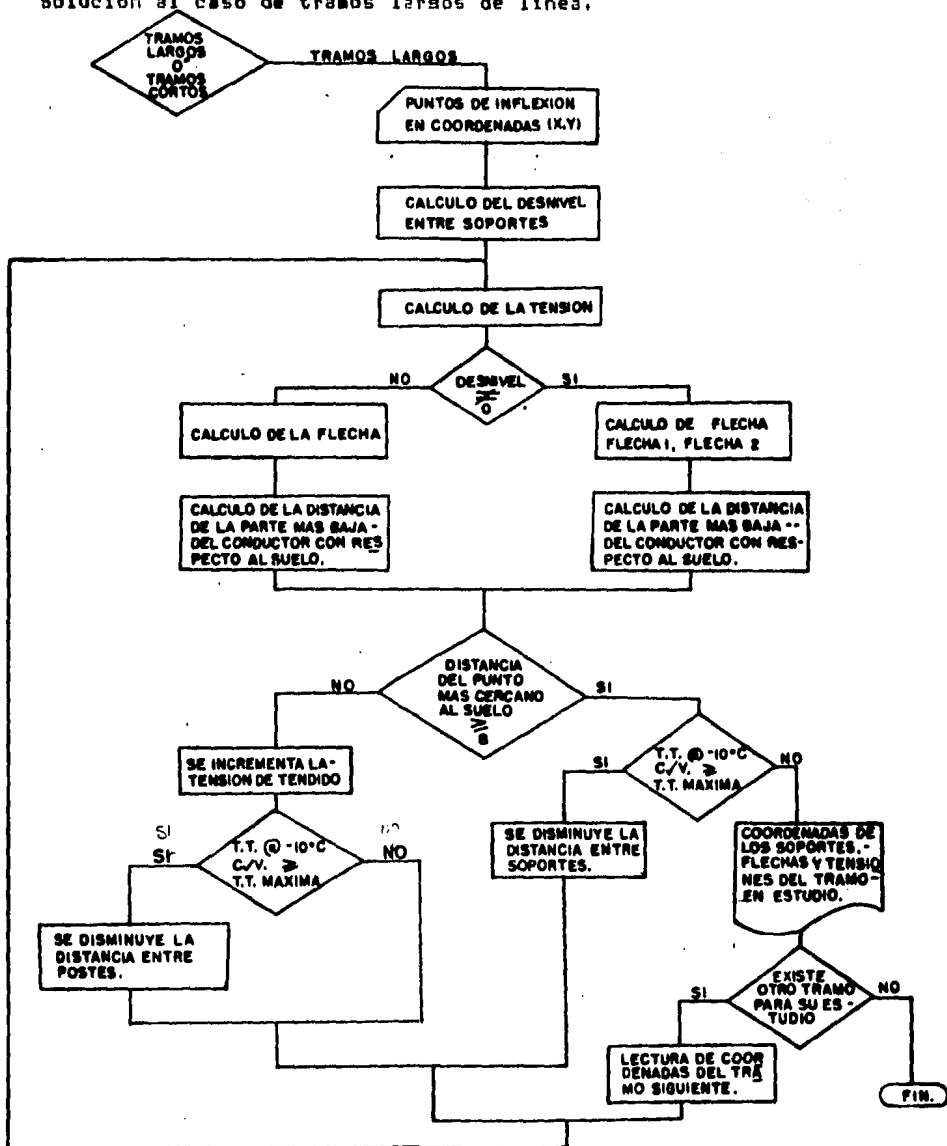
Solución al caso de tramos cortos de línea.



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA

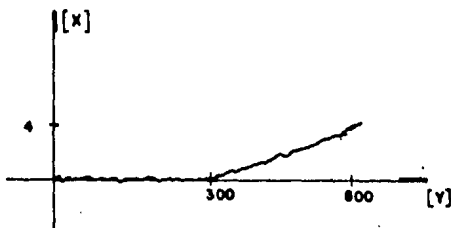
TRAMOS LARGOS

Solucion al caso de tramos largos de linea.

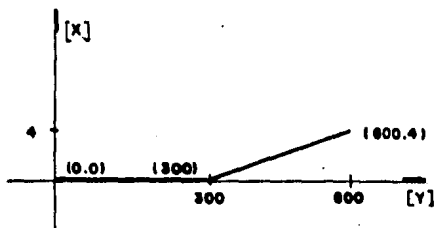


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 SISTEMAS DE DISTRIBUCION
 CALCULO DE FLECHAS Y TENSIONES

EJEMPLO Se va a construir una línea eléctrica, para la cual se utilizará el conductor calibre 1113 MCM BLUE JAY, y se tiene un perfil del terreno como el mostrado.



Este perfil aproximado por rectas y referido a un sistema de ejes coordenados X-Y, quedara de la siguiente manera



Con los datos del perfil y los datos del calibre (que para nuestro caso especial estan contenidos en el programa con clave numero 11), se procede a utilizar el programa :

CORRIDA DEL PROGRAMA

NOMBRE DEL ALUMNO : REYES LUNA ABULÁR

LAS CARACTERISTICAS DEL CABLE A TRATAR SE ENCUENTRAN EN LA TABLA DEL MANUAL(S/N)?

8

CONFORME A TABLA DE MANUAL QUE NUMERO LE CORRESPONDE AL
CABLE A TRATAR.

10

EL CABLE ES CALIBRE 1113 MCM (BLUE JAY)

AREA [mm ²]	=	603.00
PESO POR UNIDAD [Kg/Km]	=	1870.00
PESO ESPECIFICO [Kg/mm ³]	=	0.00310
MODULO DE ELASTICIDAD FINAL [Kg/mm ²]	=	6587.0
COEFICIENTE DE DILATACION [1/ GDOS. C]	=	0.00002080
TENSION DE RUPTURA [Kg]	=	14030.0

TECLEE <RETURN> PARA CONTINUAR

ESTE PROGRAMA CALCULA FLECHAS Y TENSIONES EN CONDUCTORES
PARA LOS SIGUIENTES CASOS :

1. TRAMOS LARGOS (LINEAS DE TRANSMISION O
DISTRIBUCION).
2. TRAMOS CORTOS DE LINEA O CABLES QUE FORMAN
BUSES EN SUBESTACIONES.

ESCRIBA EL NUMERO DEL CASO QUE DESEA TRATAR.

1

ESCRIBA EL NUMERO DE PUNTOS DE INFLEXION TOTAL

3

ESCRIBA LOS PUNTOS DE INFLEXION EN COORDENADAS (X,Y) EN
ORDEN, INCREMENTANDOSE CON RESPECTO AL EJE DE LAS 'X'

0,0

300,0

600,4

* RESULTADOS *

TRAMO : 1

SE TENDRAN SOPORTES EN LAS COORDENADAS :

X = 0.0000 Y = 0.0000
X = 300.0000 Y = 0.0000

PARA EL CUAL SE TENDRAN LOS RESULTADOS SIGUIENTES :

SIN VIENTO Y TEMPERATURA = 50 GDOS. C TENSION = 3093.6147 Kg.
FLECHA = 6.8003 m.

SIN VIENTO Y TEMPERATURA = 16 GDOS. C TENSION = 3894.9910 Kg.
FLECHA = 5.4012 m.

SIN VIENTO Y TEMPERATURA = -10 GDOS. C TENSION = 4836.9424 Kg.
FLECHA = 4.3493 m.

CON VIENTO = 45 [Kg/m²]
Y TEMPERATURA = -10 GDOS. C TENSION = 6081.3115Kg.
FLECHA = 3.4594 m.

LA DISTANCIA DEL PUNTO MAS CERCANO DEL CONDUCTOR CON
RESPECTO A LA SUPERFICIE ES DE : 8.19970 m.

TRAMO : 2

SE TENDRAN SOPORTES EN LAS COORDENADAS :

X = 300,0000 Y = 0,0000

X = 600,0000 Y = 4,0000

EN EL CUAL SE TENDRAN LOS RESULTADOS SIGUIENTES :

SIN VIENTO Y TEMPERATURA = 50 GDOS. C TENSION = 3093,6147Ks.

FLECHA1 = 4,9473 m.

FLECHA2 = 8,94735 m.

SIN VIENTO Y TEMPERATURA = 16 GDOS. C TENSION = 3894,9910Ks.

FLECHA1 = 3,5863 m.

FLECHA2 = 7,58631 m.

SIN VIENTO Y TEMPERATURA = -10 GDOS. C TENSION = 4836,9424Ks.

FLECHA1 = 2,5793 m.

FLECHA2 = 6,57926 m.

VIENTO = 45 [Ks/m2]

Y TEMPERATURA = -10 GDOS. C TENSION = 6081,3115 Ks.

FLECHA1 = 1,7484m.

FLECHA2 = 5,7484m.

LA DISTANCIA DEL PUNTO MAS CERCANO DEL CONDUCTOR CON
RESPECTO A LA SUPERFICIE ES DE : 8,19897 m.

DESEA IMPRIMIR LOS RESULTADOS DE ESTE PROBLEMA? [S/N]

S

DESEA RESOLVER OTRO PROBLEMA? [S/N]

N

FIN DE CORRIDA DEL PROGRAMA

CONSIDERACIONES DEL PROGRAMA

1.- Se considera que la altura del soporte más bajo, que es para el que se calculan las tensiones y flechas, es fija de 15 m. con respecto a la superficie.

2.- La distancia permitida del punto más cercano de dicho conductor con respecto a la superficie deberá ser de 8 m. como mínimo

BIBLIOGRAFIA

1. REDES ELECTRICAS PRIMERA PARTE . ING. JACINTO VIQUEIRA LANDA Representaciones y servicios de Ingenieria S.A. Primera reimpresion de la segunda edicion 1970.
2. LINEAS E INSTALACIONES ELECTRICAS. ING. CARLOS LUCA MARIN Representaciones y servicios de ingenieria S.A.
3. CALCULO DE FLECHAS Y TENSIONES EN LINEAS DE TRANSMISION , COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA IND. ELECTRICA Primera edicion; 1969. Preparo: MARCO MORENO.
4. MANUAL DE DISENO Y NORMALIZACION DE LINEAS DE TRANSMISION. COMPANIA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO S.A. 1980.
5. ELEMENTOS DE DISENO DE SUBESTACIONES ELECTRICAS GILBERTO ENRIQUEZ HARPER Editorial limusa MEXICO. Primera reimpresion 1982.

PARTE III

**CALCULO DEL AREA DEL CONDUCTOR
EN
CABLES SUBTERRANEOS**

CAPITULO 1

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.1 INTRODUCCION

Uno de los problemas más comunes que se encuentran en el diseño de sistemas de distribución, es el de entregar energía a un Centro de Consumo con un voltaje determinado, ya que se ocasionan problemas en las máquinas eléctricas cuando el voltaje aplicado no es el adecuado. Normalmente existe una subestación donde se recibe energía eléctrica a un voltaje alto, en la subestación se realiza un cambio del voltaje recibido al voltaje que se requiere para los consumidores, y en la maquinaria y equipo correspondientes.

El problema que vamos a tratar, es el de calcular el calibre necesario de los conductores con los que se va a realizar la distribución, para que no existan grandes variaciones de voltaje en la recepción.

La adecuada selección de los cables utilizados para la distribución subterránea, obedece a estudios y cálculos realizados por proyectistas desde el punto de vista Técnico - Económico, tomando en cuenta factores como: La caída de tensión, capacidad de conducción, estudios de corto circuito, pérdidas de energía, etc.. En este capítulo se mostrarán algunos conceptos fundamentales relacionados con las características de conducción de cables para uso de distribución subterránea.

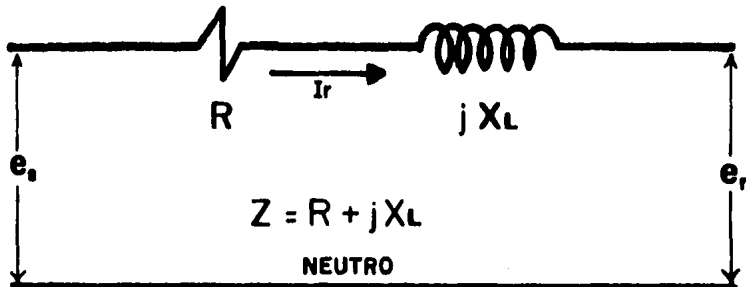
1.2 CAIDA DE TENSION

Con el término caída de tensión o caída de voltaje, se designa a la variación de voltaje que existe de la terminal de envío a la terminal de recepción.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

En aplicaciones generales de cables de energía aislados para mediana tensión, se implica para vez distancias menores a 10 kilómetros, lo que permite calcular estos cables como una línea de transmisión corta, lo que implica que el valor de la reactancia capacitiva en derivación es despreciable para los efectos de cálculo de caída de tensión, y solo se considera en el circuito equivalente la resistencia y la reactancia inductiva en serie.

Caída de tensión



- Es - Tensión de envío al neutro.
- Er - Tensión recibida.
- Ir - Corriente enviada o recibida.
- R - Resistencia del cable.
- XL - Reactancia inductiva del cable.
- Z - Impedancia de la línea ($R + jX_L$).

Los diagramas fasoriales de la línea corta pueden variar según los diferentes factores de potencia.

Para un factor de potencia unitario, con carga puramente resistiva, tenemos el diagrama mostrado en la figura 1.

Para un factor de potencia atrasado, con carga resistiva e inductiva, tenemos el diagrama mostrado en la figura 2.

Para un factor de potencia adelantado, con carga resistiva y capacitiva,

tenemos el diagrama mostrado en la figura 3.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

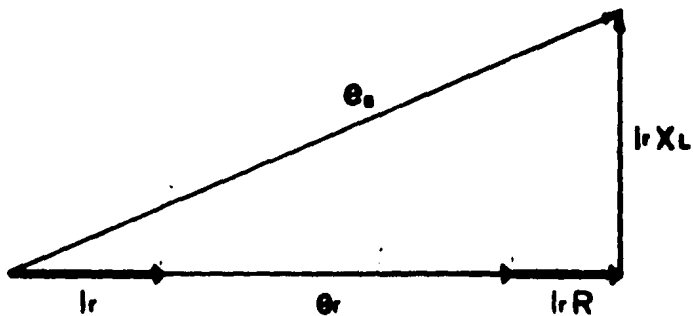


FIGURA 1.

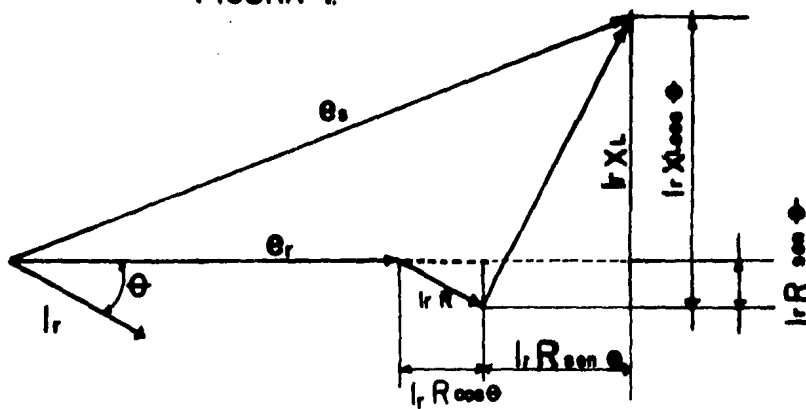


FIGURA 2.

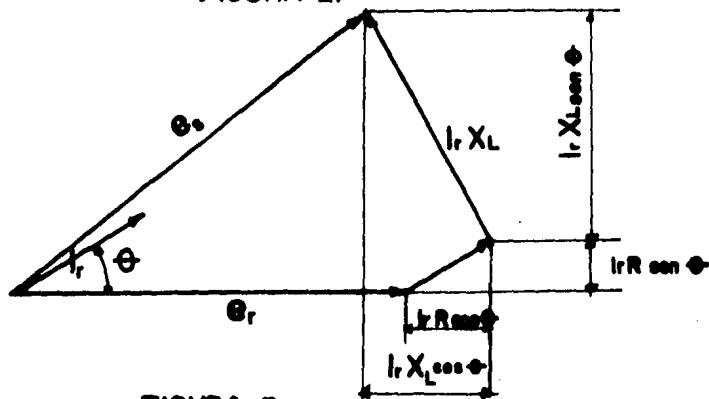


FIGURA 3.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

De las figuras mencionadas podemos plantear la ecuación:

$$V_0 = [(\mathcal{E}_r + IrR \cos \phi - IrX_L \sin \phi)^2 + (IrX_L \cos \phi + IrR \sin \phi)^2]^{1/2} \quad (1)$$

que es el triángulo rectángulo cuyos catetos son:

$$\mathcal{E}_r + IrR \cos \phi - IrX_L \sin \phi \quad \text{y}$$

$$IrX_L \cos \phi + IrR \sin \phi$$

si planteamos que la caída de tensión es:

$$\text{caída de tensión} = \mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_r \quad (2) \text{ entonces}$$

si despejamos \mathcal{E}_r de la ecuación (1.)

$$\mathcal{E}_0 = [(\mathcal{E}_r + IrR \cos \phi - IrX_L \sin \phi)^2 + (IrX_L \cos \phi + IrR \sin \phi)^2]^{1/2}$$

$$\mathcal{E}_0^2 = (\mathcal{E}_r + IrR \cos \phi - IrX_L \sin \phi)^2 + (IrX_L \cos \phi + IrR \sin \phi)^2$$

$$(\mathcal{E}_r + IrR \cos \phi - IrX_L \sin \phi)^2 = \mathcal{E}_0^2 - (IrX_L \cos \phi + IrR \sin \phi)^2$$

$$(\mathcal{E}_r + IrR \cos \phi - IrX_L \sin \phi) = \sqrt{\mathcal{E}_0^2 - (IrX_L \cos \phi + IrR \sin \phi)^2}$$

$$\mathcal{E}_r = -IrR \cos \phi + IrX_L \sin \phi + \sqrt{\mathcal{E}_0^2 - (IrX_L \cos \phi + IrR \sin \phi)^2}$$

para obtener la caída de tensión sustituimos 3. en 2.

caída de tensión =

$$\mathcal{E}_0 + IrR \cos \phi - IrX_L \sin \phi = \sqrt{\mathcal{E}_0^2 - (IrX_L \cos \phi + IrR \sin \phi)^2}$$

donde la corriente de la línea es:

$$Ir = \frac{P}{3 \mathcal{E}_r \cos \phi}$$

P - Potencia en Watts.

\mathcal{E}_r - Tensión recibida al neutro en Volts.

$\cos \phi$ - Factor de potencia en el extremo receptor.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.3 RESISTENCIA A LA CORRIENTE DIRECTA.

Esta dada por la siguiente expresión:

$$R_{cd} = \rho \frac{l}{A}$$

R_{cd} - Resistencia ohmica.

ρ - Resistividad volumetrica.

l - Longitud del conductor.

A - Area de la sección recta del conductor.

$$R = \rho \frac{l \cdot l}{A \cdot l} = \rho \frac{l^2}{V}$$

V - Volumen del conductor.

δ - Masa especifica del conductor.

$$R = \rho \frac{l^2 \delta}{V \delta} \quad V \delta = \text{masa del conductor}$$

$$R = \rho \delta \frac{l^2}{M} \quad \text{entonces } \rho \delta = \rho'$$

$$R = \rho' \frac{l^2}{M} \quad \text{donde } \rho' \text{ resistividad por masa}$$

El valor de la resistividad por unidad de masa, para el cobre electrolitico que ha normalizado la IACS a la temperatura de 20° C y 100% de conductividad, es de 0.15328 [$\Omega \cdot g / m^2$].

Para su aplicación práctica la resistividad se suele dar por volumen. El valor más usado en los cálculos de ingeniería es:

$$17.241. \left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{Km} \right]$$

El valor para el aluminio grado EC con 61% de conductividad a 20 C según IACS es:

$$28.28. \left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{Km} \right]$$

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

NOTA: IACS.- International Annealed Copper Standard.

1.4 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA RESISTENCIA OHMICA

Dentro de los rangos normales de operación, de los conductores eléctricos, los únicos cambios apreciables en las propiedades de los materiales usados, son los incrementos en la resistencia y longitud que éstos sufren en virtud de cambios en su temperatura.

El de mayor importancia en cables aislados es el cambio de resistencia.

La resistencia de los conductores empleados en instalaciones eléctricas varía directamente con la temperatura.

La figura 4. muestra una gráfica de la variación con la temperatura de la resistividad para un conductor metálico. La curva puede representarse de la forma satisfactoria por una ecuación del tipo:

$$\rho = \rho_0 + at + bt^2 + \dots$$

siendo ρ_0 la resistividad a 0 C; a, b, c, etc., son constantes características de cada sustancia y la t, la temperatura centigrada. Para las temperaturas normales de operación, de los conductores eléctricos, los términos en y potencias superiores se pueden despreciar, quedando:

$$\rho = \rho_0 + at = \rho_0(1 + \alpha t) = \rho_0(1 + \alpha t)$$

en donde α se denomina coeficiente de corrección por temperatura, y sus dimensiones son el recíproco de grados centigrados. El valor de la resistividad se expresa generalmente a una temperatura normal de 20 C, puesto que la resistencia de un conductor dado es proporcional a su resistividad, podemos escribir:

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

La variación de la resistencia de un conductor en su rango normal de operación es prácticamente lineal, siendo la "R" proporcional a la resistencia; así pues, la figura 4. se puede transformar en la figura 5.

El punto de intersección de la prolongación de la parte recta de la curva de la figura 5. con el eje de las ordenadas (temperatura), es un valor constante para cada material; en esa temperatura el valor teórico de la

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

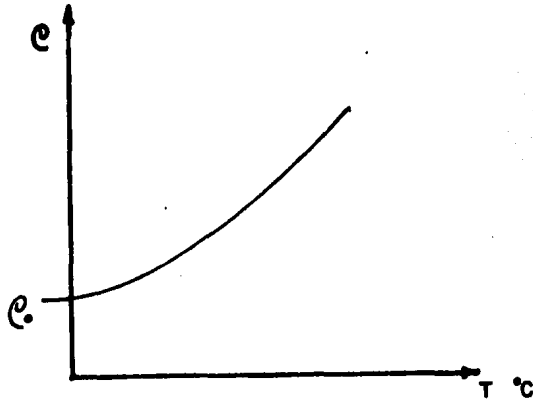


FIGURA 4

Variación con la temperatura, de la resistividad de un conductor eléctrico metálico

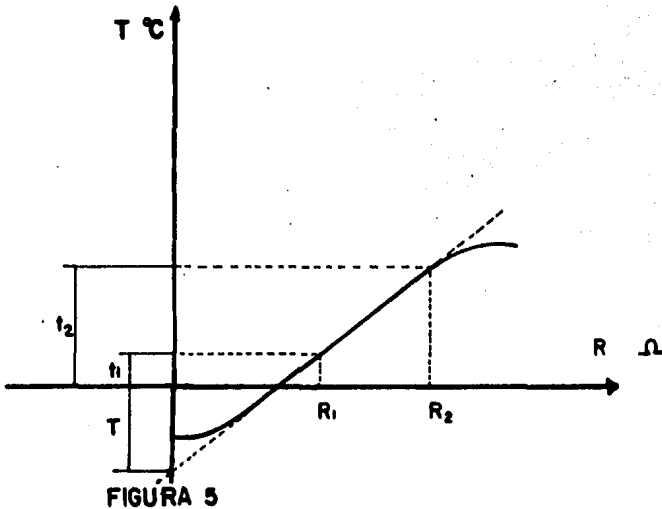


FIGURA 5

resistencia del material es nula. Los valores de T en $^{\circ}\text{C}$, para los materiales comúnmente usados en la fabricación de

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

cables, se dan a continuación:

$T = -234.5^{\circ}\text{C}$ para cobre recocido estirado en frío con 100% de conductividad, según IACS.

$T = -228^{\circ}\text{C}$ para aluminio estirado en frío con 61% de conductividad, según IACS.

De la figura 4, se deduce:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T_2 + T}{T_1 + T}$$

Así

$$\text{a } 0^{\circ}\text{C} \quad \alpha = \frac{1}{234.5} = 0.00427 \quad (\text{Cobre})$$

$$\text{a } X^{\circ}\text{C} \quad \alpha = \frac{1}{234.5 + X^{\circ}\text{C}}$$

1.5 EFECTO DE CABLEADO

Quando se trata de conductores cableados, su resistencia es igual a la resistencia de cada uno de los alambres dividida por el número de ellos.

$$R_{cd} = \frac{R'}{n} = \frac{\rho}{n} \frac{L}{A'}$$

en donde:

R' y A' son la resistencia y el área de cada alambre, respectivamente. Sin embargo, esta fórmula sería válida, solo si todos los alambres tuviesen la misma longitud. Pero en la realidad esto no es exacto ya que los alambres de las capas externas tienen mayor longitud, que los de las internas. El incremento de la resistencia por efecto de cableado, para fines prácticos se puede suponer:

$$R_{cd} = \left(\frac{\rho L}{A} \right) (1 + K_c)$$

donde:

K_c es el "factor de cableado" y los valores más usuales para diferentes tipos de cuerdas son:

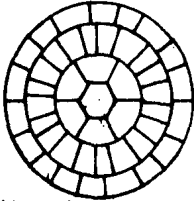
TIPOS DE CABLEADO

K_c

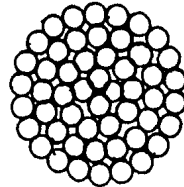
CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Redondo Normal	0,020
Redondo Compacto	0,020
Sesmental	0,020

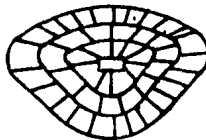
Nota: Para diferentes tipos de cableado hay que consultar al fabricante.



Cable redondo compacto



Cable normal concéntrico



Cable sesmental

1.6 RESISTENCIA A LA CORRIENTE ALTERNA

La resistencia de un conductor eléctrico por el que circula corriente alterna, es mayor que la resistencia que se presenta a el mismo conductor a la corriente directa. Este incremento es ocasionado por dos factores.

- 1.- El efecto superficial.
- 2.- El efecto de proximidad.

La resistencia a la corriente alterna se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R_{ca} = R_{cd} (1 + Y_s + Y_p)$$

donde:

- R_{ca} - Resistencia a la corriente alterna.
- R_{cd} - Resistencia a la corriente directa.
- Y_s - Factor debido al efecto superficial.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Y_s - Factor debido al efecto de proximidad.

1.7 EFECTO SUPERFICIAL

Si se hace circular una corriente alterna por un conductor, las pérdidas de energía por resistencia resultan algo mayores que las pérdidas que se producen cuando circula una corriente continua de magnitud igual al valor eficaz de la corriente alterna.

Para explicar este fenómeno podemos imaginar el conductor compuesto por una serie de filamentos paralelos al eje del conductor, todos ellos de la misma sección y de la misma longitud y consecuentemente de la misma resistencia.

Al circular corriente continua por el conductor, tendremos que la diferencia de potencial aplicada a cada filamento es la misma y ya que la resistencia de todos los filamentos es igual, la corriente en cada filamento será igual al de los demás y se tendrá una densidad de corriente uniforme en toda la sección del conductor.

Cuando circula una corriente alterna, el flujo magnético que producirá esta corriente cortará los filamentos de que hemos considerado compuesto el conductor. Los filamentos de la parte central del conductor se eslabonan con mas líneas de fuerza de los otros filamentos, que los que se eslabonan con los filamentos externos del conductor, por lo tanto la fuerza contra electromotriz inducida en los filamentos centrales será mayor que la inducida en los filamentos superficiales.

Como la diferencia de potencial entre los extremos de todos los filamentos tiene que ser igual, ya que están conectados en paralelo, tendrá que verificarse que las caídas de potencial sean iguales y por lo tanto las corrientes en los filamentos centrales en los que la fuerza contra electromotriz inducida es mayor tendrán que ser menores que las corrientes en los filamentos superficiales, ó sea que la densidad de corriente es mayor en la superficie del conductor que en el centro.

A este fenómeno tambien se le conoce como "EFECTO KELVIN".

El factor Y_s del efecto superficial se calcula por:

$$Y_s = \frac{X_s^2}{192 + 0.8X_s}$$

con

$$X_s = \frac{8\pi f}{R} K_s$$

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

donde:

- f- Frecuencia del sistema Hz.
- R'- Resistencia del conductor a la corriente directa corregida a la temperatura de operación.

Algunos valores de Ks para algunos tipos de cableado.

TIPO DE CONDUCTOR	Ks.
Conductor redondo compacto de cobre	1.0
Conductor redondo de cobre	1.0
Conductor redondo compacto de aluminio	1.0
Conductor redondo de aluminio	1.0
*Conductor compacto segmental cobre	0.39

*Nota.- En el programa solo se utiliza el valor de Ks=1.0

1.8 EFECTO DE PROXIMIDAD

Cuando un conductor por el que fluye una corriente eléctrica de variación cíclica, se encuentra cercano a otro que transporta un flujo de iguales características, crea una combinación vectorial de densidad de flujo, originando una reducción en la inductancia de las caras próximas y un aumento en las diametralmente opuestas, dando por resultado una distribución no uniforme de la densidad de corriente y un aumento aparente de la resistencia efectiva, que se calcula afectando la resistencia original por un factor Yp.

El factor Yp debido al efecto de proximidad se calcula:

$$Y_p = \frac{X_p^2}{192 + 0.8 X_p^2} \left(\frac{dc}{s} \right)^2 \left[0.312 \left(\frac{dc}{s} \right)^2 + \frac{118}{\frac{X_p}{192 + 0.8 X_p^2} + 0.27} \right]$$

donde:

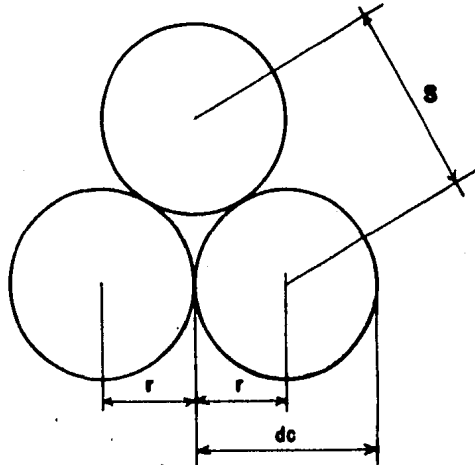
dc= Diametro del conductor (cm).

s= Distancia entre ejes de los conductores (cm).

$$X_p = \frac{8\pi f}{R'} K_p \quad 10^4$$

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Para el caso de conductores directamente enterrados y con la siguiente condición de instalación.



se tiene que el termino $\frac{dc}{s} = 1$. por lo que la fórmula anterior queda:

$$Y_p = \frac{X_p}{192 + 0.8 X_p^2} \left[0.312 + \frac{118}{\frac{X_p^2}{192 + 0.8 X_p^2} + 0.27} \right]$$

Algunos valores de K_p según los tipos de cableado.

Tipo de conductor	K_p
Redondo Normal	0.8
Redondo compacto	0.6
Sesmental	0.5

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.9 CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE

El problema de la determinación de la capacidad de conducción de corriente (**Ampacidad**) en cables de energía, es un problema de transferencia de calor.

Las pérdidas en el conductor, en el dieléctrico, y en las pantallas o cubiertas metálicas, es energía que se transforma en el cable en forma de calor, necesario de cuantificar para definir que cantidad de calor es posible disipar al medio ambiente a través de las resistencias térmicas que se oponen al flujo del mismo en que se exceda la temperatura permisible de operación del conductor.

1.10 LEY DE OHM TERMICA

La ecuación que nos relaciona la transferencia de calor, que pasa a través de elementos que se oponen al flujo de calor a un gradiente de temperatura, se le denomina "**Ley de Ohm Térmica**" por su analogía con la Ley de Ohm Eléctrica y se expresa como:

$$\Delta T = W \leq RT$$

T = Gradiente de la temperatura originado por la diferencia de temperatura entre conductores y medio ambiente, es análogo al voltaje en la Ley de Ohm Eléctrica.

$$T = T_c - T_a$$

W = Calor generado en el cable y es análogo a la corriente eléctrica.

$\leq RT$ = Suma de resistencias térmicas que se oponen al flujo de calor. Análogo a la resistencia eléctrica.

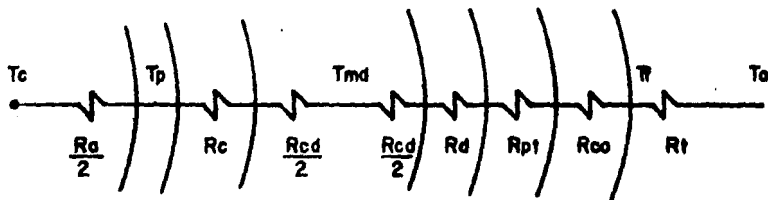
Las fuentes de generación de calor en un cable de energía son:

- A) El conductor.
- B) El dieléctrico.
- C) Las pantallas.

Por otra parte la suma de resistencias térmicas que se oponen al calor generado en cada una de las fuentes difiere así, por ejemplo, en el caso del conductor y de la pantalla

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

del cable, mientras que el calor generado en el conductor debe pasar por las resistencias térmicas que se inician con el aislamiento, en la pantalla las resistencias térmicas se inician en la cubierta. De igual manera sucede con el calor generado en el aislamiento.



- Tc = Temperatura del conductor.
- Ra = Resistencia térmica del aislamiento.
- Tp = Temperatura de la pantalla metálica.
- Rc = Resistencia térmica de la cubierta.
- Rcd = Resistencia térmica del aceite dentro del ducto.
- Tmd = Temperatura media del ducto.
- Rd = Resistencia térmica del ducto.
- Rpt = Resistencia térmica protección tubería.
- Rco = Resistencia térmica del concreto.
- Tf = Temperatura interface.

Separando las fuentes con las respectivas resistencias térmicas que se oponen al flujo de calor la ecuación se puede escribir como:

$$\Delta T = W \sum R T$$

$$T_c - T_o = W_c \sum R T_c + W_d \sum R_d + W_p \sum R_{tp}$$

$$T_c - T_o = I^2 R_c \sum R T_c + W_d \sum R_d + K I^2 R_p \sum R_{tp}$$

Donde :

- $I^2 R_c$ = Pérdidas en el conductor.
- $\sum R T_c$ = La suma de resistencias térmicas que se oponen al flujo de calor generado por el conductor.
- $\sum R_d$ = La suma de resistencias térmicas que se

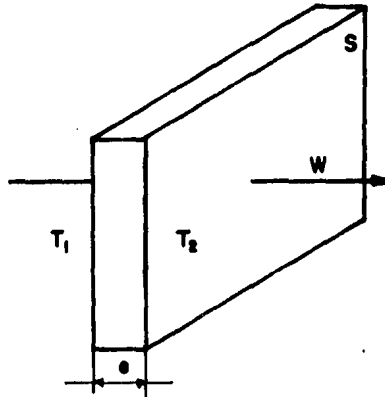
CONCEPTOS FUNDAMENTALES

- oponen al flujo de calor generado en el dieléctrico.
- KI^2R_p = Pérdidas en las pantallas siendo K el factor de inducción e I la corriente del conductor.
- R_{tp} = La suma de resistencias térmicas que se oponen al flujo de calor en la pantalla.
- T_c = Temperatura en el conductor.
- T_0 = Temperatura ambiente.

1.11 RESISTENCIAS TÈRMICAS

La analogía de la resistencia eléctrica con la resistencia térmica se demuestra en la figura , donde se puede observar que el valor de la resistencia térmica depende de la resistividad del material, del espesor w del área, por la que el calor debe circular.

SUPERFICIES PLANAS



W = Cantidad de calor.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

R_t = Resistencia térmica.

e = Espesor.

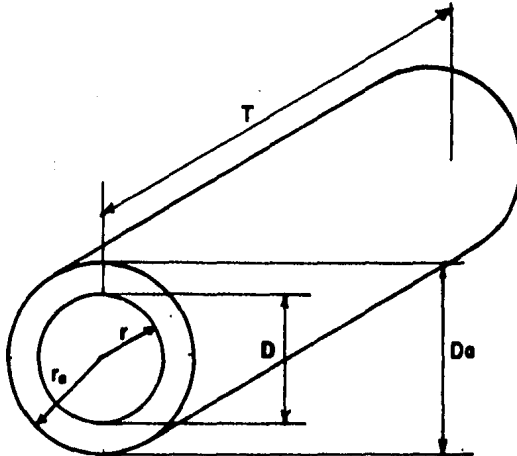
t = Resistividad térmica.

ΔT = Diferencia de temperaturas.

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta T = R_t - W \quad \text{donde} \quad R_t = e' \frac{e}{S}$$

SUPERFICIES CILINDRICAS.



$$R_t = \frac{l}{2\pi} c_T \ln \frac{r_o}{r}$$

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Para el cálculo de la resistencia térmica del aislamiento tenemos:

$$R_t = \frac{2.3}{2\pi} \rho_t \text{ Log } \frac{r_a}{r} \qquad R_t = 0.366 \rho_t \text{ Log } \frac{2r_a}{r}$$

$$R_t = R_a = 0.366 \rho_a \text{ Log } \frac{D_a}{D}$$

Donde:

R_a = Resistencia térmica del aislamiento.

ρ_a = Resistividad térmica del aislamiento.

D_a = Diámetro sobre aislamiento.

D = Diámetro del conductor incluyendo pantalla.

A continuación se mencionan valores de resistividad de algunos aislamientos.

AISLAMIENTO

Papel impregnado.	600.
Polietileno.	350.
XLP.	350.
EPR.	500.
PVC.	600-800.*

* Nota: La resistividad térmica del PVC varía de acuerdo al compuesto.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Para calcular la resistencia térmica de la cubierta tenemos:

$$R_c = 0.366 \rho_c \text{Log} \frac{D_c}{D_o}$$

Donde:

R_c = Resistencia térmica de la cubierta.

ρ_c = Resistividad térmica de la cubierta.

D_c = Diámetro sobre la cubierta.

D_o = Diámetro bajo la cubierta.

Resistividad de algunas cubiertas.

CUBIERTA.	ρ_c (°C-cm/W)
Policloropreno	500.
PVC	700.

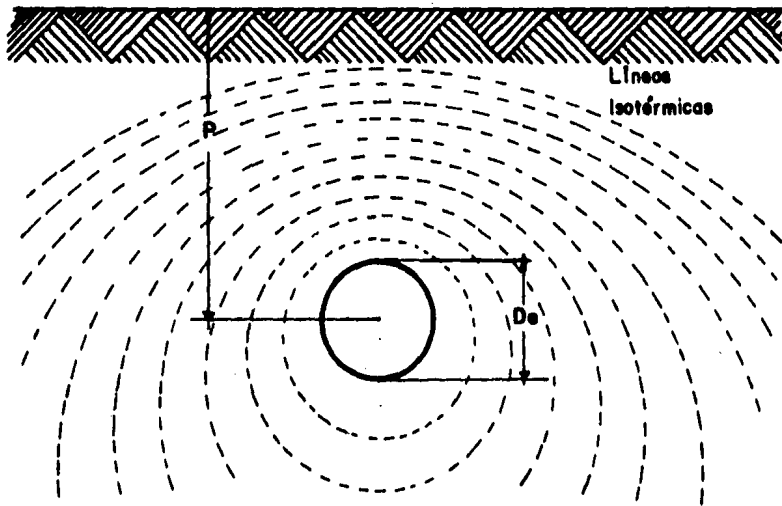
1.11.1 EFECTO DE LA RESISTIVIDAD TERMICA DEL TERRENO SOBRE EL CONDUCTOR

La temperatura máxima de operación cíclica en el conductor tiene una influencia decisiva en la capacidad de conducción y la vida útil de los cables subterráneos y debe ser limitada a valores aceptables. El elemento que más influye para limitar las elevaciones de temperatura originadas por la carga, es el circuito externo que rodea a el conductor, ya que todo el calor generado debe ser disipado através de él y es a la vez el que ofrece la máxima resistencia del circuito térmico. En la gran mayoría de los casos la resistividad térmica del terreno es demasiado alta, alcanzando en algunos lugares valores próximos a los 300 C-cm/W.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.11.2 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA TÉRMICA DEL TERRENO

En la figura muestra un cable de diámetro D enterrado, en un terreno de resistividad térmica C_t a una profundidad P . Así mismo, da una indicación de la forma como se transmite el calor hacia la superficie del terreno.



Para calcular la resistencia térmica del terreno debemos recurrir al artificio (propuesto por Kennelly desde fines del siglo pasado) de la "imagen térmica", consistente en suponer un cable virtual, situado simétricamente del cable real con respecto al plano de la superficie de la tierra, figura que absorbe el calor emitido por el cable real.

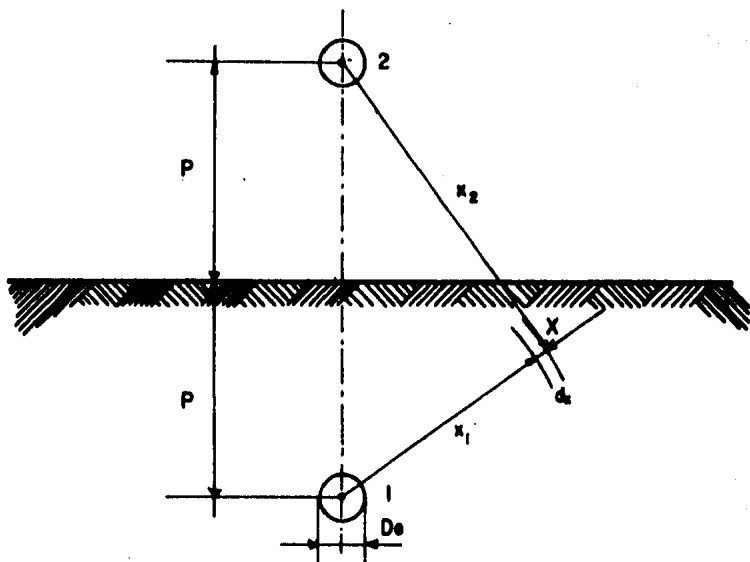
Para un punto cualquiera X , distante x_1 del centro del cable real, y x_2 del centro del cable virtual, tendremos:

$$R_1 = \int_{x_1}^{\infty} C_t \frac{dx}{2\pi x^2} = \frac{C_t}{2\pi} \ln \frac{\infty}{x_1}$$

$$R_2 = \int_{\infty}^{x_2} C_t \frac{dx}{2\pi x^2} = \frac{C_t}{2\pi} \ln \frac{x_2}{\infty}$$

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

$$R_{tot} = \frac{C_t}{2\pi} \left(\ln \frac{\infty}{x_1} + \ln \frac{x_2}{\infty} \right) = \frac{C_t}{2\pi} \ln \frac{x_2}{x_1}$$



Si el punto X coincide con la parte superior de la superficie externa del cable:

$$R = \frac{C_t}{2\pi} \ln \frac{2P - D/2}{D/2} = \frac{C_t}{2\pi} \ln \frac{4P - D}{D}$$

y si D es pequeño con respecto a P, esta fórmula se simplifica a:

$$R = \frac{C_t}{2\pi} \ln \frac{4P}{D}$$

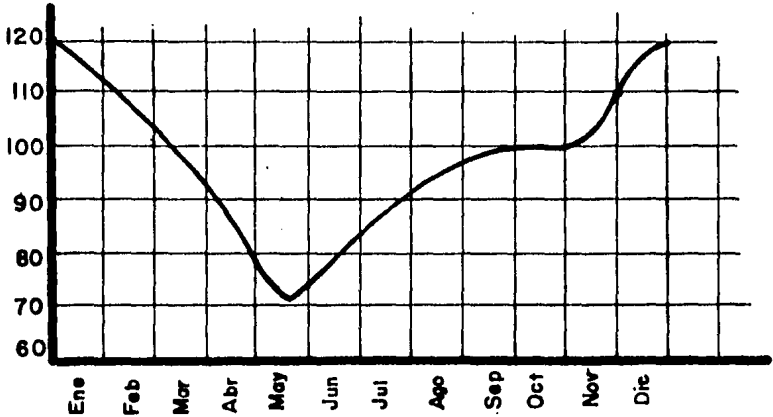
que se puede escribir de la forma:

$$R_t = 0.00366 C_t \text{ Log } \frac{4P}{D} \quad \left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{W m}} \right]$$

Algunos valores de resistividad térmica para diferentes tipos de terrenos, conviene mencionar que mediciones efectuadas en la ciudad de México indican que la resistividad promedio de varios tipos de terrenos típicos de la ciudad de México, siguen una variación como la indicada en la gráfica

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

RESISTIVIDAD TERMICA MEDIA DEL TERRENO EN LA CIUDAD DE MEXICO



Para instalaciones normales en la Ciudad de México se puede tomar como valor el cálculo de 120°C/W m .

Si la instalación es de cierta importancia (por el monto de la inversión) conviene verificar mediante mediciones con sonda en el lugar de la instalación, cual es el verdadero valor de resistividad que se debe considerar ya que no es difícil encontrar terrenos con resistividades mayores.

1.11.3 RESISTENCIA TERMICA APARENTE DEL TERRENO

Cuando varios cables enterrados están operando situados a poca distancia entre sí, se verifican calentamientos mutuos que se traducen en un aumento aparente de la resistencia térmica del terreno.

Para el caso de n cables enterrados (de diámetro D), trabajando a carga constante, colocados sobre un mismo plano horizontal a la profundidad P y teniendo una distribución interaxial A entre sí; la resistencia térmica aparente del terreno para el cable central (sujeto a calentamiento mutuo por ambos lados) está dada por:

$$R_e = 0.003669 C_f \left[\text{Log} \frac{4P}{D} + 2 \text{Log} \sqrt{1 + \left(\frac{2P}{A}\right)^2} + 2 \text{Log} \sqrt{1 + \left(\frac{2P}{2A}\right)^2} + \dots + 2 \text{Log} \sqrt{1 + \left(\frac{2P}{\left(\frac{n-1}{2}\right)A}\right)^2} \right]$$

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

RESISTENCIA TERMICA APARENTE DEL TERRENO

Esta fórmula fue propuesta por O. Seibert y por Z. Kuhn en 1951 y puede aplicarse, desde luego, para calcular la resistencia térmica exterior a cualquiera de los cables (no solo el central) situados en el mismo plano horizontal considerando simplemente cuantos cables tienen influencia térmica sobre el cable en cuestión y a que distancia están.

Es interesante hacer notar, por otra parte que la misma fórmula se ha aplicado a cables dispuestos en triángulo, con resultados prácticos satisfactorios.

CAPITULO 2

METODO Y ALGORITMO

2.1 INTRODUCCION

En este capítulo se explica la formulación método y algoritmo usados en el desarrollo del programa CABLE (cálculo del área mínima de un conductor), incluido el modelo matemático y la descripción del modelo físico.

2.2 METODO

Es importante en esta fase la selección de un método que sea práctico para la computadora y en particular, que obtenga el resultado deseado en un tiempo razonable. El enfoque numérico involucra un número de cuidadosas consideraciones que deben ser evaluadas dependiendo del grado de exactitud requerida.

El método utilizado se basa principalmente en un enfoque práctico de lo que es una instalación eléctrica de distribución y de las necesidades de los usuarios, como tener un voltaje adecuado y constante, a partir de esto el método calcula el área mínima del conductor. Primero suponemos un cable ideal, después calcularemos su resistencia óhmica, con esta resistencia óhmica y dado que tenemos la restricción de la caída de tensión, a partir de las ecuaciones de caída de tensión planteamos una ecuación que solucionamos por el método de Newton-Raphson y obtenemos la resistencia máxima permisible que podemos tener en el conductor para la restricción de caída de tensión con esta resistencia, debido a que no es la resistencia real, recalculamos la resistencia con el efecto superficial, similarmente para el efecto de proximidad y el efecto de cableado, esto también dependiendo del tipo de material seleccionado para la instalación, calculamos la temperatura máxima del conductor dadas las condiciones de instalación, finalmente calculamos el área del conductor y el diámetro

METODO Y ALGORITMO

del mismo.

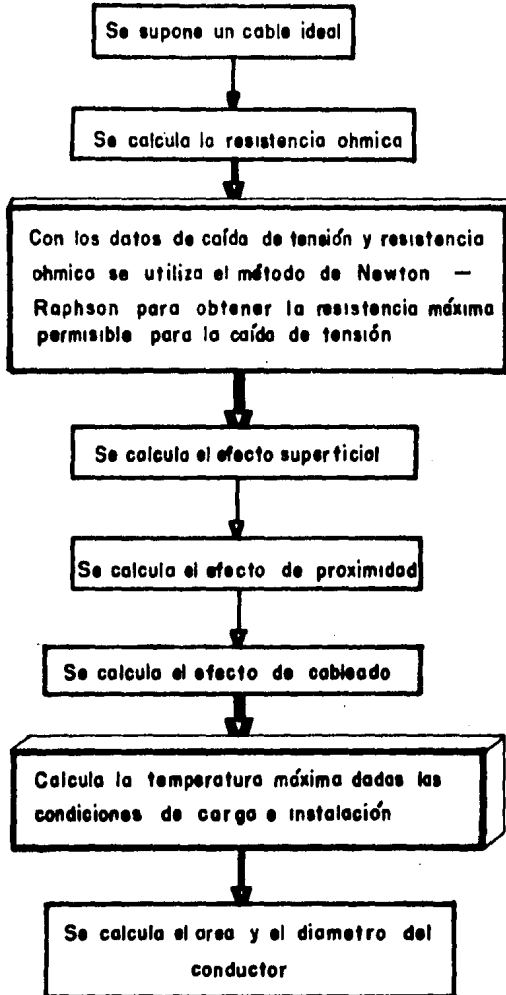


DIAGRAMA DEL METODO

METODO Y ALGORITMO

2.3 ALGORITMO DEL PROGRAMA

El algoritmo se inicia con el cálculo de la corriente:

$$I = \frac{P \cdot 1000}{V \cdot \cos \theta} \quad \text{Sistema monofasico}$$

$$I = \frac{P \cdot 1000}{2V \cdot \cos \theta} \quad \text{Sistema bifasico}$$

$$I = \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3} V \cos \theta} \quad \text{Sistema trifasico}$$

Esto implica la corriente necesaria en el servicio por el usuario, se supone a plena carga y con voltaje constante.

Dependiendo del tipo de material usado en el conductor tomaremos un valor de resistividad.

Despues calculamos la resistencia a la corriente directa que es la resistencia ideal del conductor.

$$R = \frac{V}{I}$$

Pero dado que el conductor no es ideal esta resistencia sera modificada por varios parámetros. Tomando ahora como parámetro la caída de tensión.

$$\text{Caída de tensión} = es + I R \cos \theta - I R \sin \theta - \sqrt{es^2 - (I R \cos \theta - I R \sin \theta)^2}$$

En esta ecuación tenemos como unica variable la resistencia máxima permisible para cumplir con las restricciones de caída de tensión, factor de potencia, previamente estipulados. Para esta ecuación se a tomado la consideración de que el valor de la reactancia inductiva en los conductores es muy pequeña y por lo tanto despreciable, esta consideración es debido a que este programa esta diseñado para una utilización en sistemas de distribución subterranes, donde las distancias del servicio a el transformador de potencial son relativamente pequeñas como para que la inductancia que se produce sea tomada en cuenta.

Para solucionar esta ecuación utilizamos el método de * Newton-Raphson.

Teniendo la resistencia máxima de caída de tensión se

* NOTA: Ver apéndice C3.

METODO Y ALGORITMO

le hara un incremento por efecto superficial.

$$X_{s2} = \frac{8\pi f}{R'} \cdot 10^{-4} K_s$$

$$X_{s4} = (X_{s2})^2$$

$$Y_s = \frac{X_{s4}}{192 + 0.8X_{s4}}$$

De forma análoga se incrementara la resistencia por el efecto de Proximidad.

$$X_{p2} = \frac{8\pi f}{R'} \cdot 10 K_p$$

$$X_{p4} = (X_{p2})^2$$

$$Y_p = \frac{X_{p4}}{192 + 0.8X_{p4}} \left(\frac{dc}{s} \right)^2 \left[0.312 \left(\frac{dc}{s} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{X_{p4}}{192 + 0.8X_{p4}} + 0.27} \right]$$

De la ecuación anterior se hace la consideración de que la distancia entre ejes de los conductores y el diámetro del conductor es la misma.

$$Y_p = \frac{X_{p4}}{192 + 0.8X_{p4}} \left[0.312 + \frac{1.18}{\frac{X_{p4}}{192 + 0.8X_{p4}} + 0.27} \right]$$

De donde tenemos:

$$R_2 = R' (1 + Y_s + Y_p)$$

METODO Y ALGORITMO

Para tomar en consideración los efectos de cableado del conductor multiplicaremos la resistencia calculada por un factor de cableado,

$$R_3 = (R_2) 1.02$$

En este punto el problema se convierte en un problema de transferencia de calor.

Se calcula un diámetro de conductor, esto se realiza partiendo de la resistencia calculada hasta este punto (R_3), pero esta resistencia ha aumentado, si la utilizamos para calcular el diámetro del conductor, de la ecuación:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Se ve que:

$$A = \rho \frac{L}{R}$$

Si la resistencia aumenta el área disminuye y viceversa, de la misma ecuación se observa que si la longitud es constante para el mismo problema y la resistividad es la misma, dada que el material conductor es el mismo, entonces se observa que el área y la resistencia son inversamente proporcionales, de donde se puede decir que si el área aumenta a veces, la resistencia disminuye a veces, esto nos da la forma de compensar la reducción sufrida por el área a causa del aumento de la resistencia.

$$Area = \rho \frac{L}{R_{cd}}$$

$$a = \frac{R_{TOT}}{R_{cd}}$$

Como R_{TOT} es a veces mayor que R_{cd} entonces:

$$Area_N = Area(a)$$

METODO Y ALGORITMO

Con esto el área sufre la compensación y la caída de tensión se mantiene constante.

En seguida se calcula el diámetro que se utilizará para realizar la prueba por temperatura.

Al iniciar la prueba por temperatura se calcula la resistencia efectiva del conductor esto es:

$$R = \rho \frac{L}{\text{Area}}$$

E inicia el cálculo de corrección por temperatura suponiendo que el conductor funcione a una temperatura crítica de 90 C partiendo de esto realiza la compensación de la resistencia del conductor a la temperatura de 90 C, dependiendo si el conductor es aluminio o cobre.

Si el material es cobre:

$$R = R_{20} \left(1 + \left(\frac{T-20}{234.5 + T} \right) \right)$$

Si el material es aluminio:

$$R = R_{20} \left(1 + \left(\frac{T-20}{228 + T} \right) \right)$$

Con el diámetro de conductor más el espesor del aislamiento se tiene el diámetro exterior del aislamiento.

$$DA = DC + 2.77$$

Con esto se calcula la resistencia térmica del aislamiento.

$$RI = 0.00367 \cdot RTA \cdot \text{Log} \frac{DA}{DC}$$

El siguiente paso es semejante.

Apartir del diámetro exterior del aislamiento más el espesor del recubrimiento.

$$DER = DA + 0.77$$

METODO Y ALGORITMO

Calculando la resistencia térmica del recubrimiento.

$$R_R = 0.00367 (RRT) \left(\text{Log} \frac{DER}{DA} \right)$$

En seguida se calcula la resistencia térmica del terreno.

En el capítulo anterior se dió una explicación de el cálculo de la resistividad térmica de tres conductores enterrados.

$$\text{Calentamientos Mutuos} = 2 \text{ Log} \sqrt{1 + \frac{2P}{\left(\frac{N-1}{2} DE\right)^2}}$$

Resistividad térmica media del terreno:

$$R_{TER} = 1.2$$

$$R_E = 0.00367 (RT) \text{Log} \left(\frac{4P}{DE} + \text{CAL. MUT.} \right)$$

Ahora utilizando la ecuación de capacidad de conducción de corriente de los cables, calculamos la temperatura del cable.

$$T_c = T_A + I^2 (R_{MAX} (R_I + R_R + R_E))$$

$$DC = DC \cdot 1.1229$$

Si el cálculo de la temperatura sobrepasa los 75 C el diámetro del conductor es incrementado en un factor de 1.1229, este factor es la relación geométrica que existe entre los calibres de la "American Wire Gage" (A.W.G.), y el cálculo de la resistencia térmica; cálculo de la temperatura se realiza iterativamente hasta lograr que la temperatura del conductor sea menor de 75 C al final de esto

METODO Y ALGORITMO

se imprime en un archivo de salida los datos del Area y el diámetro del conductor, estos datos dependen del número de conductores por fase.

* Nota: Norma que ha sido adoptada en México pero en general se utiliza en mm.

CAPITULO 3

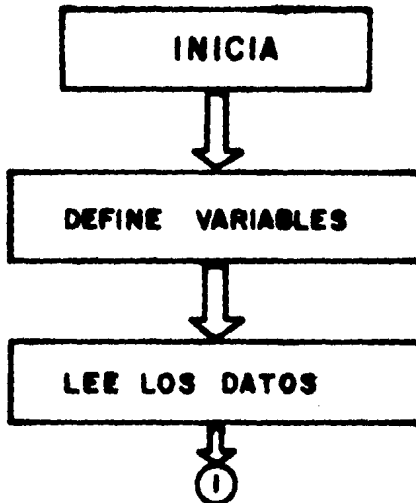
DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CABLE

3.1 INTRODUCCION

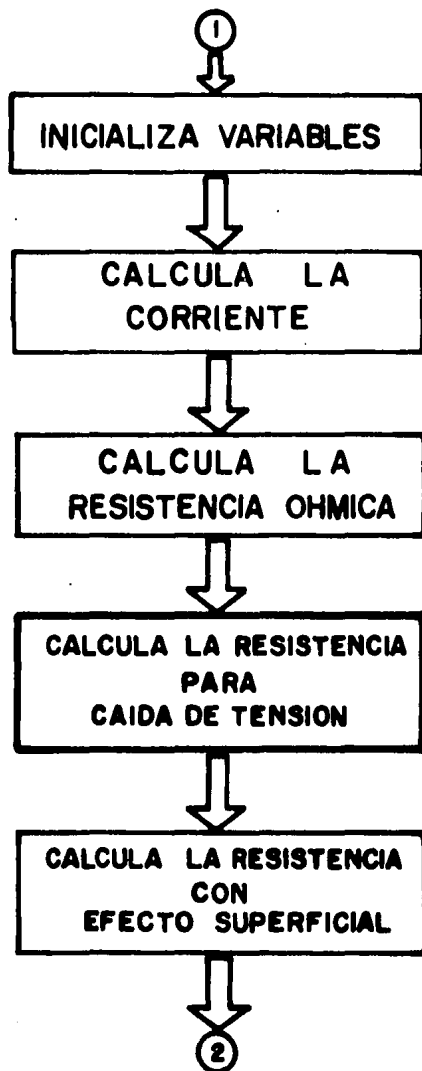
En este capitulo se hace la descripción del programa, por un diagrama de bloques, por un diagrama de flujo y por ultimo se daran ejemplos de aplicaciones del programa.

3.2 DESCRIPCION DEL PROGRAMA

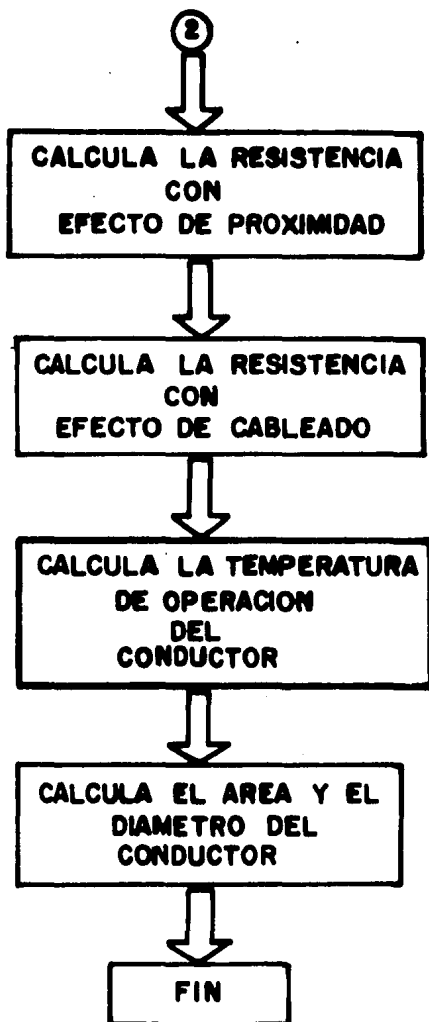
3.2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CABLE

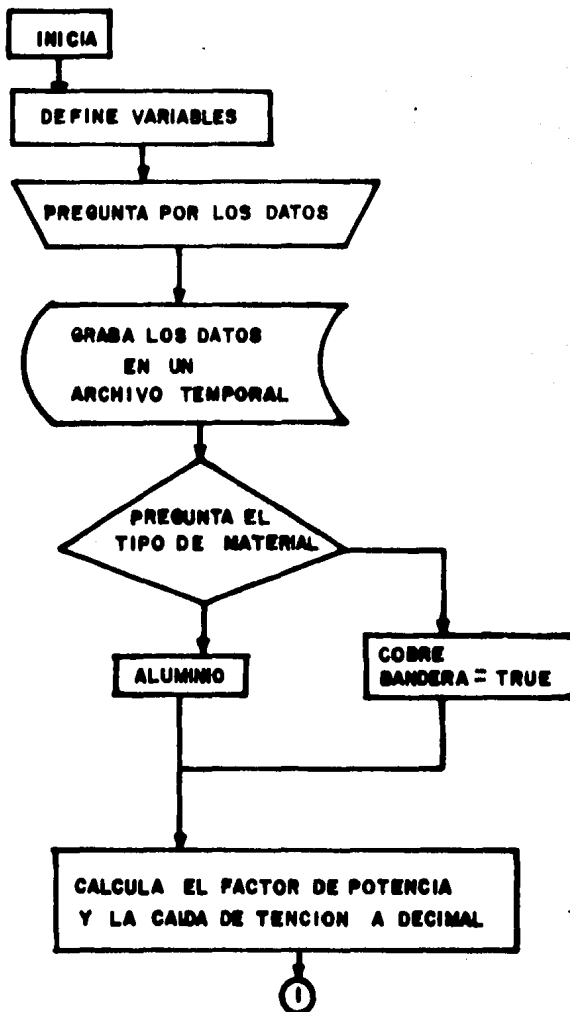


DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CABLE

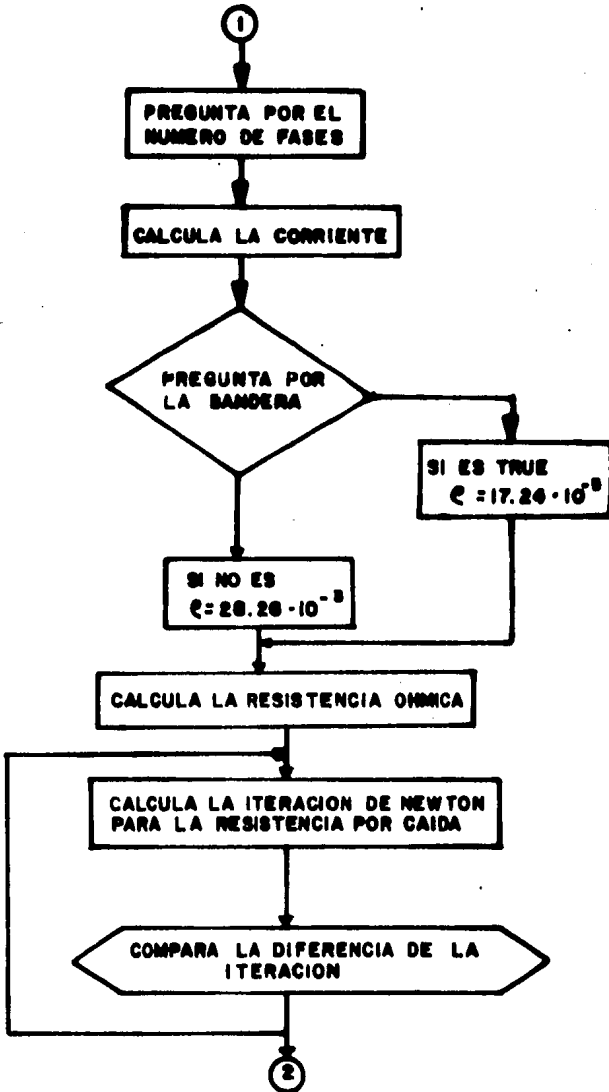


DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CABLE

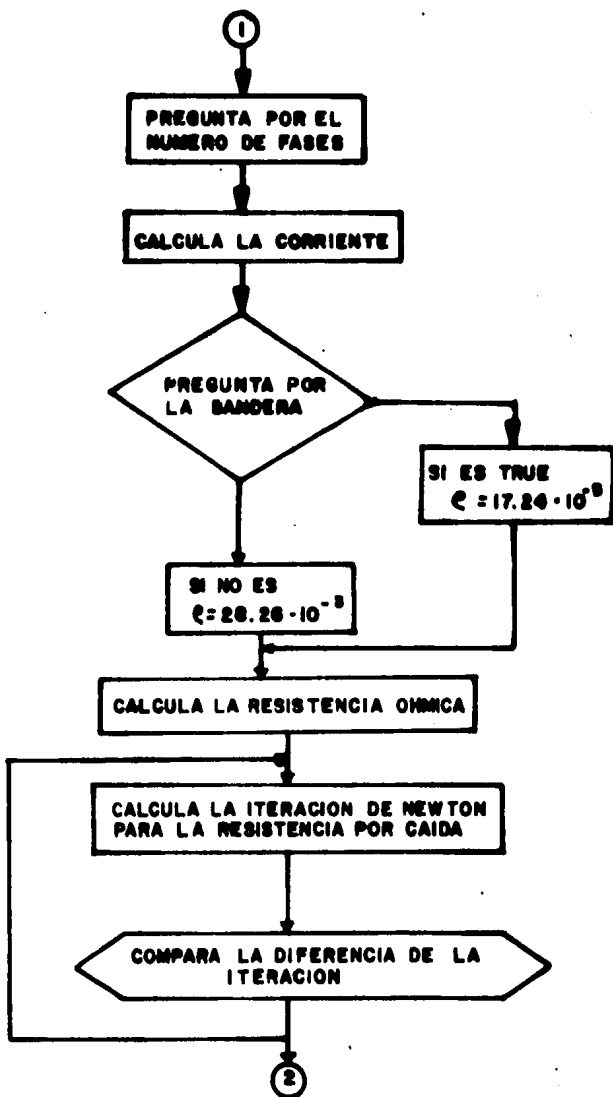
3.2.2 DIAGRAMA DE FLUJO



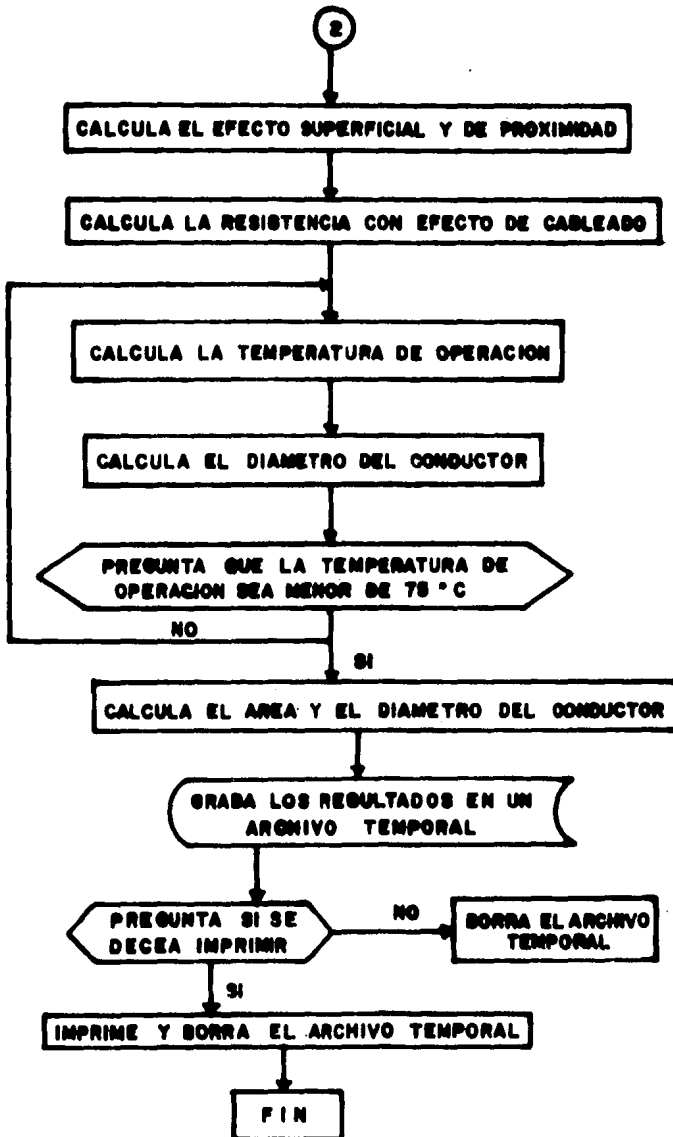
DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CABLE



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CABLE



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CABLE



DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CABLE

3.3 APLICACION DEL PROGRAMA CABLE

Se Propondra un Problema para que a través de su solución se ejemplifique las aplicaciones del Programa.

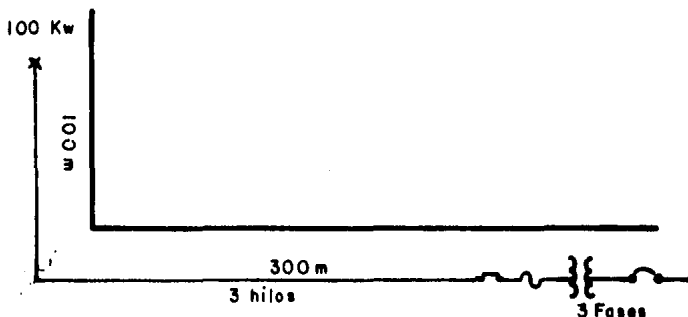
Problema 1.

Supongamos que se requiere calcular el calibre de los conductores de una línea de 400 metros, que alimenta una carga de 100 Kw. a 220 Volts, 3 fases, con un 3% de caída de tensión. Véase figura.

Solución.

Para solucionar este problema se debe observar que la corriente que se maneja es alta y no se debe de utilizar un solo conductor por fase. Es recomendable utilizar 3 o 4.

Despues de estas observaciones pasaremos a resolver el problema.



ESCRIBE NOMBRE DEL USUARIO : JUAN GOMEZ GUZMAN
FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA

ESCRIBE LA POTENCIA DEL SERVICIO EN KW,
100

ESCRIBE EL VOLTAJE DEL SERVICIO EN VOLTS,
220

DESCRIPCION Y APLICACION DEL PROGRAMA CABLE

ESCRIBE EL NUMERO DE FASES DEL SERVICIO 1, 2 O 3.
3

ESCRIBE EL NUMERO DE CONDUCTORES POR FASE.
3

ESCRIBE EL FACTOR DE POTENCIA EN PORCIENTO.
85

ESCRIBE LA MAXIMA CAIDA DE TENSION EN PORCIENTO.
3

ESCRIBE LA DISTANCIA AL SERVICIO EN METROS.
400

ESCRIBE LA TEMPERATURA DE OPERACION
35

ESCRIBE EL MATERIAL DEL CONDUCTOR ALUMINIO O COBRE
COBRE

ESCRIBE EL MATERIAL DEL AISLAMIENTO VULCANEL O PVC
PVC

LA CORRIENTE ES

308.74 A

EL AREA MINIMA DEL CONDUCTOR ES :

307.27 mm²

LA TEMPERATURA DEL CABLE ES :

36.8 °C

DIAMETRO MINIMO DEL CONDUCTOR EN MILIMETROS

19.7796 mm

DESEA IMPRIMIR LOS DATOS Y RESULTADOS (S/N) ?

SI

DESEA RESOLVER OTRO PROBLEMA (SI O NO)?

NO

BIBLIOGRAFIA

1. Redes Eléctricas, J. Viqueira, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., Vol. I, Segunda Edición, 1970.
2. Manual Técnico de Cables de Energía, V. Sierra, A. Sansores. CONDUMEX, S.A., Primera Parte, Primera Edición, 1982.
3. Capacidad de Conducción de Corriente en Cables Aislados, F. Hawley. CONDUMEX, S.A., Primera Edición, 1966.
4. Power Cable Ampacities, J.H. Neher, M.H. McGrath. AIEE Pub. No. 9-135-1, IPCEA Pub. P-46-426, First Edition, 1962.
5. Underground Systems Reference Book, EEI Publication 55-16, Edison Electric Institute, New York, N.Y., 1957

APENDICE A1

MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA CORTO-CIRCUITO

OBJETIVOS

Calcular las corrientes de corto-circuito trifásico y monofásico en cada una de las barras de la red, así como la contribución de corriente de las barras adyacentes.

Calcular las impedancias de secuencias positiva, negativa y cero de la red.

METODO

El método utilizado es el de la Matriz de Impedancias de Barra (Zbarra) formada a través del algoritmo propuesto por Stagg y El-Abiad, sin considerar los acoplamientos mutuos que pudiesen existir entre los elementos del sistema.

DATOS

El programa fue diseñado para trabajar en forma interactiva, es decir, se despliega un mensaje cada vez que se necesitan datos o una respuesta, introduciendo el usuario a continuación la información requerida.

El programa solicitará dos tipos de líneas de datos que son las siguientes:

a) Datos generales

El programa solicitará BREF, NEUS y NLIN con formato libre, es decir, que para introducir los datos sólo bastará con separarlos por una coma y oprimir a continuación la tecla <RETURN>. El significado de las variables es el siguiente:

APENDICE A1

BREF Barra de referencia.
NBUS Número de barras.
NLIN Número de líneas.

Para solicitar los anteriores datos, el programa desplegará el siguiente mensaje:

Proporcione la barra de referencia, el número de barras y el número de líneas, separados por comas

A continuación se introducirán los datos solicitados en la forma arriba descrita.

NOTAS

Generalmente, la barra de referencia es la tierra del sistema y es numerada con el 0 (cero).

La barra de referencia no deberá ser tomada en cuenta para formar el número total de barras.

b) De la topología del sistema

Se solicitará **NENV(I),NREC(I),REAC(I)** con formato libre, es decir, separando un dato de otro por una coma. El significado de las variables es el siguiente:

NENV(I) I-ésimo elemento del arreglo que almacena las barras de envío.

NREC(I) I-ésimo elemento del arreglo que almacena las barras de recepción.

REAC(I) I-ésimo elemento del arreglo que almacena las reactancias de las líneas.

Para este tipo de datos, el programa desplegará en la pantalla el siguiente mensaje:

Proporcione la barra de envío, la barra de recepción y la reactancia de la línea (en p.u.) que une las dos barras, separados por comas

En seguida se introducirán los datos requeridos, en la forma ya descrita.

NOTAS

El número de líneas de datos de este tipo

APENDICE A1

dependerá del número de líneas que conformen el sistema a analizar.

Después de que los resultados hayan aparecido en la pantalla, se desplegará el siguiente mensaje:

Desea calcular el corto circuito monofásico (SI/NO)?

Si la respuesta es afirmativa, el programa pedirá la información respectiva para calcular el corto-circuito monofásico, con el formato descrito en los incisos (a) y (b). En caso contrario sólo se desplegará el siguiente mensaje; este mensaje también será desplegado al terminar el cálculo del corto-circuito monofásico.

Desea imprimir los resultados (SI/NO)?

Si la respuesta es afirmativa, los resultados serán impresos a papel y a continuación se desplegará el siguiente mensaje:

Desea resolver otro problema (SI/NO)?

En caso de que no se deseen imprimir los resultados, sólo aparecerá el anterior mensaje.

Si la respuesta es afirmativa, el programa solicitará los datos del nuevo problema a resolver. En caso contrario, el programa finalizará y el control regresará al menú principal, donde podrá ser seleccionada una nueva opción.

APENDICE A2

LISTADO DEL PROGRAMA CORTO_CIRCUITO

```

PROGRAM CORTO_CIRCUITO
*****
C*
C*          CORTO CIRCUITOS
C*
C*          TRIFASICO Y MONOFASICO
C*
C*  Este programa calcula las corrientes de corto-circuito
C*  trifasico y monofasico de un sistema electrico.
C*  Se utiliza el metodo de la matriz de impedancias de
C*  barra, la cual sera formada por medio del algoritmo
C*  propuesto por Stass y El-Abiad.
C*  El significado de las variables mas representativas en
C*  este programa es el siguiente:
C*
C*      ZBUS      Arreglo que contiene la Matriz de
C*                Impedancias de barra.
C*      REAC      Arreglo que contiene el valor de las
C*                reactancias de las lineas en p.u.
C*      NODOS     Arreglo en el cual se almacenan las
C*                barras que ya han sido examinadas.
C*      NENV      Arreglo que contiene las barras de envio.
C*      NREC      Arreglo que contiene las barras de recepcion
C*      ORDEN     Arreglo que contiene el orden de las
C*                barras en la impresion
C*      BREF      Barra de referencia
C*      NLIN     Numero de lineas que integran el sistema
C*      NBUS     Numero de barras que integran el sistema
C*      TIPO     Tipo de corto-circuito a calcular
C*
C*          ENERO DE 1985
C*
*****

```

APENDICE A2

```

REAL ZBUS(15,15)
CHARACTER RESPUESTA * 2,
      MEDIANA * 3,
      USUARIO *32
MEDIANA=CHAR(27)///'06'
WRITE(6,30)MEDIANA
READ (5,40) USUARIO
CALL CORTO_TRIFASICO(ZBUS,RESPUESTA,USUARIO)
IF (RESPUESTA .EQ. 'SI') THEN
  CALL CORTO_MONOFASICO (ZBUS,USUARIO)
C NOELSE
  ENDF
  CALL EXIT
30 FORMAT(//,1X,A3,'Nombre del usuario!',0)
40 FORMAT(A32)
  END
C*****
C*
C*          RUTINA QUE CALCULA EL CORTO-CIRCUITO TRIFASICO
C*
C*****
SUBROUTINE CORTO_TRIFASICO(ZBUS,RESPUESTA,USUARIO)
  REAL ZBUS(15,15),
      REAC(15),
      Z(15,15)
  INTEGER NENV(15),
      NREC(15),
      NODOS(15),
      ORDEN(15)
  INTEGER BREF,
      NBUS,
      NLIN,
      L,
      LI,
      I
  CHARACTER USUARIO *32,
      TIPO *10,
      RESPUESTA * 2,
      MEDIANA * 3
  MEDIANA=CHAR(27)///'06'
  CALL LECTURA(BREF,NLIN,NBUS,NENV,NREC,REAC)
  CALL SORTEO(NENV,NREC,REAC,NLIN)
  L=1
  DO I=1,NLIN
    CALL FORMA_MATRIZ(NENV,NREC,REAC,NODOS,ZBUS,
      * NLIN,NBUS,BREF,I,L)
  ENDDO
  CALL ORDENA(NODOS,ORDEN,ZBUS,NBUS)
  TIPO='TRIFASICO'
  CALL TOPOLOGIA(NENV,NREC,REAC,BREF,NBUS,NLIN,TIPO)
  CALL CAL_IMP(ZBUS,ORDEN,NENV,NREC,REAC,NLIN,
  * NBUS,Z,TIPO,USUARIO)

```

APENDICE A2

```

WRITE(6,20)MEDIANA
READ(5,10) RESPUESTA
RETURN
10  FORMAT(A2)
20  FORMAT(/,X,A3,'Desea calcular el corto circuito monofasico'
*      , ' (SI/NO)?',*)
END
C*****
C*
C*      RUTINA QUE CALCULA EL CORTO-CIRCUITO MONOFASICO      *
C*
C*****
SUBROUTINE CORTO_MONOFASICO (Z,USUARIO)
REAL Z(15,15)
REAL ZBUS(15,15),
REAC(15)
INTEGER NENV(15),
NREC(15),
NODOS(15),
ORDEN(15)
INTEGER BREF,
NBUS,
NLIN,
L1,
L,
I
CHARACTER USUARIOID *32,
TIPO *10

CALL LECTURA(BREF,NLIN,NBUS,NENV,NREC,REAC)
CALL SORTEO(NENV,NREC,REAC,NLIN)
L=1
DO I=1,NLIN
CALL FORMA_MATRIZ(NENV,NREC,REAC,NODOS,ZBUS,
NLIN,NBUS,BREF,I,L)
ENDDO
CALL ORDENA(NODOS,ORDEN,ZBUS,NBUS)
TIPO='MONOFASICO'
CALL TOPOLOGIA(NENV,NREC,REAC,BREF,NBUS,NLIN,TIPO)
CALL CAL_IMP(ZBUS,ORDEN,NENV,NREC,REAC,NLIN,
NBUS,Z,TIPO,USUARIOID)

RETURN
END
C*****
C*
C*      RUTINA QUE LEE LOS DATOS DEL SISTEMA      *
C*
C*****
SUBROUTINE LECTURA(N,N1,N2,P,Q,X)
INTEGER P(15),
Q(15)
REAL X(15)

```

APENDICE A2

```

INTEGER N,
      N1,
      N2
CHARACTER GRANDEINF * 3,
          BORRA * 4,
          GRANDESUP * 3,
          MEDIANA * 3,
          SUPERIOR * 6
BORRA=CHAR(27)///'C2J'
GRANDESUP=CHAR(27)///'03'
GRANDEINF=CHAR(27)///'04'
MEDIANA=CHAR(27)///'06'
SUPERIOR=CHAR(27)///'C111H'
WRITE(6,100) BORRA
WRITE(6,150) SUPERIOR
WRITE(6,200) GRANDESUP
WRITE(6,200) GRANDEINF
WRITE(6,300) MEDIANA
WRITE(6,400)MEDIANA,MEDIANA
ACCEPT #,N,N2,N1
DO I=1,N1
    WRITE(6,500)MEDIANA,MEDIANA,MEDIANA
    ACCEPT #,P(I),Q(I),X(I)
ENDDO
RETURN
100  FORMAT(X,A4)
150  FORMAT(X,A6)
200  FORMAT(2X,A3,'FACULTAD DE INGENIERIA')
300  FORMAT(15X,A3,'LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA')
400  FORMAT(/,X,A3,'Proporcione la barra de referencia, el numero'
      *      ' de barras y',X,A3,'el numero de lineas, separad'
      *      ' os por comas')
500  FORMAT(/,X,A3,'Proporcione la barra de envio, la barra de rece'
      *      'pcion, y la',X,A3,'reactancia de la linea (en p.u.)',
      *      ' que une las dos barras',/,X,A3,'separados por comas')
END
*****
C*
C*      RUTINA QUE ORDENA LOS DATOS EN FORMA ASCENDENTE CON
C*      RESPECTO A LA BARRA ORIGEN
C*
*****
SUBROUTINE SORTED(F,Q,X,NLIN)
  INTEGER P(15),
  Q(15)
  REAL X(15)
  INTEGER NLIN,
  CAMBIO
  REAL CAMBIO
  DO I=2,NLIN
    DO J=NLIN,I,-1
      IF (P(J) .LT. P(J-1))THEN

```

APENDICE A2

```

CAMBIO=P(J)
P(J)=P(J-1)
P(J-1)=CAMBIO
CAMBIO=Q(J)
Q(J)=Q(J-1)
Q(J-1)=CAMBIO
CAMBIO=X(J)
X(J)=X(J-1)
X(J-1)=CAMBIO
ELSE
  IF (P(J) .EQ. P(J-1)) THEN
    IF (Q(J) .GT. Q(J-1))THEN
      CAMBIO=Q(J)
      Q(J)=Q(J-1)
      Q(J-1)=CAMBIO
      CAMBIO=P(J)
      P(J)=P(J-1)
      P(J-1)=CAMBIO
      CAMBIO=X(J)
      X(J)=X(J-1)
      X(J-1)=CAMBIO
    NOELSE
      ENDIF
  NOELSE
    ENDIF
  ENDDO
  ENDDO
  RETURN
END
C*****
C* RUTINA QUE FORMA LA MATRIZ DE IMPEDANCIAS DE BARRA (Zbarr) *
C* *
C*****
SUBROUTINE FORMA_MATRIZ(P,Q,X,I1,Z,N1,N2,N,I,L)
  LOGICAL CONTINUA
  REAL X(15),
  , Z(15,15)
  INTEGER I1(15),
  , P(15),
  , Q(15)
  INTEGER N,
  , N1,
  , N2,
  , L,
  , L1,
  , I,
  , B,
  , A

  L1=L-1

```

APENDICE A2

```

DO J=1,L
  Z(L,J)=0
  Z(J,L)=0
ENDDO
IF(Q(I) .NE. N) THEN
  IF(P(I) .EQ. N) THEN
    Z(L,L)=Z(L,L)+X(I)
    IF(L1 .LE. 0) THEN
      I1(L)=Q(I)
      L=L+1
    ELSE
      CALL AGREBA_LIGA(I1,Z,Q(I),P(I),X(I),L,L1,N,J,I)
      L=L+1
    ENDIF
  ELSE
    IF(L1 .LE. 0) THEN
      Z(L,L)=Z(L,L) + X(I)
      I1(L)=Q(I)
      L=L+1
    ELSE
      R=0
      A=1
      CONTINUO=.TRUE.
      CALL BUS(Z,I1,P(I),Q(I),X(I),CONTINUO,L,L1,N,I)
      DO WHILE(B .EQ. 0 .AND. CONTINUO)
        CAMBIO=Q(I)
        Q(I)=P(I)
        P(I)=CAMBIO
        B=1
        CALL BUS(Z,I1,P(I),Q(I),X(I),CONTINUO,L,L1,N,I)
      ENDDO
      DO WHILE((I+A) .LE. N1 .AND. CONTINUO)
        CAMBIO=P(I+A)
        P(I+A)=P(I)
        P(I)=CAMBIO
        CAMBIO=Q(I+A)
        Q(I+A)=Q(I)
        Q(I)=CAMBIO
        CAMBIA=X(I+A)
        X(I+A)=X(I)
        X(I)=CAMBIA
        A=A+1
        B=0
        CALL BUS(Z,I1,P(I),Q(I),X(I),CONTINUO,L,L1,N,I)
        DO WHILE(B .EQ. 0 .AND. CONTINUO)
          CAMBIO=Q(I)
          Q(I)=P(I)
          P(I)=CAMBIO
          B=1
          CALL BUS(Z,I1,P(I),Q(I),X(I),CONTINUO,L,L1,N,I)
        ENDDO
      ENDDO
    ENDIF
  ENDIF
ENDDO

```


APENDICE A2

```

                IF(CONTINUO) THEN
                    TYPE *, '           EXISTE UN ERROR'
                    TYPE *, '           HAY MAS DE DOS REDES AISLADAS'
                    STOP
C                NOELSE
                ENDIF
            ENDIF
        ELSE
            P1=Q(I)
            Q(I)=P(I)
            P(I)=P1
            Z(L,L)=Z(L,L)+X(I)
            IF(L1 .LE. 0) THEN
                I1(L)=Q(I)
                L=L+1
            ELSE
                CALL ABREGA_LIGA(I1,Z,Q(I),P(I),X(I),L,L1,N,J1,I)
                L=L+1
            ENDIF
        ENDIF
    RETURN
END

```

C*****

C* *

C* RUTINA QUE ORDENA LOS RESULTADOS PARA SU IMPRESION *

C* *

C*****

SUBROUTINE ORDENA(I1,ORDEN,Z,N2)

REAL Z(15,15)

INTEGER ORDEN(15),

 I1(15)

INTEGER N2

LOGICAL CIERRO

DO J=1,N2

 ORDEN(J)=J

ENDDO

DO M=1,N2

 N=1

 CIERRO=.TRUE.

 DO WHILE(N .LE. N2 .AND. CIERRO)

 IF(I1(N) .EQ. ORDEN(M)) THEN

 CAMBIO=I1(M)

 I1(M)=I1(N)

 I1(N)=CAMBIO

 DO J=1,N2

 CAMBIA=Z(M,J)

 Z(M,J)=Z(N,J)

 Z(N,J)=CAMBIA

 ENDDO

 DO J=1,N2

APENDICE A2

```

                CAMBIA=Z(J,M)
                Z(J,M)=Z(J,N)
                Z(J,N)=CAMBIA
            ENDDO
            CIERRO=,FALSE,
        ELSE
            N=N+1
        ENDIF
    ENDDO
END
RETURN
END
C*****
C*
C*     RUTINA QUE DIBUJA LA TOPOLOGIA DEL SISTEMA A ANALIZAR
C*
C*****
SUBROUTINE TOPOLOGIA(P,Q,X,BREF,NBUS,NLIN,TIPO)
CHARACTER TIPO*10
REAL ESPACIO,
.   LINEA,
.   POSICION,
.   RAYA,
.   POSICION_A,
.   POSICION_B,
.   ALTURA

REAL X(15),
.   FRACCION(15),
.   ALTITUD(15),
.   TOTAL(15)
INTEGER CONTADOR(15),
.   SALIDA(15),
.   ENTRADA(15),
.   PASADA(15),
.   ALTERNO(15),
.   P(15),
.   Q(15)

INTEGER ORIGEN,
.   DESTINO

LOGICAL*1 LETRA(10)
LOGICAL LOCALIZADO
IF (TIPO.EQ. 'TRIFASICO') THEN
    CALL NEWDEV('TOPOL1,VEC',0)
ELSE
    CALL NEWDEV('TOPOL2,VEC',0)
ENDIF
CALL PLOTST('CM',0)
ESPACIO=(33.6-NBUS*3)/(NBUS+1)
LINEA=ESPACIO+NBUS*3 + (NBUS-1)*ESPACIO

```

APENDICE A2

```

CALL SYMBOL(3,,10.44,.55,'TOPOLOGIA DEL SISTEMA',90,,23)
CALL SYMBOL(4,,15.7,.55,'PARA',90,,4)
CALL SYMBOL(5,,9.6,.55,'CORTO CIRCUITO ',90,,17)
DO I=1,10
  LETRA(I)=ICHAR(TIPO(I;I))
  POSICION=18.95+0.55*(I-1)
  CALL SYMBOL(5,,POSICION,.55,LETRA(I),90,,1)
ENDDO
CALL SYMBOL(16,,ESPACIO+5,,.45,'BUS DE REFERENCIA',90,,17)
CALL PLOT(15,,ESPACIO,3)
CALL PLOT(15,,LINEA,2)
DO I=1,NBUS
  POSICION=ESPACIO + ESPACIO*(I-1) + 3*(I-1)
  RAYA=ESPACIO + ESPACIO*(I-1) + 3*(I+1-1)
  CALL NUMBER(12,,POSICION-1.2,.50,FLOAT(I),90,,-1)
  CALL PLOT(12,,POSICION,3)
  CALL PLOT(12,,RAYA,2)
ENDDO
DO I=1,NBUS
  CONTADOR(I)=0
  SALIDA(I)=0
  ENTRADA(I)=0
  TOTAL(I)=0
ENDDO
DO I=1,NLIN
  IF (P(I) .EQ. BREF) THEN
    CONTADOR(Q(I))=CONTADOR(Q(I))+1
  ELSE
    SALIDA(P(I))=SALIDA(P(I))+1
    ENTRADA(Q(I))=ENTRADA(Q(I))+1
  ENDIF
ENDDO
DO I=1,NBUS
  FRACCION(I)=3./(CONTADOR(I) + 1)
  IF (FRACCION(I) .NE. 3.) THEN
    DO J=1,CONTADOR(I)
      POSICION=ESPACIO*I + 3.*(I-1) +(FRACCION(I)*J)
      CALL PLOT(12,,POSICION,3)
      CALL PLOT(15,,POSICION,2)
      K=1
      LOCALIZADO=.TRUE.
      DO WHILE(K .LE. NBUS .AND. LOCALIZADO)
        IF(I .EQ. Q(K)) THEN
          CALL NUMBER(13.5,POSICION-.68,.25*X(K),90,,2)
          LOCALIZADO=.FALSE.
        ELSE
          K=K+1
        ENDIF
      ENDDO
    ENDDO
  ENDIF
NOELSI
ENDIF

```

C

APENDICE A2

```

ENDDO
DO I=1,NRUS
  FRACCION(I)=3./(SALIDA(I) + ENTRADA(I) +1)
  TOTAL(I)=ENTRADA(I) + SALIDA(I)
  ALTERNO(I)=SALIDA(I)
  ALTITUD(I)=1,3 - 0,1 * I
ENDDO
DO I=1,NLIN
  IF (P(I) .NE. 0) THEN
    ORIGEN=P(I)
    DESTINO=Q(I)
    PASADA(ORIGEN)=SALIDA(ORIGEN)
    POSICION_A=ESPACIO*ORIGEN + 3.*(ORIGEN-1) +
      (TOTAL(ORIGEN)-SALIDA(ORIGEN)+1)*FRACCION(ORIGEN)
    SALIDA(ORIGEN)=SALIDA(ORIGEN) - 1
    POSICION_B=ESPACIO*DESTINO + 3.*(DESTINO-1) +
      (TOTAL(DESTINO)-ALTERNO(DESTINO)+1)*FRACCION(DESTINO)
    ALTERNO(DESTINO)=ALTERNO(DESTINO) + 1
    ALTURA=PASADA(ORIGEN) * ALTITUD(ORIGEN)
    PASADA(ORIGEN)=PASADA(ORIGEN) - 1
    CALL PLOT(12,POSICION_A,3)
    CALL PLOT(12,-ALTURA,POSICION_A,2)
    CALL PLOT(12,-ALTURA,POSICION_A,3)
    CALL PLOT(12,-ALTURA,POSICION_B,2)
    CALL PLOT(12,-ALTURA,POSICION_B,3)
    CALL PLOT(12,POSICION_B,2)
    POSICION=POSICION_A+((POSICION_B-POSICION_A)/2.)
    CALL NUHRER(12,-ALTURA-.33,POSICION,.29,X(I),90.,2)
  C      NOELSE
  ENDIF
ENDDO
CALL PLOTND
RETURN
END
C*****
C*
C*      RUTINA QUE CALCULA LAS CORRIENTES DE CORTO-CIRCUITO E
C*      IMPRIME LOS RESULTADOS
C*
C*****
SUBROUTINE CAL_IMP(Z,K,P,Q,X,N1,N2,Z1,TIPO,USUARIO)
  REAL    Z(15,15),
  .       Z1(15,15),
  .       X(15)
  INTEGER K(15),
  .       P(15),
  .       Q(15)
  INTEGER N1,
  .       N2
  CHARACTER USUARIO * 32,
  .         TIPO * 10,
  .         SECUENCIA * 8

```

APENDICE A2

```

        IMPRIME * 12,
        MEDIANA * 3
REAL CORRIENTE
MEDIANA=CHAR(27)///'6'
OPEN(UNIT=1,FILE='CORTOS.RES',STATUS='NEW',RECL=132)
PRINT 10
WRITE(1,10)
DO I=1,N1
    WRITE(6,50) P(I),Q(I),X(I)
    WRITE(1,50) P(I),Q(I),X(I)
ENDDO
WRITE(6,70)MEDIANA
READ *
IF(TIPO .EQ. 'TRIFASICO')THEN
    SECUENCIA='POSITIVA'
ELSE
    SECUENCIA=' CERO'
ENDIF
WRITE(6,20) TIPO,SECUENCIA
WRITE(1,20) TIPO,SECUENCIA
DO I=1,N2
    IF(TIPO .EQ. 'TRIFASICO')THEN
        CORRIENTE=1./Z(I,I)
    ELSE
        CORRIENTE=3./(Z(I,I) + 2*Z1(I,I))
    ENDF
    CORRIENTE=SIGNO(CORRIENTE)*CORRIENTE
    Z(I,I)=SIGNO(Z(I,I))*Z(I,I)
    WRITE(6,30) K(I),CORRIENTE,Z(I,I)
    WRITE(1,30) K(I),CORRIENTE,Z(I,I)
    DO J=1,N1
        IF(I .EQ. P(J)) THEN
            NODO=Q(J)
            IF(NODO .EQ. 0) THEN
                IF(TIPO .EQ. 'TRIFASICO')THEN
                    APORTA=1/X(J)
                ELSE
                    APORTA=CORRIENTE*Z(I,I)/X(J)
                ENDF
                APORTA=SIGNO(APORTA)*APORTA
                WRITE(6,40) APORTA,NODO
                WRITE(1,40) APORTA,NODO
            ELSE
                IF(TIPO .EQ. 'TRIFASICO')THEN
                    APORTA=(1-Z(I,NODO)*CORRIENTE)/X(J)
                ELSE
                    APORTA=(Z(I,I)-Z(I,NODO))/X(J)*CORRIENTE
                ENDF
                APORTA=SIGNO(APORTA)*APORTA
                WRITE(6,40) APORTA,NODO
                WRITE(1,40) APORTA,NODO
            ENDF
        ENDF
    ENDF

```

APENDICE A2

```

ELSE
  IF(I ,EQ, Q(J)) THEN
    NODO=P(J)
    IF(NODO ,EQ, 0) THEN
      IF(TIPO ,EQ, 'TRIFASICO')THEN
        APORTA=1/X(J)
      ELSE
        APORTA=CORRIENTE*Z(I,I)/X(J)
      ENDIF
      APORTA=SIGNO(APORTA)*APORTA
      WRITE(6,40) APORTA,NODO
      WRITE(1,40) APORTA,NODO
    ELSE
      IF(TIPO ,EQ, 'TRIFASICO')THEN
        APORTA=(1-Z(I,NODO)*CORRIENTE)/X(J)
      ELSE
        APORTA=(Z(I,I)-Z(I,NODO))/X(J)*CORRIENTE
      ENDIF
      APORTA=SIGNO(APORTA)*APORTA
      WRITE(6,40) APORTA,NODO
      WRITE(1,40) APORTA,NODO
    ENDIF
  NOELSE
ENDIF
C
ENDDO
WRITE(1,60)USUARIO
CLOSE(UNIT=1)
10  FORMAT(1H1,/,45X,'UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO',//
*    ,54X,'FACULTAD DE INGENIERIA',//,48X,'LABORATORIO DE '
*    'INGENIERIA ELECTRICA',//,55X,'DATOS DEL SISTEMA',
*    4(/),21X,'BARRA DE ENVIO',21X,'BARRA DE RECEPCION',21X,
*    'REACTANCIA (P.U.)')
20  FORMAT(1H1,/,45X,'UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO',//
*    ,54X,'FACULTAD DE INGENIERIA',//,48X,'LABORATORIO DE ',
*    'INGENIERIA ELECTRICA',//,53X,'CORTO CIRCUITO ',A10,
*    4(/),12X,'BARRA',12X,'CORRIENTE TOTAL DE',12X,'REACTAN'
*    'CIA DE',12X,'APORTACION DE',12X,'DE LA BARRA',//,32X,
*    'FALLA (P.U.)',12X,'SECUENCIA ',A8,9X,'CORRIENTE (P.U.)')
30  FORMAT(/,14X,I2,17X,FB.5,20X,F9.7)
40  FORMAT(86X,FB.4,3X,I2('>'),4X,I2)
50  FORMAT(/,26X,I2,34X,I2,34X,F7.4)
60  FORMAT(10(/),45X,'USUARIO: ',A32)
70  FORMAT(2(/),28X,A,'Teclee <RETURN> para continuar')
RETURN
END
C*****
C#
C#      FUNCION PARA OBTENER EL SIGNO DE UN DATO
C#
C*****

```

APENDICE A2

```

FUNCTION SIGNO(C2)
  REAL C2
  IF(C2)10,20,30
10  SIGNO=-1.
   GOTO 40
20  SIGNO=0.
   GOTO 40
30  SIGNO=1.
C  ENDIF ARITMETICO
40  CONTINUE
  RETURN
END

```

```

C*****
C*
C*      RUTINA QUE CALCULA LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ Zbarra
C*      CUANDO SE AGREGA UNA LIGA AL SISTEMA
C*
C*****

```

```

SURROUTINE AGREGA_LIGA(I1,Z,Q,P,X,L,L1,N,J1,I)

```

```

  LOGICAL SIGO
  INTEGER I1(15)
  REAL Z(15,15)
  REAL X
  INTEGER Q,
  .     P,
  .     L,
  .     L1,
  .     N,
  .     J1,
  .     I

  J=1
  SIGO=.TRUE.
  DO WHILE(J .LE. L1 .AND. SIGO)
    IF(I1(J) .EQ. Q) THEN
      DO K=1,L1
        Z(K,L)=Z(L,K)-Z(J,K)
        Z(L,K)=Z(K,L)
      ENDDO
      IF(P .EQ. N) THEN
        Z(L,L)=-Z(J,L) + X
      ELSE
        Z(L,L)=Z(J1,L)-Z(J,L)+X
      ENDIF
      DO J2=1,L1
        DO K=1,L1
          Z(J2,K)=Z(J2,K)-Z(J2,L)*Z(K,L)/Z(L,L)
        ENDDO
      ENDDO
      DO K=1,L
        Z(K,L)=0
        Z(L,K)=0
      ENDDO
    ENDIF
  ENDWHILE

```

APENDICE A2

```

        L=L-1
        SIGO=,FALSE,
    ELSE
        J=J+1
    ENDIF
ENDDO
IF(SIGO)THEN
    I1(L)=Q
C
NOELSE
ENDIF
RETURN
END
C*****
C*
C* RUTINA QUE REvisa SI EL ELEMENTO AGREGADO ES UNA LIGA O UNA RAMA *
C*
C*****
SUBROUTINE BUS(Z,I1,P,Q,X,CONTINUO,L,L1,N,I)
    REAL Z(15,15)
    INTEGER I1(15)
    LOGICAL CONTINUO
    REAL X

    INTEGER P,
    . Q,
    . L,
    . L1,
    . N,
    . I

    J1=1
    DO WHILE(CONTINUO .AND. J1 .LE. L1)
        IF(I1(J1) .EQ. P) THEN
            DO J=1,L
                Z(J,L)=Z(L,J) + Z(J,J1)
                Z(L,J)=Z(J,L)
            ENDDO
            Z(L,L)=Z(L,L) + X
            CALL ABREGA_LIGA(I1,Z,Q,P,X,L,L1,N,J1,I)
            L=L+1
            CONTINUO=,FALSE,
        ELSE
            J1=J1+1
        ENDIF
    ENDDO
    RETURN
END

```


APENDICE B1

MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA FLECHAS-TENSIONES

OBJETIVOS

1. Calcular la tensión de los conductores bajo las siguientes condiciones ambientales:

- a 16 sin viento
- a -10 sin viento
- a -10 con viento de 45 Km/m2

Utilizando la ecuación de cambio de estado y para todos los tipos de conductores empleados en las líneas de transmisión y distribución aéreas.

2. Calcular las flechas a las condiciones ambientales mencionadas en el inciso 1.

3. Localizar torres en un perfil del terreno.

METODO

El metodo a utilizar será el de la ecuación de cambio de estado.

DATOS

El programa fue diseñado para trabajar en forma interactiva, es, decir se despliega un mensaje cada vez que se requiera de una respuesta o de datos necesarios, posteriormente el alumno deberá proporcionar esta información.

El programa está alimentado por los dos siguientes conjuntos de datos:

APENDICE B1

a) Datos de características del conductor

Este conjunto de datos define las características de la línea y del conductor.

Los datos necesarios del conductor son:

A = Área transversal [mm²]
PK = Peso del conductor [Kg/Km]
PE = Peso específico [Kg/m³]
MEF = Modulo de elasticidad final [Kg/mm²]
COEF= Coeficiente de dilatación [1/]

Estos datos son proporcionados por fabricantes de conductores.

Al final del manual se proporciona la tabla A1, donde se muestran las características de algunos de los conductores ACSR, más comunes y cable de acero utilizado como de suarda.

Los datos de la tabla A1, se encuentran almacenados en el programa, por lo que solo bastará especificar el número que corresponde al conductor. El programa no se limita a trabajar con estos once tipos de conductores, ya que de la opción de aceptar datos de características de conductores diferentes a los de la tabla.

b) Perfil topográfico de la línea

El perfil topográfico de la línea se representa por dos coordenadas, la abscisa X que establece la distancia horizontal con relación al punto inicial de la línea, y la ordenada Y que representa la elevación del terreno, la cual puede estar referida al nivel del mar.

A continuación se da un ejemplo de como se solicitarán los datos y sus respectivos comentarios:

1. LAS CARACTERISTICAS DEL CABLE A TRATAR SE ENCUENTRAN EN LAS TABLAS DEL MANUAL?

Si los datos no se encuentran en la tabla, la respuesta será N y la computadora procederá a solicitar las características del conductor. Pero si la respuesta es S, la computadora continuará con el punto 2.

2. CONFORME AL MANUAL QUE NUMERO LE CORRESPONDE AL CABLE A TRATAR?

Ver tabla A1 en este manual

APENDICE B1

3. ESCRIBA EL NUMERO DE CASO QUE DESEA TRATAR?

Numero 1 Para tramos largos (Pasar al punto 6)

Numero 2 Para tramos cortos

4. ESCRIBA EL VOLTAJE NOMINAL DEL SISTEMA EN [kV].

Voltaje entre líneas

5. ESCRIBA EL CLARO ENTRE SOPORTES EN [m].

6. ESCRIBA EL NUMERO DE PUNTOS DE INFLEXION TOTAL

Se refiere al número total de puntos que definen el perfil del terreno.

7. ESCRIBA LOS PUNTOS DE INFLEXION EN COORDENADAS (X,Y) EN ORDEN INCREMENTANDOSE CON RESPECTO AL EJE DE LAS "X"

RESULTADOS

Una vez que se han introducido todos los datos solicitados por la computadora, ésta procederá a calcular y proporcionará los siguientes resultados.

LOCALIZACION DE LOS SOPORTES EN EL PERFIL DADO.
TENSIONES Y FLECHAS A LAS SIGUIENTES CONDICIONES:

50 SIN VIENTO

-10 SI VIENTO

-10 CON VIENTO

DISTANCIA DEL PUNTO MAS CERCANO DEL CONDUCTOR AL SUELO

TABLA DE CARACTERISTICAS DE CONDUCTORES ACSR Y CABLE DE GUARDA

CARACTERISTICA	UNIDAD	CALIBRE Y TIPO										
		16 RAVES	2a. QUEL	3a. PUEBLO	4a. PENARIN	5a. PATRIBO	330.0 MCM LIBREY	477 MCM HARRI	700 MCM FLICHER	700 MCM COMBOR	113 MCM ELJE JET	2100 ACERO GALF.
1. AREA	m ²	62.38	78.94	95.50	126.1	157.5	188.3	224.1	276.0	466.1	903	35.28
2. DIAMETRO SIN HIELO	mm	14.11	11.34	12.75	14.31	15.28	14.31	21.00	21.40	27.70	32	7.94
3. DIAMETRO CON HIELO (mm)	mm	22.8	23.34	24.75	26.31	26.28	34.31	33.00	33.40	36.70	44	16.04
4. PESO KILOMETRICO SIN HIELO	Kg/km	216.0	275.1	342.9	432.5	540.4	627.4	874.9	914.1	1522	1670	300
5. PESO KILOMETRICO CON HIELO (mm)	Kg/km	483.1	576.3	664.1	781.7	889.6	1195.0	1463.1	1387.3	2163	2323	544.2
6. PESO ESPECIFICO	Kg/m ³	0.00348	0.00348	0.00348	0.00348	0.00347	0.00347	0.00347	0.00338	0.00338	0.0031	0.00780
7. MODULO ELASTICIDAD INICIAL	Kg/cm ²	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	14700
8. MODULO ELASTICIDAD FINAL	Kg/cm ²	8000	8000	8000	8000	7700	7700	7700	7400	6000	6000	17000
9. COEFICIENTE DE DILATACION	10 ⁻⁶ /°C	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	11.8
10. TENSION DE RUPTURA	Kg	1040	2425	3080	3890	5100	6370	8820	7882	12000	14000	3620
11. 22.5 % TR	Kg	437	940	682	860	1148	1426	1986	1768	204	267	617
12. 40 % TR	Kg	376	970	181	1516	2048	2540	3422	3121	380	502	1022
12' 20 % TR	Kg.	380	466	600	764	1020	1276	1704	1500.5	2000	2500	720
13. COEF. N. 30 Kg/m ² SIN HIELO												
14. COEF. N. 30 Kg/m ² SIN HIELO												
15. COEF. N. 20 Kg/m ² CON HIELO												
16. CLAVE DE CONDUCTOR		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

TABLA A.1

APENDICE B2

LISTADO DEL PROGRAMA FLECHAS_TENSIONES

PROGRAM FLECHAS_TENSIONES

```

C *****
C *****
C * ESTE PROGRAMA CALCULA LAS FLECHAS Y LAS TENSIONES EN LINEAS *
C * AEREAS, ADEMÁS DE QUE LOCALIZA SOPORTES EN EL PERFIL DEL *
C * TERRENO. *
C * EL SIGNIFICADO DE LAS VARIABLES MÁS IMPORTANTES EN ESTE *
C * LISTADO SON: *
C * A= AREA TRANSVERSAL DEL CONDUCTOR *
C * PK= PESO DEL CONDUCTOR/Km. *
C * PE= PESO ESPECÍFICO DEL CONDUCTOR *
C * NEF= MÓDULO DE ELASTICIDAD FINAL *
C * COEF= COEFICIENTE DE DILATACION *
C * TENSURUP= TENSION DE RUPTURA DEL CONDUCTOR *
C * TENSTEND= TENSION DE TENDIDO *
C * TENSTOPE= TENSION MÁXIMA DE TENDIDO *
C * PENDIENTE= PENDIENTE DEL TERRENO *
C * PUNTOS= NÚMERO DE PUNTOS DE INFLEXION *
C * NA1= NÚMERO DE AISLADORES 1 *
C * NA2= NÚMERO DE AISLADORES 2 *
C *****
C *****
C INTEGER NCADLE,PUNTOS,CONDICION,FUNCIION,FUN1,TEMPERATURA(4),
* NA1,NA2,NA
REAL A,PK,PE,NEF,COEF,TENSURUP,TENSTEND,TENPINIC,TENSIONR,P,
* K1,K,FUN,FUMBER,RANGO,TENSCRIT,FLECALC,DIST1(4),KVNGH,
* DIST2(4),PENDIENTE,DISTX,DISTY,XPRIM,YPRIM,XU,YU,XD,YD,
* X(30),Y(30),XC(30),YC(30),D(30),YPOSTE(30),DESNIVEL(30),
* TENSIONA(30),TENSION(30),FLECHA(30),FLECHA1(30),THF,PA,PC,
* FLECHA2(30),ALTURA(30),TENSTOPE,DINOR,DIVER,M(4),TSNUEVA,
* AX,PROPORCIEN,CLARO,KVDISENO,NUM,DISTFUR,AY,PROP,UADS
CHARACTER BORRA * 4,

```

APENDICE B2

```

$          SUPERIOR $ 4,
$          IMPRIME $12,
$          SI          $ 1
OPEN(UNIT=1,FILE='FLECHA,DAT',STATUS='NEW',RECL=132)
BORRA=CHAR(27)///'C2J'
SUPERIOR=CHAR(27)///'C11N'
WRITE(6,58)
WRITE(1,58)
WRITE(6,57)
READ(5,59)ALUMNO
WRITE(1,60)ALUMNO
1  CONTINUE
   WRITE(6,61)BORRA,SUPERIOR
2  CONTINUE
C  *****
C  $ LECTURA DE DATOS DEL CONDUCTOR $
C  *****
PRINT $,'LAS CARACTERISTICAS DEL CABLE A TRATAR SE ENCUENTRAN'
$      ', EN LA TABLA DEL MANUAL( S/N )?'
READ(5,59)SI
IF(SI.EQ.'S'.OR.SI.EQ.'s')GO TO 3
TYPE $,'PROPORCIONE LOS DATOS CONFORME SE LE VAYAN SOLICITANDO'
$      ',RESPETANDO UNIDADES'
TYPE $,'
TYPE $,'AREA TRANSVERSAL [mm2]'
ACCEPT $,A
TYPE $,'PESO DEL CONDUCTOR [Kg/Km]'
ACCEPT $,PK
TYPE $,'PESO ESPECIFICO [Kg/mm3]'
ACCEPT $,PE
TYPE $,'MODULO DE ELASTICIDAD FINAL [Kg/mm2]'
ACCEPT $,MEF
TYPE $,'COEFICIENTE DE DILATACION [1/GRDS.C.]'
ACCEPT $,COEF
TYPE $,'TENSION DE RUPTURA [Kg]'
ACCEPT $,TENRRUP
GO TO 15
3  CONTINUE
PRINT $,'CONFORME A TABLA DE MANUAL QUE NUMERO LE'
$      ', CORRESPONDE AL CABLE A TRATAR.'
ACCEPT $,NCABLE
WRITE(6,61)BORRA,SUPERIOR
IF(NCABLE.LE.11.AND.NCABLE.GT.0)GO TO 4
WRITE(6,65)
GO TO 2
4  IF(NCABLE.NE.1) GO TO 5
   PRINT $,'EL CABLE ES CALIBRE 1/0 AWG'
   A=62.38
   PK=215.9
   PE=0.00346
   MEF=8000
   COEF=0.0000192

```

APENDICE B2

```

TENSUP=1940
GO TO 15
5  IF(NCABLE,NE,2)GO TO 6
    PRINT *,'EL CABLE ES CALIBRE 2/O ANG'
    A=78.64
    PK=272.1
    PE=0.00346
    NEF=8000
    COEF=0.0000192
    TENSUP=2425
    GO TO 15
6  IF(NCABLE ,NE, 3)GO TO 7
    PRINT *,'EL CABLE ES CALIBRE 3/O ANG'
    A=99.23
    PK=342.9
    PE=0.00346
    NEF=8000
    COEF=0.0000192
    TENSUP=3030
    GO TO 15
7  IF(NCABLE,NE,4)GO TO 8
    PRINT *,'EL CABLE ES CALIBRE 4/O ANG'
    A=123.1
    PK=432.5
    PE=0.00346
    NEF=8000
    COEF=0.0000192
    TENSUP=3820
    GO TO 15
8  IF(NCABLE,NE,5) GO TO 9
    PRINT *,'EL CABLE ES CALIBRE 336.4 MCM (PATRDBC)'
    A=157.2
    PK=545.4
    PE=0.00347
    NEF=7700
    COEF=0.0000192
    TENSUP=5100
    GO TO 15
9  IF(NCABLE,NE,6) GO TO 10
    PRINT *,'EL CABLE ES CALIBRE 336.4 MCM (LINNET)'
    A=198.3
    PK=687.4
    PE=0.00347
    NEF=7700
    COEF=0.0000192
    TENSUP=6375
    GO TO 15
10 IF(NCABLE,NE,7) GO TO 11
    PRINT *,'EL CABLE ES CALIBRE 477 MCM (HANK)'
    A=201.1
    PK=974.9
    PE=0.00347

```

APENDICE B2

```

MEF=7700
COEF=0.0000192
TENSRUP=8820
GO TO 15
11 IF(NCABLE,NE,8) GO TO 12
PRINT *, 'EL CABLE ES CALIBRE 477 MCM (FLICKER)'
A=273.0
PK=914.4
PE=0.00335
MEF=7400
COEF=0.00002
TENSRUP=7802
GO TO 15
12 IF(NCABLE,NE,9) GO TO 13
PRINT *, 'EL CABLE ES CALIBRE 795 MCM (CONDOR)'
A=435.1
PK=1522
PE=0.00335
MEF=4800
COEF=0.0000193
TENSRUP=12950
GO TO 15
13 IF(NCABLE,NE,10) GO TO 14
PRINT *, 'EL CABLE ES CALIBRE 1113 MCM (BLUE JAY)'
A=603
PK=1870
PE=0.0031
MEF=6587
COEF=0.0000208
TENSRUP=14030
GO TO 15
14 IF(NCABLE,NE,11) GO TO 15
PRINT *, 'CABLE DE ACERO GALVANIZADO PARA CABLE DE GUARDA DE'
* ' 3/16 DE PULGADA'
A=30.36
PK=305
PE=0.00775
MEF=17580
COEF=0.0000115
TENSRUP=3630
15 CONTINUE
WRITE(1,66)A,PK,PE,MEF,COEF,TENSRUP
WRITE(6,66)A,PK,PE,MEF,COEF,TENSRUP
PRINT *, '          TECLEE <RETURN> PARA CONTINUAR'
READ(5,8)
WRITE(6,67)
C *****
C * LECTURA DE DATOS DEL PERFIL TOPOGRAFICO Y *
C *   DEL SISTEMA ELECTRICO A TRATAR   *
C *****
ACCEPT *,CASO
IF(CASO.EQ.1.OR.CASO.EQ.2)GO TO 16

```


APENDICE B2

```

WRITE(6,68)
GO TO 15
16 IF(CASO.EQ.1)GO TO 20
TYPE *,'ESCRIBA EL VOLTAJE NOMINAL DEL SISTEMA EN [KV]'
```

ACCEPT *,KVNMH

```
TYPE *,'ESCRIBA EL CLARO ENTRE SOPORTES EN [M]'
```

ACCEPT *,CLARO

```
KVBISENO=1.0530*KVNMH
DISTFUG=(KVBISENO/1.732)*3
NA1=DISTFUG/17.8
NA1=NA1+1
THF=1.1*(2.28*KVNMH)+20
NA2=THF/30
NA2=NA2+1
IF(NA1.GE.NA2) GO TO 17
NA=NA2
GO TO 18
```

17 NA=NA1

18 WRITE(6,62) NA

```
WRITE(1,63) KVNMH,CLARO,NA
PA=NA*2.3
PC=CLARO*PK/1000
AY=PA+(PC/2)
LAIS=NA*0.137/2
PROP=0.2
```

19 CONTINUE

```
AX=PROP*TEMSRUP
FLECHA(1)=(PC*CLARO-2*PA*LAIS)/(4*AX)
PROPORCIEN=PROP*100
WRITE(6,64)PROPORCIEN,AX,FLECHA(1)
WRITE(1,64)PROPORCIEN,AX,FLECHA(1)
PROP=PROP+0.05
IF(PROP.LT.0.5)GO TO 19
GO TO 48
```

20 CONTINUE

```
PRINT *,'ESCRIBA EL NUMERO DE PUNTOS DE INFLEXION TOTAL'
```

ACCEPT *,PUNTOS

21 CONTINUE

```
PRINT *,'ESCRIBA LOS PUNTOS DE INFLEXION EN COORDENADAS (X,Y) EN '
```

*, 'ORDEN, INCREMENTANDOSE CON RESPECTO AL EJE DE LAS "X"'

```
DO 22 J=1,PUNTOS
READ(5,*)XC(J),YC(J)
IF(J.EQ.1)GO TO 22
IF(XC(J).GT.XC(J-1))GO TO 22
PRINT *,'TIENE AQUI UN ERROR, YA QUE NO DA LAS '
```

*, 'COORDENADAS EN ORDEN CON RESPECTO AL EJE'

*, 'DE LAS "X".PONGA MAS ATENCION.'

```
GO TO 21
```

22 CONTINUE

```
WRITE(6,72)
WRITE(1,72)
TENSTEND=0.2*TEMSRUP
```

APENDICE B2

```

J=1
TENSTOPE=0.5*TENSRUP
X(J)=XC(J)
Y(J)=YC(J)
X(J+1)=XC(J+1)
Y(J+1)=YC(J+1)
23 CONTINUE
TENSION(1)=TENSTEND
I=J
C *****
C * CALCULO DE LA DISTANCIA INTERPOSTAL, *
C * ALTURA Y DESNIVEL DE LOS SOPORTES, *
C *****
D(J)=X(I+1)-X(I)
YPOSTE(I)=15*Y(I)
YPOSTE(I+1)=15*Y(I+1)
DESNIVEL(J)=ABS(YPOSTE(I+1)-YPOSTE(I))
C *****
C * CON ESTOS DATOS SE INICIA EL CALCULO DE LA TENSION *
C * HIPOTESIS DE BASE, LA TENSION A 50 GRADOS CENTIGRA- *
C * DOS. *
C *****
TENPINIC=50
TEMPERATURA(1)=50
TENSIONR=TENSTEND/A
NDASE=1
P=TENSIONR/PE
K1=COEF*MEF
K=(PE**2)*MEF/24
C *****
C * DETERMINACION DE LAS TENSIONES A DIFERENTES CONDICIONES *
C *****
DO 29 I=2,4
CONDICION=I
IF(CONDICION.NE.2) GO TO 24
TEMPERATURA(2)=16
N(I)=1
GO TO 26
24 IF(CONDICION.NE.3)GO TO 25
TEMPERATURA(3)=-10
N(I)=1
GO TO 26
25 IF(CONDICION.NE.4)GO TO 26
TEMPERATURA(4)=-10
N(I)=1.57
26 CONTINUE
C *****
C * CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE LA ECUACION *
C * DE TERCER GRADO. *
C *****
FUN1=1
FUN2=(K*(NDASE**2)*(D(J)**2)/(TENSIONR**2))+K1*(TEMPERATURA(I)-

```

APENDICE B2

```

*      TEMPERATURA(1))-TENSIONR
FUN3=K*(N(I)**2)*(D(J)**2)
TS= TENSIONR
27  CONTINUE
FUN= FUN1*(TS**3)+FUN2*(TS**2)-FUN3
FUNDER=3*FUN1*(TS**2)+2*FUN2*TS
TSNUEVA=TS-FUN/FUNDER
RANBO=ABS(TSNUEVA-TS)
APROX=0.01
IF(RANBO .LE. APROX)GO TO 28
    TS=TSNUEVA
    GO TO 27
28  CONTINUE
TENSIONA(I)=TSNUEVA
TENSION(I)=TSNUEVA*#A
C      END DO
29  CONTINUE
TENSIONCRIT=TENSION(4)
C      *****
C      * SE INICIA CALCULO DE FLECHAS EN BASE A LAS *
C      * TENSIONES OBTENIDAS. *
C      *****
DO 33 I=1,4
IF(DESNIVEL(J),GT,0)GO TO 30
    FLECHA(I)=(PK*(D(J)**2)/(8000*TENSION(I))
    GO TO 32
30  CONTINUE
FLECALC=4*(PK*(D(J)**2)/(8000*TENSION(I))
IF(FLECALC,GE,DESNIVEL(J)) GO TO 31
    PRINT *,'EL PROGRAMA NO FUNCIONA PARA ESTE CASO'
    GO TO 31
31  CONTINUE
FLECALC=FLECALC/4
DIST1(I)=(D(J)/2)*(1-DESNIVEL(J)/(4*FLECALC))
DIST2(I)=(D(J)/2)*(1+DESNIVEL(J)/(4*FLECALC))
FLECHA1(I)=FLECALC*(1-DESNIVEL(J)/(4*FLECALC))**2
FLECHA2(I)=FLECALC*(1+DESNIVEL(J)/(4*FLECALC))**2
C      END DO
C      *****
C      * HASTA AQUI TENEMOS CALCULADOS TENSIONES Y FLECHAS PARA LAS *
C      * TRES DIFERENTES CONDICIONES A UNA DISTANCIA INTERPOSTAL *
C      * DADA *
C      *****
32  CONTINUE
33  CONTINUE
C      *****
C      * CALCULO DE LA DISTANCIA DE LA PARTE MAS BAJA DEL CONDUCTOR *
C      * A EL SUELO. *
C      *****
I=1
PENDIENTE=(Y(J+1)-Y(J))/(X(J+1)-X(J))
IF(PENDIENTE) 35,34,36

```

APENDICE B2

```

34     CONTINUE
      ALTURA(J)=15-FLECHA(I)
      GO TO 38
35     CONTINUE
      DISTX=DIST2(I)
      DISTY=FLECHA2(I)
      GO TO 37
36     CONTINUE
      DISTX=DIST1(I)
      DISTY=FLECHA1(I)
37     CONTINUE
      XPRIM=X(J)+DISTX
      YPRIM=Y(J)+15-DISTY
      DIHOR=XPRIM+TENSION(I)*PENDIENTE*1000/PK
      DIVER=YPRIM+(PK/1000)*(DIHOR-XPRIM)**2/(2*TENSION(I))
      XU=X(J+1)-X(J)
      YU=Y(J+1)-Y(J)
      XD=X(J)-DIHOR
      YB=Y(J)-DIVER
      UABS=SQRT(XU**2+YU**2)
      NUM=XD*YU-(YD*XU)
      ALTURA(J)=NUM/UABS
38     CONTINUE
C      *****
C      * SE COMPARA CON RESPECTO A MORNA LA ALTURA DEL PUNTO MAS *
C      * CERCAND AL SUELO DE LA CATENARIA, Y SE CHECA LA TENSION *
C      * DE TENDIDO A TEMPERATURA MINIMA Y VIENTO MAXIMO. *
C      *****
      IF(TENSIONCRIT.GE.TENSTOPE)GO TO 41
      IF(DESNIVEL(J).EQ.0) GO TO 39
      IF(YPRIM.LE.Y(J))GO TO 40
39     CONTINUE
      IF(ALTURA(J).GE.0)GO TO 42
40     CONTINUE
      TENSTEND=1.05*TENSTEND
      IF (TENSTEND.GE.TENSTOPE)GO TO 41
      GO TO 23
41     CONTINUE
      D(J)=0.97*D(J)
      X(J+1)=X(J)+D(J)
      Y(J+1)=PENDIENTE*(X(J+1)-X(J))+Y(J)
      TENSTEND=0.2*TENSRUP
      GO TO 23
42     CONTINUE
      IF(PENDIENTE.NE.0)GO TO 43
      WRITE(6,53)J,X(J),Y(J),X(J+1),Y(J+1),TEMPERATURA(1),
*      TENSION(1),FLECHA(1),TEMPERATURA(2),TENSION(2),
*      FLECHA(2),TEMPERATURA(3),TENSION(3),FLECHA(3),
*      TEMPERATURA(4),TENSION(4),FLECHA(4)
      WRITE(1,53)J,X(J),Y(J),X(J+1),Y(J+1),TEMPERATURA(1),
*      TENSION(1),FLECHA(1),TEMPERATURA(2),TENSION(2),
*      FLECHA(2),TEMPERATURA(3),TENSION(3),FLECHA(3),

```

APENDICE B2

```

*           TEMPERATURA(4), TENSION(4), FLECHA(4)
          GO TO 44
43        CONTINUE
          WRITE(6,52) J, X(J), Y(J), X(J+1), Y(J+1), TEMPERATURA(1), TENSION(1),
          $FLECHA1(1), FLECHA2(1), TEMPERATURA(2), TENSION(2), FLECHA1(2),
          $FLECHA2(2), TEMPERATURA(3), TENSION(3), FLECHA1(3), FLECHA2(3),
          $TEMPERATURA(4), TENSION(4), FLECHA1(4), FLECHA2(4)
          WRITE(1,52) J, X(J), Y(J), X(J+1), Y(J+1), TEMPERATURA(1), TENSION(1),
          $FLECHA1(1), FLECHA2(1), TEMPERATURA(2), TENSION(2), FLECHA1(2),
          $FLECHA2(2), TEMPERATURA(3), TENSION(3), FLECHA1(3), FLECHA2(3),
          $TEMPERATURA(4), TENSION(4), FLECHA1(4), FLECHA2(4)
44        CONTINUE
          WRITE(6,54) ALTURA(J)
          WRITE(1,54) ALTURA(J)
          IF(X(J+1).LT.XC(J+1)) GO TO 45
          IF(X(J+1).GT.XC(J+1)) GO TO 47
          CONTINUE
          J=J+1
          IF(J.GE.PUNTOS) GO TO 48
          X(J)=XC(J)
          X(J+1)=XC(J+1)
          Y(J)=YC(J)
          Y(J+1)=YC(J+1)
          GO TO 46
45        CONTINUE
          X(J)=X(J+1)
          X(J+1)=XC(J+1)
          Y(J)=Y(J+1)
          Y(J+1)=YC(J+1)
46        CONTINUE
          TENSTEND=0.2$TENSURP
          GO TO 23
47        CONTINUE
          TYPE 8, 'EXISTE UN ERROR'
48        CONTINUE
          WRITE(6,69)
          READ(5,56) SI
          IF(SI .NE. 'S' .AND. SI.NE.'s') GOTO 49
          IMPRINE='PRINT'
          GOTO 50
49        CONTINUE
          IMPRINE='DELETE'
C        ENDIF
50        CONTINUE
          CLOSE(UNIT=1, STATUS=IMPRINE)
51        CONTINUE
          WRITE(6,55)
          READ(5,56) SI
          IF(SI.EQ.'S' .OR. SI.EQ.'s') GO TO 1
          CALL EXIT
52        FORMAT(/,5X,'TRANSO: ',I2,////,1X,'SE TENDRAN SOPORTES EN LAS',
          $ ' COORDENADAS ',/,19X,'X =',F9.4,3X,'Y =',F9.4,/,19X,

```

APENDICE B2

```

* 'X =',F9.4,3X,'Y =',F9.4,///,1X,'EN EL CUAL SE '
* 'TENDRAN LOS RESULTADOS SIGUIENTES I',///,3(1X,' SIN VIENTO Y ',
* 'TEMPERATURA =',3X,I3,' GDOS. C',8X,' TENSION =',1X,F9.4,
* ' Ks',///,49X,' FLECHA1 = ',F6.4,' m.',
* '/',49X,' FLECHA2 =',F6.5,' m.',//),1X,' VIENTO = 45 Kk/m21',//,
* 1X,' Y TEMPERATURA',12X,' =',3X,I3,' GDOS. C',8X,
* ' TENSION =',F9.4,' Ks.',
* '/',49X,' FLECHA1 = ',F6.4,' m.',//,49X,' FLECHA2 = ',F9.4,' m.',//)
53 FORMAT(//,5X,' TRAMO: ',I2,///,1X,' SE TENDRAN SOPORTES CN LAS',
* ' COORDENADAS I',//,19X,' X =',F9.4,3X,' Y =',F9.4,/,19X,
* ' X =',F9.4,3X,' Y =',F9.4,///,1X,' PARA EL CUAL SE ',
* ' TENDRAN LOS RESULTADOS SIGUIENTES I',///,1X,' SIN VIENTO Y ',
* 'TEMPERATURA =',3X,I3,' GDOS. C',8X,' TENSION =',1X,F9.4,
* ' Ks',///,49X,' FLECHA =',1X,F6.4,' m.',//,1X,
* ' SIN VIENTO Y TEMPERATURA =',3X,I3,' GDOS. C',8X,
* ' TENSION =',1X,F9.4,' Ks',//,49X,' FLECHA =',1X,F6.4,' m.',//,
* 1X,' CON VIENTO = 45 Kk/m21',//,1X,' Y TEMPERATURA',12X,' =',3X,
* I3,' GDOS. C',8X,' TENSION =',1X,F9.4,' Ks.',
* '/',49X,' FLECHA =',1X,F6.4,' m.',//)
54 FORMAT(//,1X,' LA DISTANCIA DEL PUNTO MAS CERCA DEL CONDUCTOR',
* ' CON RESPECTO A LA SUPERFICIE ES DE I',F0.5,' m.',//)
55 FORMAT (//,1X,' DESEA RESOLVER OTRO PROBLEMA?, [ S/N J')
56 FORMAT(A1)
57 FORMAT(//,5X,' NOMBRE DEL ALUMNO:',0)
58 FORMAT(//,20X,' UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO',//,
* 20X,' FACULTAD DE INGENIERIA',//,27X,' SISTEMAS DE DISTRIBUCION',
* //,24X,' CALCULO DE FLECHAS Y TENSIONES',//)
59 FORMAT(A32)
60 FORMAT(//,2X,' ALUMNO : ',A32)
61 FORMAT(1X,A4,A6)
62 FORMAT(//,10X,15X,' LA CANTIDAD DE AISLADORES A UTILIZAR ES=',
* I4,//)
63 FORMAT(//,10X,' EL VOLTAJE NOMINAL DEL SISTEMA EN [KV,]=',F7.2,//,
* 10X,' SE CONSIDERA UN CLARO EN [M]=',12X,F6.2,///, 'LA CANTIDAD ',
* ' DE AISLADORES A UTILIZAR ES=',I4,//)
64 FORMAT(//, 5X,' CON UN ',F5.2,' % DE LA TENSION DE ',
* ' RUPTURA DEL CONDUCTOR =',F9.3,' KG.',
* //,20X,' FLECHA =',F7.5,' M.')
65 FORMAT(//,5X,' ESTE NUMERO NO ES CORRECTO.',//)
66 FORMAT(//, 5X,' AREA [m2]',16X,' =',2X,F8.2,//,5X,' PESO POR UNIDAD ',
* ' [Ks/Km]',2X,' =',2X,F9.2,/,5X,' PESO ESPECIFICO [Ks/m3]',2X,' =',
* 2X,F9.5,/,5X,' MODULO DE ELASTICIDAD',
* //,5X,' FINAL [Ks/m2]',12X,' =',1X,F9.1,/,5X,' COEFICIENTE DE',//,
* 5X,' DILATACION [1/ GDOS. C]',3X,' =',3X,F11.8,/,5X,
* ' TENSION DE RUPTURA [Ks]',3X,' =',2X,F9.1,////)
67 FORMAT(////,1X,' ESTE PROGRAMA CALCULA FLECHAS Y TENSIONES EN ',
* ' CONDUCTORES',/,1X,' PARA LOS SIGUIENTES CASOS :',
* //,10X,' 1. TRAMOS LARGOS (LINEAS DE TRANSMISION',
* ' O DISTRIBUCION)',//,10X,' 2. TRAMOS CORTOS DE LINEA',
* ' O CABLES QUE FORMAN BUSES EN SUBESTACIONES',////,1X,

```

APENDICE B2

```
*      'ESCRIBA EL NUMERO DEL CASO QUE DESEA TRATAR,';////)
68  FORMAT(////,5X,'EL NUMERO QUE DEBE ESCRIBIR ES (1) O (2)';
*      ' PONGA MAS ATENCION',////)
69  FORMAT(5(/,1X,'DESEA IMPRIMIR LOS RESULTADOS DE ESTE PROBLEMA',
*      ' (S/N)?')
72  FORMAT(////,27X,'*****',/,27X,'* RESULTADOS *',/,27X,
*      '*****',////)
END
```

APENDICE C1

MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA CABLE

OBJETIVOS

Los objetivos del programa son:

1. Determinar rapidamente el área minima necesaria de un conductor para suministrar la energía con la menor cantidad posible de pérdidas.
2. Determinar los parámetros del conductor para que cumpla con las especificaciones de servicio.

METODO

El método empleado para el cálculo del área mínima del conductor se basa en la caída de tensión y en la transferencia de calor. DATOS El programa fue diseñado para trabajar en forma interactiva, es decir se despliega un mensaje cada vez que se requiere una respuesta o algún dato y el usuario escribirá la información solicitada. Este programa fue pensado para ser utilizado en el diseño de una red de distribución subterránea. Los datos requeridos por el programa son los mismos datos que se requirieren para el cableado del sistema. Basandose en esto los datos que se piden son los mas simples. El programa desplegara las siguientes preguntas:

APENDICE C1

ESCRIBE EL NOMBRE DEL USUARIO Se acepta cualquier secuencia de caracteres hasta 32.

ESCRIBE LA POTENCIA DEL SERVICIO EN KW El programa acepta cualquier valor, pero para un mejor funcionamiento se recomienda que sea hasta de 1000 Kw.

ESCRIBE EL VOLTAJE DEL SERVICIO EN VOLTS El programa esta diseñado para trabajar en un rango hasta de 23000 V.

ESCRIBE EL NUMERO DE FASES DEL SERVICIO 1, 2 o 3 Solo se pueden utilizar estas opciones.

ESCRIBE EL NUMERO DE CONDUCTORES POR FASE Se solicita cual es el número de conductores del mismo calibre que se desea emplear por cada fase.

ESCRIBE EL FACTOR DE POTENCIA EN POR CIENTO Para un buen funcionamiento se sugiere que el factor de potencia sea un número entre 70 y 99.

ESCRIBE LA MAXIMA CAIDA DE TENSION EN POR CIENTO Este dato puede ser restringido a ser diferente de cero. Para un buen funcionamiento se sugiere que este valor se encuentre entre 2 y 10.

ESCRIBE LA MAXIMA TEMPERATURA DE OPERACION Se sugiere que se consulte en el capítulo 1 la tabla de temperaturas ambiente del terreno en México. En general debe oscilar entre 30 C y 45 C.

ESCRIBE LA LONGITUD DEL TRANSFORMADOR AL SERVICIO EN [m] Preguntado por la longitud del cableado. El programa esta diseñado para trabajar hasta distancias de 10000 m.

ESCRIBE EL MATERIAL DEL CONDUCTOR (ALUMINIO o COBRE) Solo se tienen estas dos opciones.

ESCRIBE EL MATERIAL DEL AISLAMIENTO (VULCANEL o PVC) Solo se tienen estas dos opciones, pero se sugiere consultar un manual de conductores para una mejor utilización del programa.

Por ultimo se pregunta si se desea mandar a imprimir los datos y los resultados y si se desea resolver otro problema.

APENDICE C2

LISTADO DEL PROGRAMA CABLE

PROGRAM CABLE

INTEGER	NFASES,	!NUMERO DE FASES
*	TEMP,	!TEMPERATURA MAXIMA EN CENTIGRADOS
*	FREC,	!FRECUENCIA EN HZ
*	NUFA,	!NUMERO DE CONDUCTORES POR FASE
*	ALPHA,	!CONTADOR POR EL NUMERO DE CONDUCTORES
*	CONT	!CONTADOR
REAL	POTKW,	!POTENCIA DEL SERVICIO EN KW
*	LONG,	!LONGITUD DEL T.P. AL SERVICIO EN M
*	VOLT,	!VOLTAJE DEL SERVICIO EN V
*	AMP,	!CORRIENTE DEL SERVICIO EN AMP
*	CTIPO,	!CONSTANTE DEL MATERIAL
*	RANT,	!RESISTENCIA ANTERIOR
*	REMA1,	!RESISTENCIA MAXIMA UNO
*	ROHN,	!RESISTENCIA OHMICA
*	REMA3,	!RESISTENCIA MAXIMA CON FACTOR DE TEMP
*	POTFA,	!FACTOR DE POTENCIA
*	CATEN,	!CAIDA DE TENSION MAXIMA
*	XS2,	!FACTOR EFECTO SUPERFICIAL POR CABLEADO
*	YP2,	!FACTOR EFECTO PROXIMIDAD POR CABLEADO
*	YP4,	!FACTOR PROXIMIDAD AL CUADRADO
*	XS4,	!FACTOR SUPERFICIAL AL CUADRADO
*	YS,	!FACTOR EFECTO SUPERFICIAL
*	YP,	!FACTOR EFECTO PROXIMIDAD
*	REMA2	!RESISTENCIA MAXIMA CON FACTOR DE RGA
REAL	RTA,	!RESISTIVIDAD TERMICA DEL AISLANTE
*	DA,	!DIAMETRO SOBRE AISLAMIENTO
*	DC,	!DIAMETRO SOBRE CONDUCTOR
*	RR,	!RESISTENCIA TERMICA DEL RECURRIMIENTO
*	RRT,	!RESISTIVIDAD DEL RECURRIMIENTO

APENDICE C2

```

*   DIR,      !DIAMETRO INTERIOR DEL RECUBRIMIENTO
*   DER,      !DIAMETRO EXTERIOR DEL RECUBRIMIENTO
*   RE,       !RESISTENCIA TERMICA DEL MEDIO EXTERNO
*   RT,       !RESISTIVIDAD TERMICA DEL TERRENO
*   PRO,      !PROFUNDIDAD DEL CABLE
*   DE,       !DIAMETRO EXTERIOR DEL CABLE
*   ARTEM,    !AREA CALCULADA PARA TEMPERATURA
*   DITEM,    !DIAMETRO CALCULADO PARA TEMPERATURA
*   CALMU,    !CALENTAMIENTOS MUTUOS POR CONDUCTOR
*   CLT,      !CALENTAMIENTOS MUTUOS POR FASE
*   REMA4,    !RESISTENCIA MAXIMA CON FACTOR DE CABLEADO
*   TCBL,     !TEMPERATURA DE OPERACION DE LOS CABLES
*   AREA,     !AREA MINIMA DEL CONDUCTOR
*   DIAMT,    !DIAMETRO MINIMO DEL CONDUCTOR

```

LOGICAL BANDERA

```

CHARACTER TIPO4,      !TIPO DE MATERIAL DEL CONDUCTOR
*   AISLA*9,          !TIPO DE MATERIAL DEL AISLAMIENTO
*   USUARIO*32,      !NOMBRE DEL USUARIO
*   IMPRIME*12,      !VARIABLE DE ARCHIVO
*   BORRA*4,
*   GRANDESUP*3,
*   MEDIANA*3,
*   SUPERIOR*6,
*   RESPUESTA*2,
*   GRANDEINF*3

```

```

MEDIANA=CHAR(27)///'46'
GRANDEINF=CHAR(27)///'4'
SUPERIOR=CHAR(27)///'1;1H'
GRANDESUP=CHAR(27)///'43'
BORRA=CHAR(27)///'E2J'
RESPUESTA='SI'

```

```
OPEN(UNIT=1,FILE='CABLES.RES',STATUS='NEW',RECL=132)
```

```
DO WHILE(RESUESTA .EQ. 'SI' .OR. RESPUESTA .EQ. 'SI')
```

```

WRITE(6,100)BORRA
WRITE(6,150)SUPERIOR
WRITE(6,200)GRANDESUP
WRITE(6,200)GRANDEINF
!PREGUNTAS POR LOS DATOS
PRINT 101,MEDIANA
READ (5,15)USUARIO
PRINT 105,MEDIANA
ACCEPT *,/PTKW
PRINT 106,MEDIANA
ACCEPT *,/VOLT
PRINT 107,MEDIANA
ACCEPT *,/NFASES
PRINT 108,MEDIANA
ACCEPT *,/NIFA

```

APENDICE C2

```

PRINT 109,MEDIANA;
ACCEPT *,POTFA
PRINT 110,MEDIANA
ACCEPT *,CATEN
PRINT 111,MEDIANA
ACCEPT *,TEMP
PRINT 112,MEDIANA
ACCEPT *,LONG
PRINT 113,MEDIANA
READ (5,10) TIPO
PRINT 114,MEDIANA
READ (5,20) AISLA
WRITE(1,11) USUARIO,POTKW,VOLT,NFASES,HUFA,POTFA,CATEN,LONG,
*      TEMP,TIPO,AISLA
FREC = 60
IF ( TIPO .EQ. 'COBRE' ) THEN
                                BANDERA=.TRUE.
                                ELSE
                                CONTINUE
ENDIF
IFACTOR DE POTENCIA EN DECIMAL
POTFA = POTFA / 100
CATEN = CATEN / 100
!CALCULA LA CORRIENTE Y EL VOLTAJE
IF (NFASES .LT. 3 ) THEN
    IF ( NFASES .EQ. 1 ) THEN
        AMP = POTKW * 1000 / (VOLT * POTFA)
        ELSE
        AMP = POTKW * 1000 / (VOLT * POTFA * SURT(2.))
    ENDIF
    ELSE
    AMP = POTKW * 1000 / (VOLT * POTFA * SURT(3.))
ENDIF
!MUESTRA LA CORRIENTE Y EL VOLTAJE
PRINT 250, AMP,VOLT
!DEPENDIENDO DEL MATERIAL TOMA LA RESISTIVIDAD
IF ( BANDERA .EQ. .TRUE. ) THEN
                                CTIPO = 17.24E-3
                                ELSE
                                CTIPO = 28.26E-3
ENDIF
!CALCULA LA RESISTENCIA OHMICA
ROHM = VOLT / AMP
!CALCULA LA RESISTENCIA MAXIMA POR CAIDA DE TENSJON
EPS = 1
DO WHILE ( EPS .GE. 0.0001 )
    RANT = REMA1
    REMA1 = REMA1 -
*      ( ( (REMA1**2) +
*      (2 * REMA1 * ROHM * POTFA * (1-CATEN) ) -
*      ( ROHM**2 ) * (2*CATEN - CATEN**2) ) ) /
*      (2*REMA1 + 2*ROHM * POTFA * (1-CATEN) ) )

```

APENDICE G2

```

EPS = ABS ( RANT - REMA1 )
CONT = CONT + 1
IF ( CONT .GE. 50 ) THEN
    EPS=0.0000
ELSE
    CONTINUE
ENDIF

```

ENDDO

!MUESTRA EL NUMERO DE ITERACIONES Y LA RESISTENCIA OBTENIDA

PRINT 350, CONT

PRINT 400, REMA1

!CALCULA EL FACTOR DE EFECTO SUPERFICIAL

XS2 = 8E-4 * 3.14159 * FREQ / REMA1

XS4 = XS2**2

YS = XS4 / (192 + 0.8 * XS4)

!CALCULA EL FACTOR DE EFECTO DE PROXIMIDAD

XP2 = 8 * 3.14159 * FREQ * 7E-5 / REMA1

XP4 = XP2**2

YP = (XP4 / (192 + 0.8 * XP4)) *

(0.314 + (1.18 / (XP4 / (192 + 0.8 * XP4)) + 0.27))

!CALCULA LA RESISTENCIA TOMANDO LOS FACTORES

! SUPERFICIAL Y DE PROXIMIDAD

REMA2 = REMA1 * (1 + YS + YP)

!AFECTA LA RESISTENCIA POR EL FACTOR DE CABLEADO

REMA3 = REMA2 * 1.02

!MUESTRA LA RESISTENCIA CON EFECTO

! SUPERFICIAL Y DE PROXIMIDAD

PRINT 500, REMA2

!CALCULO DEL AISLAMIENTO

IF (AISLA .EQ. 'PVC') THEN

RTA=8

RRT=7

ELSE

RTA=5

RRT=5.5

ENDIF

!CALCULA UN DIAMETRO CRITICO PARA TEMPERATURA

AREA1 = (CTIPO * LONG) / (ROHM * CATEN)

ARTEM = AREA1 * (REMA3 / (ROHM * CATEN))

DITEM = SQRT ((4 * ARTEM) / 3.14159)

TCBL = 90

DITEM = DITEM / 1.1229

DC = DITEM

DO WHILE (TCBL .GE. 75)

REMA3 = (CTIPO * LONG) / ARTEM

!PREGUNTA QUE MATERIAL FUE SELECCIONADO PARA CALCULAR

!RESISTENCIA POR TEMPERATURA

IF (BANDERA .EQ. ,TRUE,) THEN

!PARA COBRE

REMA4 = REMA3 * (1 + ((TCBL-20) / (234.5 + TCBL)))

LA

APENDICE C2

```

ELSE
  !PARA ALUMINIO
  REMA4 = REMA3 * ( 1 + ( TCBL-20 ) /
    ( 2CB + TCBL ) )
*
ENDIF
DC = DC*1.1229
ARTEN = ( (DC / 2)**2 ) * 3.14159
DA = DC + 2.77
!CALCULO DEL RECUBRIMIENTO
DIR = DA
DER = 0.77 + DIR
DE = DER
!CALCULA LA RESISTENCIA TERMICA INTERIOR DEL CABLE
RI = 0.00367 * RTA * LOG10 ( DA / DC )
!CALCULA LA RESISTENCIA TERMICA DE LOS RECUBRIMIENTOS
RR = 0.00367 * RRT * LOG10 ( DER / DIR )
!CALCULA LA RESISTENCIA TERMICA DEL EXTERIOR
!PROFUNDIDAD DE LOS CONDUCTORES
PRO = 80
!CALCULO DE CALENTAMIENTOS MUTUOS
!ENTRE CONDUCTORES POR FASE
CALMU = 0
CLT = 0
ALPHA = NUFA
DO WHILE ( ALPHA .GT. 1 )
*
  CALMU = 2 * LOG10 ( SORT ( 1 +
    ( ( 2*PRO ) / ( ( ALPHA-1 ) * DE / 2 ) )**2 ) )
  CLT = CLT + CALMU
  ALPHA = ALPHA - 1
*
ENDDO
!RESISTIVIDAD TERMICA MEDIA DEL TERRENO
! EN LA CD. DE MEXICO
RT = 1.2
RE = 0.00367 * RT * ( LOG10 ( ( 4*PRO ) / DE ) + CLT )
WRT = ( 0.006E-6 ) * DC
TCBL = TEMP + ( ( ( AMP / NUFA )**2 ) *
*
  ( REMA4 * ( RI + RR + RE ) + WRT * ( RR + RE ) ) )
*
ENDDO
!MUESTRA LA TEMPERATURA FINAL DE OPERACION DEL CABLE
PRINT 425, TCBL
!MUESTRA LA RESISTENCIA CON EFECTO DE TEMPERATURA
PRINT 450, REMA4
!MUESTRA LA RESISTENCIA CON EL FACTOR DE CABLEADO
PRINT 550, REMA3
!CALCULA EL DIAMETRO DEL CONDUCTOR
AREA = ( (DC / 2)**2 ) * 3.14159
AREA = AREA / NUFA
DIAMT = SORT ( ( 4*AREA ) / 3.14159 )
!MUESTRA EL DIAMETRO DEL CONDUCTOR
PRINT 650, DIAMT
!IMPRIME LOS RESULTADOS EN PAPEL
WRITE ( 1,21 ) AMP,ARFA,DIAMT,TCBL

```

APENDICE C2

```

PRINT 2100, MEDIANA
READ (5,210) RESPUESTA
IF ( RESPUESTA .EQ. 'S' ) THEN
    IMPRIME ='PRINT/DELETE'
ELSE
    IMPRIME ='DELETE'
ENDIF
CLOSE ( UNIT =1, STATUS =IMPRIME )
PRINT *, ' DESEA RESOLVER OTRO PROBLEMA (SI o NO)?'
READ (5,1000)RESPUESTA
ENDDO

CALL EXIT
10 FORMAT (A8)
15 FORMAT (A32)
11 FORMAT ( 7(/),47X,'UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO',
*
* 2(/),55X,'FACULTAD DE INGENIERIA',2(/),50X,'LAB',
*
* 'ORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA',2(/),40X,
*
* 'NOMBRE DEL USUARIO ',4X,A32,2(/),57X,'DATOS DEL ',
*
* 'PROGRAMA',4(/),37X,'LA POTENCIA DEL SERVICIO',
*
* ' ES ',11X,F8,2,1X,' KW.',/,37X,'EL VOLTAJE ',
*
* 'DEL SERVICIO ES ',13X,F8,2,1X,' V.',/,37X,
*
* 'EL NUMERO DE FASES DEL SERVICIO ES ',19X,I1,
*
* /,37X,'EL NUMERO DE CONDUCTORES POR FASE ES ',14X,
*
* I1,/,37X,'EL FACTOR DE POTENCIA ES ',21X,F5,2,
*
* /,37X,'LA MAXIMA CAIDA DE TENSION ES ',19X,F5,2,/,
*
* 37X,'LA DISTANCIA AL SERVICIO ES ',20X,F6,1,/,37X,
*
* 'LA TEMPERATURA AMBIENTE ES ',20X,I6,/,37X,
*
* 'EL MATERIAL DEL CONDUCTOR ES ',12X,A8,/,37X,
*
* 'EL MATERIAL DEL AISLAMIENTO ES ',13X,A9,3(/) )
20 FORMAT (A9)
21 FORMAT (3(/),58X,14('*')),/,58X,'*',12X,'*',/,58X,'*',1X,'RESUL',
*
* 'TADOS',1X,'*',/,58X,'*',12X,'*',/,58X,14('*'),3(/),37X,
*
* 'LA CORRIENTE DEL SERVICIO ES ',14X,F7,2,1X,' A.',/,37X,
*
* 'EL AREA MINIMA DEL CONDUCTOR ES ',9X,F7,2,1X,' mm2.',
*
* /,37X,'EL DIAMETRO MINIMO POR CONDUCTOR ES ',8X,F5,1,
*
* 1X,' mm.',/,37X,'LA TEMPERATURA DE OPERACION ES ',14X,F5,1,
*
* 1X,' C.' )
100 FORMAT(X,A4)
101 FORMAT(X,A,'ESCRIBE EL NOMBRE DEL USUARIO')
105 FORMAT(X,A,'ESCRIBE LA POTENCIA EN K.W.')
106 FORMAT(X,A,'ESCRIBE EL VOLTAJE DEL SERVICIO EN VOLTS')
107 FORMAT(X,A,'ESCRIBE EL NUMERO DE FASES DEL SERVICIO (1,2 O 3)')
108 FORMAT(X,A,'ESCRIBE EL NUMERO DE CONDUCTORES POR FASE')
109 FORMAT(X,A,'ESCRIBE EL FACTOR DE POTENCIA EN PORCIENTO')
110 FORMAT(X,A,'ESCRIBE LA MAXIMA CAIDA DE TENSION EN PORCIENTO')
111 FORMAT(X,A,'ESCRIBE LA MAXIMA TEMPERATURA DE OPERACION')
112 FORMAT(X,A,'ESCRIBE LA DISTANCIA AL SERVICIO EN METROS')
113 FORMAT(X,A,'ESCRIBE EL MATERIAL DEL CONDUCTOR ALUMINIO O COBRE')
114 FORMAT(X,A,'ESCRIBE EL MATERIAL DEL AISLAMIENTO VULCANEL O PVC')
150 FORMAT(X,A6)
200 FORMAT(22X,A3,'FACULTAD DE INGENIERIA')
250 FORMAT(10X,'LA CORRIENTE ES',30X,F10,2,/,10X,'EL VOLTAJE ES',32X

```

APENDICE C2

```

*           ,F10.2)
350 FORMAT(//,10X,'NUMERO DE ITERACIONES',24X,I2)
400 FORMAT(10X,'RESISTENCIA MAXIMA POR CAIDA DE TENSION',3X,F12.4)
425 FORMAT(10X,'LA TEMPERATURA DEL CABLE ES I',9X,F4.1)
450 FORMAT(10X,'RESISTENCIA MAXIMA POR TEMPERATURA',2X,F12.4)
500 FORMAT(10X,'RESISTENCIA MAXIMA POR EFECTO SUPERFICIAL',
*         ' Y DE PROXIMIDAD',2X,F12.4)
550 FORMAT(10X,'RESISTENCIA MAXIMA POR EFECTO DE',
*         ' CABLEADO',3X,F12.4)
600 FORMAT(10X,'AREA MINIMA DEL CONDUCTOR EN KILOMETROS CUADRADOS',
*         ,3X,F12.4)
650 FORMAT(10X,'DIAMETRO MINIMO DEL CONDUCTOR EN KILOMETROS',
*         ,3X,F12.4)
1000 FORMAT(A2)
210  FORMAT (A1)
2100 FORMAT (10X,A,'DESEA IMPRIMIR LOS DATOS Y RESULTADOS (S/N) ?')
END

```


APENDICE C3

METODO DE NEWTON - RAPHSON

El método de Newton - Raphson para la solución de ecuaciones no lineales y trascendentes es de los métodos llamados de iteración funcional.

El método de Newton - Raphson es de los métodos que están basados en la expansión de Taylor de la función $f(x)$ cercana al punto x_j , donde x_j es la estimación inicial de una raíz ϵ de la ecuación $f(x) = 0$.

En el método de Newton - Raphson la función $f(x)$ es aproximada por una línea tangente a $f(x)$ en x_j , obteniendo por aproximación de $f(x)$ a un polinomio lineal de Taylor. La intersección de esta línea tangente con el eje de las x es usada como una aproximación de x a la raíz ϵ .

El método de Newton - Raphson para encontrar los ceros de $f(x)$ es el más ampliamente conocido y no está limitado a funciones polinomiales. También es aplicable para funciones complejas.

Supongáse que estamos dando una estimación x_j de una raíz real de una ecuación real.

$$f(x)$$

La ecuación de la línea tangente a $f(x)$ en $x = x_j$ puede ser expresado como un polinomio lineal de Taylor.

$$y(x) = f(x_j) + f'(x_j)(x - x_j)$$

APENDICE C3

Dejando que $(x_i, 0)$ denote la intersección de esta línea tangente con el eje de las abscisas (x) .

Este punto es localizado haciendo $y(x)$ igual a cero en

$$y(x) = f(x_i) + f'(x_i)(x - x_i)$$

cuando

$$x = x_{i+1}$$

y la ecuación anterior se convierte en

$$0 = f(x_i) + f'(x_i)(x_{i+1} - x_i)$$

solucionando esta ecuación para x_{i+1} obtenemos

$$x_{i+1} = x_i - f(x_i)/f'(x_i)$$

la cual es la forma clásica del método iterativo de Newton - Raphson.

En efecto nosotros obtenemos una fina aproximación x de una raíz ϵ de $f(x) = 0$ mediante la aproximación gráfica de $f(x)$ por la línea tangente a $f(x)$ en $x = x_i$.

La prueba de convergencia del método de Newton y la fórmula para determinar la razón de convergencia son fáciles mediante la introducción de una función auxiliar

$$F(x) = x - f(x)/f'(x)$$

con

$$F'(x) = f(x) f''(x) / [f'(x)]^2$$

la que llamamos la función iterativa para el método de Newton.

$$F(x_i) = x_i - f(x_i)/f'(x_i) = x_{i+1}$$

Esta función iterativa tiene dos importantes propiedades:

Si ϵ es una raíz de $f(x) = 0$ y si $f'(\epsilon) \neq 0$, entonces estas propiedades son:

$$F(\epsilon) = \epsilon$$

$$F'(\epsilon) = 0$$

APENDICE C3

$F(\xi) = \xi$ esta propiedad es probada por simple evaluación de

$$F(x) = x - f(x)/f'(x)$$

en el punto $x = \xi$ mientras que la propiedad $F'(\xi) = 0$ es probada por la evaluación de la derivada de la función anterior

$$F'(x) = f(x) f''(x) / [f'(x)]^2$$

en el punto $x = \xi$.

1.1 PRUEBA DE CONVERGENCIA DEL METODO DE NEWTON - RAPHSON

Para probar más ampliamente las condiciones de la fórmula iterativa de Newton - Raphson

$$x_{i+1} = x_i - f(x_i)/f'(x_i)$$

generando (de una estimación inicial de x_0) una secuencia convergente de x_1, x_2, \dots de aproximaciones sucesivas de la raíz ξ de la ecuación $f(x) = 0$ nosotros examinaremos la función iterativa

$$F(x) = x - f(x)/f'(x)$$

y su derivada

$$F'(x) = f(x) f''(x) / [f'(x)]^2$$

para cada $F(x_i) = x_{i+1}$, $F(\xi) = \xi$ y $F'(\xi) = 0$.

La utilidad de esta función auxiliar (iteración) $F(x)$ es mostrada en la prueba del siguiente teorema:

TEOREMA. Dejemos que K tome la mayor magnitud de $F'(x)$ en el intervalo que contiene x_0, x_1, x_2, \dots y ξ . Si $K < 1$, entonces la secuencia $\{x_n = F(x_{n-1})\}$ converge a ξ , donde ξ es una raíz de la ecuación $f(x) = 0$, y $F(x) = x - f(x)/f'(x)$.

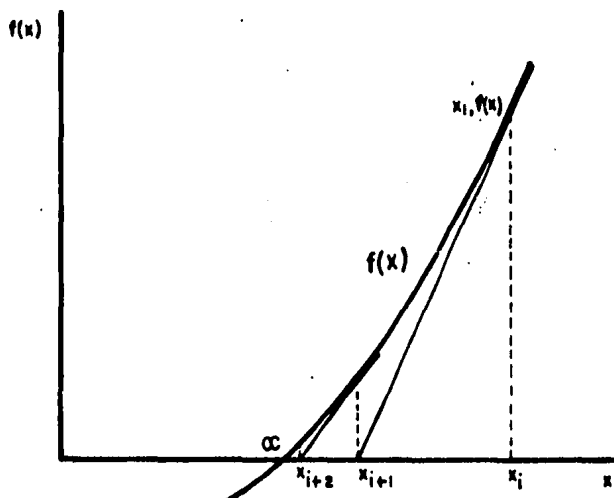
APENDICE C3

1.2 DESCRIPCION GRAFICA DEL METODO DE NEWTON

Para el caso real del método de Newton, la expresión

$$x_{i+1} = x_i - f(x_i)/f'(x_i)$$

tiene la interpretación mostrada en la figura.



Nosotros dibujamos una tangente a la curva $y = f(x)$ en el punto $(x_i, f(x_i))$. Esta tangente cruza el eje de las x en el punto $(x_{i+1}, 0)$. Si, entonces, la curva cruza el eje de las x en el punto $(C, 0)$ suficientemente cerca $(x_i, f(x_i))$, y es concava hacia arriba o hacia abajo en una región donde se incluyan estos dos puntos, es muy fácil ver que el número x_{i+1} es cercano a C que lo que era x_i , y así sucesivamente en cada iteración el valor se aproxima más a la raíz.