

1684

UNICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

**METODO DE CALCULO DIGITAL
PARA ANALISIS DE FALLAS
EN SISTEMAS DE POTENCIA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A
ABEL RODRIGUEZ TREJO

MEXICO, D. F.

1970





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



**METODO DE CALCULO DIGITAL
PARA ANALISIS DE FALLAS
EN SISTEMAS DE POTENCIA**

TESIS PROFESIONAL
ABEL RODRIGUEZ TREJO

MEXICO, D. F.

1970



Universidad Nacional
Autónoma de
México

FACULTAD DE INGENIERIA
Depto. de Exams.Profs.
Núm.40-57
Exp.Núm.40/214.2/1.-

Al Pasante señor Abel RODRIGUEZ TREJO
P r e s e n t e

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el señor profesor Ingeniero Rafael Cristerna O., para que lo desarrolle como tesis en su examen profesional de Ingeniero MECANICO ELECTRICISTA.

METODO DE CALCULO DIGITAL PARA ANALISIS DE FALLAS
EN SISTEMAS DE POTENCIA

tendrá en los siguientes capítulos: "El desarrollo se

- I. Introducción
- II. Método del Análisis de Mallas en Redes para condiciones de fallas.
- III. Programa de Aplicación de Métodos Topológicos
- IV. Programa de Aplicación para el Cálculo de Corto-Circuitos.
- V. Conclusiones."

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar examen profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Muy atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F. 12 de Enero de 1970
EL DIRECTOR

Ing. Manuel Paulín Ortiz

MPO' LMO'eag

CON RESPETO Y GRATITUD A MI PADRE,
A QUIEN DEBO TODO Y CUYO EJEMPLO
SERA PERDURABLE POR SIEMPRE EN MI

A MI MADRE CON AMOR, POR SU CONFIANZA
Y ABNEGADA ESPERA

A MI HERMANA:
POR QUIEN ME SIENTO ORGULLOSO

**A MIS COMPAÑEROS DE ESCUELA
MAS ALLEGADOS**

A MIS FAMILIARES MAS QUERIDOS

**CON SINCERA ESTIMACION
A MIS AMIGOS DE SIEMPRE**

A MIS MAESTROS:

CON ADMIRACION Y RESPETO

MI ESPECIAL RECONOCIMIENTO A LOS SEÑORES:

**ING. RAFAEL CRISTERNA OCAMPO POR SU
ASESORAMIENTO**

**DR. RODOLFO LUTHE GARCIA POR SU
INESTIMABLE AYUDA PARA ESTE TRABAJO**

**LIC. EDUARDO GABRIEL TERAN POR
ASESORARME EN EL CENTRO DE CALCULO
ELECTRONICO.**

CAPITULO I

INTRODUCCION

Es fácilmente comprobable que en los circuitos eléctricos de potencia existirá una proporción de dos de las terceras partes de las fallas ocurridas sean cortos circuitos. Como una regla general, las corrientes nominales pueden alterar en gran escala la operación normal de un sistema eléctrico, y los principales factores que explican el origen de la ocurrencia de los cortos circuitos son debidos a la amplia ramificación existente en los circuitos, la gran longitud de los mismos, la operación de los circuitos bajo condiciones meteorológicas variables, estando también sujetos a la acción de perturbaciones atmosféricas de naturaleza eléctrica.

El American Institute of Electrical Engineers define a una falla en un conductor eléctrico como sigue: Una falla en un conductor, es una falla parcial o total en el aislamiento o continuidad de un conductor. Las fallas debidas a cortos circuitos ocurren como un resultado de la destrucción en el aislamiento de los conductores de corriente relativos a tierra, o en el aislamiento entre fases.

En los desequilibrios debidos a cortos circuitos se tendrá la siguiente clasificación de estos tipos de falla:

- 1) Falla trifásica
- 2) Falla de fase a fase
 - a) En un punto de un circuito con falla a tierra
 - b) En un punto de un circuito con falla simultánea a tierra
- 3) Doble falla a tierra de dos fases en diferentes puntos en un circuito, o en circuitos asociados
- 4) Falla monofásica a tierra

La probabilidad relativa de la ocurrencia de las varias clases de cortos circuitos en líneas de transmisión aéreas pueden ser observadas en la Fig. I-1.

La probabilidad relativa de la ocurrencia de todas las clases de cortos circuitos, dependen del voltaje del circuito de potencia y -

de la configuración del mismo circuito en el sistema, del método de conexión referente al neutro, de la presencia de dispositivos de regulación y de la velocidad de desconexión de la sección que sufre la falla.

La experiencia ha mostrado que existe un alto porcentaje de un 70% para la ocurrencia de las fallas monofásicas a tierra. Estas fallas tienen una magnitud dependiente de la forma en la cual esté operando el neutro.

Las fallas monofásicas a tierra son fallas permanentes y ocurren generalmente para circuitos de 115 KV, 220 KV y voltajes mayores; para estos circuitos los neutros están conectados a tierra por tener corrientes de falla de una gran magnitud. Asimismo los circuitos dispondrán de sistemas de protección diseñadas para operar al ocurrir una falla monofásica a tierra para predisponer la apertura de los interruptores.

Los circuitos de voltajes menores de 10 KV o 35 KV, se reemplaza la conexión a tierra mediante un equipo compensante, puesto que se tendrán corrientes de falla a tierra de menor magnitud respecto a la corriente normal del circuito.

Para la seguridad de operación que proporciona el sistema de protección dispuesto se toma muy poco la consideración de responder a fallas de baja probabilidad. Aunque la probabilidad de ocurrencia de fallas simultáneas, en dos o más circuitos es muy baja, pero existe una excepción de este caso, al tratarse de una falla de doble fase a tierra en circuitos con neutro sin conexión a tierra, en donde la ocurrencia de estas fallas es muy probable.

Es también necesario hacer notar que, cuando un sistema está en operación, existen riesgos para la ocurrencia de combinaciones de las fallas mencionadas, o para el desarrollo de un tipo de falla debido a otro. Un ejemplo de este caso sería el de una falla monofásica en el circuito de un cable en el cual se desarrolle frecuentemente un corto circuito de fase a fase como resultado de una destrucción rápida sucedida en el aislamiento entre fases.

FIG I-1 PROBABILIDAD RELATIVA EN LA OCURRENCIA DE LOS TIPOS MAS FRECUENTES DE CORTO CIRCUITO

TIPO DE CORTO CIRCUITO	ARREGLO DEL CIRCUITO	PORCENTAJE DE PROBABILIDAD EN LA OCURRENCIA DEL CORTO CIRCUITO REPRESENTADO
FALLA TRIFASICA		3 A 5
FALLA DE FASE A FASE a) EN UN PUNTO SIN FALLA A TIERRA b) EN UN PUNTO CON FALLA SIMULTANEA A TIERRA		20 A 25
FALLA DE DOBLE FASE A TIERRA EN UN CIRCUITO CON EL NEUTRO AISLADO		10 A 15
FALLA MONOFASICA a) EN UN CIRCUITO CON NEUTRO AISLADO b) EN UN CIRCUITO CON NEUTRO A TIERRA		65 A 70

A) CONSIDERACIONES PREVISTAS EN LA
EJECUCION DE LOS CALCULOS DE FA
LLA.

Es de una gran importancia para la planeación y la operación de las redes de un sistema, ejecutar los cálculos de diferentes métodos utilizados comúnmente en la determinación de las corrientes y los voltajes existentes en el sistema durante la ocurrencia de algún tipo de falla para localizaciones determinadas.

La importancia de los cálculos de corto circuito es evidente, y son necesarios para determinar la acción o el ajuste de los relevadores y de los requerimientos momentáneos de interrupción en los interruptores de un sistema de protección.

A continuación se enunciarán las consideraciones más generalizadas previstas en el desarrollo de los cálculos referidos, así como en los métodos experimentales.

1. Las corrientes de corto circuito son calculadas en el instante de ocurrir una falla determinada, sin embargo es también necesario obtener a las corrientes inmediatamente después de la falla para el ajuste efectuado en los relevadores.

2. En el caso de considerarse a una falla franca, es decir, se tomará como nula a la resistencia de transición, obteniéndose mayores valores de las corrientes de corto circuito respecto de sus valores reales; será importante entonces una corrección de los valores calculados de acuerdo con un factor.

3. La componente activa de la resistencia en las impedancias de un circuito en condiciones de falla será relativamente importante en su consideración dependiendo del valor de la relación X/R , esta componente de resistencia será despreciable para valores de $R < 0.3 X$.

4. Las corrientes de cortos circuitos trifásicos se calculan por métodos convencionales, y en vista de que las condiciones de falla son simétricas, los cálculos podrán ser desarrollados para una fase solamente. Todos los restantes tipos de fallas son asimétricos y los cálculos respectivos serán llevados a cabo, en una forma más comprensible utilizando el método de las componentes simétricas.

5. En el cálculo de las corrientes de corto circuito es una regla generalmente establecida no considerar la corriente de carga existente en el circuito.

6. Es importante decidir el principio básico del diseño efectuado en un determinado sistema de protección, y también analizar la operación de este sistema bajo las condiciones de corto circuito y efectuar así los ajustes requeridos por los relevadores. Para ello, es de práctica general realizar el cálculo de las corrientes de corto circuito en diferentes puntos del sistema.

El tamaño y la complejidad de los sistemas actuales han provocado una determinación extremadamente larga, y laboriosa de los valores de corto circuito al utilizar métodos matemáticos. Existen, sin embargo, los métodos experimentales como una herramienta que permite obtener a los resultados en una forma relativamente rápida y de un grado suficiente de precisión.

El método experimental más completamente desarrollado es el analizador de monofásico de redes de corriente alterna, el cual es de tipo estático, eliminando así las dificultades asociadas con el uso de la maquinaria rotatoria.

En el analizador se tendrá una réplica a escala de un sistema monofásico real, donde se simularán las redes de secuencia y las fuerzas electromotrices mediante la representación efectuada para cada componente del sistema, así los generadores serán representados por transformadores de levantamiento de fase.

Los voltajes, las corrientes y las potencias como variables independientes serán ajustadas mediante aproximaciones sucesivas, lográndose que las mediciones efectuadas en el tablero de trabajo correspondan a escalas adecuadas de voltaje y de corriente. Los resultados obtenidos en la mayoría de los casos tendrán un margen de 3% en error.

El analizador de corriente alterna puede ser utilizado para determinar las condiciones de fallas desbalanceadas estableciéndose redes monofásicas separadas que representen a cada red de secuencia de fase, una vez obtenidas estas redes se efectuará la interconexión dependiente al tipo de falla considerado.

Al comienzo de la década de los cincuentas, se vió el desarrollo de las computadoras digitales. Estas se caracterizan por la rapidez con que pueden efectuar operaciones aritméticas, es cuestión de unos cuantos microsegundos y de su capacidad de recibir a una serie de instrucciones sobre las operaciones aritméticas que se deben efectuar.

Los analizadores de red representan de un valor destacado en la realización de los estudios efectuados bajo las condiciones normales de operación de los sistemas, y también de la solución de problemas asociados con la estabilidad y los límites de potencia de los sistemas de transmisión. Sin embargo, ahora se cuenta con la computación digital, la cual representa a un número de ventajas comparativas con los analizadores.

Las ventajas de mayor importancia del cálculo digital en contraste con los estudios efectuados utilizando a los analizadores son:

1. DISPONIBILIDAD. Es más económico el cálculo digital, existiendo una reducción en el costo de estudio, de aproximadamente 80%. Además existirá la pérdida de tiempo resultante de la corrida de un caso aislado.

2. REDUCCION DE HORAS HOMBRE. Esta reducción en el tiempo de personal resultará de la utilización de programas determinados, los cuales podrán ser preparados en un tiempo menor del utilizado por la computadora.

3. ELIMINACION DE ERRORES DE LECTURA Y REGISTRO. Los datos de entrada podrán imprimirse, si se requieren; asimismo se cuenta con la disponibilidad de checar parcialmente a un programa; de computadora antes o después de realizar los cálculos.

4. SOLUCIONES ALTERNATIVAS PARA UN PROBLEMA.

B) ORIENTACION DE LOS PROBLEMAS DE INGENIERIA PARA LAS COMPUTADORAS

El proceso a seguir en la aplicación de la computadora para la solución de los problemas que se presentan en ingeniería involucra a un determinado número de pasos a seguir. En esta situación, es la oportuna para que el ingeniero de sistemas prepare la formulación de las ecuaciones aplicables a un problema específico, junto con el procedimiento capacitado para transcribir las instrucciones necesarias que la computadora utilizará para la resolución del programa.

El programa fuente, es el conjunto de instrucciones referido anteriormente, el cual estará escrito en la forma codificada proveniente de un "superlenguaje". Este programa fuente será procesado por el compilador de la computadora, a efecto de obtener el programa objeto, es decir, el mismo programa pero escrito simplemente en lenguaje de máquina para utilizarlo con los datos del problema y así obtener las respuestas.

El proceso de programación consistirá en traducir detallada y precisamente las instrucciones, que le indiquen a la computadora la operación que se debe ejecutar y el lugar en donde se podrían localizar los datos sobre los que se debe efectuar la operación indicada,

Los objetivos de la programación deberán ejecutarse utilizando una secuencia de pasos necesarios en el procedimiento adecuado para la utilización de la computadora. A continuación se especifica la secuencia de pasos referida.

1. LA DEFINICION DEL PROBLEMA. Es un paso muy importante la definición del problema, señalando los objetivos por determinar. Debe considerarse la información pertinente disponible a la entrada, la visión del problema y sus limitaciones; los resultados deseados y su importancia relativa de realizar una decisión del ingeniero que dispondrá del juicio obtenido por su capacidad y experiencia.

2. FORMULACION MATEMATICA. Enseguida, se necesitará desarrollar un modelo matemático para la representación física del sistema. Esto requerirá la especificación de las características individuales y de las relaciones que gobiernen la interconexión de los elementos. Para la representación del mismo sistema, se podrá utilizar diferentes modelos matemáticos y, para muchos de los problemas, existirán formulaciones complementarias (duales).
3. SELECCION DE UNA TECNICA DE SOLUCION. Es indispensable seleccionar un método basado en técnicas numéricas que empleen las operaciones aritméticas básicas a las que se restringen las operaciones de una computadora. Puesto que las aproximaciones numéricas involucran numerosas aceptaciones, hay que tener consideración cuidadosa del método para obtener el grado de exactitud requerido.
4. DISEÑO DE PROGRAMA. El diseño de cualquier programa debe prepararse en la forma de diagrama denominado Diagrama de Flujo con objeto de localización visual más efectiva de la que se obtiene en el listado del programa. Otro aspecto de gran importancia, consiste en desarrollar un procedimiento que elimine cálculos de repetición y permanezca dentro de la capacidad de la computadora.
5. PROGRAMACION. Las diferentes operaciones cubiertas por estas instrucciones, se estipulan generalmente en una clave numérica o alfabética, o puede ser escrita en un idioma de programación generalizado como FORTRAN, ALGOL 60, etc.
6. VERIFICACION DE PROGRAMA. La verificación, consiste en una serie sistemática de examinar la corrida del programa de computadora. Existen muchas oportunidades de cometer errores en el desarrollo de la formulación del problema, el método de solución y las operaciones del programa.
7. APLICACION. Los problemas de ingeniería, se pueden clasificar en general, en dos grupos. El primero consiste de programas para uso espe-

cial, los cuales son desarrollados en un periodo relativamente corto, y se emplean para la solución de problemas simples de ingeniería.

El segundo grupo consiste en programas de uso general y son diseñados para el análisis de grandes problemas de ingeniería. Su uso puede tener un efecto en el enfoque a un problema de ingeniería y a la organización del estudio. De forma que es importante que se considere la manera en la cual el programa va a ser empleado. Algunos aspectos que deben ser considerados son los medios de recopilar y preparar los datos, el tiempo de proceso y la presentación de los resultados.

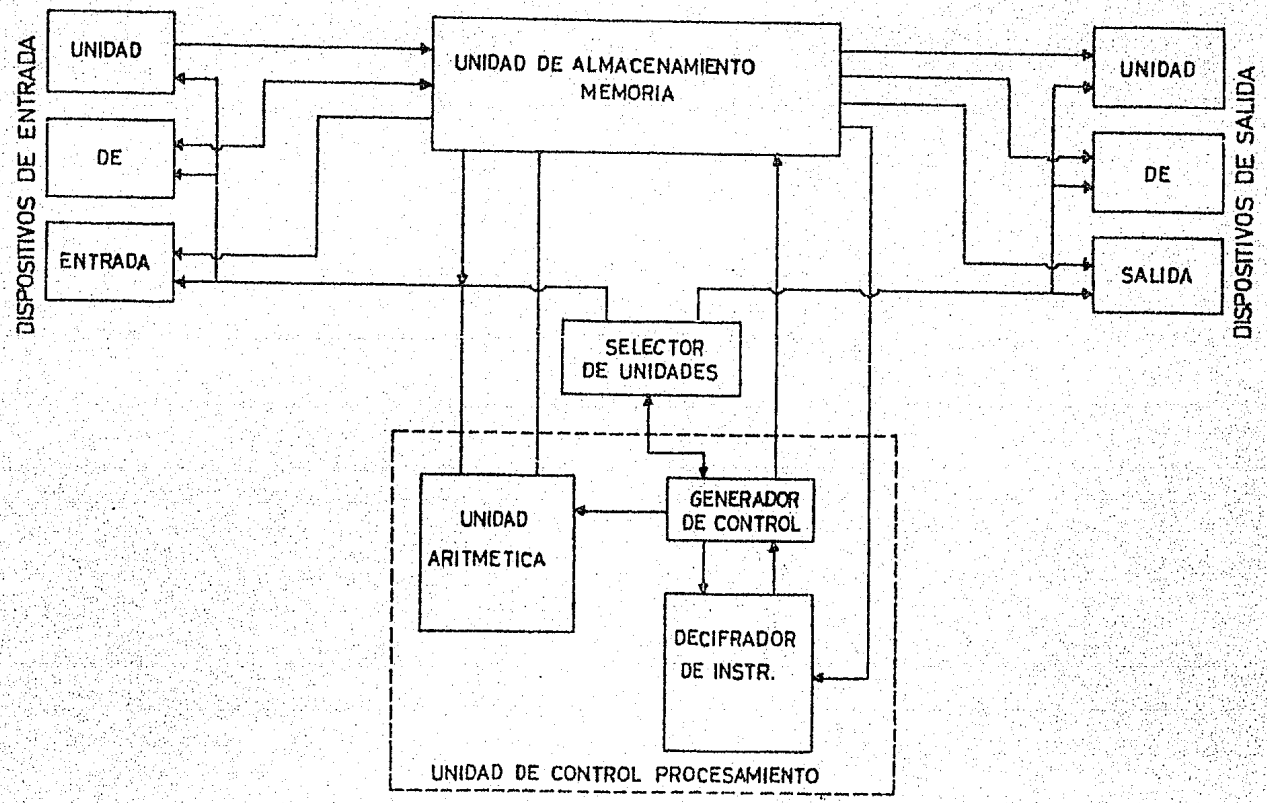


Fig.1-2 Unidades componentes de una computadora

C) DESCRIPCION SINTETICA DE LAS
UNIDADES DE UNA COMPUTADORA.

Es necesario resaltar la importancia que representa el uso de una computadora digital de alta velocidad de cómputo en la solución de los problemas que se presentan en la planeación, construcción y operación de cualquier sistema eléctrico de cierta magnitud, ya que de estas soluciones se obtienen mayores garantías para proporcionar una mejor calidad y continuidad del servicio que en última instancia, representa una fundamental faceta al abastecimiento de la energía eléctrica.

La computadora Burroughs B 5500, instalada en el Centro de Cálculo Electrónico de la UNAM, utiliza el procedimiento de tiempo compartido. En este sistema, cada usuario cuenta con una consola, un teclado y un dispositivo de presentación de información (máquina de escribir), conectados mediante líneas telefónicas a la computadora, utilizándose la computadora dentro del orden de prioridad establecido para los mismos usuarios.

Como las computadoras digitales son en la presente tesis la herramienta primordial, se ha considerado necesario y comprensible efectuar una concisa descripción referente a las operaciones básicas de las componentes principales de la computadora digital, como se presenta a continuación.

1. UNIDAD DE ALMACENAMIENTO. La función de la memoria consiste en la retención de la información almacenada por la computadora. Esta información puede ser proporcionada en forma de datos iniciales, instrucciones de programa, deducciones intermedias y respuestas finales.

Los dispositivos principales de almacenamiento se dividen en un gran número de locaciones, o registros organizados en un arreglo lineal, cada uno de esos registros es identificado de acuerdo al número correspondiente a la posición que ocupe, lo que se conoce como la dirección de un registro. En esa forma, la unidad de control puede obtener la información requerida mediante la dirección respectiva adecuadamente especificada.

En cada una de las direcciones de memoria se podrá almacenar un grupo de dígitos, permitiéndose así que la computadora las maneje como a una unidad. Esta unidad mencionada, se le asigna el nombre de palabra.

Se llama palabra a un número fijo de posiciones cada una - de las cuales puede contener un dígito, generalmente es de 36 o 49 posiciones en computadoras de gran capacidad de retención de datos.

El principio del funcionamiento de la memoria se identifica con el sistema binario, es decir para cada posición se tendrá la composición de cuatro a ocho bits, estos bits son dígitos binarios y representan a dos condiciones distintas de un núcleo magnético como se mencionará más adelante.

El almacenamiento de núcleos magnéticos es el dispositivo de menor tiempo de acceso, es decir el tiempo disponible para obtener a - una palabra del dispositivo que la retenga; los núcleos magnéticos poseen también la habilidad de almacenar la información por un tiempo indefinido utilizando propiedades de histéresis para crear un medio de almacenamiento estacionario.

En la figura I-3 , podemos apreciar la construcción física de los núcleos magnéticos en conjunto y en la figura I-4 , a un solo núcleo para poder apreciarlo mejor y estudiar su forma de trabajar.

Por el centro de cada núcleo pasan cuatro conductores, los conductores 1 y 4 son los encargados de escribir y leer dependiendo del - sentido en que circule la intensidad de corriente. Ahora veamos que sucede en ambos casos.

Para escribir circulará una corriente por los conductores 1 y 4 en el sentido indicado en la figura I-4 , ya que el núcleo queda - magnetizado en el sentido señalado, y en ese momento el bit representado es un 1.

En caso de leer, por los mismos conductores circulará la misma corriente sólo que en sentido contrario, con la siguiente convención de sentido, si el bit es cero y su sentido contrario al del bit 1, este no cambiará y la computadora sabrá que el bit en particular es 0. Alternativamente, si el bit es 1, el sentido del campo magnético es contrario al que genera la corriente combinada de los dos conductores y este cambio de sentido induce una pequeñísima corriente en el conductor 3, o conductor de prueba, donde se amplificará y será enviado a un registro junto con los demás bits de la posición en particular de que se trate.

El núcleo en cuestión habrá quedado con el bit 0 ya que se cambió su sentido, y como debe quedar como estuviera antes del ciclo de lectura el propio conductor de prueba dará la señal para que nuevamente circule corriente por los conductores 1 y 4 y escribir lo que ahí se encontraba.

Esto sucederá para los ocho núcleos que representan a una posición, ahora también se tendrán núcleos que no hayan quedado con el bit 1, para lo cual se tiene a un cuarto cable representado con el número dos, el que se llama cable de inhibición y a través del cual circula una corriente contraria a la del cable 1, neutralizando su efecto en los núcleos que contengan 0 de la posición en particular.

En las memorias de núcleos magnéticos que acabamos de analizar se almacena un programa y por donde tienen que pasar todos los datos y constantes que intervienen en el cómputo, además se efectúan operaciones aritméticas bajo la supervisión de la unidad de control.

En la computadora Burroughs B 5500 se encuentran disponibles ocho módulos de núcleos magnéticos, de 49 rejillas cada uno, lo que permite el almacenamiento de 4096 palabras de 49 bits numéricos para cada módulo independiente.

La computadora puede clasificar o combinar diferentes tipos de información recibida de un número determinado de unidades de entrada; en la computadora Burroughs se cuenta con un acceso simultáneo de la información mediante cuatro canales de los dispositivos de entrada y/o de salida y el tiempo de acceso de lectura es de 250 nanosegundos por carácter.

La capacidad de almacenamiento determina la cantidad de información que podrá ser retenida dentro del sistema en cada momento del proceso, en el sistema Burroughs se proporciona una extensión mediante un archivo de discos magnéticos y cintas. Estos tipos de memoria mencionados sirven para almacenar datos exclusivamente, es decir solamente se pueden escribir ahí datos y leerlos, en caso de que se moviera un dato de un lugar a otro en esa memoria, tendrá que pasar forzosamente a la de núcleos magnéticos.

El archivo de discos consta de cien módulos con capacidades de almacenamiento de 9.6 a 19.2 millones de caracteres y un acceso de tiempo casi instantáneo, de 20 a 40 milisegundos.

Los discos de metal tienen un revestimiento de material de óxido ferroso fácilmente magnetizable y se instalan montados en un eje vertical, separándose uno de otro para permitir el que un brazo proporcionalizador pueda mover los electromagnetos de lectura y escritura a través del radio de los discos.

2. UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO. Las instrucciones están relacionadas directamente con las direcciones de memoria, para el efecto de determinar la dirección de la memoria de donde proviene la dirección existe un registro de instrucción localizado en el descifrador de la unidad de control. El registro enunciado se compone de un subregistro de operación (OR) y de un subregistro de direcciones (AR). El número contenido en el subregistro (OR) indica qué operación deberá iniciar la unidad de control, y el número que aparecerá en el subregistro (AR) determina la dirección de almacenamiento.

Conociendo la operación que se procederá a efectuar, el generador de control, se encarga de transferir al número hacia la unidad - aritmética y almacenarlo temporalmente, mientras el segundo argumento está siendo transferido, cuando la operación es efectuada el resultado se - forma dentro del registro acumulador de la unidad aritmética antes de ser transferido de regreso a la memoria.

Cuando se necesiten leer nuevos datos dentro de la memoria provenientes desde la unidad de entrada, el generador de control se dirije al selector de entrada para que escoja la unidad de control apropiada. En forma semejante actuará el generador de control cuando los datos calculados deban ser leídos fuera de la memoria por alguna de las unidades de salida.

Existen dos formas para lograr que una instrucción sea colocada en el registro de instrucción. La mas usual se efectúa a intervalos regulares de tiempo (ciclos de computadora) para una secuencia general de operaciones. Inicialmente, un número es removido de los registros de memoria y se colocará en el descifrador, posteriormente ese número es recodificado y la operación especificada se ejecuta. La otra forma consiste en - operar manualmente los registros de la unidad de control, aumentando secuencialmente las direcciones de memoria.

El programa es solamente una forma de mencionar una serie de instrucciones. Una instrucción puede indicarle a la computadora qué operación debe ejecutar y en qué lugar puede localizar los datos sobre los que - debe efectuar la operación; otra instrucción le indicará lo que debe hacer con los resultados. Estas instrucciones para la computadora son almacena-das en el orden de serie necesario para ejecutar un trabajo dado y forman - el programa almacenado.

Las instrucciones se encuentran relacionadas directamente con las direcciones de memoria. Con algunas excepciones las instrucciones que - reconocen las computadoras digitales de propósitos generales pueden acomodarse dentro de las siguientes categorías generales.

1. Transferencia de información de una ubicación de memoria a otra dentro de la computadora básica. Las instrucciones de este tipo dirigen la información de cantidades limitadas de información en una de estas tres direcciones:

De la sección principal de la memoria interna a una sección de almacenamiento dinámico llamada registro; de un registro otra vez a la memoria y de un registro a otro registro.

2. Transferencia de información al interior y exterior de la computadora básica.

Las instrucciones de este tipo dirigen la transferencia entre la computadora y el almacenamiento exterior a ella. El almacenamiento exterior puede ser cintas magnéticas, tambores magnéticos, tarjetas perforadas o impresoras de alta velocidad; todas estas se consideran secciones de almacenamiento transitorio o intermedio y evitan que el funcionamiento más lento de unidades auxiliares retarde a la computadora.

3. Operaciones aritméticas

Las instrucciones de este tipo dirigen las operaciones de suma, resta, multiplicación o división del contenido de dos registros. La respuesta aritmética resultante se deja en uno de ellos.

4. Interrupción de la secuencia normal de instrucciones

En su operación normal la computadora encamina su atención automáticamente hacia la segunda instrucción tan pronto como ha ejecutado la primera y procede en el orden en que se han numerado las instrucciones en la sección de memoria. Las instrucciones del tipo mencionado arriba rompen la rutina de secuencia normal en cualquiera de las siguientes maneras; omitiendo una instrucción y saltando a la siguiente sucesiva de la secuencia; comenzando la secuencia en otro lugar designado en la secuencia de instrucciones; iniciando la secuencia en otro lugar designado dependiente de los resultados de una comparación del contenido de

dos registros, o de un registro y un segmento de memoria; empezando la secuencia en otro lugar designado dependiente de una señal procedente - de otra parte del sistema de la computadora, o fijando una interrupción diferida en la secuencia de instrucciones a ejecutar, estarán sujetas a satisfacer una condición subsiguiente.

5. Paradas condicionadas o incondicionadas

Este tipo de instrucciones dirige la máquina para que detenga todas sus operaciones, o para que las detenga dependiendo de una de las siguientes condiciones: una necesidad prevista de intervenir desde el exterior en las operaciones de sistematización; una señal de que no se puede disponer inmediatamente de una unidad o que está fuera de servicio; o un error previsto o falla relacionada con el funcionamiento de la máquina.

6. Alteración del contenido de un registro

Las instrucciones de este tipo alteran el contenido dentro de un solo - registro por medio de una de las siguientes técnicas: reduciendo el contenido al suprimir dígitos de un extremo; alargándolos mediante la adición de ceros; redondeando cantidades hasta llegar a una posición decimal especificada; o extrayendo porciones intermedias del contenido y poniendo nuevas porciones designadas por una norma de extracción fijada - en otro registro.

3. UNIDADES DE ENTRADA DE DATOS. En la actualidad los transmisores de información que tenemos son elementos materiales de uno u otro género y deben ser operados mecánicamente. Actualmente se han encontrado que las posibilidades más prometedoras están en las bandas continuas de cinta de papel perforado, en el alambre magnético, en la cinta magnética.

En nuestro sistema se realiza a través de cuatro canales connectados en 32 puntos disponibles todos los dispositivos adecuados. Existen varios tipos de dispositivos de entrada mas de dos lectoras de tarjetas, dos lectoras de cintas perforadas, dieciseis unidades de cinta magnética.

En la lectura de tarjetas se detecta la información de la presencia o ausencia de los agujeros perforados por medios mecánicos y - fotosensitivos.

La cinta magnética consiste en el registro magnético efectuado en la superficie de la cinta. La superficie magnetizable se obtiene mediante el recubrimiento con óxido de hierro de la cinta metálica o de plástico. La magnetización, tiene lugar en canales o "pistas" situadas una al lado de la otra y corriendo en forma paralela a la longitud de la cinta. Los símbolos binarios unos y ceros se representan por secciones magnetizadas y no magnetizadas. Debido a los múltiples canales por los que pueden ser introducidas las cintas magnéticas proporcionan un elevado de información. La ventaja más importante de este dispositivo es la economía en espacio de almacenamiento.

4. UNIDAD DE SALIDA DE RESULTADOS. Hasta cierto punto la entrada y salida de datos, constituyen operaciones dobles ejecutadas ya sea por los dispositivos mencionados u otros de tipo similar. Tenemos un ejemplo de ellos en la cinta magnética, cuyo dispositivo ya hemos descrito al hablar de los dispositivos de la unidad de entrada de datos. Otros dispositivos de salida de información, que mencionamos en orden de importancia, son las impresoras de alta velocidad, las convertidoras de cinta magnética a cinta perforada y las máquinas de escribir eléctricas.

Cuando se imprime o perfora información, el resultado es - llevado generalmente de su fuente en la computadora a la cinta magnética, actuando como un almacenamiento intermedio desde el cual es remitido al perforador de tarjetas o a la impresora. Una excepción de lo anterior lo constituye la salida de datos al tablero de control de la máquina de escribir, que se hace directamente.

CAPITULO II

METODO DEL ANALISIS DE MALLAS EN REDES PARA CONDICIONES DE FALLAS

En los últimos años, se han desarrollado nuevos métodos ma
triciales aplicables a los estudios de corto circuito de los sistemas de
potencia, con el objeto de reducir el tiempo de cálculo a un costo relati
vamente bajo. Estos estudios juegan un importante papel proporcionando -
una alta seguridad del sistema y asegurar una mayor utilización de la in-
versión del capital.

Como se ha señalado en el Capítulo I; las computadoras di-
gitales han, en gran parte, reemplazado a las analógicas a causa de que -
éstas están restringidas a problemas específicos, en cambio las computado
ras digitales pueden ser usadas para cualquier problema que pueda ser re-
ducido a un conjunto de operaciones aritméticas.

Los cálculos de corto circuito proporcionan las corrientes
y voltajes existentes en el sistema durante las condiciones de la falla.
Esta información se requerirá al diseñar el sistema de protección adecua-
do y para determinar los siguientes aspectos.

- a) Los requerimientos momentáneos de interrupción para los interrup-
tores de circuito en cada localización
- b) Las corrientes y voltajes existentes no solamente en el instante
de ocurrir la falla, sino también es necesario determinarlos in-
mediatamente después de la falla para determinar la acción de -
los relevadores, o para el ajuste de los mismos

Los sistemas de potencia están sujetos a tres clases de cor-
to-circuitos. En el primero, las tres líneas de un sistema trifásico pue-
den quedar eléctricamente conectados entre sí, ésto se conoce como un cor-
to circuito trifásico. En el segundo tipo, solamente dos líneas quedan co-
nectadas eléctricamente, lo que constituye un corto circuito de línea a lí-
nea. El tercer tipo se presenta cuando una línea queda conectada a tierra,
conocido como corto circuito de línea a tierra. Un punto de significación
en la aplicación del método presentado, se tiene al considerar que no exis
ten diferencias substanciales en los problemas acometidos para los cálcu-
los de corto circuito trifásicos y los de línea a tierra. y solo se tendrá

mayor magnitud al tratar con acoplamientos inductivos mutuos en la red de secuencia cero, puesto que en la red de secuencia positiva, esta influencia es despreciable.

Las corrientes y los voltajes resultantes de los tipos de falla considerados ocurren para diversas localizaciones de falla a través de todo el sistema y para las configuraciones del sistema estudiado. También, para cada configuración y localización de falla, la información será necesaria para variadas condiciones de operación de los interruptores.

En el método presentado, se tendrá la determinación de condición máxima de falla para una sección de línea, teniéndose los interruptores adjuntos cerrados y la falla situada en las terminales del interruptor más cercano. Otra determinación considerada, se tendrá para la corriente de falla con el interruptor más próximo abierto; conocido como falla en modo con una línea determinada fuera. Finalmente, se tendrá la corriente de falla con un interruptor lejano, abierto, mientras el interruptor cercano es cerrado nuevamente, conocido este caso, como el de fallas en terminal de línea.

Por ser importante la coordinación de los elementos de protección para eliminar, o al menos reducir al mínimo, las interrupciones necesarias de una parte del sistema. La información proveniente del estudio que realiza el método deberá utilizarse por el ingeniero de sistemas, con frecuencia para los cálculos simples pero tediosos, siendo esta la principal causa de la aplicación de la computación.

A) METODO DE CALCULO DE FALLA

El método de cálculo de fallas estudiado es utilizado para la obtención de las corrientes de corto circuito y los voltajes existentes en los diferentes buses de un sistema de potencia, de acuerdo con la localización de la falla considerada.

Esencialmente, el cálculo aplicable a este método será de forma similar de aquél que se realiza normalmente para un calculador de redes de corriente alterna. De aquí que, la red presentada ha de consistir del sistema de transmisión y de las impedancias de los generadores y las cargas contribuyentes conectadas en derivación; asimismo se energizará a esta red por medio de una sola fuente aplicada en el punto de falla.

El programa proveniente de la aplicación de este método es tará preparado para la obtención de las corrientes y los voltajes de red, para fallas trifásicas, o de una línea a tierra. Los cálculos de la reso lución de las componentes de redes muy grandes, se efectúan por componentes simétricas, aprovechándose así la capacidad de almacenamiento de la computadora.

Se asumirá linealidad respecto a las redes de secuencia interconectadas, lo que nos permitirá aplicar al teorema de Thevenin para los circuitos del sistema representado. La interconexión de las redes de secuencia se realiza en la forma apropiada para indicar a las componentes simétricas de corriente y voltaje en la falla.

En los calculadores de redes de (c.a.) se permite la representación de las magnitudes de los voltajes individuales generados tomando las fuerzas electromotrices tras la reactancia subtransitoria, junto con el ángulo de fase respectivo. Sin embargo, será conveniente en el cálculo digital reemplazar a cada una de las fuentes de voltaje existentes, de la red de secuencia positiva, por medio de la fem interna generada conectada en se rie con su impedancia interna.

Como se ha descrito, en el Capítulo I, una consideración generalmente prevista en los cálculos de corto circuito consiste en olvidarse de la corriente de carga en el circuito, en el momento anterior a la - ocurrencia de una falla; sin embargo, a continuación, se considerará el - efecto de la corriente normal de carga en el procedimiento.

TEOREMA DE THEVENIN

El efecto de los cambios realizados al aplicar el teorema para la resolución de una porción de la red, será evitar la necesidad de resolver completamente el problema para cada nueva condición. El concepto básico para cualquier red de dos terminales de impedancia lineales y fuentes electromotrices sinusoidales, a una frecuencia determinada, es reemplazarla por un circuito equivalente, que contiene un voltaje constante y una impedancia en serie.

En la Fig II-1 se conecta una red pasiva con la impedancia resultante Z entre las terminales $m-n$ de la red activa considerada. La cual, contiene un número de fuerzas electromotrices y cargas, las fuerzas electromotrices de la red citada causarán voltaje E^f , determinado como voltaje de circuito abierto a través de las terminales.

La corriente que circulará por la impedancia Z , y que es causada por las fuerzas electromotrices de la red activa, es igual a

$$I = \frac{E^f}{Z + Z_{mn}}$$

en donde Z_{mn} , es la impedancia característica (driving point impedance) - medida en las terminales $m-n$ después de poner en corto circuito todas las fuentes de fuerza electromotriz.

El teorema de Thevenin, es una adaptación del principio de superposición, puesto que se presenta la situación mostrada en la Fig II-2, después de tomar anexada una de las terminales de Z a la terminal n y precisamente antes de que la otra terminal de Z se anexe a m .

El corriente cero, que aparentemente fluirá a través de las terminales abiertas $m-m'$, puede interpretarse como la superposición de dos corrientes. En primer lugar, la corriente provocada por las fuerzas electromotrices de la red a través de la rama Z con las terminales $m-m'$ en corto circuito y la corriente idéntica que circulará a través de Z , si se considera a las fuerzas electromotrices en una condición de corto circuito y representada por el miembro derecho de la ecuación II-1.

TEOREMA DE THEVENIN

FIG II-1 RED ELECTRICA Y LA NUEVA RAMA

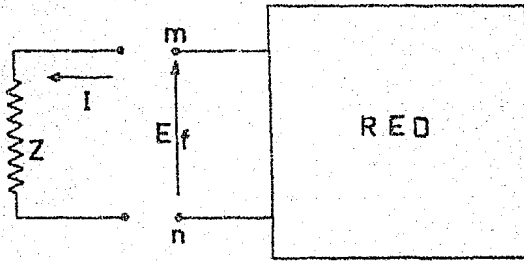
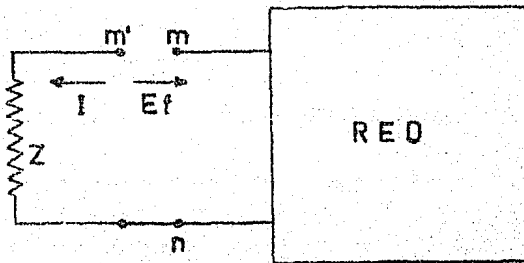


FIG II-2 ANADIDURA DE UNA NUEVA RAMA A UNA RED



Podemos ahora reemplazar el circuito equivalente, en donde estén descritas las condiciones existentes al producirse una falla trifásica para un sistema de potencia.

De acuerdo con el teorema, el circuito de secuencia positiva, puede substituirse por un voltaje al neutro equivalente en vacío, que es igual a un voltaje operante E^f antes de ocurrir la falla, el cual estará en serie con la impedancia Z_1 de secuencia positiva. Esta impedancia, estará medida desde el punto de falla con las fuentes de fuerza electromotriz en corto circuito. La corriente de corto circuito por fase será E^f/Z_1 .

El teorema de Thevenin permite establecer los circuitos equivalentes solamente para el efecto de cualquier conexión externa realizada entre el punto P, en donde ocurre la asimetría y el bus de referencia de la red original.

EFFECTO DE LA CORRIENTE NORMAL DE CARGA. Después de aplicar el teorema, se podrá conocer a la corriente simétrica que fluirá en la falla; si esta corriente se dividiera entre las ramas de la red de secuencia positiva, utilizando factores de distribución, se obtendría a la corriente ocasionada por una falla y será la corriente que fluya a través de la rama considerada. Para la obtención de la corriente total simétrica de rama se tendrá la necesidad de añadirle la corriente de carga normal a la corriente anteriormente señalada.

La carga no se considera generalmente al determinar los cálculos de corto circuito, debido a que es pequeña y fuera de fase en comparación con la corriente de falla. La corriente de carga será de mayor significación para los sistemas de baja capacidad de corto circuito y de baja relación X/R .

La corriente normal de carga, no es una componente de la corriente en la falla, sino solamente una parte de la corriente total que fluye en las ramas de la red que alimentan a la falla. Otra manera de entender el efecto de la corriente de carga se tendrá considerando el cálculo

lo de corto circuito como una aplicación del teorema de compensación.

El teorema de compensación se aplica en la red de secuencia positiva, para los cambios de dirección de corrientes debidas a la falla.

El enunciado del teorema de compensación, es el siguiente: en el caso de que la impedancia de una rama cambiara por una cantidad ΔZ , los cambios ocurridos en la corriente que fluiría en todas las otras ramas, equivalen a los que se causarían insertando una fem. compensante $-\Delta ZI$ para la rama modificada, es decir, con el objeto de conservar la caída original ZI , la inserción de la fem. compensante en la rama tendrá el efecto de no modificar las corrientes de todas las ramas restantes.

En un cálculo de corto circuito, la impedancia de la rama - en el punto de falla es infinita antes de ocurrir la falla, pero cambiará a cero mediante una cantidad ΔZ . En cualquier otra rama, el cambio de la corriente es el cambio que se produce aplicando la fem. compensante $-E_f$ en el punto de falla; este voltaje es el que existe en la punta de falla - antes que ocurra la misma. Para los cálculos de falla, la inversión del - sentido de la corriente, desde el interior de la red hacia una conexión exterior cambiará consecuentemente el signo del voltaje aplicado. El cambio anterior de la corriente debido a la aplicación de E_f a las redes de se- - cuencia, debe ser agregado a la corriente normal de carga, para obtener la corriente total simétrica que fluiría para la rama considerada.

En el método de cálculo descrito en este trabajo, se hace - uso del teorema de compensación para calcular los cambios de corriente, de - bidos a la falla. Si las corrientes de carga fuesen significativas, se - tendrán que agregar directamente a los cambios de corriente calculados.

B) TRANSFORMACIONES LINEALES DEL METODO DE KRON

En los métodos mas recientes en la teoría de circuitos eléctricos se ha utilizado el álgebra matricial, con el objeto de establecer y resolver sistemas de ecuaciones simultáneas.

El método de Kron presenta a un sistema de transformaciones lineales, provenientes del conocimiento de las ecuaciones de las partes componentes de un sistema eléctrico, y de la forma en que estas partes se encuentren interconectadas. El sistema de transformaciones lineales es utilizado para establecer las ecuaciones funcionales de un sistema eléctrico complejo; lográndose el procedimiento de rutina que transforme al sistema mencionado en otro sistema relacionado, donde el análisis respectivo será más sencillo.

El advenimiento de las computadoras de alta velocidad, ha representado un importante medio para la resolución mediante métodos numéricos aplicables a una gran variedad de problemas físicos. La aplicación de las computadoras digitales a tales problemas; efectuándose así, de una manera lógica y organizada.

El análisis de mallas basado en los estudios de Gabriel Kron, se ha aplicado en la determinación de los cortos circuitos en un sistema de transmisión eléctrica, con el objeto de determinar las ecuaciones de equilibrio de una red determinada.

En el análisis de mallas de una red, es necesario establecer a un grupo de ecuaciones independientes, de la siguiente forma.

$$E_L = Z\beta\beta I_L \quad \text{II - 3}$$

en donde $Z\beta\beta$ la matriz de impedancias de malla, I_L es un vector columna de m corrientes de malla independientes, y E_L es un vector columna de m voltajes de malla. Las corrientes de malla son las incógnitas; para los voltajes de malla, se tendrán uno o más de ellos diferentes de cero, estos voltajes conocidos serán los voltajes de generadores en serie con las ramas de red.

Para redes sencillas, se pueden escribir directamente por inspección de ecuaciones independientes basadas en el análisis de corrientes de malla. Para redes más complicadas, se utiliza el álgebra matricial, con el objeto de ensamblar las ecuaciones de malla de las ecuaciones de rama. Como una ilustración del método para establecer las relaciones iniciales, y los pasos rutinarios de ensamblaje de las ecuaciones funcionales de un sistema complejo de las ecuaciones sencillas, se considera la red de la Fig. II-3

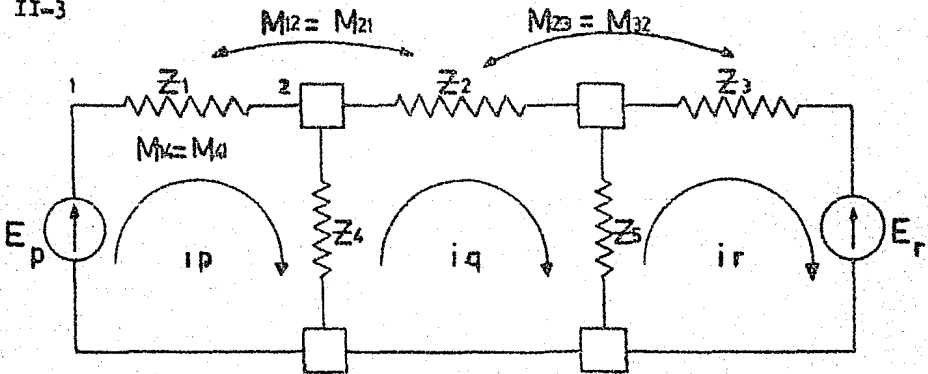


FIG II-3

Esta red se conoce como red primitiva, y está constituida de las componentes de rama individual de la red original. Cada impedancia de rama individual, se alimenta por una fuente hipotética de voltaje, la que motivará a la misma corriente.

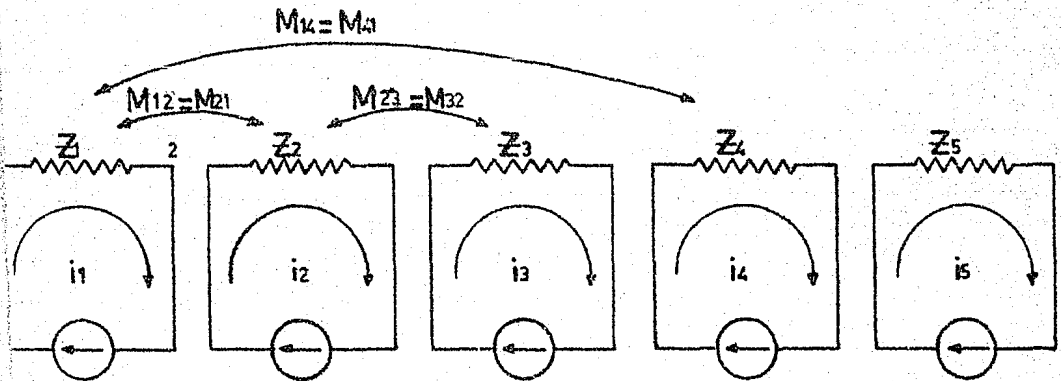


FIG II-4

En la red primitiva, la corriente que fluye en la rama Z_j es i_j ($j = 1, 2, 3, \dots, 5$), que es la misma Z_j de la red original. En relación a lo anterior, se tendrá a la fuente hipotética de voltaje, e_j ,

Al considerarse la red mostrada, con las impedancias mutuas M_{ij} , se tomará el sentido de polaridad indicado por los números 1 y 2 de acuerdo a la convención de dirección positiva de corriente, a través de las ramas de la terminal 1 hacia la terminal 2.

$$\begin{aligned} Z_1 i_1 + M_{12} i_2 + M_{14} i_4 &= e_1 \\ M_{21} i_1 + Z_2 i_2 + M_{23} i_3 &= e_2 \\ M_{32} i_2 + Z_3 i_3 &= e_3 \\ M_{41} i_1 + Z_4 i_4 &= e_4 \\ Z_5 i_5 &= e_5 \end{aligned} \quad \text{II - 4}$$

Las ecuaciones anteriores se pueden escribir matricialmente

como

$$\begin{bmatrix} Z_1 & M_{12} & 0 & M_{14} & 0 \\ M_{21} & Z_2 & M_{23} & 0 & 0 \\ 0 & M_{32} & Z_3 & 0 & 0 \\ M_{41} & 0 & 0 & Z_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_5 \end{bmatrix} \quad \text{II - 5}$$

Esta ecuación matricial se puede escribir, más concisamente,

como:

$$Z_{\psi\psi} I_B = e_B \quad \text{II - 6}$$

La matriz de impedancias $Z_{\psi\psi}$ puede establecerse por inspección muy simplemente. Consiste de todas las impedancias de rama enlistadas en los elementos diagonales y las impedancias mutuas enlistadas en los elementos fuera de la diagonal. Por ejemplo M_{14} , la impedancia mutua entre 1 y 4 es enlistada en el elemento de la primera hilera y la cuarta columna.

Para obtener la matriz de coeficiente $Z_{\beta\beta}$, que se obtendrá más adelante; utilizaremos la matriz de impedancias mutuas y de rama $Z_{\psi\psi}$ a través de la multiplicación matricial siguiente:

$$Z_{\beta\beta} = C^T \psi Z_{\psi\psi} C \psi\beta \quad \text{II - 7}$$

MATRIZ DE CONEXION

La matriz de conexión $C\psi\beta$, se obtiene expresando las corrientes de la red primitiva en términos de las corrientes de malla definidas en la red original. Esto se logra utilizando la ley de Kirchhoff, para la Fig. II-4

$$\begin{aligned} i_1 &= i_p \\ i_2 &= i_q \\ i_3 &= i_r \\ i_4 &= i_p - i_q \\ i_5 &= i_q - i_r \end{aligned} \quad \text{II - 8}$$

Las relaciones anteriores pueden escribirse en forma matricial, como:

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_p \\ i_q \\ i_r \end{bmatrix} \quad \text{II - 9}$$

o en términos generales como

$$I_B = C \psi\beta \quad I_L \quad \text{II - 10}$$

La matriz $C\psi\beta$ consiste de tantas hileras como el número de ramas de la red y de tantas columnas, como el número de corrientes de malla independientes. En esta matriz se define la transformación lineal entre las corrientes de malla hipotéticas y las corrientes de rama.

Se consideran asignadas arbitrariamente, la dirección de una rama y la dirección de la corriente a través de esa rama, para nuestro

propósito, asumiremos que ambas direcciones coinciden.

El elemento C_{ij} en la hilera i y la columna j de la matriz de conexión $C\psi\beta$, corresponde a la rama i y a la malla j , quedando definido como sigue:

$$C_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{si la dirección de la malla } j \text{ coincide con la} \\ & \text{dirección de la rama } i \\ -1, & \text{si la dirección de la malla } j \text{ se opone a la di} \\ & \text{rección de las ramas } i \\ 0, & \text{si la malla } j \text{ no incluye a la rama } i \end{cases}$$

METODO TOPOLOGICO DE TRANSFORMACION LINEAL

Otra ecuación adicional se obtiene, expresando las fuentes de voltaje en las mallas individuales en términos de los voltajes a través de las ramas en las mallas respectivas.

De la Fig II-4, se tiene

$$\begin{aligned} V_1 + V_4 &= E_p \\ V_2 - V_4 + V_5 &= E_q = 0 \\ V_3 - V_5 &= -E_r \end{aligned} \quad \text{II - 11}$$

Las fuentes hipotéticas de voltaje, son numéricamente iguales a los voltajes a través de las ramas correspondientes, es decir

$$V_1 = e_1, V_2 = e, \dots, V_5 = e_5$$

de allí que

$$\begin{aligned} e_1 + e_4 &= E_p \\ e_2 - e_4 + e_5 &= E_q = 0 \\ -e_3 - e_5 &= -E_r \end{aligned} \quad \text{II - 12}$$

Las relaciones anteriores escritas en forma matricial serán

la cual será numéricamente igual al voltaje V_j .

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_p \\ 0 \\ -E_r \end{bmatrix} \quad \text{II - 13}$$

en términos generales

$$E_L = C^T \beta \psi \cdot e_B \quad \text{II - 14}$$

En donde $C^T \beta \psi$ es la transpuesta de la matriz de conexión (o la transpuesta conjugada para elementos complejos), la cual define la relación entre los voltajes de rama, y un grupo arbitrario de variables secundarias, los voltajes de malla.

Para obtener la matriz de impedancia de malla, la ley de transformación se puede desarrollar utilizando las ecuaciones iniciales

$$Z \beta \beta I_L = E_L \quad \text{II - 15}$$

$$Z \psi \psi I_B = e_B \quad \text{II - 16}$$

$$I_B = C \psi \beta I_L \quad \text{II - 17}$$

De las dos últimas derivaremos la relación

$$e_B = Z \psi \psi C \psi \beta I_L \quad \text{II - 18}$$

La ecuación II-15 podrá definirse de otra forma, sustituyendo la relación II - 18 para la ecuación II-14; obteniéndose

$$E_L = C^T \beta \psi Z \psi \psi C \psi \beta I_L \quad \text{II - 19}$$

Comparándola respecto a la ecuación II - 15 obtenemos

$$Z \beta \beta = C^T \beta \psi Z \psi \psi C \psi \beta \quad \text{II - 20}$$

Para el caso de la red mostrada, ejecutaremos la multiplica

ción $C^T \beta \psi Z \psi \psi$

$$\begin{bmatrix} 1 & & & & \\ & 1 & & & \\ & & 1 & & \\ & & & 1 & \\ & & & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1 & M_{12} & & M_{14} & \\ M_{21} & Z_2 & M_{23} & & \\ & M_{32} & Z_3 & & \\ M_{41} & & & Z_4 & \\ & & & & Z_5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} (Z_1 + M_{41}) & M_{12} & & (M_{14} + Z_4) & \\ (M_{21} - M_{41}) & Z_2 & M_{23} & -Z_4 & Z_5 \\ & -M_{32} & Z_3 & & -Z_5 \end{bmatrix} \quad \text{II - 21}$$

Multiplicando $(C^T \beta \psi Z \psi \psi) C \psi \beta$ resulta en la matriz $Z \beta \beta$ que es la matriz de impedancia de malla en la red original.

$$\begin{bmatrix} (Z_1 + M_{41}) & M_{12} & & (M_{14} + Z_4) & \\ (M_{21} - M_{41}) & Z_2 & M_{23} & -Z_4 & Z_5 \\ & -M_{32} & -Z_3 & & -Z_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & & & & \\ & 1 & & & \\ & & 1 & & \\ & & & 1 & \\ & & & & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} (Z_1 + M_{41} + M_{14} + Z_4) & (M_{12} - M_{14} - Z_4) & & & \\ (M_{21} - M_{41} - Z_4) & (Z_2 + Z_4 + Z_5) & (-M_{23} - Z_5) & & \\ & (-M_{32} - Z_5) & (Z_3 + Z_5) & & \end{bmatrix} \quad \text{II - 22}$$

C) CALCULO DE CORRIENTES Y VOLTAJES
DE UN NODO DETERMINADO, BAJO FA-
LLA SIN LINEAS FUERA.

El ejemplo utilizado a continuación, demuestra el procedimiento utilizado al calcular las corrientes y voltajes de las mallas del sistema simplificado para una red, en donde existe un bus o nodo en condiciones de falla. La red de la Fig. II-5 ilustra la resolución referida al procedimiento.

El sistema es redibujado, en la Fig. II-6, distinguiendo - las ramas árbol como líneas llenas y las ramas enlace como líneas punteadas. El árbol de la red no será único, sino para el esquema particular - enumerado como el de la figura, y que es el correspondiente al de reenumeración hecho por la computadora.

Podemos notar que el árbol de red, está de tal forma que - todos los nodos, a excepción del neutro, están conectados a los demás nodos por medio de ramas del árbol que están enteramente dentro de la red. Mientras que el neutro está conectado a los demás nodos a través de la rama del árbol representada por la impedancia del generador Z_{1-5} . Todas - las otras ramas (shunt) en derivación y que no son sino la trayectoria - que seguirá la corriente de falla de alguno de los nodos al neutro, se dice que son las ramas o enlace de dicha red. Con esto, la red aparecerá - como en la Fig. II-6 con las adicionales ramas enlace de falla y que para este caso irán de cada uno de los nodos 1, 2, 3 y 4 al nodo neutro 5.

La numeración que se tiene para las ramas, incluidas las - ramas de falla agregadas, será la que podrá asignar la computadora. Es - de comprenderse, que normalmente la numeración asignada por aquél que - haga uso del programa será arbitraria, y que esos datos de entrada llegan a modificarse con objeto de facilitar la lógica de la máquina y las ramas serán propiamente reenumeradas.

El paso posterior a la selección del árbol de red, consiste en el proceso de formación de la Matriz de Conexión de Mallas. La - descripción detallada de este proceso se tiene en el Capítulo III pero en síntesis el método usual para la obtención de ecuaciones de mallas independientes, requiere la definición de la geometría de la red en térmi- -

nos de ramas árbol y enlace. A continuación, por el proceso de cerrar un enlace a la vez, definiendo la malla así formada, y registrándose asimismo las polaridades de las ramas halladas, nos llevarán a la debida formación de una matriz de Conexión de mallas.

Es importante tener la suposición acordada de que los voltajes y corrientes de red, son requeridos para fallas sucesivas en cada uno de los nodos.

En la red conectada de nodos y ramas, tenemos las relaciones:

$$n = n_t - 1$$

$$m = b - n$$

II - 23

donde n es el número de nodos independientes y n es el número de mallas independientes igual al número de corrientes de enlace $L = b - (n_t - 1)$.

Para la obtención de las corrientes de malla para cada una de las fallas, se asumirá en las ecuaciones de malla que no existe por el momento fuentes de voltaje en la red.

En esta parte haremos un paréntesis para comentar el Método de Malla de Kron, que se utiliza en el problema medular del cálculo de las corrientes de rama incógnitas; depende de la selección topológica de la forma en que se definan los contornos de malla y expresarla de una manera algebraica, a través de la transformación de la matriz $C\psi\beta$ de conexión.

Para el ejemplo considerado se tendrá la siguiente matriz de conexión $C\psi\beta$, como resultado de método topológico aplicado a la computadora (Capítulo III)

FIG II-5 SISTEMA ELECTRICO
ILUSTRATIVO

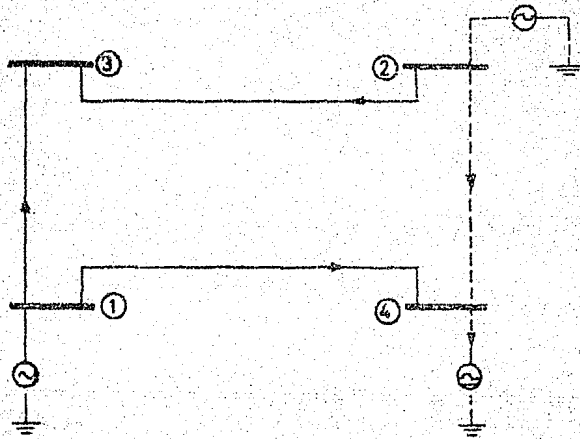
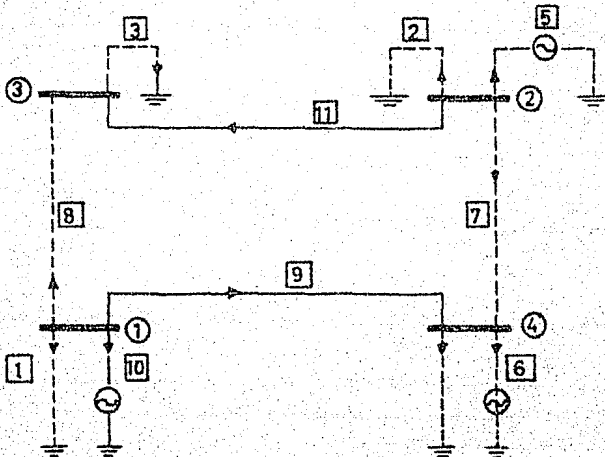


FIG II-6 RENUMERACION DEL
SISTEMA REFERIDO



Enlace No.	Rama No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	-1	-1
3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	-1	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	1	-1	0
5	0	0	0	0	1	0	0	1	0	-1	-1
6	0	0	0	0	0	1	0	0	1	-1	0
7	0	0	0	0	0	0	1	1	-1	0	-1

Las impedancias de la red de la Fig II - 6.

Rama No	« R »	« X »
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0.221
6	0	0.104
7	1.702	2.445
8	0.746	1.036
9	1.421	3.481
10	1.127	1.752
11	4.463	6.621

La impedancia mutua es

Rama No	Rama No	« R »	« X »
9	11	-0.4075	-1.203

Formando la matriz $Z_{\psi\psi}$, y utilizando la multiplicación matricial $C^t \beta \psi Z_{\psi\psi} \psi C \psi \beta$, obtenemos la matriz de coeficientes, la que verifica las ecuaciones de malla establecidas asumiendo el momento en que

no existen fuentes de voltaje en la red.

ECUACIONES DE MALLA SIN FUENTES DE VOLTAJE

$$(1.127 + j 1.752) I_1 + (1.127 + j 1.752) I_2 + (1.127 + j 1.752) I_3 + (1.127 + j 1.752) I_4 + (1.127 + j 1.752) I_5 + (1.127 + j 1.752) I_6 + (0 + j 0) I_7 = 0 \text{ ENLACE 1 CIERRA LA MALLA}$$

$$(1.27 + j 1.752) I_1 + (6.336 + j 9.409) I_2 + (1.873 + j 2.788) I_3 + (1.5345 + j 2.955) I_4 + (6.336 + j 9.409) I_5 + (1.5345 + j 2.955) I_6 + (4.8015 + j 6.454) I_7 = 0 \text{ EL ENLACE 2 CIERRA LA MALLA}$$

$$(1.127 + j 1.752) I_1 + (1.873 + j 2.788) I_2 + (1.873 + j 2.788) I_3 + (1.127 + j 1.752) I_4 + (1.873 + j 2.788) I_5 + (1.127 + j 1.752) I_6 + (0.746 + j 1.036) I_7 = 0 \text{ EL ENLACE 3 CIERRA LA MALLA}$$

$$(1.127 + j 1.752) I_1 + (1.5345 + j 2.955) I_2 + (1.127 + j 1.752) I_3 + (2.548 + j 5.233) I_4 + (1.5345 + j 2.955) I_5 + (2.548 + j 5.233) I_6 + (-1.0135 - j 2.278) I_7 = 0 \text{ EL ENLACE 4 CIERRA LA MALLA}$$

$$(1.127 + j 1.752) I_1 + (6.336 + j 9.409) I_2 + (1.873 + j 2.788) I_3 + (5.5345 + j 2.955) I_4 + (6.336 + j 9.630) I_5 + (1.5345 + j 2.955) I_6 + (4.8015 + j 6.454) I_7 = 0 \text{ EL ENLACE 5 CIERRA LA MALLA}$$

$$(1.127 + j 1.752) I_1 + (1.5345 + j 2.955) I_2 + (1.127 + j 1.752) I_3 + (2.548 + j 5.233) I_4 + (1.5345 + j 2.955) I_5 + (2.548 + j 5.337) I_6 + (-1.0135 + j 2.278) I_7 = 0 \text{ EL ENLACE 6 CIERRA LA MALLA}$$

$$(0 + j 0) I_1 + (4.8015 + j 6.454) I_2 + (0.746 + j 1.036) I_3 + (-1.0135 - j 2.278) I_4 + (4.8015 + j 6.454) I_5 + (-1.0135 - j 2.278) I_6 + (7.517 + j 11.177) I_7 = 0 \text{ EL ENLACE 7 CIERRA LA MALLA.}$$

Estas ecuaciones de red disponibles, utilizando el Análisis por Mallas de la red, nos muestran una representación de la red relacionando los vectores de fuerzas electromotrices de malla E_L , con las co

corrientes de malla I_L , por medio de la Matriz de Coeficientes será:

$$E_L = C^T \beta \psi Z \psi \psi C \beta \beta^{-1} I_L \quad \text{II - 25}$$

$$\text{siendo } E_L = 0$$

En este tipo de consideraciones simplificaremos la notación determinando la matriz de coeficientes $Z \beta \beta$

$$Z \beta \beta = C^T \beta \psi Z \psi \psi C \beta \beta \quad \text{II - 26}$$

$$E_L = Z \beta \beta I_L \quad \text{II - 27}$$

Siendo $E_L = 0$ las fuerzas electromotrices de malla que serán, nulas e I_L como corrientes de malla.

Una importante modificación, permite la simplificación por partición Matricial de una inversión de la matriz de impedancia de malla que estará en la forma siguiente:

$$\begin{bmatrix} E_L(f) \\ E_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_A & (Z_M)^T \\ Z_M & Z_{LL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L(f) \\ I_L \end{bmatrix} \quad \text{II - 28}$$

En la ecuación anterior, se tendrán los vectores E_L e I_L referidos a las mallas del sistema simplificado, es decir, incluirá a los enlaces de derivación que no se incluyan en las mallas auxiliares, que a su vez, cambian para simular las diferentes locaciones de falla.

$E_L(f)$ e $I_L(f)$ se refieren a los vectores de corriente y voltaje de las malla auxiliar, considerada para el nodo bajo falla escogido.

El vector $I_L(f)$ puede calcularse para una falla en el nodo p y será:

$$I_L(f) = \begin{bmatrix} I_{1p}(f) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

II - 29

En nuestro ejemplo, $I_{1p}(f)$ para $p = 1$, se asume la corriente de falla para el enlace 1 como $(1 + j 0)$ teniéndose para las corrientes de enlace auxiliares, I_2 , I_3 e I_4 nulas. Las corrientes I_1 del sistema simplificado serían I_5 , I_6 e I_7 que se podrán obtener de las siguientes ecuaciones.

$$(6.336 + j 9.630) I_5 + (1.5345 + j 2.955) I_6 + (4.8015 + j 6.454)$$

$$I_7 = -1.127 - j 1.752$$

$$(1.5345 + j 2.955) I_5 + (2.548 + j 5.337) I_6 + (-1.0135 + j 2.278)$$

$$I_7 = -1.127 - j 1.752$$

$$(4.8015 + j 6.454) I_5 + (-1.0135 - j 2.278) I_6 + (7.517 + j 11.177)$$

$$I_7 = 0$$

II - 30

Las ecuaciones anteriores, se obtienen directamente de aquellas de la ecuación II - 24 por substitución de los valores asumidos para I_1 , I_2 , I_3 e I_4 para las últimas tres ecuaciones. El procedimiento que se sigue para encontrar a las corrientes del sistema simplificado de nuestro caso I_5 , I_6 e I_7 se tendrá que efectuar la partición señalada.

$$Z_{11} \bar{I}_L + Z_m \bar{I}_L(f) = \bar{E}_L = 0$$

$$Z_{LL} \bar{I}_L = -Z_m \bar{I}_L(f)$$

II - 31

La submatriz de coeficientes (Z_m) para las corrientes del sistema simplificado, dependerá de la operación, de escoger secuencialmente en el programa a cada uno de los nodos bajo falla.

Para la resolución de la ecuación se tendrán las corrientes de malla del sistema simplificado,

$$I_L = -(Z_{LL})^{-1} Z_m I_{L(f)} \quad \text{II - 32}$$

$$\begin{bmatrix} Z_{LL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} Z_{51} \\ Z_{61} \\ Z_{71} \end{bmatrix} \quad \text{II - 33}$$

$$\begin{aligned} (6.336 + j 9.630) I_5 + (1.5345 + j 2.955) I_6 + (4.8015 + j 6.454) I_7 \\ = - 1.127 - j 1.752 \\ (1.5345 + j 2.955) I_5 + (2.548 + j 5.337) I_6 + (-1.0135 + j 2.278) I_7 \\ = - 1.127 - j 1.752 \\ (4.8015 + j 5.454) I_5 + (- 1.0135 - j 2.278) I_6 + (7.517 + j 11.177) I_7 \\ = 0 \end{aligned}$$

II - 34

Para la resolución de la ecuación (7) se tendrá:

$$\begin{bmatrix} I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} Z_{LL} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Z_{51} \\ Z_{61} \\ Z_{71} \end{bmatrix} \quad \text{II - 35}$$

El tamaño de la matriz Z_{LL} corresponde al número de enlaces del sistema, más el número de impedancias de generador representadas en la red, menos uno. Enfatizaremos la consideración de que ninguna otra inversión de matriz será requerida a través del resto del problema. Como se señaló anteriormente, la corriente de falla no será la sumida como $(1 + j 0)$, y esto se remedia al multiplicar cada una de las corrientes de malla obtenidas por un factor apropiado. Este factor queda definido como la relación del voltaje equivalente de la fuente E^f en la propia falla, a este voltaje lo llamaremos voltaje equivalente en el nodo de falla, y es producido por una fuente establecida en serie con el enlace necesario para que se tenga el valor asumido de falla de $(1 + j 0)$.

Para la obtención de este tipo de voltajes, analizaremos el proceso previamente seguido de utilizar el grupo de ecuaciones 6, para el cálculo de las corrientes de red.

1. Por la substitución de la corriente asumida de $(1 + j 0)$ para cada una de las corrientes de falla. En el caso de que la falla existiera en el nodo 1, dicha substitución se realizó en las últimas tres ecuaciones del grupo y al mismo tiempo se pusieron las otras corrientes de falla igual a cero.
2. Es importante notar que al obtenerse las corrientes de enlace I_5 , I_6 e I_7 se ignoran las primeras cuatro ecuaciones. Obviamente, si regresamos a dichas ecuaciones, la propia substitución de las corrientes de enlace en cada una de ellas, establecerá en el miembro derecho de cada una de las ecuaciones citadas, un valor diferente de cero.
3. Aquí introduciremos el concepto de fuentes de voltaje en cada una de las ecuaciones citadas. Esto significa que tendremos una fuente de voltaje establecida en la falla para producir las corrientes calculadas en la red.
4. Sin embargo, con solo este voltaje, no obtendríamos las corrientes ya calculadas como las tenemos. Como se ilustra en la Fig II-7, no sólo ese voltaje actuaría, sino que se tendrá que tomar en cuenta una fuente de voltaje para cada uno de los tres enlaces de falla, que lleven corriente cero para que conserven a las corrientes en los enlaces en ese valor y así en el sistema de ecuaciones, las corrientes calculadas permanezcan con el valor determinado.
5. La conclusión desentrañada es que las corrientes de red, han sido determinadas para las fuentes de voltaje E^{11} , E^{12} , E^{13} , E^{14} mostradas en los cuatro enlaces de falla en la figura II-8. El primer subíndice indicará el nodo en el cual existe la falla, y el segundo indica el enlace de falla donde la fuente de voltaje

FIG II-7 CIRCUITO DE SECUENCIA POSITIVA, MOSTRANDO LOS BUSES DE REFERENCIA EN LA DETERMINACION DE LOS VOLTAJES DEL SISTEMA

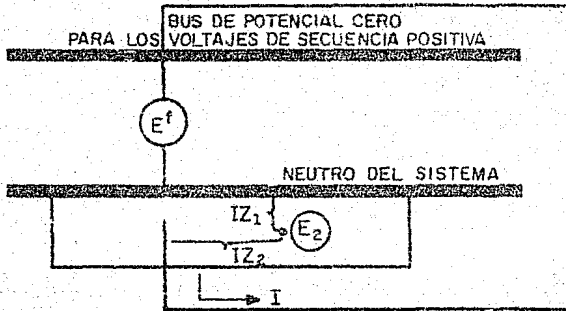
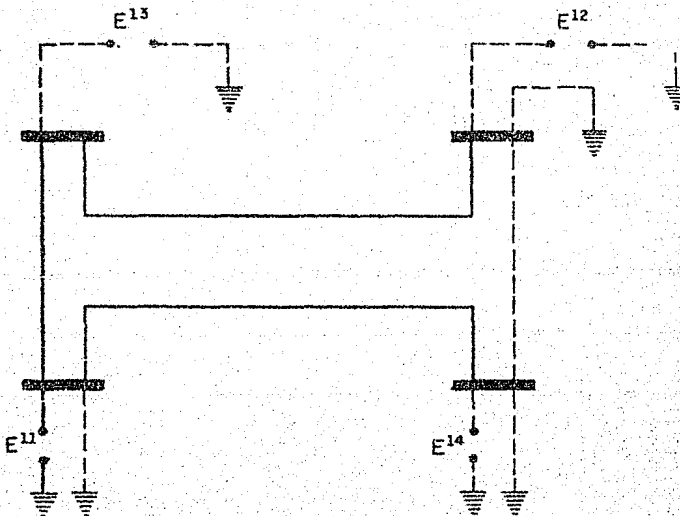


FIG II-8 EL SISTEMA ILUSTRATIVO MOSTRANDO LAS FUENTES DE VOLTAJE EN CADA ENLACE DE FALLA



existe. Es claro que para el cálculo de otros nodos, taniéndo se la corriente apropiada de falla igual a $(1 + j 0)$ con las demás corrientes de enlace puestas en cero. Para una falla en el nodo 2, se tiene:

$$\begin{bmatrix} I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} Z_{11} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Z_{52} \\ Z_{62} \\ Z_{72} \end{bmatrix}$$

II - 36

6. El valor de cualquiera de estas fuentes de voltaje puede determinarse substituyendo los valores de todas las corrientes en la ecuación apropiada y computando el miembro del lado derecho que será necesario para balancear la ecuación. En el caso de calcular E_{21} E_{22} etc. los valores de las corrientes obtenidas por la ecuación (II-36) serán substituidos en la primera y segunda ecuación del grupo.

El cociente del voltaje equivalente de la fuente en la falla E_f , al calculado E_{21} ó E_{22} , es el factor deseado para las correcciones posteriores de las corrientes.

7. Una vez que las corrientes de malla para una falla en algún determinado nodo han sido obtenidas, la transpuesta de la matriz T es utilizada para obtener las corrientes de rama. Debemos recordar que la matriz T existe en la memoria de la computadora, debido a que fue necesario la formación de esta matriz para la obtención de los coeficientes de las ecuaciones 6.

D) CALCULO DE LAS CORRIENTES Y VOLTAJES DE UN NODO DETERMINADO BAJO FALLA, CON LINEAS FUERA.

El método directo para el cálculo de una falla de cualquier nodo bajo falla, teniendo alguna de las líneas de la red removida, involucraría dibujar una nueva red, es decir, sería necesario obtener aquella que resultará de remover a dicha línea. Esto se logra al determinar la corriente de falla con el interruptor más próximo, abierto.

Pero procediendo en la forma anterior, se tendría que prever la selección de una nueva matriz de conexión ligada consecuentemente a la matriz de coeficientes. Existirá la dificultad de establecer a esta nueva matriz de conexión; para un nuevo árbol de red, aunque una de las corrientes independientes, ya no se tomaría en cuenta para la matriz de coeficientes, no obstante que la rama removida no fuera un enlace.

Existiría también la alternativa de asignar un alto valor de impedancia para la línea seleccionada para removerla, pero también se requeriría de una nueva matriz de coeficientes preparada para la inversión de la submatriz del sistema simplificado. Aunado a esto, se deberían de considerar los cambios que se efectuarán en la matriz de coeficientes debidos a solo una impedancia muy grande; estos cambios podrían ser tales, que arrojarían duda de la exactitud de los resultados obtenidos de esta forma.

Lógicamente lo que esperamos es, obtener un método en donde la geometría de la red, sea inalterada y donde la inversión de la matriz usada anteriormente, sea todavía aplicable.

La idea proviene de que si la línea fuera de hecho removida, existiría un determinado voltaje con la línea por remover y ésta estuviera conectada de nuevo a la red. El problema inmediato es conocer qué voltaje cambiaría la corriente en esa línea a cero sin remover la línea, aunque se tendría el mismo efecto de que si la línea estuviera fuera.

Suponiendo en la red de la Fig II-7, que el nodo 1 estuviera bajo falla pero ahora con la línea 9 fuera. Con una corriente de falla de $(1 + j 0)$ en el enlace 1, la corriente obtenida en la rama 9 es $- 0.296424 + j 0.046052$.

Al insertar el generador de voltaje E_{s9} en la misma línea 9, produciríamos una corriente opuesta e igual a la calculada anteriormente, para que la corriente de línea fuera cero. Aunque la impedancia de impulso de corto circuito, medida en los nodos adyacentes 1 y 4 no será conocida, el cálculo del voltaje E_{s9} puede efectuarse.

El procedimiento utilizado para encontrar las corrientes I_5 , I_6 e I_7 cuando el nodo 1 bajo falla, obliga a las corrientes de enlace I_2 , I_3 e I_4 mantenerse en cero con la línea 9 fuera, para las últimas tres ecuaciones del grupo (6).

$$\begin{aligned} (1.127 + j 1.752) I_1 + (6.336 + j 9.630) I_5 + (1.545 + j 2.955) I_6 \\ + (4.8015 + j 6.454) I_7 &= 0 \\ (1.127 + j 1.752) I_1 + (1.5345 + j 2.955) I_5 + (2.548 + j 5.337) I_6 \\ + (-1.0135 - j 2.278) I_7 &= + E_{s9} \\ (0) I_1 + (4.8015 + j 6.546) I_5 + (-1.0135 - j 2.278) I_6 \\ + (7.517 + j 11.177) I_7 &= - E_{s9} \end{aligned} \quad \text{II - 37}$$

La fuente de voltaje E_{s9} aparece solamente en las últimas dos ecuaciones debido a que la corriente de malla 5 no fluye a través de la rama 9. La computadora al tener en memoria la matriz $C^T \beta \psi$ que muestra cuales de las mallas son cerradas por medio de la rama 9, automáticamente localizará apropiadamente a el voltaje E_{s9} .

Si la corriente de falla en el enlace 1 es $(1 + j 0)$; las ecuaciones escritas matricialmente como en las ecuaciones serán:

$$\begin{bmatrix} Z_{51} \\ Z_{61} \\ Z_{71} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{11} \\ \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E_{s9} \\ -E_{s9} \end{bmatrix} \quad \text{II - 38}$$

Para las corrientes I_5 , I_6 e I_7 .

$$\begin{bmatrix} Z_{LL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} Z_{51} \\ Z_{61} \\ Z_{71} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ E_{S9} \\ -E_{S9} \end{bmatrix} \quad \text{II - 39}$$

$$\begin{bmatrix} I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} Z_{LL} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Z_{51} \\ Z_{61} \\ Z_{71} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{LL} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ E_{S9} \\ -E_{S9} \end{bmatrix} \quad \text{II - 40}$$

Analizando el miembro de mano derecha, se tiene que el primer elemento de la suma, nos dará los valores que se obtenían para las corrientes de enlace, pero sin considerar ninguna línea removida. Estos valores originalmente obtenidos, los representaremos por los símbolos I_{50} , I_{60} e I_{70} . Los términos que se obtendrán de el producto matricial representado por

$$+ \begin{bmatrix} Z_{LL} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ E_{S9} \\ -E_{S9} \end{bmatrix} \quad \text{II - 41}$$

pueden considerarse como las correspondientes correcciones a las soluciones originales necesarias para mostrar el efecto de quitar una línea. Utilizando la inversa de la matriz de coeficientes ya calculada, se tendrá la representación del vector corriente de enlace con la línea 9 fuera.

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ I_{50} + (-0.022311 + j 0.044142) E_{S9} \\ I_{60} + (0.080700 - j 0.175774) E_{S9} \\ I_{70} + (-0.009047 + j 0.005169) E_{S9} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ I_{50} \\ I_{60} \\ I_{70} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ (-0.022311 + j 0.044142) E_{S9} \\ (0.080700 - j 0.175774) E_{S9} \\ (-0.009047 + j 0.005169) E_{S9} \end{bmatrix}$$

Las corrientes de rama de la red, pueden calcularse de las corrientes de enlace por medio de la multiplicación del vector de corriente de enlace por la matriz $C^T \psi \beta$. De la matriz de conexión propia de la red, la hilera apropiada de $C \psi \beta$ para obtener I_9 es 0, 0, 0, 1, 0, 1, - 1.

e I_9 será:

$$I_{60} - I_{70} + (0.089747 - j 0.180943) E_{S9} \quad \text{II - 43}$$

I_9 debería ser cero, puesto que la línea está afuera. Además los términos $(I_{60} - I_{70})$ necesariamente producen el valor original de I_9 .

$$\begin{aligned} I_{60} &= - 0.29280 + j 0.046050 \\ I_{70} &= + 0.0036223 - j 0.000002466 \end{aligned} \quad \text{II - 44}$$

De donde la anterior ecuación será:

$$(0.089747 - j 0.180943) E_{S9} = 0.296424 - j 0.046052 \quad \text{II - 45}$$

De la cual E_{S9} puede ser calculado. Ahora los valores numéricos para las corrientes de enlace con la línea 9 fuera, son obtenidas substituyéndolos en la ecuación y sumando este resultado a las corrientes originales de enlace.

Al determinar los voltajes modales, es necesario considerar el generador de voltaje, que ha sido añadido a la línea en serie, con las caídas $I Z$ que serán obtenidas por substitución de los valores de corrientes de enlace en la hilera de ecuaciones II-24.

CAPITULO III

PROGRAMA DE APLICACION DE METODOS TOPOLOGICOS

El análisis de mallas tendrá fundamentalmente la finalidad de establecer las ecuaciones de equilibrio para una red considerada; a partir del sistema de ecuaciones se podrán determinar las corrientes en todas las ramas de la red; sin embargo el análisis de mallas exige una selección cuidadosa de las corrientes de malla, esa selección estará dirigida por la información especificada en la matriz.

La matriz de conexión, específica completa y unívocamente el modo en el cual están interconectadas las diversas ramas para formar un conjunto de mallas independientes, permitiendo el cálculo de los voltajes nodales a través de las combinaciones apropiadas de voltajes de rama. La transpuesta de la matriz de conexión se conoce como matriz de transformación, la cual contiene la relación directa de las corrientes individuales de rama, en términos de las corrientes de malla independientes.

Uno de los principales obstáculos en la utilización del análisis de mallas reside en la dificultad del establecimiento de la matriz de conexión o la respectiva matriz de transformación. El método de obtención de la matriz de transformación más usual, requiere del concepto topológico de un árbol de red, el cual permitirá sistemáticamente la selección de las variables independientes. El método anterior fue empleado por Byerly y Long, y para su empleo recurre a la identificación previa de ramas de árbol y enlaces; de allí, se procede a generar a la matriz de transformación cerrando un enlace de malla para cada ocasión, trazándose así la malla formada, además se registrarán las polaridades de las ramas acometidas en el trazo.

En este capítulo se describe el programa de Byerly - Long y el sustentante ha pretendido preparar el enlistado del programa mencionado tomándose como guía la descripción de las operaciones lógicas del método. El programa original existe en el Analytical Department of Westinghouse (Pittsburg, Pa).

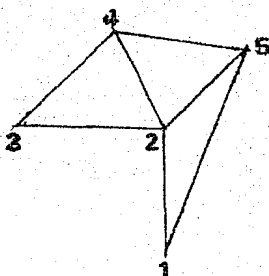
A) TOPOLOGIA DE REDES MATRIZ DE TRANSFORMACION

Desde el punto de vista topológico, una red consta de n nodos que están interconectados, de un cierto modo, en parejas, por S ramas. Si partimos de un nodo cualquiera, es posible, ordinariamente en un cierto número de caminos posibles, atravesar ramas adyacentes y regresar al nodo de partida. Este camino cerrado formado por ramas de red se denomina malla. Supondremos que la red está conectada, es decir, que es posible viajar de un nodo cualquiera a lo largo de las ramas de la red.

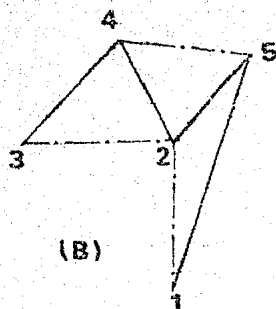
Para describir la estructura geométrica de una red, se reemplazan componentes, por segmentos lineales que no se refieran a las características de las componentes. Estos segmentos se designan como elementos y sus terminales como nodos.

En la gráfica se mostrará la interconexión de los elementos de una red. Subgráfica será cualquier subgrupo de elementos de la gráfica. De esta forma, una trayectoria es aquella subgráfica de elementos conectados con no más de dos elementos conectados a cualquier nodo.

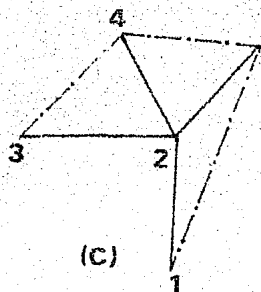
ARBOL. Es una gráfica conectada, que contiene a todos los nodos de una gráfica, pero sin que haya ninguna trayectoria cerrada. Es decir, un conjunto de ramas que tiene la propiedad de estar conectado a todos los demás nodos (directa o indirectamente), y tal que si eliminamos una sola rama cualquiera se pierde esta propiedad. Ahora bien, los nodos de una red pueden estar interconectados por más de un camino, es decir, cada red tiene más de un árbol. En el Esq. A se muestra una red sencilla de 5 nodos y 7 ramas y en las figuras adjuntas se muestran dos árboles posibles



ESQUEMA A



(B)



(C)

ESQUEMAS B y C

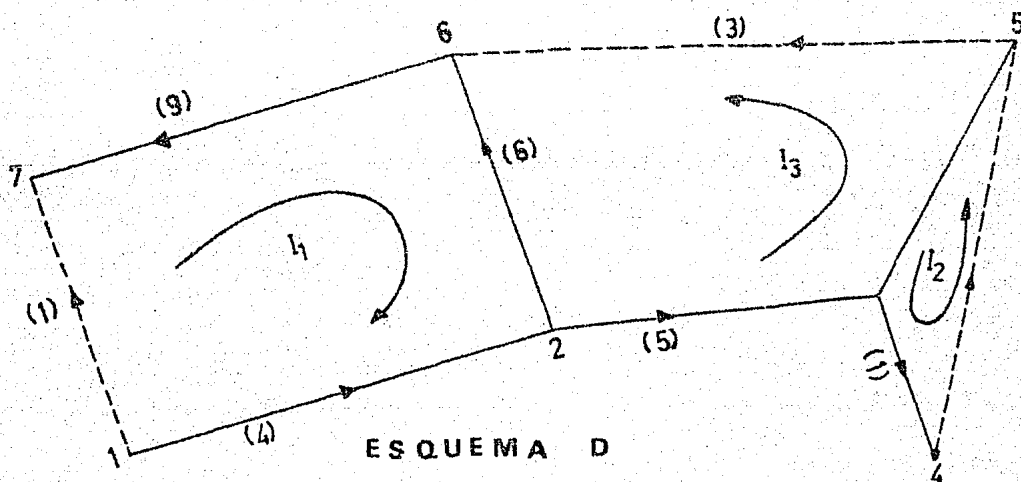
Un árbol completo puede formarse comenzando con una rama cualquiera y añadiendo una segunda a ésta, con el objeto de moverse hacia un tercer nodo; de uno de estos tres nodos seleccionados una tercer rama a lo largo de la cual podemos movernos a un cuarto nodo, y así sucesivamente hasta que hemos alcanzado todos los nodos. Por tanto, es evidente que un árbol completo contiene $n-1$ ramas, que se llaman ramas en árbol, donde n es el número de nodos de la gráfica.

COÁRBOL O ENLACE. Aquellos elementos de la gráfica conectada, que no están incluidos en el árbol se designan como enlaces; esta subgráfica no está conectada necesariamente, los coárboles correspondientes a los dos árboles de los Esqs. B y C aparecen en ellas con una línea interrumpida. Es precisamente la presencia de estas ramas fuera de árbol la que produce las mallas de una red o, en el caso de una red eléctrica, la que hace posible la circulación de las corrientes, al través de una trayectoria cerrada. Cada rama de un determinado coárbol determinará unívocamente una malla que consta de esta rama, junto con aquellas ramas del árbol completo correspondiente que conectan los nodos a sus terminales. Para una red eléctrica, si se conocen las corrientes de una malla de un conjunto de mallas independientes, entonces todas las corrientes de rama $b = n - 1$ quedan unívocamente determinadas. Siendo 1 el número de mallas independientes. Entonces, evidentemente, $L = b - n + 1$, ya que L es igual al número de ramas enlace en el coárbol. Como las ramas fuera de árbol terminan unívocamente un conjunto de mallas independientes, se llaman frecuentemente ramas independientes.

Guillemin ha señalado que existirán solamente L corrientes independientes en una red, siendo L el número más pequeño de corrientes en

términos de los cuales las ramas restantes pueden estar expresadas.

La correspondencia entre las corrientes de enlace y las corrientes de malla se muestra en el Esquema D. En el cual, las corrientes positivas asumidas fluyen desde un nodo de baja numeración al nodo de alta identificación numérica, como aparece en cada rama de la red del esquema D.



Existen por consiguiente tantas ecuaciones como mallas identificadas a la relación de la transpuesta de la matriz de conexión, la cual definiremos como matriz de transformación.

Para la matriz de conexión, una fila determinada contiene elementos distintos de cero solamente para aquellas posiciones en las cuales los números de columna correspondan a las ramas que forman parte de esa determinada malla.

B) PROGRAMA DE DETERMINACION DE
LAS RAMAS DE ENLACE Y LAS RA
MAS DEL ARBOL

El método topológico efectuado por Byerly Long para obtener la matriz de transformación requiere la definición de la geometría - de la red considerada en términos de un árbol seleccionado y los enlaces.

El programa utilizado por la computadora, no considera la complejidad de la red para seleccionar las ramas del árbol y los enlaces, de acuerdo a la renumeración.

Como un paso preliminar, han de presentarse primeramente . todas las ramas clasificadas dentro de un enlistado ordenado, donde cada rama estará designada por sus nodos terminales. El registro de las polaridades de cada una de las ramas, se tendrá mediante la asignación de un sentido positivo de circulación de la corriente, si esta se dirige desde un nodo de menor valor hacia otro de valor comparativamente mayor.

La separación de las ramas se basará de acuerdo a la presentación ordenada del enlistado de las ramas de la red (Tabla 1). Este ordenamiento preliminar mostrará agrupamientos para cada nodo inicial común, definiéndose su lugar en el enlistado por el orden ascendente comparativo en el que se sucedan los valores de los respectivos nodos finales de las ramas: obteniéndose en esa forma agrupamientos ordenados, que emanan desde cada uno de los nodos iniciales comunes 1, 2, 3, 4, etc.

El flujo utilizado en las proposiciones del programa aplicado a obtener las ramas de árbol y enlace se presente por el diagrama mostrado en la Fig III-2 Las tablas respectivas a la selección mencionada será la siguiente: la tabla 2, estará formada por las ramas de co árbol o enlace y la tabla 3 incluirá a las ramas del árbol escogido, la tabla 4 - auxiliar utilizada para establecer el orden en que son examinados sucesivamente los nodos.

Empezaremos por diferenciar el proceso utilizado para las ramas procedentes del agrupamiento de ramas que emanan del nodo 1, por lo cual serán definidas como ramas de árbol, enlistadas para la tabla 3; a menos de que se cumpla la condición de paralelismo entre dos ramas sucesivas, es decir que perteneciendo a este agrupamiento coincidan en un mismo nodo final. Esta condición de paralelismo demostrará que la segunda de las ramas examinadas cierra una determinada malla, definiéndose en esa forma como enlace, enlistado en la tabla 2.

Es importante la identificación de las ramas efectuada por la designación respectiva referente a los nodos de conexión, es decir el nodo inicial de partida de una rama NIT1, y el nodo final NFT1.

Las ramas de árbol establecidas emanan del nodo común uno, y se conectarán a dos o mas nodos finales distintos, a lo largo de los cuales podremos movernos hacia los nodos que no han sido conectados aun - seleccionando las ramas que nos permitan alcanzar a todos los nodos de la red. Ahora bien, la tabla auxiliar 4 estará formada inicialmente por los nodos finales de las ramas de árbol provenientes del nodo uno, considerándose un debido ordenamiento para examinar las ramas que han de determinar las alternativas de trayectoria posibles.

El examen realizado para el primer valor de la tabla 4 se realiza sucesivamente para todas las ramas de la red, excluyendo las ramas clasificadas. La función de dicho examen es la de encontrar la incidencia del valor tomado, para cualquiera de los nodos de conexión que designan a cada rama y se realizará posteriormente respecto a otro valor consecutivo de la tabla.

En el caso de que una determinada rama verificara incidencia en alguno de sus nodos terminales respecto a un valor "y" considerado para la tabla auxiliar,

$$\text{NIT1} = x \text{ NFT1} = "y"$$

$$6 \text{ NIT1} = "y" \text{ NFT1} = x$$

Desde el momento en que indagamos la incidencia de cada una de las ramas con el objeto de examinar la trayectoria posible que se tenga para un tercer nodo terminal. Entonces se presenta una pregunta condicional respecto al valor "y" adjunto a un valor x incidente al valor considerado para la tabla 4. Esa pregunta es la siguiente: ¿Dicho valor "y", se encuentra actualmente asignado entre los valores de la tabla auxiliar? ¿o no se encuentra?.

La respuesta negativa nos indica la imposibilidad de cierre de una malla, puesto que el nodo "y" no se encontró entre los valores asignados de la tabla 4. En vista de esto, la rama de árbol determinada será impresa por la designación de sus nodos dentro de la tabla 3; además el valor "y" habrá de encontrarse ordenadamente impreso como el último valor asignado para la tabla auxiliar.

En el caso de una respuesta afirmativa de la pregunta anterior, la lógica del programa exige determinar la posición comparativa entre el valor "y" del nodo terminal de la rama respecto de la posición ocupada por el valor x asignado en la tabla 4. La posición comparativa señalada se refiere a determinar si la posición del valor y, es anterior o posterior a la posición que se encuentre ocupando x.

Si fuese anterior la posición de "y" respecto a x, significará que dicha rama, ya ha sido clasificada anteriormente. Por otro lado, si la posición fuera posterior, se tendrá la seguridad de que la rama examinada obtenga una trayectoria cerrada, por lo cual estará clasificada dentro de la tabla 2.

Después de verificarse la conclusión del examen para un valor de la tabla auxiliar, para proseguir a la asignación del valor siguiente de esa tabla. Otro tipo de verificación que será necesario efectuar, se refiere a investigar la conclusión de haber utilizado el último de los valores nodales de la tabla auxiliar.

Al haberse efectuado la conclusión señalada, la columna correspondiente a la numeración de ramas de enlace sufre una reenumeración conveniente iniciándola con las ramas de la tabla 2 para después proseguir

a renumerar las ramas de la tabla 3. Esta renumeración obtenida se compila, como la tabla 5.

Considerando la red mostrada en la Fig. III-1 se realizó una identificación previa de las líneas, de acuerdo a la primera columna, de izquierda a derecha. Posteriormente el programa correspondiente renumera estas líneas, acordemente con las Tablas 2 y 3; como aparece en la tercera columna.

Identificación previa de líneas	Identificación de nodos terminales.	Renumeración de Líneas.
12	1 4	9
1	1 6	10
13	1 9	11
16	1 9	1
14	1 10	12
10	2 4	13
5	2 5	16
2	2 6	3
17	2 6	4
3	2 7	6
9	2 10	5
7	3 8	17
8	3 10	14
11	4 9	2
4	5 7	7
6	5 8	8
15	7 10	15

C) PROGRAMA DE FORMACION DE LAS CO
LUMNAS DE LA MATRIZ DE TRANSFOR
MACION

El procedimiento del programa efectuado por Byerly Long para la formación de la matriz de transformación se inició mediante la selección de árbol escogido para una red eléctrica; esa selección la realizará la computadora al obtenerse dos tablas de separación entre ramas de enlace y las ramas de árbol.

Existe una reducción en el problema de formar secuencialmente las columnas de la matriz de transformación; esta es debida al preverse en la formación de la matriz; la correspondencia de 1 - 1 entre la relación de los enlaces y las mallas básicas pertenecientes a las primeras columnas; en esa forma se constituirá una submatriz de identidad.

Los metodos topológicos necesarios en la formación de las columnas restantes, fuera de la submatriz de identidad, han sido considerados por Ernst Guillemin y parten fundamentalmente de los siguientes conceptos:

a) La ley de corrientes de Kirchhoff establece que la suma de todas las corrientes en cualquier nodo será cero. Esta ley es aprovechada por el procedimiento al obtener las tablas 6 y 7 correspondientes a la indagación realizada en los nodos para la incidencia respectiva de los enlaces y las ramas de árbol.

b) Cualquier corriente de rama, se expresa únicamente en los términos de una o más corrientes de enlace. Es decir, cada corriente de rama es un resultado de la sobreposición de las corrientes de malla.

Como se ha mencionado anteriormente, la ley de Kirchhoff es aprovechada en el procedimiento del programa para la obtención de las tablas 6 y 7, en donde se enlistarán las ramas de enlace o las ramas de árbol incidentes respecto a los nodos terminales de la red eléctrica. El diagrama de flujo de la sección correspondiente en el programa para ese ob

jeto, se encuentra en las figuras III-3 y III-4

El mecanismo de formación de los renglones de la tabla 6, - consiste en establecer una comparación sucesiva del contador de nodos NCT adyacente a la hilera, respecto al enlistamiento de los nodos terminales designados para cada rama de enlace correspondiente en la tabla 2. El mismo mecanismo se aplica en la formación de la tabla 7, aunque la comparación se efectúa para los nodos terminales correspondientes a las ramas del árbol considerado para la tabla 3.

El contador de nodos tomará el valor $NCT = IR + 1$ para la hilera IR de la tabla respectiva; de esa manera se omite al nodo 1 con el objeto de establecer las $(n - 1)$ relaciones posibles para las corrientes de rama independientes.

Es importante señalar, la importancia de tomar en cuenta - la convención de signo al efectuar la comparación mencionada con anterioridad, y es obtenida, anteponiendo el signo negativo a la rama enlace o rama de árbol, siempre y cuando se cumpliera incidencia entre NCT y el nodo final del par de nodos examinados, o el signo positivo en el caso de que fuera incidente el nodo inicial respectivo.

Para la constitución de la tabla 7 existirán menos de 2 - $(n - 1)$ ramas de árbol enlistadas y existe la posibilidad de que al menos un nodo considerado por NCT tendrá solamente una rama de árbol adjunta.

La obtención de la tabla 7, nos permitirá determinar para cada rama de árbol un respectivo limbo de ramas, es decir, la cadena de las ramas de árbol necesarias para expresarse en los términos de las corrientes de enlace; esto se deriva del concepto de que cualquier corriente de rama es el resultado de la superposición de determinadas corrientes de malla o del enlace respectivo.

El proceso anterior puede estar referido al ejemplo práctico de la red de la Fig III-1; con el objeto de establecer expresión de la corriente de la rama 7, al examinar al nodo 4 de la red.

$$-I_9 - I_{13} + I_2 = 0$$

Según la convención de signo, el signo negativo antepuesto indica que la dirección de la corriente se dirige hacia el nodo considerado, y el signo positivo indica que la corriente proviene del mismo nodo. De allí que:

$$1) I_9 = -I_{13} + I_2$$

Inmediatamente deducimos que para expresar a I_9 en los términos de las corrientes de enlace, será necesario incluir la definición de la corriente de rama I_{13} . Para esto, al examinarse al nodo 2 se establecerá

$$2) I_{13} + I_3 + I_4 + I_6 + I_5 + I_{16} = 0$$

mientras que el nodo 5 nos capacita para definir a I_{16} de la siguiente ecuación

$$3) -I_{16} + I_8 + I_7 = 0$$

La sustitución de las ecuaciones (2) y (3) para la ecuación (1) se tendrá

$$I_9 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8$$

Es claro que con objeto de expresar a I_9 en términos de corrientes de enlace, sería necesario incluir la definición de las ramas 13 y 16 en términos de las corrientes de enlace. El limbo correspondiente de ramas de árbol estará compuesto de las ramas - 9, - 13 y 16. Partiendo de la noción de limbo, se constituirá a la tabla 8. El diagrama de flujo correspondiente a la formación de esa tabla se encuentra en la Fig. III-5.

Es importante señalar que se presenta la identificación propia de la columna que se encuentre en proceso de formación para un correspondiente limbo de ramas, el cual se integrará dentro de un renglón determi

nado de la tabla 8.

Los limbos de ramas de árbol incluyen a una cadena de ramas provenientes de una determinada rama, la cual se habrá de expresar en términos de ramas de enlace que la definan.

Ahora bien, como sabemos, un renglón de la tabla 7 constituye a un grupo incidente de ramas referido a un nodo terminal. Si existiera más de una rama en ese grupo, la rama inmediata adyacente a la inicial, es posible localizarla en el inicio de otro grupo incidente para otro renglón de la tabla; se podría repetir el mismo proceso hasta que se cumpliera la correspondencia mencionada para un último grupo, en donde no existiría ninguna rama adyacente a la rama inicial. El procedimiento anterior incluiría a una cadena de ramas correspondientes al limbo de la primera rama en el primer grupo considerado.

El programa efectúa un procedimiento similar al anterior para la determinación de los limbos en la tabla 8. Para ello se realiza previamente un examen entre las hileras de la tabla 7, con la pretensión de encontrar al grupo incidente que se inicie con la rama de partida designada por el renglón de la tabla 8. El examen proseguirá con una búsqueda de correspondencia entre la rama inmediata a la rama de partida y todas las ramas enlistadas en las primeras columnas de la tabla 7; este proceso será continuado hasta que se cumpla la verificación de que se concluya el limbo formado.

En esa forma, el programa procede a determinar iterativamente los limbos de todas las ramas necesarias y es importante señalar que, la impresión podrá contener solamente a ramas que difieran en valor, evitándose las repeticiones.

Después de haberse obtenido los limbos de rama de árbol, se procede a obtener los nodos conectados para cada rama de árbol. Para esto, se buscará ordenadamente a cada rama del limbo para la tabla 3, la cual designa a las ramas por medio de los nodos que las conectan.

La tabla 9, definirá a cada limbo de ramas en términos de los nodos que conecten precisamente a las ramas del limbo correspondiente; es decir, se han de señalar únicamente los nodos, en donde se verifiquen las ecuaciones de corriente apropiadas mediante la aplicación de la ley de Kirchhoff.

Finalmente los limbos de nodos enlistados en la tabla 9 - permitirá efectuar una indagación respecto a la correspondencia entre los grupos de enlaces incidentes de acuerdo a los valores consecutivos enlistados en los limbos de nodos.

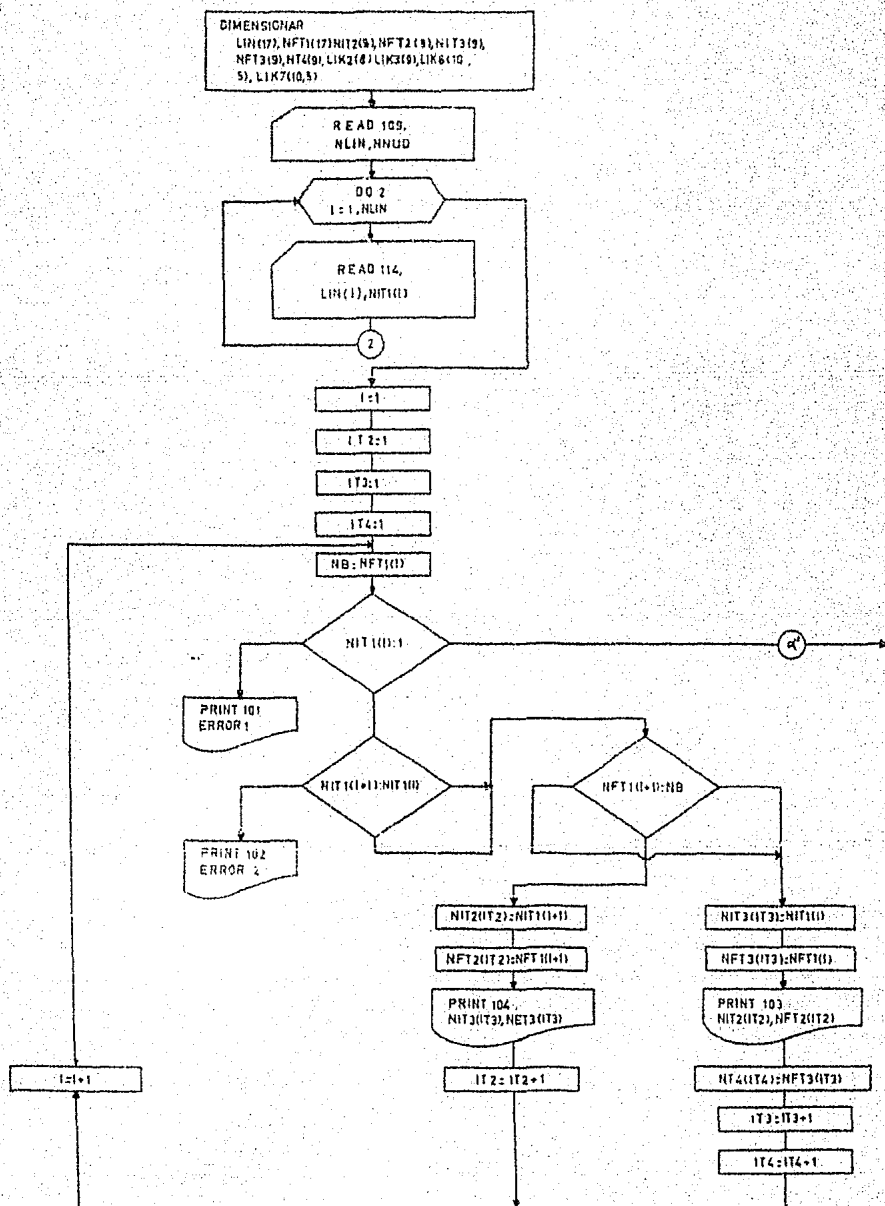
Como se recordará, los grupos de enlaces incidentes se encuentran enlistados en los renglones respectivos a cada nodo dentro de la tabla 6.

En el diagrama de flujo se han utilizado las siguientes abreviaturas de las variables.

VARIABLES UTILIZADAS EN EL PROGRAMA.

LIN	Número de líneas de que consta la red eléctrica.
NUD	Número de nodos de la red.
NIT1	Nodo inicial de donde emana una de las líneas enlistada en la Tabla 1.
NFT1	Nodo final de alguna de las líneas enlistadas en la Tabla 1.
LIK2	Rama enlace renumerada para la Tabla 2.
NIT2	Nodo inicial de proveniencia de una de las ramas-enlace renumeradas para la Tabla 2.
NFT2	Nodo final, o terminal hacia donde se dirige una de las ramas enlace renumeradas para la Tabla 2
LIK3	Rama independiente renumerada y perteneciente al árbol de red seleccionado.
NIT3	Nodo inicial de una de las ramas independientes.
NFT3	Nodo terminal de una de las ramas independientes.
NT4	Nodos examinados ordenados sucesivamente para la Tabla - auxiliar 4.
LIK6(,)	Grupos de ramas enlace incidentes a un nodo común, estos grupos son arreglados para la Tabla 6.
LIK7(,)	Grupos de ramas independientes, cumpliendo incidencia para un nodo común, arreglándose para la Tabla 7.
LBR8(,)	Limbo de ramas de árbol arreglados para la Tabla número 8.
N9(,)	Definición de limbo de ramas en términos modales.
MTZ(,)	Matriz de Transformación, formada iterativamente para cada una de sus respectivas columnas.

FIG. III-2 PROGRAMA DE DETERMINACION DE LAS RAMAS DE ENLACE Y LAS RAMAS DE ARBOL



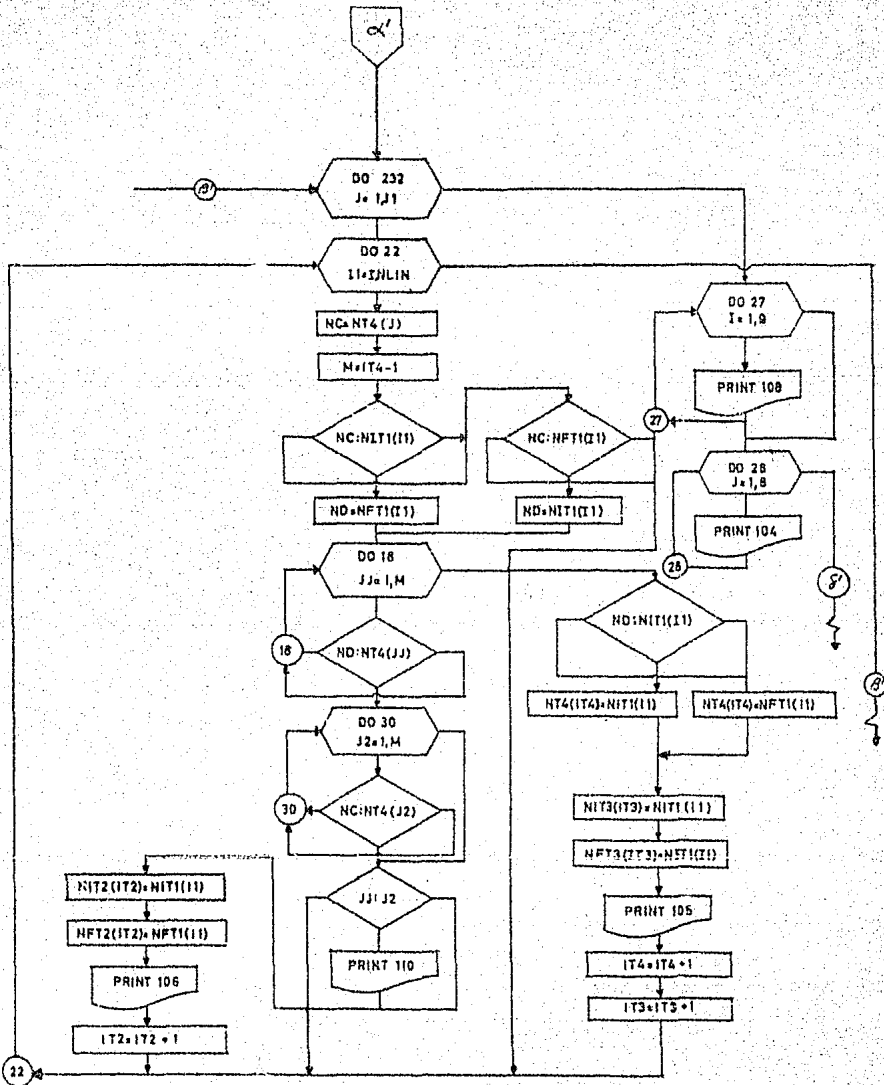


FIG. III-3 FORMACION DEL ENLISTADO DE LAS RAMAS ENLACE INCIDENTES
A LOS NODOS TERMINALES DE LA RED

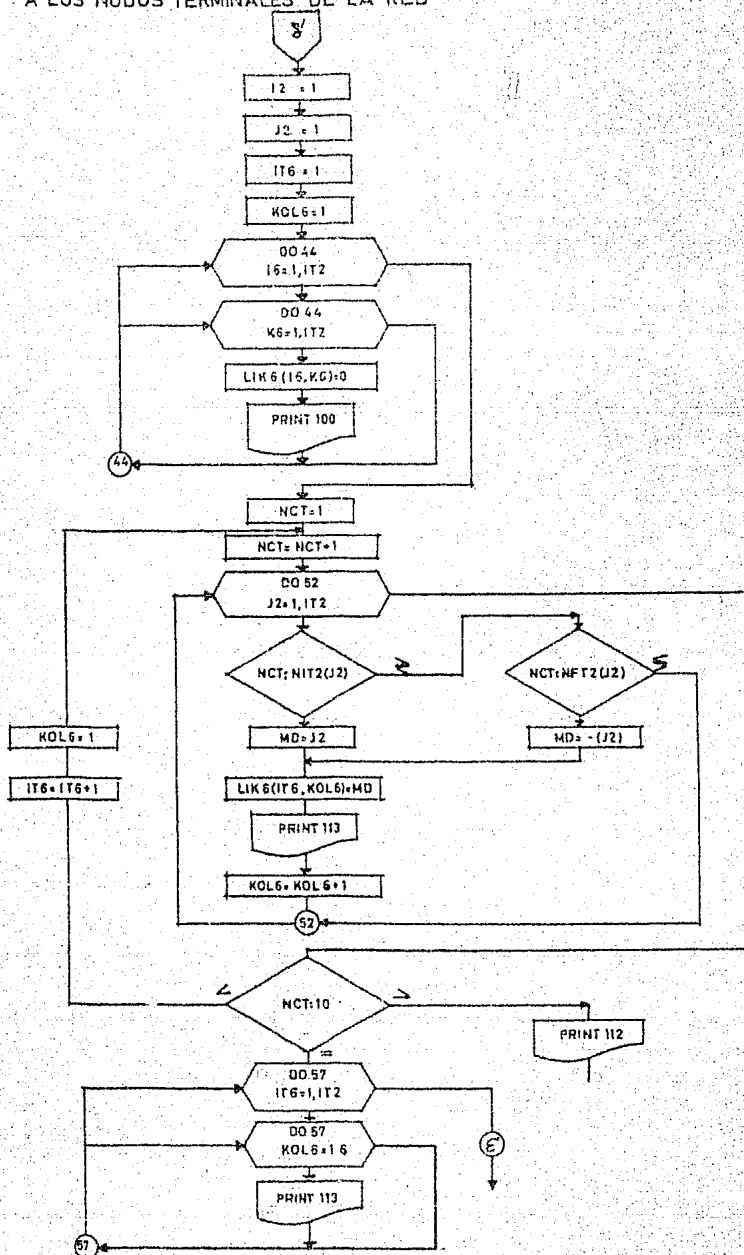


FIG. III-4- FORMACION DEL ENLISTADO DE LAS RAMAS DE ARBOL INCIDENTES A LOS NODOS TERMINALES DE UNA RED

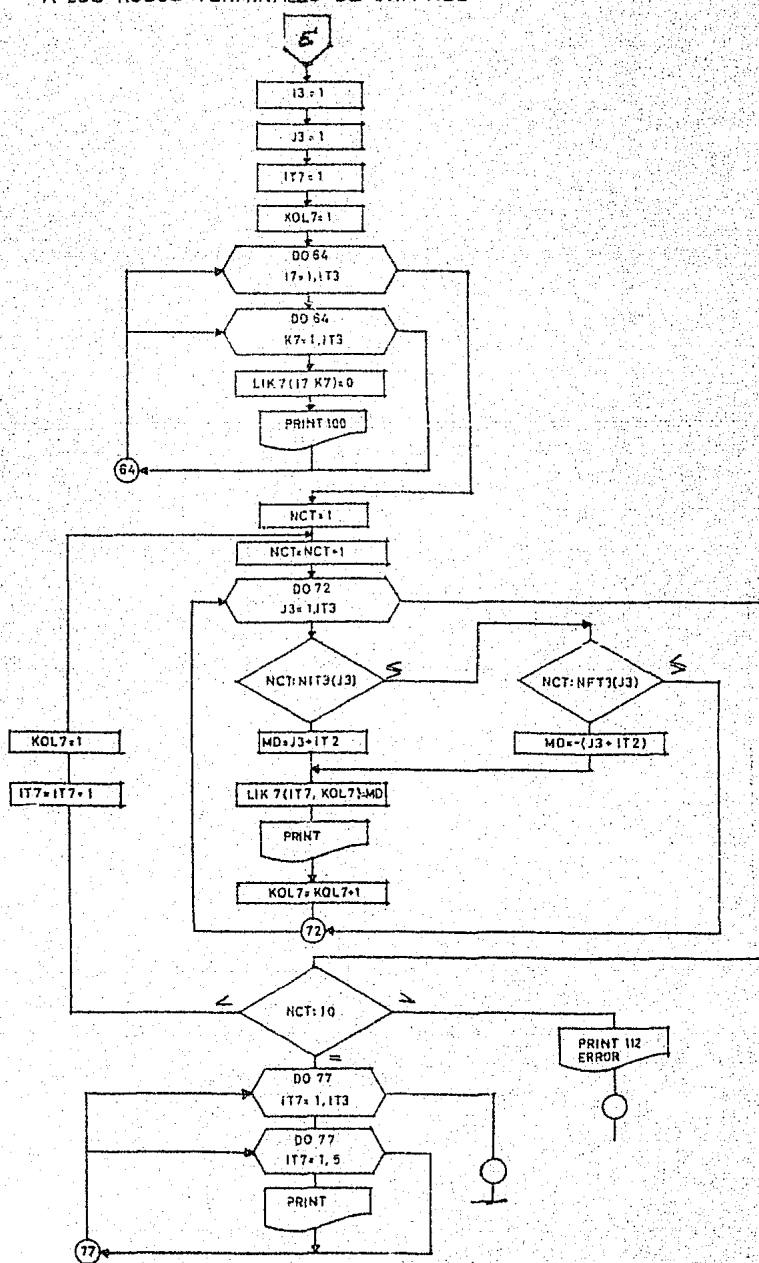
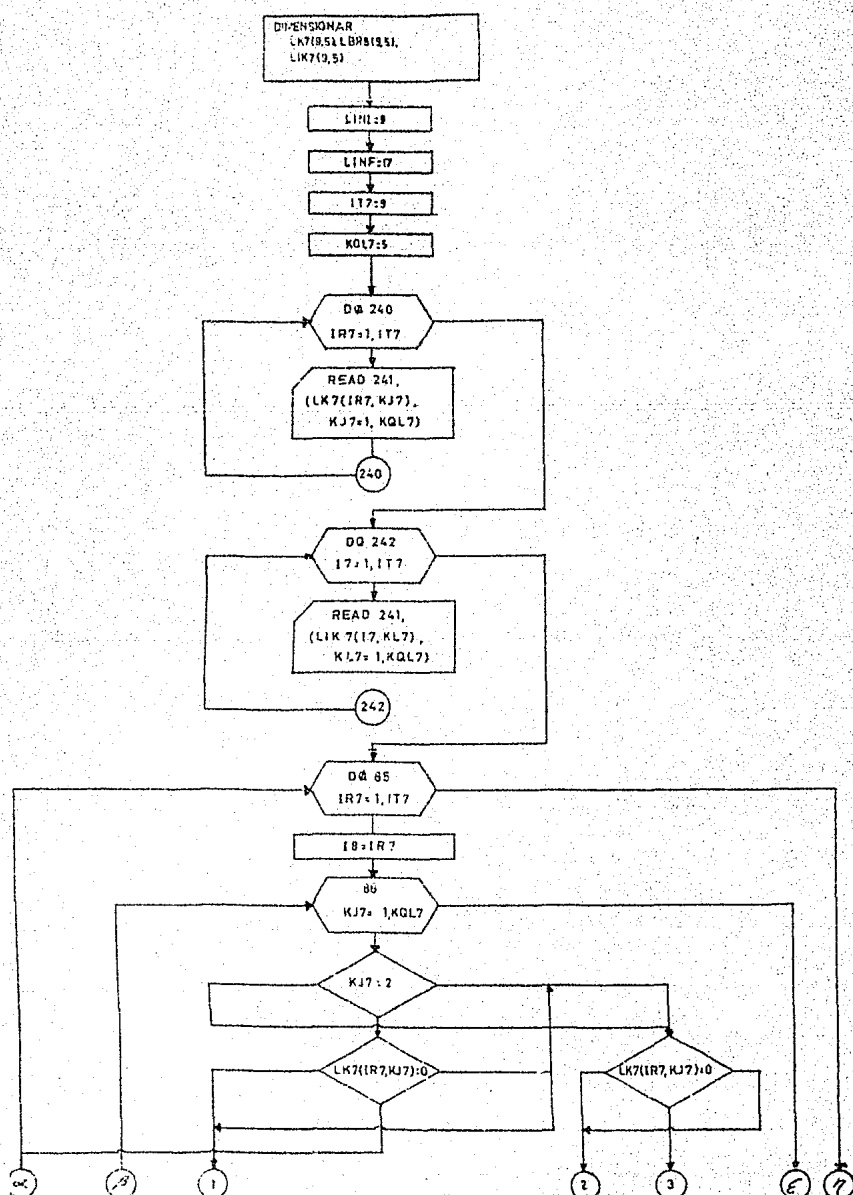
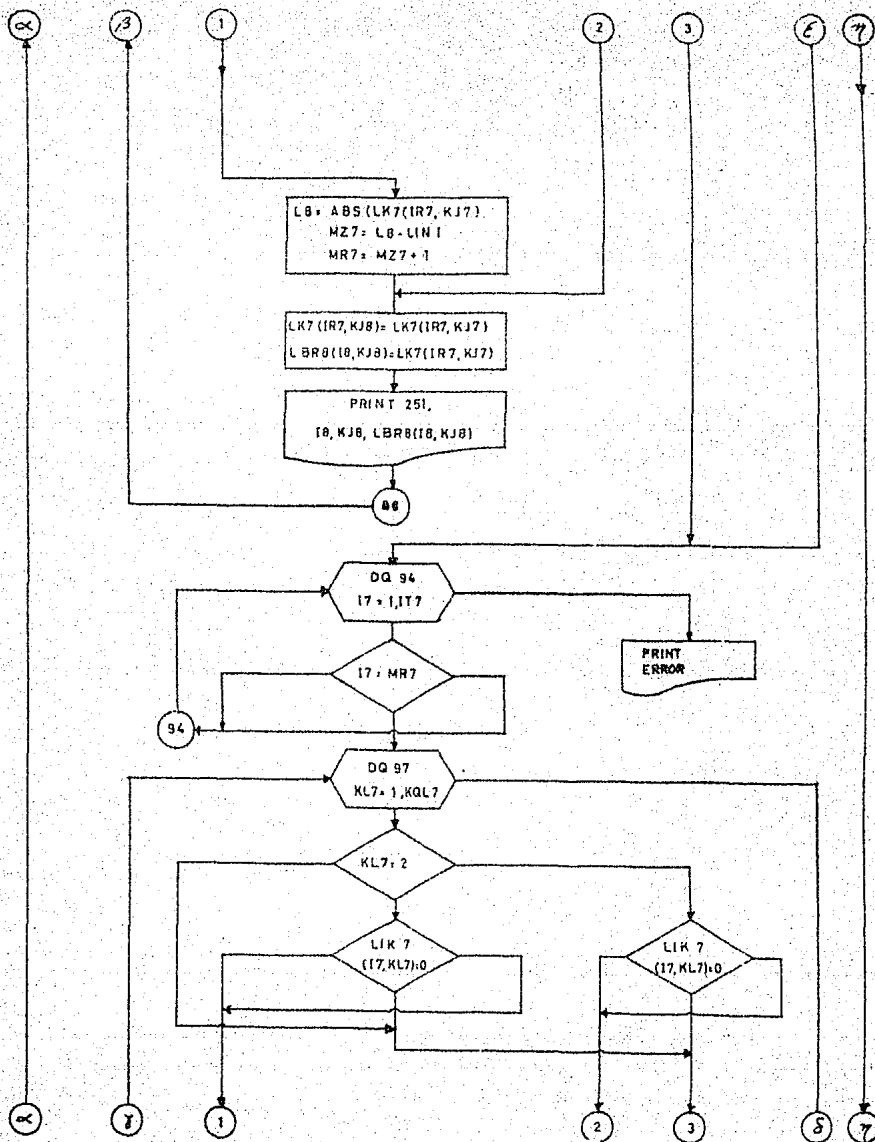


FIG. III-5 PROGRAMA DE FORMACION DE LAS COLUMNAS DE TRANSFORMACION





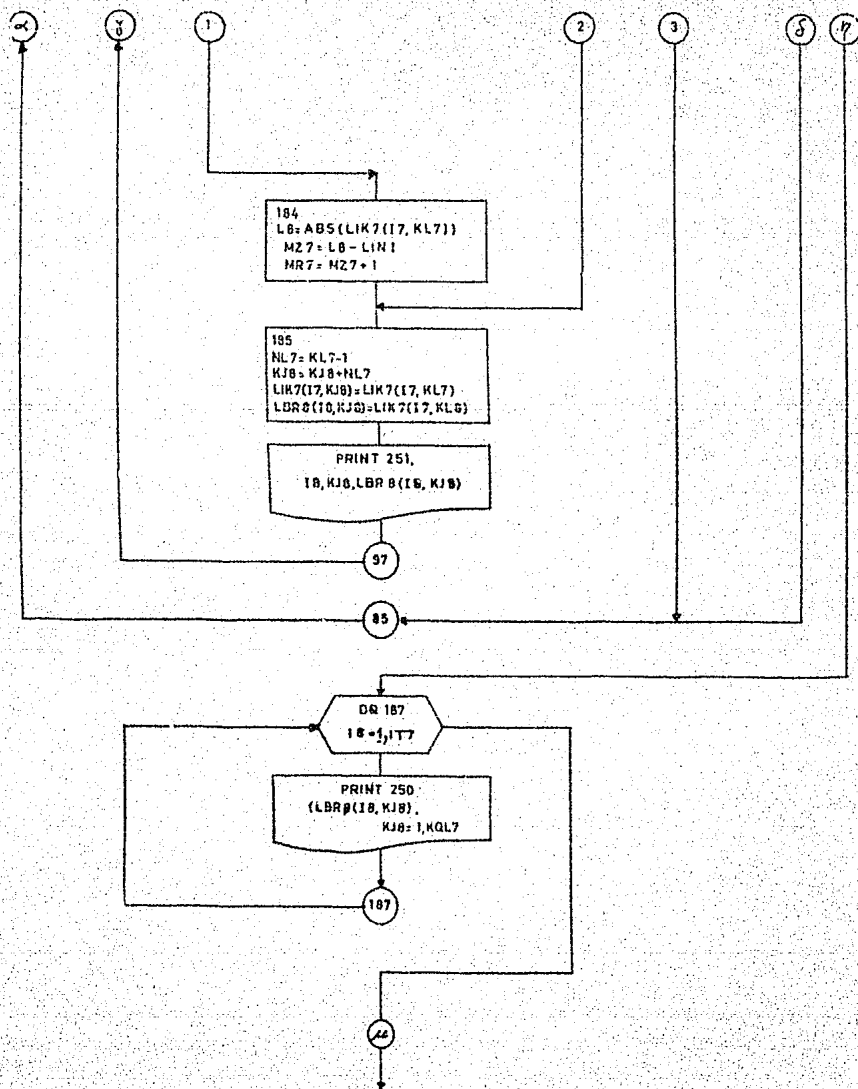
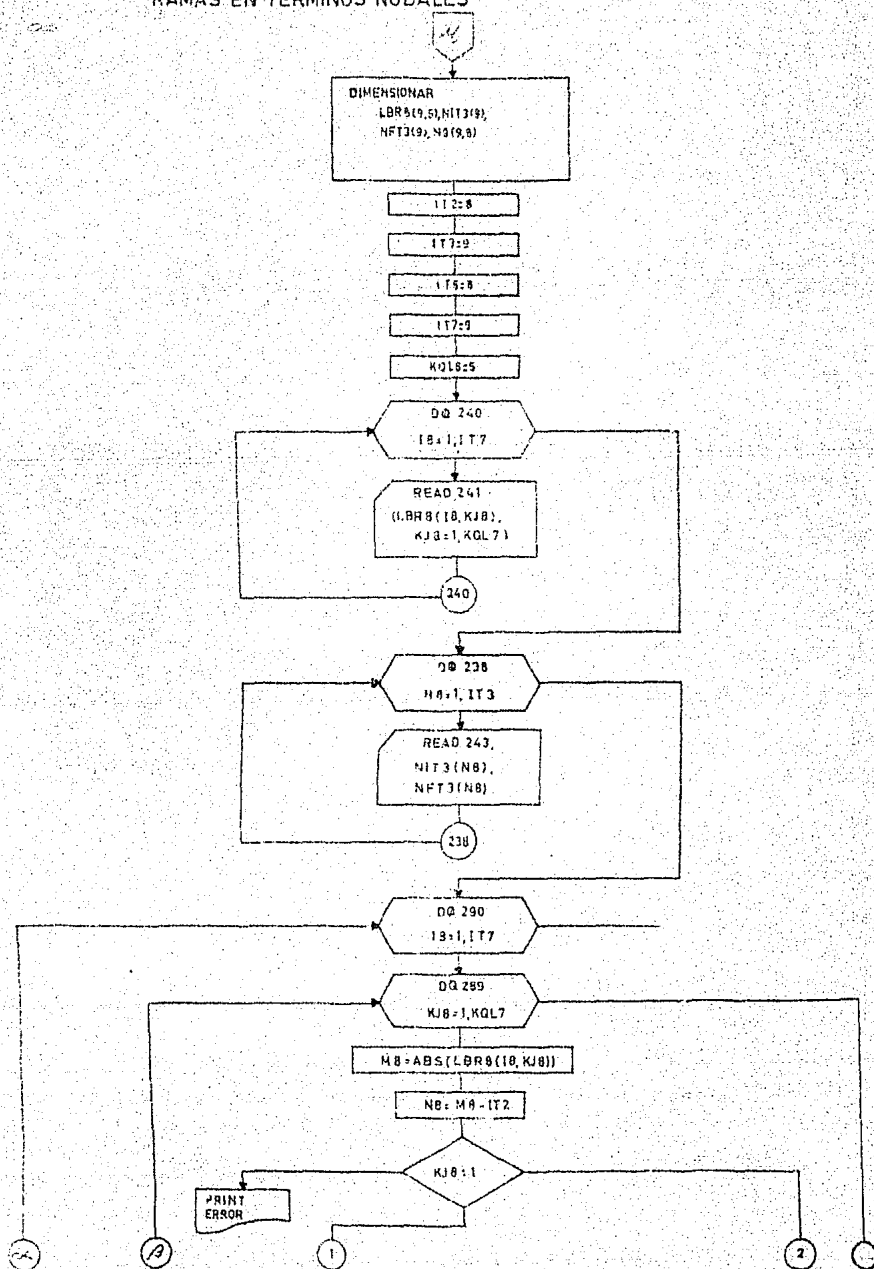
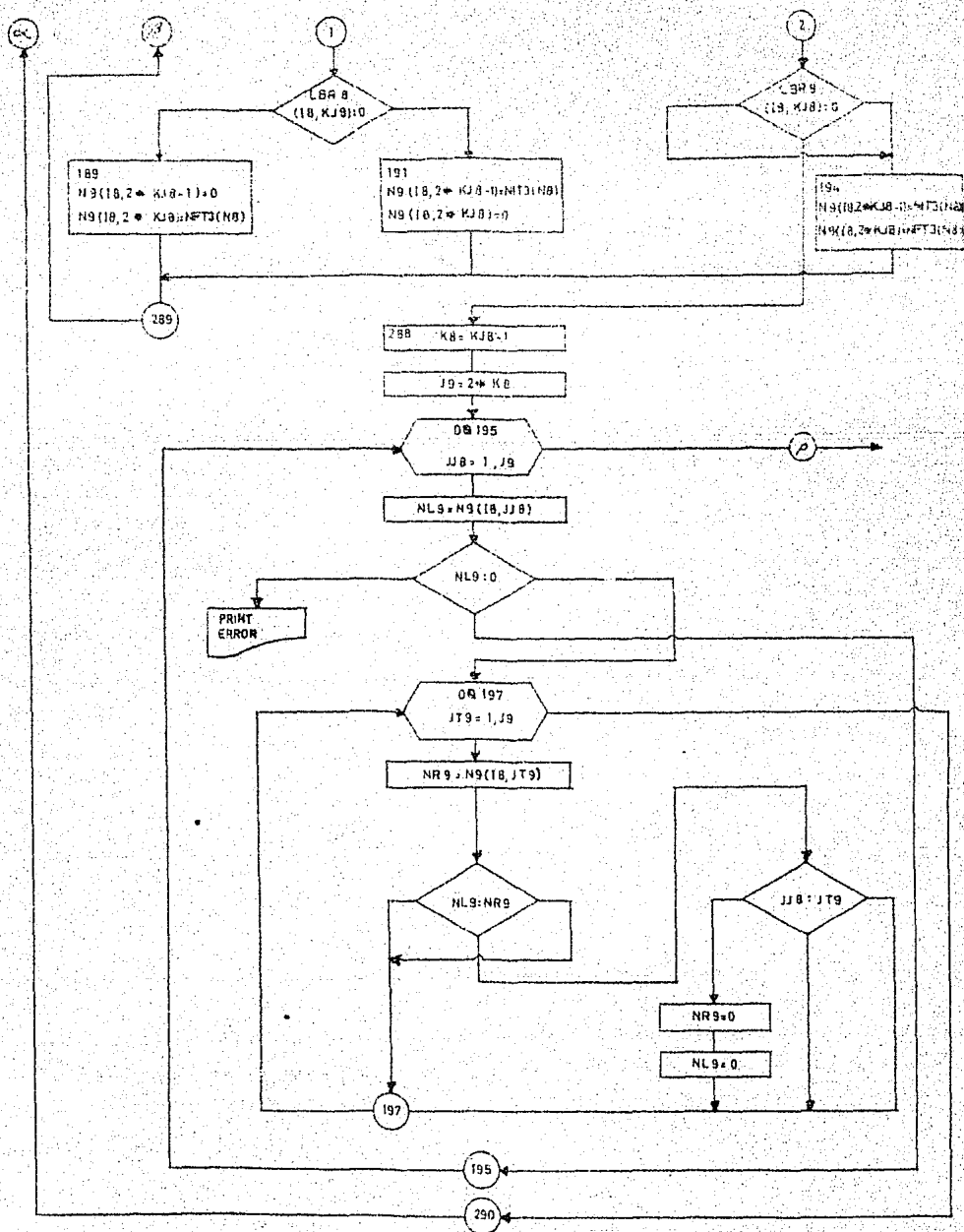
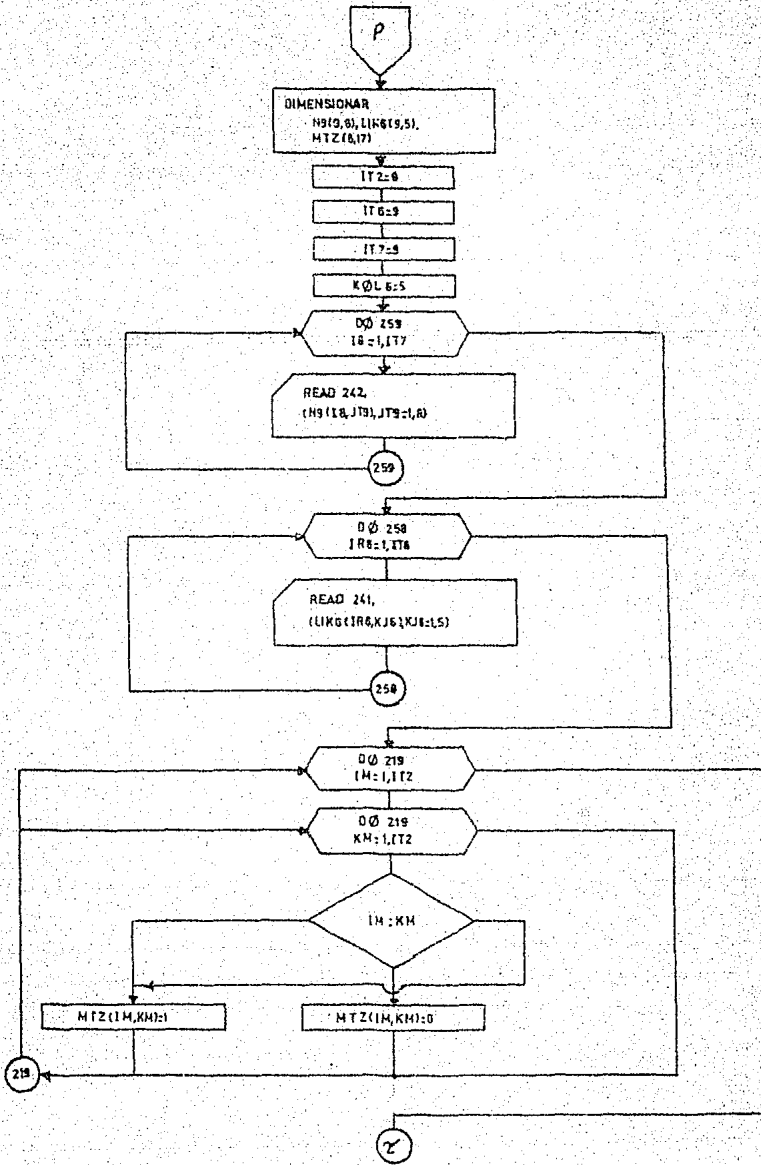
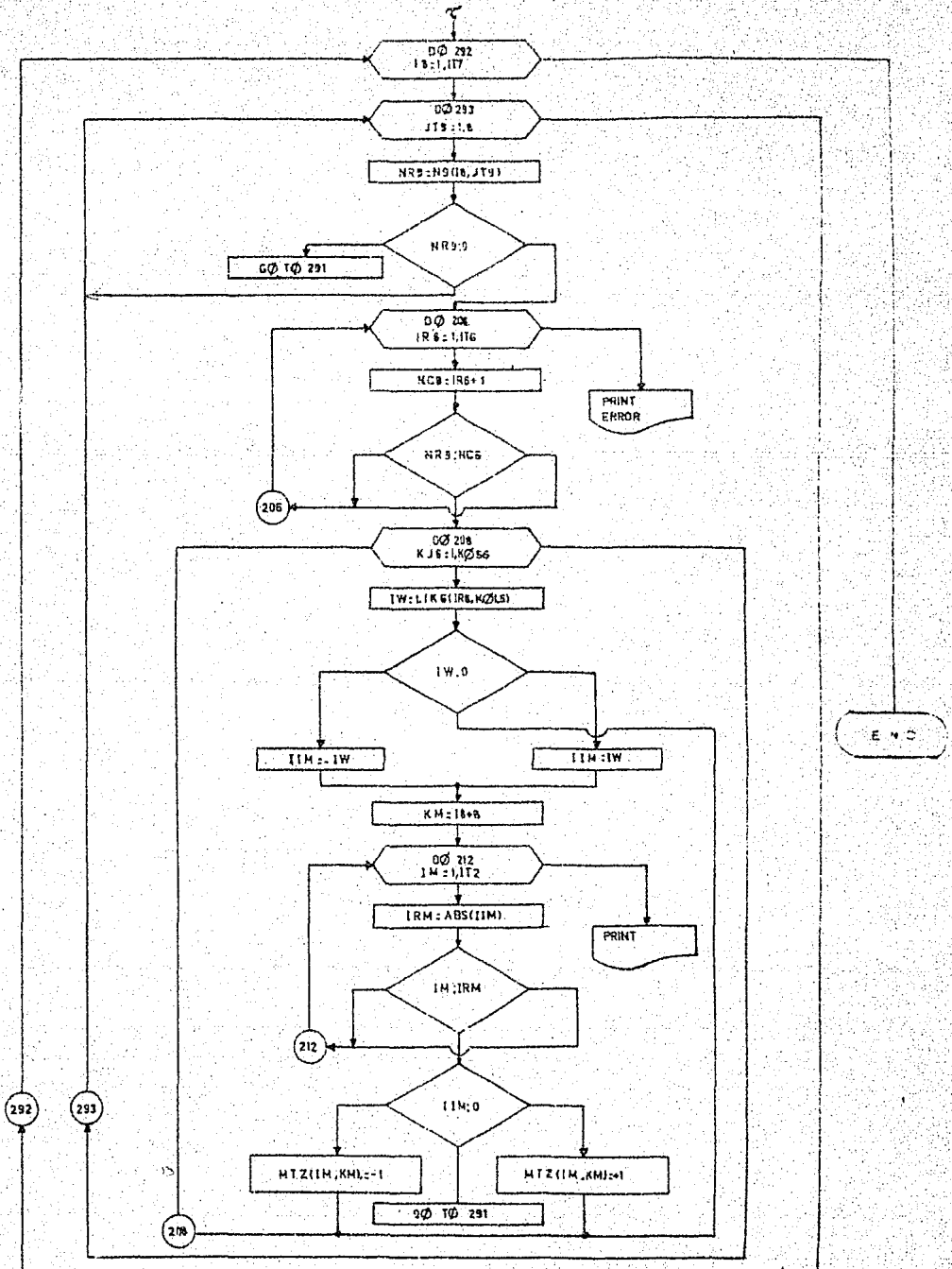


FIG. III-6 FORMACION DE LA TABLA No. 9 PARA LA DEFINICION DE LOS UMBOS DE RAMAS EN TERMINOS NODALES









START-OF-SEGMENT ***** 1

```

      DIMENSION LIN(17),NIT1(17),NFT1(17),NIT2( 8),NFT2( 8),NIT3( 9),NFT
      13(9),NIT4(9),LIK(10),LIK7(10),LIK2(6),LIK3(7)
      100 FORMAT(//10X,8H LIK2=,I3,8H NIT2=,I3,8H NFT2=,I3
      101-FORMAT(//10X,9H ERROR1/)
      102-FORMAT(//10X,9H ERROR2/)
      103-FORMAT(//10X,8H NIT3=,I3,8H NFT3=,I3,7H IT3=,I3
      104-FORMAT(//10X,8H NIT2=,I3,8H NFT2=,I3,5H I=,I3)
      105-FORMAT(//10X,8H NIT3=,I3,8H NFT3=,I3,7H NIT4=,I3,7H IT3=,I
      13,7H IT4=,I3
      106-FORMAT(//10X,8H NIT2=,I3,8H NFT2=,I3,7H IT2=,I3
      107-FORMAT(//10X,6H I=,I3)
      108-FORMAT(//10X,8H NIT3=,I3,8H NFT3=,I3,5H I=,I3
      109-FORMAT(2I4)
      110-FORMAT(//10X,9H ERROR3/)
      111-FORMAT(//10X,7H NIT4=,I3,5H I=,I3)
      112-FORMAT(//10X,9H ERROR4/)
      113-FORMAT(//10X,8H LIK6=,I3,7H IK6=,I3,8H KOL6=,I3
      114-FORMAT(3I5)
      115-FORMAT(5(15))
      116-FORMAT(//10X,8H LIK7=,I3,7H IK7=,I3,8H KOL7=,I3
      200-FORMAT(//10X,8H LIK3=,I3,8H NIT3=,I3,8H NFT3=,I3/)
      1-READ 109,NLIN,NNUD
      PRINT 109,NLIN,NNUD
      DO 2 I=1,NLIN
      READ 114,LIN(1),NIT1(1),NFT1(1)
      2-CONTINUE
      I=1
      IT2=1

```

1 T3=1	R 0048
1 T4=1	R 0048
3 NB=NFT1(1)	R 0050
4 IF(NIT1(1)=1) 4,5,11	R 0051
4 PRINT 101	R 0056
GO TO 1	R 0060
5 IF(NIT1(1)=1) NIT1(1)=6,7,8	R 0062
6 PRINT 102	R 0067
GO TO 1	R 0069
7 IF(NFT1(1+1)=NB) 8,9,6	R 0071
8 NIT3(13)=NIT1(1)	R 0075
NFT3(13)=NFT1(1)	R 0077
PRINT 103, NIT3(13), NFT3(13), IT3	R 0080
NIT4(14)=NFT3(13)	R 0085
IT3=IT3+1	R 0097
IT4=IT4+1	R 0098
GO TO 10	R 0100
9 NIT2(IT2)=NIT1(1+1)	R 0101
NFT2(IT2)=NFT1(1+1)	R 0104
PRINT 104, NIT2(IT2), NFT2(IT2), IT2	R 0107
IT2=IT2+1	R 0122
10 I=I+1	R 0124
GO TO 3	R 0125
11 J1=NNUD-1	R 0126
DO 232 J=1, J1	R 0127
DO 22 I=1, N1IN	R 0132
12 HC=NFT4(J)	R 0139
M=IT4-1	R 0140
IF(HC=NIT1(1)) 14,10,14	R 0141
14 IF(HC=NFT1(1)) 22,15,22	R 0146
15 MD=NIT1(1)	R 0150

GO TO 17	R 0151
10 NO=NFT1(I1)	R 0153
17 DO 10 JJ=1,N	R 0155
IF(N0-N14(JJ))-J6,19,18	R 0160
18 CONTINUE	R 0165
IF(N0-N11(I1))-35,34,35	R 0165
34 NT4(I74)=N11(I1)	R 0169
GO TO 21	R 0171
35 NT4(I74)=NFT1(I1)	R 0173
21 N13(I13)=N11(I1)	R 0176
NFT3(I13)=NFT1(I1)	R 0178
PRINT 105,N13(I13),NFT3(I13),NT4(I74),I73,I74	R 0181
IF(I73-9)199,251,251	R 0201
199 CONTINUE	R 0204
I73=I73+1	R 0204
I74=I74+1	R 0205
251 CONTINUE	R 0207
GO TO 22	R 0207
19 DO 30 J2=1,N	R 0208
IF(N0-N14(J2))-J0,31,30	R 0213
30 CONTINUE	R 0218
31 IF(JJ=J2)-22,36,33	R 0219
35 N12(I12)=N11(I1)	R 0225
NFT2(I12)=NFT1(I1)	R 0227
PRINT 106,N12(I12),NFT2(I12),I12	R 0230
36 IF(I12-8)19,22,19	R 0245
19 I12=I12+1	R 0246
22 CONTINUE	R 0250
23 PRINT 107,11	R 0251
232 CONTINUE	R 0260
DO 27 1=1,9	R 0260

PRINT 100,NIT3(I),NFI3(I),I	R 0265
PRINT 111,NIT4(I),I	R 0261
27 CONTINUE	R 0293
DO 28 J=1,8	R 0293
28 PRINT 104,NIT2(J),NFI2(J),J	R 0299
41 DO 42 J2=1,8	R 0315
LIK2(J2)=J2	R 0320
PRINT 114,LIK2(J2),NIT2(J2),NFI2(J2)	R 0322
42 CONTINUE	R 0339
I2=1	R 0339
J2=1	R 0340
DO 44 I=6=1,I2	R 0341
DO 44 KOL6=1,5	R 0346
LIK6(I=6,KOL6)=0	R 0352
44 CONTINUE	R 0354
IR6=1	R 0357
KOL6=1	R 0357
NCT=1	R 0358
45 NCT=NCT+1	R 0360
46 DO 52 J2=1,I2	R 0362
IF(NCT-NIT2(J2))47,48,47	R 0367
47 IF(NCT-NFI2(J2)) 52,49,52	R 0372
48 HD=J2	R 0376
GO TO 50	R 0376
49 HD=J2	R 0378
50 LIK6(IR6,KOL6)=HD	R 0379
51 KOL6=KOL6+1	R 0382
52 CONTINUE	R 0384
IF(NCT=10) 53,58,54	R 0384
54 PRINT 112,NCT	R 0390
GO TO 41	R 0399

53 IR6=IR6+1	R 0305
55 KOL6=1	R 0402
GO TO 45	R 0402
56 DO 57 IR6=1,6	R 0404
57 PRINT 119, (LIK6(IR6,KOL6),KOL6=1,3)	R 0410
61 DO 62 J3=1,9	R 0428
LIK3(J3)=J3	R 0433
PRINT 119, LIA3(J3),NIT3(J3),NFT3(J3)	R 0435
62 CONTINUE	R 0452
I3=1	R 0452
J3=1	R 0453
DO 64 IR7=1,173	R 0454
DO 64 KOL7=1,5	R 0459
LIK7(IR7,KOL7)=0	R 0465
64 CONTINUE	R 0469
IR7=1	R 0470
KOL7=1	R 0470
NCT=1	R 0471
65 NCT=NCT+1	R 0473
66 DO 72 J3=1,9	R 0475
IF(NCT=NIT3(J3)) 67,60,67	R 0480
67 IF(NCT=NFT3(J3)) 72,69,72	R 0485
68 ND=J3+112	R 0489
GO TO 70	R 0490
69 ND=ND+(J3+112)	R 0491
70 LIA7(ND,KOL7)=ND	R 0493
71 KOL7=KOL7+1	R 0496
72 CONTINUE	R 0498
IF(NCT=10) 73,70,74	R 0498
73 PRINT 112,NCT	R 0504
GO TO 81	R 0513

73 IR7=IR7+1

R 0514

75 KOL7=1

R 0516

GO TO 65

R 0516

76 DO 77 IR7=1,9

R 0518

77 PRINT 115, (IR7, (IR7, KOL7), KOL7=1,9)

R 0524

CALL EXIT

R 0542

END

R 0543

SEGMENT 1 IS 378 LONG

NO. LINEAS Y NO. NUDOS

17 10

DETERMINACION DE LAS RAMAS DE ENLACE Y DE LAS RAMAS DE ARBOL DE LA RED ELECTRICA.

NIT3 = 1 NFT3 = 4 IT3 = 1

NIT3 = 1 NFT3 = 6 IT3 = 2

NIT2 = 1 NFT2 = 9 I = 1

NIT3 = 1 NFT3 = 9 IT3 = 3

NIT3 = 1 NFT3 = 10 IT3 = 4

NIT3 = 2 NFT3 = 4 NTA = 2 IT3 = 5 IT4 = 5

NIT2 = 4 NFT2 = 9 IT2 = 3

I1 = 18

NIT2 = 2 NFT2 = 6 IT2 = 3

NIT2 = 2 NFT2 = 6 IT2 = 4

I1 = 18

I1 = 18

NIT2 = 2 NFT2 = 10 IT2 = 5

NIT3 = 3 NFT3 = 10 NTA = 3 IT3 = 6 IT4 = 6

NIT3 = 7 NFT3 = 10 NTA = 7 IT3 = 7 IT4 = 7

I1 = 18

NIT3 = 2 NFT3 = 5 NTA = 5 IT3 = 6 IT4 = 6

NIT2 = 2 NFT2 = 7 IT2 = 6

I1 = 18

NIT3 = 3 NFT3 = 8 NTA = 8 IT3 = 9 IT4 = 9

I1 = 18

NIT2 = 5 NFT2 = 7 IT2 = 7

I1 = 18

NIT3 = 5 NFT3 = 8 NTA = 8 IT3 = 9 IT4 = 9

I1 = 18

I1 = 18

NIT3 = 1 NFT3 = 4 I = 1

NTA = 4 I = 1

NIT3 = 1 NFT3 = 6 I = 2

NT4 = 6 I = 2

NT3 = 1 NPT3 = 9 I = 3

NT4 = 9 I = 3

NT3 = 1 NPT3 = 10 I = 4

NT4 = 10 I = 4

NT3 = 2 NPT3 = 4 I = 5

NT4 = 2 I = 5

NT3 = 3 NPT3 = 10 I = 6

NT4 = 3 I = 6

NT3 = 7 NPT3 = 10 I = 7

NT4 = 7 I = 7

NT3 = 2 NPT3 = 5 I = 8

NT4 = 5 I = 8

NT3 = 3 NPT3 = 6 I = 9

NT4 = 6 I = 9

SELECCION DE LA TABLA NUMERO 2 RAMAS DE ENLACE

NT2 = 1 NPT2 = 9 I = 1

NT2 = 4 NPT2 = 9 I = 2

NT2 = 2 NPT2 = 6 I = 3

NT2 = 2 NPT2 = 6 I = 4

NT2 = 2 NPT2 = 10 I = 5

NT2 = 2 NPT2 = 7 I = 6

NT2 = 5 NPT2 = 7 I = 7

NT2 = 6 NPT2 = 0 I = 8

1	1	9
2	4	9
3	2	6
4	2	6
5	2	10
6	2	7
7	5	7

NODO 8 0 0 SELECCION DE LA TABLA NUMERO 6

2	3	4	5	6	0
3	0	0	0	0	0
4	2	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0
6	-3	-4	0	0	0
7	-6	-7	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	-1	-2	0	0	0
10	-5	0	0	0	0

SELECCION DE LA TABLA NUMERO 3 RAMAS DEL ARBOL

1	1	4			
2	1	6			
3	1	9			
4	1	10			
5	2	4			
6	3	10			
7	7	10			
8	2	5			
SELECCION DE LA TABLA NUMERO 7					
2	13	16	0	0	0
3	14	0	0	0	0
4	9	-13	0	0	0
5	16	17	0	0	0
6	10	0	0	0	0
7	13	0	0	0	0
8	17	0	0	0	0
9	11	0	0	0	0
10	12	-14	-15	0	0

START OF SEGMENT ***** 1

```

DIMENSION LK7(9,5),LBR8(9,5),LTK7(9,5)      D 0000
241 FORMAT(5(15))                             R 0000
251 FORMAT( 10X,5H ID,  #13,6H KJ0,  #13,7H LBR8,  #13 )  H 0000
250 FORMAT(5(15))                             R 0000
LINI=9                                         R 0000
LINF=17                                       R 0000
ITZ=9                                         R 0001
KOL7=5                                        R 0002
1 DO 240 IRT=1,ITZ                            R 0003
  READ 241,(LK7(I,IRT),KJ7=1,KOL7)           R 0008
  PRINT 241,(LK7(I,IRT),KJ7=1,KOL7)         R 0027
240 CONTINUE                                 R 0045
2 DO 242 I7=1,ITZ                            R 0046
  READ 241,(LTK7(I7,KL7),KL7=1,KOL7)        R 0051
  PRINT 241,(LTK7(I7,KL7),KL7=1,KOL7)      R 0070
242 CONTINUE                                 R 0088
DO 85 IRT=1,ITZ                             R 0088
  IA=IRT                                     R 0091
  DO 86 KJ7=1,KOL7                         R 0094
    IF (KJ7-2)IRT,89,87                   R 0099
  89 IF(LK7(I,IRT),KJ7)100,91,88           R 0103
  88 LBR8(LK7(I,IRT),KJ7)                 R 0107
  MZ7=L8-LINI                             R 0110
  MR7=MZ7+1                               R 0111
  GO TO 90                                 R 0113
87 IF(LK7(I,IRT),KJ7)90,92,90             R 0114
92 GO TO 93                               R 0116
91 GO TO 85                               R 0119

```

90 KJA=KJ7	R	0120
LK7(I7,KJA)=LK7(I7,KJ7)	R	0120
LBR8(I8,KJB)=LK7(I7,KJA)	R	0125
PRINT 251,I8,KJA,LBR8(I8,KJB)	R	0129
86 CONTINUE	R	0145
93 DO 94 I7=1,I17	R	0146
IF(I7=HR7)94,95,99	R	0151
95 GO TO 96	R	0155
94 CONTINUE	R	0156
96 DO 97 KL7=1,KL17	R	0157
IF(KL7=2)97,98,99	R	0162
98 IF(LIK7(I7,KL7))188,190,188	R	0168
188 LA=ABS(LIK2(I7,KL7))	R	0172
HZ7=LB-LINI	R	0175
HR7=HZ7+1	R	0176
GO TO 105	R	0178
99 IF(LIK7(I7,KL7))185,190,185	R	0179
190 GO TO 85	R	0183
185 HL7=KL7-1	R	0184
KJA=KJB+HL7	R	0185
LIK2(I7,KJB)=LIK2(I7,KL7)	R	0186
LBR8(I8,KJB)=LIK2(I7,KJA)	R	0191
PRINT 251,I8,KJB,LBR8(I8,KJA)	R	0195
97 CONTINUE	R	0211
85 CONTINUE	R	0212
DO 187 I8=1,I17	R	0212
PRINT 252,(LBR8(I8,KJB),KJA=1,5)	R	0217
187 CONTINUE	R	0235
CALL EXIT	R	0236
END	R	0238

DATOS

FORMACION DE LA TABLA NUMERO 8 PARA LA DESIGNACION DE

LIMOS DE RAMAS DE ARBOL.

-9	-13	-0	-0	-0
-10	-0	-0	-0	-0
-11	-0	-0	-0	-0
-12	-14	-15	-0	-0
13	16	-0	-0	-0
14	17	-0	-0	-0
15	-0	-0	-0	-0
-16	-0	-0	-0	-0
-17	-0	-0	-0	-0
-9	-13	-0	-0	-0
-10	-0	-0	-0	-0
-11	-0	-0	-0	-0
-12	-14	-15	-0	-0
13	16	-0	-0	-0
14	17	-0	-0	-0
15	-0	-0	-0	-0
-16	-0	-0	-0	-0
-17	-0	-0	-0	-0

18	=	1	KJ8	=	1	LRR8	=	-9
18	=	1	KJ8	=	2	LRR8	=	-11
18	=	1	KJ8	=	3	LRR8	=	-16
18	=	1	KJ8	=	5	LRR8	=	-16
18	=	2	KJ8	=	1	LRR8	=	-10
18	=	1	KJ8	=	1	LRR8	=	-11
18	=	4	KJ8	=	1	LRR8	=	-12
18	=	4	KJ8	=	2	LRR8	=	-14
18	=	4	KJ8	=	3	LRR8	=	-15
18	=	4	KJ8	=	4	LRR8	=	-17
18	=	5	KJ8	=	1	LRR8	=	-13
18	=	5	KJ8	=	2	LRR8	=	-14
18	=	6	KJ8	=	1	LRR8	=	-14
18	=	6	KJ8	=	2	LRR8	=	-17
18	=	7	KJ8	=	1	LRR8	=	-15
18	=	8	KJ8	=	1	LRR8	=	-16
18	=	9	KJ8	=	1	LRR8	=	-17

TABLA No. 8

-9	-13	13	0	14
-10	0	0	0	0
-11	0	0	0	0
-12	-14	-15	17	0
13	16	0	0	0
14	17	0	0	0
15	0	0	0	0
-16	0	0	0	0
-17	0	0	0	0

R 5500 FORTRAN COMPILEATION IX, 7, THURSDAY, 10/22/70, 05:13 H,

START OF SEGMENT ***** 1

DIMENSION LBR8(9,5),NIT3(9),NFT3(9),N9(9,8)	R 0000
241 FORMAT(3(15))	R 0000
243 FORMAT(2(13))	R 0000
242 FORMAT(8(13))	R 0000
244 FORMAT(8(13))	R 0000
247 FORMAT(3(13))	R 0000
249 FORMAT(3(15))	R 0000
IT2=6	R 0000
IT3=9	R 0000
IT6=8	R 0001
IT7=9	R 0002
IT6=8	R 0003
KOL6=5	R 0003
1 DO 240 I8=1,IT7	R 0005
READ 241,(LBR8(I8,KJ8),KJ8=1,5)	R 0010
PRINT 241,(LBR8(I8,KJ8),KJ8=1,5)	R 0029
240 CONTINUE	R 0047
DO 238 N8=1,IT3	R 0047
READ 243,NIT3(N8),NFT3(N8)	R 0052
PRINT 243,NIT3(N8),NFT3(N8)	R 0066
238 CONTINUE	R 0080
DO 290 I8=1,IT7	R 0080
DO 289 KJ8=1,5	R 0085
N8=ABS(LBR8(I8,KJ8))	R 0091
N8=N8-IT2	R 0095
IF(KJ8=1)188,190,193	R 0096
190 IT=(LBR8(I8,KJ8))189,188,191	R 0102

N9(I8,2*KJ8)=NFT3(N8)	R 0112
00 TO 289	R 0116
191 N9(I8,2*KJ8=1)=NIT3(N8)	R 0118
N9(I8,2*KJ8)=0	R 0122
00 TO 289	R 0125
188 00 TO 291	R 0127
193 IF(LBR8(I8,KJ8))194,288,194	R 0128
194 N9(I8,2*KJ8=1)=NIT3(N8)	R 0132
N9(I8,2*KJ8)=NFT3(N8)	R 0136
289 CONTINUE	R 0141
288 K8=KJ8+1	R 0142
J9=2+K8	R 0143
00 195 JJ8=1,J9	R 0144
NL9=N9(I8,JJ8)	R 0149
IF(NL9=0)291,195,196	R 0152
196 PRINT 247,NL9,I8,JJ8	R 0158
00 197 JT9=1,J9	R 0171
NR9=N9(I8,JT9)	R 0176
IF(NL9=NR9)197,198,197	R 0179
198 IF(JJ8=JT9)200,197,197	R 0182
200 N9(I8,JJ8)=0	R 0185
NR9=0	R 0187
PRINT 249,N9(I8,JJ8),I8,JJ8	R 0188
197 CONTINUE	R 0204
195 CONTINUE	R 0205
290 CONTINUE	R 0206
00 239 I8=1,IY	R 0206
PRINT 242,(N9(I8,JT9),JT9=1,8)	R 0211
239 CONTINUE	R 0230
291 00 TO 270	R 0231
270 CALL EXIT	R 0232

FORMACION DE LA TABLA NUMERO 9 PARA

LA DEFINICION DE LOS LIMBOS DE RAMAS EN TERMINOS MODALES.

DATOS

-9 -13 -14 -0 -0
 -10 -0 -0 -0 -0
 -11 -0 -0 -0 -0
 -12 -14 -15 17 -0
 -13 -16 -0 -0 -0
 -14 17 -0 -0 -0
 -15 -0 -0 -0 -0
 -16 -0 -0 -0 -0
 -17 -0 -0 -0 -0

1 4

1 6

1 9

1 10

2 4

3 10

7 10

2 5

3 8

4 1 2

0 1 2

2 1 3

0 1 3

4 1 4

2 1 5

5 1 6

6 2 2

0 3 2

10 4 2

0 4 2

0 4 2

3 4 3

0 4 3

10 4 4

0 4 4

7 4 5

10 4 6

3 4 7

4 4 8

2 5 1

0 5 1

2 5 3

5 5 4

3 6 1

0 6 1

3 6 3

8 6 4

7 7 1

5 8 2

8 9 2

TABLA No. 9

0 0 0 4 2 5 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 9 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 7 10 1 8
 0 0 2 5 0 0 0 0
 0 0 3 8 0 0 0 0
 7 0 0 0 0 0 0 0
 0 5 0 0 0 0 0 0
 0 8 0 0 0 0 0 0

START OF SEGMENT ***** 1

DIMENSION N9(9,8),LIK6(9,5),MIZ(8,17)	R 0000
242 FORMAT(8(I3))	R 0000
241 FORMAT(5(I5))	R 0000
247 FORMAT (3(I7))	R 0000
300 FORMAT(I7(I5))	R 0000
IT2=8	R 0000
IT6=9	R 0000
IT7=9	R 0001
KOL6=5	R 0002
DO 259 I8=1,IT7	R 0003
READ 242,(N9(I8,JT9),JT9=1,8)	R 0004
PRINT 242,(N9(I8,JT9),JT9=1,8)	R 0027
259 CONTINUE	R 0045
DO 258 IR6=1,IT6	R 0045
READ 241,(LIK6(IR6,KJ6),KJ6=1,KOL6)	R 0050
PRINT 241,(LIK6(IR6,KJ6),KJ6=1,KOL6)	R 0069
258 CONTINUE	R 0087
5 DO 219 IH=1,IT2	R 0088
DO 219 KH=1,8	R 0093
IF(I4=KH)221,222,221	R 0099
221 MIZ(IH,KH)=0	R 0103
GO TO 219	R 0105
222 MIZ(IH,KH)=1	R 0107
219 CONTINUE	R 0110
DO 292 I8=1,IT7	R 0111
DO 293 JT9=1,8	R 0116
NR9=NR9(I8,JT9)	R 0122
IF(NR9=0) 291,293,214	R 0125

210 DO 206 IR6=1,176	R 0131
NC6=IR6+1	R 0136
IF(MR9-NC6)206,207,206	R 0138
206 CONTINUE	R 0141
207 IR6=NC6-1	R 0142
DO 208 KJ6=1,KOL6	R 0143
IM=LIR6(IRA,KJ6)	R 0148
IF(IM=0)209,206,210	R 0151
209 IIM=IM	R 0157
GO TO 211	R 0158
210 IIM=IM	R 0159
211 KM=IR6	R 0160
DO 212 IM=1,172	R 0161
IRHM=ABS(IIM)	R 0166
IF(IM=IRHM)212,213,212	R 0168
213 IF(IIM=0)216,291,218	R 0172
216 MTZ(IM,KM)=-1	R 0178
PRINT 247,MTZ(IM,KM),IM,KM	R 0181
GO TO 208	R 0196
218 MTZ(IM,KM)=+1	R 0197
PRINT 247,MTZ(IM,KM),IM,KM	R 0199
GO TO 208	R 0215
212 CONTINUE	R 0216
208 CONTINUE	R 0217
293 CONTINUE	R 0218
292 CONTINUE	R 0219
DO 301 IM=1,172	R 0219
301 PRINT 300,(MTZ(IM,KM),KM=9,(17)	R 0225
291 GO TO 270	R 0243
270 CALL EXIT	R 0244
END	R 0245

FORMACION DE LA MATRIZ DE TRANSFORMACION

DATOS

0	4	2	0	0	5	-0	-0
0	6	-0	-0	-0	-0	-0	-0
0	9	-0	-0	-0	-0	-0	-0
0	10	3	0	7	0	0	8
2	0	0	5	-0	-0	-0	-0
3	0	0	8	-0	-0	-0	-0
7	0	-0	-0	-0	-0	-0	-0
0	5	-0	-0	-0	-0	-0	-0

NODOS

DATOS TABLA No. 6

2	1	4	5	6	-0
3	-0	-0	-0	-0	-0
4	2	-0	-0	-0	-0
5	7	8	-0	-0	-0
6	-3	-4	-0	-0	-0
7	-6	-7	-0	-0	-0
8	-8	-0	-0	-0	-0
9	-1	-2	-0	-0	-0
0	-5	-0	-0	-0	-0

1	2	9
1	3	9
1	4	9
1	5	9
1	6	9
1	7	9
1	8	9
1	3	10
1	4	10
1	1	11
1	2	11
1	5	12
1	6	12
1	7	12
1	8	12
1	3	13
1	4	13
1	5	13
1	6	13
1	7	13
1	8	13
1	8	14
1	6	15
1	7	15
1	7	16
1	8	16
1	8	17

MATRIZ DE TRANSFORMACION

0	0	-1	0	0	0	0	0	0
1	0	-1	0	0	0	0	0	0
1	-1	0	0	-1	0	0	0	0
1	-1	0	0	-1	0	0	0	0
1	0	0	-1	-1	0	0	0	0
1	0	0	-1	-1	0	1	0	0
1	0	0	-1	-1	0	1	1	0
1	0	0	-1	-1	1	0	1	-1

CAPITULO IV

PROGRAMA DE APLICACION PARA EL CALCULO DE CORTO CIRCUITOS

A - CARACTERÍSTICAS Y REQUISITOS DEL PROGRAMA

Antes de principiar con el desarrollo del programa de aplicación, conviene mencionar las características y los requisitos exigidos en el mismo programa; esto nos permitirá su utilización en el estudio de corto circuito de una determinada red eléctrica.

El método de cálculo digital original fue programado por R. T. Byerly y R. W. Long (miembros asociados a el IAEE) para su procesamiento en la computadora IBM 704, la cual posee una memoria de almacenamiento de 8 192 celdas, cuatro tambores y siete unidades de cinta. Posteriormente, el programa fue reescrito para una IBM 7094; con el propósito de aumentar su capacidad, y de otros cambios realizados que permitían una solución más conveniente y flexible.

En este método estudiado, se aprovecha la inalterabilidad de una sola matriz de impedancias de malla; tanto para el efecto de simulación efectuada para las diferentes localizaciones de falla, como a su vez la disponibilidad de una serie de codificaciones de tipos de fallas, es - decir tres diferentes condiciones de configuración de red.

El uso de códigos determina la impresión de las corrientes - de líneas y de los voltajes resultantes para las diversas localizaciones + de falla seleccionadas. La secuencial localización efectuada de un bus a + otro se hará posible mediante un determinado cambio de función forzante - respectiva.

Los tipos de cambios de configuración de red están representados por el removimiento de una línea, o el debido a la apertura de un - interruptor, el cual estará situada remotamente respecto al interruptor - más cercano, para el cual se realiza un recierre simultáneo.

Esencialmente el cálculo que efectúa este programa, requiere de una información de datos de entrada similar a la que normalmente se proporciona para un estudio realizado en un analizador de corriente alterna. Sin embargo, el programa integral que reemplazará a la computadora analóga, deberá de ser enteramente automático. Esto significará la aceptación - de cualquier configuración de red, y la ejecución en forma automática de - una acción equivalente, a la conmutación de las clavijas propias del ta- -

blero; la acción equivalente se realiza en la formación automática de las ecuaciones de la red provenientes de las tablas de impedancia y de las identificaciones nodales.

Destacaremos ahora la comparación siguiente, en el análisis nodal existirá una variable independiente para cada nodo, lo que permite la formulación automática de la ecuación, sin dificultad apreciable. En el caso de el análisis de mallas de la red, existe la prevención de seleccionar a las corrientes independientes de malla, para efectuar esa prevención, se cuenta, con el concepto de árbol de red para permitir la sistemática selección de las variables independientes.

La ejecución del programa topológico permitirá aprovechar la determinación del árbol de red para la formación de la matriz de transformación, o lo que es lo mismo, la matriz que realmente describe la conexión de la red.

En el programa de la formación de "la matriz de transformación", tratada en el capítulo III, se realiza previsoramente la selección de los enlaces y las ramas de árbol de una red, sin efectuar consideraciones de la complejidad de ésta; posteriormente las tablas de la selección señalada serán utilizadas en la formación de la matriz.

La formación de "la matriz de transformación" corresponde al enclavijamiento automático efectuado para un analizador, en la operación destinada a especificar la configuración de la red. En el programa integral, similarmente se tendrá ligada a la matriz de transformación como una base indispensable para la resolución de las corrientes de malla, de las corrientes individuales de rama y los voltajes nodales en una completa sucesión de las fallas consideradas.

Se tendrá que realizar previsoramente la especificación de todas las fallas, ésta especificación evitará cambios matriciales involucrados de los cambios realizados en el manejo de las tarjetas, redundando en perjuicio de la automatización y economía del programa.

En las opciones de resolución de una determinada falla, existen opciones que permitan una libertad en una selección de los tipos de falla, y de la determinación de una lista inventario de apertura de líneas después de la falla. Incluyendo, de igual forma, a las fallas en terminal de una línea.

Una de las ventajas del método estudiado, en comparación con el método de análisis de mallas, presentado por Martin J. Lantz (1957), - consiste en que se requiere la formación de una sola inversión de una submatriz, y esto se logrará agregando pseudoenlaces para la unión de cada punto de falla con tierra. Sin embargo, estos enlaces, no aumentarán el orden de la matriz que sufrirá una inversión.

A diferencia de lo que sucede en el método de Byerly y Long, el método de Lantz requerirá de la formación e inversión de una matriz de impedancias de malla para cada diferente localización de falla.

Como se ha visto en el Capítulo II, se tendrá que invertir la matriz básica de la red, una sola vez, y posteriormente multiplicarse por - varios vectores de coeficientes determinados por la apropiada localización de la falla considerada. Además, la subreposición de una fuente de voltaje conectada en serie con la línea en cuestión, tendrá un efecto equivalente - al removimiento de líneas; sin la necesidad de efectuar inversiones adicionales.

Existe cierta controversia entre los dos métodos de análisis, originalmente utilizados en problemas de estudios de flujos, y que son aplicables a todo tipo de problemas de redes; nos estamos refiriendo al método de mallas y el método nodal, y se podrán verificar para ambos, ciertas ventajas y desventajas.

Fundamentalmente, encontraremos que para el método nodal se - utilizan disposiciones iterativas incorporando factores de aceleración, mientras que en el método de mallas se utiliza la inversión directa de la matriz. Los procedimientos iterativos son atractivos, desde la consideración de que los resultados son auto checables, se obtendrá un alto grado de precisión, - y en muchos problemas se pueden efectuar los cálculos en punto fijo.

Como hemos visto, en las técnicas descritas en los Capítulos II y III, el programa original utiliza a la matriz de conexión de mallas, - determinada por Kron, tanto en la formulación de las ecuaciones básicas de equilibrio; como para una posterior determinación de la configuración del - sistema. Como hemos repetido, se requerirá de la formación de una sola matriz de impedancias de malla y de la inversión de una submatriz, preesviéndose la posterior multiplicación de diferentes vectores de coeficientes.

El programa original basado en las técnicas descritas, se utilizó exitosamente en los estudios de falla, siendo preparado para una computadora IBM-704, en la forma de un programa automático, donde únicamente se requería de la información de entrada, lográndose obtener los resultados sin necesidad de ninguna intervención. Posteriormente, se presentó la necesidad de aumentar la capacidad del programa, y de realizar las modificaciones necesarias para proporcionar una solución más conveniente y flexible del problema de cálculo de fallas; estas pretensiones fueron cubiertas al prepararse un programa Fortran, para su procesamiento en la computadora IBM-7094.

En el programa Fortran se especifican numéricamente las ramas y los buses entre los cuales aquellas quedan conectadas, para ello, se utiliza cualquier número de tres dígitos. Es detenerse las precauciones de no duplicar los números de identificación de los buses y ramas; y de no referirse a buses o ramas no existentes, o al considerarse impedancias mutuas entre ramas idénticas.

En la cuestión de la capacidad del programa aplicado a la IBM-7094 se ha considerado el factor determinante del número de ecuaciones de malla independientes, teniéndose el límite superior de cien para el número de ecuaciones determinadas para un sistema.

Para cada solución se efectuará una descripción completa de la condición de falla, ésta descripción consiste del nombre de un bus donde ocurra la falla, además de la identificación alfanumérica de la línea o líneas removidas, o de la identificación preescrita en el caso de una falla en terminal de línea. Estas descripciones se encontrarán impresas al principio de la página, y precederán a un enlistamiento de las magnitudes de las corrientes de falla, y de las impedancias de impulso, acompañando de las respectivas relaciones X/R de la corriente de falla y de las impedancias de impulso.

Los voltajes deseados de los buses se tendrán a continuación de la lista de corrientes, y es etiquetada de una forma similar de las corrientes. El programa ha sido diseñado para permitir una máxima flexibilidad al escoger las condiciones de falla y la selección de las cantidades de corrientes y voltajes mediante el uso de opciones codificadas.

B - OBTENCION DE LA MATRIZ DE IMPEDANCIAS DE MALLA EN UN PROBLEMA DE APLICACION

El programa fuente preparado, pretende identificarse con las características distintivas del método de Byerly y Long; aunque es propio señalar las limitaciones de lograr una integración completa del programa, así como de aprovechar la utilización de determinados procedimientos escritos en Algol-60 para la computadora Burroughs B-5500.

Como aplicación se tendrá la red mostrada en la Fig IV-1; en esta red considerada, se presentan cuatro buses y tres generados y la numeración utilizada esta acorde con el árbol de red seleccionado por el programa de aplicación de los métodos topológicos para la formación de la matriz de transformación, con la adición de los cuatro pseudoenlaces indicados para la unión de los puntos de falla con el neutro del sistema.

Como se especificó en el Capítulo III, la numeración realizada por cualquier usuario del programa, tendrá que ser arbitraria. En ella se hará la consideración de numerar a los nodos consecutivamente de conformidad a una planeación determinadora de los buses considerados baj o falla. Mientras que las ramas serán numeradas consecutivamente en cualquier orden.

La numeración ha de prepararse en una tabla coordinadora de la numeración efectuada con las ramas respecto a los nodos terminales. Asimismo se acompañará auxiliariamente del diagrama numerado de la red. Posteriormente la computadora, al utilizar el programa seleccionará a un árbol de red particular, cuya característica primordial consiste en conectar a todos los nodos, exceptuando al neutro, con los demás nodos restantes mediante las ramas del árbol seleccionado.

FIG IV-1 SISTEMA ELECTRICO
ILUSTRATIVO

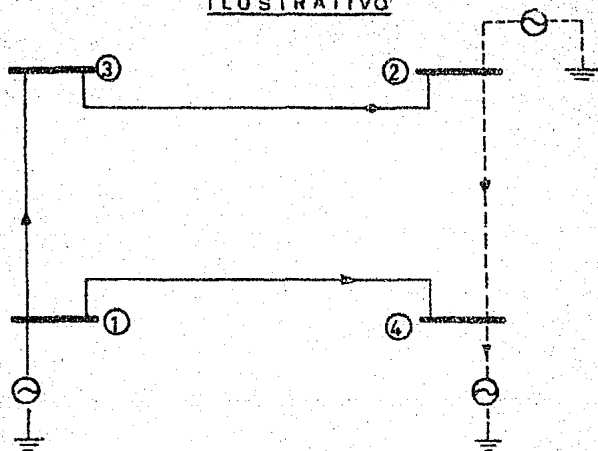
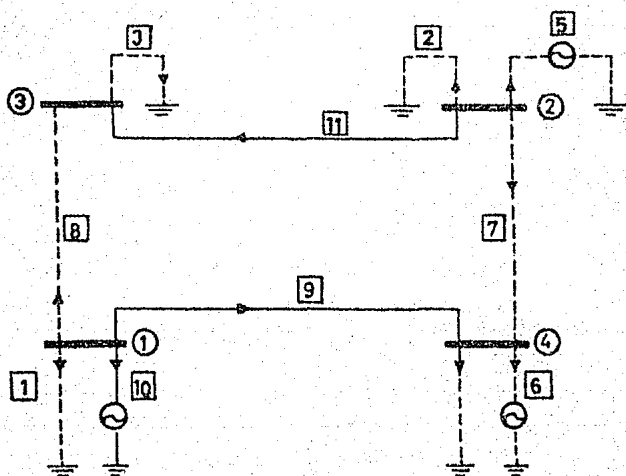


FIG IV-2 RENUMERACION DEL
SISTEMA REFERIDO



Números origina les de rama	Designaciones nodales	Impedancias de rama en p.u.	
		Resistencia	Reactancia
1	1	0	0
2	2	0	0
3	3	0	0
4	4	0	0
5	2	0	0.221
6	4	0	0.104
7	2 4	1.702	2.445
8	1 3	0.746	1.036
9	1 4	1.421	3.481
10	1	1.127	1.752
11	2 3	4.463	6.621

La impedancia mutua

9	11	- 0.4075	-1.203
---	----	----------	--------

La matriz de transformación proporcionada por el programa para la red será como se muestra.

Rama N°

Enlace N°	Rama N°										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	-1	-1
3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	-1	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	1	-1	0
5	0	0	0	0	1	0	0	1	0	-1	-1
6	0	0	0	0	0	1	0	0	1	-1	0
7	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	-1

La matriz de las impedancias propias y mutuas, podrá establecerse muy simplemente, puesto que las primeras impedancias señaladas serán enlistadas en los elementos de la diagonal, enlistando en los elementos respectivos fuera de la diagonal a las impedancias mutuas.

La matriz $Z_{\psi\psi}$ las impedancias propias y mutuas, podrá establecerse muy simplemente, puesto que las primeras impedancias señaladas se rán enlistadas en los elementos de la diagonal, enlistando en los elementos respectivos fuera de la diagonal a las impedancias mutuas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0										
2		0									
3			0								
4				0							
5					0 + 0.22i						
6						0 + 0.104					
7							0.702 + 2.445				
8								0.746 + 1.036			
9									1.421 + 3.481		-0.4075 + 1.203
10										1.197 + 1.752	
11									-0.4075 + 1.203		4.463 + 6.621

Efectuando las multiplicaciones matriciales $(C^T \beta \psi, Z_B)$ y $(C^T \beta \psi, Z_B) C \psi \beta$ podremos obtener la matriz de impedancias de malla, la cual será la siguiente, para el sistema considerado.

$$Z_L = (C^T \beta \psi \quad Z_B) \quad C \psi \beta$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	1.127 + j1.752	1.127 + j1.752	1.127 + j1.752	1.127 + j1.752	1.127 + j1.752	1.127 + j1.752	0 + j0
2	1.127 + j1.752	6.336 + j9.409	1.973 + j2.788	1.5345 + j2.955	6.336 + j9.409	1.5345 + j2.955	4.8015 + j6.454
3	1.127 + j1.752	1.873 + j2.788	1.873 + j2.788	1.127 + j1.752	1.973 + j2.788	1.127 + j1.752	0.746 + j1.036
4	1.127 + j1.752	1.5345 + j2.955	1.127 + j1.752	2.548 + j5.233	1.5345 + j2.955	2.548 + j5.233	-1.0135 + j2.278
5	1.127 + j1.752	6.336 + j9.409	1.973 + j2.788	1.5345 + j2.955	6.336 + j9.630	1.5345 + j2.955	4.8015 + j6.454
6	1.127 + j1.752	1.5345 + j2.955	1.127 + j1.752	2.548 + j5.233	1.5345 + j2.955	2.548 + j5.337	-1.0135 + j2.278
7	0 + j0	4.8015 + j6.454	0.746 + j1.036	-1.0135 + j2.278	4.8015 + j6.454	-1.0135 + j2.278	7.517 + j11.177

C - CALCULO PARA LAS CORRIENTES PARA
UN NODO DETERMINADO BAJO FALLA,
SIN LINEAS FUERA

Al aplicar las transformaciones lineales de Kron se obtendrá la ecuación del comportamiento de la red, la cual muestra la relación existente entre los vectores de las fuerzas electromotrices y las corrientes de malla mediante la matriz de impedancias de malla. Esta claro también que la red considerada incluirá a las mallas auxiliares, y que las corrientes de esas mallas se cambiarán de conformidad con la simulación de las diferentes localizaciones de falla.

También se simplificará el cálculo, ejecutando la partición matricial prevista en la ecuación II-31.

$$Z_L I_L + Z_M I_L(f) = E_L = 0$$

Ahora será necesario calcular las corrientes de malla resultantes de una localización de falla, es decir las corrientes del sistema simplificado obtenidas por la ecuación II-32.

$$I_L = - (Z_{LL})^{-1} Z_M I_L(f)$$

Como vemos, la resolución de las corrientes de malla del sistema respectivo de la red, es efectuado mediante el producto matricial indicado de la inversa de la submatriz Z_{LL} por los vectores de función asumidos.

El vector de función $I_L(f)$ será determinado por una substitución del valor asumido $(1 + j0)$ para la hilera p correspondiente al bus considerado en condiciones de falla; mientras que las hileras restantes serán nulas.

En nuestro programa realizaremos un cambio de la función forzante, de acuerdo con la secuencial localización de un bus a otro, en donde se suponga la ocurrencia de la falla. Para lograr lo anterior se aprovechará la propiedad asociativa del producto matricial considerado.

$$-(Z_{LL})^{-1} \cdot Z_M I_{L(f)} = -(Z_{LL})^{-1} Z_M I_{L(f)}$$

No existe ambigüedad en la disponibilidad de los productos parciales señalados, siempre que no se altere el orden en el cual aparecen los factores. Asimismo, el producto $Z_M I_{L(f)}$ dependerá de cada nodo en condiciones de corto circuito, puesto que el producto parcial se integrará exclusivamente de la columna p-ésima de Z_M , para el bus p correspondiente a la selección realizada. Esto es fácilmente verificable por tenerse el valor asumido de $(1 + j0)$ para la hilera p-ésima del vector $I_{L(f)}$, lo cual al producirse el producto correspondientes por la submatriz Z_{ii} dará como resultado la p-ésima columna de esta submatriz.

El producto $-(Z_{LL})^{-1} \cdot Z_M$ se ha efectuado utilizando el Procedimiento COMPMATMUL de biblioteca para la computadora Burroughs 8-5500, - el cual permite la multiplicación de dos matrices con elementos complejos.

A continuación señalaremos algunos estadísticos del procedimiento referido (MRS-124).

Número total de tarjetas en el procedimiento	- _____ 183
2. El tiempo por corrida del procedimiento	$1.2 N^3$ milisegundos
3. Número de palabras utilizadas durante el procedimiento	85 palabras
4. Tiempo de compilación	7 segundos por medio de 800 tarjetas por minuto

Al utilizar el procedimiento señalado, podremos obtener la matriz resultante del producto matricial de solo dos matrices, como sabemos el producto de estas matrices estará definido si el número de columnas de la primera matriz es igual al número de hileras de la segunda. Los arreglos utilizados deberán ser declarados con límites inferiores iguales a cero.

El número de operaciones involucradas en la inversión de matrices de números reales es duplicada, cuando se compare con la inversión de una matriz original utilizando aritmética compleja. El gran número de cálculos resultantes del proceso de invertir a una matriz cuadrada podrá

ser reducido a la inversión de dos matrices del mismo orden, pero utilizando números reales, nominalmente se tendrán R y $(R + XR^{-1}X)$. Si tenemos:

$$Z^{-1} = (R + iX)^{-1} = (U - iR^{-1}X) (R + XR^{-1}X)^{-1}$$

De acuerdo a esto, se requerirá de un cierto número de multiplicaciones matriciales y de adiciones, así como de la preservación de los resultados intermedios.

La inversión de la submatriz $(Z_{LL})^{-1}$ se efectuará mediante el Procedimiento COMPINV (MRS-124), el cual encuentra la inversa de una matriz compleja por el método de Crout con reepivotamiento. El método de Crout es una modificación del método de eliminación de Gauss, que elimina la necesidad de expresar y registrar explícitamente los coeficientes de las ecuaciones modificadas en cada paso del proceso.

Cuando se utilice el procedimiento de inversión mencionado, se declaran los arreglos A e IA , los cuales corresponden a las partes reales e imaginarias respectivas de la matriz considerada. Se considera un parámetro de tolerancia, el cual se comparará con la magnitud de los elementos pivotes, y si alguno de ellos fuese menor, se consideraría cero, por lo que no existirá la inversa, siendo la matriz declarada singular.

El identificador de procedimientos MRS-124; tiene la función de llamar tanto al procedimiento COMP-MATMUL, antes descrito como al procedimiento COMP-INV. Para la ejecución de ambos procedimientos se ha preparado un programa, que especifique los parámetros propios de ambos procedimientos, y que determine la lectura e impresión de los datos de información y los respectivos resultados.

Como es sabido los errores de sintaxis habrán de detectarse por el traductor, al procurar analizar la estructura del programa; entre los errores más usuales se encuentran los siguientes: utilizar un identificador sin declararlo, declarar el mismo identificador dos veces en un mismo block, o utilizar una variable booleana en una expresión aritmética.

En el programa señalado se tienen los siguientes datos estadísticos, al ejecutarse la inversión de la submatriz citada.

Número de errores detectados	0
Tiempo de compilación	373 segundas
Longitud total de segmentos	378 palabras
Longitud de disco	34 segundas
Requerimiento estimado de memoria	6 554 palabras

PROCEDIMIENTO DE BIBLIOTECA COMPINV Y COMPMATMUL -
R.D. RODMAN (PROFESSIONAL SERVICES DIVISIONAL GROUP)
CENTRO DE CALCULO ELECTRONICO.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

CENTRO DE CALCULO ELECTRONICO

COMPILADOR ALGOL BURROUGHS H5500 NIVEL 5

JUEVES, 10/22/70, 9 46 PM.

BEGIN

PRINCIPIO DEL SEGMENTO

R 0000
***** 2

LABEL SALIDA1

RODFAN ETI1

INTEGER M,N,P1

FILE FILE1(1:10),FILE2(1:17),CARD(1:10),PRINT(1:17)

FORMAT FOR1(311)

R 0000
R 0000
R 0000
R 0000
R 0014

PRINCIPIO DEL SEGMENTO

***** 3

SOS(*****,"MATRIZ SINGULAR",*****),

FOR2(0(F8,5,X1)),

FOR3(X50,"MATRIZ A",//1),

FOR4(X50,"MATRIZ B",//1),

FOR5(X50,"MATRIZ IA",//1),

FOR6(X50,"MATRIZ IB",//1),

FOR7(X50,"MATRIZ IC",//1),

FOR8(X50,"MATRIZ IC",//1),

FOR9(X25,0(F8,5,X1))

R 0014
R 0014
R 0014
R 0014
R 0014
R 0014
R 0014
R 0014
R 0014

EL SEG 3 TIENE 75 PALABRAS, SIG. SEG. ES EL

2

FORMAT FOR10(0(F9,6,2)),

PRINCIPIO DEL SEGMENTO

R 0014
***** 4

FOR21(I2),

FOR31(E14,5),

FOR41(X40,"MATRIZ A",//1),

FOR52(L6),

FOR51(X40,"MATRIZ IA",//1)

R 0014
R 0014
R 0014
R 0014
R 0014

EL SEG 4 TIENE 34 PALABRAS, SIG. SEG. ES EL

2

REAL EPS

LABEL SINGULAR

INTEGER I,J

READ(CARD,"FOR52,ETI1")

READ(CARD,"FOR1, M, N, P")

BEGIN

DEFINE FOR1=FOR I=0 STEP 1 UNTIL#

R 0014
R 0014
R 0014
R 0014
R 0021
R 0032

PRINCIPIO DEL SEGMENTO

R 0032
***** 5

FORJ=FOR J=0 STEP 1 UNTIL#

LABEL CMH,CPV

ARRAY A,IA(0TH,0TH),B,IB(0TH,0TH),C,IC(0TH,0TH)

LIST

MATRIZA(FOR J=1 STEP 1 UNTIL N DO A(I,J))

MATRIZIA(FOR J=1 STEP 1 UNTIL N DO IA(I,J))

PRECITEPS)

PROCEDURE CONPMATHUL(M, N, P, A, IA, B, IB, C, IC)

R 0000
R 0000
R 0000
R 0012
R 0012
R 0023
R 0033

TUXU / A 0036

VALUE M, N, P

INTEGER M, N, P

REAL ARRAY A, IA, B, IB, C, IC(***)

TUXU S A 0036

TUXU T A 0036

TUXU U A 0036

TUXU V A 0036

TUXU W A 0036

COMMENT

THIS PROCEDURE MULTIPLIES MATRICES WITH COMPLEX ELEMENTS.

SEE CORRESPONDING TECHNICAL BULLETIN FOR DETAILS ON USE

TUYU S A 0036

TUYU T A 0036

OF PROCEDURE.		TUVT	U	A	0030
R.D. RODMAN		TUVT	V	A	0038
(PROFESSIONAL SERVICES DIVISIONAL GROUP).		TUVT	W	A	0038
CARD SEQUENCE BEGINS WITH CHXMOODI.		TUVT	X	A	0038
FIRST RELEASE 4/1/63		TUVT	Y	A	0038
		TUVT	Z	A	0038
		TUVT	/	A	0038
		TUXU	X	A	0038
		TUXU	Y	A	0038
		TUXU	Z	A	0038
INTEGER	BEGIN 1, J, K.	PRINCIPIO DEL SEGMENTO			
REAL	ARRAY	01, 02(01,01) IF H2H AND H2P THEN H ELSE IF H2H AND H2P	TUXU	/	A 0000
		THEN N ELSE P1	TUXU	//	A 0001
PROCEDURE		CIP(A, B, N)	TUXU	/S	A 0009
VALUE		N1	TUXU	/T	A 0009
INTEGER		N1	TUXU	/U	A 0009
ARRAY		A, B(0,0)	TUXU	/V	A 0009
			TUXU	/W	A 0009
			TUXU	/X	A 0009
			TUXU	/Y	A 0009
			TUXU	/Z	A 0009
REAL	BEGIN 0, 19	PRINCIPIO DEL SEGMENTO			
INTEGER	1	TUXU	S	A	0000
	0 * 10 * 0	TUXU	S/	A	0000
		TUXU	SS	A	0000
	FOR I * 1 STEP 1 UNTIL N DO	TUXU	ST	A	0001
BEGIN		TUXU	SU	A	0001
	Q * A(0,1) * B(0,1) * A(1,1) * B(1,1) * Q	TUXU	SV	A	0002
	10 * A(1,1) * B(0,1) * A(0,1) * B(1,1) * 10	TUXU	SW	A	0002
END		TUXU	SY	A	0014
	A(0,0) * 0 : A(1,0) * 10	TUXU	SZ	A	0017
END		TUXU	T	A	0021
EL SEG 7 TIENE 24 PALABRAS, SIG. SEG, ES EL 6					
	FOR I * 1 STEP 1 UNTIL N DO	TUXU	T/	A	0009
BEGIN		TUXU	TS	A	0009
	FOR K * 1 STEP 1 UNTIL N DO	TUXU	TT	A	0010
BEGIN		TUXU	TU	A	0010
	Q1(0,K) * A(1,K) : Q1(1,K) * A(1,K)	TUXU	TV	A	0011
END		TUXU	TW	A	0011
	FOR J * 1 STEP 1 UNTIL P DO	TUXU	TX	A	0018
BEGIN		TUXU	TY	A	0021
	FOR K * 1 STEP 1 UNTIL N DO	TUXU	TZ	A	0021
BEGIN		TUXU	U	A	0021
	Q2(0,K) * B(K,J) : Q2(1,K) * B(K,J)	TUXU	U/	A	0022
END		TUXU	US	A	0022
	CIP(Q1, Q2, N)	TUXU	UT	A	0022
	C(1,J) * Q1(0,0) : C(1,J) * Q1(1,0)	TUXU	UU	A	0023
END		TUXU	UV	A	0023
		TUXU	UW	A	0030
END		TUXU	UX	A	0033
END		TUXU	UY	A	0036
END		TUXU	UZ	A	0043
END		TUXU	V	A	0044
END		TUXU	V/	A	0046
EL SEG 6 TIENE 34 PALABRAS, SIG. SEG, ES EL 5					
PROCEDURE COPPINV(N, A, IA, EPS, SINGULAR)		T2VV	/	A	0038

VALUE	N, EPS	TZVV	S	A	0038
INTEGER	N	TZVV	T	A	0038
REAL	EPS	TZVV	U	A	0038
ARRAY	A, I(0,0)	TZVV	V	A	0038
LABEL	SINGULAR	TZVV	W	A	0038
		TZVV	X	A	0038
		TZVV	Y	A	0038
COMMENT	THIS PROCEDURE INVERTS A MATRIX OF COMPLEX ELEMENTS, SEE CORRESPONDING TECHNICAL BULLETIN FOR DETAILS ON USE OF THE PROCEDURE.	TUVT	S	A	0038
		TUVT	T	A	0038
		TUVT	U	A	0038
		TUVT	V	A	0038
		TUVT	W	A	0038
	R. D. BOKAN (PROFESSIONAL SERVICES DIVISIONAL GROUP),	TUVT	X	A	0038
	CARD SEQUENCE BEGINS WITH CIXV0001, FIRST RELEASE 4/1/63	TUVT	Y	A	0038
		TUVT	Z	A	0038
		TZVV	Z	A	0038
		TZVV	/	A	0038
INTEGER	BEGIN	TZVV	//	A	0038
	I, Z, X, L, K2, J, V, Y, M				
			PRINCIPIO DEL SEGMENTO	*****	8
REAL	DIAG, T, EPS, TEMP, DIAG, IT	TZVV	/S	A	0000
ARRAY	Q1(01,01N), Q2(01,01N)	TZVV	/T	A	0000
INTEGER ARRAY	F(01N)	TZVV	/U	A	0000
PROCEDURE	CIP(A, R, N)	TZVV	/V	A	0000
		TZVV	/W	A	0000
VALUE	N	TZVV	/X	A	0000
INTEGER	N	TZVV	/Y	A	0000
		TZVV	/Z	A	0000
ARRAY	A, R(0,0)	TZVV	/R	A	0000
BEGIN		TZVV	/Z	A	0000
REAL	0, IQ	TZVV	/S	A	0000
			PRINCIPIO DEL SEGMENTO	*****	9
INTEGER	I	TZVV	SY	A	0000
	0 + IQ + 0	TZVV	SU	A	0000
		TZVV	SV	A	0000
	FOR I = 1 STEP 1 UNTIL N DO	TZVV	SN	A	0001
		TZVV	SN	A	0001
BEGIN	C = A(0,1) * R(0,1) + A(1,1) * B(1,1) + 0	TZVV	SY	A	0002
	IQ = A(1,1) * R(0,1) + A(0,1) * B(1,1) + IQ	TZVV	SZ	A	0002
		TZVV	T	A	0006
END	A(0,0) + 0, A(1,0) + IQ	TZVV	TZ	A	0013
FND		TZVV	TS	A	0017
		TZVV	TT	A	0021
			EL SEQ	9 YLENE	24 PALABRAS, SIG, SEG, ES EL
					8
	FOR I = 1 STEP 1 UNTIL N DO	TZVV	TU	A	0008
BEGIN	Z = I-1	TZVV	TV	A	0008
		TZVV	TV	A	0010
	FOR K = 1 STEP 1 UNTIL Z DO	TZVV	TX	A	0010
		TZVV	TY	A	0011
BEGIN		TZVV	TZ	A	0011
	Q1(0,K) + A(K,1) * Q1(1,K) + I(A(K,1)	TZVV	U	A	0012
FND		TZVV	U	A	0012
		TZVV	US	A	0017
	FOR K = 1 STEP 1 UNTIL N DO	TZVV	UT	A	0020
BEGIN		TZVV	UU	A	0020
		TZVV	UV	A	0021
		TZVV	UM	A	0021
	FOR L = 1 STEP 1 UNTIL Z DO	TZVV	UX	A	0021

```

      BEGIN
        Q2(0,L) = A(K,L) / Q2(1,L) + 1A(K,L)
      END
      CIP(Q1, Q2, Z) =
        A(K,1) * A(K,1) = Q1(0,0) * 1A(K,1) + 1A(K,1) = Q1(1,0)
      END
      BIG = 0 / K2 * 1
      FOR K = 1 STEP 1 UNTIL N DO
      BEGIN
        Y = A(K,1)*2 + 1A(K,1)*2
        IF Y > BIG THEN
      BEGIN
        BIG = Y / K2 * K
      END
      END
      IF BIG > EPS THEN GO TO SINGULAR
      F(1) = K2
      IF K2 = 1 THEN FOR K = 1 STEP 1 UNTIL N DO
      BEGIN
        TEMP = A(1,K) / A(1,K) + A(K2,K) / A(K2,K) + TEMP
        TEMP = 1A(1,K) / 1A(1,K) + 1A(K2,K) / 1A(K2,K) + TEMP
      END
      DIAG = 1/(A(1,1)*2 + 1A(1,1)*2)
      FOR K = 1 STEP 1 UNTIL 2 DO
      BEGIN
        Q1(0,K) = A(1,K) / Q1(1,K) + 1A(1,K)
      END
      FOR K = 1 STEP 1 UNTIL N DO
      BEGIN
        FOR L = 1 STEP 1 UNTIL 2 DO
      BEGIN
        Q2(0,L) = A(L,K) / Q2(1,L) + 1A(L,K)
      END
      CIP(Q1, Q2, Z) =
        Y = A(1,K) * Q1(0,0) / Y + 1A(1,K) * Q1(1,0) /
        A(1,K) * (Y * A(1,1) + Y * 1A(1,1)) * DIAG
        1A(1,K) * (Y * A(1,1) + Y * 1A(1,1)) * DIAG
      END
      END
      FOR I = 1 STEP 1 UNTIL N DO
      BEGIN
        DIAG = 1/(A(1,1)*2 + 1A(1,1)*2) / Z * Y * I
      FOR J = 1 STEP 1 UNTIL I DO
      BEGIN
        IF I = J THEN
      BEGIN
        FOR K = J STEP 1 UNTIL 2 DO
      BEGIN
        Q1(0,K-J+1) = A(K,J) / Q1(1,K-J+1) + 1A(K,J)
        Q2(0,K-J+1) = A(1,K) / Q2(1,K-J+1) + 1A(1,K)
      END
      CIP(Q1, Q2, I-J) =
        A(1,J) * (-Q1(0,0)*A(1,1) - Q1(1,0)*A(1,1)) * DIAG
        1A(1,J) * (-Q1(0,0)*A(1,1) - Q1(1,0)*A(1,1)) * DIAG

```

```

T2VV UY A 0022
T2VV UZ A 0022
T2VV V A 0027
T2VV V/ A 0030
T2VV VS A 0033
T2VV VT A 0041
T2VV VU A 0044
T2VV VV A 0045
T2VV VM A 0045
T2VV VX A 0047
T2VV VY A 0047
T2VV VZ A 0051
T2VV W A 0052
T2VV W/ A 0052
T2VV WS A 0053
T2VV MT A 0054
T2VV MU A 0055
T2VV MV A 0058
T2VV MW A 0060
T2VV MX A 0062
T2VV HY A 0062
T2VV KZ A 0066
T2VV X A 0074
T2VV X/ A 0077
T2VV XS A 0082
T2VV XT A 0082
T2VV XU A 0084
T2VV XV A 0084
T2VV XH A 0089
T2VV XX A 0092
T2VV XY A 0092
T2VV XZ A 0096
T2VV Y A 0096
T2VV Y/ A 0096
T2VV YS A 0098
T2VV YT A 0098
T2VV YU A 0103
T2VV YV A 0106
T2VV YM A 0109
T2VV YX A 0115
T2VV YY A 0121
T2VV YZ A 0126
T2VV Z A 0127
T2VV Z/ A 0130
T2VV ZS A 0130
T2VV ZT A 0131
T2VV ZU A 0131
T2VV ZV A 0137
T2VV ZH A 0137
T2VV ZX A 0138
T2VV ZY A 0138
T2VV ZZ A 0138
T2VV / A 0139
T2VV / / A 0139
T2VV / S A 0140
T2VV / T A 0140
T2VV / U A 0148
T2VV / V A 0155
T2VV / W A 0158
T2VV / X A 0161
T2VV / Y A 0160

```

```

END
ELSE
BEGIN
  A(I,I) = A(I,I) * DIAG ;
  I A(I,I) = - I A(I,I) * DIAG
END
END
V = K-1 ;
FOR I = V STEP -1 UNTIL 1 DO
  BEGIN
    Z = I-1 ;
    FOR J = N STEP -1 UNTIL Z DO
      BEGIN
        Y = J-1 ;
        FOR K = I+1 STEP 1 UNTIL Y DO
          BEGIN
            Q1(0,K+1) = A(K,J) ; Q1(1,K) = I A(K,J) ;
            Q2(0,K) = A(I,K) ; Q2(1,K) = I A(I,K)
          END
          CIP(Q1, Q2, Y-1) ;
          A(I,J) = A A(I,J) = Q1(0,0) ;
          I A(I,J) = - I A(I,J) = Q1(1,0)
        END
      END
      FOR I = 1 STEP 1 UNTIL V DO
        BEGIN
          FOR J = 1 STEP 1 UNTIL N DO
            BEGIN
              IF I = J THEN
                BEGIN
                  FOR K = I+1 STEP 1 UNTIL N DO
                    BEGIN
                      Q1(0,K+1) = A(I,K) ; Q1(1,K) = I A(I,K) ;
                      Q2(0,K) = A(K,J) ; Q2(1,K) = I A(K,J)
                    END
                    CIP(Q1, Q2, K-1) ;
                    A(I,J) = A I(I,J) + Q1(0,0) ;
                    I A(I,J) = I A(I,J) + Q1(1,0)
                  END
                ELSE
                  BEGIN
                    FOR K = J STEP 1 UNTIL N DO
                      BEGIN
                        Q1(0,K+J+1) = A(K,J) ; Q1(1,K) = I A(K,J) ;
                        Q2(0,K) = A(I,K) ; Q2(1,K) = I A(I,K)
                      END
                      CIP(Q1, Q2, K-J+1) ;
                      A(I,J) = Q1(0,0) ; I A(I,J) = Q1(1,0)
                    END
                  END
                END
              FOR J = N STEP -1 UNTIL 1 DO

```

```

TZVV /Z A 0176
TZVV // A 0177
TZVV /// A 0177
TZVV /S A 0178
TZVV /T A 0181
TZVV /U A 0184
TZVV /V A 0185
TZVV /W A 0185
TZVV /X A 0190
TZVV /Y A 0191
TZVV /Z A 0191
TZVV /S A 0192
TZVV /S/ A 0192
TZVV /SS A 0193
TZVV /ST A 0193
TZVV /SU A 0194
TZVV /SV A 0194
TZVV /SW A 0195
TZVV /SX A 0195
TZVV /SY A 0199
TZVV /SZ A 0199
TZVV /T A 0204
TZVV /T/ A 0211
TZVV /TS A 0213
TZVV /TY A 0216
TZVV /TU A 0221
TZVV /TV A 0224
TZVV /TW A 0225
TZVV /TX A 0230
TZVV /TY A 0230
TZVV /TZ A 0231
TZVV /U A 0231
TZVV /U/ A 0231
TZVV /US A 0232
TZVV /UT A 0232
TZVV /UU A 0232
TZVV /UV A 0233
TZVV /UM A 0233
TZVV /UX A 0237
TZVV /UY A 0237
TZVV /UZ A 0244
TZVV /V A 0250
TZVV /V/ A 0252
TZVV /VS A 0255
TZVV /VT A 0259
TZVV /VU A 0263
TZVV /VV A 0264
TZVV /VX A 0264
TZVV /VY A 0264
TZVV /VZ A 0266
TZVV /W A 0266
TZVV /W/ A 0273
TZVV /WS A 0276
TZVV /WT A 0281
TZVV /WU A 0285
TZVV /WV A 0290
TZVV /WH A 0291
TZVV /WX A 0291
TZVV /WY A 0296
TZVV /WZ A 0296

```

BEGIN	IF F(J) > J THEN	T2VV /X A	0297
BEGIN	K2 & F(J) ;	T2VV /X/ A	0297
	FOR K & 1 STEP 1 UNTIL N DO	T2VV /XS A	0298
BEGIN	TEMP & A(K,K2) ; A(K,K2) & A(K,J) ; A(K,J) & TEMP ;	T2VV /XT A	0298
END	TEMP & A(K,K2) ; A(K,K2) & A(K,J) ; A(K,J) & TEMP	T2VV /XU A	0299
END	ELSE	T2VV /XV A	0299
END	END ;	T2VV /XW A	0301
		T2VV /XX A	0301
		T2VV /XY A	0307
		T2VV /XZ A	0313
		T2VV /Y A	0314
		T2VV /Y/ A	0316
		T2VV /YS A	0316
		T2VV /YT A	0317
	EL SEG 6 TIENE 328 PALABRAS, SIG, SEQ, ES EL 5		
		A	0038
		72222222	0038
	IF ETI THEN GO TO CHN ELSE		0038
	GO TO CPV ;		0038
CPV: BEGIN			0039
	READ(CARD, FOR31, PREC1) ;		0040
	FOR I & 1 STEP 1 UNTIL N DO		0043
	READ(CARD, FOR10, MATRIZIA) ;		0045
	FOR I & 1 STEP 1 UNTIL N DO		0051
	READ(CARD, FOR10, MATRIZIA) ;		0052
	CUMPIV(N, A, Y, EPS, SINGULAR) ;		0058
	WRITE(PRINT, FOR41) ;		0062
	FOR I & 1 STEP 1 UNTIL N DO		0065
	WRITE(PRINT, FOR10, MATRIZIA) ;		0066
	WRITE(PRINT, FOR51) ;		0071
	FOR I & 1 STEP 1 UNTIL N DO		0074
	WRITE(PRINT, FOR10, MATRIZIA) ;		0076
	END ;		0081
	GO TO SALIDA ;		0081
CPM: BEGIN			0083
END ; END ;			0084
	EL SEG 5 TIENE 87 PALABRAS, SIG, SEQ, ES EL 2		
			0034
	GO TO SALIDA ;		0034
	SINGULAR ; WRITE(PRINT, SOS) ;		0039
	SALIDA ; END ;		
	EL SEG 2 TIENE 41 PALABRAS, SIG, SEQ, ES EL 1		
	OUTPUT(WY ES EL SEGMENTO NUMERO 0010 DIRECCION EN LA PRT ES 0046		
	BLOCK CONTROL ES EL SEGMENTO NUMERO 0011 DIRECCION EN LA PRT ES 0005		
	INPUT(W) ES EL SEGMENTO NUMERO 0012 DIRECCION EN LA PRT ES 0044		
	GO TO SOLVER ES EL SEGMENTO NUMERO 0013 DIRECCION EN LA PRT ES 0069		
	ALGOL WRITE ES EL SEGMENTO NUMERO 0014 DIRECCION EN LA PRT ES 0014		
	ALGOL READ ES EL SEGMENTO NUMERO 0015 DIRECCION EN LA PRT ES 0015		
	ALGOL SELECT ES EL SEGMENTO NUMERO 0016 DIRECCION EN LA PRT ES 0016		
	EL SEG 1 TIENE 2 PALABRAS, SIG, SEQ, ES EL 0		
	EL SEG 17 TIENE 69 PALABRAS, SIG, SEQ, ES EL 0		
	NUMERO DE ERRORES DETECTADOS = 0, TIEMPO DE COMPILACION = 373 SEGUNDOS,		
	LONGITUD DE LA PRT = 57 PALABRAS, LONGITUD DEL TOTAL DE SEGS, = 738 PALABRAS,		
	LONGITUD DE DISCO = 39 SEGS, NUMERO DE SEGMENTOS DEL PROGRAMA = 17		
	REQUERIMIENTO ESTIMADO DE MEMORIA = 6554 PALABRAS,		

RESULTADOS DE LA INVERSION DE LA SUBMATRIZ COMPLEJA Z_{11} MEDIANTE

MATRIZ A EL PROCEDIMIENTO COMPIRV (KRS-124)

0.204070*0.176164-0.153853
 -0.176164 0.233613 0.152914
 -0.153853 0.152914 0.161761

MATRIZ IA

-0.340255 0.302422 0.258280
 0.302422-0.432591-0.256817
 0.258280*0.256817-0.261985

NOTA: ALTERNATIVAMENTE ESTE MISMO PROCEDIMIENTO DE BIBLIOTECA
 HABRA DE UTILIZARSE EN LA MULTIPLICACION DE MATRICES --
 COMPLEJAS MEDIANTE COMPMATMUL.

IV-CALCULOS RESULTANTES DE LAS CORRIENTES DE MALLA Y DE LAS
RAMAS INCLUIDAS, PARA LAS FALLAS INDICADAS EN CADA
UNO DE LOS BUSES DEL SISTEMA.

FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 1	
CORRIENTES MALLA $I_{L(f)}$	CORRIENTES DE RAMAS
$I_1 = 1.0$ + j0	$I_8 = - 0.09412$ - j0.00626
$I_2 = 0$ + j0	$I_9 = - 0.29642$ + j0.04605
$I_3 = 0$ + j0	$I_{10} = 0.39054$ - j0.03978
$I_4 = 0$ + j0	$I_{11} = 0.09412$ + j0.00626
CORRIENTES DE MALLA I_L	
$I_5 = - 0.09779$ - j0.00626	
$I_6 = - 0.29280$ + j0.04605	
$I_7 = 0.00362$ + j0.00000	

FALLA CONSIDERADA EN EL BUS NUMERO 2	
CORRIENTES MALLA $I_{L(f)}$	CORRIENTES DE RAMAS
$I_1 = 0$ + j0	$I_8 = - 0.98190$ + j0.01104
$I_2 = 1.0$ + j0	$I_9 = - 0.00974$ - j0.00492
$I_3 = 0$ + j0	$I_{10} = 0.99165$ - j0.00612
$I_4 = 0$ + j0	$I_{11} = 0.98190$ - j0.01104
CORRIENTES DE MALLA I_L	
$I_5 = - 0.92478$ + j0.04503	
$I_6 = - 0.06687$ - j0.03891	
$I_7 = - 0.05713$ - j0.03399	

19-2 CALCULOS RESULTANTES DE LAS CORRIENTES DE MALLA Y DE LAS
RAMAS INCLUIDAS, PARA LAS FALLAS INDICADAS EN CADA
UNO DE LOS BUSES DEL SISTEMA.

FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 3	
CORRIENTES MALLA $I_{L(f)}$	CORRIENTES DE RAMAS
$I_1 = 0$ + j0	$I_8 = - 0.22639$ - j0.00277
$I_2 = 0$ + j0	$I_9 = - 0.22194$ - j0.03048
$I_3 = 1.0$ + j0	$I_{10} = 0.44833$ - j0.03897
$I_4 = 0$ + j0	$I_{11} = 0.22639$ + j0.00277
CORRIENTES MALLA I_L	
$I_5 = -0.22011$ + j0.00285	
$I_6 = -0.22821$ + j0.03611	
$I_7 = -0.00627$ - j0.00563	

FALLA CONSIDERADA EN EL BUS NUMERO 4	
CORRIENTES MALLA $I_{L(f)}$	CORRIENTES DE RAMAS
$I_1 = 0$ + j0	$I_8 = - 0.00474$ - j0.00242
$I_2 = 0$ + j0	$I_9 = - 0.98170$ + j0.00710
$I_3 = 0$ + j0	$I_{10} = 0.98645$ - j0.00467
$I_4 = 1.0$ + j0	$I_{11} = 0.00474$ + j0.00242
CORRIENTES MALLA I_L	
$I_5 = -0.03145$ - j0.01833	
$I_6 = -0.95500$ + j0.02301	
$I_7 = 0.02670$ + j0.01591	

D - CALCULO DE LOS VOLTAJES NODALES PARA UN NODO DETERMINADO, BAJO FALLA

Para la obtención de los voltajes nodales del sistema auxiliar, recordaremos que si efectuamos la sustitución de las corrientes de enlace, para las ecuaciones del sistema auxiliar, se establecerían valores diferentes de cero, en el miembro del lado derecho de las ecuaciones citadas.

Ahora, se tendrá que determinar a los voltajes referidos a tierra en cualquiera de los buses en la forma convencional de sustraer la caída de voltaje debida a la falla, de el valor del voltaje anterior a la falla.

Para la sustitución referida, en la ecuación correspondiente del bus bajo falla se tendrá en el miembro del lado derecho el valor de la fuente de voltaje E^{pp} requerida en la falla, para producir las corrientes supuestas y calculadas en la red. Sin embargo esta fuente de voltaje sola, no provocará las corrientes que han sido calculadas; sino que será necesario para las restantes ecuaciones del sistema auxiliar, sustraer del voltaje E^{pp} un valor respectivo obtenida de la sustitución de los valores de todas las corrientes en la ecuación apropiada.

Es decir, los voltajes nodales para una falla de un nodo p, donde se asumirá la corriente de $(1 + i 0)$

$$E_p = E^{pp} = (1 + i 0) Z_f$$

$$E_1 = E^{pp} - E^{p2}$$

$$E_3 = E^{pp} - E^{p3}$$

$$E_n = E^{pp} - E^{pn}$$

En las fuentes de voltaje $E^{p2}, E^{p3}, \dots, E^{pn}$ tendrán **referencias** en su nomenclatura de subíndices, al enlace p en corto circuito, para el primer subíndice, y para el segundo al enlace donde existirá la fuente de voltaje correspondiente.

En la partición realizada en la ecuación fundamental, tendremos para el vector de voltaje de las mallas auxiliares, lo siguiente:

$$E_{L(F)} = (Z_M)^t I_L + Z_A I_{L(F)}$$

En el producto matricial $Z_A \cdot I_{L(F)}$, se tendrá lo siguiente: el vector $I_{L(F)}$ estará formado de conformidad al valor asumido en el nodo bajo falla, y por esta razón solamente habrá de efectuarse el producto de la corriente asumida $(1 + i 0)$ por la columna p -ésima de la submatriz Z_A , en consecuencia de que las corrientes auxiliares restantes serán nulas. Posteriormente se tendrá el producto de la matriz transpuesta $(Z_M)^t$ por las corrientes de enlace obtenidas en las condiciones específicas de cada bus bajo falla; este producto se efectuará mediante el Procedimiento COMPTAMUL referido anteriormente, para la adición correspondiente del voltaje nodal respectivo a tierra.

IV-3 CALCULOS RESULTANTES DE LOS VOLTAJES.

VOLTAJES DE MALLAS AUXILIARES $E_L(f)$	VOLTAJES NODALES CORRESPONDIENTES
$E^{11} = 0.61714$ + j1.11263	$E_1 = 0$ + j0
$E^{12} = -0.00123$ + j0.02160	$E_2 = 0.61591$ + j1.13423
$E^{13} = 0.55025$ + j0.05275	$E_3 = 0.06688$ + j1.02160
$E^{14} = 0.00474$ + j1.60809	$E_4 = 0.61240$ + j1.08217

VOLTAJES DE MALLAS AUXILIARES $E_L(f)$	VOLTAJES NODALES CORRESPONDIENTES
$E^{31} = 0.55343$ + j1.01044	$E_1 = 0.57798$ + j0.79938
$E^{32} = -0.95984$ - j0.20175	$E_2 = 2.09126$ + j2.01158
$E^{33} = 1.13142$ + j1.80982	$E_3 = 0$ + j0
$E^{34} = 0.00394$ + j0.07508	$E_4 = 1.12747$ + j1.73473

VOLTAJES DE MALLAS AUXILIARES $E_L(f)$	VOLTAJES NODALES CORRESPONDIENTES
$E^{21} = -0.00131$ + j0.06059	$E_1 = 11.73045$ + j0.14320
$E^{22} = 11.72913$ + j0.20380	$E_2 = 0$ + j0
$E^{23} = 0.00072$ + j0.02313	$E_3 = 1.72841$ + j0.18066
$E^{24} = -0.00392$ + j0.31689	$E_4 = 11.73305$ - j0.11309

VOLTAJES DE MALLAS AUXILIARES $E_L(f)$	VOLTAJES NODALES CORRESPONDIENTES
$E^{41} = 0.00706$ + j0.02900	$E_1 = 0.00685$ + j2.71240
$E^{42} = 1.15387$ + j0.00492	$E_2 = -1.13995$ + j2.73647
$E^{43} = 0.00624$ + j0.02227	$E_3 = 0.00767$ + j2.71912
$E^{44} = 0.01392$ + j2.74140	$E_4 = 0$ + j0

E) CALCULO DE LAS CORRIENTES
DE UN NODO DETERMINADO BA
JO FALLA CON ALGUNA DE LAS
LINEAS REMOVIDAS.

La posición de cálculo mencionada consistirá en remover a cualquier de las líneas del sistema, simultáneamente a la presentación de una falla en cualquier bus de la red. Pero, para el método aplicado, la modificación física citada no significará alterar la geometría de la del efecto del removimiento considerado, insertándose un voltaje hipotético de tal magnitud, que llegue a producir una corriente circulante igual y opuesta sobre esa línea, por lo que se tendrá la corriente resultante nula, en las condiciones específicas de falla.

Deberemos tener en cuenta, que al efectuarse el removimiento, se tendrá implícitamente la consideración de una falla para un determinado bus, aprovechándose los cálculos efectuados para obtener las corrientes de malla del sistema simplificado, sin la existencia de removimiento de líneas, y procediéndose de acuerdo a la ecuación II-40, podrán lograrse obtener las correcciones necesarias efectuadas sobre las corrientes de malla del sistema simplificado originales.

El procedimiento necesario en el cálculo de las correcciones mencionadas tendrá la siguiente secuencia de operaciones:

1. Resultará característico encontrar en las ecuaciones del sistema auxiliar, la correspondiente relación de la ecuación II-40 para mostrar una individual localización de las mallas, las cuales hayan de cerrarse mediante la línea removida; y también de las corrientes de enlace originales que habrán de producir el valor original de la corriente de línea removida.

2. De la relación individual de cualquier línea removida, se tiene el auxilio de la hilera correspondiente de la matriz de transformación, y de las corrientes de las buses encontradas en situación de falla; de aquí que el valor del generador de voltaje insertado, se encontrará por el cociente correspondiente.

3. Con el objeto del cálculo de los cocientes apropiados, se efectuó la operación de racionalizar la fracción indicada de números complejos, multiplicando tanto el numerador como el denominador por el conjugado del denominador.

4. Una vez obtenida el valor del voltaje E_{SF} , que aparecerá en cada caso de las páginas de cálculo, se realizará el producto del mismo voltaje, por la inversa de la submatriz Z_{LL} ; produciéndonos este producto la corrección necesaria.

5. Por último, las correcciones obtenidas, debidamente identificadas, se procederá a sumarlas a las soluciones correspondientes a las corrientes originales de un determinado nodo bajo **falla**.

CALCULOS RESULTANTES DE LAS CORRIENTES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO, REMOVIENDO LA LINEA # 8 PARA LAS FALLAS INDICADAS.

VOLTAGE INSERTADO EN LA LINEA REMOVIDA.	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 1	VOLTAGE INSERTADO EN LA LINEA REMOVIDA.	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 2
$E_{s8} = - 0.77386$ $-$ $j1.41643$		$E_{s8} = - 1.06113$ $-$ $j1.31646$	
CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFECTUAR EL REMOVIMIENTO DE LA LINEA # 8	CORRIENTES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO.	CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFECTUAR EL REMOVIMIENTO DE LA LINEA # 8	CORRIENTES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO.
$AI_5 = 0.07979$ $-$ $j0.00255$ $AI_6 = 0.18652$ $+$ $j0.02171$ $AI_7 = 0.01431$ $-$ $j0.01681$	$I_5 = - 0.01600$ $-$ $j0.00882$ $I_6 = - 0.10628$ $+$ $j0.06776$ $I_7 = 0.01793$ $+$ $j0.01681$	$AI_5 = 0.06047$ $+$ $j0.02468$ $AI_6 = - 0.22283$ $-$ $j0.08758$ $AI_7 = 0.01640$ $-$ $j0.01245$	$I_5 = - 0.86430$ $+$ $j0.06503$ $I_6 = - 0.28970$ $-$ $j0.12649$ $I_7 = - 0.04072$ $-$ $j0.04644$
	$I_8 = - 0.00107$ $+$ $j0.00799$ $I_9 = - 0.12421$ $+$ $j0.05095$ $I_{10} = 0.12428$ $-$ $j0.05894$ $I_{11} = 0.00107$ $-$ $j0.00799$		$I_8 = - 0.90502$ $j0.01858$ $I_9 = - 0.24898$ $-$ $j0.14508$ $I_{10} = 1.15401$ $+$ $j0.06146$ $I_{11} = 0.90502$ $-$ $j0.01858$

CALCULOS RESULTANTES DE LAS CORRIENTES DE -
LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO, REMOVIEN-
DO LA LINEA # 8 PARA LAS FALLAS INDICADAS.

VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVI- DA.		VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVI- DA.	
$E_{88} = - 2.03880$ - j3.58743	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 3	$E_{88} = - 0.00858$ - j0.09081	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 4
CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFEC- TUAR EL REMOVIMIEN- TO DE LA LINEA # 8	CORRIENTES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO.	CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFEC- TUAR EL REMOVIMIEN- TO DE LA LINEA # 8	CORRECCIONES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO.
$AI_5 = + 0.20384$ + j0.01281 $AI_6 = - 0.79511$ + j0.06886 $AI_7 = 0.03698$ + j0.04140	$I_5 = - 0.01627$ + j0.01281 $I_6 = - 1.02332$ + j0.10498 $I_7 = 0.03071$ + j0.03576	$AI_5 = 0.00592$ - j0.00176 $AI_6 = - 0.01665$ + j0.00776 $AI_7 = 0.00054$ + j0.00077	$I_5 = 0.02552$ - j0.02010 $I_6 = - 0.97165$ + j0.03077 $I_7 = 0.02725$ + j0.01669
	$I_8 = 0.01443$ + j0.04858 $I_9 = - 1.05404$ + j0.06921 $I_{10} = 1.03960$ - j0.11780 $I_{11} = - 0.01443$ - j0.04858		$I_8 = 0.05278$ - j0.00341 $I_9 = - 0.99892$ + j0.01408 $I_{10} = - 0.94612$ - j0.01067 $I_{11} = 0.01121$ + j0.00143

CALCULOS RESULTANTES DE LAS CORRIENTES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO, REMOVIENDO LA LINEA # 9 PARA LAS FALLAS INDICADAS.

VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVIDA.	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 1	VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVIDA.	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 2
$E_{S9} = 0.85638$ $+$ $j1.21345$		$E_{S9} = - 0.00038$ $+$ $j0.00110$	
CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFECTUAR EL REMOVIMIENTO DE LA LINEA # 9	CORRIENTES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO	CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFECTUAR EL REMOVIMIENTO DE LA LINEA # 9	CORRIENTES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO
$AI_5 = - 0.07267$ $+$ $j0.10729$ $AI_6 = 0.28240$ $-$ $j0.05261$ $AI_7 = - 0.14023$ $-$ $j0.00655$	$I_5 = - 0.17046$ $+$ $j0.00456$ $I_6 = - 0.01563$ $-$ $j0.00656$ $I_7 = - 0.01040$ $-$ $j0.00655$	$AI_5 = - 0.00003$ $+$ $j0.00000$ $AI_6 = 0.00016$ $+$ $j0.00015$ $AI_7 = - 0.00005$ $-$ $j0.00110$	$I_5 = - 0.92482$ $+$ $j0.04034$ $I_6 = - 0.06671$ $-$ $j0.03409$ $I_7 = - 0.05718$ $-$ $j0.03409$
	$I_8 = - 0.18087$ $-$ $j0.00198$ $I_9 = - 0.00523$ $-$ $j0.00001$ $I_{10} = 0.18610$ $-$ $j0.00199$ $I_{11} = 0.18087$ $+$ $j0.00198$		$I_8 = - 0.98200$ $+$ $j0.00625$ $I_9 = - 0.00952$ $-$ $j0.00466$ $I_{10} = 0.99153$ $-$ $j0.07910$ $I_{11} = 0.98200$ $-$ $j0.00625$

CALCULOS RESULTANTES DE LAS CORRIENTES DE -
LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO, REMOVIEN-
DO LA LINEA # 9 PARA LAS FALLAS INDICADAS.

VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVI- DA.	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 3	VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVI- DA.	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 4
$E_{S9} = 0.30307$ + $j1.07625$		$E_{S9} = 2.12822$ + $j4.36993$	
CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFEC- TUAR EL REMOVIMIEN- TO DE LA LINEA # 9	CORRIENTES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO	CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFEC- TUAR EL REMOVIMIEN- TO DE LA LINEA # 9	CORRECCIONES TOTALES DE LAS LINEAS DEL- SISTEMA ELECTRICO.
$AI_5 = - 0.05427$ - $j0.03739$	$I_5 = - 0.27438$ - $j0.03453$	$AI_5 = - 0.24038$ - $j0.19144$	$I_5 = - 0.27183$ - $j0.20978$
$AI_6 = 0.21363$ + $j0.03358$	$I_6 = - 0.01458$ + $j0.06970$	$AI_6 = 0.93986$ - $j0.02263$	$I_6 = - 0.01513$ + $j0.00038$
$AI_7 = - 0.00930$ - $j0.00817$	$I_7 = - 0.01558$ - $j0.01380$	$AI_7 = - 0.05185$ - $j0.03854$	$I_7 = - 0.02514$ - $j0.02263$
	$I_8 = - 0.28996$ - $j0.04833$		$I_8 = - 0.29697$ - $j0.23241$
	$I_9 = 0.00099$ + $j0.08350$		$I_9 = 0.01000$ + $j0.02301$
	$I_{10} = 0.28897$ - $j0.03516$		$I_{10} = 0.28696$ + $j0.20939$
	$I_{11} = 0.28996$ + $j0.04833$		$I_{11} = 0.29697$ + $j0.23241$

CALCULOS RESULTANTES DE LAS CORRIENTES DE -
LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO, REMOVIEN-
DO LA LINEA # 10 PARA LAS FALLAS INDICADAS.

VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVI- DA.	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 1	VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVI- DA.	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 2
$E_{S10} = - 1.40051$ - $j0.14057$		$E_{S10} = 2.83119$ + $j6.27767$	
CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFEC- TUAR EL REMOVIMIEN- TO DE LA LINEA # 10	CORRIENTES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO.	CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFEC- TUAR EL REMOVIMIEN- TO DE LA LINEA # 10	CORRECCIONES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO
$AI_5 = 0.03745$ - $j0.05858$	$I_5 = - 0.06034$ - $j0.06494$	$AI_5 = - 0.34027$ - $j0.05806$	$I_5 = - 1.26505$ - $j0.01303$
$AI_6 = - 0.13773$ + $j0.23482$	$I_6 = - 0.43053$ + $j0.28087$	$AI_6 = 1.33193$ + $j0.00895$	$I_6 = 1.26505$ - $j0.02995$
$AI_7 = 0.01340$ - $j0.00496$	$I_7 = 0.01701$ - $j0.00496$	$AI_7 = - 0.05806$ - $j0.05215$	$I_7 = - 0.11519$ - $j0.08614$
	$I_8 = - 0.04332$ + $j0.06991$		$I_8 = - 1.38025$ - $j0.09918$
	$I_9 = - 0.44755$ + $j0.28584$		$I_9 = 1.38025$ + $j0.05619$
	$I_{10} = 0.49087$ - $j0.21592$		$I_{10} = 0$ + $j0.04298$
	$I_{11} = 0.04332$ + $j0.06991$		$I_{11} = 1.38025$ + $j0.09918$

CALCULOS RESULTANTES DE LAS CORRIENTES DE -
LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO, REMOVIEN-
DO LA LINEA # 10 PARA LAS FALLAS INDICADAS.

VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVI- DA.		VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVI- DA.	
$E_{S10} = 1.53354$ + $j2.73345$	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 3	$E_{S10} = 2.80737$ + $j6.27777$	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 4
CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFEC- TUAR EL REMOVIMIENT- TO DE LA LINEA # 10	CORRIENTES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO	CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFEC- TUAR EL REMOVIMIENT- TO DE LA LINEA # 10	CORRIENTES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO
$AI_5 = - 0.15487$ + $j0.00570$ $AI_6 = 0.60422$ - $j0.04896$ $AI_7 = - 0.03800$ - $j0.01680$	$I_5 = - 0.37499$ + $j0.00956$ $I_6 = 0.37601$ - $j0.01284$ $I_7 = - 0.04428$ - $j0.02243$	$AI_5 = - 0.33974$ - $j0.01614$ $AI_6 = 1.36002$ + $j0.01315$ $AI_7 = - 0.05785$ - $j0.04228$	$I_5 = - 0.37120$ - $j0.03447$ $I_6 = - 0.40502$ + $j0.03616$ $I_7 = 0.03114$ + $j0.02637$
	$I_8 = - 0.41927$ - $j0.01287$ $I_9 = 0.42029$ + $j0.00958$ $I_{10} = - 0.00101$ + $j0.00328$ $I_{11} = 0.41927$ + $j0.01287$		$I_8 = - 0.34005$ - $j0.00810$ $I_9 = - 0.43617$ + $j0.00979$ $I_{10} = 0.77622$ - $j0.00169$ $I_{11} = 0.34005$ + $j0.00810$

CALCULOS RESULTANTES DE LAS CORRIENTES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO, REMOVIENDO LA LINEA # 11 PARA LAS FALLAS INDICADAS.

VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVIDA.	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 3	VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVIDA.	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 4
$E_{S11} = 2.03880$ $+$ $j3.58743$		$E_{S11} = 0.00858$ $+$ $j0.09081$	
CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFECTUAR EL REMOVIMIENTO DE LA LINEA # 11	CORRIENTES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO	CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFECTUAR EL REMOVIMIENTO DE LA LINEA # 11	CORRECCIONES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO
$AI_5 = - 0.20384$ $-$ $j0.00996$ $AI_6 = - 0.79511$ $-$ $j0.06886$ $AI_7 = - 0.03698$ $-$ $j0.04140$	$I_5 = - 0.42396$ $-$ $j0.00710$ $I_6 = 0.56689$ $+$ $j0.03274$ $I_7 = - 0.04326$ $-$ $j0.04703$	$AI_5 = - 0.00592$ $+$ $j0.00176$ $AI_6 = 0.01665$ $-$ $j0.00776$ $AI_7 = - 0.00054$ $-$ $j0.00077$	$I_5 = - 0.03737$ $-$ $j0.01657$ $I_6 = - 0.93834$ $+$ $j0.01525$ $I_7 = 0.02615$ $+$ $j0.01513$
	$I_8 = - 0.46722$ $-$ $j0.05413$ $I_9 = 0.61015$ $+$ $j0.01429$ $I_{10} = - 0.14293$ $+$ $j0.03984$ $I_{11} = 0.46722$ $+$ $j0.05413$		$I_8 = - 0.01121$ $-$ $j0.00143$ $I_9 = - 0.96450$ $+$ $j0.00011$ $I_{10} = 0.97572$ $+$ $j0.00132$ $I_{11} = 0.01121$ $+$ $j0.00143$

CALCULOS RESULTANTES DE LAS CORRIENTES DE -
LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO, REMOVIE-
DO LA LINEA # 11 PARA LAS FALLAS INDICADAS.

VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVI- DA.	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 1	VOLTAJE INSERTADO EN LA LINEA REMOVI- DA.	FALLA CONSIDERADA PARA EL BUS NUMERO 2
$E_{S11} = + 0.77886$ + j1.41643		$E_{S11} = 1.06113$ + j1.31646	
CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFEC- TUAR EL REMOVIMIENT- TO DE LA LINEA # 11	CORRIENTES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO	CORRECCIONES EN LAS CORRIENTES DE MALLA ORIGINALES AL EFEC- TUAR EL REMOVIMIENT- TO DE LA LINEA # 11	CORRECCIONES TOTALES DE LAS LINEAS DEL SISTEMA ELECTRICO
$AI_5 = - 0.07979$ + j0.00882	$I_5 = - 0.17758$ - j0.00370	$AI_5 = - 0.06047$ - j0.02468	$I_5 = - 0.98525$ - j0.01566
$AI_6 = - 0.18652$ - j0.02171	$I_6 = - 0.47932$ + j0.02433	$AI_6 = 0.22283$ + j0.08758	$I_6 = 0.15596$ + j0.04867
$AI_7 = - 0.01431$ - j0.01681	$I_7 = - 0.01070$ + j0.01681	$AI_7 = - 0.01640$ + j0.01245	$I_7 = - 0.07353$ - j0.02153
	$I_8 = - 0.18828$ + j0.01311		$I_8 = - 1.05879$ - j0.03719
	$I_9 = - 0.46862$ + j0.00751		$I_9 = 0.22949$ + j0.07020
	$I_{10} = 0.66696$ - j0.02062		$I_{10} = 0.82929$ + j0.03300
	$I_{11} = 0.18828$ - j0.01311		$I_{11} = 1.05879$ + j0.03719

CAPITULO V

CONCLUSIONES

El conocimiento de las corrientes y los voltajes existentes en el sistema durante las condiciones de algún tipo de falla en diferentes localizaciones del sistema es sumamente esencial para muchos propósitos.

1. La selección de los interruptores, de acuerdo con la capacidad de ruptura requerida; esto significa el valor resultante del producto de 3, por la tensión de ejercicio entre dos fases, incluyendo en el producto a la corriente de ruptura.

2. La determinación del tamaño de los reactores de limitación de corriente, los cuales son deliberadamente instalados en los sistemas.

3. La selección y la determinación de los ajustes de los relevadores, estos ajustes dependerán de la acción selectiva de los relevadores direccionales y de sobrecarga.

4. El cálculo de los esfuerzos mecánicos en los elementos estructurales propios de los aparatos sujetos a grandes fuerzas electromotrices.

Es importante tener presente en el diseño de un sistema de distribución, el hecho de que la corriente máxima de corto-circuito en cualquier punto, debería ser menor que la relacionada contra corto-circuito, del equipo conectado a dicho punto; en ésta situación se puede asegurar que el sistema tiene la capacidad de interrupción adecuada.

Para lograr la anterior, se procederá a la utilización de los cálculos digitales preparados para la determinación de las corrientes de corto circuito, en los puntos significativos del sistema; puesto que mientras no se conozca con precisión la magnitud de la corriente máxima de corto-circuito, no se puede tener la seguridad de que el sistema está convenientemente protegido.

Se deberán instalar dispositivos de una capacidad de interrupción adecuada, y que sea perfectamente conocida la información provista del fabricante, el cuál ofrece adecuadamente una garantía de la operación del interruptor para una nominación de corriente, igual o mayor a la especificada para un voltaje de restablecimiento igual al voltaje del sistema.

Es de consideración el hecho de que si en un principio la selección de los dispositivos fué hecha adecuadamente, y éstos desempeñan su función correctamente por lo que no se hayan presentado fallas im-

portantes, esto último se puede deber en gran parte, al hecho de que el sistema instalado tenía las condiciones óptimas. Sin embargo, al pasar el tiempo va sufriendo los deterioros naturales de su operación, lo cual hace que vayan disminuyendo sus propiedades, sobre todo en el aspecto aislamiento, aumentando así las posibilidades de corto-circuito. Por lo anterior, resulta negligente el considerar que un sistema nunca fallará al presentarse las circunstancias señaladas.

Los relevadores son dispositivos usados en conexión con los interruptores de circuito, con el fin de obtener ciertas características de interrupción que no pueden lograrse a partir del diseño del interruptor. Los interruptores pueden ser diseñados para responder a la magnitud de la corriente, o pueden tener una respuesta basada en una combinación de corriente y voltaje, pueden detectar la dirección del flujo de corriente, o en el caso de detectar la diferencia entre las corrientes de dos terminales de un circuito; la mayoría de los relevadores en los sistemas de potencia modernos operan desde el secundario de los transformadores de potencia y de corriente.

Resulta de una gran importancia la ejecución del cálculo digital efectuado mediante el método estudiado, para la determinación de las condiciones existentes, en un sistema eléctrico durante la ocurrencia de algún estudio, y del tiempo del personal son evidentes; mientras que se contará con la disponibilidad del programa para rectificaciones, y eliminándose también los errores de lectura y registro.

En el método de cálculo digital estudiado, se podrán obtener las corrientes y los voltajes de los tipos de falla considerados, los cuales se presentarán para diversas localizaciones de falla, y también se recurrirá a operaciones especificadas para dos configuraciones adicionales p.

La información proporcionada permitirá determinar rutinariamente los requerimientos momentáneos de interrupción, y asimismo estudiar la acción de los relevadores para los ajustes necesarios de los mismos, con las corrientes obtenidas.

Resulta evidente que en la solución del problema se ha puesto de relieve la utilización de las computadoras digitales; aunque también existe la posibilidad de que dicha solución se llevará a cabo en una computadora analógica; sin embargo, en la utilización de las computadoras analógicas existen restricciones existentes en los siguientes motivos: su alto costo y lo restringido de su campo de acción, ya que éste se reduce a la solución de problemas de

carácter técnico específicamente.

Por otra parte, desde el punto de vista de una utilización práctica, la computadora analógica ha quedado desplazada por la digital, ya que ésta requerirá en su operación de un menor número de componentes de personal, siendo estos componentes preparados en un período corto de adiestramiento para capacitarlos en el manejo de la computadora, sin necesidad de que el personal sea necesariamente especializado en problemas técnicos; en cambio la computadora analógica requiere de personal altamente capacitado para su manejo.

Es fácilmente comprensible, señalar a las computadoras digitales, como una de las herramientas más poderosas inventadas por el hombre, y asimismo resaltar la importancia que representa el uso de una computadora digital en la solución de los problemas que representan en la planeación, construcción y operación de cualquier sistema eléctrico de cierta magnitud, ya que de estas soluciones se obtienen mayores garantías para proporcionar una mejor calidad y continuidad del servicio.

Un programa digital tendrá la necesidad de una especificación del algoritmo aplicado a la resolución del problema; asimismo será factible acompañarlo de una descripción visual conocida como diagrama de flujo. Este hecho, se efectúa para el programa topológico de formación de la matriz de transformación, lográndose mediante el superlenguaje FORTRAN, IV.

Resulta obvio, la consideración de preparar un programa extenso por varios miembros de un equipo de programadores; con el objeto de trabajar en la preparación de procedimientos o subprogramas relativamente independientes. En esta forma, se tendrá el hecho de terminar independientemente los programas más pequeños, y también integrarlos coordinadamente para todos los segmentos del programa.

En este trabajo se especifican las condiciones, junto con las combinaciones de metas que necesita satisfacer el programa, refiriéndose a las características del programa original; también destaca la imposibilidad prevista de lograr la integración de un programa automático. Sin embargo, existe la pretensión de contribuir al conocimiento de la aplicación del análisis de mallas para la determinación de las condiciones de fallas presentadas.

Por último, hago un reconocimiento a las personas que me ayudaron en este trabajo, el cual representa un válido esfuerzo en mi superación profesional.

BIBLIOGRAFIA

1. Guillemin Ernst A., "Introductory Circuit Theory"; John Wiley & Sons (1953)
2. R. T. Byerly, R. W. Long., "Logic For Applying Topological Methods to Electrical Networks"; A.I.E.E. Transactions, Volumen 77, Part I (nov 1958)
3. R. T. Byerly, R. W. Long, "Digital Calculations of Power Systems Networks Under Fault Conditions"; A.I.E.E. Transactions
4. Glenn W. Stagg, A. H. El-Abiad, "Computer Methods in Power System Analysis"; Mc Graw Hill (1968)
5. Le Corbeiller, "Matrix Analysis of Electrical Networks"; Harvard University Press (1950)
6. Jacinto Viqueira Landa, "Redes Eléctricas", Segunda Parte; Representaciones y Servicios de Ingeniería, S. A. (1968)
7. William D. Stevenson Jr., "Elements of Power System Analysis"; International Student Edition Mc Graw Hill (1962)
8. Brameller A., Scott M. R., "Practical Diaktopics For Electrical Networks"; Chapman & Hall (1965)