

TUES  
1504  
0479  
1995  
E7-2

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**

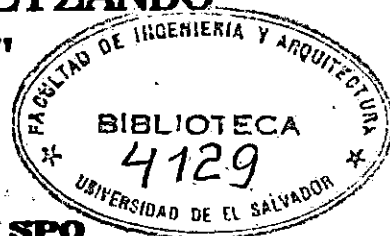


**TEMA DEL TRABAJO DE GRADUACION:**

**"DETERMINACION DE UNA METODOLOGIA PARA  
EL CALCULO DE LOS PARAMETROS DE UNA  
LINEA DE TRANSMISION, UTILIZANDO  
MEDICIONES DE CAMPO"**

**PRESENTADO POR:**

**CESAR ROLANDO CONTRERAS OBISPO  
OMAR ANTONIO MEDRANO CASTRO  
MAXIMILIANO ANTONIO PALENCIA AQUINO  
JAIME INES QUIUSKY BONILLA**



15101208

15101208

**PARA OPTAR AL TITULO DE:  
INGENIERO ELECTRICISTA**

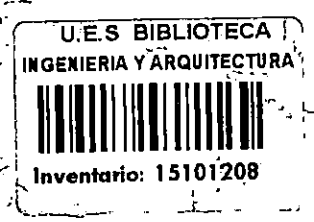
**OCTUBRE, 1995**

**SAN SALVADOR,**

**EL SALVADOR,**

**CENTRO AMERICA.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**



**RECTOR:**

**DR. BENJAMIN LOPEZ GUILLEN**

**SECRETARIO GENERAL:**

**LIC. ENNIO LUNA**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**DECANO:**

**ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR**

**SECRETARIO:**

**ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS**

**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**

**DIRECTOR:**

**ING. SALVADOR DE JESUS GERMAN**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

Trabajo de graduación previo a la opción al grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

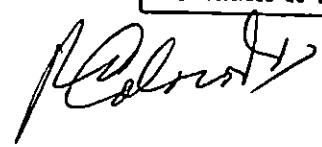
Título: "DETERMINACION DE UNA METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE LOS  
PARAMETROS DE UNA LINEA DE TRANSMISION, UTILIZANDO  
MEDICIONES DE CAMPO"

Presentado por: César Rolando Contreras Obispo  
Omar Antonio Medrano Castro  
Maximiliano Antonio Palencia Aquino  
Jaime Inés Quiusky Bonilla

Trabajo de Graduación aprobado por:

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Y ARQUITECTURA  
Universidad de El Salvador

Coordinador y Asesor: Ing. Ricardo Colorado

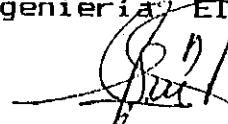



San Salvador, Octubre de 1995

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, 17 de Octubre de 1995, en el local de Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 14:00 horas, con la presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

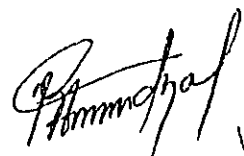

- 1- Inq. Salvador de J. German  
Director
- 2- Inq. Gerardo Marvin Jorge Hernández  
Secretario

  
Firma  




con el Honorable Jurado de evaluación integrado por las personas siguientes:

- 1- Inq. Victor Hugo Mendoza Morales
- 2- Inq. Jorge Alberto Zetino Chicas

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

"DETERMINACION DE UNA METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE LOS PARAMETROS DE UNA LINEA DE TRANSMISION, UTILIZANDO MEDICIONES DE CAMPO"

A cargo de los Brs.:

- CONTRERAS OBISPO, CESAR ROLANDO
- REDRANO CASTRO, OMAR ANTONIO
- VALENCIA AQUINO, MAXIMILIANO ANTONIO
- QUIUSKY BONILLA, JAIME INES

habiendo obtenido el presente trabajo una nota final, global de 8.57  
ocho punto cincuenta y siete

DEDICATORIA.

A MI MADRE (DE GRATA RECORDACION): Por su ilimitado amor y  
confianza.

A MI PADRE: Por su ejemplo.

A MI ESPOSA: Por su amor, sacrificio y compañía durante estos años  
de estudio.

A MIS HIJOS: Tania Beatriz Arlenciú, Francisco Alejandro y Fernando  
Alberto, por su ternura y permitirme aprender a ser  
padre.

A MIS HERMANAS: Por su comprensión.

A MIS AMIGOS: Por su apoyo constante.

A MIS COMPANEROS DE TESIS: Por ayudarme a tener las fuerzas  
suficientes para lograr esta meta.

CESAR ROLANDO CONTRERAS OBISPO.

## DEDICATORIA.

A MI MADRE: Rina Margoth Vda. de Medrano. Por todo el amor y el apoyo para lograr mis metas.

A MI PADRE: Marcelino Antonio Medrano (De grata recordación). Por ser un guía en todos los caminos de mi vida.

A MI HERMANO: Marcelino. Por darme apoyo y comprensión.

A MI HERMANA Y SOBRINOS: Patricia, Christopher y Douglas. Por darme apoyo y comprensión.

A MIS AMIGOS: Por su amistad.

A MIS COMPANEROS DE TESIS: Por haberme brindado su amistad

OMAR MEDRANO

## DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO: Por haberme dado el espíritu de triunfo.

A MIS PADRES: ANTONIO PALENCIA Y JULIA AQUINO, por haberme apoyado  
en todo momento.

A MIS HERMANOS: Por ser los mejores.

A MIS AMIGOS: Por haberme dado comprensión y ayuda.

A MIS COMPANEROS DE TESIS: Por todos esos momentos de solidaridad.

MAX PALENCIA

## DEDICATORIA

**A DIOS TODOPODEROSO:** Por permitirme vivir para lograr estos triunfos.

**A MIS PADRES:** INES QUIUSKY y GRACIELA DEL CARMEN BONILLA, por darme apoyo, amor, confianza y el mejor regalo la vida.

**A MIS HERMANOS:** ARNULFO, LEOPOLDO, URIEL, ROSA, JUDITH y LETICIA, por su apoyo sin condición, por ser mis amigos y porque sin ellos mi vida habría sido diferente.

**A MIS AMIGOS:** Aquellas personas que de una u otra manera siempre me brindaron apoyo para continuar y que siempre tendrán un lugar especial.

**A MIS COMPANEROS DE TESIS:** Por permitirme compartir este triunfo.

**JAIME QUIUSKY**



## PREFACIO

Todo sistema de potencia se puede dividir en tres partes importantes; éstas son el sistema de generación, sistema de transmisión y el sistema de distribución. Cuando la energía se transporta desde la unidad generadora a la línea de transmisión, se eleva el nivel de voltaje a través de la subestación elevadora y por el contrario, cuando la energía pasa de la línea de transmisión a la de distribución el voltaje se reduce por medio de la subestación reductora.

En el transporte de la energía existen parámetros que producen pérdidas de energía, así como la variación del factor de potencia, en todos los componentes del sistema, tanto en las unidades generadoras y subestaciones reductoras/elevadoras como en las líneas de transmisión y distribución. Nuestro estudio se enfocará hacia el cálculo de estos parámetros de la línea.

Los parámetros eléctricos que producen la variación de la energía eléctrica desde el inicio de la línea hasta el final son: La resistencia, la inductancia, la capacitancia y la conductancia.

La resistencia está determinada por la longitud, el espesor y el tipo de material de que está fabricado el conductor. La inductancia depende de las dimensiones y configuraciones del conductor así como del espaciamiento entre ellos y de la frecuencia de transmisión. La capacitancia produce un efecto pequeño en operación normal de líneas cortas y a bajo voltaje, pero su efecto puede ser considerado para la eficiencia, regulación, factor de potencia y voltaje de distribución en líneas largas con alto voltaje. Este fenómeno depende grandemente de la separación entre los conductores y tierra, así como del dieléctrico existente entre ellos. El último parámetro a tomar en cuenta es la conductancia, el cual se considera de menor importancia y es poco representativo numéricamente, ya que depende del nivel de aislamiento del sistema.

El diseño de una línea de transmisión se efectúa generalmente por medio de tablas con las cuales puede llegarse a calcular previamente los valores que tengan cada uno de los parámetros descritos anteriormente, en base a la longitud, diámetro, tipo de conductor, separación entre cables, etc. Sin embargo el objetivo de éste estudio es calcularlos a través de mediciones de campo, ya sea utilizando los equipos de medición existente en las subestaciones del centro de operaciones del sistema (COS). Luego con métodos matemáticos se procesan los datos de entrada y salida se procesan para obtener ; los valores de los parámetros eléctricos de una línea de transmisión.

## RESUMEN DEL TRABAJO

El presente trabajo tiene como finalidad crear una metodología para determinar los parámetros eléctricos de una línea de transmisión utilizando mediciones de campo.

En el primer capítulo se presenta los conceptos básicos y teoría de líneas de transmisión, así, como el proceso para calcular los parámetros de una línea partiendo de que se conocen las características físicas de la misma.

En el segundo capítulo se aborda todo el análisis matemático para encontrar expresiones analíticas que estén en función de valores que se puedan medir en el campo y los parámetros eléctricos de la línea de transmisión.

El tercer capítulo contiene las tres metodologías desarrolladas para resolver el problema de este trabajo de graduación, utilizando mediciones de campo. Se incluyen además un programa de computadora diseñado en función del método de las seis ecuaciones, y que solo necesita como datos de entrada voltaje, corrientes y potencias tanto en el extremo transmisor como receptor, para encontrar los parámetros.

Al final se incluyen todos los anexos, tales como tablas, programa, aplicación práctica del programa a la línea de transmisión San Martín-Nuevo Cuscatlan, y desarrollo de las Series de Taylor y Maclaurin.

## INDICE

PAG.

### CAPITULO I "CONCEPTOS BASICOS"

Introducción .....	1
1.0 Terminología Básica .....	2
1.1 Desarrollo de los Sistema Eléctricos de Transmisión Eléctrica .....	5
1.2 Líneas de Transmisión .....	7
1.2.1 Sistemas de transmisión .....	8
1.2.2 Clasificación de líneas de transmisión ....	8
1.2.3 Líneas de transmisión cortas .....	9
1.2.4 Líneas de transmisión medias .....	9
1.2.5 Líneas de transmisión largas .....	9
1.2.6 Sistema de conexión .....	11
1.2.7 Tipo de conductores de líneas aéreas .....	14
1.2.8 Generalidades de las líneas de transmisión en El Salvador.....	15
1.3 Postulados para el Análisis de las líneas de Transmisión .....	17
1.4 Simbología Adoptada .....	20
1.5 Parámetros de una Líneas de Transmisión .....	25
1.5.1 Resistencia .....	25
1.5.2 Inductancia de líneas de transmisión .....	27
1.5.2.1 Inductancia de un conductor debida al flujo interno .....	30
1.5.2.2 Enlaces de flujo entre los puntos exteriores a un conductor aislado .	32
1.5.2.3 Inductancia de una línea monofásica .....	34
1.5.2.4 Inductancia de líneas trifásicas con disposición equilátera .....	36
1.5.2.5 Inductancia de líneas trifásicas con disposición asimétrica .....	37
1.5.3 Capacidad de las líneas de transmisión ...	38
1.5.3.1 Diferencia de potencial entre dos puntos debida a una carga .....	40
1.5.3.2 Capacidad de una línea bifilar ....	41
1.5.3.3 Capacidad de una línea trifásica con disposición equilátera .....	45
1.5.3.4 Capacidad de una línea trifásica con disposición asimétrica .....	48
1.5.4 Conductancia en líneas de transmisión ....	51

## CAPITULO II "ANALISIS MATEMATICO PARA CALCULAR LOS PARAMETROS DE UNA LINEA DE TRANSMISION"

Introducción .....	54
2.0 Metodología para determinar los parámetros $r$ , $l$ y $c$ de una línea de transmisión .....	55
2.1 Circuito equivalente $\pi$ para una línea de transmisión .....	55

## CAPITULO III "METODOLOGIA PARA CALCULAR LOS PARAMETROS $r$ , $l$ y $c$ . ALTERNATIVAS Y SOLUCIONES"

Introducción .....	67
3.0 Metodología para calcular los parámetros .....	68
3.0.1 Método de las seis ecuaciones .....	68
3.0.2 Método de circuito abierto .....	71
3.0.3 Método de cortocircuito .....	74
3.1 Mathcad: Herramienta matemática .....	77
3.1.1 Información general del Mathcad .....	78
3.1.2 Operadores del Mathcad .....	79
3.1.3 Comandos del Mathcad .....	80
3.1.3.1 Comandos del sistema .....	80
3.1.3.2 Comandos de archivo .....	81
3.1.3.3 Comandos de calculo .....	83
3.1.3.4 Comandos de edición y movimiento ..	84
3.1.3.5 Comandos de región .....	85
3.1.3.6 Comandos de texto .....	85
3.1.3.7 Comandos de ventana y páginas .....	85
3.1.3.8 Otros comandos .....	87
3.2 Programa para encontrar los parámetros de una línea de transmisión por el método de las seis ecuaciones .....	88
3.2.1 Descripción del programa .....	89
3.2.2 Introducción de datos .....	89
3.2.3 Solución de ecuaciones .....	90
3.2.4 Salida de resultados .....	92
3.3 Diagrama de bloques y flujograma .....	92
3.4 Aplicación del método de las seis ecuaciones ...	92
3.5 Aplicación del método de circuito abierto .....	93
Conclusiones y Recomendaciones Generales.....	98
Referencias Bibliograficas .....	100
Anexos .....	101
Anexo A: Tablas de datos de diseño de líneas de transmisión en El Salvador	
ANEXO B: Diagrama esquemático de líneas de líneas de transmisión en El Salvador	
ANEXO C: Estructura del programa general y aplicaciones	
ANEXO D: Definición de series de Taylor y Maclaurin	
ANEXO E: Manual de operatividad del usuarios	
ANEXO F: Datos recopilado de línea San Martín-Nuevo Cuscatlan	

# CAPITULO I

## CONCEPTOS BASICOS.

### Introducción.

Los sistemas de potencia se componen de tres partes importantes; éstas son el sistema de generación, sistema de transmisión y el sistema de distribución. Cuando la energía se transporta desde la unidad generadora a la línea de transmisión, se eleva el nivel de voltaje a través de la subestación elevadora y por el contrario, cuando la energía pasa de la línea de transmisión a la de distribución el voltaje se reduce por medio de la subestación reductora

En el transporte de la energía existen parámetros que producen pérdidas de energía, así como la variación del factor de potencia, en todos los componentes del sistema, tanto en las unidades generadoras y subestaciones reductoras/elevadoras como en las líneas de transmisión y distribución. Nuestro estudio se enfocará hacia el cálculo de estos parámetros de la línea.

Los parámetros eléctricos que producen la variación de la energía eléctrica desde el inicio de la línea hasta el final son: La resistencia, la inductancia, la capacitancia y la conductancia.

La resistencia está determinada por la longitud, el espesor y el tipo de material de que está fabricado el conductor. La inductancia depende de las dimensiones y configuraciones del conductor así como del espaciamiento entre ellos y de la frecuencia de transmisión. La capacitancia produce un efecto pequeño en operación normal de líneas cortas y a bajo voltaje, pero su efecto puede ser considerado para la eficiencia, regulación, factor de potencia y voltaje de distribución en líneas largas con alto voltaje. Este fenómeno depende grandemente de la separación entre los conductores y tierra, así como del dieléctrico existente entre ellos. El último parámetro a tomar en cuenta es la conductancia, el cual se considera de menor importancia y es poco representativo numéricamente, ya que depende del nivel de aislamiento del sistema.

## 1.0. Terminología básica.

Existe cierta terminología básica con la cual hay que familiarizarse para comprender mejor el presente estudio y entre estas están:

### **Sistema Eléctrico:**

Conjunto de centrales, estaciones y subestaciones transformadoras, estaciones de distribución y de interconexión, líneas y receptores que están eléctricamente unidos.

### **Circular mil:**

Es el área de un círculo que tiene el diámetro de un mil. Un mil es igual a 0.001 pulg.

### **Efecto Piel:**

Es el aumento de la resistencia debido a la diferencia entre las densidades de corriente de un conductor a medida que aumenta la frecuencia de la corriente alterna.

### **Inductancia mutua entre dos circuitos:**

Se define como los enlaces del flujo de uno de los circuitos, debido a la corriente de otro por amperio de la corriente de éste.

### **Capacidad entre dos conductores:**

Se define como la carga de los conductores por unidad de diferencia de potencial entre ellos.

### **Resistencia:**

Propiedad que posee un material para oponerse a la circulación de una corriente eléctrica.

### **Resistencia distribuida de la línea:**

Es la medida de la pérdida de potencia en la unidad de longitud de la línea por unidad de corriente.

### **Henrios:**

Es la inductancia de un circuito cerrado en la cual una fuerza electromotriz de 1 voltio es inducido cuando la corriente varía uniformemente en el rango de 1 amperio por segundo. El símbolo para la autoinductancia es L.

**Faradio:**

Es la capacitancia eléctrica entre dos cuerpos de conductores entre los cuales aparece una diferencia de potencial de 1 voltio cuando están cargados con 1 Culombio, y posean signos opuestos. El símbolo de la Capacitancia es C.

**Línea de transmisión:**

Línea que transporta grandes cantidades de potencia desde las centrales generadoras hasta los centros de carga.

**Capacitancia distribuida de la línea:**

Es la medida de la energía almacenada en el campo eléctrico en la unidad de longitud de la línea por unidad de diferencia de potencial.

**Reactancia Capacitiva:**

Es la oposición al paso de la corriente que ofrece un capacitor o cualquier circuito capacitivo. Se mide en ohms.

**Inductancia distribuida de la línea:**

Es la medida de la energía almacenada en el campo magnético en la unidad de longitud de la línea por unidad de corriente.

**Reactancia Inductiva:**

Es la oposición al paso de la corriente que ofrece la inductancia o cualquier circuito inductivo.

**Conductancia distribuida de la línea:**

Es una medida de la pérdida de potencia en la unidad de longitud de la línea por unidad de corriente.

**Efecto Corona:**

Es la ionización del aire alrededor del conductor como resultado del alto voltaje el cual sobrepasa la rigidez dieléctrica del aire.

**Red Radial:**

Sistema constituido por circuitos que tienen una sola fuente de alimentación.

**Red en malla:**

Sistema constituido por varios generadores conectados a varios circuitos primarios en anillo. Si un generador falla el sistema total se mantiene siempre energizado.

**Red Eléctrica:**

En general son los elementos conductores que unen y conectan entre sí las centrales generadoras con las estaciones transformadoras y estas con los usuarios.

**Corriente de conducción o de desplazamiento:**

Es la corriente que fluye transversalmente entre los conductores, como una función de la diferencia de potencial entre ellos.

**Cargue inductivo:**

Es la técnica de insertar bobinas de inductancia con núcleo magnético idénticas y agrupadas en serie con los conductores de una línea de transmisión a iguales intervalos a lo largo de la línea.

**Admitancia:**

Es el inverso o recíproco de la impedancia ó sea que es la razón de la corriente y el voltaje y se representa por Y.

**Impedancia:**

Es la oposición a el paso de la corriente en corriente alterna, formada por un valor real que es la resistencia y un valor imaginario conformado por una reactancia.

**Fasor:**

Es un vector giratorio el cual se utiliza para representar magnitudes eléctricas.

**Sistema polifásico:**

Es un sistema que contiene una fuente que produce voltajes (senoidales) con diferentes fases, el más común es el sistema trifásico.

**Fuente:**

Es el lugar, equipo o componente en el cual se genera la diferencia de potencial.



**Potencia:**

Es la capacidad que se tiene para suministrar determinada cantidad de energía.

**Voltaje de línea:**

Es la diferencia de potencial que existe entre dos fases cualesquiera.

**Voltaje de fase:**

Es la diferencia de potencial que existe entre una línea y neutro.

**Corriente de carga de la línea:**

Es el flujo de corriente en cualquier sentido.

**1.1 Desarrollo de los Sistemas de Transmisión Eléctrica.**

Una breve revisión del desarrollo histórico de la ingeniería de transmisión eléctrica puede ayudar a explicar la situación presente.

El estudio de las líneas de transmisión tiene un comienzo improbable en 1729 cuando Stephen Gray, descubrió que el fenómeno de atracción electrostática de pequeñas partículas de materia podría ocurrir en el extremo de una cuerda húmeda de unos pies de largo, cuando un cuerpo cargado electrostáticamente, se colocaba al otro extremo; concluyendo que se transmitía "efluvio eléctrico" a través de la línea.

Sesenta años antes; Otto von Guericke, Alemán, había notado que hilos cortos conectados a un extremo de una máquina electrostática primitiva, se cargaban en toda su longitud .

Gray estableció que la transmisión electrostática ocurría a lo largo de sus hilos húmedos si éstos eran soportados por hilos de seda, pero no si eran soportados por alambres finos de cobre. Esta distinción entre conductores y aislantes eléctricos, fue desarrollada aún más por Charles Dufay; Frances, quien también reportó la existencia de dos clases de electricidad, eventualmente llamadas positiva y negativa por Benjamín Franklin, en 1747.

Solamente 24 años después de los experimentos de Gray, antes de que el inventor propusiera en el Scots Magazine, 1754; que un sistema de comunicación eléctrica largo se podría construir empleando una línea de transmisión con 26 alambres paralelos,

cada uno identificado por una letra soportados por aislantes de vidrio cada 60 pies; una secuencia de letras iba a ser transmitida usando la técnica de Gray, tocando con un objeto cargado cada uno de los alambres y en el extremo receptor partículas de papel deberían ser vistas saltando en los terminales de los alambres correspondientes, con lo anterior se puede decir que se logró establecer el concepto de Línea de Transmisión.

Según paso el tiempo, surgieron algunos patrocinadores para impulsar la colocación de un cable submarino, quienes tenían sus dudas de invertir grandes cantidades de dinero sin alguna garantía que el sistema funcionaría, por eso recurrieron a William Thomson (Lord Kelvin), quien en 1855 llevo a cabo, el primer **Análisis de Circuito Distribuido de una Línea de Transmisión uniforme**. Representando el cable por una resistencia en serie y una capacitancia en paralelo, uniformemente distribuidas a lo largo de la línea. Comprendiendo que un análisis más completo de las propiedades de transmisión del cable, requerían la adición de una inductancia distribuida en serie y una conductancia distribuida en paralelo. También encontró que a las frecuencias de las señales telegráficas los efectos de las inductancias eran despreciables y la conductancia podría mantenerse lo suficientemente baja para poder despreciarla.

La invención del teléfono en 1876 hizo evidente algunas otras complicaciones en el uso de las líneas de transmisión para la transmisión eléctrica. Se hicieron ensayos de telefonía entre algunas ciudades, por medio de las líneas telegráficas de la época que generalmente consistían en alambres sencillos de hierro con la tierra de retorno, pero fallaron por la falta de legibilidad y el bajo nivel de las señales recibidas.

El responsable de un análisis matemático más completo de la propagación de las señales en líneas de transmisión fue Oliver Heaviside, notable ingeniero-matemático, hizo publicaciones sobre líneas de transmisión. Al final del siglo XIX el análisis y la experiencia adquirida indicaban que las líneas de transmisión funcionaban mejor al ser construidas de dos alambres de cobre largos, de baja resistencia y bien aislados, montados separadamente como líneas de alambre descubierto sobre postes. El uso del retorno sobre tierra fue abandonado. A partir de sus ecuaciones Heaviside, notó que en las líneas se reducían las pérdidas y se transmitía con mayor fidelidad si la inductancia distribuida se aumentaba sin alterar los otros coeficientes distribuidos del circuito.

Michael Pupin de Estados Unidos, indicó que una alternativa práctica era incrementar la inductancia uniformemente distribuida con la inclusión de bobinas de inductancia de baja resistencia, a lo largo de la línea; lo cual se conoció como "cargue de la

línea", esto permitió la economía, en las líneas al usar alambres de cobre de calibre más pequeño, obteniendo mejor rendimiento eléctrico y calidad de transmisión.

En el año de 1930 se vio la extensión de la tecnología de los dispositivos y circuitos electrónicos, con aplicaciones tales como radiofrecuencia, el comienzo de la televisión y el radar, la teoría de las líneas de transmisión se volvió más importante, hasta el extremo de incorporarse como una materia en algunos programas de estudio o como una materia opcional.

Finalmente, la gran atención a los sistemas de transmisión eléctrica de dos conductores operando en el modo implícito de la teoría de circuitos distribuidos son usados como base analítica de la técnica básica de transmisión. Sin perder de vista que lo que interesa en este estudio son las líneas de transmisión de potencia a 115 KV, a una frecuencia de 60 herz que existen en el país.

## 1.2. Líneas de Transmisión.

Como se mencionó anteriormente, una línea de transmisión es la que transporta grandes cantidades de potencia, desde las centrales generadoras hasta los centros de carga.

El objetivo de este trabajo es calcular los parámetros de las líneas de transmisión; para comprender mejor; es necesario conocer un poco de los sistemas de transmisión, por tanto se hace mención de los diferentes sistemas que existen.

Los sistemas modernos de corriente alterna constan generalmente de los siguientes elementos:

- 1.- Centrales generadoras
- 2.- Estaciones transformadoras elevadoras
- 3.- Líneas de transmisión
- 4.- Estaciones de maniobra
- 5.- Estaciones transformadoras reductoras
- 6.- Líneas o redes primarias de distribución
- 7.- Bancos transformadores de servicio
- 8.- Líneas o redes secundarias

Esencialmente los elementos 2, 3, 4, y 5 constituyen el sistema de transmisión, y los elementos 6, 7, y 8 constituyen el sistema de distribución. La diferencia entre el sistema de transmisión y el de distribución radica en su función. La función del sistema de transmisión es el transporte de grandes potencias a los centros de carga y a los grandes consumidores industriales que sobrepasan los límites corrientes y económicos de las líneas primarias de distribución. La función del sistema de distribución es el suministro de energía desde las subestaciones del sistema de transmisión hasta los usuarios.

### 1.2.1 Sistema de Transmisión.

Hoy en día, para el transporte de grandes cantidades de potencias, se usan universalmente los sistemas de corriente alterna. Se ha llegado a ellos como consecuencia de la simplicidad de los grandes generadores y transformadores de corriente alterna. El voltaje de transmisión puede ser adaptado a las necesidades de servicio con mayor sencillez y economía que en casos de corriente continua.

Los sistemas trifásicos se emplean casi solo de modo exclusivo para la transmisión de energía, gracias a su simplicidad y al mayor rendimiento de los conductores respecto a los otros sistemas de corriente alterna.

Cuando se proyecta una línea de transmisión lo fundamental consiste en la selección de las líneas y equipos necesarios para suministrar la potencia deseada, con la calidad de servicio requerida, con el mínimo costo anual, requerido durante el período en que deba prestarse el servicio o para el tiempo de vida del sistema. Al mismo tiempo, el sistema debe ser susceptible de ampliaciones con un mínimo de alteraciones sobre las condiciones existentes.

### 1.2.2 Clasificación de las Líneas de Transmisión.

Un problema importante a tener en cuenta al proyectar una línea de transmisión y en su funcionamiento es el mantenimiento de la tensión, dentro de los límites especificados, en cualquier punto del sistema.

Las líneas de transmisión funcionan normalmente con cargas trifásicas balanceadas. Aunque no están dispuestas simétricamente, e incluso sin transmisión la influencia de la asimetría es pequeña y se consideran equilibradas las fases.

Las líneas de transmisión se clasifican según su longitud

en: cortas, medias y largas. Y su tratamiento es diferente. Esta clasificación está basada en las aproximaciones permitidas al operar con los parámetros de la línea.

### 1.2.3 Líneas de Transmisión Cortas.

Las líneas de transmisión cortas son aquellas que implican una longitud no mayor de 80 Kms, y se efectúa su cálculo considerando que se desprecia la reactancia capacitiva y solo intervienen la resistencia y reactancia inductiva. En esta categoría se clasifican todas las líneas de transmisión de nuestro país.

El circuito equivalente de una línea corta está representado en la fig. (1.1), donde  $I_r$  e  $I_s$  son respectivamente, las corrientes en los extremos receptor y transmisor, y  $V_r$  y  $V_s$  las tensiones entre fase y neutro en esos puntos.

El circuito se resuelve como un sencillo arreglo serie de corriente alterna, como muestra la fig. (1.1).

### 1.2.4 Líneas de Transmisión Medias.

Las líneas de transmisión medias son aquellas que implican longitud no mayor de 150 Kms, el cálculo se efectúa considerando la resistencia, reactancia inductiva y reactancia capacitiva, ésta última se asume en dos partes iguales, colocadas en los dos extremos de la línea, si este es el caso el circuito se denomina  $\pi$ . Caso contrario es cuando la reactancia capacitiva se supone concentrada en el centro, denominándose el circuito T (ver fig. 1.2 y 1.3).

### 1.2.5 Líneas de Transmisión Largas.

Las líneas de transmisión largas son aquellas que implican longitud mayor a los 150 Kms, y su cálculo se efectúa considerando los parámetros distribuidos uniformemente a lo largo de la línea. La fig. (1.7), representa una fase y neutro de una línea trifásica. Aunque en nuestro país no se tienen longitudes tan grandes, pero el cálculo de los parámetros lo haremos en base a esta categoría de líneas.

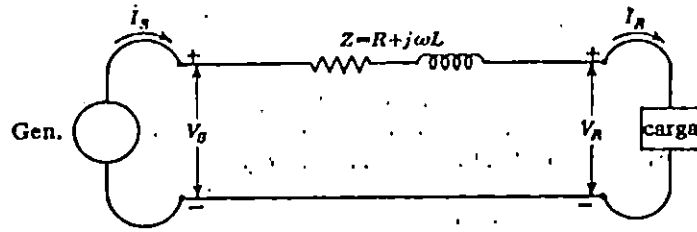


Fig. 1.1. Circuito equivalente de una línea de transmisión.

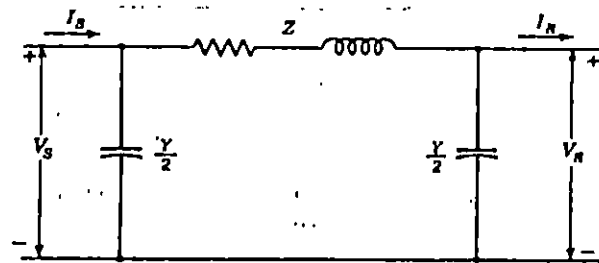


Fig. 1.2. Circuito equivalente  $\pi$  de una línea de transmisión.

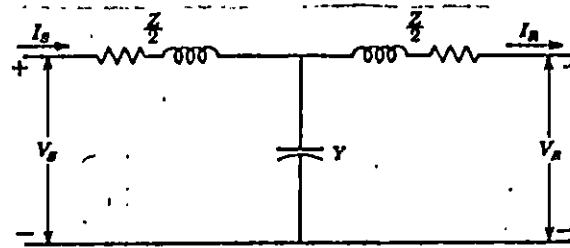


Fig. 1.3. Circuito equivalente T de una línea de transmisión.

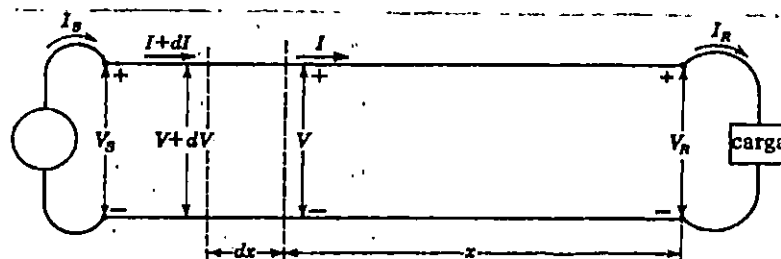


Fig. 1.4. Diagrama esquemático de una línea de transmisión con una sola fase y retorno por el neutro.

### 1.2.6 Sistema de Conexión.

En cuanto al sistema de conexión se pueden utilizar varios métodos, cada uno con sus ventajas y desventajas, siendo estos:

- a) Transmisión radial
- b) Transmisión en anillo
- c) Transmisión enmallado

La transmisión radial ofrece poca seguridad en el suministro de energía, ya que la avería de una sola línea deja fuera a todos los usuarios; por esa razón se refuerzan con varios circuitos en paralelo. Entonces, algunos usuarios situados en los extremos de las líneas radiales deberán interconectarse directamente para conseguir una mayor continuidad del servicio. (Ver fig. 1.5 y 1.6).

Aunque este sistema viene a ser como la transmisión de sistema enmallado, aún puede considerarse como sistema radial mientras la energía proceda de una sola central generadora.

El servicio de un sistema radial es menos seguro pero resulta el más económico y desde este punto de vista el más adecuado para suministrar centros de carga esparcidos y muy distantes de la central generadora.

Los sistemas de transmisión en anillo se utilizan en grandes centros de población y tal como se expresa en la fig. (1.7), consiste en anillo de transmisión que rodea la zona de carga, al cual están conectadas una o más centrales generadoras y conjuntos de subestaciones transformadoras reductoras, que alimentan por secciones a las zonas de carga mediante las correspondientes

redes de distribución. El anillo puede ser de circuito sencillo o múltiple o bien una combinación de ramales de circuitos sencillos y circuitos múltiples.

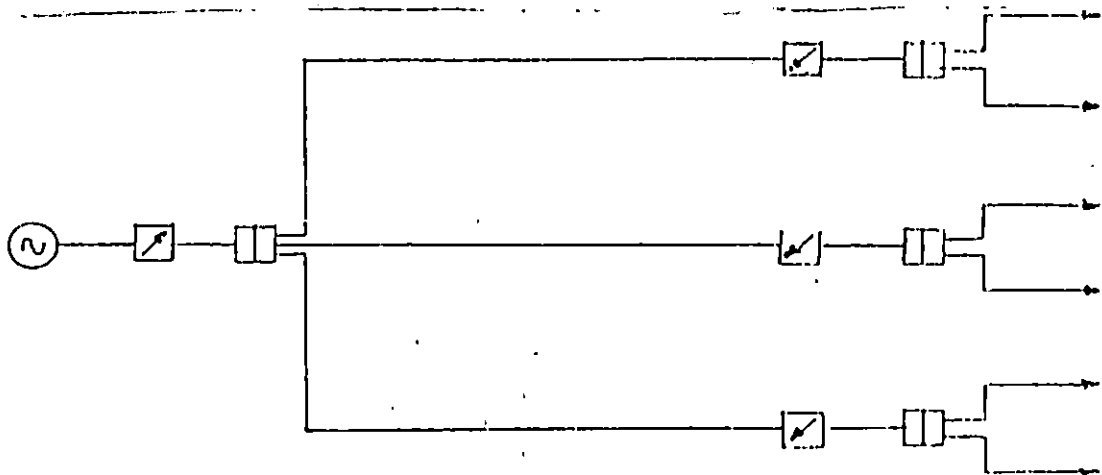


Fig. 1.5. Sistema de transmisión radial.

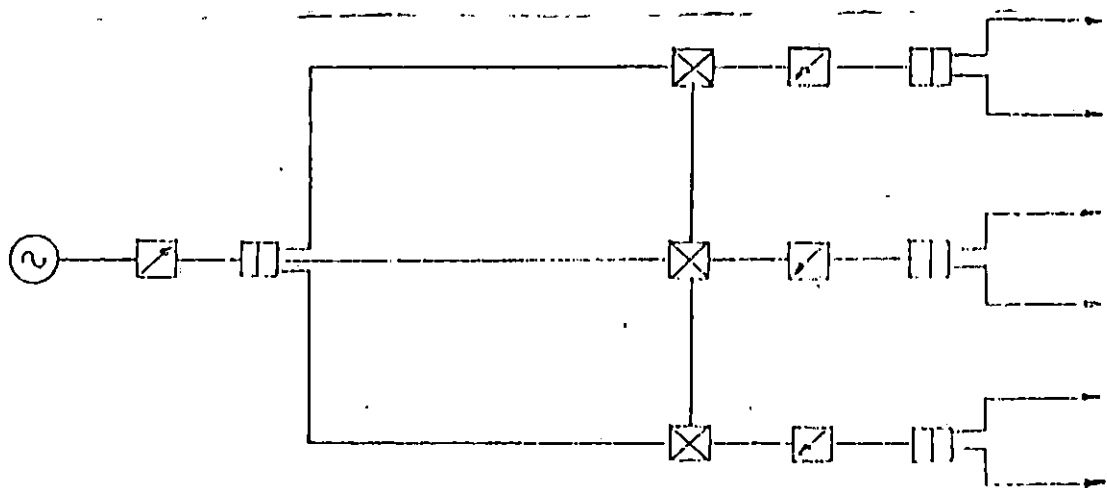


Fig. 1.6 Sistema de transmisión radial con interconexiones.



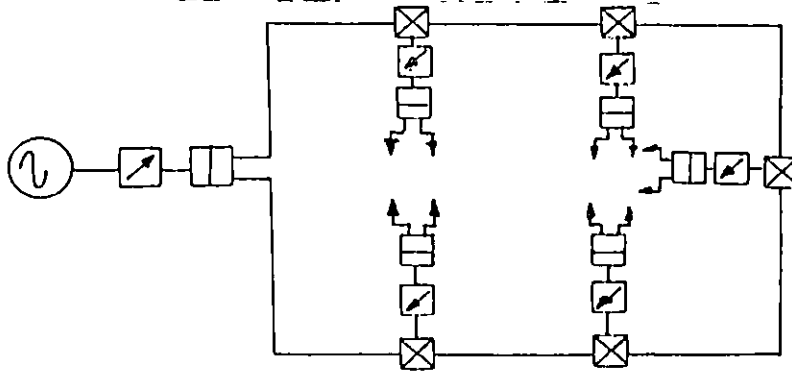


Fig. 1.7. Sistema de transmisión en anillo.

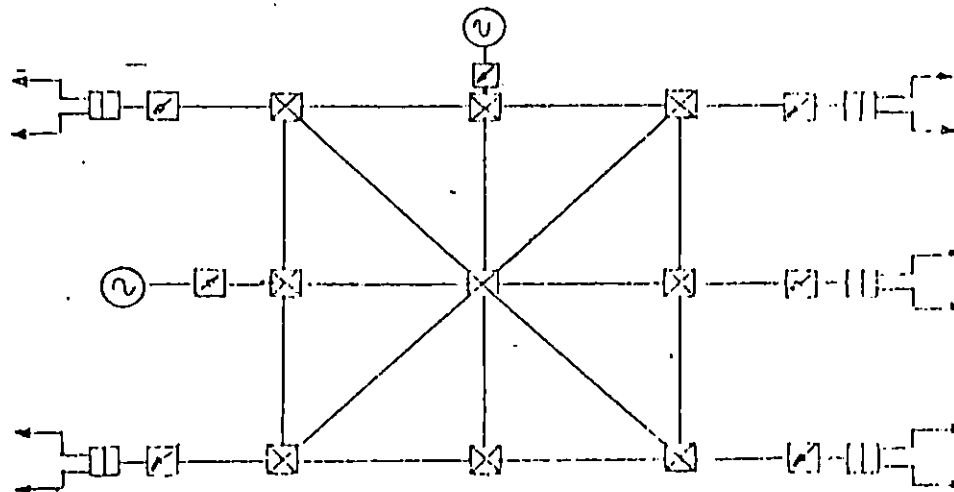


Fig. 1.8. Sistema de transmisión enmallado.

Los sistemas de transmisión enmallados (ver fig. 1.8), constituyen el resultado de ampliaciones y desarrollo de los tipos expuestos anteriormente. Un ejemplo lo constituye el desarrollo de los sistemas radiales hasta que se encuentren y son interconectados en varios puntos. La mayoría de los sistemas de transmisión son enmallados. El sistema de transmisión enmallado es más complicado de maniobrar y se requiere un estudio más cuidadoso para su regulación.

### 1.2.7 Tipo de Conductor de Líneas Aereas.

Es de suma importancia definir los principales materiales utilizados en los conductores de líneas de transmisión. Los materiales más comúnmente utilizados en líneas de transmisión son el cobre duro y el aluminio. En un principio eran de cobre pero los de aluminio los fueron desplazando por presentar mejores características tales como: menor costo y menor peso comparado con uno de cobre de la misma resistencia. Otra ventaja es que para la misma resistencia el conductor de aluminio presenta un mayor diámetro que uno de cobre. Un mayor diámetro implica que las líneas de flujo eléctrico originadas sobre el conductor están más separadas en la superficie de este para la misma tensión.

Esto significa un menor gradiente en la superficie del conductor y menor tendencia a ionizar el aire a su alrededor disminuyendo el efecto corona.

Normalmente se emplean conductores formados por varios hilos en forma trenzada, en lugar de conductores sólidos, en el caso de los conductores de aluminio el hilo o los hilos centrales son de acero y se conocen como el alma del conductor. La principal razón de preferir el uso de conductores trenzados en lugar de conductores sólidos es el de prevenir problemas de vibración que se tienen cuando un conductor es sólido y que podría romper los soportes; otra ventaja es que son más fáciles de manipular que los sólidos para una sección dada, especialmente para grandes longitudes.

Los símbolos que identifican los diferentes tipos de conductores de aluminio son los siguientes:

- AAC : Conductor de aluminio
- AAAC : Conductor de aluminio con aleación
- ACSR : Conductor de aluminio con refuerzo de acero
- ACAR : Conductor de aluminio con refuerzo de aleación

Los AAC tienen mayor resistencia a la tensión que los conductores eléctricos de aluminio de tipo ordinario. El conductor ACSR consiste de un núcleo central de alambre de acero rodeado por capas de alambre de aluminio. Los conductores de aluminio ACAR tienen un núcleo central de aluminio de alta resistencia rodeado por capas de conductores eléctricos de aluminio tipo especial.

Las capas de alambre de un conductor de alambre son enrollados en direcciones opuestas a fin de prevenir el desenrollado y hacer que el radio externo de una capa coincida con el radio interno de la siguiente.

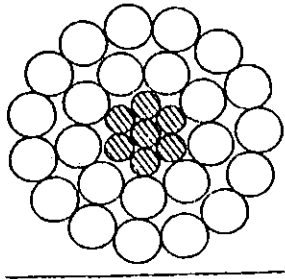
- Guajo.
- Cerrón Grande.
- 15 de Noviembre.
- 5 de Septiembre.
- Acajutla.
- Soyapango.
- Geotermica de Ahuachapán.
- Geotermica de Berlin.
- Miravalles.
- Nejapa Power.

Para el sistema de Generación se cuenta con centrales hidroeléctricas, plantas geotermicas y plantas térmicas, entre las que podemos mencionar:

En El Salvador se cuenta con una infraestructura en el sistema eléctrico que va desde la generación, subestaciones, líneas de transmisión y distribución.

### 1.2.8 Generalidades de las Líneas de Transmisión en El Salvador.

Fig. 1.9. Sección transversal de un conductor con refuerzo de acero, 7 hilos de acero y 24 de aluminio.



La fig. (1.9), representa un cable típico de aluminio con refuerzo de acero ACSR. El conductor mostrado tiene 7 alambres de acero formando el núcleo central y albedor de él hay 2 capas de alambre de aluminio. El número total de alios en cables trenzados concentricamente, en los que el espacio anular está ocupado por alambres de diámetro uniforme, es de 7, 19, 37, 61, 91, e incluso más.

El trenzado proporciona flexibilidad con grandes secciones transversales. El número total de alios en cables trenzados concentricamente, en los que el espacio anular está ocupado por alambres de diámetro uniforme, es de 7, 19, 37, 61, 91, e incluso más.

Y una serie de plantas de menor importancia como la del Río Sucio, Cucumacayan, en Sonsonate y otras.

Se cuenta con Subestaciones elevadoras del voltaje de generación al de transmisión a 115 KV y subestaciones para reducir el voltaje hasta valores de distribución, entre estas subestaciones tenemos:

- Ahuachapan.
- Cerrón Grande.
- Nejapa.
- Nuevo Cuscatlan.
- Opico.
- Ozatlan.1
- San Antonio Abad.
- San Martín.
- San Miguel.
- 15 de Septiembre.
- Santa Ana.
- San Rafael Cedros.
- Sonsonate.
- Soyapango
- Tecoluca.
- Acajutla.
- Ateos.

En el sistema de transmisión, que es de interés para nuestro estudio, se cuenta con el siguiente listado de líneas:

- 1- 5 de Noviembre - Cerrón Grande.
- 2- 5 de Noviembre - San Rafael Cedros.
- 3- Guajoyo - Santa Ana.
- 4- Acajutla - Opico.
- 5- Acajutla - Sonsonate.
- 6- Ahuachapan - Santa Ana.
- 7- Ahuachapan - Sonsonate.
- 8- Cerrón Grande - San Martín.
- 9- 15 de Septiembre - San Rafael Cedros.
- 10- 15 de Septiembre - San Miguel.
- 11- San Rafael Cedros - San Martín.
- 12- Soyapango - Nejapa.
- 13- Soyapango - San Martín.
- 14- Santa Ana - Opico.
- 15- San Antonio Abad - Nejapa.
- 16- San Antonio Abad - Nuevo Cuscatlan.
- 17- Nejapa - Opico.
- 18- Sonsonate - Ateos.
- 19- Nuevo Cuscatlan - San Martín.
- 20- Nuevo Cuscatlan - Ateos.
- 21- Cerrón Grande - Nejapa.
- 22- Nejapa - Kilo 5.
- 23- Sicepasa - Kilo 5.

- 24- Acajutla - Kilo 5.
- 25- kilo 5 - Sonsonate.

Existen otras líneas de transmisión que podemos mencionar, pero que están fuera de servicio:

- 1- San Rafael Cedros - Tecoluca
- 2- San Miguel - Ozatlan
- 3- Ozatlan - Tecoluca

Existe una línea de transmisión de interconexión entre Guatemala y El Salvador, que funciona a 230 KV y parte de la Subestación de Ahuachapan.

Para mayor información ver el cuadro anexo. En este cuadro podemos encontrar información adicional de cada línea de transmisión como la siguiente:

- Calibre y tipo de conductor
- Número de circuitos
- Número de conductores por fase
- Capacidad térmica de corriente en Amps.
- Longitud en Kms.
- Potencia Máxima en MVA
- Las líneas que están fuera de uso
- Las líneas futuras
- Los valores de los parámetros de diseño
- Los valores de las constantes ABCD

Como ya se menciona que en el país se tiene un sistema eléctrico bastante completo y es una combinación del sistema de conexión radial y enmallado, lo cual se puede ver en el diagrama del sistema de transmisión de 115 KV colocado en el anexo. Aquí se puede ver que la única parte de la red que es radial está entre Guajoyo - Santa Ana, ya que solo existe una línea, por tanto ofrece poca seguridad en el suministro de la energía, ya que al averiarse una línea deja fuera esa parte del sistema. El resto del sistema de transmisión es enmallado o sea que existe más de un camino para llegar a un lugar de consumo, por ejemplo para llegar a San Martín podríamos abastecer desde Nejapa, Cerrón Grande, Soyapango, Nuevo Cuscatlan y San Rafael Cedros, si por accidente falla alguna de las líneas mencionadas quedan las otras para abastecer San Martín, garantizando así la continuidad del servicio.

### **1.3 Postulados Para el Analisis de las Lineas de Transmisión.**

El analisis de circuito distribuido de líneas de transmisión uniformes, se deriva aplicando las leyes básicas del analisis de circuitos eléctricos a circuitos descritos por los siguientes postulados.

## Postulado 1

El sistema o línea uniforme consiste de dos conductores rectos y paralelos.

El adjetivo "uniforme" significa que los materiales, dimensiones y sección transversal de la línea y el medio que la rodea, permanecen constantes en todo el trayecto de la línea.

Tipicamente en un extremo se conecta una fuente de señal y en el otro una carga tal como se muestra en la figura (1.10).

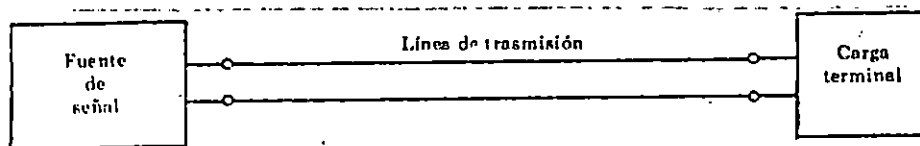


Fig. 1.10. Circuito básico de la línea de transmisión.

Este postulado no requiere que los dos conductores sean del mismo material o tengan la misma forma en su sección transversal. El análisis es por lo tanto válido para un conductor de cualquier material y sección transversal que contenga a otro conductor de cualquier material y sección transversal.

El análisis se puede aplicar a sistemas con más de dos conductores paralelos, siempre y cuando éstos se interconecten de tal manera que presenten solamente dos terminales en los puntos de conexión de la fuente y de la carga. Los sistemas también pueden utilizar conductores blindados los cuales no se conectan a la línea en ningún punto.

La figura (1.11), muestra configuraciones transversales de los conductores para algunas líneas de transmisión uniforme de dos conductores, usadas en ingeniería.

## Postulado 2

Las corrientes en los conductores de la línea fluyen únicamente en la dirección de la longitud de la línea.

Esta es una premisa básica del análisis elemental de circuitos eléctricos, y puede parecer innecesario que tal requerimiento deba ser estipulado al hacer un análisis de circuito distribuido de la línea de transmisión. Es un hecho, sin

embargo, que bajo ciertas condiciones, las señales pueden propagarse en cualquier línea de transmisión uniforme con la totalidad de la corriente o una componente de ella fluyendo alrededor de los conductores, en lugar de fluir a lo largo de ellos. Estos casos se conocen como modos de propagación en una "guía de onda".

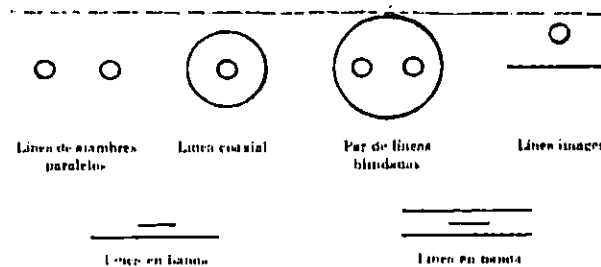


Fig. 1.11. Sección transversal de conductores de varias líneas de transmisión prácticas.

### Postulado 3

En la intersección de cualquier plano transversal con los conductores de una línea de transmisión, las corrientes instantáneas totales en los dos conductores son iguales en magnitud, pero fluyen en direcciones opuestas.

En la teoría elemental de redes, el postulado equivalente a éste, para un circuito de malla simple tal como el de la figura (1.10); sería que la corriente es la misma en todos los puntos del circuito en un instante dado. El postulado 3 admite que las corrientes instantáneas sean diferentes en secciones transversales de la línea, en el mismo instante. Claramente esto no es posible sin violar la ley de corriente de Kirchhoff, a menos que las corrientes puedan fluir transversalmente entre los dos conductores en cualquier parte a lo largo de la longitud de la línea.

### Postulado 4

En la intersección de cualquier plano transversal con los conductores de la línea hay un valor de diferencia de potencial único entre los conductores, en cualquier instante, que es igual

a la integral de línea del campo eléctrico a lo largo de todas las trayectorias en el plano transversal, entre cualquier punto sobre la periferia del otro.

#### **Postulado 5**

El comportamiento eléctrico de la línea se describe completamente por cuatro coeficientes del circuito eléctrico distribuido, cuyos valores por unidad de longitud de la línea son constantes en cualquier parte de ésta. Estos coeficientes del circuito son resistencias e inductancias uniformemente distribuidas, en serie a lo largo de la línea, junto con capacitancias y conductancias uniformemente distribuidos como elementos de circuitos en paralelo a lo largo de la línea.

Es parte esencial de este postulado que los valores de estos coeficientes de circuito distribuido a una frecuencia dada, sean determinados únicamente por los materiales, dimensiones de los conductores de la línea y el medio que la rodea. Ellos no varían ni con el tiempo ni con el voltaje o la corriente de la línea; es por lo tanto una red lineal pasiva.

La existencia de los coeficientes distribuidos en paralelo sugiere que las corrientes del conductor pueden ser diferentes en diferentes secciones transversales de la línea. Corrientes de conducción o corrientes de desplazamiento fluirán transversalmente entre los conductores como función de la diferencia de potencial entre ellos o su tasa de cambio con el tiempo, respectivamente. Por tanto las corrientes en la línea en dos secciones transversales separadas, difieren en una cantidad de corriente transversal en la parte de la línea tratada.

#### **1.4 Simbología Adoptada.**

##### **Coordenadas.**

Antes de entrar a el análisis de los circuitos equivalentes de la línea de transmisión es necesario seleccionar símbolos para las coordenadas, variables y coeficientes físicos y establecer algunas convenciones de signos.

Para la notación de la coordenada longitudinal seleccionaremos a  $l$  de todos los sistemas de transmisión. Así como también es muy importante para ciertos propósitos, la distancia de un punto sobre la línea a la carga terminal que su distancia a la fuente de señal; ubicándose el origen de las coordenadas longitudinales en la carga. Por tanto se adopta que la fuente de señal está a la izquierda de la línea, el terminal de la carga a la derecha y la coordenada longitudinal  $l$  tiene su origen en la



fuelle de señal. La distancia de un punto sobre la línea al terminal de la carga, se indica por la coordenada  $d$ , con origen en la carga y creciendo de derecha a izquierda; el símbolo  $s$  se usa para la longitud total de la línea.

### Corriente y Voltaje.

Las variables dependientes en el análisis de circuitos distribuidos de líneas de transmisión son la corriente y el voltaje, los cuales son funciones del tiempo en cualquier punto de la línea y funciones de posición en la línea en cualquier instante. Las expresiones funcionales que describen estas relaciones son determinadas por la fuente de señal, la carga terminal, los coeficientes de circuito distribuido y la longitud total de la línea.

En el análisis elemental de circuitos se acepta generalmente la notación con minúsculas como símbolos de los valores instantáneos de variables dependientes, variables con el tiempo. Las mayúsculas se utilizan para cantidades de DC, y para números complejos o fasores de cantidades de AC que tienen armónicos de amplitud constante, variables con el tiempo.

Los símbolos en mayúsculas de corrientes y voltajes representan valores fasoriales de números complejos. Sus magnitudes son valores rms y no valores máximos. A no ser que se designen específicamente como cantidades de la fuente de señal o en los terminales de la carga de la línea, son funciones de la posición a lo largo de la línea. Los símbolos minúsculos para corriente y voltaje representan valores instantáneos que se deben considerar como funciones de la coordenada  $l$ .

La letra  $i$ ,  $I$ , símbolo para la corriente.

La letra  $e$ ,  $E$ , símbolo para la diferencia de potencial.

En resumen la notación para las variables dependientes en la teoría de las líneas de transmisión en este trabajo es como sigue:

$i$  o  $i(l,t)$  = corriente instantánea en un punto específico sobre la línea de transmisión, es decir; la corriente en el tiempo  $t$  y coordenada  $l$ ;

$I$  o  $I(l)$  = valor rms complejo de una corriente de amplitud constante armónicamente variable, en la coordenada  $l$ ;

$|I|$  o  $|I(l)|$  = Magnitud rms de  $I$  o  $I(l)$ .

Los símbolos  $v$ ,  $v(l,t)$ ,  $V$ ,  $V(l)$ ,  $|V|$  y  $|v(l)|$  tiene significados correspondientes para voltajes o diferencias de potencial.

Se debe adoptar una convención de signos que relacione las direcciones de corriente y las polaridades de voltaje, para evitar ambigüedades cuando se hace el análisis de circuito de una sección de línea de transmisión. La convención usada es estándar, en teoría elemental de circuitos, para redes de dos terminales.

Por tanto, en la coordenada  $l$  sobre una línea de transmisión, como se muestra en la figura (1.12.a), un voltaje instantáneo  $v(l,t)$  en el dominio del tiempo se puede representar por una flecha dibujada desde uno de los conductores de la línea al otro, en el transversal a  $l$ . La punta de la flecha tiene una polaridad positiva y el voltaje  $v(l,t)$  es positivo cuando la flecha está dirigida hacia el conductor superior como se muestra en la figura (1.12).

Similarmente, las corrientes de la línea en la coordenada  $l$  se indican por medio de dos puntas de flecha una en cada conductor de la línea, las dos apuntando en direcciones opuestas, de acuerdo con el postulado 3. El signo de la corriente es positivo cuando la corriente está en el conductor de la línea superior y fluye en la dirección creciente de  $z$ , como se ve en la figura (1.12).

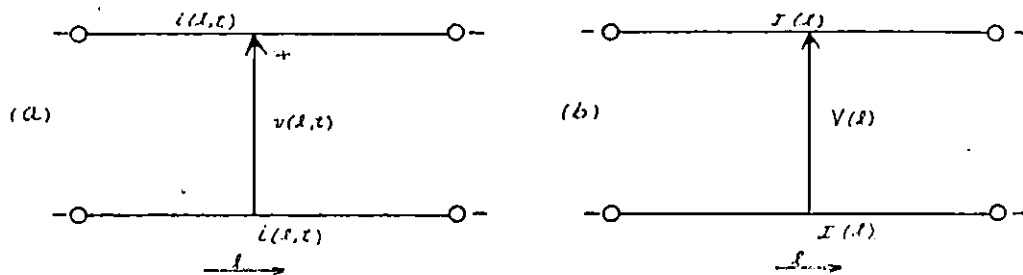


Fig. 1.12. Convenciones de signos para corrientes y voltajes en el análisis de la línea de transmisión: (a) en el dominio del tiempo; (b) para fasores.

Se puede anotar que si la porción de la línea de transmisión hacia la izquierda de la coordenada  $l$  se elimina, las convenciones adoptadas tienen la simple implicación usual, para la red pasiva de dos terminales hacia la derecha de la coordenada  $l$ , de que un voltaje positivo aplicado causa el flujo de una corriente positiva.

La figura (1.12.b) ilustra las convenciones correspondientes para la notación de fasores. Aquí la implicación es que si  $V(l)$ ,

en la dirección mostrada, se escoge como un fasor real de referencia, la dirección mostrada para  $I(1)$  representa un valor de corriente con una parte real no negativa.

### **Coefficientes de circuito distribuido.**

Estos son los símbolos acerca de los cuales hay uniformidad de notación sobre líneas de transmisión. Las definiciones son:

- R = resistencia total en serie de la línea de transmisión por unidad de longitud, incluyendo ambos conductores de la línea, o la combinación de los conductores que constituyen los dos lados de la línea, o la combinación de los conductores que constituyen los dos lados de la línea. En unidades mks, R está en ohmios/km.
- L = inductancia total en serie de la línea de transmisión por unidad de longitud, incluyendo la inductancia debida al flujo magnético interno y externo a los conductores de la línea. En mks, L está en henrios/km.
- G = conductancia paralela de la línea de transmisión por unidad de longitud. Esta es la representación de las pérdidas que son proporcionales al cuadrado del voltaje entre los conductores o al cuadrado del campo eléctrico en el medio. Generalmente, G representa una pérdida interna molecular de los materiales aislantes dieléctricos, más que una corriente de escape. En unidades mks, G está en mhos/km.
- C = Capacidad en paralelo de la línea de transmisión por unidad de longitud. En unidades mks, C está en faradios/km.

Debe observarse cuidadosamente que los símbolos R, L, G y C de la manera como se definen aquí, tienen diferentes significados y dimensiones a aquellos con los cuales se ha familiarizado en el estudio de redes por agrupación de elementos. Aquí ellos significan, resistencia, inductancia, etc., por unidad de longitud de un circuito de cuatro terminales o cuadripolar con una longitud diferente de cero y con coeficientes de circuito uniformemente distribuidos.

Se requiere una notación para distinguir voltajes, corrientes e impedancias conectadas a la fuente de señal y a los terminales de la carga, de una línea de transmisión, de las mismas cantidades, en puntos arbitrarios a los largo de la línea. En este trabajo se continúa con la práctica común de utilizar subíndices para este propósito. Para el extremo de la fuente de señal, en la línea, los subíndices s o S (de source) g o G (de

generador) y o u O (de origen), se utilizan mientras que para los terminales de la carga r o R (de receptor), o T (de terminación), son todos de uso común.

Puesto que R, L y G aparecen más que todo en el análisis como símbolos para los coeficientes de circuito distribuido, no es aconsejable usarlos como subíndices con una referencia totalmente diferente. Parece que los símbolos S y T no dan lugar a confusión y se adoptan a lo largo de este trabajo como subíndices refiriéndose, respectivamente, al extremo de la fuente de señal en la línea y a los terminales de la carga.

### Impedancia y admitancia.

Se deben distinguir tres aspectos de la impedancia (o admitancia), en la teoría de líneas de transmisión. Estos son:

1. Impedancias o admitancias conectadas en los terminales de la línea. Una impedancia terminal de carga tiene el símbolo  $Z_r$ , en este trabajo con componentes  $R_r$  y  $jX_r$ . Según las definiciones previas se ve que  $Z_r = V/I_r$  siempre; esta es una ecuación de números complejos que utiliza la relación de dos fasores.

Similarmente, la impedancia interna de un generador conectado a la fuente de señal, en la línea, tiene el símbolo  $Z_g$  ( $= R_g + jX_g$ ). En general,  $Z_g$  no es igual a  $V_g/I_g$ , ya que esta última razón depende del circuito total de la línea de transmisión, mientras que  $Z_g$  puede tener cualquier valor arbitrario completamente independiente de la línea de transmisión.

2. Una cantidad que aparece en las ecuaciones de líneas de transmisión, que tiene las dimensiones de impedancia y está determinada, exclusivamente, por los coeficientes de circuitos distribuido de la línea y la frecuencia de la señal. A esta se le llama ahora, universalmente, la impedancia "característica" de la línea de transmisión y está dada por el símbolo  $Z_0$  (con componentes  $R_0$  y  $X_0$ ).

3. La impedancia dada por la razón del fador de voltaje en la línea al fador de corriente en la línea, en cualquier sección transversal de la línea. La notación  $Z(z)$  o  $Z(\zeta)$  es apropiada para esto, (con símbolos correspondientes para las componentes real e imaginaria), dependiendo de si el punto particular sobre la línea está localizado por sus coordenadas relativas a la fuente de señal o al terminal de la carga de la línea de transmisión como origen. La impedancia en una coordenada numérica específica, requiere una notación expansiva tal como  $Z(z = 3)$  para un punto distante 3 metros a partir de la fuente señal de la línea.

## 1.5 Parámetros de una Línea de Transmisión.

Toda línea de transmisión se define en función de cuatro parámetros: resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia. Con simples mediciones de voltaje, corriente y potencia a la entrada y salida de un sistema se pueden determinar los parámetros y con ello las pérdidas de energía en los conductores.

### 1.5.1 Resistencia.

La causa principal de pérdidas en un conductor es la resistencia, existen dos clases de resistencia: la resistencia efectiva y la resistencia a la corriente continua.

Resistencia efectiva: esta se define como la siguiente relación:

$$R = \frac{P}{I^2} \quad (1.1)$$

Donde: P: Vatios  
I: Amperios ( corriente eficaz)

Resistencia a la corriente continua: esta se define por la siguiente relación:

$$R_0 = \frac{\rho l}{A} [\Omega] \quad (1.2)$$

Donde: p: Resistividad del conductor [ ohmio-metro ]  
l: Longitud [ metros ]  
A: Area de la sección transversal [metros cuadrados]

La resistencia varía con la temperatura, frecuencia y la densidad de corriente. Para rangos normales, la variación es lineal. La resistencia de conductores de cobre y aluminio varía directamente con la temperatura. Estas variaciones no son estrictamente lineales para rangos grandes de temperatura, aunque para propósitos prácticos se puede considerar una variación lineal. Cuando se conoce la resistencia de un conductor a una temperatura  $t_1$  y se desea conocer la resistencia a una temperatura  $t_2$ , la siguiente fórmula es útil:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1} \quad (1.3)$$

Donde:  $t_1$  y  $t_2$  se da en grados centigrados y  $T$  es la constante de temperatura.

Si llevamos las temperaturas al eje de las ordenadas y la resistencia a las abscisas, como en la figura (1.13), prolongando el segmento de recta determinado hasta la intersección con el eje de las ordenadas; obtenemos la ordenada en el origen que nos permiten corregir la resistencia con los cambios de temperatura.

La ordenada en el origen da la temperatura para  $R=0$ , es una constante del material.

La resistencia a la corriente continua de los conductores de hilos trenzados es mayor que el valor obtenido en la ecuación (1.2), debido a que tienen mayor longitud, por cada kilómetro de conductor, la corriente tiene que recorrer más de un kilómetro, menos el del centro. El incremento de resistencia debido a el espiral que forman los hilos se estiman en un 1% para conductores de 3 hilos y de un 2% para hilos concéntricos.

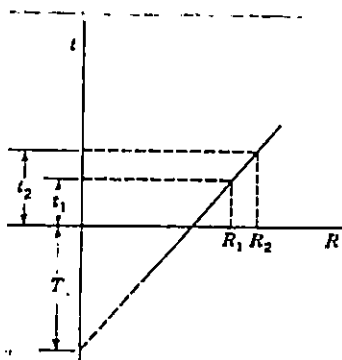


Fig. 1.13. Resistencia de un conductor en función de la temperatura.

Como puede notarse la ecuación (1.3), solamente puede utilizarse para evaluar cambios en la resistencia a la corriente continua y no para la resistencia a la corriente alterna, a menos que sea descuidado el efecto piel.

La variación de la frecuencia produce cambios en la resistencia efectiva de un conductor. El aumento de la frecuencia de la corriente alterna produce cambios sustanciales en la densidad de corriente en la sección transversal de un conductor.

Para conductores de tamaño pequeño la frecuencia tiene un efecto despreciable en la resistencia a la corriente continua para un rango de 60 ciclos. Esto es generalmente verdadero para conductores arriba de calibre 2/0.

Las variaciones de resistencia con la temperatura son usualmente insignificantes porque la temperatura ambiente es imperceptible, como variable a lo largo de la línea de transmisión. Un ejemplo del porcentaje de cambios en la resistencia es cuando la temperatura varía de invierno a verano de 0°C a 40°C (32°F a 104°F) en el que el cobre experimenta un incremento del 17%.

### 1.5.2 Inductancia de Líneas de Transmisión.

Dos ecuaciones fundamentales sirven para explicar y definir la inductancia. La primera relaciona la f.e.m. inducida con la velocidad de variación del flujo que rodea al circuito. La f.e.m. es:

$$e = r \frac{d\phi}{dt} \quad (1.4)$$

donde "e" es la f.e.m. inducida en voltios, y r es el número de enlaces de flujo del circuito en Weber-vueltas. El número de Weber-vueltas es el producto de los Weber por el número de vueltas del circuito enlazado. En el circuito de dos conductores de la figura (1.14), cada línea de flujo lo rodea una sola vez y se inducirá 1 voltio cuando la velocidad de variación de flujo sea 1 Weber/seg.

Si cambia la corriente del circuito también cambia el flujo magnético a ella asociado. Suponiendo constante la permeabilidad del medio, en el que actúa el campo magnético, el número de enlaces es directamente proporcional a la corriente y, por consiguiente, la f.e.m. inducida lo es a la velocidad de variación de la corriente. De esta forma, la segunda ecuación fundamental es

$$e = L \frac{di}{dt} \quad (1.5)$$

Donde  $L$ , constante de proporcionalidad, es la inductancia o coeficiente de autoinducción del circuito en henrios, "e" es la f.e.m. inducida en voltios y  $di/dt$  la velocidad de variación de la corriente en amperios por segundo. La ecuación (1.5), es aplicable a los medios en que la permeabilidad no sea constante, pero en ese caso, no es constante la inductancia.

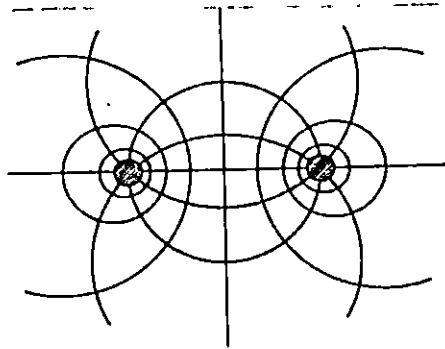


Fig. 1.14. Campos magnético y eléctrico asociados a una línea bifilar.

Despejando  $L$  entre las Ecs. (1.4) y (1.5) resulta

$$L = \frac{d\psi}{di} \quad (1.6)$$

Si el número de enlaces de flujo varía linealmente con la corriente, lo que significa que el circuito magnético tiene permeabilidad constante, se tendrá

$$L = \frac{\psi}{i} \quad (1.7)$$

De donde se deduce la definición de la autoinducción de un circuito eléctrico como el número de enlaces de flujo del circuito por unidad de corriente. La inductancia de un conductor de un circuito es igual al número de enlaces de flujo del conductor por unidad de corriente en el mismo. En una línea de dos conductores el número de enlaces de flujo del circuito es la suma de los enlaces de flujo. En función de la inductancia los enlaces de flujo son:



$$v=Li \quad (1.8)$$

En la ec. (1.8); si "i" es la corriente instantánea,  $v$  representa los enlaces de flujo instantáneo. Para corriente alterna sinusoidal los enlaces de flujo son también sinusoidales y la expresión vectorial es:

$$\Phi=Li \quad (1.9)$$

Como  $\Phi$  e  $I$  están en fase,  $L$  es real, siendo compatible con las Ecs.(1.7) y (1.8). El vector caída de tensión por la acción de los enlaces de flujo es

$$V=j\omega LI \quad (1.10)$$

$$V=j\omega\Phi \quad (1.11)$$

La inductancia mutua o coeficiente de autoinducción mutua entre dos circuitos, se define como los enlaces del flujo de uno de los circuitos, debido a la corriente del otro por amperio de la corriente de éste. Si la corriente  $I_2$  produce  $\Phi_2$  enlaces de flujo con el circuito 1, la inductancia mutua es

$$M_{12}=\frac{\Phi_{12}}{I_2}$$

El vector caída de tensión en el circuito 1 producido por los enlaces de flujo del circuito 2 es

$$V_1=j\omega M_{12}I_2=j\omega\Phi_{12}$$

La inductancia mutua es importante para determinar la influencia de las líneas de fuerza sobre las líneas telefónicas y para estudiar el acoplamiento entre líneas de fuerzas paralelas.

### 1.5.2.1 Inductancia de un Conductor Debida a el Flujo Interno.

Para obtener un valor preciso de la inductancia de una línea de transporte es necesario considerar tanto el flujo interior de un conductor, como el exterior. Consideremos un conductor largo cilíndrico con la sección transversal representada en la fig. (1.15).

Suponemos que el hilo de retorno está tan lejos que no afecta apreciablemente el campo magnético creado por el conductor considerado. Las líneas de flujo son concéntricas al conductor.

La fuerza magnetomotriz (f.m.m.), en amperio-vueltas, alrededor de cualquier línea cerrada es igual a la corriente, en amperios, abarcada por la línea. La fmm es igual, también a la integral de la componente tangencial de la intensidad de campo magnético a lo largo del filete. Así,

$$\oint H ds = I \quad (1.12)$$

Donde  $H$  es la intensidad del campo magnético, en amperio-vueltas por metro, " $s$ " la distancia a lo largo del camino, en metros,  $I$  la corriente abarcada, en amperios; el punto entre  $H$  y  $ds$  indica que el valor de  $H$  es la componente de la intensidad de campo tangente a  $ds$ .

Designemos por  $H_x$  la intensidad de campo a  $x$  metros del centro del conductor. Como el campo es simétrico,  $H_x$  es constante en todos los puntos equidistantes del centro del conductor. Si la integración indicada en la Ec. (1.12) se hace a lo largo de una línea circular, concéntrica al conductor y a  $x$  metros del centro,  $H_x$  es constante a lo largo de toda la línea y tangente a ella.

La Ec. (1.12) será:

$$\oint H_x ds = I_x \quad (1.13)$$

y

$$2\pi H_x = I_x \quad (1.14)$$

Donde  $I_x$  es la corriente abarcada. Suponiendo una densidad de corriente uniforme,

$$I_x = \frac{\pi x^2}{\pi r^2} I \quad (1.15)$$

Y

$$H_x = \frac{x}{2\pi r^2} I \quad (1.16)$$

La densidad del flujo a x metros del centro del conductor es:

$$B_x = \mu H_x = \frac{\mu x I}{2\pi r^2} \quad (1.17)$$

Donde  $\mu$  es la permeabilidad del conductor.

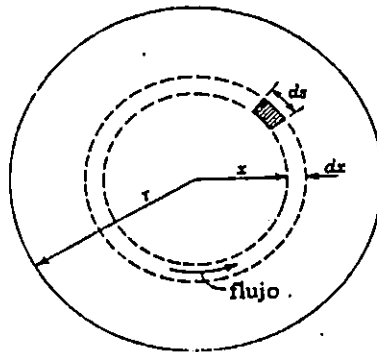


Fig. 1.15. Sección transversal de un conductor cilíndrico.

En el elemento tubular de espesor  $dx$ , el flujo  $d\phi$  es  $B_x$  veces el área transversal del elemento normal a las líneas de flujo, siendo el área  $dx$  veces la longitud axial. El flujo por metro de longitud es

$$d\phi = \frac{\mu x I}{2\pi r^2} \quad (1.18)$$

Los enlaces de flujo  $d\phi$  por metro de longitud, producidos por el flujo del elemento tubular son el producto del flujo por metro de longitud por la fracción de corriente enlazada. De esta forma,

$$d\Phi = \frac{\pi X^2}{\pi r^2} d\phi \quad (1.19)$$

integrando desde el centro del conductor hasta el borde exterior para encontrar el flujo interno, enlaces de flujo totales en el interior del conductor, obtenemos

$$\Phi_{\text{into}} = \int_0^r \frac{\mu I x^3}{2\pi r^4} dx \quad (1.20)$$

Para una permeabilidad relativa de 1,  $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$  Henrios/mts y,

$$\Phi_{\text{into}} = \frac{I \cdot 10^{-7}}{2} \quad (1.21)$$

$$L_{\text{into}} = \frac{1}{2} i^2 \cdot 10^{-7} \quad (1.22)$$

Hemos calculado la inductancia por unidad de longitud, de un conductor cilíndrico debido únicamente al flujo interior. En lo sucesivo por conveniencia al tratar la inductancia por unidad de longitud la llamaremos inductancia pero usando las unidades correctas. Siendo la energía almacenada en el interior del conductor, debido al campo magnético, igual a  $L_{\text{int}} i^2/2$  al despejar la  $L_{\text{int}}$  obtenemos la ecuación (1.22).

#### 1.5.2.2 Enlaces de Flujo Entre los Puntos Exteriores a un Conductor Aislado.

Como primer paso para calcular la inductancia debida al flujo exterior a un conductor, deduciremos los enlaces de flujo en un conductor aislado debidos a la porción de flujo exterior comprendida entre  $D_1$  y  $D_2$  metros del centro del conductor. En la fig. (1.16),  $P_1$  y  $P_2$  son dos puntos a distancias  $D_1$  Y  $D_2$  del centro de un conductor por el que circula una corriente de  $i$  amperios. Como las líneas de flujo son círculos concéntricos al conductor, todo el flujo comprendido entre  $P_1$  y  $P_2$  esta dentro de las superficies cilíndricas concéntricas que pasan por  $P_1$  y  $P_2$ . En el elemento tubular, que está a  $x$  metros del centro del

conductor, la intensidad de campo es  $H_x$ . La fmm a lo largo del elemento es

$$2\pi x H_x = I \quad (1.23)$$

La intensidad de campo es,

$$H_x = \frac{I}{2\pi x} \quad (1.24)$$

y la densidad de flujo en el elemento es,

$$B_x = \frac{\pi I}{2\pi x} \quad (1.25)$$

El flujo  $d\phi$  y el elemento tubular de espesor  $d_x$  es,

$$d\phi = \frac{\mu I}{2\pi x} dx \quad (1.26)$$

Los enlaces de flujo  $d\phi$  por metro son iguales numéricamente al flujo  $d\phi$ , puesto que en el flujo exterior al conductor enlaza toda la corriente del conductor tan solo un vez. Los enlaces de flujo totales entre  $P_1$  y  $P_2$  se obtienen integrando  $d\phi$  desde  $x = D_1$  a  $x = D_2$ , obteniendo

$$\Phi_{12} = \int_{D_1}^{D_2} \frac{\mu I}{2\pi x} dx = \frac{\mu I}{2} \pi L \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (1.27)$$

o para una permeabilidad relativa de 1,

$$\Phi_{12} = 2 \cdot 10^{-7} I L \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (1.28)$$

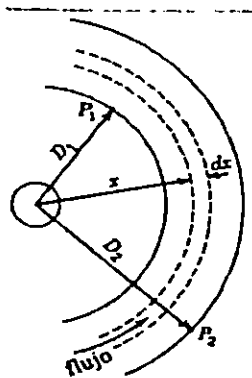


Fig. 1.16 Conductor y puntos P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> exteriores a él.

La inductancia debida solamente al flujo comprendido entre P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> es,

$$L_{12} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (1.29)$$

### 1.5.2.3 Inductancia de una Línea Monofasica.

Antes de tratar el caso de líneas de varios conductores y trifásicas, consideraremos el caso de una sencilla línea bifilar de conductores cilíndricos macizos. La figura (1.17), representa un circuito que tiene dos conductores de radios  $r_1$  y  $r_2$ . Uno de los conductores constituye el hilo de retorno. En principio, consideremos solamente los enlaces de flujo de circuito producidos por la corriente de conductor 1. Una línea de flujo, debida a la corriente del conductor 1 situada a una distancia igual o mayor a  $D + r_2$ , del centro del conductor 1 no enlaza el circuito y, por tanto, no induce ninguna f.e.m. en él.

Dicho de otra manera, una línea de flujo de estas características enlaza una corriente cero, ya que la corriente

del conductor 2 es igual en magnitud y de sentido opuesto a la corriente del conductor 1. La fracción de la corriente total o menor a  $D - r_2$ , es 1. Entre las distancias  $D - r_2$  y  $D + r_2$  (es decir, en la superficie del conductor 2) la fracción de la corriente total enlazada por la línea de flujo, producida por la corriente del conductor 1, varía de 1 a 0. Por tanto, es lógico simplificar el problema, cuando  $D$  es mucho mayor que  $r_1$  y  $r_2$  y la densidad de flujo a través del conductor es aproximadamente constante, suponiendo que todo el flujo exterior producido por la corriente del conductor 1 y que va hasta el centro del conductor 2, enlaza toda la corriente  $I$  y que el flujo que se extiende más allá de ese punto no enlaza ninguna corriente. En efecto, se comprueba que los cálculos hechos con esta hipótesis, incluso cuando  $D$  es pequeño.

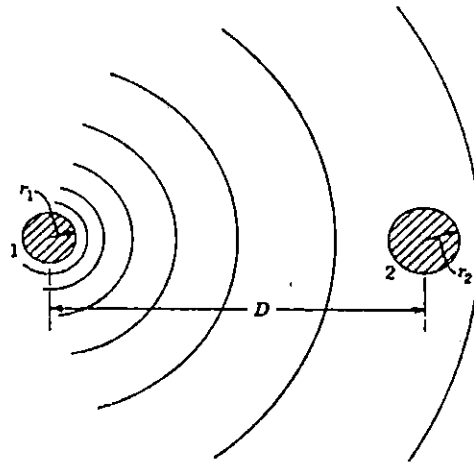


Fig. 1.17 Conductores diferentes y campo magnético debido a la corriente del conductor 1.

La inductancia del circuito debida a la corriente del conductor 1 se determina por la ec. (1.29), sustituyendo  $D_1$  por la distancia  $D$  entre los conductores 1 y 2, y  $D_2$  por el radio  $r_1$  del conductor 1.

Para el flujo exterior únicamente,

$$L_{1ext} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r_1} \quad (1.30)$$

Para el flujo interior únicamente,

$$L_{\text{int}} = \frac{1}{2} \times 10^{-7} \quad (1.31)$$

La inductancia total del circuito, debida a la corriente del conductor 1 tan solo, es,

$$L_1 = \left( \frac{1}{2} + 2 \ln \frac{D}{r_1} \right) 10^{-7} \quad (1.32)$$

#### 1.5.2.4 Inductancia de Líneas Trifásicas con Disposición Equilátera.

Hasta ahora solo se han considerado líneas monofásicas sin embargo las ecuaciones encontradas pueden encontrarse fácilmente para calcular la inductancia de las líneas trifásicas. La figura (1.18), representa los conductores de un línea trifásica colocados en los vértices de un triángulo equilátero. Si asumimos que no existe hilo neutro o que los vectores corriente de las tres fases están equilibrados  $I_a + I_b + I_c = 0$ . La Ec. (1.33); da los enlaces de flujo del conductor "a",

$$\Phi_a = 2 \times 10^{-7} \left( I_a \ln \frac{1}{r'} + I_b \ln \frac{1}{D} + I_c \ln \frac{1}{D} \right) \quad (1.33)$$

Donde  $r'$  es el radio de un conductor ficticio en el que se supone que no tiene flujo interno.

Introduciendo  $I_b = -(I_a + I_c)$ , la Ec. (1.33) se convierte

$$\Phi_a = 2 \times 10^{-7} I_a \ln \frac{D}{r'} \quad (1.34)$$

y

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \quad (1.35)$$



Como cada fase tiene solamente un conductor, la ecuación (1.35); dan la inductancia por fase de una línea trifásica.

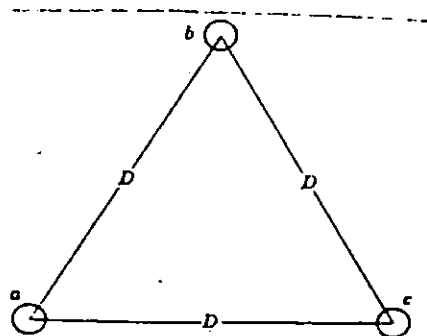


Fig. 1.18. Sección transversal de una línea trifásica con sus conductores en posición equilátera.

#### 1.5.2.5 Inductancia de Líneas Trifásicas con Disposición Asimétrica.

Cuando los conductores de una línea trifásica no están en disposición equilátera, el problema de encontrar la inductancia es más difícil. En ese caso los enlaces de flujo y la inductancia de todas las fases no son iguales, al igual que las tensiones inducidas, en líneas de transmisión paralelas incluso cuando las corrientes de fases están equilibradas. Esta circunstancia desfavorable puede resolverse cambiando la posición de los conductores a intervalos regulares a lo largo de la línea; de tal forma que cada conductor ocupe la posición original de otro a lo largo de una distancia igual a la recorrida inicialmente, llamándosele a esto transposición de conductores. La fig. (1.19) representa un ciclo completo de transposición; los conductores de cada fase se designan por a, b y c, mientras que las posiciones ocupadas están representadas por los números 1, 2 y 3. El resultado de la transposición es que todos los conductores tienen la misma inductancia a lo largo del circuito completo.

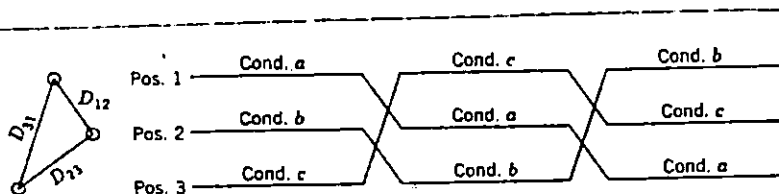


Fig. 1.19. Ciclo de transposición.

Las modernas líneas eléctricas no se transponen corrientemente, aunque pueden cambiarse la posición de los conductores, normalmente esto se hace en las subestaciones para equilibrar las inductancias de las fases más exactamente.

Afortunadamente la asimetría entre las fases de una línea sin transposición es pequeña, pudiéndose desprejciar en muchos casos. Si se despreja la asimetría la inductancia de una línea se calcula como si tuviera simetría.

La reactancia inductiva de cada fase de una línea sin transposición se admite que es igual al valor medio de la reactancia inductiva de una fase de la misma línea en la que se hubiera realizado correctamente la transposición.

La ecuación que denota a la inductancia media por fase es:

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{r'} \quad (1.36)$$

Dónde:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}} \quad (1.37)$$

La ec. (1.37); se puede escribir también:

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_a} \quad (1.38)$$

### 1.5.3 Capacidad de las Líneas de Transmisión.

La diferencia de potencial entre los conductores de una línea de transmisión hace que estos se carguen como las placas de un condensador cuando existe una diferencia de potencial entre ellas. La capacidad entre conductores es la carga por unidad de diferencia de potencial. La capacidad entre conductores paralelos es constante, dependiendo del tamaño y de la separación de los conductores. El efecto de la capacidad en líneas de menos de 80

Kms. es pequeño y se desprecia normalmente. En líneas más largas, de alta tensión, la capacidad llega a tener gran importancia.

Una tensión alterna aplicada a una línea de transporte da lugar a que la carga de los conductores, en cualquier punto aumente o disminuya con el aumento o disminución del valor instantáneo de la tensión entre conductores en aquel punto. El flujo de la carga es una corriente y la producida por la carga y descarga alternativa de una línea debida a una tensión alterna, se llama corriente de carga de la línea.

Si un conductor recto cilíndrico y largo tiene una carga uniforme en toda su longitud y esta aislado de otras cargas, de forma que la carga esta repartida uniformemente en su superficie, el flujo que produce es radial. Todos los puntos equidistantes de un conductor con estas características son puntos equipotenciales con las misma densidad de flujo. La figura (1,20) representa un conductor aislado y con una carga repartida uniformemente. La densidad de flujo eléctrico a  $x$  metros del conductor puede calcularse, considerando una superficie concéntrica al conductor de  $x$  metros de radio. Como todos los puntos de esta superficie están equidistantes del conductor que tiene carga uniformemente repartida, la superficie cilíndrica es equipotencial y su densidad de flujo eléctrico es igual al flujo que nace en el conductor por metro de longitud dividido por el área de la superficie correspondiente a un metro del eje longitudinal. La densidad del flujo eléctrico es,

$$D = \frac{q}{2\pi X} \quad (1.39)$$

Donde  $q$  es la carga en el conductor, por metro de longitud y  $x$  es la distancia en metros desde el conductor hasta el punto donde se calcula la densidad de flujo eléctrico. La distancia del campo eléctrico o su inverso el gradiente de potencial es igual a la densidad del flujo eléctrico dividido por la constante dieléctrica del medio. Esta forma de intensidad de campo eléctrico es,

$$E = \frac{q}{2\pi Xk} \quad (1.40)$$

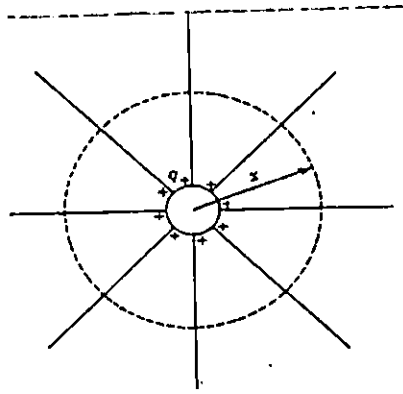


Fig. 1.20 Líneas de flujo eléctrico creadas por las cargas positivas uniformemente repartidas sobre la superficie de conductor cilíndrico aislado.

### 1.5.3.1 Diferencia de Potencial Entre Dos Puntos Debida a una Carga.

La diferencia de potencial, en voltios, entre dos puntos es igual, numéricamente al trabajo en julios, necesario para mover un culombio entre los dos puntos. La intensidad del campo eléctrico es una medida de la fuerza con que una carga está solicitada en el campo. La intensidad del campo eléctrico, en voltios por metro, es la fuerza, en newton por culombio, que actúa sobre un culombio situado en el punto considerado. La integral lineal, entre dos puntos, da la fuerza en newton, que actúa sobre un culombio de carga positiva, es el trabajo realizado al mover la carga desde el punto de potencial más bajo al de potencial más alto, siendo igual, numéricamente, a la diferencia de potencial entre dos conductores.

Consideremos un conductor recto, largo con una carga positiva de  $q$  culombios/metro, tal como indica la Fig. (1.21), a las distancias  $D_1$  y  $D_2$  metros, respectivamente, del centro del conductor, están situados los puntos  $P_1$  y  $P_2$ . La carga positiva que hay sobre el conductor ejerce una fuerza que repele las cargas positivas en el campo. Debido a esto y teniendo en cuenta que  $D_2$ , en este caso, es mayor que  $D_1$ , hay que realizar un trabajo para llevar la carga positiva desde  $P_2$  a  $P_1$ , estando, por tanto,  $P_1$ , a mayor potencial que  $P_2$ . La diferencia de potencial es la cantidad de trabajo realizado por culombio que se transporta. Por el contrario, al moverse el culombio de  $P_1$  a  $P_2$ , absorbe una energía, la cual en newton/metro, es la caída de tensión entre  $P_1$  y  $P_2$ . La diferencia de potencial entre dos puntos, es independiente del camino recorrido del uno al otro punto.

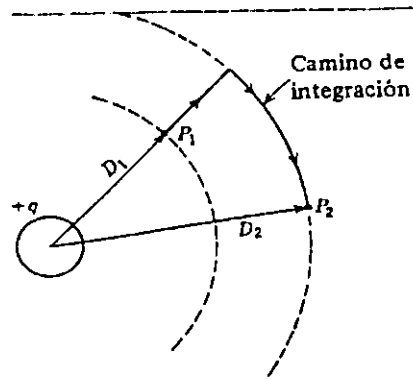


Fig. 1.21. Camino de integración entre dos puntos exteriores a un conductor cilíndrico con una carga positiva uniformemente distribuida.

La forma más sencilla para calcular la caída de tensión entre los dos puntos, es calcular la tensión que existe entre las superficies equipotenciales que pasan por  $P_1$  y  $P_2$ , integrando la intensidad de campo a lo largo de un camino radial entre las superficies equipotenciales. De esta forma, la caída instantánea de tensión entre  $P_1$  y  $P_2$ , es,

$$V_{12} = \int_{D_1}^{D_2} E dx = \int_{D_1}^{D_2} \frac{q}{2\pi kx} dx = \frac{q}{2\pi k} \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (1.41)$$

donde  $q$  es la carga instantánea sobre el conductor, en culombios por metro de longitud. Nótese que la caída entre dos puntos, tal como viene dada la Ec. (1.41), puede ser positiva o negativa, según que se considere del punto más cercano al conductor al más lejano o viceversa. El signo de  $q$  puede ser positivo o negativo y el término logarítmico, también, según que  $D_2$  sea mayor o menor que  $D_1$ .

### 1.5.3.2 Capacidad de una Línea Bifilar.

La capacidad que existe entre dos conductores de una línea bifilar se definió como la carga de los conductores por unidad de diferencia de potencial entre ellos. La ecuación de la capacidad por unidad de longitud de línea, es,

$$C = \frac{q}{V} \quad (1.42)$$

donde  $q$  es la carga de la línea, en culombios por metro,  $V$  es la diferencia de potencial entre conductores en voltios. En adelante, por simplificar, hablaremos de capacidad, refiriéndonos a la capacidad por unidad de longitud, poniendo correctamente las

adelante, por simplificar, hablaremos de capacidad, refiriéndonos a la capacidad por unidad de longitud, poniendo correctamente las dimensiones de las ecuaciones deducidas. La capacidad entre conductores puede encontrarse sustituyendo en la Ec. (1.42), el valor de  $v$ , en función de  $q$ , deduciendo en la Ec. (1.41). La tensión  $V_{ab}$  entre los dos conductores de la línea bifilar de la fig. (1.22), se halla determinando la diferencia de potencia entre ellos, calculando, en primer lugar, la caída de tensión debida a la carga  $q_a$  del conductor "a" y, a continuación, la debida a la carga  $q_b$  del conductor b.

Por el principio de superposición, la caída de tensión del conductor "a" al "b", debida a las cargas de ambos conductores, es la suma de las caídas de tensión producidas por cada una de las cargas independientes.

Consideremos la carga  $q_a$  del conductor "a" y supongamos que el conductor "b" no tiene carga, siendo, únicamente, una superficie equipotencial en el campo creado por la carga de "a".

La superficie equipotencial del conductor "b" y las debidas a la carga "a" se representan en la fig. (1.23). La distorsión de las superficies equipotenciales en las proximidades del conductor "b", es debida a que éste, también es una superficie equipotencial. La ecuación (1.41), se dedujo suponiendo que todas las superficies equipotenciales, debidas a la carga uniforme de un conductor de sección circular, eran cilíndricas y concéntricas con el conductor. Esto es cierto en nuestro caso menos en la zona próxima a "b". El potencial del conductor "b" es el de la superficie equipotencial que le corta. Por tanto al determinar  $V_{ab}$  puede seguirse un camino que vaya del conductor "a" a la superficie equipotencial que corta a "b", pasando por una zona en la que no están distorsionadas; el camino a lo largo de la superficie equipotencial hasta "b" no supone camino alguno de tensión. Esta línea de integración está indicada en la figura (1.23), junto con el camino directo. Naturalmente la diferencia de potencial es la misma independientemente del camino a lo largo del cual se hace la integración de la intensidad de campo.

Siguiendo el camino que atraviesa la zona sin distorsión, las distancias correspondientes a  $D_1$  y  $D_2$  de la ecuación (1.41), son  $D$  y  $r_a$  respectivamente al determinar el  $V_{ab}$ , debida a  $q_a$ . Al determinar el  $V_{ab}$  debida a  $q_b$ , las distancias a considerar son  $r_b$  y  $D$ , respectivamente. Pasando a la notación vectorial ( $q_a$  y  $q_b$  son números complejos), tenemos; como  $q_b = -q_a$  para una línea bifilar, y agrupando los términos logarítmicos tenemos:

$$V_{ab} = \frac{q_a}{2\pi k} \ln \frac{D^2}{r_a r_b} \quad (1.43)$$

$$C_{ab} = \frac{Q_a}{V_{ab}} = \frac{2\pi k}{L \ln \frac{D_2}{r_a r_b}} \quad (1.44)$$

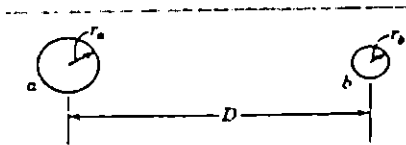


Fig. 1.22. Sección transversal de una línea de hilos paralelos.

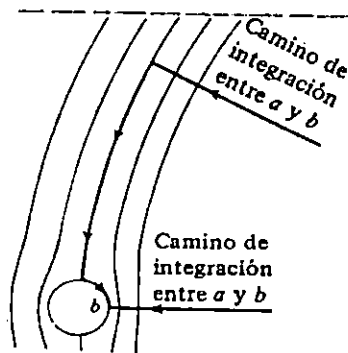


Fig. 1.23 Superficies equipotenciales en una parte del campo eléctrico producido por un conductor cargado "a" no representado en la figura. El conductor "b" hace que sufra distorsión la superficie equipotencial.

La ecuación (1.43), da la capacidad entre conductores de una línea bifilar. A veces conviene conocer la capacidad entre uno de los conductores y un punto neutro. Por ejemplo, si la línea esta alimentada por un transformador que tiene un punto puesto a tierra, la diferencia de potencial entre cada uno de los conductores y tierra es la mitad de la existente entre ambos conductores; y la capacidad respecto a tierra o capacidad respecto a neutro es la carga de un conductor por unidad de diferencia de potencial entre conductor y tierra. De esta forma, la capacidad respecto al neutro de una línea bifilar es dos veces la capacidad entre conductores. Si consideramos esta formada por dos capacidades en serie, la tensión de la línea se reparte por igual entre los dos, estando el punto de unión de ambos al potencial de tierra. Así, la capacidad respecto al neutro, es la de dos capacidades iguales en serie o dos veces la capacidad entre conductores.

$$C_n = C_{nn} = C_{nn} = \frac{0.0241}{\log \frac{D}{r}} \quad (1.45)$$

El concepto de la capacidad respecto al neutro, viene representado en la figura (1.24).

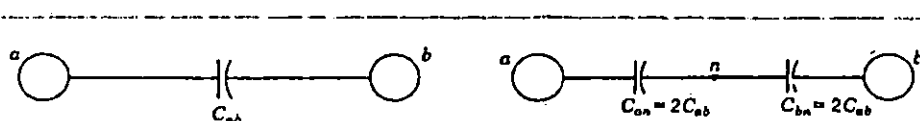


Fig. 1.24 Relación entre los conceptos de capacidad entre conductores y entre conductor y neutro.

El radio que figura en la ecuación de la capacidad, es el radio exterior de conductor, y las ecuaciones que se han derivado con anterioridad, están basadas en el supuesto de distribución uniforme de la carga sobre la superficie del conductor. Si existen otras cargas, deja de cumplirse la uniformidad supuesta, por lo que las ecuaciones deducidas no son estrictamente ciertas.

La falta de uniformidad en la distribución de la carga puede tenerse en cuenta, considerando los conductores uniformemente cargados. De esta forma, sin gran dificultad, se llega a la siguiente ecuación:



$$C_n = \frac{0.388}{\text{Log}\left(\frac{D}{2r} + \sqrt{\frac{D^2}{4r^2} - 1}\right)} \quad (1.46)$$

Esta fórmula proporciona solamente la capacidad respecto al neutro de una línea bifilar. La deducción de una ecuación que tenga en cuenta la distribución real de las cargas, incluso, las formas más sencillas de líneas con varios conductores en paralelo o para líneas trifásicas, resulta demasiado complicado, por lo que no es práctico. El suponer que la distribución de la carga es uniforme introduce un error muy pequeño, si la separación entre conductores es grande comparada con el diámetro de los mismos, lo que ocurre en el caso de líneas aéreas de transporte.

### 1.5.3.3 Capacidad de una Línea Trifásica con Disposición Equilátera.

La figura (1.25), representa los tres conductores idénticos de radio  $r$  de una línea trifásica con disposición equilátera. Para encontrar la capacidad respecto al neutro empezamos por poner las expresiones de la caída de tensión del conductor "a" al "b" y del "a" al "c". La tensión vectorial entre "a" y "b" es:

$$V_{ab} = \frac{1}{2} \pi k (q_a \text{Ln} \frac{D}{r} + q_b \text{Ln} \frac{r}{D} + q_c \text{Ln} \frac{D}{D}) \quad (1.47)$$

y entre "a" y "c":

$$C_{ac} = \frac{1}{2} (q_a \text{Ln} \frac{D}{r} + q_b \text{Ln} \frac{D}{D} + q_c \text{Ln} \frac{r}{D}) \quad (1.48)$$

Sumando las Ecs. (1.47) y (1.48); tenemos:

$$V_{ab} + V_{ac} = \frac{1}{2} \pi k (2q_a \text{Ln} \frac{D}{r} + (q_b + q_c) \text{Ln} \frac{r}{D}) \quad (1.49)$$

Si suponemos que no existen otras cargas próximas a los conductores, la suma de las cargas de los tres conductores es cero, pudiendo sustituir  $q_c$  en la Ec. (1.49) por  $q_b + q_c$ , con lo que tenemos:

$$V_{ab} + V_{ac} = \frac{3q_a}{2\pi k} L D \frac{D}{r} \quad (1.50)$$

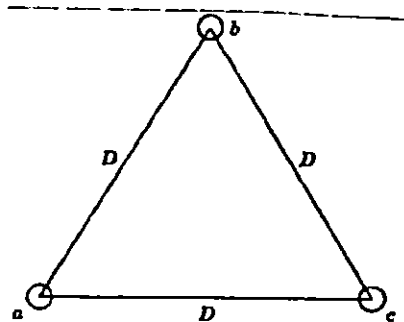


Fig. 1.25 Sección transversal de una línea trifásica con disposición equilátera.

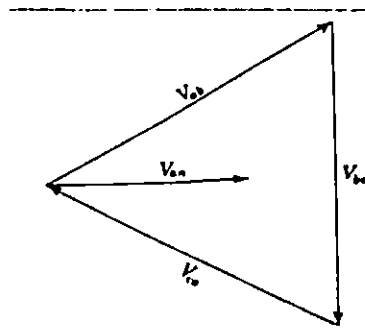


Fig. 1.26. Diagrama vectorial de las tensiones equilibradas de una línea trifásica.

La fig. (1.26), es el diagrama vectorial de tensiones. De esta figura se obtienen las siguientes relaciones entre las tensiones de línea  $V_{ab}$  y  $V_{ac}$  y la tensión  $V_{an}$  entre "a" y el neutro del circuito trifásico:

$$V_{ab} = \sqrt{3} V_{an} (0.866 + j0.5) \quad (1.51)$$

$$V_{ac} = -V_{ab} = \sqrt{3} V_{an} (0.866 - j0.5) \quad (1.52)$$

Sumando las Ecs. (1.51) y (1.52) se obtiene:

$$V_{ab} + V_{ac} = 3V_{an} \quad (1.53)$$

Sustituyendo  $3V_{an}$  por  $V_{ab} + V_{ac}$  en la Ec. (1.50),

$$V_{an} = \frac{q_a}{2\pi k} \ln \frac{D}{r} \quad (1.54)$$

Como la capacidad respecto al neutro es la relación entre la carga en un conductor y la tensión entre éste y neutro,

$$C_n = \frac{q_a}{V_{an}} = \frac{2\pi k}{\ln \frac{D}{r}} \quad (1.55)$$

Para una constante dieléctrica relativa de  $k_r = 1$

$$C_n = \frac{0.0388}{\log \frac{D}{r}} \quad (1.56)$$

Comparando la Ec. (1.56) con la (1.45), estas ecuaciones dan la capacidad, respecto al neutro, de las líneas trifásicas, con disposición equilátera y monofásica, respectivamente. Ya vimos que las fórmulas de la inductancia por conductor eran las mismas para una línea monofásica dispuesta en triángulo equilátero.

A la corriente asociada a la capacidad de una línea se le llama corriente de carga. En un circuito monofásico, la corriente de carga es el producto de la tensión entre conductores por la susceptancia entre ellos, o bien, vectorialmente,

$$I_{abg} = j\omega C_{ab} V_{ab} \quad (1.57)$$

En una línea trifásica, la corriente de carga se encuentra multiplicando la tensión respecto al neutro por la susceptancia capacitiva respecto al neutro. Este producto da la corriente de carga por fase, y está de acuerdo con el cálculo de circuitos trifásicos equilibrados basado en una sola fase y retorno por el neutro. La corriente de carga, vectorialmente, en la fase "a" es:

$$I_{obg} = j\omega C_n V_{an} \quad (1.58)$$

#### 1.5.3.4 Capacidad de una Línea Trifásica con Disposición Asimétrica.

Cuando los conductores de una línea trifásica no están dispuestos en triángulo equilátero, el cálculo de su capacidad es más difícil. Si la línea no tiene transposición, las capacidades de cada fase, respecto al neutro, son distintas, y si la tiene es diferente en cada una de las posiciones que ocupa el conductor en el ciclo de transposición. Sin embargo, en este último caso, la capacidad media respecto al neutro, de una de las fases, en todo el ciclo de transposición, es igual a la de cualquier otra, puesto que todos los hilos de fase ocupan la misma posición durante idéntico recorrido a lo largo del ciclo de transposición. La asimetría de las líneas sin transposición es pequeña en las disposiciones corrientes y, por tanto, se calcula la capacidad como si tuvieran transposición.

La ec. (1.59) puede aplicarse a la línea representada en al Fig. (1.27), para calcular la  $V_{ab}$  debida a las cargas en los tres conductores, con lo que tendremos tres ecuaciones correspondientes a las tres posiciones diferentes del ciclo de transposición. Con la fase "a" en la posición 1, "b" en la 2 y "c" en la 3.

$$V_{ab} = \frac{1}{2} \pi k (q_a \ln \frac{D_{12}}{r} + q_b \ln \frac{r}{D_{12}} + q_c \ln \frac{D_{12}}{D_{31}}) \quad (1.59)$$

Con "a" en la posición 2, "b" en la 3 y "c" en la 1,

$$V_{ab} = \frac{1}{2} \pi k (q_a \ln \frac{D_{23}}{r} + q_b \ln \frac{r}{D_{23}} + q_c \ln \frac{D_{31}}{D_{12}}) \quad (1.60)$$

Con "a" en la posición 3, "b" en la 1 y "c" en la 2,

$$V_{ab} = \frac{1}{2} \pi k (q_a \ln \frac{D_{31}}{r} + q_b \ln \frac{r}{D_{31}} + q_c \ln \frac{D_{12}}{D_{23}}) \quad (1.61)$$

Cada una de estas ecuaciones, mencionadas en último lugar, dan el valor de los enlaces de flujo en una parte del ciclo de transposición. Se llega a un valor medio de los enlaces de flujo en todo el ciclo de transposición suponiendo que la corriente de cada fase era la misma en todas las posiciones del ciclo. Si la carga por unidad de longitud del conductor de una de las fases fuese igual en todas las posiciones del ciclo de transposición, las tensiones calculadas por las Ecs. (1.59) a (1.61) serían diferentes con lo que podrían hallarse una tensión media para todo el ciclo.

Realmente la capacidad, respecto al neutro, de una fase en una posición del ciclo de transposición, está en paralelo con las correspondientes a esa misma fase en las otras posiciones del ciclo. Por otra parte, si despreciamos la caída de tensión, a lo largo de la línea, la tensión, respecto al neutro, de una fase en una de las posiciones del ciclo es igual a la tensión, respecto al neutro, de esa misma fase en cualquiera de las otras posiciones del ciclo. De aquí se deduce que la tensión entre dos conductores cualquiera es la misma, cualquiera que sea la posición dentro del ciclo de transposición y, por tanto, que la carga de un conductor tiene que ser distinta según la posición que ocupa respecto a los otros conductores.

Las ecs. (1.59) a (1.61) tienen 10 incógnitas, la tensión  $V_{ab}$  y nueve cargas, puesto que la carga de cada conductor es diferente en cada una de las tres posiciones del ciclo de transposición.

De esta forma, una solución rigurosa para la capacidad, relación de carga a diferencia de potencial, exige seis ecuaciones más para eliminar todas las incógnitas, excepto una tensión y un carga. Se pueden poner otras tres ecuaciones, similares a las (1.59) a (1.61); que nos den la tensión  $V_{bc}$ , la cual es igual a  $V_{ab} (-0.5 - j0.866)$  si las tensiones de la línea se suponen equilibradas. Las otras tres ecuaciones necesarias se obtienen igualando a cero la suma de las cargas de cada una de las posiciones del ciclo de transposición.

Sin embargo, esta solución rigurosa de la capacidad es demasiado complicada, por lo que no es práctico, excepto para la disposición en un plano con igual separación entre conductores adyacentes. Para los conductores y colocaciones corrientes se obtiene suficiente precisión, suponiendo que la carga por unidad de longitud de un conductor es igual en todas las posiciones del ciclo de transposición, puede hallarse un valor medio para la tensión entre conductores y, a partir de ella, la capacidad. La tensión media se obtiene sumando las ecs. (1.59), (1.60) y (1.61) y dividiendo la suma por 3. La tensión media entre los conductores "a" y "b" supuesta la igualdad de carga de un conductor, independientemente de su posición en el ciclo, es,

$$V_{ab} = \frac{1}{2} \pi k \left( q_a \ln \frac{D_{ag}}{r} + q_b \ln \frac{r}{D_{bg}} \right) \quad (1.62)$$

donde

$$D_{ag} = \sqrt{D_{12} D_{23} D_{31}} \quad (1.63)$$

Análogamente, la caída de tensión media entre el conductor "a" y el "c" es,

$$V_{ac} = \frac{1}{2} \pi k \left( q_a \ln \frac{D_{ag}}{r} + q_c \ln \frac{r}{D_{cg}} \right) \quad (1.64)$$

Aplicando la Ec. (1.53); para encontrar la tensión, respecto al neutro, y como  $q_a + q_b + q_c = 0$  en un circuito trifásico equilibrado,

$$3V_{an} = \frac{3}{2} \pi k q_a \ln \frac{D_{ag}}{r} \quad (1.65)$$

y  $C_n = q_c = 2\pi k / [\ln(D_g / kr)]$  faradio/metro, respecto al neutro.

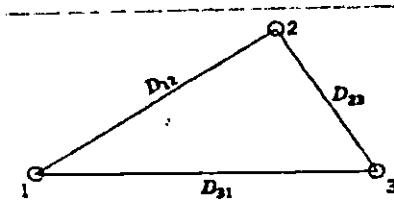


Fig. 1.27. Sección transversal de una línea trifásica con disposición asimétrica.

#### 1.5.4 Conductancia en Líneas de Transmisión.

La conductancia en una línea tiene relación directa con el aislamiento que posee el conductor. El pobre aislamiento produce pérdidas de aislamiento, si un cable está fabricado con pobre aislamiento, la conducción de corriente se da de cable a cable por efecto del campo eléctrico que se produce. Este tipo de conductancia denominada  $g$ , debería ser idealmente independiente de la frecuencia y voltaje. Las pérdidas en alto voltaje están sujetas a que si el gradiente en el aire alrededor de los conductores excede un valor crítico (alrededor de 30,000 voltios por centímetro) hay ionización del aire. El resultado de iones positivos y negativos impulsado por el campo eléctrico constituyen una corriente eléctrica a través del aire. Este fenómeno acompañado por luminosidad es llamado efecto corona. Las pérdidas por efecto corona dependen de una manera complicada del voltaje y frecuencia de transmisión; sin embargo puede ser aproximadamente calculado para cualquier voltaje y frecuencia en particular asignando un valor equivalente de  $g$  que represente las pérdidas por corona, cada una de estas aplicaciones tienen la restricción que son valores bajos.

Afortunadamente, los propósitos de análisis para líneas de potencia están relativamente a voltajes que producen pequeñas pérdidas por efecto corona.

Cuando un campo eléctrico variable es aplicado a un material aislante, se producen pérdidas de energía, conocidas como histéresis dieléctrica. Cuando el campo eléctrico se incrementa en el material dieléctrico se almacena energía como capacitancia del sistema, y cuando el campo eléctrico disminuye en el siguiente cuarto de onda la energía almacenada es retornada al circuito; pero una pequeña parte de la energía almacenada no es recuperada y se pierde en forma de calor.

El histéresis dieléctrico es muy pequeño a baja frecuencia pero a baja frecuencia es predominante este tipo de pérdidas; por tal razón en una línea de transmisión no se incluye un valor equivalente para  $g$  que lo represente.

El apropiado valor de  $g$  a utilizar en las pérdidas dieléctricas depende de la frecuencia, pero en las ecuaciones de líneas de transmisión son usadas para una frecuencia a la vez o para una estrecha banda de frecuencia; pero no significa una limitación seria.

Para encontrar el valor apropiado de  $g$  que represente las pérdidas dieléctricas, en primer lugar es necesario conocer la información a cerca de las características del material. Existen varias maneras de expresar los datos a cerca de las pérdidas

dieléctricas por tabulación en manuales y tablas similares de referencia. Uno de los parámetros más ampliamente usado es el llamado factor de potencia del material. Los libros de referencia comúnmente dan información de otra manera, muestran como sus datos son relacionados con el factor de potencia. El factor de potencia de material aislante es definido como el factor de potencia de otro condensador usando este material como su dieléctrico.

En una línea de transmisión, el factor de potencia del material dieléctrico relaciona a  $q$ , conductancia por unidad de longitud, con  $c$ , capacitancia por unidad de longitud.

Por ejemplo, consideremos una línea de transmisión de un metro de longitud con una sección transversal mostrada en la fig. 1.28, (se muestra un línea coaxial, pero es solamente para ilustración y cualquier tipo de línea puede ser equivalente satisfactoriamente). La unidad de longitud de la línea esta aislada y acta como un condensador. La capacitancia entre los dos conductores es  $c$ , y las pérdidas dieléctricas son representadas por un equivalente de la conductancia  $q$ . La admitancia de esta sección actuando como condensador es:

$$y = g + j\omega c \quad (1.66)$$

El factor de potencia es semejante al de un condensador, el cual es:

$$f.p. = \frac{g}{\sqrt{(\omega c)^2 + g^2}} \quad (1.67)$$

desde que se utilizan mejores materiales dieléctricos y para bajos factores de potencia,  $q^2$  es mucho más pequeño que  $(\omega c)^2$ . Esta es una buena aproximación para eliminar  $q^2$  en el denominador de la ecuación (1.67), y escribir el factor de potencia como:

$$f.p. = \frac{g}{\omega c} \quad (1.68)$$

Esta cantidad es el factor de potencia de la línea actuando como un condensador y por esta razón (por definición) el factor de potencia del material aislante viene dado por:



De aquí que para encontrar el valor de  $g$  a usar en la línea de transmisión con pérdidas dieléctricas será necesario, leer el factor de potencia de una tabla y utilizar este dato en la ecuación (1.69).

El factor de potencia de un material es una conveniente medida para expresar las pérdidas dieléctricas ya que este es razonablemente constante sobre un buena banda de frecuencias.

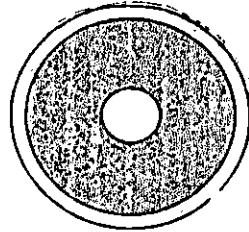


Fig. 1.28. Línea con dieléctrico sólido.

## CAPITULO II

### ANALISIS MATEMATICO PARA CALCULAR LOS PARAMETROS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION.

#### Introducción.

Las líneas de transmisión son el medio de transporte de grandes cantidades de potencia desde las centrales generadores hasta los centros de carga.

Toda línea de transmisión posee cuatro parámetros que influyen, para que estas cumplan su función como componentes del sistema eléctrico, estos son: La resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia.

En nuestro país es de suma importancia conocer el valor de los parámetros de las líneas y así evaluar la capacidad de transporte de potencia que poseen, así como tener una buena coordinación y protección del sistema. Ante esta realidad se hace necesario el diseño de un método analítico que sea capaz de determinar los valores de los parámetros a partir de mediciones de campo en los puntos terminales de cada línea, tales como: voltaje, corriente, potencia real y potencia reactiva. El nivel de dificultad que poseen las ecuaciones desarrolladas obligan a buscar un método de solución iterativo y que por su misma naturaleza lleva un porcentaje permisible, de error en los calculos.

El método consiste en su forma más básica, en tomar mediciones tales como corriente, voltaje y potencias, en ambos extremos de la línea. Evaluar estas mediciones en ecuaciones matemáticas que parten de un modelo de la línea y calcular los valores de los parámetros de la línea mediante procesos matemáticos avanzados.

Las ecuaciones que se toman como base son de dos tipos, unos de ellos parten de ecuaciones diferenciales para llegar a las constantes ABCD para una línea de transmisión.

Estos dos grupos de ecuaciones se combinan en un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas que se resuelven mediante un software de computadora.

## 2.0. Metodología Para Determinar Los Parámetros $r$ , $l$ y $c$ De Una Línea De Transmisión.

La complejidad matemática de las ecuaciones para encontrar los parámetros de una línea de transmisión obliga a utilizar un método matemático iterativo o un software matemático que solucione el sistema de ecuaciones con el mínimo de error. Las ecuaciones diferenciales proporcionan un camino de solución pero analíticamente son imposibles de resolver, por lo que es más conveniente utilizar un método en base a los parámetros distribuidos del circuito.

La ventaja práctica del análisis por el método de circuito distribuido se debe al uso de lenguaje, tal como voltajes, corrientes, impedancias, potencia real y potencia reactiva con lo cual estamos familiarizados.

Los símbolos utilizados de los parámetros son:  $r$ ,  $l$ , y  $c$ , están dados en unidades de longitud tales como omhs/kilometro en el sistema mks.

El punto de partida para desarrollar las expresiones analíticas de las líneas de transmisión es el circuito equivalente  $\pi$  figura (2.1). Todo el tratamiento se hace en función de valores fase-neutro, dándose los voltajes de línea a neutro, corrientes de fase, las impedancias para un conductor, y por lo tanto las ecuaciones para una fase. El sistema trifásico es entonces reducido a un sistema monofásico, por lo tanto las relaciones están dadas también para un sistema monofásico.

Las ecuaciones desarrolladas nos describirán las condiciones terminales de la línea de transmisión. Estos puntos se llamarán fuente y receptor en función del flujo normal de potencia, designándose por S y R respectivamente.

Las ecuaciones utilizadas en éste trabajo, parten del concepto de que las líneas que existen en el país son consideradas cortas, ya que la de mayor longitud con las que cuenta CEL en el país es de 64 Km. Por lo que se utiliza el modelo matemático aproximado  $\pi$ , figura (2.1).

### 2.1. Circuito Equivalente Para Líneas de Transmisión.

El modelo de circuito que se utiliza para representar la línea de transmisión será el circuito equivalente  $\pi$  figura (2.1). Aunque como paso previo para llegar a las ecuaciones finales es necesario considerar la línea de transmisión con parámetros distribuidos uniformemente a todo lo largo de la línea Figura (2.2).

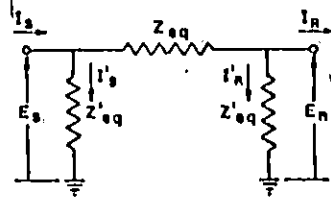


Fig. 2.1 Circuito equivalente  $\pi$  de una línea de transmisión.

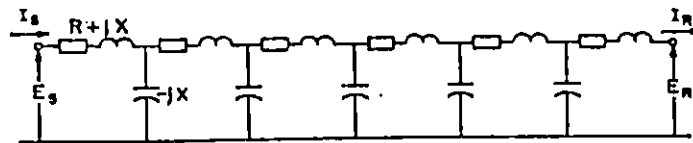


Fig. 2.2 Circuito de una línea con los parámetros distribuidos uniformemente.

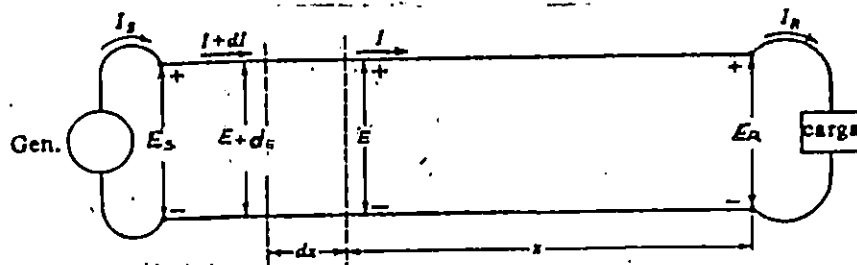


Fig. 2.3 Diagrama esquemático de una línea una sola fase y retorno por el neutro.

La fig. (2.3); presenta una fase y neutro de una línea trifásica. No se consideran los parámetros concentrados porque se trata de calcular la línea con la impedancia y la admitancia uniformemente distribuidas.

Consideremos un elemento muy pequeño de la línea y calculemos las diferencias de tensión y corriente entre los dos extremos de la línea. Sea  $x$  la distancia del elemento considerado, a partir del extremo receptor y  $dx$  la longitud del elemento. La impedancia del elemento diferencial de la línea, será  $zdx$  y  $ydx$  su admitancia. Sea  $E$  la tensión, respecto al neutro, del extremo del elemento diferencial de línea más próximo al extremo receptor, siendo  $E$  la expresión completa de la tensión rms, cuya magnitud y fase varía con la distancia a lo largo de la línea. La tensión en el extremo del elemento de línea, más próximo al generador, será  $E + dE$ . el aumento de la tensión a lo largo del elemento diferencial de la línea, en sentido de las  $x$  crecientes, es  $dE$  que es la diferencia de las tensiones en los extremos del elemento.

El aumento de la tensión en sentido de las  $x$  crecientes, es también, el producto de la corriente que fluye por el elemento, en sentido de las  $x$  crecientes, por la impedancia de aquel, o sea,  $Izdx$ . Así, se tiene:

$$dE = Izdx \quad (2.1)$$

$$\frac{dE}{dx} = Iz \quad (2.2)$$

Análogamente, la corriente que sale del elemento hacia la carga es  $I$ . La amplitud y la fase de la corriente  $I$  varían, con la distancia, a lo largo de la línea a causa de la admitancia repartida en toda su longitud. La corriente que entra en el elemento procedente del generador, es  $I + dI$ . Esta se diferencia de la corriente que sale en dirección de la carga en la cantidad  $dI$ . Esta diferencia es la corriente  $Eydx$  que circula por la admitancia del elemento. Por tanto,

$$dI = Eydx \quad (2.3)$$

$$\frac{dI}{dx} = Ey \quad (2.4)$$

Derivando, respecto a  $x$ . las ecs. (2.2) y (2.4) se tiene que:

$$\frac{d^2E}{dx^2} = z \frac{dI}{dx} \quad (2.5)$$

$$\frac{d^2I}{dx^2} = y \frac{dE}{dx} \quad (2.6)$$

Al sustituir los valores de  $dI/dx$  y  $dE/dx$ , dadas por las ecs. (2.2) y (2.4), se llega a

$$\frac{d^2E}{dx^2} = yzE \quad (2.7)$$

$$\frac{d^2I}{dx^2} = yzI \quad (2.8)$$

De esta forma se posee una ecuación, la ec. (2.7), cuyas únicas variables son E y x, y otra, la ec. (2.8) con las variables I y x solamente. Las soluciones de E e I de las ecs. (2.7) y (2.8), respectivamente, son expresiones cuyas derivadas segundas, respecto a x, son iguales a las correspondientes expresiones originales multiplicadas por la constante yz. Por ejemplo, la solución de E, derivando dos veces, respecto a x, tiene que ser igual a yzE. Esto sugiere una solución de tipo exponencial.

Asumiendo que la solución de la ec. (2.7) es

$$E = A_1 \exp(\sqrt{yzx}) + A_2 \exp(-\sqrt{yzx}) \quad (2.9)$$

$$\frac{d^2E}{dx^2} = yz [A_1 \exp(\sqrt{yzx}) + A_2 \exp(-\sqrt{yzx})] \quad (2.10)$$

Que es yz veces la solución asumida de E. Donde se concluye que la ec. (2.9) es la solución de la ec. (2.7).

Si sustituimos en la ec. (2.2) el valor dado por la ec. (2.9) para E, tenemos

$$I = \frac{1}{\sqrt{\frac{z}{y}}} [A_1 \exp(\sqrt{yz}x)] - \frac{1}{\sqrt{\frac{z}{y}}} (A_2 \exp(-\sqrt{yz}x)) \quad (2.11)$$

Las constantes  $A_1$  y  $A_2$  pueden encontrarse teniendo en cuenta las condiciones en el extremo receptor de la línea, es decir  $x = 0$ ,  $E = E_R$  e  $I = I_R$ . Sustituyendo estos valores en las ecs. (2.9) y (2.11), se tiene que

$$E_R = A_1 + A_2$$

$$I_R = \frac{1}{\sqrt{\frac{z}{y}}} (A_1 - A_2)$$

Sustituyendo el valor  $Z_0 = \sqrt{z/y}$  y despejando  $A_1$  y  $A_2$

$$A_1 = \frac{E_R + I_R Z_0}{2} \quad (2.12)$$

$$A_2 = \frac{E_R - I_R Z_0}{2} \quad (2.13)$$

luego sustituyendo en las ecs. (2.9) y (2.11) los valores encontrados para  $A_1$  y  $A_2$  y haciendo  $r = \sqrt{yz}$ , se obtiene

$$E = \frac{E_R + I_R Z_0}{2} e^{rz} + \frac{E_R - I_R Z_0}{2} e^{-rz} \quad (2.14)$$

$$I = \frac{\frac{E_R + I_R}{Z_0}}{2} e^{rz} - \frac{\frac{E_R - I_R}{Z_0}}{2} e^{-rz} \quad (2.15)$$

Donde  $Z_0 = \sqrt{z/y}$  es la impedancia característica de la línea, y  $\gamma = \sqrt{yz}$  la constante de propagación. Las ecs. (2.14) y (2.15) dan los valores de E e I, así como sus ángulos de fase, en cualquier punto de la línea, en función de la distancia x desde el extremo receptor, suponiendo que se conoce  $E_R$ ,  $I_R$  y los parámetros de la línea.

Para hacer un análisis matemático y calcular los valores de E e I, dados en las ecs. (2.14) y (2.15) es necesario utilizar otra forma más conveniente de las ecuaciones, empleando la forma hiperbólica, de la forma:

$$\sinh = \frac{e^{\theta} - e^{-\theta}}{2} \quad (2.16)$$

$$\cosh = \frac{e^{\theta} + e^{-\theta}}{2} \quad (2.17)$$

Sacando factor común en las ecs. (2.14) y (2.15) y utilizando los términos exponenciales, determinamos las nuevas ecuaciones que dan la tensión y la corriente en cualquier punto de la línea; se tiene:

$$E = E_R \cosh(\gamma x) + I_R Z_0 \sinh(\gamma x) \quad (2.18)$$

$$I = I_R \cosh(\gamma x) + \frac{E_R}{Z_0} \sinh(\gamma x) \quad (2.19)$$

Para encontrar la tensión y la corriente en el extremo generador, se hace  $x = s$ , con lo que:

$$E_S = E_R \cosh(\gamma s) + I_R Z_0 \sinh(\gamma s) \quad (2.20)$$

$$I_S = I_R \cosh(\gamma s) + \frac{E_R}{Z_0} \sinh(\gamma s) \quad (2.21)$$



NOMBRE: DOS command

ACCESO: F10 S D

EFEECTO: Interrumpe MathCAD para ejecutar un comando del DOS. Si no se le indica nada, pregunta en la línea de mensajes por un comando del DOS para ejecutarlo. Si solo se presiona <ENTER> en este indicador, se introducen al DOS. Use EXIT para abandonar y regresar al MathCAD.

NOMBRE: MEMORY

ACCESO: F10 S M

EFEECTO: Muestra la memoria usada (bytes usados y total de bytes disponibles) en la línea de mensajes. También muestra la memoria expandida L/1/M

NOMBRE: REDRAW

ACCESO: CTRL R

F10 SR

EFEECTO: Redibuja la pantalla

NOMBRE: PRINT

ACCESO: CTRL O

F10 SP

EFEECTO: Imprime el documento actual. Indicando en la línea de mensajes el área de impresión y el dispositivo de impresión. Cuando especifique un dispositivo de impresión, de un nombre de dispositivo tal como PRN o un nombre de archivo. MathCAD no imprimirá sino hasta que se halla seleccionado un impresor. (Ver comando (SELECTPRINTER)).

NOMBRE: SELECTPRINTER n

ACCESO: F10 S S

EFEECTO: Selecciona el tipo de impresor. Si no es especificado, presenta un listado de impresores a seleccionar.

NOMBRE: CONFIGSAVE filename

ACCESO: F10 S C

EFEECTO: Graba la configuración actual en un archivo. El nombre por default de este archivo es MCAD.MCD

NOMBRE: EXECUTE filename

ACCESO: F10 S E

EFEECTO: Ejecuta un archivo de comando. Por default, busca archivos con la extensión.MCC

### 3.1.3.2 Comandos de Archivo (FILE COMMANDS)

NOMBRE: LOAD filename

ACCESO: F5

F10 F L

**EFFECTO:** Carga un archivo documento desde el disco. Indica en la línea de mensajes el nombre del archivo a cargar. También advierte si el documento actual ha sido modificado desde la última vez que fue grabado.

**NOMBRE:** SAVE filename

**ACCESO:** F6

F10 F S

**EFFECTO:** Guarda el documento actual en el disco. Pregunta por el nombre del archivo. Usa el nombre del archivo actual por default.

**NOMBRE:** APPEND filename

**ACCESO:** F10 F A

**EFFECTO:** Adiciona un archivo al documento actual. Indica en la línea de mensajes por el nombre del archivo a adicionar.

**NOMBRE:** FILENAME variables

**ACCESO:** F10 F F

**EFFECTO:** Asocia una variable con un nombre de archivo para funciones de acceso de archivo. Indica en la línea de mensajes que entre el nombre de archivo a asociar con la variable dada como argumento. Muestra la asociación actual del archivo en la línea de mensajes. La asociación por default es con una variable con el mismo nombre del archivo.

**NOMBRE:** CLEAR

**ACCESO:** F10 F C

**EFFECTO:** Borra el documento actual. Advierte si se ha efectuando modificaciones al documento desde la última vez que fue grabado. Recarga el archivo de configuración. (Para limpiar sin recargar el archivo de configuración, use RESET).

**NOMBRE:** RESET

**ACCESO:** F10 F R

**EFFECTO:** Limpia el documento actual y resetea. En vez de cargar el archivo de configuración, usa el sistema interno por default.

### 3.1.3.3 Comandos de Calculo (COMPUTE COMMANDS)

**NOMBRE:** CALCULATE

**ACCESO:** F9

F10 C C

**EFFECTO:** Procesa y calcula todas las ecuaciones desde el inicio del documento hasta las que alcanzan a ser visibles. Use este comando para calcular ecuaciones cuando CALC F9 aparece en la derecha de la línea de mensajes.

NOMBRE: PROCESS  
ACCESO: F10 C P  
EFECTO: Procesa y calcula todas las ecuaciones del documento.

NOMBRE: AUTOMATIC  
ACCESO: F10 C A  
EFECTO: Entra al modo de cálculo automático. Procesa y calcula cada ecuación que es definida o es vista. Cuando se use este comando, MathCAD muestra AUTO en la derecha de la línea de mensajes.

NOMBRE: MANUAL  
ACCESO: F10 C M  
EFECTO: Entra al modo de cálculo manual. Procesa y calcula una ecuación solo mediante un comando explícito. Cuando use este comando, en el lado derecho de la línea de mensajes no verá nada hasta que entre o edite una ecuación, entonces aparece CALC F9 para recordarle que existe un cálculo pendiente. Use los comandos CALCULATE o PROCESS o presione F9 para efectuar ese cálculo pendiente.

NOMBRE: FORMAT  
ACCESO: F10 C F  
EFECTO: Coloca el formato global para todos los resultados calculados y las tablas de salida. Muestra la especificación de formato en la línea de mensajes. Edite esa especificación y presione <ENTER> para cambiar el formato global. (Para formatos locales, mueva el cursor al resultado calculado y presione F)

NOMBRE: RANDOMIZE seed  
ACCESO: F10 C R  
EFECTO: Resetea el generador de números aleatorios de MathCAD usando el valor especificado de SEED. Si no se cambia SEED, MathCAD resetea el generador de números aleatorios y comienza a generarlos desde el inicio nuevamente. Si usa un diferente valor de SEED, verá un nuevo set de valores aleatorios. Cada vez que usa este comando con el mismo SEED, regenera el mismo set de valores aleatorios.

NOMBRE: DIMENSIONS  
ACCESO: F10 C D  
EFECTO: Cambia los valores de las dimensiones de una variable, vector o matriz. Muestra los nombres actuales de las dimensiones en la línea de mensajes: editelos y luego presione <ENTER>.

NOMBRE: EQUATION (ON/OFF)  
ACCESO: F10 C E  
EFECTO: Deshabilita o reabilita la ecuación actual. Las

ecuaciones deshabilitadas se marcan con un pequeño rectángulo y no son calculadas.

NOMBRE: MATRIX rows cols  
ACCESO: F10 C G  
EFECTO: Genera una matriz del tamaño deseado. Si el cursor ya está en una matriz, añade o borra filas o columnas. Si solo se editan filas, genera un vector, fila o viceversa.

#### 3.1.3.4 Comandos de Edición y Movimiento (EDIT AND MOVE COMMANDS)

NOMBRE: COPY  
ACCESO: F2  
F10 E C  
EFECTO: Copia una región del documento. La región puede ser recolocada después con F4

NOMBRE: PASTE  
ACCESO: F4  
F10 E P  
EFECTO: Inserta la región más recientemente cortada o copiada. Puede insertarse la misma región cualquier número de veces.

NOMBRE: SEPARATE  
ACCESO: F10 E S  
EFECTO: Separa regiones superpuestas.

NOMBRE: INSERTLINE  
ACCESO: CTRL F9  
F10 E I  
EFECTO: Inserta una línea en blanco en un documento en la posición actual del cursor.

NOMBRE: DELETELINE  
ACCESO: CTRL F10  
F10 E D  
EFECTO: Borra una línea. Con el cursor en una línea en blanco en el documento, borra la línea en blanco y mueve la región desde abajo hacia arriba.

NOMBRE: GOTO line column  
ACCESO: F10 E G  
EFECTO: Para mover el cursor a la línea y columna indicada, digite dos números separados por un espacio. Mueve el documento hasta poner el cursor en la esquina superior izquierda de la pantalla. Si se omite el segundo número, va a la línea indicada, columna cero.

NOMBRE: MOVE lines columns  
ACCESO: F10 E M  
EFECTO: Mueve el documento al número indicado de líneas y columnas (positivo o negativo). El cursor permanece en la misma posición relativa en la pantalla.

NOMBRE: SEARCH text  
ACCESO: CTRL F5  
F10 E F  
EFECTO: Busca el texto indicado en ecuaciones o texto. Use text para buscar hacia atrás.

NOMBRE: REPLACE text text  
ACCESO: CTRL F6  
F10 E R  
EFECTO: Reemplaza el primer texto por el segundo desde la posición actual del cursor hasta abajo del documento.

### 3.1.3.5 Comandos de Región (IN-REGION COMMANDS)

NOMBRE: INCOPY  
ACCESO: CTRL F2  
F10 I C  
EFECTO: Copia en regiones. En texto, copia textos marcados. En ecuaciones copia nombres, números o expresiones. Para copiar una expresión, posicione el curso en el operador de mayor jerarquía y presione CTRL F2

NOMBRE: INCUT  
ACCESO: CTRL F3  
F10 I X  
EFECTO: Corta en regiones. En texto, corta textos marcados. En ecuaciones, corta nombres números o expresiones. Ver INCOPY.

NOMBRE: INPASTE  
ACCESO: CTRL F4  
F10 I P  
EFECTO: Inserta en regiones. En textos, inserta un texto propiamente cortado o copiado. En ecuaciones, inserta expresiones previamente cortadas o copiadas. Puede insertarse el mismo texto o expresión cualquier número de veces.

### 3.1.3.6 Comandos de Texto (TEX COMMANDS)

NOMBRE: WIDTH chars  
ACCESO: F10 T W

EFECTO: Coloca el ancho y re-arregla una región de texto. Muestra el ancho actual y pregunta por el nuevo ancho.

NOMBRE: MARK  
ACCESO: CTRL X  
F10 T M

EFECTO: Marca los extremos de una región de texto. Una vez marcados ambos extremos (inicio/final) de una región de texto, puede usar INCUT o INCOPY en el contenido del texto. Para quitar las marcas, mueva el cursor fuera de la región de texto y presione nuevamente CTRL X.

NOMBRE: TEXTBAND  
ACCESO: CTRL T  
F10 T T

EFECTO: Crea una banda de texto en la línea actual del cursor

NOMBRE: CENTER  
ACCESO: F10 T C

EFECTO: Centra un texto. Mueve la línea actual al centro de la región de texto o la banda de texto. (El centrado del texto puede variar si se adiciona o se borra en la región o banda de texto)

NOMBRE: BACKWARD  
ACCESO: CTRL B  
F10 T B

EFECTO: Interpreta los comandos de movimiento de texto como retrocesos. Después de ejecutar este comando, pueden presionarse CTRL W, CTRL L, CTRL S, CTRL P con el cursor en el texto y MathCAD retrocederá el cursor una palabra, una línea, una oración o un párrafo. Presione CTRL F para movimientos hacia adelante.

NOMBRE: FORWARD  
ACCESO: CTRL F  
F10 T F

EFECTO: Interpreta los comandos de movimiento de texto como adelantos. Tiene el efecto contrario de CTRL B. Después de ejecutar este comando pueden presionarse CTRL W, CTRL L CTRL S, CTRL P con el cursor en el texto y MathCAD moverá el cursor hacia adelante una palabra, una línea, una oración o un párrafo.

NOMBRE: JUSTIFY  
ACCESO: CTRL N  
F10 T J

EFECTO: Justifica una región o una banda de texto. En regiones de texto, readecúa el texto en cada línea para utilizar todo el ancho. En bandas de texto, readecúa y empuja hacia abajo las regiones fuera del camino.

### 3.1.3.7 Comandos de Ventanas y Páginas (WINDOW AND PAGE COMMANDS).

NOMBRE: SPLIT

ACCESO: F7  
F10 W S

EFECTO: Divide la pantalla en dos ventanas en la posición actual del cursor. Si ya existen dos ventanas, mueve el divisor de ventanas a la actual posición del cursor.

NOMBRE: UNSPLIT

ACCESO: CTRL F7  
F10 W U

EFECTO: Une la pantalla dividida en dos ventanas. Descarta el documento de la ventana inferior. Advierte si se ha modificado el documento inferior desde la última vez que fue grabado.

NOMBRE: SWITCH

ACCESO: F8  
F10 W J

EFECTO: Cambia el cursor de una ventana a otra.

NOMBRE: PAGELENGTH lines

ACCESO: F10 W P

EFECTO: Coloca la longitud de páginas. Use 0 (cero) para no tener rompimiento de página.

NOMBRE: LINELENGTH cols

ACCESO: F10 W L

EFECTO: Coloca la longitud de línea globalmente. MathCAD usa esta longitud de línea para colocar el margen derecho para regiones y bandas de textos. Para cambiar la longitud de línea para una región individual del texto, use el comando WIDTH.

NOMBRE: BREAKPAGES

ACCESO: F10 W B

EFECTO: Mueve ecuaciones y regiones de gráficos de tal manera que no crucen los límites de la página. También mueve otras regiones hacia abajo para mantener el arreglo de ecuaciones en un documento.

NOMBRE: MARGIN cols  
ACCESO: F10 W M  
EFECTO: Coloca el margen izquierdo para impresión. MathCAD deja en blanco la cantidad especificada de columnas en el borde izquierdo para las impresiones.

NOMBRE: PAGEBREAK  
ACCESO: F10 W I  
EFECTO: Inserta una región de rompimiento de páginas.

### 3.1.3.8 Otros Comandos

NOMBRE: PLOTFORMAT  
EFECTO: Coloca el formato global para gráficas.

NOMBRE: SET variables value  
EFECTO: Coloca el valor de una variable del sistema. Funciona solo para variables del sistema: TDL, PRNPRECISION, PRNCOLWIDTH, ORIGIN.

NOMBRE: SKIPWORD  
ACCESO: CTRL W  
EFECTO: En texto, salta a la siguiente palabra.

NOMBRE: SKIPLINE  
ACCESO: CTRL L  
EFECTO: En texto, salta a la siguiente línea.

NOMBRE: SKIPSENTENCE  
ACCESO: CTRL S  
EFECTO: En texto, salta a la siguiente oración.

NOMBRE: SKIPPARAGRAPH  
ACCESO: CTRL P  
EFECTO: En texto, salta al siguiente párrafo.

### 3.2 Programa para encontrar los parámetros de una línea de transmisión por el método de las seis ecuaciones.

A continuación se desarrolla de manera sencilla, una explicación de la estructura del programa que se ha desarrollado, el objetivo es que cualquier persona con un mínimo de conocimientos en esta área lo comprenderá fácilmente sin profundizar en la estructura.

La estructura del programa se desarrolla de una manera breve ya que no es el objetivo principal del presente trabajo,



sin embargo proporciona la información suficiente para que el usuario pueda por sí sólo utilizarlo de forma completa.

Como todo programa, este es ejecutable de tal forma que el usuario solo verá en pantalla los datos con los que deberá alimentarlo, y al final los valores de  $r$ ,  $l$  y  $c$  calculados. Aunque esta no es la característica del MathCAD, pero se logra hacerlo ejecutable con la ayuda de un lenguaje tradicional como el BASIC.

A continuación se describe los pasos realizados para desarrollar el programa, la estructura del programa, además de profundizar después en las siguientes áreas:

- Datos de entrada y salida
- Forma de solucionar las ecuaciones
- Forma de manejar los datos
- Manual de operatividad del programa

### 3.2.1 Descripción del Programa.

Básicamente el programa incluye tres módulos

- Introducción de datos
- Solución de ecuaciones
- Salida de resultados

Donde cada uno de estos módulos son archivo distintos en el MathCAD.

### 3.2.2 Introducción de datos

Los datos de entrada se almacenan en archivos en Basic, para luego ser mandados al segundo módulo, donde serán procesados, esto se logra mediante la instrucción.

```
WRITE PRN (VARIABLE) := [DATOS DE ENTRADA]
```

Además de auxiliarse de lenguajes BASIC para capturar los datos para ser transferidos a Mathcad, lo que es ejecutado automáticamente por medio de archivos Bath cargar todos los programas que se necesiten.

Los datos necesarios para que trabaje el programa son en

forma general voltaje, corriente, potencia real y reactiva en los terminales transmisor y receptor de una línea de transmisión, para cada una de las mediciones efectuadas.

### 3.2.3 Solución de Ecuaciones.

La resolución de ecuaciones básicamente es la hoja de calculo en ella están almacenadas todas las instrucciones que resuelven el sistema de ecuaciones.

La hoja de calculo esta dividida en tres secciones: la primera es la encargada de recuperar los datos de entrada almacenadas en el archivo de introducción de datos, explicado anteriormente.

La segunda sección es donde se definen las variables utilizadas en toda la hoja de cálculo, así como también las variables que almacenan datos tanto de entrada como de salida.

La definición de variables es una parte importante del programa, ya que de lo contrario no es posible ejecutar el más mínimo calculo.

Las variables se definen de acuerdo a la naturaleza del valor que tomaran, de tal forma que si son reales, se definen como reales, si son complejos como complejos (parte real + parte imaginaria).

Las variables definidas internamente que toman los valores de entrada, son las siguientes:

$E_{S1}, E_{S2}, E_{S3}$  :

VARIABLES REALES, que luego tomarán el valor de entrada del voltaje de la línea en cada una de las tres lecturas, éste voltaje de entrada es el valor de línea a línea que después es convertido a voltaje de fase a neutro o simplemente voltaje de fase.

$E_{R1}, E_{R2}, E_{R3}$  :

VARIABLES REALES, que luego tomará, el valor de salida del voltaje de la línea para cada una de las tres lecturas, éste voltaje de salida es el valor de línea a línea que después es convertido a voltaje de fase a neutro o simplemente voltaje de fase.

$Q_{S1}, Q_{S2}, Q_{S3}$  :

VARIABLES REALES de la potencia reactiva de entrada de la línea trifásica para cada

una de las tres lecturas, en VARS.

Aunque según el diagrama fasorial de potencias, la potencia reactiva representa un valor que se encuentra en el eje "y", o en el eje imaginario; en nuestro análisis se separa la parte real de la imaginaria y se analizan por separado las variables reales con las imaginarias, tomándose como un solo sistema real.

$Q_{R1}, Q_{R2}, Q_{R3}$  :

Variables reales de la potencia reactiva de salida de la línea total trifásica para cada una de las tres lecturas, medida en VARS.

$P_{S1}, P_{S2}, P_{S3}$  :

Variables reales de la potencia real de entrada de la línea trifásica, medida en watts.

$P_{B1}, P_{B2}, P_{B3}$  :

Variables reales de la potencia real de salida de la línea trifásica, medida en watts.

$I_{S1}, I_{S2}, I_{S3}$  :

Variables reales de la corriente de entrada de la línea por fase, medida en amps.

$I_{R1}, I_{R2}, I_{R3}$  :

Variable real de la corriente de salida de la línea por fase, medida en amperios.

S : Variable real de la longitud de la línea, medida en kms.

Otras variables que se definen previamente y que toman valores de salida son:

r : Variable real de la resistencia de la línea por unidad de longitud, en nuestro caso serán ohm/km.

x : Variable real de la reactancia capacitiva de la línea por unidad de longitud, en ohm/km.

x' : Variable real de la reactancia capacitancia de la línea por unidad de longitud en ohm/km.

d : Angulo en radianes del voltaje de salida con respecto al voltaje de entrada. Mathcad por default define a los ángulos en radianes y la operación cuando intervienen ángulos deben estar en radianes.

La tercera sección es la parte de la hoja de calculo donde se realiza la resolución de las ecuaciones básicas a resolver

(ver flujograma). Esto se hace por bloques por medio de las instrucciones GIVEN-FIND. Se escribe la instrucción GIVEN luego las ecuaciones a resolver y al final la instrucción FIND, que es la que proporciona los valores calculados.

### 3.2.4 Salida de resultados

Para lograr visualizar los resultados, es necesario transferir los resultados a un programa capaz de manejar adecuadamente estos datos, es así como se transfiere nuevamente a un programa Basic que maneja estos datos.

Al llegar a éste punto el usuario podrá fácilmente optar por imprimir los resultados o solamente visualizar en pantalla.

### 3.3 Diagrama de bloques y flujograma

Para tener una visión global del proceso completo, desde que se toman las mediciones de campo hasta llegar a los resultados buscados es mejor representarlo por medio de bloques como se muestra en el diagrama de bloques del programa general al final del capítulo. De la misma manera se proporciona el diagrama de flujo del programa con el propósito de tener una visión general de los pasos que involucra.

### 3.4 Aplicación del método de las seis ecuaciones.

Para ésta prueba se tomó como muestra la línea San Martín - Nuevo Cuscatlan, haciendo tres mediciones con los equipos que posee CEL. En cada una de las tres mediciones, se tomaron las lecturas de voltaje, corriente, potencia real y reactiva, en los extremos emisor y receptor de la línea. El extremo emisor es el que se encuentra en la subestación ubicada en San Martín, y el extremo receptor es el que se encuentra en la subestación de Nuevo Cuscatlan.

Es necesario hacer mención que los valores de voltaje medidos son valores de fase a fase, los cuales fueron necesarios convertirlos a valores de fase a neutro, dividiéndolo entre  $\sqrt{3}$ . Los valores de las potencias real e imaginaria se utilizan para calcular los ángulos del factor de potencia en ambos extremos de la línea para cada una de las tres mediciones.

Las ecuaciones utilizadas para introducirles los valores obtenidos de las mediciones son (3.7), (3.8), (3.9), (3.10), (3.11) y (3.12).

Los resultados obtenidos de este sistema de ecuaciones son

los valores de las constantes ABC. Por lo que se necesitan nuevamente las ecs. (3.13), (3.14) y (3.15), para calcular los parámetros eléctricos de la línea r, x y x', conocida la longitud de la línea.

Conocidos éstos parámetros, se obtienen los valores de la resistencia de 0.153 ohmios/milla, la inductancia de 0.02489981 Henrios y la capacitancia de 0.361 microfaradio.

Según tablas de CEL, para la línea San Martín - Nuevo Cuscatlan el valor de la inductancia de 0.02669619 Henrios y la capacitancia de 0.35633890 microfaradios. hay que tener en cuenta que estos datos son de diseño de la línea original.

Porcentajes de Error

$$\% \text{Inductancia} = \frac{0.02669619 - 0.02489981}{0.02669619} * 100 = 6.73\%$$

$$\% \text{Capacitancia} = \frac{0.35633890 - 0.361}{0.35633890} * 100 = -1.3\%$$

Al final del capítulo; se anexa una corrida en Mathcad para ejemplificar, como se soluciona este método. Tanto para la línea San Martín-Nuevo Cuscatlan.

### 3.5 Aplicación del método de circuito abierto.

Como ya se mencionó anteriormente, éste método parte de efectuar una medición en el terminal emisor de la línea, manteniendo el terminal receptor en circuito abierto, con el fin de obtener una relación entre las constantes de la línea y generar una ecuación adicional que complete el sistema de ecuaciones a utilizar.

El sistema de ecuaciones que se utiliza esta compuesto por las (3.22), (3.23), (3.24) y (3.25).

Para demostrar éste ejemplo se partirá de un ejemplo del texto "Electrical Transmission and Distribution, Reference Book" de la Westinghouse Electric Corporation, Capítulo 9, ejemplos 1, 1(a) y 3. En éstos ejemplos parten de que ya conocen los valores de los parámetros eléctricos de la línea r, x y x' por medio de tablas para un conductor en particular, para llegar al final a

conocer los valores de voltaje y corriente en los extremos de la línea.

Nuestro ejemplo parte de conocer los valores de voltajes, corrientes y potencias en los extremos de la línea; así como la longitud de ésta, para llegar al final a conocer los valores de los parámetros eléctricos  $r$ ,  $x$  y  $x'$ .

Valores que se conocen por medio del texto.

$$|E_g| = 62300 \text{ Volt.} \quad (\text{voltaje fase-neutro})$$

$$|E_R| = 63500 \text{ volt.} \quad (\text{voltaje fase-neutro})$$

$$|I_g| = 65.91 \text{ amp.}$$

$$|I_R| = 50 \text{ amp.}$$

$$d_g = 44.31 \text{ grados}$$

$$d_R = -25.8 \text{ grados}$$

Longitud de la línea (S) = 230 millas

El diagrama fasorial se ha representado en la figura (3.3); ya que para nuestro ejemplo la corriente  $I_R$  está en atraso;

Fasorialmente los valores son:

$$E_g = |E_g| \angle d = 62300 \angle d$$

$$E_R = |E_R| \angle 0^\circ = 63500 \angle 0^\circ$$

$$I_g = |I_g| \angle (d + d_g) = 65.91 \angle (44.31 + d_g)$$

$$I_R = |I_R| \angle \theta = 50 \angle -25.8^\circ$$

Todos estos valores se asume que se podría lograr por mediciones directas en los equipos de CEL, donde  $d_g$  y  $d_R$  se obtienen en forma indirecta, conocidas las potencias real y reactivas, en los extremos emisor y receptor de la línea, respectivamente.

Los valores anteriores se sustituyen en las ecs. (3.22) y (3.23). Para encontrar la relación A/C en circuito abierto se

partió de los datos que previamente se encontraron en el texto, conocidos A y C. Esto se podría también lograrlo cuando se abre la línea, y se mide  $E_s$  e  $I_s$  en ese instante.

Este resultado es:

$$\frac{A}{C} = 9.84693 - j776.004527$$

Conocidos todos los valores anteriores se procede a resolver el sistema de ecs. formado por las ecs. (3.22) a la (3.25).

De éste sistema se obtienen los valores de las constantes ABC. Después se procede al cálculo de los parámetros eléctricos  $r$ ,  $x$  y  $x'$  con las ecs. (3.13), (3.14) y (3.15).

Los resultados obtenidos por éste método son los siguientes:

$$\begin{aligned} r &= 0.153 \text{ ohm/milla} \\ x &= 0.979 \text{ ohm/milla} \\ x' &= 191700 \text{ ohm/milla} \end{aligned}$$

Obteniéndose errores que van del 4.9 % al 19.6% respecto a los valores que presenta el libro de dónde se obtuvo los datos.

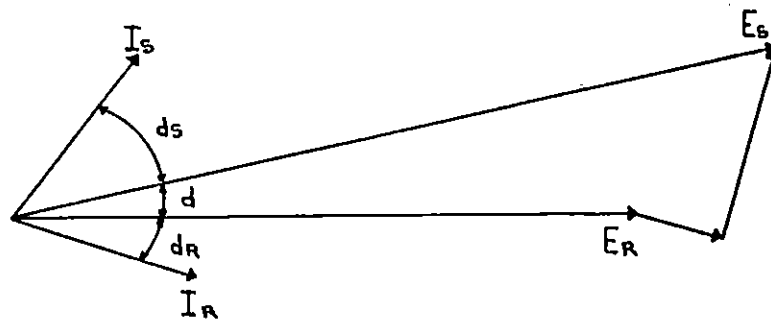


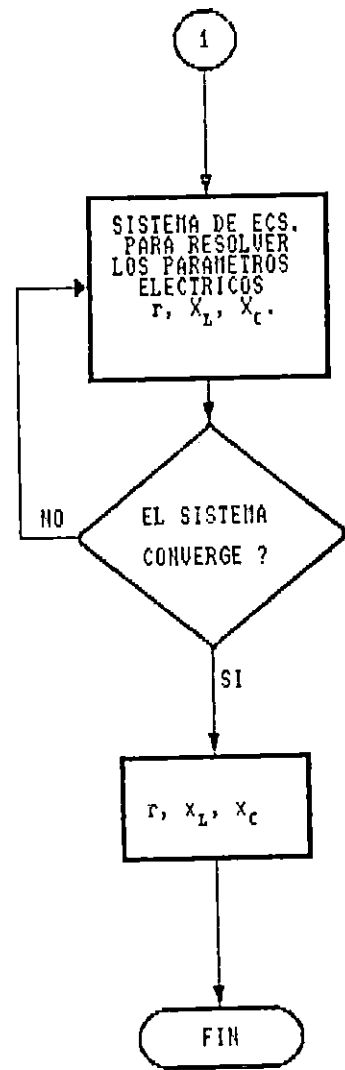
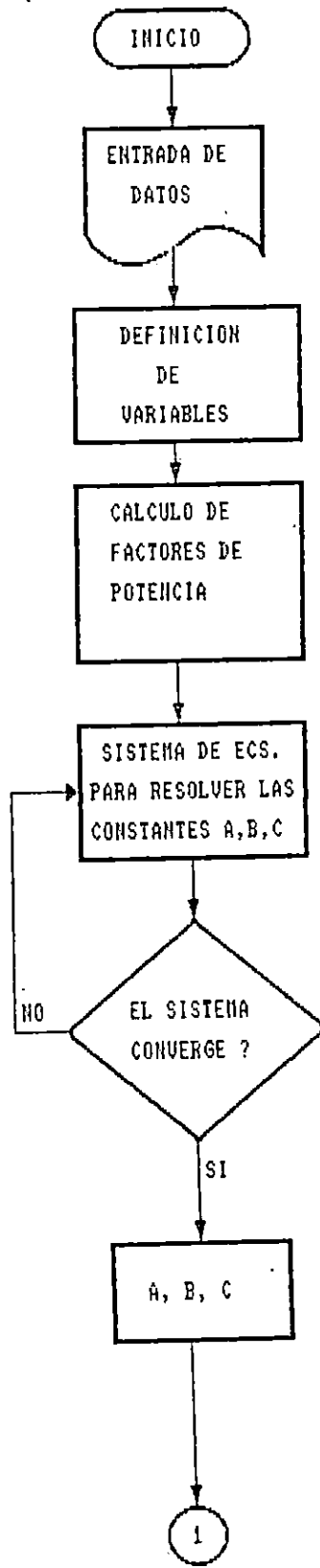
Fig. 3.3 Diagrama fasorial.

# DIAGRAMA DE BLOQUE





# FLUJOGRAMA DE PROGRAMA



## Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

1. Por métodos indirectos de medición, utilizando equipos del COS-CEL, se logró con cierto grado de exactitud medir los parámetros eléctricos de una línea de transmisión.
2. La teoría y ecuaciones utilizadas en el programa para el cálculo de los parámetros, no depende del nivel de voltaje y corriente de la línea.
3. En base a lo planteado anteriormente, se concluye que el programa puede ser aplicado a cualquier tipo de línea ya sea de transmisión, sub-transmisión o distribución. Siempre y cuando se logre medir voltaje, corrientes y potencias en los extremos emisor y receptor del sistema.
4. El programa creado para el cálculo de los parámetros ofrece una simplificación significativa, comparado a utilizar el método por tablas; ya que no es necesario conocer el tipo de conductor, calibre, distancia entre conductores y distancia de la línea al suelo; entre otras características que se deben de tomar en cuenta en el diseño, los cuales hacen más engorroso los cálculos matemáticos.
5. Los resultados obtenidos de una línea en particular, no depende de los valores medidos en el momento. Los parámetros eléctricos de la línea se mantienen constantes.
6. La metodología creada para el cálculo de los parámetros eléctricos, ofrece una herramienta importante para el COS-CEL, en caso, se requiere comparar la variación de los valores de diseño de los parámetros con los valores actuales que poseen las líneas o para otras que construyan.
7. Para el cálculo de los parámetros se considera la línea como un circuito monofásico, limitantes que tienen en los equipos de mediciones del COS.
8. El sistema de ecuaciones desarrollado en el programa, está diseñado para cualquier longitud de línea existentes en el país.
9. Conocer los valores de los parámetros eléctricos de la línea son necesarios para la coordinación de protección en el sistema, cuantificar pérdidas, determinar fallas etc.
10. El conocimiento exacto de la longitud de la línea de transmisión es de suma importancia, ya que el valor de los parámetros dependen directamente de ella.

11. Los calculos estan intimamente ligados a la naturaleza del factor de potencia tanto en el extremo transmisor como receptor, es decir si este esta en atraso o adelanto.]
12. Cualquier metodo que se escoja para calcular los parámetros de una línea de transmisión, necesita obligadamente auxiliarse de un programa de computadora eminentemente matemático.
13. Las tres metodologias que se diseñan nacen por la sencilla razón que el número de ecuaciones de las que se dispone no son suficientes para resolver el problema, por lo que a través de ellas se generan las ecuaciones que contemplan el sistema.
14. La exactitud en los resultados que se obtienen del método de las seis ecuaciones, dependen de que tan confiables son las mediciones de campo. Si estas no se realizan simultaneamente tanto en el extremo transmisor como en el receptor los resultados tendran un grado de error.
15. La diferencia matemática para determinar los parámetros, parten del hecho que no hay manera práctica (equipo de medición) que nos proporcione el ángulo de desfase que existe entre el voltaje del terminal transmisor ( $E_t$ ) y el voltaje del terminal receptor ( $E_r$ ).

#### Recomendaciones

1. Para efectuar las mediciones de campo, se debe utilizar equipos de medición digital que presenten mayor exactitud.
2. El valor de la longitud de la línea, deberá ser el más exacto posible, ya que no se tiene un método para determinarla adecuadamente.
3. Es necesario que los equipos de medición a utilizar proporcionen información del factor de potencia, si está en atraso o en adelanto.
4. Dentro de los tres métodos planteados, se recomienda el método de corto circuito, ya que de aplicarse se lograría conocer con exactitud la longitud de la línea, la desventaja es que se necesita emplear equipos de medición adecuados en la prueba de corto circuito.
5. Al utilizar el método de las seis ecuaciones, es necesario efectuarlas a distintas horas de un día bajo diferentes conclusiones de carga.

6. No es conveniente efectuar las mediciones a utilizar en el método de las seis ecuaciones, en intervalos mayores, en intervalos mayores a un día, ya que las condiciones atmosféricas podrían alterar la veracidad de los resultados.
7. Cada conjunto de mediciones de voltajes, corrientes y potencias que se realicen en los extremos emisor y receptor de la línea, deberán ser en la medida que fuera posible en forma simultánea.
8. En caso se requiera conocer los parámetros eléctricos de la línea por cada fase, el usuario deberá hacer las mediciones respectivas a utilizar en el programa, por cada fase que se requiera.

## Bibliografía

1. William D. Stevenson. "Análisis de sistemas eléctricos de Potencia". Segunda Edición, 1988, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE MEXICO, S.A. DE C.V.
2. Hugh Hildreth Skilling, Ph.D. "Electrical and Electronic Engineering Series". Segunda Edición, 1951, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC.
3. Westinghouse Electric Corporation, "Electrical Transmission and Distribution". Cuarta Edición, 1964, WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, EAST PITTSBURGH, PENNSYLVANIA.
4. L.F. Woodruff, "Principles of electrical power transmission". Segunda Edición, 1956. John Wiley & Son, Inc.
5. William H. Hayt, Jr. "Teoría Eléctro-magnética". Segunda Edición, 1974, McGRAW-HILL DE MEXICO.

ANEXOS

ANEXO A

"TABLAS DE DATOS DE DISEÑO DE LINEAS DE TRANSMISION EN EL  
SALVADOR"

COMISION EJECUTIVA HIDROELECTRICA DEL RIO LEMPA C.E.L. CENTRO DE OPERACIONES DEL SISTEMA COS  
 DATOS TECNICOS DEL SISTEMA :PARAMETROS PARA EL MODELAJE DE LAS LINEAS DE TRANSMISION 115 OCTUBRE /1994

NUM	LINEAS DE TX EN OPERACION		IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITVA			IMPEDANCIA DE SEC. CERO		IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITV			IMPEDANCIA DE SEC CERO		IMPEDANCIA caracteristica	IMPEDANCIA MUTUA	
	DE SUBESTACION	A SUBESTACION	Z1 = R1 + j X1	Y/2 = j B	Z0 = R0 + j X0	Z1 = R1 + j X1	Y/2 = j B	Z0 = R0 + j X0	caracteristica	Z = R + j X	Z = R + j X				
			(Ohms)	(Mhos)	(Ohms)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	
1	5 DE NOVIEMBRE	CERRON GRANDE	2.43340	8.67560	5.89E-05	0.0184	0.0656	0.0078	0.0476	0.2013	2.9028166	-	-		
2	5 DE NOVIEMBRE	SN RAFAEL CEDR.	4.02040	14.73265	9.96E-05	0.0304	0.1114	0.0132	0.0789	0.3336	2.9078407	-	-		
3	GUAJOYO	SANTA ANA	3.62365	12.94728	9.21E-05	0.0274	0.0979	0.0122	0.0710	0.3002	2.8354789	-	-		
4	ACAJUTLA	OPICO	8.35820	30.16623	2.20E-04	0.0632	0.2281	0.0291	0.1696	0.7172	2.8024065	-	-		
5	ACAJUTLA	SONSONATE	2.94918	10.54033	7.25E-05	0.0223	0.0797	0.0096	0.0519	0.2724	2.8840881	-	-		
6	AHUACHAPAN	SANTA ANA	4.89325	17.49668	1.25E-04	0.0370	0.1323	0.0165	0.0960	0.4059	2.8343465	-	-		
7	AHUACHAPAN	SONSONATE	3.42528	12.35215	8.45E-05	0.0259	0.0934	0.0112	0.0602	0.3157	2.8905428	-	-		
8	CERRON GRANDE	SAN MARTIN	6.64292	24.14885	1.71E-04	0.0502	0.1826	0.0227	0.1613	0.4616	2.8389153	0.042	0.1176		
9	15 DE SEPTIEM.	SN RAFAEL CEDR.	14.28300	22.21800	1.31E-04	0.1080	0.1680	0.0173	0.1602	0.5086	3.1192241	-	-		
10	15 DE SEPTIEM.	SN RAFAEL CEDR.	6.16285	21.70223	1.40E-04	0.0466	0.1641	0.0186	0.1083	0.5735	2.9731225	-	-		
11	15 DE SEPTIEM.	SAN MIGUEL	16.55770	25.76230	1.49E-04	0.1252	0.1948	0.0197	0.1857	0.5896	3.1475769	-	-		
12	15 DE SEPTIEM.	SAN MIGUEL	14.50783	25.73585	1.62E-04	0.1097	0.1946	0.0214	0.2439	0.5586	3.0184189	-	-		
13	SN RAFAEL CEDR.	SAN MARTIN	3.22690	11.33383	7.40E-05	0.0244	0.0857	0.0098	0.0565	0.2996	2.9600044	-	-		
14	SN RAFAEL CEDR.	SAN MARTIN	2.79048	10.28905	7.25E-05	0.0211	0.0778	0.0096	0.0491	0.2527	2.8495033	0.042	0.1176		
15	SOYAPANGO	NEJAPA	1.33573	4.76100	3.47E-05	0.0101	0.0360	0.0046	0.0264	0.1361	2.8413212	-	-		
16	SOYAPANGO	SAN MARTIN	1.50765	5.54128	3.92E-05	0.0114	0.0419	0.0052	0.0264	0.1361	2.8514748	-	-		
17	SANTA ANA	OPICO	3.12110	11.16190	7.85E-05	0.0236	0.0844	0.0104	0.0607	0.2529	2.8514748	-	-		
18	SN ANTONIO ABAD	NEJAPA	0.44965	2.24825	3.02E-05	0.0034	0.0170	0.0040	0.0134	0.0757	2.0635236	-	-		
19	SN ANTONIO ABAD	NVO. CUSCATLAN	0.72738	3.49140	4.98E-05	0.0055	0.0264	0.0066	0.0323	0.1183	2.001912	0.0141	0.0413		
20	NEJAPA	OPICO	2.55243	9.11203	6.49E-05	0.0193	0.0689	0.0086	0.0500	0.2113	2.8331878	-	-		
21	SONSONATE	ATEOS	3.96750	13.88625	9.96E-05	0.0300	0.1050	0.0132	0.1020	0.3570	2.8230766	-	-		
22	NVO CUSCATLAN	SAN MARTIN	2.01020	10.06423	1.34E-04	0.0152	0.0761	0.0178	0.0556	0.3388	2.0696519	-	-		
23	NVO CUSCATLAN	ATEOS	2.45985	8.60948	6.19E-05	0.0186	0.0651	0.0082	0.0632	0.2213	2.8203211	0.0141	0.0413		
24	CERRON GRANDE	NEJAPA	5.35613	18.14470	1.37E-04	0.0405	0.1372	0.0182	0.1394	0.4719	2.7482507	-	-		
25	NEJAPA	SAN MARTIN	1.10799	5.56495	5.58E-05	0.0084	0.0421	0.0074	0.0527	0.1631	2.3868868	-	-		
26	SICEPASA	KILO-5	0.52900	1.85150	7.55E-06	0.0040	0.0140	0.0010	0.0161	0.0591	3.7452344	-	-		
27	ACAJUTLA	KILO-5	0.62290	2.22841	1.53E-05	0.0047	0.0169	0.0020	0.0109	0.0576	2.8873699	-	-		
28	KILO-5	SONSONATE	2.32496	8.31059	5.72E-05	0.0176	0.0628	0.0076	0.0409	0.2148	2.8829808	-	-		

NUM	LINEAS DE TX EN OPERACION A 230 KV.		IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITVA			IMPEDANCIA DE SEC. CERO		IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITV			IMPEDANCIA DE SEC CERO		IMPEDANCIA caracteristica	IMPEDANCIA MUTUA	
	DE SUBESTACION	A SUBESTACION	Z1 = R1 + j X1	Y/2 = j B	Z0 = R0 + j X0	Z1 = R1 + j X1	Y/2 = j B	Z0 = R0 + j X0	caracteristica	Z = R + j X	Z = R + j X				
			(Ohms)	(Ohms)	(Mhos)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	
1	AHUACHAPAN	GUATEMALA ESTE	1.70603	10.32873	3.77E-05	0.0129	0.0781	0.005	0.0305	0.1964	3.9559929	-	-		

NUM	LINEAS DE TX FUERA DE OPERACION		IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITVA			IMPEDANCIA DE SEC. CERO		IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITVA			IMPEDANCIA DE SEC CERO		IMPEDANCIA caracteristica	IMPEDANCIA MUTUA	
	DE SUBESTACION	A SUBESTACION	Z1 = R1 + j X1	Y/2 = j B	Z0 = R0 + j X0	Z1 = R1 + j X1	Y/2 = j B	Z0 = R0 + j X0	caracteristica	Z = R + j X	Z = R + j X				
			(Ohms)	(Ohms)	(Mhos)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	
1	SN RAFAEL CEDR.	TECOLUCA	3.70300	13.22500	9.51E-05	0.0280	0.1000	0.0126	0.0728	0.3080	2.8198741	-	-		
2	SAN MIGUEL	OZATLAN	5.83223	20.85583	1.49E-04	0.0441	0.1577	0.0198	0.1138	0.4815	2.8248685	-	-		
3	OZATLAN	TECOLUCA	5.03873	17.97278	1.28E-04	0.0381	0.1359	0.0170	0.0986	0.4170	2.83009	-	-		

NUM	LINEAS DE TX FUTURAS		IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITVA			IMPEDANCIA DE SEC. CERO		IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITVA			IMPEDANCIA DE SEC CERO		IMPEDANCIA caracteristica	IMPEDANCIA MUTUA	
	DE SUBESTACION	A SUBESTACION	Z1 = R1 + j X1	Y/2 = j B	Z0 = R0 + j X0	Z1 = R1 + j X1	Y/2 = j B	Z0 = R0 + j X0	caracteristica	Z = R + j X	Z = R + j X				
			(Ohms)	(Ohms)	(Mhos)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	(p.u)	
2	SAN MARTIN	SAN BARTOLO	1.21670	4.32458	1.66E-05	0.0052	0.0185	0.0012	0.01887	0.05548	3.8590244	-	-		



COMISION EJECUTIVA HIDROELECTRICA DEL RIO LEMPA C.E.L. CENTRO DE OPERACIONES  
INFORMACION GENERAL DE LINEAS DE TRANSMISION 115 KV OCTUBRE/94

NUM	LINEAS DE TX EN OPERACION DE SUBESTACION	A SUBESTACION	CODIGO DE LINEA	CALIBRE Y TIPO DE CONDUCTOR	NUMERO DE CIRCUITOS	NUMERO DE COND/FASE	CAPACIDAD TERM.AMP	LONGITUD (KMS)	POTENCIA MAXIMA lim.termico MVA	S. I. L. MW
1	5 DE NOVIEMBRE	CERRON GRANDE	L7-10-17-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	18.1	133.297	34.4493
2	5 DE NOVIEMBRE	SN RAFAEL CEDR.	L7-10-32-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	30.0	133.297	34.3898
3	GUAJOYO	SANTA ANA	L7-11-35-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	27.3	133.297	35.2674
4	ACAJUTLA	OPICO	L7-13-38-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	64.6	133.297	35.6836
5	ACAJUTLA	SONSONATE	L7-13-41-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	23.7	133.297	34.6730
6	AHUACHAPAN	SANTA ANA	L7-16-35-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	36.5	133.297	35.2815
7	AHUACHAPAN	SONSONATE	L7-16-41-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	25.5	133.297	34.5956
8	CERRON GRANDE	SAN MARTIN	L7-17-43-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	50.2	133.297	35.2247
9	15 DE SEPTIEM.	SN RAFAEL CEDR.	L7-18-32-01	ACSR-4/0	1	1	365	40.1	72.617	32.0593
10	15 DE SEPTIEM.	SN RAFAEL CEDR.	L7-18-32-02	ACSR-477-MCM	2*	1	670	39.5	133.297	33.6347
11	15 DE SEPTIEM.	SAN MIGUEL	L7-18-34-01	ACSR-4/0	1	1	365	45.6	72.617	31.7705
12	15 DE SEPTIEMB.	SAN MIGUEL	L7-18-34-02	AAAC-4/0	1	1	365	50.0	72.617	33.1299
13	SN RAFAEL CEDR.	SAN MARTIN	L7-32-43-02	ACSR-477-MCM	2*	1	670	21.5	133.297	33.7837
14	SN RAFAEL CEDR.	SAN MARTIN	L7-32-43-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	20.8	133.297	35.0938
15	SOYAPANGO	NEJAPA	L7-30-37-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	10.1	133.297	35.7119
16	SOYAPANGO	SAN MARTIN	L7-30-43-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	11.2	133.297	35.1949
17	SANTA ANA	OPICO	L7-35-38-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	23.1	133.297	35.0696
18	SN ANTONIO ABAD	NEJAPA	L7-36-37-01	ACSR-477-MCM	1	2	1340	6.7	266.593	48.4608
19	SN ANTONIO ABAD	NVO. CUSCATLAN	L7-36-42-01	ACSR-477-MCM	1	2	1340	11.6	266.593	49.9522
20	NEJAPA	OPICO	L7-36-38-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	19.0	133.297	35.2959
21	SONSONATE	ATEOS	L7-41-44-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	28.3	133.297	35.4223
22	NVO CUSCATLAN	SAN MARTIN	L7-42-43-01	ACSR-477-MCM	1	2	1340	30.0	266.593	48.3173
23	NVO CUSCATLAN	ATEOS	L7-42-44-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	23.3	133.297	35.4570
24	CERRON GRANDE	NEJAPA	L7-17-37-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	39.1	133.297	36.3868
25	NEJAPA	SAN MARTIN	L7-37-43-01	ACSR-477-MCM	1	2	1340	16.6	266.593	41.8956
26	SICEPASA	KILO-5	L7-81-81-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	0.5	133.297	26.7006
27	ACAJUTLA	KILO-5	L7-13-81-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	5.0	133.297	34.6336
28	KILO-5	SONSONATE	L7-81-42-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	18.7	133.297	34.6863

NUM	LINEAS DE TX EN OPERACION A 230 KV. DE SUBESTACION	A SUBESTACION	CODIGO DE LINEA	CALIBRE Y TIPO DE CONDUCTOR	NUMERO DE CIRCUITOS	NUMERO DE COND/FASE	CAPACIDAD TERM.AMP	LONGITUD (KMS)	POTENCIA MAXIMA lim.termico MVA	S. I. L. MW
1	AHUACHAPAN	GUATEMALA ESTE	L8-16-00-01	ACSR-477-MCM	1	2	1200	111.4	238.740	25.2781

NUM	LINEAS DE TX FUERA DE OPERACION DE SUBESTACION	A SUBESTACION	CODIGO DE LINEA	CALIBRE Y TIPO DE CONDUCTOR	NUMERO DE CIRCUITOS	NUMERO DE COND/FASE	CAPACIDAD TERMICA	LONGITUD (KMS)	POTENCIA MAXIMA lim.termico MVA	S. I. L. MW
1	SN RAFAEL CEDR.	TECOLUCA	L7-32-39-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	27.7	133.297	35.4626
2	SAN MIGUEL	OZATLAN	L7-34-39-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	43.6	133.297	35.3999
3	OZATLAN	TECOLUCA	L7-39-40-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	37.5	133.297	35.3346

108.8

NUM	LINEAS DE TX FUTURAS DE SUBESTACION	A SUBESTACION	CODIGO DE LINEA	CALIBRE Y TIPO DE CONDUCTOR	NUMERO DE CIRCUITOS	NUMERO DE COND/FASE	CAPACIDAD TERMICA	LONGITUD (KMS)	POTENCIA MAXIMA lim.termico MVA	S. I. L. MW
2	SAN MARTIN	SAN BARTOLO	L7-43-45-01	ACSR-477-MCM	1	1	670	5.1	133.297	25.9133

\* SOLO HABILITADO UN CIRCUITO

§

DATOS DE LA LINEA POR CIRCUITO EXCEPTUANDO LONGITUD

COMISION EJECUTIVA HIDROELECTRICA DEL RIO LEMPA C.E.L. CENTRO DE OPERACIONES DEL SISTEMA COS  
 DATOS TECNICOS DEL SISTEMA : CONSTANTES GENERALIZADAS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION BASE SISTEMA

NUM	LINEAS DE TX EN OPERACION		CONSTANTES GENERALIZADAS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION - FORMA POLAR ( MOD PI )								INDUCTANCIA en henrios	CAPACITANCIA en microfarad	IMPEDANCIA caracteristica (Ohms)
	DE SUBESTACION	A SUBESTACION	A	B	C	D							
1	5 DE NOVIEMBRE	CERRON GRANDE	0.99987	0.00412	0.06813	74.3319	0.00767	89.9892	0.99987	0.00412	0.02301274	0.15614851	383.89750
2	5 DE NOVIEMBRE	SN RAFAEL CEDR.	0.99963	0.01152	0.11547	74.7362	0.01283	89.8088	0.99963	0.01152	0.03907957	0.26425132	384.56194
3	GUAJOYO	SANTA ANA	0.9997	0.00959	0.10166	74.3643	0.0119	89.8545	0.9997	0.00959	0.03434371	0.24423228	374.99208
4	ACAJUTLA	OPICO	0.99835	0.05293	0.23669	74.5135	0.0274	89.2953	0.99835	0.05293	0.08001840	0.58255404	370.61826
5	ACAJUTLA	SONSONATE	0.99981	0.00614	0.08276	74.3685	0.00941	89.9311	0.99981	0.00614	0.02795908	0.19218278	381.42066
6	AHUACHAPAN	SANTA ANA	0.99945	0.01753	0.13738	74.3755	0.01595	89.7083	0.99945	0.01753	0.04641137	0.33031415	374.84232
7	AHUACHAPAN	SONSONATE	0.99974	0.00832	0.09692	74.5013	0.01094	89.877	0.99974	0.00832	0.03276510	0.22421324	382.27429
8	CERRON GRANDE	SAN MARTIN	0.99897	0.03277	0.18938	74.6194	0.02164	89.5019	0.99897	0.03277	0.06405681	0.45443219	375.44655
9	15 DE SEPTIEM.	SN RAFAEL CEDR.	0.99927	0.05363	0.19972	57.2948	0.01656	88.6389	0.99927	0.05363	0.05893508	0.34632938	412.51738
10	15 DE SEPTIEM.	SN RAFAEL CEDR.	0.99924	0.0249	0.17059	74.1469	0.01782	89.5599	0.99924	0.0249	0.05756694	0.37235413	393.19545
11	15 DE SEPTIEM.	SAN MIGUEL	0.99904	0.07083	0.23156	57.2708	0.01872	88.3681	0.99904	0.07083	0.06833662	0.39437507	416.26704
12	15 DE SEPTIEMB.	SAN MIGUEL	0.99896	0.06743	0.22339	60.5892	0.02034	88.602	0.99896	0.06743	0.06826646	0.42840744	399.18590
13	SN RAFAEL CEDR.	SAN MARTIN	0.99979	0.00686	0.08911	74.1077	0.00959	89.8998	0.99979	0.00686	0.03006390	0.19618658	391.46058
14	SN RAFAEL CEDR.	SAN MARTIN	0.99981	0.00581	0.08061	74.826	0.00941	89.9488	0.99981	0.00581	0.02729255	0.19218278	376.84681
15	SOYAPANGO	NEJAPA	0.99996	0.00133	0.03739	74.3283	0.00456	90.1116	0.99996	0.00133	0.01262894	0.09208758	370.32497
16	SOYAPANGO	SAN MARTIN	0.99995	0.0017	0.04342	74.7797	0.00515	90.0925	0.99995	0.0017	0.01469869	0.10409900	375.76472
17	SANTA ANA	OPICO	0.99978	0.00704	0.08764	74.378	0.01018	89.9116	0.99978	0.00704	0.02960786	0.20819801	377.10754
18	SN ANTONIO ABAD	NEJAPA	0.99998	0.00039	0.01734	78.6901	0.00398	90.2089	0.99998	0.00039	0.00596367	0.08007616	272.90100
19	SN ANTONIO ABAD	NVO. CUSCATLAN	0.99996	0.00104	0.02697	78.2318	0.00656	90.1784	0.99996	0.00104	0.00926123	0.13212566	264.75286
20	NEJAPA	OPICO	0.99985	0.00476	0.07155	74.3516	0.00845	89.9758	0.99985	0.00476	0.02417040	0.17216374	374.68909
21	SONSONATE	ATEOS	0.99965	0.01137	0.1092	74.0547	0.01285	89.8154	0.99965	0.01137	0.03683442	0.26425132	373.35189
22	NVO CUSCATLAN	SAN MARTIN	0.99966	0.00777	0.0776	78.7046	0.01746	90.0354	0.99966	0.00777	0.02669619	0.35633890	273.71147
23	NVO CUSCATLAN	ATEOS	0.99987	0.00438	0.06771	74.0547	0.00807	89.9883	0.99987	0.00438	0.02283734	0.16415612	372.98746
24	CERRON GRANDE	NEJAPA	0.99938	0.02117	0.14305	73.554	0.01757	89.6555	0.99938	0.02117	0.04813031	0.36434651	363.45615
25	NEJAPA	SAN MARTIN	0.99992	0.00178	0.0429	78.7396	0.00732	90.1363	0.99992	0.00178	0.01476148	0.14814089	315.66578
26	SICEPASA	KILO-5	1	0.00011	0.01456	74.0547	0.001	90.2003	1	0.00011	0.00491126	0.02001904	495.30725
27	ACAJUTLA	KILO-5	0.99999	0.00027	0.0175	74.383	0.00202	90.19	0.99999	0.00027	0.00591105	0.04053855	381.85467
28	KILO-5	SONSONATE	0.99988	0.00382	0.06525	74.3707	0.00746	90.0014	0.99988	0.00382	0.02204452	0.15164422	381.27421

NUM	LINEAS DE TX EN OPERACION A 230 KV.		CONSTANTES GENERALIZADAS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION - FORMA POLAR ( MOD PI )								INDUCTANCIA en henrios	CAPACITANCIA en microfarad	IMPEDANCIA caracteristica (Ohms)
	DE SUBESTACION	A SUBESTACION	A	B	C	D							
1	AHUACHAPAN	GUATEMALA ESTE	0.9999	0.00185	0.07916	80.621	0.0049	90.069	0.9999	0.00185	0.02739779	0.10009520	523.18006

NUM	LINEAS DE TX FUERA DE OPERACION		CONSTANTES GENERALIZADAS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION - FORMA POLAR ( MOD PI )								INDUCTANCIA en henrios	CAPACITANCIA en microfarad	IMPEDANCIA caracteristica (Ohms)
	DE SUBESTACION	A SUBESTACION	A	B	C	D							
1	SN RAFAEL CEDR.	TECOLUCA	0.99969	0.01013	0.10385	74.3578	0.01228	89.8454	0.99969	0.01013	0.03508040	0.25223989	372.92834
2	SAN MIGUEL	OZATLAN	0.99922	0.02508	0.16375	74.3767	0.01901	89.5985	0.99922	0.02508	0.05532179	0.39637698	373.58886
3	OZATLAN	TECOLUCA	0.99942	0.0186	0.14114	74.3391	0.01641	89.6914	0.99942	0.0186	0.04767427	0.34032367	374.27941

NUM	LINEAS DE TX FUTURAS		CONSTANTES GENERALIZADAS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION - FORMA POLAR ( MOD PI )								INDUCTANCIA en henrios	CAPACITANCIA en microfarad	IMPEDANCIA caracteristica (Ohms)
	DE SUBESTACION	A SUBESTACION	A	B	C	D							
2	SAN MARTIN	SAN BARTOLO	0.99998	0.00058	0.03397	74.2864	0.00218	90.1247	0.99998	0.00058	0.01147129	0.04404189	510.35597

CIRCUITO	LON. (KM)	VOLTAJE (KV)	DIMENSION	TRANSF. CAP. (MVA)
5 Nov.-C. Grande	18.1	115	477 ACSR	133.297
5 Nov.-S. R. Cedros	30.0	115	477 ACSR	133.297
Guajoyo-Santa Ana	27.3	115	477 ACSR	133.297
Acajutla-Opico	64.6	115	477 ACSR	133.297
Acajutla-Sonsonate	23.7	115	477 ACSR	133.297
Ahuachapan-Santa Ana	36.5	115	477 ACSR	133.297
Ahuachapan-Sonsonate	25.5	115	477 ACSR	133.297
Cerrón Grande-San Martín	50.2	115	477 ACSR	133.297
15 Sept.-San R. C.	40.1	115	4/0 ACSR	72.617
15 Sept.-San R. C.	39.5	115	477 ACSR	133.297
15 Sept.-San Miguel	45.6	115	4/0 ACSR	72.617
15 Sept.-San Miguel	50.0	115	4/0 ACSR	72.617
San R. C.-San Martín	20.8	115	477 ACSR	133.297
San R. C.-San Martín	21.5	115	477 ACSR	133.297
Soyapango-Nejapa	10.1	115	477 ACSR	133.297
Soyapango-San Martín	11.2	115	477 ACSR	133.297
Santa Ana-opico	23.1	115	477 ACSR	133.297
San Antonio Abad-Nejapa	6.7	115	2x477 ACSR	266.593
San Antonio Abad-Nuevo Cuscatlan.	11.6	115	2x477 ACSR	266.593
Nejapa-Opico	19.0	115	477 ACSR	133.297
Sonsonate-Ateos	28.3	115	477 ACSR	133.297
Nvo. Cuscatlan-San Martín	30.0	115	2x477 ACSR	266.593
Nvo. Cuscatlan-Ateos	23.0	115	477 ACSR	133.297
Cerrón Grande-Nejapa	40.0	115	477 ACSR	133.297
Nejapa-San Martín	16.0	115	2x477 ACSR	266.593

**ANEXO B**

**"DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LINEAS DE TRANSMISION EN EL SALVADOR"**



## ANEXO C

### ESTRUCTURA DEL PROGRAMA GENERAL Y APLICACIONES

Básicamente el programa muestra todas las instrucciones a seguir y el usuario en ningún momento tiene acceso a la estructura del programa, ya que la estructura está hecha de tal manera que automáticamente se carguen los archivos necesarios en que se van necesitando.

Esta estructura se muestra a continuación y está constituida de los siguientes archivos.

m.exe  
present.bas  
intro.bas  
mt6.mcd  
reporte.bas  
final.bas

#### Archivo m.exe.

Este archivo es el ejecutable que controla cuando deberá acceder cada uno de los archivos anteriores, esta hecho con comandos del DOS.

#### Archivo present.bas

Este archivo es el encargado de la carátula de presentación, está estructurado en lenguaje basic y solo sirva para efectos de información general.

#### Archivo intro.bas

Este archivo está estructurado en lenguaje basic, y es el encargado de la introducción de todos los datos necesarios en el cálculo de los parámetros de la línea. Este archivo forma 5 archivos auxiliares con extensión PRN, en dónde quedarán almacenados todos los datos introducidos. Estos archivos auxiliares son: Línea PRN, KMS.PRN, DATOS1.PRN, DATOS2.PRN Y DATOS3.PRN.

#### Archivos MT6.MCD

Luego de haberse almacenado datos, entra en acción el Mathcad, para resolver los sistemas de ecuaciones que contiene el archivo MT6.MCD, éste archivo es la base fundamental de todo el programa; es decir que de este archivo depende la exactitud de los resultados. Las ecuaciones que se resuelven son las mostradas en el capítulo III, así como la estructura de que consta.

#### Archivo reporte.bas

Está estructurado en lenguaje basic, y el encargado de visualizar los datos de entrada como los de salida, ya sea en pantalla o en impresión.

#### Archivo final.bas

Al igual que el anterior, está estructurado en lenguaje basic. y es el encargado de presentar los datos de los realizadores del presente trabajo. Este archivo se ejecuta al salir del programa general y retorna al DOS.

ARCHIVO M.EXE



@ECHO OFF  
PRESEN

:MENU

CLS

BE M

IF ERRORLEVEL=5 GOTO SALIR

IF ERRORLEVEL=4 GOTO PRINTER

IF ERRORLEVEL=3 GOTO CALCULO

IF ERRORLEVEL=2 GOTO INTRO

IF ERRORLEVEL=0 GOTO SALIR

GOTO MENU

:INTRO

INTRO

GOTO MENU

:CALCULO

MCAD /RTE

GOTO MENU

:PRINTER

REPORTE

GOTO MENU

:SALIR

FINAL

CLS

ARCHIVO PRESENT.BAS

11\$ = "UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR"  
12\$ = "FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA"  
13\$ = "PROGRAMA PARA EL CALCULO DE"  
14\$ = "LOS PARAMETROS ELECTRICOS DE"  
15\$ = "UNA LINEA DE TRANSMISION"  
16\$ = "METODO DE LAS SEIS ECUACIONES"

CLS

FOR I = 1 TO 40  
LOCATE 1, 41 - I: PRINT CHR\$(205)  
LOCATE 1, 40 + I: PRINT CHR\$(205)  
FOR J = 1 TO 200: NEXT  
NEXT I

LOCATE 1, 1: PRINT "I"  
LOCATE 1, 80: PRINT " ;"

FOR I = 1 TO 40  
LOCATE 23, 41 - I: PRINT CHR\$(205)  
LOCATE 23, 40 + I: PRINT CHR\$(205)  
FOR J = 1 TO 200: NEXT  
NEXT I

LOCATE 23, 1: PRINT "H"  
LOCATE 23, 80: PRINT "<"

FOR I = 2 TO 22  
LOCATE 1, 1: PRINT CHR\$(186)  
LOCATE 24 - I, 80: PRINT CHR\$(186)  
FOR J = 1 TO 200: NEXT  
NEXT I

FOR I = 1 TO LEN(11\$)  
LOCATE 4, 40 - FIX(I / 2): PRINT MID\$(11\$, FIX(LEN(11\$) / 2) - FIX(I / 2) + 1, I  
)  
FOR J = 1 TO 400: NEXT  
NEXT

FOR I = 1 TO LEN(12\$)  
LOCATE 5, 40 - FIX(I / 2): PRINT MID\$(12\$, FIX(LEN(12\$) / 2) - FIX(I / 2) + 1, I  
)  
FOR J = 1 TO 400: NEXT  
NEXT

FOR I = 1 TO LEN(13\$)  
LOCATE 8, 40 - FIX(I / 2): PRINT MID\$(13\$, FIX(LEN(13\$) / 2) - FIX(I / 2) + 1, I  
)  
FOR J = 1 TO 400: NEXT  
NEXT

FOR I = 1 TO LEN(14\$)  
LOCATE 9, 40 - FIX(I / 2): PRINT MID\$(14\$, FIX(LEN(14\$) / 2) - FIX(I / 2) + 1, I  
)  
FOR J = 1 TO 400: NEXT  
NEXT

FOR I = 1 TO LEN(15\$)  
LOCATE 10, 40 - FIX(I / 2): PRINT MID\$(15\$, FIX(LEN(15\$) / 2) - FIX(I / 2) + 1,  
I)  
FOR J = 1 TO 400: NEXT  
NEXT

FOR I = 1 TO LEN(16\$)  
LOCATE 14, 40 - FIX(I / 2): PRINT MID\$(16\$, FIX(LEN(16\$) / 2) - FIX(I / 2) + 1,  
I)

FOR J = 1 TO 400: NEXT  
NEXT

COLOR 17, 0

LOCATE 19, 20: PRINT " Presione cualquier tecla para continuar "

DO

  a\$ = INKEY\$

LOOP WHILE a\$ = ""

COLOR 7, 0

ARCHIVO INTRO.BAS

```
CLOSE #1
CLS
FOR I = 1 TO 40
LOCATE 1, 41 - I: PRINT CHR$(205)
LOCATE 1, 40 + I: PRINT CHR$(205)
FOR J = 1 TO 200: NEXT
NEXT I
```

```
LOCATE 1, 1: PRINT "I"
LOCATE 1, 80: PRINT " ;"
```

```
FOR I = 1 TO 40
LOCATE 23, 41 - I: PRINT CHR$(205)
LOCATE 23, 40 + I: PRINT CHR$(205)
FOR J = 1 TO 200: NEXT
NEXT I
```

```
LOCATE 23, 1: PRINT "H"
LOCATE 23, 80: PRINT "<"
```

```
FOR I = 2 TO 22
LOCATE I, 1: PRINT CHR$(186)
LOCATE 24 - I, 80: PRINT CHR$(186)
FOR J = 1 TO 200: NEXT
NEXT I
```

```
' DATOS DE LINEA
```

```
ON ERROR GOTO LDATOS
OPEN "LINEA.PRN" FOR INPUT AS #1
INPUT #1, AI1$
INPUT #1, AI2$
INPUT #1, AI3$
INPUT #1, AI4$
CLOSE #1
```

```
OPEN "kms.PRN" FOR INPUT AS #1
INPUT #1, AI5#
CLOSE #1
```

```
LDATOS:
```

```
LOCATE 3, 25: PRINT "INTRODUCCION DE DATOS DE LINEA"
```

```
' INTRODUCCION DE DATOS
```

```
LOCATE 7, 10: PRINT "1 NOMBRE DEL TERMINAL DE ENTRADA "; AI1$
```

```
LOCATE 7, 10: INPUT "1 NOMBRE DEL TERMINAL DE ENTRADA ", AI1$
```

```
IF AI1$ = "" THEN AI1$ = AI1$
```

```
LOCATE 9, 10: PRINT "2 CODIGO DEL TERMINAL DE ENTRADA "; AI2$
```

```
LOCATE 9, 10: INPUT "2 CODIGO DEL TERMINAL DE ENTRADA ", AI2$
```

```
IF AI2$ = "" THEN AI2$ = AI2$
```

```
LOCATE 11, 10: PRINT "3 NOMBRE DEL TERMINAL DE SALIDA "; AI3$
```

```
LOCATE 11, 10: INPUT "3 NOMBRE DEL TERMINAL DE SALIDA ", AI3$
```

```
IF AI3$ = "" THEN AI3$ = AI3$
```

```
LOCATE 13, 10: PRINT "4 CODIGO DEL TERMINAL DE SALIDA "; AI4$
```

```
LOCATE 13, 10: INPUT "4 CODIGO DEL TERMINAL DE SALIDA ", AI4$
```

```
IF AI4$ = "" THEN AI4$ = AI4$
```

```
LOCATE 15, 10: PRINT "5 LONGITUD DE LA LINEA EN KMS. "; AI5#
```

```
LOCATE 15, 10: INPUT "5 LONGITUD DE LA LINEA EN KMS. ", AI5#
```

```
IF AI5# = 0 THEN AI5# = AI5#
```

```
R$ = "N"
```

```
DO WHILE R$ <> "S" OR R$ <> "s"
```

```
LOCATE 17, 10: INPUT "DATOS CORRECTOS S/N "; R$
```

```

IF R$ = "N" OR R$ = "n" THEN
  LOCATE 20, 10: INPUT "DIGITE EL NUMERO A CORREGIR "; N
  SELECT CASE N
    CASE 1
      LOCATE 7, 10: INPUT "1 NOMBRE DEL TERMINAL DE ENTRADA ", A1$
      IF A1$ = "" THEN A1$ = A11$
    CASE 2
      LOCATE 9, 10: INPUT "2 CODIGO DEL TERMINAL DE ENTRADA ", A2$
      IF A2$ = "" THEN A2$ = A12$
    CASE 3
      LOCATE 11, 10: INPUT "3 NOMBRE DEL TERMINAL DE SALIDA ", A3$
      IF A3$ = "" THEN A3$ = A13$
    CASE 4
      LOCATE 13, 10: INPUT "4 CODIGO DEL TERMINAL DE SALIDA ", A4$
      IF A4$ = "" THEN A4$ = A14$
    CASE 5
      LOCATE 15, 10: INPUT "5 LONGITUD DE LA LINEA EN KMS. ", A5$
      IF A5# = 0 THEN A5# = A15#
  END SELECT
ELSE
  IF R$ = "S" OR R$ = "s" THEN EXIT DO
END IF
LOOP
  ' Put the new record in the file
  ' with the WRITE # statement:
  OPEN "LINEA.prn" FOR OUTPUT AS #1
  WRITE #1, A1$
  WRITE #1, A2$
  WRITE #1, A3$
  WRITE #1, A4$
  CLOSE #1

  OPEN "kms.prn" FOR OUTPUT AS #1
  WRITE #1, A5#
  WRITE #1, A5#
  CLOSE #1

'DATOS DE LECTURA 3 VECES

FOR I = 1 TO 3

FOR J = 2 TO 21
LOCATE J, 2: PRINT SPACE$(78)
NEXT

ON ERROR GOTO DATOS3
I$ = RTRIM$(LTRIM$(STR$(I)))
AR$ = "DATOS" + I$ + ".PRN"

' CONTROL
LOCATE 2, 60: PRINT AR$

OPEN AR$ FOR INPUT AS #1
INPUT #1, A11#
INPUT #1, A12#
INPUT #1, A13#
INPUT #1, A14#
INPUT #1, A15#
INPUT #1, A16#
INPUT #1, A17#

```

ARCHIVO MT6.MCD



METODO DE LAS SEIS ECUACIONES

MEDICIONES DE CAMPO:

$\begin{bmatrix} E \\ S \end{bmatrix} := \text{READPRN}(\text{KMS})$

$\begin{bmatrix} E \\ S1 \\ E \\ R1 \\ I \\ S1 \\ I \\ R1 \\ P \\ S1 \\ P \\ R1 \\ Q \\ S1 \\ Q \\ R1 \end{bmatrix} := \text{READPRN}(\text{DATOS1})$

$\begin{bmatrix} E \\ S2 \\ E \\ R2 \\ I \\ S2 \\ I \\ R2 \\ P \\ S2 \\ P \\ R2 \\ Q \\ S2 \\ Q \\ R2 \end{bmatrix} := \text{READPRN}(\text{DATOS2})$

$\begin{bmatrix} E \\ S3 \\ E \\ R3 \\ I \\ S3 \\ I \\ R3 \\ P \\ S3 \\ P \\ R3 \\ Q \\ S3 \\ Q \\ R3 \end{bmatrix} := \text{READPRN}(\text{DATOS3})$

DEFINICION DE VARIABLES:

$j := \sqrt{-1}$

$A := 1 + 1 \cdot j$

$B := 1 + 1 \cdot j$

$C := 1 + 1 \cdot j$

$d_1 := 0.15$

$d_2 := 0.15$

$d_3 := 0.15$

$d_{S1} := 0.5$

d := 0.5

S2

d := 0.5

S3

d := 0.5

R1

d := 0.5

R2

d := 0.5

R3

r := 0.15

x := 0.5

x := 0.5

1

i := 0.5

c := 0.5

BLOQUE PARA CALCULAR LOS FACTORES DE POTENCIA:

$$d_{S1} := \operatorname{atan} \left[ \frac{Q_{S1}}{P_{S1}} \right] \quad d_{S1} = 0.11549302 \quad d_{S1} \cdot \frac{180}{3.1415} = 6.61745775$$

$$d_{S2} := \operatorname{atan} \left[ \frac{Q_{S2}}{P_{S2}} \right] \quad d_{S2} = 0.02256953 \quad d_{S2} \cdot \frac{180}{3.1415} = 1.29317698$$

$$d_{S3} := \operatorname{atan} \left[ \frac{Q_{S3}}{P_{S3}} \right] \quad d_{S3} = 0.06917352 \quad d_{S3} \cdot \frac{180}{3.1415} = 3.96346775$$

$$d_{R1} := -\operatorname{atan} \left[ \frac{Q_{R1}}{P_{R1}} \right] \quad d_{R1} = -0.09896641 \quad d_{R1} \cdot \frac{180}{3.1415} = -5.67052458$$

$$d_{R2} := -\text{atan} \left[ \frac{Q_{R2}}{P_{R2}} \right] \quad d_{R2} = -0.01181978 \cdot \frac{180}{3.1415} = -0.67724351$$

$$d_{R3} := -\text{atan} \left[ \frac{Q_{R3}}{P_{R3}} \right] \quad d_{R3} = -0.07497656 \cdot \frac{180}{3.1415} = -4.29596721$$

$$E_{S1} := \frac{E_{S1}}{\sqrt{3}} \quad E_{S2} := \frac{E_{S2}}{\sqrt{3}} \quad E_{S3} := \frac{E_{S3}}{\sqrt{3}}$$

$$E_{R1} := \frac{E_{R1}}{\sqrt{3}} \quad E_{R2} := \frac{E_{R2}}{\sqrt{3}} \quad E_{R3} := \frac{E_{R3}}{\sqrt{3}}$$

BLOQUE PARA CALCULAR LAS CONSTANTES ABC:

Given

$$E_{S1} \cdot \left[ \cos \left[ d_{11} \right] + j \cdot \sin \left[ d_{11} \right] \right] = A \cdot E_{R1} + B \cdot I_{R1} \cdot \left[ \cos \left[ d_{R1} \right] + j \cdot \sin \left[ d_{R1} \right] \right]$$

$$I_{S1} \cdot \left[ \cos \left[ d_{11} + d_{S1} \right] + j \cdot \sin \left[ d_{11} + d_{S1} \right] \right] = C \cdot E_{R1} + A \cdot I_{R1} \cdot \left[ \cos \left[ d_{R1} \right] + j \cdot \sin \left[ d_{R1} \right] \right]$$

$$E_{S2} \cdot \left[ \cos \left[ d_{22} \right] + j \cdot \sin \left[ d_{22} \right] \right] = A \cdot E_{R2} + B \cdot I_{R2} \cdot \left[ \cos \left[ d_{R2} \right] + j \cdot \sin \left[ d_{R2} \right] \right]$$

$$I_{S2} \cdot \left[ \cos \left[ d_{22} + d_{S2} \right] + j \cdot \sin \left[ d_{22} + d_{S2} \right] \right] = C \cdot E_{R2} + A \cdot I_{R2} \cdot \left[ \cos \left[ d_{R2} \right] + j \cdot \sin \left[ d_{R2} \right] \right]$$

$$E_{S3} \cdot \left[ \cos \left[ d_{33} \right] + j \cdot \sin \left[ d_{33} \right] \right] = A \cdot E_{R3} + B \cdot I_{R3} \cdot \left[ \cos \left[ d_{R3} \right] + j \cdot \sin \left[ d_{R3} \right] \right]$$

$$I_{S3} \cdot \left[ \cos \left[ d_{33} + d_{S3} \right] + j \cdot \sin \left[ d_{33} + d_{S3} \right] \right] = C \cdot E_{R3} + A \cdot I_{R3} \cdot \left[ \cos \left[ d_{R3} \right] + j \cdot \sin \left[ d_{R3} \right] \right]$$

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ d_{11} \\ d_{12} \\ d_{13} \\ d_{21} \\ d_{22} \\ d_{23} \\ d_{31} \\ d_{32} \\ d_{33} \end{bmatrix} := \text{Minerr} \left[ A, B, C, d_{11}, d_{12}, d_{13}, d_{21}, d_{22}, d_{23}, d_{31}, d_{32}, d_{33} \right]$$

RESULTADOS CALCULADOS

A	=	1.27432795 + 0.13765813j	D	=	0.26804839	P	=	$\frac{180}{3.1415}$	=	14.7895197
B	=	-69.27215382 + 29.22784334j	D	=	0.24139157d	P	=	$\frac{180}{3.1415}$	=	13.83112592
C	=	-0.00115204 + 0.00101656j	D	=	0.26336618d	P	=	$\frac{180}{3.1415}$	=	15.09021548

|A| = 1.28174158

|B| = 75.22468804

|C| = 0.00153643

BLOQUE PARA CALCULAR LOS PARAMETROS  $r_x \times y \times 1$

Given

$$A = \begin{bmatrix} 1 - \frac{1}{2} \frac{x.s}{r.s} \\ \frac{1}{2} \frac{2.x}{r.s} \end{bmatrix} + j \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \frac{2.x}{r.s} \\ \frac{1}{2} \frac{1}{r.s} \end{bmatrix}$$

$$B = r.s \cdot \begin{bmatrix} 1 - \frac{3.x}{2} \frac{x.s}{r.s} \\ \frac{1}{2} \frac{3.x}{r.s} \end{bmatrix} + j \cdot x.s \cdot \begin{bmatrix} 1 - \frac{6.x}{2} \frac{x.s}{r.s} \\ \frac{1}{2} \frac{6.x}{r.s} \end{bmatrix}$$

$$C = \frac{1}{s} \cdot \begin{bmatrix} 1 - \frac{6.x}{2} \frac{x.s}{r.s} \\ \frac{1}{2} \frac{6.x}{r.s} \end{bmatrix} + j \cdot \begin{bmatrix} 1 - \frac{6.x}{2} \frac{x.s}{r.s} \\ \frac{1}{2} \frac{6.x}{r.s} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} r \\ x \\ 1 \end{bmatrix} := \text{Minvert} \begin{bmatrix} r_x \times y \times 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

VALORES CALCULADOS

$$r = 0.23149423$$

$$x = 0.31289753$$

$$x_1 = 24.48568935$$

$$r's = 6.94482683$$

$$x's = 9.38692583$$

$$x_1's = 734.57068035$$

INDUCTANCIA (HENRIOS)

$$i := x' \frac{s}{2 \cdot 3.1415 \cdot 60}$$

CAPACITANCIA (FARADIOS)

$$c := \frac{1}{2 \cdot 3.1415 \cdot 60 \cdot x_1's}$$

WRITEPRN(SALIDA) :=  $\begin{bmatrix} r \\ i \\ c \end{bmatrix}$

ARCHIVO REPORTE.BAS

```
INPUT #1, A18#
CLOSE #1
```

DATOS3:

```
LOCATE 4, 25: PRINT "INTRODUCCION DE DATOS LECTURA "; I
      ' Enter the other fields of the record:
LOCATE 7, 10: PRINT "1 VOLTAJE DE ENTRADA FASE (Vs) EN VOLT. "; A11#
LOCATE 7, 10: INPUT "1 VOLTAJE DE ENTRADA FASE (Vs) EN VOLT. ", A1#
IF A1# = 0 THEN A1# = A11#
LOCATE 8, 10: PRINT "2 VOLTAJE DE SALIDA FASE (Vr) EN VOLT. "; A12#
LOCATE 8, 10: INPUT "2 VOLTAJE DE SALIDA FASE (Vr) EN VOLT. ", A2#
IF A2# = 0 THEN A2# = A12#
LOCATE 9, 10: PRINT "3 CORRIENTE DE ENTRADA (Is) EN AMP. "; A13#
LOCATE 9, 10: INPUT "3 CORRIENTE DE ENTRADA (Is) EN AMP. ", A3#
IF A3# = 0 THEN A3# = A13#
LOCATE 10, 10: PRINT "4 CORRIENTE DE SALIDA (Ir) EN AMP. "; A14#
LOCATE 10, 10: INPUT "4 CORRIENTE DE SALIDA (Ir) EN AMP. ", A4#
IF A4# = 0 THEN A4# = A14#
LOCATE 11, 10: PRINT "5 POTENCIA REAL DE ENTRADA (Ps) EN WATT. "; A15#
LOCATE 11, 10: INPUT "5 POTENCIA REAL DE ENTRADA (Ps) EN WATT. ", A5#
IF A5# = 0 THEN A5# = A15#
LOCATE 12, 10: PRINT "6 POTENCIA REAL DE SALIDA (Pr) EN WATT. "; A16#
LOCATE 12, 10: INPUT "6 POTENCIA REAL DE SALIDA (Pr) EN WATT. ", A6#
IF A6# = 0 THEN A6# = A16#
LOCATE 13, 10: PRINT "7 POTENCIA REACTIVA DE ENTRADA (Qs) EN VAR. "; A17#
LOCATE 13, 10: INPUT "7 POTENCIA REACTIVA DE ENTRADA (Qs) EN VAR. ", A7#
IF A7# = 0 THEN A7# = A17#
LOCATE 14, 10: PRINT "8 POTENCIA REACTIVA DE SALIDA (Qr) EN VAR. "; A18#
LOCATE 14, 10: INPUT "8 POTENCIA REACTIVA DE SALIDA (Qr) EN VAR. ", A8#
IF A8# = 0 THEN A8# = A18#
```

' VERIFICACION

```
R$ = "N"
DO WHILE R$ <> "S" OR R$ <> "s"
LOCATE 17, 10: INPUT "DATOS CORRECTOS S/N "; R$
IF R$ = "N" OR R$ = "n" THEN
  LOCATE 20, 10: INPUT "DIGITE EL NUMERO A CORREGIR "; N
  SELECT CASE N
    CASE 1
      LOCATE 7, 10: INPUT "1 VOLTAJE DE ENTRADA FASE (Vs) EN VOLT.
      ", A1#
      IF A1# = 0 THEN A1# = A11#
    CASE 2
      LOCATE 8, 10: INPUT "2 VOLTAJE DE SALIDA FASE (Vr) EN VOLT.
      ", A2#
      IF A2# = 0 THEN A2# = A12#
    CASE 3
      LOCATE 9, 10: INPUT "3 CORRIENTE DE ENTRADA (Is) EN AMP.
      ", A3#
      IF A3# = 0 THEN A3# = A13#
    CASE 4
      LOCATE 10, 10: INPUT "4 CORRIENTE DE SALIDA (Ir) EN AMP.
      ", A4#
      IF A4# = 0 THEN A4# = A14#
    CASE 5
      LOCATE 11, 10: INPUT "5 POTENCIA REAL DE ENTRADA (Ps) EN WATT.
      ", A5#
      IF A5# = 0 THEN A5# = A15#
    CASE 6
```



```

LOCATE 12, 10: INPUT "6 POTENCIA REAL DE SALIDA (Pr) EN WATT.
", A6#
IF A6# = 0 THEN A6# = A16#
CASE 7
LOCATE 13, 10: INPUT "7 POTENCIA REACTIVA DE ENTRADA (Qs) EN VAR
", A7#
IF A7# = 0 THEN A7# = A17#
CASE 8
LOCATE 14, 10: INPUT "8 POTENCIA REACTIVA DE SALIDA (Qr) EN VAR
", A8#
IF A8# = 0 THEN A8# = A18#
END SELECT

ELSE
IF R$ = "S" OR R$ = "s" THEN EXIT DO
END IF
LOOP

' Put the new record in the file
' with the WRITE # statement:
OPEN AR$ FOR OUTPUT AS #1
WRITE #1, A1#
WRITE #1, A2#
WRITE #1, A3#
WRITE #1, A4#
WRITE #1, A5#
WRITE #1, A6#
WRITE #1, A7#
WRITE #1, A8#
CLOSE #1

NEXT I
END

```

```

CLOSE #1
CLS
FOR I = 1 TO 40
LOCATE 1, 41 - I: PRINT CHR$(205)
LOCATE 1, 40 + I: PRINT CHR$(205)
FOR J = 1 TO 200: NEXT
NEXT I

```

```

LOCATE 1, 1: PRINT "I"
LOCATE 1, 80: PRINT ";"

```

```

FOR I = 1 TO 40
LOCATE 23, 41 - I: PRINT CHR$(205)
LOCATE 23, 40 + I: PRINT CHR$(205)
FOR J = 1 TO 200: NEXT
NEXT I

```

```

LOCATE 23, 1: PRINT "H"
LOCATE 23, 80: PRINT "<"

```

```

FOR I = 2 TO 22
LOCATE I, 1: PRINT CHR$(186)
LOCATE 24 - I, 80: PRINT CHR$(186)
FOR J = 1 TO 200: NEXT
NEXT I

```

```

'RUTINA PRINCIPAL DE IMPRESION

```

```

C$ = ""
DO
GOSUB BLANCO
LOCATE 3, 30: PRINT "OPCIONES DE LECTURA DE DATOS"
LOCATE 7, 15: PRINT "DATOS DE ENTRADA .....1 "
LOCATE 9, 15: PRINT "DATOS DE SALIDA .....2 "
LOCATE 11, 15: PRINT "DATOS DE ENTRADA Y DE SALIDA .....3 "
LOCATE 13, 15: PRINT "SALIR AL MENU ANTERIOR .....4 "

```

```

DO
  C$ = INKEY$
  LOOP WHILE C$ = ""
  IF VAL(C$) > 0 AND VAL(C$) < 4 THEN
    LOCATE 17, 15: INPUT "SI DESEA IMPRIMIR PRESIONE (I) Y [ENTER] ", S$
    IF S$ = "i" OR S$ = "I" THEN SW = 1 ELSE SW = 0
  : SELECT CASE C$
    CASE "1"
      IF SW = 0 THEN GOSUB BLANCO: GOSUB ENTRADA ELSE GOSUB LENTRADA: LPRINT C
    HR$(12)
    CASE "2"
      IF SW = 0 THEN GOSUB BLANCO: GOSUB SALIDA ELSE GOSUB LSALIDA: LPRINT CHR
    $(12)
    CASE "3"
      IF SW = 0 THEN
        GOSUB BLANCO
        GOSUB ENTRADA
        GOSUB BLANCO
        GOSUB SALIDA
      ELSE
        GOSUB LENTRADA
        GOSUB LSALIDA
        LPRINT CHR$(12)
      END IF
  END SELECT
END SELECT

```

```
END IF
LOOP WHILE C$ <> "4"
CLS
END
```

```
BLANCO:
FOR J = 2 TO 21
LOCATE J, 2: PRINT SPACE$(78)
NEXT
RETURN
```

ENTRADA:

```
OPEN "LINEA.PRN" FOR INPUT AS #1
INPUT #1, A11$
INPUT #1, A12$
INPUT #1, A13$
INPUT #1, A14$
CLOSE #1
```

```
OPEN "kms.PRN" FOR INPUT AS #1
INPUT #1, A15#
CLOSE #1
```

```
OPEN "DATOS1.PRN" FOR INPUT AS #1
INPUT #1, L11#
INPUT #1, L12#
INPUT #1, L13#
INPUT #1, L14#
INPUT #1, L15#
INPUT #1, L16#
INPUT #1, L17#
INPUT #1, L18#
CLOSE #1
```

```
OPEN "DATOS2.PRN" FOR INPUT AS #1
INPUT #1, L21#
INPUT #1, L22#
INPUT #1, L23#
INPUT #1, L24#
INPUT #1, L25#
INPUT #1, L26#
INPUT #1, L27#
INPUT #1, L28#
CLOSE #1
```

```
OPEN "DATOS3.PRN" FOR INPUT AS #1
INPUT #1, L31#
INPUT #1, L32#
INPUT #1, L33#
INPUT #1, L34#
INPUT #1, L35#
INPUT #1, L36#
INPUT #1, L37#
INPUT #1, L38#
CLOSE #1
```

```
LOCATE 3, 10: PRINT "NOMBRE DEL TERMINAL DE ENTRADA "; A11$
LOCATE 4, 10: PRINT "CODIGO DEL TERMINAL DE ENTRADA "; A12$
LOCATE 5, 10: PRINT "NOMBRE DEL TERMINAL DE SALIDA "; A13$
LOCATE 6, 10: PRINT "CODIGO DEL TERMINAL DE SALIDA "; A14$
```

LOCATE 7, 10: PRINT "LONGITUD DE LA LINEA EN KMS. "; AI5#

'\*\*\*\*\* POR AQUI VOY

LOCATE 9, 17: PRINT "DESCRIPCION"; TAB(38); "LECTURA 1"; TAB(52); "LECTURA 2"; TAB(67); "LECTURA 3"

LOCATE 11, 3: PRINT "VOLT. DE ENT. FASE (Vs) EN VOLT. "; TAB(39); L11#; TAB(53); L21#; TAB(68); L31#

LOCATE 12, 3: PRINT "VOLT. DE SAL. FASE (Vr) EN VOLT. "; TAB(39); L12#; TAB(53); L22#; TAB(68); L32#

LOCATE 13, 3: PRINT "CORRI. DE ENT. (Is) EN AMP. "; TAB(39); L13#; TAB(53); L23#; TAB(68); L33#

LOCATE 14, 3: PRINT "CORRI. DE SAL. (Ir) EN AMP. "; TAB(39); L14#; TAB(53); L24#; TAB(68); L34#

LOCATE 15, 3: PRINT "POTEN. REAL DE ENT. (Ps) EN WATT. "; TAB(39); L15#; TAB(53); L25#; TAB(68); L35#

LOCATE 16, 3: PRINT "POTEN. REAL DE SAL. (Pr) EN WATT. "; TAB(39); L16#; TAB(53); L26#; TAB(68); L36#

LOCATE 17, 3: PRINT "POTEN. REAC. DE ENT. (Qs) EN VAR. "; TAB(39); L17#; TAB(53); L27#; TAB(68); L37#

LOCATE 18, 3: PRINT "POTEN. REAC. DE SAL. (Qr) EN VAR. "; TAB(39); L18#; TAB(53); L28#; TAB(68); L38#

LOCATE 21, 25: INPUT "PRESIONE [ENTER] PARA CONTINUAR ", T\$

RETURN

LENTADA:

OPEN "LINEA.PRN" FOR INPUT AS #1

INPUT #1, AI1\$

INPUT #1, AI2\$

INPUT #1, AI3\$

INPUT #1, AI4\$

CLOSE #1

OPEN "kms.PRN" FOR INPUT AS #1

INPUT #1, AI5#

CLOSE #1

OPEN "DATOS1.PRN" FOR INPUT AS #1

INPUT #1, L11#

INPUT #1, L12#

INPUT #1, L13#

INPUT #1, L14#

INPUT #1, L15#

INPUT #1, L16#

INPUT #1, L17#

INPUT #1, L18#

CLOSE #1

OPEN "DATOS2.PRN" FOR INPUT AS #1

INPUT #1, L21#

INPUT #1, L22#

INPUT #1, L23#

INPUT #1, L24#

INPUT #1, L25#

INPUT #1, L26#

INPUT #1, L27#

INPUT #1, L28#

CLOSE #1

```
OPEN "DATOS3.PRN" FOR INPUT AS #1
INPUT #1, L31#
INPUT #1, L32#
INPUT #1, L33#
INPUT #1, L34#
INPUT #1, L35#
INPUT #1, L36#
INPUT #1, L37#
INPUT #1, L38#
CLOSE #1
```

```
LPRINT : LPRINT : LPRINT TAB(25); "DATOS DE ENTRADA": LPRINT :
```

```
LPRINT TAB(10); "NOMBRE DEL TERMINAL DE ENTRADA "; AI1$
LPRINT TAB(10); "CODIGO DEL TERMINAL DE ENTRADA "; AI2$
LPRINT TAB(10); "NOMBRE DEL TERMINAL DE SALIDA "; AI3$
LPRINT TAB(10); "CODIGO DEL TERMINAL DE SALIDA "; AI4$
LPRINT TAB(10); "LONGITUD DE LA LINEA EN KMS. "; AI5#
```

```
LPRINT
LPRINT
LPRINT TAB(10); "DESCRIPCION"; TAB(42); "LECTURA 1"; TAB(54); "LECTURA 2"; TAB(67); "LECTURA 3"
LPRINT
LPRINT TAB(10); "VOLT. DE ENT. FASE (Vs) EN VOLT."; TAB(43); L11#; TAB(55); L21#; TAB(68); L31#
LPRINT TAB(10); "VOLT. DE SAL. FASE (Vr) EN VOLT."; TAB(43); L12#; TAB(55); L22#; TAB(68); L32#
LPRINT TAB(10); "CORRI. DE ENT. (Is) EN AMP. "; TAB(43); L13#; TAB(55); L23#; TAB(68); L33#
LPRINT TAB(10); "CORRI. DE SAL. (Ir) EN AMP. "; TAB(43); L14#; TAB(55); L24#; TAB(68); L34#
LPRINT TAB(10); "POTEN. REAL DE ENT. (Ps) EN WATT."; TAB(43); L15#; TAB(55); L25#; TAB(68); L35#
LPRINT TAB(10); "POTEN. REAL DE SAL. (Pr) EN WATT."; TAB(43); L16#; TAB(55); L26#; TAB(68); L36#
LPRINT TAB(10); "POTEN. REAC. DE ENT. (Qs) EN VAR."; TAB(43); L17#; TAB(55); L27#; TAB(68); L37#
LPRINT TAB(10); "POTEN. REAC. DE SAL. (Qr) EN VAR."; TAB(43); L18#; TAB(55); L28#; TAB(68); L38#
```

```
LOCATE 21, 25: INPUT "PRESIONE [ENTER] PARA CONTINUAR ", T$
RETURN
```

SALIDA:

```
OPEN "LINEA.PRN" FOR INPUT AS #1
INPUT #1, AI1$
INPUT #1, AI2$
INPUT #1, AI3$
INPUT #1, AI4$
CLOSE #1
```

```
OPEN "kms.PRN" FOR INPUT AS #1
INPUT #1, AI5#
CLOSE #1
```

```
OPEN "SALIDA.PRN" FOR INPUT AS #1
INPUT #1, S1#
INPUT #1, S2#
```

```
INPUT #1, S3#  
CLOSE #1
```

```
LOCATE 3, 10: PRINT "NOMBRE DEL TERMINAL DE ENTRADA "; AI1$  
LOCATE 4, 10: PRINT "CODIGO DEL TERMINAL DE ENTRADA "; AI2$  
LOCATE 5, 10: PRINT "NOMBRE DEL TERMINAL DE SALIDA "; AI3$  
LOCATE 6, 10: PRINT "CODIGO DEL TERMINAL DE SALIDA "; AI4$  
LOCATE 7, 10: PRINT "LONGITUD DE LA LINEA EN KMS. "; AI5#  
LOCATE 8, 10: PRINT "RESISTENCIA (OHM/KM) "; S1#  
LOCATE 9, 10: PRINT "INDUCTANCIA (HENRIOS/KM) "; S2#  
LOCATE 10, 10: PRINT "CAPACITANCIA (FARADIOS/KM) "; S3#
```

```
LOCATE 21, 25: INPUT "PRESIONE [ENTER] PARA CONTINUAR ", T$
```

```
RETURN
```

```
LSALIDA:
```

```
OPEN "LINEA.PRN" FOR INPUT AS #1
```

```
INPUT #1, AI1$
```

```
INPUT #1, AI2$
```

```
INPUT #1, AI3$
```

```
INPUT #1, AI4$
```

```
CLOSE #1
```

```
OPEN "kms.PRN" FOR INPUT AS #1
```

```
INPUT #1, AI5#
```

```
CLOSE #1
```

```
OPEN "SALIDA.PRN" FOR INPUT AS #1
```

```
INPUT #1, S1#
```

```
INPUT #1, S2#
```

```
INPUT #1, S3#
```

```
CLOSE #1
```

```
LPRINT : LPRINT : LPRINT TAB(25); "DATOS DE SALIDA": LPRINT :
```

```
LPRINT TAB(10); "NOMBRE DEL TERMINAL DE ENTRADA "; AI1$
```

```
LPRINT TAB(10); "CODIGO DEL TERMINAL DE ENTRADA "; AI2$
```

```
LPRINT TAB(10); "NOMBRE DEL TERMINAL DE SALIDA "; AI3$
```

```
LPRINT TAB(10); "CODIGO DEL TERMINAL DE SALIDA "; AI4$
```

```
LPRINT TAB(10); "LONGITUD DE LA LINEA EN KMS. "; AI5#
```

```
LPRINT TAB(10); "RESISTENCIA (OHM/KM) "; S1$
```

```
LPRINT TAB(10); "INDUCTANCIA (HENRIOS/KM) "; S2$
```

```
LPRINT TAB(10); "CAPACITANCIA (FARADIOS/KM) "; S3#
```

```
LOCATE 21, 20: INPUT "FIN DE IMPRESION PRESIONE [ENTER] PARA CONTINUAR ", T$
```

```
RETURN
```

ARCHIVO FINAL.BAS

11\$ = "UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR"  
12\$ = "FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA"  
13\$ = "PRESENTADO POR:"  
14\$ = "Csar Rolando Contreras Obispo"  
15\$ = "Maximiliano Antonio Palencia"  
16\$ = "Jaime Ines Quisky Bonilla"  
17\$ = "Omar Antonio Medrano"

CLS

FOR I = 1 TO 40  
LOCATE 1, 41 - I: PRINT CHR\$(205)  
LOCATE 1, 40 + I: PRINT CHR\$(205)  
FOR J = 1 TO 200: NEXT  
NEXT I

LOCATE 1, 1: PRINT "I"  
LOCATE 1, 80: PRINT " ;"

FOR I = 1 TO 40  
LOCATE 23, 41 - I: PRINT CHR\$(205)  
LOCATE 23, 40 + I: PRINT CHR\$(205)  
FOR J = 1 TO 200: NEXT  
NEXT I

LOCATE 23, 1: PRINT "H"  
LOCATE 23, 80: PRINT "<"

FOR I = 2 TO 22  
LOCATE I, 1: PRINT CHR\$(186)  
LOCATE 24 - I, 80: PRINT CHR\$(186)  
FOR J = 1 TO 200: NEXT  
NEXT I

FOR I = 1 TO LEN(11\$)  
LOCATE 4, 40 - FIX(I / 2): PRINT MID\$(11\$, FIX(LEN(11\$) / 2) - FIX(I / 2) + 1,  
)  
FOR J = 1 TO 400: NEXT  
NEXT  
FOR I = 1 TO LEN(12\$)  
LOCATE 5, 40 - FIX(I / 2): PRINT MID\$(12\$, FIX(LEN(12\$) / 2) - FIX(I / 2) + 1,  
)  
FOR J = 1 TO 400: NEXT  
NEXT  
FOR I = 1 TO LEN(13\$)  
LOCATE 8, 40 - FIX(I / 2): PRINT MID\$(13\$, FIX(LEN(13\$) / 2) - FIX(I / 2) + 1,  
)  
FOR J = 1 TO 400: NEXT  
NEXT  
FOR I = 1 TO LEN(14\$)  
COLOR 2, 0  
LOCATE 10, 40 - FIX(I / 2): PRINT MID\$(14\$, FIX(LEN(14\$) / 2) - FIX(I / 2) + 1,  
I)  
FOR J = 1 TO 400: NEXT  
NEXT  
FOR I = 1 TO LEN(15\$)  
COLOR 3, 0  
LOCATE 11, 40 - FIX(I / 2): PRINT MID\$(15\$, FIX(LEN(15\$) / 2) - FIX(I / 2) + 1,  
I)  
FOR J = 1 TO 400: NEXT  
NEXT



```
FOR I = 1 TO LEN(16$)
COLOR 14, 0
LOCATE 12, 40 - FIX(I / 2): PRINT MID$(16$, FIX(LEN(16$) / 2) - FIX(I / 2) + 1,
I)
FOR J = 1 TO 400: NEXT
NEXT
FOR I = 1 TO LEN(17$)
COLOR 13, 0
LOCATE 13, 40 - FIX(I / 2): PRINT MID$(17$, FIX(LEN(17$) / 2) - FIX(I / 2) + 1,
I)
FOR J = 1 TO 400: NEXT
NEXT

COLOR 22, 0
LOCATE 19, 20: PRINT " Presione cualquier tecla para continuar "
DO
a$ = INKEY$
LOOP WHILE a$ = ""
COLOR 7, 0
```

## ANEXO D.

### Definición de Series de Taylor y Maclaurin

En ésta parte se desarrolla un procedimiento general para hallar series de potencias para una función con derivadas de todo orden.

El desarrollo de las series de potencias como representación de funciones se debe a las contribuciones de muchos matemáticos; pero los nombres más sobresalientes asociados a las series de potencias son Brook Taylor (1685-1731) y Colin Maclaurin (1698-1796)

### Teorema sobre la forma de una serie de potencias convergente.

Si  $f$  viene representada por una serie de potencia

$$f(x) = a_0 + a_1(x-c) + a_2(x-c)^2 + a_3(x-c)^3 + \dots$$

Para toda  $x$  en un intervalo abierto  $I$  que contiene a  $c$ , entonces:

$$a_n = f^{(n)}(c)/n!$$

y

$$f(x) = f(c) + f'(c)(x-c) + \frac{f''(c)}{2!}(x-c)^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(c)}{n!}(x-c)^n + \dots$$

Demostración:

Si  $\sum a_n (x-c)^n$  tiene un radio de convergencia  $R^1$  la  $n$ -ésima de  $f$  existe para  $|x-c| < R$  y por derivadas sucesivas tenemos:

$$f^{(0)}(x) = a_0 + a_1(x-c) + a_2(x-c)^2 + a_3(x-c)^3 + a_4(x-c)^4 + \dots$$

$$f^{(1)}(x) = a_1 + 2a_2(x-c) + 3a_3(x-c)^2 + 4a_4(x-c)^3 + \dots$$

$$f^{(2)}(x) = 2a_2 + 3!a_3(x-c) + (4)(3a_4)(x-c)^2 + \dots$$

⋮  
⋮  
⋮

$$f^{(n)}(c) = 0!a_0, f^{(1)}(c) = 1!a_1, f^{(2)}(c) = 2!a_2, f^{(3)}(c) = 3!a_3,$$

y en general:

$$f^{(n)}(c) = n! a_n$$

Despejando  $a_n$ , encontramos que los coeficientes de la representación en serie de potencia de  $f(x)$  es:

$$a_n = \frac{f^{(n)}(c)}{n!}$$

Del teorema anterior, se observa que los coeficientes de la serie de potencia son los del polinomio de Taylor de  $f(x)$  en  $x$ . Por ésta razón, la serie se llama la serie de Taylor de  $f(x)$  en  $c$ . Estos es:

$$\sum \frac{f^{(n)}(c)}{n!} (x-c)^n = f(c) + f'(c)(x-c) + \dots + \frac{f^{(n)}(c)}{n!}$$

Ejemplo:

Sea  $f(x) = \sinh(x)$ , formar la serie de potencias, para  $c = 0$  de  $n = 0$  hasta 6

$$\sum \frac{f^{(n)}(0)}{n!} x^n = f(0) + f^{(1)}(0)x + \frac{f^{(2)}(0)}{2!} x^2 + \frac{f^{(3)}(0)}{3!} x^3 + \frac{f^{(4)}(0)}{4!} x^4 + \frac{f^{(5)}(0)}{5!} x^5 + \frac{f^{(6)}(0)}{6!} x^6$$

$$f(x) = \sinh(x)$$

$$f^{(1)}(x) = \cosh(x)$$

$$f^{(2)}(x) = \sinh(x)$$

$$f^{(3)}(x) = \cosh(x)$$

$$f^{(4)}(x) = \sinh(x)$$

$$f^{(5)}(x) = \cosh(x)$$

$$f^{(6)}(x) = \sinh(x)$$

$$f^{(0)}(0) = \sinh(0) = 0$$

$$f^{(1)}(0) = \cosh(0) = 1$$

$$f^{(2)}(0) = \sinh(0) = 0$$

$$f^{(2)}(0) = \text{Cosh}(0) = 1$$

$$f^{(4)}(0) = \text{Senh}(0) = 0$$

$$f^{(6)}(0) = \text{Cosh}(0) = 1$$

$$f^{(8)}(0) = \text{Senh}(0) = 0$$

Luego, la función serie anterior queda de la siguiente manera; para los primeros 5 terminos:

$$f(x) = \sum \frac{f^{(n)}(0)}{n!} x^n = 0 + (1)x + \frac{(0)x^2}{2!} + \frac{(1)x^3}{3!} + \frac{(0)x^4}{4!} + \frac{(1)x^5}{5!} + \frac{(0)x^6}{6!}$$

$$f(x) = \text{Senh}(x) = x + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!}$$

Lo cual si se sustituye  $x = \theta = s/(z/z')$  se culmina en una ec. equivalente a la 2.34 mostrada en el capítulo II. De la misma manera se resuelve la ec. 2.34

## ANEXO E

### MANUAL DE OPERATIVIDAD DEL USUARIO

Para utilizar el programa denominado método de las seis ecuaciones, el usuario inicialmente deberá digitar la letra M, estando en el DOS y la unidad de disco que contiene el programa. Con lo que accederá el programa, apareciendo la pantalla 1, de presentación, luego al presionar ENTER o cualquier tecla ingresará a la pantalla 2 del menú principal, en el aparecen las siguientes opciones:

- Introducción de datos
- Cálculo
- Reportes
- Salir

#### Introducción de datos:

En ésta parte del programa se introducen los datos generales de la línea a tomar las lecturas y seguidamente de esto se solicita al usuario la introducción de las lecturas tomadas de los equipos de medición, ver figuras de pantallas 3, 4, 5 Y 6.

#### Cálculos:

Al solicitar la opción de cálculos, previamente se deben haber introducido los datos con los que el programa inicializará los cálculos. En ésta parte básicamente está operando el Mathcad y solo aparece un aviso en el que se indica que se están efectuando los cálculos (pantalla 7). Luego de encontrar solución, automáticamente se retorna al menú principal (pantalla 2)

#### Reportes:

Los reportes son los resultados obtenidos en ésta parte (fig. pantalla 8) aparecen las siguientes opciones:

- Datos de entrada
- Datos de salida
- Datos de entrada y salida
- Salir

Según los datos que el usuario solicite, escogerá la opción ya sea que solo se visualice en el monitor o también imprimir reporte (ver impresión de reportes).

Con lo que prácticamente el usuario ha completado un cálculo para los datos que se introdujeron inicialmente, al haber terminado de visualizar reportes, se puede regresar perfectamente al menú principal, de dónde es posible seguir introduciendo datos para otra línea, o salir completamente del programa, si la opción es salir aparecerá la pantalla 9, y al presionar cualquier tecla se retorna al DOS.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PROGRAMA PARA EL CALCULO DE  
LOS PARAMETROS ELECTRICOS DE  
UNA LINEA DE TRANSMISION

METODO DE LAS SEIS ECUACIONES

Presione cualquier tecla para continuar

PANTALLA 1

MENU PRINCIPAL

1 INTRODUCCION

2 CALCULO

3 REPORTES

4 SALIR

DIGITE SU OPCION

PANTALLA 2

INTRODUCCION DE DATOS DE LINEA

1 NOMBRE DEL TERMINAL DE ENTRADA SAN MARTIN  
2 CODIGO DEL TERMINAL DE ENTRADA 43  
3 NOMBRE DEL TERMINAL DE SALIDA NUEVO CUSCATLAN  
4 CODIGO DEL TERMINAL DE SALIDA 42  
5 LONGITUD DE LA LINEA EN KMS. 30

DATOS CORRECTOS S/N ? N

DIGITE EL NUMERO A CORREGIR ? 1

PANTALLA 3



DATOS1.PRN

INTRODUCCION DE DATOS LECTURA 1

1	VOLTAJE DE ENTRADA FASE ( $V_s$ ) EN VOLT.	109500
2	VOLTAJE DE SALIDA FASE ( $V_r$ ) EN VOLT.	102900
3	CORRIENTE DE ENTRADA ( $I_s$ ) EN AMP.	228
4	CORRIENTE DE SALIDA ( $I_r$ ) EN AMP.	220.8
5	POTENCIA REAL DE ENTRADA ( $P_s$ ) EN WATT.	43.1
6	POTENCIA REAL DE SALIDA ( $P_r$ ) EN WATT.	42.3
7	POTENCIA REACTIVA DE ENTRADA ( $Q_s$ ) EN VAR.	5
8	POTENCIA REACTIVA DE SALIDA ( $Q_r$ ) EN VAR.	4.2

DATOS CORRECTOS S/N 7

PANTALLA 4

DATOS2.PRN

INTRODUCCION DE DATOS LECTURA 2

1 VOLTAJE DE ENTRADA FASE ( $V_s$ ) EN VOLT.	107100
2 VOLTAJE DE SALIDA FASE ( $V_r$ ) EN VOLT.	102200
3 CORRIENTE DE ENTRADA ( $I_s$ ) EN AMP.	241.2
4 CORRIENTE DE SALIDA ( $I_r$ ) EN AMP.	231.6
5 POTENCIA REAL DE ENTRADA ( $P_s$ ) EN WATT.	43.3
6 POTENCIA REAL DE SALIDA ( $P_r$ ) EN WATT.	42.6
7 POTENCIA REACTIVA DE ENTRADA ( $Q_s$ ) EN VAR.	3
8 POTENCIA REACTIVA DE SALIDA ( $Q_r$ ) EN VAR.	3.2

DATOS CORRECTOS S/N ?

PANTALLA 5

DATOS3.PRN

INTRODUCCION DE DATOS LECTURA 3

1	VOLTAJE DE ENTRADA FASE ( $V_s$ ) EN VOLT.	108900
2	VOLTAJE DE SALIDA FASE ( $V_r$ ) EN VOLT.	104000
3	CORRIENTE DE ENTRADA ( $I_s$ ) EN AMP.	435.6
4	CORRIENTE DE SALIDA ( $I_r$ ) EN AMP.	224.4
5	POTENCIA REAL DE ENTRADA ( $P_s$ ) EN WATT.	77.9
6	POTENCIA REAL DE SALIDA ( $P_r$ ) EN WATT.	42.3
7	POTENCIA REACTIVA DE ENTRADA ( $Q_s$ ) EN VAR.	1
8	POTENCIA REACTIVA DE SALIDA ( $Q_r$ ) EN VAR.	.5

DATOS CORRECTOS S/N ? N

DIGITE EL NUMERO A CORREGIR ? 5

PANTALLA 6

---

FAVOR ESPERE UN MOMENTO

SE ESTAN PROCESANDO DATOS

GRACIAS

PANTALLA 7

OPCIONES DE LECTURA DE DATOS

DATOS DE ENTRADA .....	1
DATOS DE SALIDA .....	2
DATOS DE ENTRADA Y DE SALIDA .....	3
SALIR AL MENU ANTERIOR .....	4

PANTALLA 8

DATOS DE ENTRADA

NOMBRE DEL TERMINAL DE ENTRADA SAN MARTIN  
 CODIGO DEL TERMINAL DE ENTRADA 43  
 NOMBRE DEL TERMINAL DE SALIDA NUEVO CUSCATLAN  
 CODIGO DEL TERMINAL DE SALIDA 42  
 LONGITUD DE LA LINEA EN KMS. 30

DESCRIPCION	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3
VOLT. DE ENT. FASE ( $V_s$ ) EN VOLT.	109500	107100	108900
VOLT. DE SAL. FASE ( $V_r$ ) EN VOLT.	102900	102200	104000
CORRI. DE ENT. ( $I_s$ ) EN AMP.	228	241.2	435.6
CORRI. DE SAL. ( $I_r$ ) EN AMP.	220.8	231.6	224.4
POTEN. REAL DE ENT. ( $P_s$ ) EN WATT.	43.1	43.3	
77.90000000000001			
POTEN. REAL DE SAL. ( $P_r$ ) EN WATT.	42.3	42.6	42.3
POTEN. REAC. DE ENT. ( $Q_s$ ) EN VAR.	5	3	1
POTEN. REAC. DE SAL. ( $Q_r$ ) EN VAR.	4.2	3.2	.5

DATOS DE SALIDA

NOMBRE DEL TERMINAL DE ENTRADA SAN MARTIN  
 CODIGO DEL TERMINAL DE ENTRADA 43  
 NOMBRE DEL TERMINAL DE SALIDA NUEVO CUSCATLAN  
 CODIGO DEL TERMINAL DE SALIDA 42  
 LONGITUD DE LA LINEA EN KMS. 30  
 RESISTENCIA (OHM/KM)  
 INDUCTANCIA (HENRIOS/KM)  
 CAPACITANCIA (FARADIOS/KM) .000003586

REPORTE

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

PRESENTADO POR:

César Rolando Contreras Obispo  
Maximiliano Antonio Palencia  
Jaime Ines Quisky Bonilla  
Omar Antonio Medrano

Presione cualquier tecla para continuar

PANTALLA 9

ANEXO F

"DATOS RECOPIADOS LINEA SAN MARTIN-NUEVO CUSCATLAN"



NUEVO CUSCATLAN (42)

1 ( 2 ) POWER OPER

1995-09-21 10.34.38

TRANSMISION

	A	A		
	1	1		
	1	1		
A39.70 MW	1	1	A 0.07 MW	
1.20 MVAR	71AAA	72AAA	0.07 MVAR	
000.0 AMP	AAA	AAA	1.6 AMP	
	1	1		
	1	1		
	1	1		
BARRA 1	1	1	BARRA 2	
107.0 KV	1 7-110 *	* 7-130.1	107.0 KV	
59.99 HZ	1	1	59.99 HZ	
	1	1		
	1	1		
	1	1		
	1	1		
	1	1		
7-38-42-01	1	1	7-42-43-01	
-----				
( 4.5 MW	1	1	( 42.3 MW	
2.5 MVAR	1	1	0.5 MVAR	
15.6 AMP	1 7-21 /	7-22 /	224.4 AMP	
100.4 KV	1	1	104.0 KV	
	1	E		
	1			
	1			
	1			
7-41-42-01	1	1		
-----				
( 1.9 MW	1	1		
5.0 MVAR	1	1		
25.8 AMP	1 7-31 /	7-32		
105.6 KV	1	1		
	1	E		

1995-09-21 10.34.41 5 DE NOVIEMBRE

OPERABLE

TRANSMISION

	1BARRA 2	BARRA 1	1	
:-:	1104.3 KV	105.3 KV		
E 1	159.67 HZ	59.86 HZ		
/	1			
C-----+-----:				1
7-30-43-01	7-5101	1		1
+---@---+---*---@---+-----+				
( 77.6 MW	1	7-53	7-52	1
3.1 MVAR	1			1
362.2 AMP	1			1
104.4 KV	1			1
:-:	1			:-:
E 1	1			1 E
/	1			/
C-----+-----:				1
7-37-43-01	7-4101	1		17-440 7-17-43-01
+---@---+---*---@---+-----+				
( 43.6 MW	1	7-43	7-42	7-41
3.2 MVAR	1			
220 AMP	1			
107.3 KV	1			
:-:	1			:-:
E 1	1			1 E
/	1			/
C-----+-----:				1
7-43-43-01	7-3101	1		17-340 7-32-43-02
+---@---+---*---@---+-----+				
( 37.0 MW	1	7-33	7-32	7-31
7.1 MVAR	1			
208.0 AMP	1			
108.5 KV	1			
:-:	1			:-:
E 1	1			1 E
/	1			/
C-----+-----:				1
7-42-43-01	7-2101	1		17-240 7-32-43-01
+---@---+---*---@---+-----+				
( 44.3 MW	1	7-23	7-22	7-21
1.0 MVAR	1			
228.0 AMP	1			
108.9 KV	1			
C-----+-----:				1
( 70.0 MW				
0.8 MVAR				
387.6 AMP				
107.6 KV				

Peo

SAN MARTIN (43)

1 ( 1 ) POWER OPER 1995-03-20 14.57.54

20 14.57.23 SANA 7-02 BAJA PRESION GAS OPERADO

TRANSMISION

	1BARRA 2	BARRA 1	1	
:-:	1102.8 KV	102.6 KV1		
E 1	159.69 HZ	59.75 HZ1		
/	1	1		
C-----+-----:			1	
7-30-43-01	7-5101	1	1	
	+*--@*--+*--@*--+			
( 77.2 MW	1 7-53	7-52	1	
3.7 MVAR	1		1	
383.4 AMP	1		1	
102.2 KV	1		1	
:-:	1		1	:-:
E 1	1		1	1 E
/	1		1	/
C-----+-----:			1	-----+-----)
7-37-43-01	7-4101	1	1	17-440 7-17-43-01
	+*--@*--+*--@*--+			
( 43.1 MW	1 7-43	7-42	7-41	1 ( 35.2 MW
5.5 MVAR	1		1	3.7 MVAR
224 AMP	1		1	210 AMP
104.6 KV	1		1	104.9 KV
:-:	1		1	:-:
E 1	1		1	1 E
/	1		1	/
C-----+-----:			1	-----+-----)
7-43-43-01	7-3101	1	1	17-340 7-32-43-02
	+*--@*--+*--@*--+			
( 45.8 MW	1 7-33	7-32	7-31	1 ( 72.7 MW
10.1 MVAR	1		1	0.4 MVAR
256.0 AMP	1		1	429.0 AMP
107.7 KV	1		1	104.3 KV
:-:	1		1	:-:
E 1	1		1	1 E
/	1		1	/
C-----+-----:			1	-----+-----)
7-42-43-01	7-2101	1	1	17-240 7-32-43-01
	+*--@*--+*--@*--+			
( 43.3 MW	1 7-23	7-22	7-21	1 ( 72.7 MW
3.0 MVAR	1		1	0.8 MVAR
241.2 AMP	1		1	400.8 AMP
107.1 KV	1		1	106.1 KV

PGO



NUEVO CUSCATLAN (42)  
 20 13.27.29 5 DE NOVIEMBRE

1 ( 2 ) POWER OPER 1995-09-20 13.36.36  
 INOPERABLE

TRANSMISION

	A	A	
	1	1	
	1	1	
A37.81 MW	1	1	A 0.00 MW
1.00 MVAR	T1AAA	T2AAA	0.00 MVAR
336.0 AMP	AAA	AAA	3.2 AMP

BARRA 1			BARRA 2
106.2 KV	1 7-110	*	* 7-130 1 0.0 KV
59.64 HZ	1	1	1 55.00 HZ

+\*-0\*-+\*-0-/-+\*-@\*-+  
 1 7-11 7-12 7-13 1

7-26-12-01

2.3 MW	1	1	1	L	1
3.8 MVAR	1	1	1	1	1
9.6 AMP	1	1	1	1	1
100.7 KV	1	E	E	1	1

7-42-43-01  
 (42.3 MW  
 4.2 MVAR  
 220.8 AMP  
 102.9 KV)

7-41-42-01

3.4 MW	1	1	1
8.5 MVAR	1	1	1
49.8 AMP	1	1	1
105.0 KV	1	E	1

P00

TRANSMISION

		IBAPRA 2		BARRA 1 1	
		1104.0 KV		103.8 KV1	
	E 1	159.85 HZ		59.84 HZ1	
	/	1		1	
C-----+-----+-----;					
7-30-43-01	7-5101	1		1	
( 76.1 MW	1	7-53	7-52	1	
1.3 MVAR	1			1	
367.8 AMP	1			1	
103.4 KV	1			1	
	:-:	1		1	:-:
	E 1	1		1	1 E
	/	1		1	/
C-----+-----+-----;					
7-37-43-01	7-4101	1		17-440	7-17-43-01
( 41.2 MW	1	7-43	7-42	7-41	1 ( 35.2 MW
8.7 MVAR	1				1.7 MVAR
215 AMP	1				191 AMP
105.9 KV	1				106.1 KV
	:-:	1		1	:-:
	E 1	1		1	1 E
	/	1		1	/
C-----+-----+-----;					
7-43-45-01	7-3101	1		17-340	7-32-43-02
( 47.1 MW	1	7-33	7-32	7-31	1 ( 72.5 MW
11.5 MVAR	1				3.7 MVAR
268.8 AMP	1				419.4 AMP
109.1 KV	1				105.5 KV
	:-:	1		1	:-:
	E 1	1		1	1 E
	/	1		1	/
C-----+-----+-----;					
7-42-43-01	7-2101	1		17-240	7-32-43-01
( 39.1 MW	1	7-23	7-22	7-21	1 ( 71.5 MW
5.0 MVAR	1				3.2 MVAR
228.0 AMP	1				393.6 AMP
109.5 KV	1				107.3 KV

39.1 MW  
 5.0 MVAR  
 228.0 AMP  
 109.5 KV

F@@