

29,109



**Universidad Nacional Autónoma de México**

Facultad de Ingeniería

**LINEAS DE TRANSMISION  
MULTIFASICAS**

**T E S I S**

Que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a n :

**Adela Wingartz Plata**

**José Vicente Gómez Hernández**

**Mario Sosa Rangel**

**Salustino Gordillo Pascual**

Director de Tesis: Ing. Rodolfo Lorenzo Bautista



México, D. F.

1988



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**LINEAS DE TRANSMISION MULTIFASICAS.**

## INDICE

	PAGINA
<b>CAPITULO I</b> Introducción a los sistemas eléctricos multifásicos.	7
I.1 Introducción.	8
I.2 Concepto de la transmisión multifásica.	9
I.3 Definición del sistema de voltajes para líneas de transmisión multifásicas.	12
I.4 Ventajas y desventajas de los sistemas de transmisión multifásicos.	17
 <b>CAPITULO II</b> Parámetros eléctricos de los sistemas de transmisión multifásicos.	 21
II.1 Introducción.	22
II.2 Cálculo de los parámetros de línea.	23
II.2.1 Parámetros de línea no transpuesta.	23
II.2.2 Parámetros de línea transpuesta.	29
II.3 Teoría de componentes simétricos para sistemas hexafásicos.	30
II.3.1 Operador $b$ , para $G$ fases.	33
II.3.2 Transformaciones.	33

	PAGINA
II.3.3 Potencia transmitida en componentes de secuencia.	36
II.3.4 La matriz de impedancia $Z$ de una línea típica.	37
II.3.5 Mallas de secuencia para 6 fases.	38
<b>CAPITULO III Análisis eléctrico de las líneas de transmisión multifásicas.</b>	<b>40</b>
III.1 Evaluación de las características de funcionamiento de las líneas.	41
III.2 Características de funcionamiento independientes de la distancia.	41
III.3 Características de funcionamiento dependientes de la distancia.	41
III.4 Evaluación de los gradientes de tierra.	45
III.4.1 Cálculo de los gradientes del voltaje inducido electrostáticamente.	45
III.5 Desbalances electrostáticos y electromagnéticos.	56
III.5.1 Método de cálculo de desbalances hexafásicos.	56

	PAGINA
III.6 Maniobras monofásicas.	59
III.6.1 Desarrollo del modelo matemático.	59
III.7 Efecto Corona.	62
III.7.1 Introducción.	62
III.7.2 Gradiente de iniciación corona.	62
III.7.3 Evaluación de las pérdidas por efecto corona.	65
III.8 Comportamiento del ruido audible.	67
III.8.1 Fenómeno del ruido audible.	67
III.8.2 Método para la evaluación del ruido audible.	68
III.9 Comportamiento del ruido de radiointerferencia.	79
III.9.1 Introducción.	79
III.9.2 Análisis de radiointerferencia para líneas hexafásicas.	79
III.9.3 Niveles de radiointerferencia en lluvia.	97
III.9.4 Niveles de radiointerferencia en buen tiempo.	97

	PAGINA
<b>CAPITULO IV</b> <b>Aislamiento de las líneas de transmisión.</b>	<b>98</b>
<b>IV.1</b> <b>Introducción.</b>	<b>99</b>
<b>IV.2</b> <b>Análisis de la suficiencia de aislamiento de línea.</b>	<b>99</b>
<b>IV.2.1</b> <b>Comportamiento por maniobras de switcheo.</b>	<b>100</b>
<b>IV.2.2</b> <b>Comportamiento con descargas atmosféricas.</b>	<b>101</b>
<b>IV.2.3</b> <b>Comportamiento a 60 Hz.</b>	<b>104</b>
<b>IV.3</b> <b>Coordinación de aislamiento.</b>	<b>112</b>
<b>IV.3.1</b> <b>Introducción.</b>	<b>112</b>
<b>IV.3.2</b> <b>Selección del rango del apartarrayos.</b>	<b>117</b>
<b>IV.3.3</b> <b>Selección del BIL de equipo (nivel básico de aislamiento).</b>	<b>123</b>
<b>IV.3.4</b> <b>Resultado y conclusiones.</b>	<b>126</b>
 <b>CAPITULO V</b> <b>Análisis mecánico de las líneas de transmisión multifásicas.</b>	 <b>130</b>
<b>V.1</b> <b>Introducción.</b>	<b>131</b>
<b>V.2</b> <b>Estructuras para las líneas de prueba.</b>	<b>133</b>
<b>V.3</b> <b>Diseño de aisladores.</b>	<b>136</b>
<b>V.4</b> <b>Espaciadores.</b>	<b>138</b>
<b>V.5</b> <b>Parámetros de diseño mecánico para las estructuras.</b>	<b>141</b>

	PAGINA
CAPITULO VI Estudio comparativo de los sistemas trifásicos y hexafásicos.	144
CAPITULO VII Conclusiones.	154
APENDICE A1 Programa de computadora Parámetros de líneas de transmisión trifásicas y hexafásicas.	157
APENDICE A2 Efecto corona en líneas de transmisión.	307
BIBLIOGRAFIA	321

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION A LOS SISTEMAS ELECTRICOS MULTIFASICOS.**

## CAPITULO I

## INTRODUCCION A LOS SISTEMAS ELECTRICOS MULTIFASICOS.

## I.1 INTRODUCCION.

En años recientes los sistemas de transmisión multifásica están siendo considerados como una nueva alternativa en la transmisión de energía eléctrica para lograr una eficiente utilización de los derechos de vía e incrementar la capacidad de transmisión y así satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica. La transmisión multifásica ha significado tradicionalmente tres fases, aunque sistemas con un número mayor de fases se han considerado por muchos años, las desventajas de añadir más fases a las líneas de alta tensión desanimaron en un principio cualquier desarrollo de la idea; con el tiempo y debido al constante incremento de las necesidades de suministro de energía eléctrica; el aumento en la capacidad de transmisión y una utilización eficiente de los derechos de vía son unas de las mayores preocupaciones de las compañías suministradoras de energía eléctrica.

Una referencia importante al respecto es que en los Estados Unidos de Norteamérica la demanda de energía eléctrica se espera aumente 6 veces en los próximos 30 años. Sin embargo, la crisis energética que afecta al mundo puede reducir éste factor, pero de cualquier forma la demanda de energía eléctrica seguramente se incrementará, entonces debido a la insuiciencia y alto costo de las líneas de transmisión y derechos de vía existentes deberá hacerse el uso más eficiente de la carga disponible.

Una alternativa que se presenta para solucionar éste problema es el cambio de los sistemas de transmisión trifásicos convencionales a multifásicos (mayores pero múltiplos del trifásico), los cuales pueden dar una mayor relación de potencia transmitida en el área transversal del derecho de vía.

Actualmente, hay una gran dificultad para adquirir derechos de vía para nuevas líneas de transmisión de extra alto voltaje, particularmente en áreas más densamente pobladas, por razones entre las cuáles se

encuentran: La disponibilidad del terreno, estética, conocimientos acerca de los efectos del campo electromagnético, interferencias de radio y T.V., y ruido audible, etc. Por éstas razones, actualmente tiene una gran importancia investigar los conceptos de transmisión que ofrecen la posibilidad de incrementar la cantidad de energía eléctrica que puede ser enviada a través de una línea de transmisión.

El concepto de la línea de transmisión multifásica en lugar de los sistemas trifásicos convencionales ofrece un recurso y una solución única al problema, y las investigaciones preliminares revelan la factibilidad general de los sistemas de transmisión multifásica; sin embargo la transmisión hexafásica parece ser, la más promisoría entre los sistemas multifásicos para una realización en un futuro cercano.

El concepto de usar 6, 9, 12 ó 36 fases en lugar de la trifásica convencional para transmisión de energía fue propuesto en 1972 en el CIGRE por L.O. Barthold y H.C. Barnes y desde entonces la WEST VIRGINIA UNIVERSITY de Estados Unidos y la Power Technologies Inc. realizaron las investigaciones en este campo, sin embargo a causa del creciente interés, en diversas partes del mundo se han reportado varios artículos que muestran diferentes aspectos de esta nueva tecnología de transmisión de energía eléctrica tales como: factibilidad, análisis de fallas, esquemas de protección, conversión de algunas líneas trifásicas de doble circuito a una línea hexafásica, etc. Para verificar los resultados preliminares debidos a éstos estudios, se han construido líneas de prueba con arreglos hexafásicos y docefásicos como los realizados por Power Technologies Inc. y sus resultados confirman datos analíticos previstos del comportamiento eléctrico y mecánico que demuestran que pueden construirse diseños sencillos con materiales estándar.

## 1.2 CONCEPTO DE LA TRANSMISION MULTIFASICA.

Este trabajo tratará de analizar la eficiencia del espacio de transmisión (derecho de vía) en función del número de fases del circuito ó circuitos utilizados para transmisión de energía eléctrica.

Partiremos de la representación de potencia en un medio de transmisión:

Para esto si consideramos que las pérdidas de potencia son despreciables, la potencia medida por las cantidades terminales en cualquier medio de transmisión de potencia, es igual a la integral de superficie de alguna forma de esfuerzo sobre una sección transversal del medio de transmisión. Un ejemplo simple se muestra en la figura 1.2.1, donde la potencia es transmitida por una flecha mecánica a la carga. En este caso la potencia transmitida, representada por el producto del par y la velocidad angular, es igual a la integral del esfuerzo cortante y la velocidad angular sobre la sección transversal de la flecha. Es evidente de este análisis que el medio de transmisión (en este caso la flecha) se usa rara vez a plena potencia, y que el par limitante está dado por el esfuerzo cortante en la circunferencia exterior de la flecha.

El equivalente eléctrico para líneas de transmisión aéreas es ilustrado en la figura 1.2.2. en este caso la potencia medida en las terminales de la línea es  $[V][I]^*$  la cual puede ser también representada como la potencia almacenada en la energía electromagnética y electrostática en el dieléctrico del aire. La potencia almacenada en el dieléctrico se representa por el vector de Poynting como:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (1.2.1)$$

Donde  $\vec{S}$  es la densidad de potencia ( $w/m^2$ )  
 $\vec{E}$  es la intensidad de campo eléctrico ( $v/m$ )  
 $\vec{H}$  es la magnitud del campo magnético en ( $A/m$ )

Utilizando las ecuaciones de Maxwell para relacionar  $\vec{E}$  y  $\vec{H}$  por la impedancia intrínseca del medio de transmisión  $Z_1$ , entonces la magnitud del vector de Poynting se puede expresar en función de  $\vec{E}$  y  $Z_1$  como:

$$|\vec{S}| = \frac{|\vec{E}|^2}{Z_1} \quad (1.2.2)$$

La integral del vector de Poynting sobre toda la sección transversal en la cual la línea pasa, sería igual a la potencia medida en las terminales de la línea.

$$S = [V][I]^* = \int_x \int_y S_z \, dx dy \quad (1.2.3)$$

fig. I.2.1

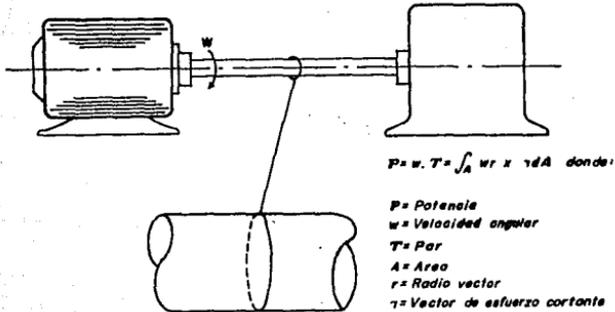
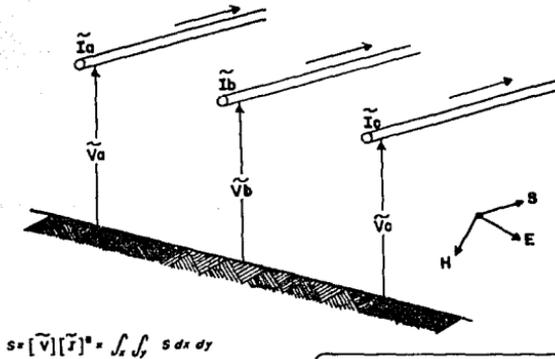


fig. I.2.2.



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: TRANSMISION DE POTENCIA MECANICA, TRANSMISION DE POTENCIA ELECTRICA.			
FIGURA No 52-1, I-2-2   ESCALA: —			FECHA: 1988

Para esto si consideramos que las pérdidas de potencia son despreciables, la potencia medida por las cantidades terminales en cualquier medio de transmisión de potencia, es igual a la integral de superficie de alguna forma de esfuerzo sobre una sección transversal del medio de transmisión. Un ejemplo simple se muestra en la figura 1.2.1, donde la potencia es transmitida por una flecha mecánica a la carga. En este caso la potencia transmitida, representada por el producto del par y la velocidad angular, es igual a la integral del esfuerzo cortante y la velocidad angular sobre la sección transversal de la flecha. Es evidente de este análisis que el medio de transmisión (en este caso la flecha) se usa rara vez a plena potencia, y que el par limitante está dado por el esfuerzo cortante en la circunferencia exterior de la flecha.

El equivalente eléctrico para líneas de transmisión aéreas es ilustrado en la figura 1.2.2. en este caso la potencia medida en las terminales de la línea es  $[V][I]^*$  la cual puede ser también representada como la potencia almacenada en la energía electromagnética y electrostática en el dieléctrico del aire. La potencia almacenada en el dieléctrico se representa por el vector de Poynting como:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (1.2.1)$$

Donde  $\vec{S}$  es la densidad de potencia ( $w/m^2$ )  
 $\vec{E}$  es la intensidad de campo eléctrico ( $v/m$ )  
 $\vec{H}$  es la magnitud del campo magnético en ( $A/m$ )

Utilizando las ecuaciones de Maxwell para relacionar  $\vec{E}$  y  $\vec{H}$  por la impedancia intrínseca del medio de transmisión  $Z_0$ , entonces la magnitud del vector de Poynting se puede expresar en función de  $\vec{E}$  y  $Z_0$  como:

$$|\vec{S}| = \frac{|\vec{E}|^2}{Z_0} \quad (1.2.2)$$

La integral del vector de Poynting sobre toda la sección transversal en la cual la línea pasa, sería igual a la potencia medida en las terminales de la línea.

$$S = [V][I]^* = \int_x \int_y S_z \, dx dy \quad (1.2.3)$$

Es importante examinar los límites de densidad implicados en la ecuación I.2.2, sabiendo que  $Z_1$  para el aire es de  $377 \Omega$  y que la densidad de campo eléctrico  $E$ , es limitada por la rigidez dieléctrica del aire la cual es aprox. de 30 KV pico /cm. Haciendo un cálculo con éstos valores para obtener la potencia límite, se tiene que ésta es aproximadamente 12,000 MW/m<sup>2</sup>. En la construcción tradicional de las líneas de transmisión se concentra cerca de la superficie de los conductores la mayor parte de esta densidad de potencia, se estima que en una línea de transmisión trifásica típica más del 95% de la energía almacenada en el campo circundante a un conductor está contenida en un radio igual al 5% del espaciamiento entre fases. De éstas observaciones se concluye que para mejorar en forma significativa la eficiencia del derecho de vía es necesario cambiar las configuraciones de los conductores ó bien el número de fases a usar.

### I.3 DEFINICION DEL SISTEMA DE VOLTAJES PARA LINEAS DE TRANSMISION MULTIFASICAS.

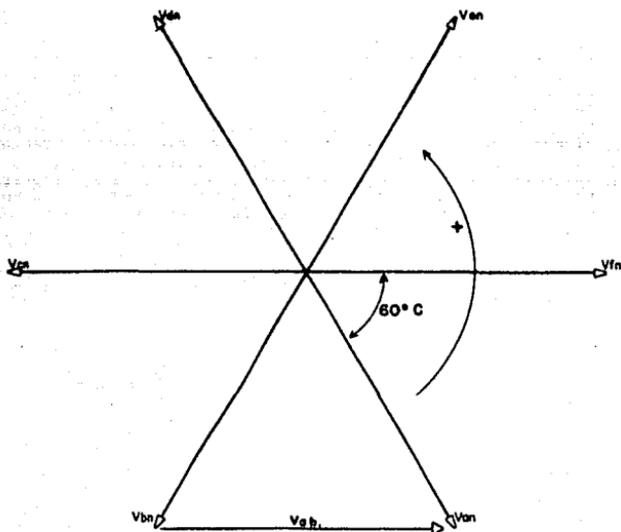
La mayor utilización de los derechos de vía con sistemas multifásicos se logra básicamente por la relación de voltajes de línea a línea adyacentes ( $V_{l-1}$ ) al voltaje de línea a neutro ( $V_{l-n}$ ), la cuál en un sistema n-fásico está dado por:

$$V_{l-1}/V_{l-n} = \text{Sen}(360/N) / \text{Sen}(90 - 180/N)$$

(1.3.1)

Donde  $N=3, 6, 9, \dots$ , etc.

Esto puede observarse en el diagrama de fasores para un sistema de 6 fases como se muestra en la figura I.3.1. Nótese que la relación  $V_{l-1}/V_{l-n}$  es unitaria para los sistemas hexafásicos y disminuye para sistemas mayores, lo cuál se puede apreciar en la tabla I.3.1, ó bien en una forma más clara en las figuras I.3.2 a y b. De éstas últimas, se ve que en un circuito de 21 fases puede elevar 7 veces la capacidad de un circuito trifásico, y que su relación  $V_{l-1}/V_{l-n}$  es solamente 0.298, en otras palabras un circuito de 21 fases es equivalente a tener 7 circuitos trifásicos, por lo tanto un circuito de 21 fases requiere de un menor corredor de transmisión (derecho de vía). Esto se debe a que la distancia entre fases es pequeña, ya que el voltaje de línea a línea adyacente es bajo.



La relación de voltajes de línea-línea a línea-neutro para un sistema N-fásico está dado por:

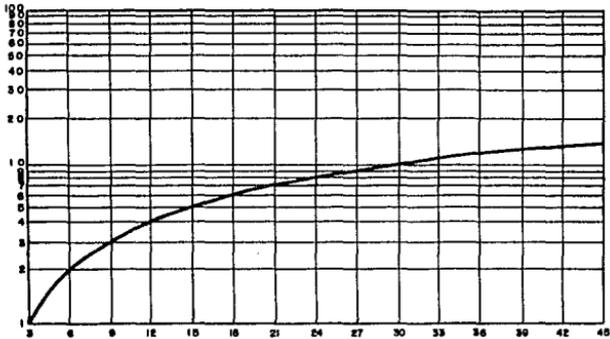
$$V_L - L / V_L - n = \text{Sen}(360/N) / \text{Sen}(90 - 180/N) \text{ donde } N = 3, 6, 9 \text{ etc.}$$

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: DIAGRAMA FASORIAL PARA UN SISTEMA HEXAFASICO.			
FIGURA No. 1-3-1	ESCALA: —	FECHA: 1988	

NO. DE FASES	$V_{i-1}$ $V_{i-n}$	$V_{i-1}$ AL SIGUIENTE $V_{i-n}$				NO. DE CIRC. EQUIVANTES
		500 Kv.	289 Kv.	138 Kv.	80 Kv.	
3	1.732	666	500	239	138	1
6	1.000	500	289	138	80	2
9	0.648	342	198	94	55	3
12	0.518	259	150	71	41	4
15	0.416	208	120	57	33	5
18	0.347	174	100	46	28	6
21	0.290	149	86	41	24	7
24	0.261	131	75	36	21	8
27	0.232	116	67	32	19	9
30	0.209	105	60	29	17	10
33	0.18	95	55	26	15	11
36	0.174	87	50	24	14	12
39	0.161	80	47	22	13	13
42	0.149	75	45	21	12	14
45	0.139	70	40	19	11	15

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: RELACION DE VOLTAJES DE LOS			
SISTEMAS MULTIFASICOS.			
TABLA No. I-3-1 ESCALA: —			FECHA: 1988

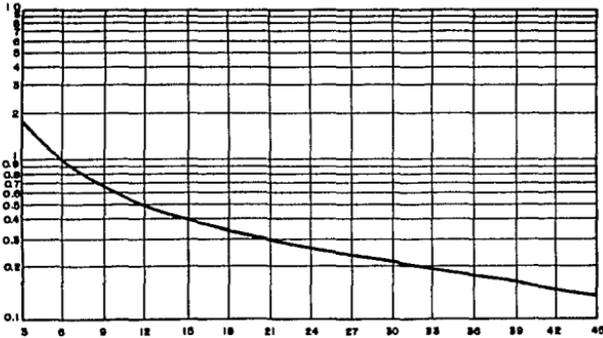
NUMERO DE CIRCUITOS TRIFASICOS E QUIVALENTES  
SOBRE EL MISMO DERECHO DE VIA



NUMERO DE FASES

Fig. I.3.2a

RELACION DE  $(V_{\phi} - I / V_{\phi - n})$



NUMERO DE FASES

Fig. I.3.2b

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: No. DE CIRCUITOS CONTRA FASES Y RELACION $V_{\phi} - I / V_{\phi - n}$ CONTRA FASES EN UN MISMO DERECHO DE VIA.			
FIGURA No. I-3-2a, I-3-2b ESCALA: _____			FECHA: 1988

Todas estas ventajas pueden ser aprovechadas en las actuales líneas trifásicas de doble circuito convirtiéndolas en líneas hexafásicas. Por ejemplo, una línea de doble circuito trifásica en 138 KV, puede transmitir  $2(\sqrt{3} \times 138 \times I \cos \phi) = 478 I \cos \phi$  MW de potencia, donde I está en Kamps.

Si la línea se convierte en hexafásica conservando el conductor, el mismo tamaño de torre e igual derecho de vía, se puede transmitir más potencia. Esto es posible debido a que la mayoría de las líneas existentes fueron diseñadas conservadoramente con respecto a los factores de seguridad. Esto permitiría transmitir  $6 \times 138 \times I \cos \phi = 828 I \cos \phi$  MW de potencia. Significa entonces que para cantidades relativamente pequeñas de inversión para convertir las líneas existentes de doble circuito trifásicas a líneas hexafásicas, se puede transmitir  $828 I \cos \phi / 478 I \cos \phi = 1.732$  veces la potencia original a través del mismo corredor de transmisión. Estos costos adicionales de conversión se deben principalmente a los equipos y dispositivos de protección terminales.

De lo anterior, podemos ver que como máximo se puede transmitir un 73.2% más de potencia con la conversión que acabamos de mencionar, sin embargo en un estudio reciente de la Power Technologies Inc. de Schenectady, N.Y., se comparan y evalúan alternativas usando una torre diseñada con doble circuito trifásico convencional en 345 KV para convertirla a una hexafásica, en el cual las conclusiones obtenidas fueron las siguientes: Hay dos opciones que pueden usarse para diseñar una línea hexafásica como alternativas para un sistema trifásico de doble circuito:

- 1.- Diseñar una línea hexafásica compacta que transmitirá la misma cantidad de potencia que una línea de transmisión trifásica de doble circuito, pero con un derecho de vía menor.
- 2.- Diseñar una línea hexafásica que transmitirá la máxima cantidad de potencia sobre el mismo espacio de derecho de vía que el diseño requerido para una línea trifásica de doble circuito.

Ambas opciones deben evaluarse en base a criterios técnicos, ambientales y económicos.

El menor costo por MW transmitido no puede ser obtenido con esos extremos, pero si posiblemente entre ellos. El voltaje de la línea de transmisión se define frecuentemente por el voltaje entre conductores para un circuito trifásico. En un sistema trifásico en 345 KV, el voltaje entre conductor y tierra es 199 KV.

En un sistema hexafásico, como se mencionó antes, el voltaje entre conductores adyacentes es igual al voltaje entre fases y tierra, así, en el desarrollo del sistema hexafásico para comparar con una línea de transmisión de doble circuito, es posible un rango de voltaje de 199 KV a 345 KV.

Si la línea hexafásica se diseña en 199 KV los voltajes de fase a tierra son los mismos para ambas alternativas ó la línea hexafásica puede ser diseñada para 345 KV, así los voltajes de fase a fase son los mismos para ambos casos.

Una tercera posibilidad es para una línea hexafásica diseñada en 289 KV basada en un equipo de protección y control estándar para 500 KV.

De éstos 3 voltajes, 199 KV representa el caso de compactación para transmitir la misma potencia que la línea de doble circuito de 345 KV en el menor espacio de derecho de vía disponible. La opción de 289 KV ofrece maximización de capacidad de manejo de potencia sobre el mismo espacio de derecho de vía. La potencia hexafásica de 345 KV da aún mayor grado de capacidad de manejo de potencia pero requiere más espacio de derecho de vía que la línea de doble circuito trifásica de 345 KV.

Por lo tanto se deben considerar éstas 3 alternativas en la conversión de sistema trifásico de doble circuito a uno hexafásico.

#### I.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISION MULTIFASICOS.

Aunque a lo largo de este trabajo se mencionan las ventajas y desventajas de la transmisión multifásica a continuación se mencionan brevemente:

##### I.4.1.1 CAPACIDAD DE TRANSMISION DE POTENCIA.

Si una línea trifásica de doble circuito se convierte en una línea hexafásica, la capacidad de transmisión puede ser incrementada en un 73.2% .

##### I.4.1.2 MAYOR UTILIZACION DEL DERECHO DE VIA.

Como se explicó en el punto I,3 debido al bajo valor de voltaje entre líneas adyacentes en un sistema multifásico, se requiere un menor corredor de transmisión.

#### I.4.1.3 ESPACIAMIENTO DE CONDUCTORES.

El espaciamento de los conductores de línea puede ser reducido incrementando el número de fases debido a que el voltaje de fase a fase decrece para voltaje de fase a tierra constante. El grado de reducción está limitado por movimiento de los conductores individuales debido a hielo, viento, corrientes de falla, etc..

#### I.4.1.4 POTENCIA CARACTERISTICA (SIL).

La potencia característica es aproximadamente proporcional al orden de fases; aumenta y alcanza saturación más allá de las seis fases. Por lo tanto, si la SIL es el criterio del régimen de trabajo, el orden de fase más allá de las seis fases, viene siendo cuestionable.

#### I.4.1.5 CARGA TÉRMICA.

La carga térmica sigue una relación en línea directa con el orden de fases. Entonces, si la carga térmica es el criterio del régimen de trabajo, el aumento de capacidad es proporcional al número de fases.

#### I.4.1.6 LA IMPEDANCIA CARACTERISTICA, REACTANCIA INDUCTIVA Y RELACION $X_0/X_1$ .

Esto es algo mayor para una línea hexafásica que para una línea trifásica.

#### I.4.1.7 TRANSPOSICION.

Mientras que las líneas trifásicas pueden ser libremente transpuestas, las líneas hexafásicas son difíciles de transponer. La sola transposición para una línea hexafásica se obtiene por rotación del arreglo entero de conductores sobre la longitud de la línea.

#### I.4.1.8 CAMPOS ELECTRICOS.

El campo eléctrico de superficie máximo decrece con el orden de fase, mientras que el campo eléctrico

máximo de tierra aumenta con el orden de fase. La adición de hilos de guarda incrementa el campo de superficie en los conductores y reduce el campo de nivel de tierra. El campo eléctrico para un conductor abierto y no fallado (switchero monofásico) muestra pequeñas variaciones comparado con el mismo conductor abierto y aterrizado.

#### I.4.1.9 RUIDO AUDIBLE Y DE RADIO.

El comportamiento de un sistema hexafásico es mejor que dos circuitos trifásicos teniendo el mismo número de conductores.

#### I.4.1.10 SOBREVOLTAJES DE FALLA.

Los sobrevoltajes de falla para un sistema hexafásico son ligeramente mayores que para un sistema trifásico.

Para ordenes de fase mayores que 6, los sobrevoltajes de falla son comparables a los de un sistema trifásico.

#### I.4.1.11 MANIOBRAS DE SWITCHERO.

Las maniobras de switchero para líneas trifásicas y hexafásicas son aproximadamente las mismas para las mismas condiciones, con menos del 4% de diferencia. Las maniobras de fase a fase van siendo importantes en relación a las maniobras de fase a tierra a medida que el orden de fase aumenta. Esto puede ser un límite al orden de fase alcanzable.

#### I.4.1.12 NIVELES DE AISLAMIENTO TERMINALES.

Los niveles de aislamiento terminales tienden a ser ligeramente mayores para los sistemas hexafásicos que para los sistemas trifásicos.

**I.4.1.13 CAMBIOS EN LOS EQUIPOS TERMINALES.**

Los sistemas de alto orden de fase requieren de cambios sustanciales en sus equipos terminales para transmitir el número de fases deseado.

CAPITULO II

PARAMETROS ELECTRICOS DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISION  
MULTIFASICOS.

## CAPITULO II

## PARAMETROS ELECTRICOS DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISION MULTIFASICOS.

## II.1 INTRODUCCION.

La evaluación analítica de las principales características de funcionamiento de una línea de transmisión de energía eléctrica es esencial para su diseño y planeación, entre las cuales se encuentran:

- 1) Capacidad de transmisión
- 2) Potencia característica
- 3) Regulación de voltaje
- 4) Eficiencia
- 5) Máxima capacidad de transmisión de potencia.

Para conocer estas características de funcionamiento, primero es necesario calcular los parámetros de línea. Con este propósito se ha elaborado un programa de computadora escrito en Fortran 77 titulado "Parámetros de líneas de transmisión trifásicas y hexafásicas".

Básicamente el programa podemos dividirlo en dos partes: En la primera se calculan los parámetros electrostáticos y electromagnéticos para casos transpuestos y no transpuestos. En la segunda parte se hacen uso de los parámetros calculados en la primera parte para evaluar las características de funcionamiento.

El programa es muy general en naturaleza en el sentido de que puede manejar cualquier nivel de voltaje de transmisión por ejemplo; HV, EHV, UHV, etc.

Puede también estudiar el conjunto de conductores siempre que a lo largo estén simétricamente espaciados y cada una de las fases tenga el mismo número y tipo de subconductores ó hilos.

Hay que hacer notar que la característica importante del programa es que tiene la capacidad de generar parámetros y características de funcionamiento para sistemas de 6 fases.

Como el concepto de transmisión hexafásica se está haciendo más realizable, esta característica será útil para los diseñadores que lo adopten.

En el Apéndice A1 se indican los resultados del programa y a continuación analizaremos la teoría básica para el

cálculo de los parámetros electrostáticos y electromagnéticos de una línea de transmisión multifásica.

## II.2 CALCULO DE LOS PARAMETROS DE LINEA.

El programa calcula los coeficientes electromagnéticos (impedancia serie por km.) y electrostáticos (admitancia paralelo por km.) para cualquier configuración geométrica de líneas trifásicas sencillas y dobles y de líneas de un circuito hexafásico.

Cualquier número de hilos por fase simétricamente espaciados pueden manejarse a condición de que haya el mismo número por cada una de las fases.

El programa corrige los coeficientes por efecto de regreso a tierra ; para cables de tierra y tiene la capacidad de reducir dos conductores paralelos a un conductor equivalente cuando los parámetros de fase equivalentes para líneas de doble circuito trifásicas son requeridos por el usuario.

Durante el resto de este trabajo los coeficientes electromagnéticos están referidos como la matriz Z y los coeficientes electrostáticos como la matriz P . Las ecuaciones para estos dos parámetros son:

$$\bar{e} = Z \bar{I} \quad \text{y} \quad \bar{V} = P \bar{q} \quad (II.2.1)$$

Donde  $e_i$  caída de voltaje del  $i$ -ésimo conductor.

$V_i$  potencial a tierra del  $i$ -ésimo conductor.

$I_i$  corriente del  $i$ -ésimo conductor.

$q_i$  carga del  $i$ -ésimo conductor.

### II.2.1 PARAMETROS DE LINEA NO TRANSPUESTA.

El desarrollo de modelos de parámetros para líneas trifásicas no transpuestas son bien conocidos y escritos en diversos textos.

Los modelos para líneas de 6 fases son desarrollados recientemente por instituciones especializadas en esta tecnología. Para éste análisis se consideran 2 cables a tierra para la línea de seis fases, entonces se tendrán seis conductores de fase y dos cables a tierra con un total de ocho conductores por línea.

las ecuaciones de Kirchoff para la caída de voltaje son:

$$\begin{bmatrix} e1 \\ e2 \\ e3 \\ e4 \\ e5 \\ e6 \\ e7=0 \\ e8=0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z11 & Z12 & Z13 & Z14 & Z15 & Z16 & Z17 & Z18 \\ Z21 & Z22 & Z23 & Z24 & Z25 & Z26 & Z27 & Z28 \\ Z31 & Z32 & Z33 & Z34 & Z35 & Z36 & Z37 & Z38 \\ Z41 & Z42 & Z43 & Z44 & Z45 & Z46 & Z47 & Z48 \\ Z51 & Z52 & Z53 & Z54 & Z55 & Z56 & Z57 & Z58 \\ Z61 & Z62 & Z63 & Z64 & Z65 & Z66 & Z67 & Z68 \\ Z71 & Z72 & Z73 & Z74 & Z75 & Z76 & Z77 & Z78 \\ Z81 & Z82 & Z83 & Z84 & Z85 & Z86 & Z87 & Z88 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \\ I4 \\ I5 \\ I6 \\ I7 \\ I8 \end{bmatrix}$$

(II.2.1.1)

Donde:  $e1, \dots, e6$  son las caídas de voltaje en las fases a, b, c, d, e, f respectivamente,  $e7$  y  $e8$  son las caídas de voltaje en los cables de tierra.  $Z_{ii}$  ( $i=1, 2, \dots, 8$ ) son las impedancias propias de los conductores y  $Z_{ij}$  ( $i, j=1, \dots, 8; i \neq j$ ) son las impedancias mutuas entre los conductores.

Suponiendo una resistividad de tierra finita y uniforme, las impedancias  $Z_{ii}$  y  $Z_{ij}$  están dadas por la fórmula de Carson:

$$Z_{ii} = r_{ic} + 0.000988f + j0.002892f \log_{10} \left[ \frac{658}{GMR_i} \sqrt{\frac{Z}{F}} \right] \text{ } \wedge / \text{km}$$

$i=1, 2, \dots, 8$

(II.2.1.2)

$$Z_{ij} = 0.000988f + j0.002892f \log_{10} \left[ \frac{658}{d_{ij}} \sqrt{\frac{Z}{F}} \right] \text{ } \wedge / \text{km}$$

(II.2.1.3)

Donde  $r_{ic}$  = resistencia del  $i$ -ésimo conductor ( $\wedge / \text{km}$ )  
 $f$  = frecuencia en Hertz.

$GMR_i$  = radio medio geométrico del  $i$ -ésimo conductor en metros.

$Z$  = resistividad del terreno en  $\wedge\text{-m}$ .

$d_{ij}$  = distancia entre dos conductores en m.

De una manera similar, la relación de carga entre conductores y sus respectivos voltajes a tierra están dadas por:

$$\begin{array}{l}
 \left[ \begin{array}{l} V1 \\ V2 \\ V3 \\ V4 \\ V5 \\ V6 \\ V7=0 \\ V8=0 \end{array} \right] \left[ \begin{array}{cccccccc} P11 & P12 & P13 & P14 & P15 & P16 & P17 & P18 \\ P21 & P22 & P23 & P24 & P25 & P26 & P27 & P28 \\ P31 & P32 & P33 & P34 & P35 & P36 & P37 & P38 \\ P41 & P42 & P43 & P44 & P45 & P46 & P47 & P48 \\ P51 & P52 & P53 & P54 & P55 & P56 & P57 & P58 \\ P61 & P62 & P63 & P64 & P65 & P66 & P67 & P68 \\ P71 & P72 & P73 & P74 & P75 & P76 & P77 & P78 \\ P81 & P82 & P83 & P84 & P85 & P86 & P87 & P88 \end{array} \right] \left[ \begin{array}{l} q1 \\ q2 \\ q3 \\ q4 \\ q5 \\ q6 \\ q7 \\ q8 \end{array} \right]
 \end{array}$$

(II.2.1.4)

Donde V1, V2, V3, V4, V5 y V6 son los voltajes a tierra de las fases a, b, c, d, e y f respectivamente, V7 y V8 son los voltajes a tierra de los cables de tierra.

q1 a q8 son las cargas en los respectivos 8 conductores.

Pii (i=1 a 8) son los coeficientes de potencial propios.

Pij (i, j = 1 a 8 i≠j) son los coeficientes de potencial mutuos.

Se definen como sigue:

$$P_{ii} = 41.38 \times 10^6 \log \left\{ \frac{2Y_i}{r_i} \right\} \text{ daraf-km}$$

i = 1, 2, ..., 8 (II.2.1.5)

$$P_{ij} = 41.38 \times 10^6 \log \frac{D_{ij}}{d_{ij}} \text{ daraf-km}$$

i, j = 1, 2, ..., 8, i≠j (II.2.1.6)

Donde Y<sub>i</sub> = Altura promedio del conductor sobre tierra en m.

r<sub>i</sub> = Radio del conductor en m.

D<sub>ij</sub> = Distancia entre el i-ésimo conductor y la imagen del j-ésimo conductor en m.

d<sub>ij</sub> = Distancia entre dos conductores en m.

El siguiente paso, es eliminar los cables de tierra. Los cables a tierra se consideran sólidamente aterrizados y no tienen fuente de voltaje. Cada cable de tierra, puede entonces ser eliminado en sucesión por eliminación de la matriz ordinaria como se muestra en la matriz de impedancia serie abajo:

$$\begin{bmatrix} e1 \\ e2 \\ e3 \\ e4 \\ e5 \\ e6 \\ e7=0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z11 & Z12 & Z13 & Z14 & Z15 & Z16 & Z17 & Z18 \\ Z21 & Z22 & Z23 & Z24 & Z25 & Z26 & Z27 & Z28 \\ Z31 & Z32 & Z33 & Z34 & Z35 & Z36 & Z37 & Z38 \\ Z41 & Z42 & Z43 & Z44 & Z45 & Z46 & Z47 & Z48 \\ Z51 & Z52 & Z53 & Z54 & Z55 & Z56 & Z57 & Z58 \\ Z61 & Z62 & Z63 & Z64 & Z65 & Z66 & Z67 & Z68 \\ Z71 & Z72 & Z73 & Z74 & Z75 & Z76 & Z77 & Z78 \\ Z81 & Z82 & Z83 & Z84 & Z85 & Z86 & Z87 & Z88 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \\ I4 \\ I5 \\ I6 \\ I7 \\ I8 \end{bmatrix}$$

(II.2.1.7)

Resolviendo para I8:

$$I8 = (-Z88)^{-1} (Z18I1 + Z28I2 + \dots + Z78I7) \quad (\text{II.2.1.8})$$

Substituyendo este valor en las primeras 7 ecuaciones (II.2.1.7), se obtiene un sistema de ecuaciones reducido.

$$\begin{bmatrix} e1 \\ e2 \\ e3 \\ e4 \\ e5 \\ e6 \\ e7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z'11 & Z'12 & Z'13 & Z'14 & Z'15 & Z'16 & Z'17 \\ Z'21 & Z'22 & Z'23 & Z'24 & Z'25 & Z'26 & Z'27 \\ Z'31 & Z'32 & Z'33 & Z'34 & Z'35 & Z'36 & Z'37 \\ Z'41 & Z'42 & Z'43 & Z'44 & Z'45 & Z'46 & Z'47 \\ Z'51 & Z'52 & Z'53 & Z'54 & Z'55 & Z'56 & Z'57 \\ Z'61 & Z'62 & Z'63 & Z'64 & Z'65 & Z'66 & Z'67 \\ Z'71 & Z'72 & Z'73 & Z'74 & Z'75 & Z'76 & Z'77 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \\ I4 \\ I5 \\ I6 \\ I7 \end{bmatrix}$$

(II.2.1.9)

Donde:

$$Z'_{ij} = Z_{ij} - (Z18) (Z88)^{-1} Z8j ; i, j \neq 8 \quad (\text{II.2.1.10})$$

Otra iteración similar elimina el séptimo conductor que es otro cable a tierra. El mismo procedimiento es usado en la matriz P donde  $V = Pq$ .

El tamaño de las matrices P y Z después de la eliminación de los cables a tierra es de 6 x 6. Para líneas de 2 circuitos trifásicas es también de 6 x 6 en tanto que la trifásica sencilla es de 3x3.

Si se desean los parámetros de fase equivalentes para líneas de doble circuito, las matrices de 6 x 6 de Z y P deberán convertirse a su equivalente de 3 x 3. Esto puede hacerse ya que los conductores 1 y 4 están en paralelo (fase a). Similarmente, los conductores 2 con 5 ; 3 con 6 están también en paralelo.

Entonces la matriz 6 x 6 mostrada en la ecuación (II.2.1.11) puede ser modificada como sigue:

$$\begin{bmatrix} e1 \\ e2 \\ e3 \\ e4=e1 \\ e5=e2 \\ e6=e3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z11 & Z12 & Z13 & Z14 & Z15 & Z16 \\ Z21 & Z22 & Z23 & Z24 & Z25 & Z26 \\ Z31 & Z32 & Z33 & Z34 & Z35 & Z36 \\ Z41 & Z42 & Z43 & Z44 & Z45 & Z46 \\ Z51 & Z52 & Z53 & Z54 & Z55 & Z56 \\ Z61 & Z62 & Z63 & Z64 & Z65 & Z66 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \\ I4 \\ I5 \\ I6 \end{bmatrix}$$

(II.2.1.11)

Restando el renglón 1 del 4, el 2 del 5, y el 3 del 6 resulta que:

$$\begin{bmatrix} e1 \\ e2 \\ e3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z11 & Z12 & Z13 & Z14 & Z15 & Z16 \\ Z21 & Z22 & Z23 & Z24 & Z25 & Z26 \\ Z31 & Z32 & Z33 & Z34 & Z35 & Z36 \\ Z14-Z11 & Z24-Z12 & Z34-Z13 & Z44-Z14 & Z45-Z15 & Z46-Z16 \\ Z15-Z12 & Z25-Z22 & Z35-Z23 & Z45-Z24 & Z55-Z25 & Z56-Z26 \\ Z16-Z13 & Z26-Z23 & Z36-Z33 & Z46-Z34 & Z56-Z35 & Z66-Z36 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \\ I4 \\ I5 \\ I6 \end{bmatrix}$$

(II.2.1.12)

Substrayendo la columna 1 de la 4, la 2 de la 5 y la 3 de la 6. Para simplificar, sólo las 4 primeras ecuaciones se muestran:

$$\begin{bmatrix} e1 \\ e2 \\ e3 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z11 & Z12 & Z13 & Z14-Z11 \\ Z21 & Z22 & Z23 & Z24-Z12 \\ Z31 & Z32 & Z33 & Z34-Z13 \\ Z14-Z11 & Z24-Z12 & Z34-Z13 & Z44-Z14-Z14+Z11 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1 + I4 \\ I2 \\ I3 \\ I4 \end{bmatrix}$$

(II.2.1.13)

A partir de ésta matriz modificada de 6 x 6, los conductores 6, 5 y 4 pueden ser sucesivamente eliminados de la misma manera que la descrita anteriormente para la eliminación de cables a tierra.

El mismo procedimiento se usa en la matriz P donde  $V=Pq$ .

Las componentes simétricas de las matrices de impedancia serie y coeficientes de potencial se obtienen de la siguiente fórmula:

$$Z_{sym} = T^{-1} Z T \quad ; \quad P_{sym} = T^{-1} P T \quad (II.2.1.14)$$

Donde:

T = matriz de transformación que se define como sigue:

Para líneas trifásicas sencillas las matrices T y T<sup>-1</sup> son:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad (\text{II.2.1.15})$$

$$T^{-1} = 1/3 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (\text{II.2.1.16})$$

Para líneas trifásicas de doble circuito, T y T<sup>-1</sup> son:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & a & a^2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & a^2 & a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & a^2 & a \\ 0 & 0 & 0 & 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad (\text{II.2.1.17})$$

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & a & a^2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & a^2 & a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & a & a^2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (\text{II.2.1.18})$$

En las anteriores ecuaciones: el operador

$$a = e^{j2\pi/3} \quad (\text{II.2.1.19})$$

Para 6 fases se define otro operador el cuál es b = e^{j\pi/3}. Las matrices de transformación T y T<sup>-1</sup> para líneas sencillas hexafásicas son:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & b^5 & b^4 & b^3 & b^2 & b \\ 1 & b^4 & b^2 & 1 & b^4 & b^2 \\ 1 & b^3 & 1 & b^3 & 1 & b^3 \\ 1 & b^2 & b^4 & 1 & b^2 & b^4 \\ 1 & b & b^2 & b^3 & b^4 & b^5 \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad (\text{II.2.1.20})$$

$$T^{-1} = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & b & b & b & b & b \\ 1 & b^2 & b^4 & 1 & b^2 & b^4 \\ 1 & b^3 & b & 1 & b^3 & b \\ 1 & b^4 & b^2 & 1 & b^4 & b^2 \\ 1 & b^5 & b^4 & b^3 & b^2 & b \end{bmatrix} \quad (\text{II.2.1.21})$$

### II.2.2 PARAMETROS DE LINEA TRANSPUESTA.

Hasta ahora el análisis presentado calcula las matrices Z y P y sus matrices de componentes simétricas centradas en torno al caso de líneas no transpuestas. Los parámetros para el caso transpuesto se pueden calcular como sigue:

Para la línea hexafásica:

$$Z \text{ propia} = (Z_{11} + Z_{22} + Z_{33} + \dots + Z_{66})/6 \quad (\text{II.2.2.1})$$

$$Z \text{ mutua} = (Z_{12} + Z_{13} + Z_{14} + Z_{15} + Z_{16} + Z_{23} + Z_{24} + Z_{25} + Z_{26} + Z_{34} + Z_{35} + Z_{36} + Z_{45} + Z_{46} + Z_{56})/15 \quad (\text{II.2.2.2})$$

Para la línea trifásica de doble circuito:

$$Z \text{ propia (circuito \# 1 corresponde a conductores 1, 2 y 3)} = (Z_{11} + Z_{22} + Z_{33})/3 \quad (\text{II.2.2.3})$$

y

$$Z \text{ mutua (circuito \# 1)} = (Z_{12} + Z_{13} + Z_{23})/3 \quad (\text{II.2.2.4})$$

$$Z \text{ propia (circuito \# 2 correspondiente a conductores 4, 5 y 6)} = (Z_{44} + Z_{55} + Z_{66})/3 \quad (\text{II.2.2.5})$$

$$Z \text{ mutua (circuito \# 2)} = (Z_{45} + Z_{46} + Z_{56})/3 \quad (\text{II.2.2.6})$$

$$Z \text{ mutua (entre los circuitos \# 1 y \# 2)} = (Z_{14} + Z_{15} + Z_{16} + Z_{24} + Z_{25} + Z_{26} + Z_{34} + Z_{35} + Z_{36})/9 \quad (\text{II.2.2.7})$$

Expresiones similares se pueden escribir para parámetros P.

Se debe notar que hasta ahora sólo se han discutido las matrices Z y P. La matriz de capacitancia C, y por consiguiente la matriz de admitancia en paralelo Y no pueden ser rápidamente determinadas a partir de las dimensiones físicas. Es mejor determinar la matriz de coeficientes P y entonces encontrar los coeficientes de capacitancia  $C_{ij}$  como los elementos de la inversa de la matriz P, entonces multiplicando cada uno de los coeficientes de capacitancia por la velocidad angular se obtiene la parte imaginaria de cada uno de los elementos,  $B_{ij}$  de la matriz de admitancia Y.

### II.3 TEORIA DE COMPONENTES SIMETRICOS PARA SISTEMAS HEXAFASICOS.

De acuerdo con el teorema de Fortescue los 6 fasores (de voltaje y corriente) desbalanceados de un sistema hexafásico pueden ser resueltos en 6 Sistemas balanceados de fasores de componentes simétricos tales como:

- 1) Componentes de primera secuencia (o positiva).
- 2) Componentes de segunda secuencia.
- 3) Componentes de tercera secuencia.
- 4) Componentes de cuarta secuencia.
- 5) Componentes de quinta secuencia (o negativa).
- 6) Componentes de sexta secuencia (o secuencia cero).

Cada una de las iésimas componentes de secuencia ( $i=0,1,2,3,4$  y  $5$ ) consiste de 6 fasores de igual magnitud pero defasados a cada 0, 60, 120 ó 180° tal y como se indica en la figura II.1

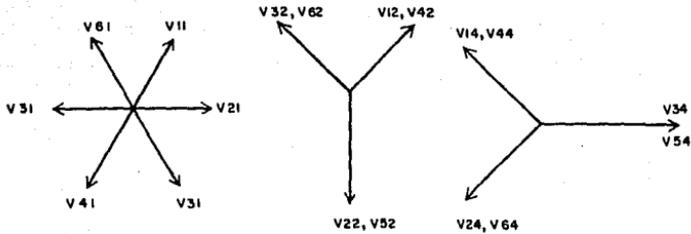
Los fasores de voltaje originales pueden ser expresados en términos de sus componentes simétricos por la ecuación II.3.1

$$\begin{aligned} V_1 &= V_{11} + V_{12} + V_{13} + V_{14} + V_{15} + V_{10} \\ V_2 &= V_{21} + V_{22} + V_{23} + V_{24} + V_{25} + V_{20} \\ V_3 &= V_{31} + V_{32} + V_{33} + V_{34} + V_{35} + V_{30} \\ V_4 &= V_{41} + V_{42} + V_{43} + V_{44} + V_{45} + V_{40} \\ V_5 &= V_{51} + V_{52} + V_{53} + V_{54} + V_{55} + V_{50} \\ V_6 &= V_{61} + V_{62} + V_{63} + V_{64} + V_{65} + V_{60} \end{aligned}$$

(II.3.1.)

Conociendo los componentes de secuencia ilustrados en la figura II.1 se pueden sintetizar en la ecuación anterior.

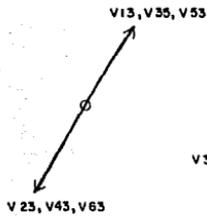
El mismo procedimiento puede ser usado para doce fases (figura II.1A).



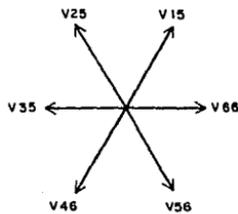
COMPONENTES DE PRIMERA  
SECUENCIA ( Ó POSITIVA )

COMPONENTES  
DE 2a. SECUENCIA.

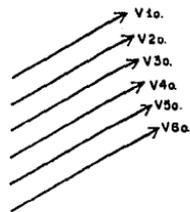
COMPONENTES  
DE 4a. SECUENCIA.



COMPONENTES DE  
3a. SECUENCIA.

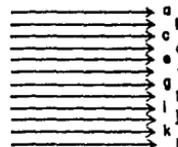
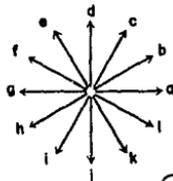
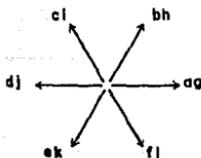
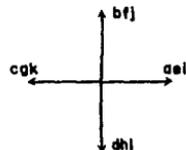
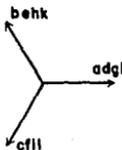
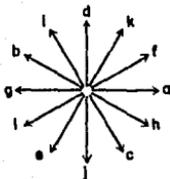
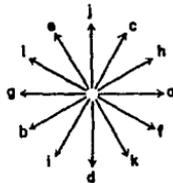
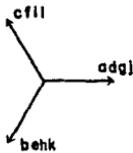
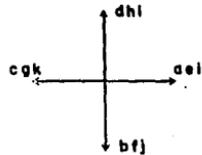
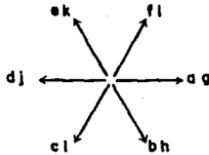
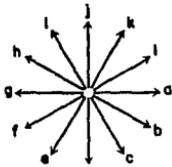


COMPONENTES DE 5a.  
SECUENCIA (O NEGATIVA)



COMPONENTES DE  
SECUENCIA CERO.

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: COMPONENTES SIMETRICOS BALANCEADOS DE SISTEMA DE FASORES DE VOLTAJE HEXAFASICOS DESBALANCEADOS			
FIGURA No. II - 1		ESCALA: —	FECHA: 1988



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: COMPONENTES SIMETRICOS PARA 12 FASES.			
FIGURA No. X. 1A *SCALA			FECHA: 1998

### II.3.1 OPERADOR b, PARA 6 FASES.

El operador b hexafásico se define como:

$$b = e^{j\pi/3} = 0.5 + j0.866 \quad (\text{II.3.1.1})$$

Este operador está relacionado al operador a trifásico por:

$$b = -a^2 \quad (\text{II.3.1.2})$$

En la figura II.2 se muestran los vectores para diferentes potencias del operador b.

En las ecuaciones II.3.1.3 se resumen las funciones del operador b y sus relaciones con los operadores a y j.

$$\begin{aligned} b_1 &= 1 \angle 0^\circ = 0.5 + j0.866 = -a^2 = (b^5)^* \\ b_2 &= 1 \angle 120^\circ = -0.5 + j0.866 = a = (b^4)^* \\ b_3 &= 1 \angle 180^\circ = -1 + j0.0 \\ b_4 &= 1 \angle 240^\circ = -0.5 - j0.866 = a^2 \\ b_5 &= 1 \angle 300^\circ = 0.5 - j0.866 = -a \\ 1 + b + b^2 + b^3 + b^4 + b^5 &= 0 \\ 1 + b^3 &= 0 \\ 1 + b^2 + b^4 &= 1 + a + a^2 = 0 \\ b + b^3 + b^5 &= 0 \end{aligned}$$

(II.3.1.3)

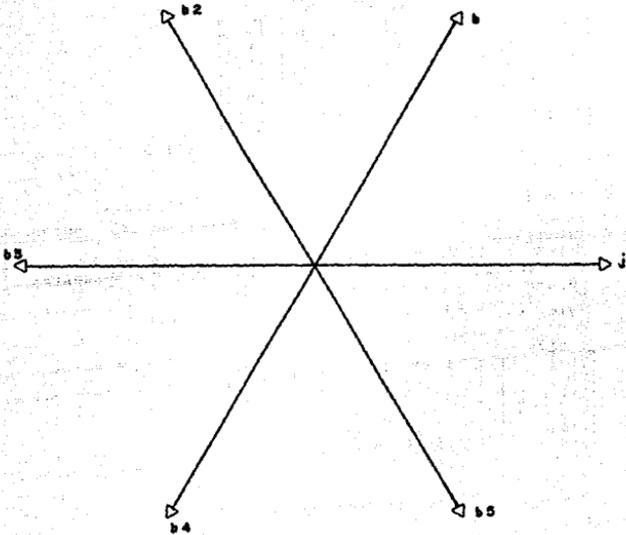
### II.3.2 TRANSFORMACIONES.

Refiriéndonos a la figura II.1, las siguientes relaciones entre las componentes de secuencia de fase 2 y 1 pueden ser fácilmente verificadas.

$$\begin{aligned} V_{21} &= b^5 V_{11} \\ V_{22} &= b^4 V_{12} \\ V_{23} &= b^3 V_{13} \\ V_{24} &= b^2 V_{14} \\ V_{25} &= b V_{15} \\ V_{20} &= V_{10} \end{aligned}$$

(II.3.2.1)

Relaciones similares pueden ser escritas para las otras fases.



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: DIAGRAMA DE FASORES PARA DIFERENTES POTENCIAS DEL OPERADOR b.			
FIGURA No. II-2	ESCALA: ———	FECHA: 1968	

Entonces, la ecuación (II.3.1) puede ser escrita en forma matricial usando las diversas relaciones obtenidas de (II.3.2.1).

$$\begin{matrix} \textcircled{1} & \textcircled{2} & \textcircled{3} & \textcircled{4} & \textcircled{5} \\ \begin{bmatrix} V1 \\ V2 \\ V3 \\ V4 \\ V5 \\ V6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & b^5 & b^4 & b^3 & b^2 \\ 1 & b^4 & b^2 & 1 & b^4 \\ 1 & b^3 & 1 & b^3 & 1 \\ 1 & b^2 & b^4 & 1 & b^2 \\ 1 & b & b^2 & b^3 & b^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V10 \\ V11 \\ V12 \\ V13 \\ V14 \\ V10 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

(II.3.2.2)

o bien

$$\bar{V} = [T6] \bar{V}_{sim} \quad (\text{II.3.2.4})$$

Donde T6 es la matriz de transformación de componentes simétricas.

Estas 2 últimas ecuaciones nos relacionan los fasores de voltaje desbalanceados en sus componentes de secuencia. La relación inversa es:

$$V_{sim} = [T]^{-1} V \quad (\text{II.3.2.5})$$

$$\begin{matrix} \text{o bien} \\ \begin{bmatrix} V10 \\ V11 \\ V12 \\ V13 \\ V14 \\ V15 \end{bmatrix} = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & b & b^2 & b^3 & b^4 & b^5 \\ 1 & b^2 & b^4 & 1 & b^2 & b^4 \\ 1 & b^3 & 1 & b^3 & 1 & b^3 \\ 1 & b^4 & b^2 & 1 & b^4 & b^2 \\ 1 & b^5 & b^4 & b^3 & b^2 & b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V1 \\ V2 \\ V3 \\ V4 \\ V5 \\ V6 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

(II.3.2.6)

Puede ser fácilmente comprobado que:

$$[T]^{-1} = [T] \quad \text{y} \quad (\text{II.3.2.7})$$

$$[[T]^{-1}]^T = [T]^{-1} \quad (\text{II.3.2.8})$$

Ecuaciones similares a II.3.2.4 y II.3.2.5 pueden obtenerse para las corrientes de línea I1, I2, I3, I4 I5 e I6.

$$\bar{I} = [T] \bar{I}_{Sim} \quad (\text{II.3.2.9})$$

$$\bar{I}_{Sim} = [T]^{-1} \bar{I} \quad (\text{II.3.2.10})$$

Debe observarse que la corriente en el neutro será diferente de cero cuando los fasores de corriente estén desbalanceados, o sea:

$$I_n = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 = 6I_{10} \quad (\text{II.3.2.11})$$

### II.3.3 POTENCIA TRANSMITIDA EN COMPONENTES DE SECUENCIA.

La potencia compleja hexafásica se define como:

$$S_{6\phi} = V_1 I_1^* + V_2 I_2^* + V_3 I_3^* + V_4 I_4^* + V_5 I_5^* + V_6 I_6^* \quad (\text{II.3.3.1})$$

La trayectoria por neutro puede o no estar presente. En notación matricial:

$$S_{6\phi} = [ V_1 \ V_2 \ V_3 \ V_4 \ V_5 \ V_6 ] \begin{bmatrix} I_1^* \\ I_2^* \\ I_3^* \\ I_4^* \\ I_5^* \\ I_6^* \end{bmatrix} = \bar{V}^T \bar{I}^* \quad (\text{II.3.3.2})$$

Usando las ecuaciones II.3.2.4 y II.3.2.5 en II.3.3.2:

$$\begin{aligned} S_{6\phi} &= [ [ T ] \bar{V}_{Sim} ]^T [ [ T ] \bar{I}_{Sim} ]^* \\ &= \bar{V}_{Sim}^T [ T ]^T [ T ]^* \bar{I}_{Sim}^* \\ &= 6 \bar{V}_{Sim} \bar{I}_{Sim}^* \end{aligned} \quad (\text{II.3.3.3})$$

$$\begin{aligned} S_{6\phi} &= 6 [ V_{10} \ V_{11} \ V_{12} \ V_{13} \ V_{14} \ V_{15} ] \begin{bmatrix} I_{10}^* \\ I_{11}^* \\ I_{12}^* \\ I_{13}^* \\ I_{14}^* \\ I_{15}^* \end{bmatrix} \\ &= 6 ( V_{10} I_{10}^* + V_{11} I_{11}^* + V_{12} I_{12}^* + V_{13} I_{13}^* + \\ &\quad V_{14} I_{14}^* + V_{15} I_{15}^* ) \end{aligned} \quad (\text{II.3.3.4})$$

### II.3.4 LA MATRIZ DE IMPEDANCIA [ Z ] DE UNA LINEA TIPICA.

Ya fue definida anteriormente por:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} & Z_{15} & Z_{16} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} & Z_{25} & Z_{26} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & Z_{34} & Z_{35} & Z_{36} \\ Z_{41} & Z_{42} & Z_{43} & Z_{44} & Z_{45} & Z_{46} \\ Z_{51} & Z_{52} & Z_{53} & Z_{54} & Z_{55} & Z_{56} \\ Z_{61} & Z_{62} & Z_{63} & Z_{64} & Z_{65} & Z_{66} \end{bmatrix}$$

(II.3.4.1)

Si la línea es completamente transpuesta, la matriz de impedancia se reduce a:

$$[ Z ] = \begin{bmatrix} Z \text{ propias} & Z \text{ mutuas} \\ Z \text{ mutuas} & \end{bmatrix}$$

(II.3.4.2)

La ecuación para la caída de voltaje para la línea de transmisión transpuesta es:

$$\begin{bmatrix} E_1 - V_1 \\ E_2 - V_2 \\ E_3 - V_3 \\ E_4 - V_4 \\ E_5 - V_5 \\ E_6 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \\ \Delta V_3 \\ \Delta V_4 \\ \Delta V_5 \\ \Delta V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z \text{ propias} & Z \text{ mutuas} \\ Z \text{ mutuas} & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}$$

(II.3.4.3)

o en notación matricial:

$$\bar{E} - \bar{V} = \Delta \bar{V} = [ Z ] \bar{I}P$$

(II.3.4.4)

Usando las ecuaciones II.3.2.4 y II.3.2.9 en II.3.4.4

$$[ T ] \Delta \bar{V}Sim = [ Z ] [ T ] \bar{I}Sim \quad (II.3.4.5)$$

$$\Delta \bar{V}Sim = [ T ]^{-1} [ Z ] [ T ] \bar{I}Sim \quad (II.3.4.6)$$

$$= [ Z Sim ] \bar{I}Sim \quad (II.3.4.7)$$

Lo cuál es expresado en forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} E_{10} - V_{10} \\ E_{11} - V_{11} \\ E_{12} - V_{12} \\ E_{13} - V_{13} \\ E_{14} - V_{14} \\ E_{15} - V_{15} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 - V_{10} \\ E_{11} - V_{11} \\ 0 - V_{12} \\ 0 - V_{13} \\ 0 - V_{14} \\ 0 - V_{15} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{ss} + 5 Z_{sm} & & & & & \\ & Z_{ss} - Z_{sm} & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{10} \\ I_{11} \\ I_{12} \\ I_{13} \\ I_{14} \\ I_{15} \end{bmatrix}$$

(II.3.4.8)

En la ecuación de arriba sólo  $E_{11}$  está presente debido a que la fuente está siempre balanceada y para cada una de las impedancias de secuencia anteriores, se tiene:  $Z_0 = Z_{ss}$ ,  $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_5 = Z_{ss} - S_{sm}$  para los sistemas hexafásicos.

Resumiendo, las siguientes ecuaciones constituyen la transformación de componentes simétricos.

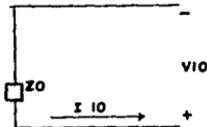
$$\begin{aligned} \bar{V} &= [ T ] \bar{V}_{Sim} \\ \bar{I} &= [ T ] \bar{I}_{Sim} \\ Z &= [ T ] [ Z_{Sim} ] [ T ]^{-1} \\ \bar{V}_{Sim} &= [ T ]^{-1} \bar{V} \\ \bar{I}_{Sim} &= [ T ]^{-1} \bar{I} \\ Sim &= [ T ]^{-1} [ Z ] [ T ] \end{aligned}$$

(II.3.4.9)

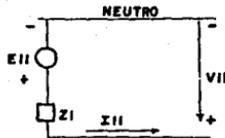
### II.3.5 MALLAS DE SECUENCIA PARA 6 FASES.

Para una línea hexafásica como la tratada hasta ahora existen las siguientes 6 mallas de secuencia que se ilustran en la figura II.3.

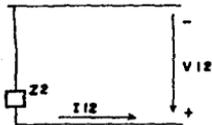
RED DE SECUENCIA CERO.



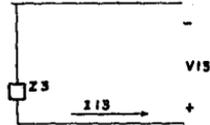
RED DE SECUENCIA POSITIVA.



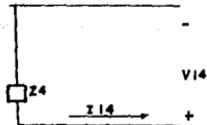
RED DE SEGUNDA SECUENCIA.



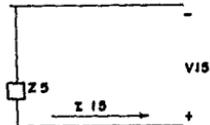
RED DE TERCERA SECUENCIA.



RED DE CUARTA SECUENCIA.



RED DE QUINTA SECUENCIA



U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

TITULO: REDES DE SECUENCIA.

FIGURA No. II - 3 ESCALA \_\_\_\_\_ FECHA: 1988

**CAPITULO III.**

**ANALISIS ELECTRICO DE LAS LINEAS DE TRANSMISION  
MULTIFASICAS.**

## CAPITULO III

## ANALISIS ELECTRICO DE LAS LINEAS DE TRANSMISION MULTIFASICAS.

## III.1 EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS LINEAS.

Se evalúan diferentes características de funcionamiento, algunas dependen de la distancia y otras no, entre las últimas se encuentran:

- 1) Capacidad de transmisión
- 2) Potencia característica y entre las primeras tenemos:
- 3) Regulación de voltaje
- 4) Eficiencia de transmisión
- 5) Máxima transferencia de potencia

## III.2 CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO INDEPENDIENTES DE LA DISTANCIA.

- 1) Capacidad de transmisión:

$$THL = Nc Nsub N V_{1-n} I_1 \quad MVA \quad (III.2.1)$$

- 2) Potencia característica:

$$SIL = N V_{1-n} / SI \quad [MW] \quad (III.2.2)$$

Donde: N = número de fases

$V_{1-n}$  = voltaje de línea a neutro en KV

SI = impedancia característica en  $\sqrt{X_{11}/Y_{11}}$  (III.2.3)

Donde:  $X_{11}$  = reactancia inductiva de secuencia positiva en  $\Omega/km$

$Y_{11}$  = admitancia paralelo de secuencia positiva en siemens/km.

## III.3 CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEPENDIENTES DE LA DISTANCIA.

Las tres características de funcionamiento dependientes de la distancia pueden evaluarse usando

la línea nominal  $\overline{TT}$ . El modelo se muestra en la figura (III.1).

Los valores para la impedancia  $Z$  y admitancia  $Y$  para cualquier longitud  $L$  de la línea son:

$$Z = Z_{11} \times L \quad \text{y} \quad Y = Y_{11} \times L \quad (\text{III.3.1})$$

A partir de esto, los parámetros de línea  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , y  $D$  constantes para el modelo nominal  $\overline{TT}$  pueden calcularse como se muestra:

$$A = 1 + \frac{ZY}{2}$$

$$B = Z$$

$$C = Y + \frac{ZY^2}{4}$$

$$D = 1 + \frac{ZY}{2}$$

(III.3.2)

El siguiente paso es, entonces asumir diversas cantidades de recepción final, estas son: (i) suponer el voltaje igual al voltaje del sistema, (ii) el factor de potencia de recepción final es alimentado como un dato de entrada y (iii) la potencia real de recepción final (carga), la cual es un valor asignado basado en una nueva aproximación descrita abajo. En esta aproximación, el valor de potencia real se fija dependiendo de la distancia de transmisión, pero sujeto a las siguientes restricciones:

$$SIL \leq \text{Carga (potencia real)} \leq \text{Carga térmica.}$$

(III.3.3)

Si la capacidad de carga de la línea es  $P_1$ , entonces:

$$\delta = \delta_{\text{nominal}} = \text{Ang. Sen} (P_1 \times \text{nom.} / 3 |VR|^2), \text{ para operación trifásica.}$$

(III.3.4)

$$\text{y } \delta = \delta_{\text{nominal}} = \text{Ang. Sen} (P_1 \times \text{nom.} / 6 |VR|^2) \text{ para operación Hexafásica.}$$

(III.3.5)

$$\delta = \text{ángulo de defasamiento entre } V_s \text{ y } V_r.$$

Con la reactancia inductiva de la línea = X nom. por fase y  $|V_s| = |V_R|$ .

∴ la potencia recibida al final de la línea es:

$$PR = \frac{3|V_R|^2}{R^2+X^2} [-R + \text{Cos}(\delta \text{ nom.}) + X \text{Sen}(\delta \text{ nom.})]$$

para conducción trifásica.

$$= \frac{6|V_R|^2}{R^2+X^2} [-R + \text{Cos}(\delta \text{ nom.}) + X \text{Sen}(\delta \text{ nom.})]$$

para conducción hexafásica.

(III.3.6)

Conociendo VR PR y el factor de potencia, la corriente de recepción IR puede calcularse. El siguiente paso es determinar el voltaje de envío y la corriente a partir de:

$$V_s = A V_R + B I_R$$

$$I_s = C V_R + D I_R$$

(III.37)

La potencia real de envío es:

$$P_s = \text{Real} \{ 3V_s I_s^* \} \text{ para líneas trifásicas.}$$

$$= \text{Real} \{ 6V_s I_s^* \} \text{ para líneas hexafásicas.}$$

(III.3.8)

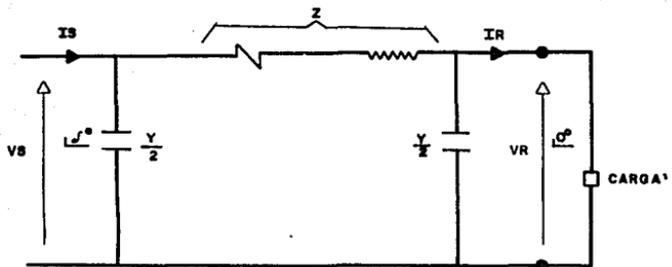
Ahora las 3 características dependientes de la distancia pueden ser generadas para valores diferentes de longitudes de línea como sigue:

$$3) \text{ Regulación de voltaje} = (|V_s|/|A| - |V_R|) \times 100 / |V_R| \%$$

(III.3.9)

$$4) \text{ Eficiencia de transmisión} = PR \times 100 / P_s \%$$

(III.3.10)



<b>U N A M</b>		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
TITULO: MODELO NOMINAL PARA LINEAS DE TRANSMISION.		
FIGURA No. III-1	ESCALA: —	FECHA: 1988

5) Máxima transferencia de potencia o límite de estabilidad de estado estable de una línea con pérdidas:

$$P_{MAX} = \frac{N}{R^2 + X^2} [-R|VR|^2 + R|VS||VR| \cos(\delta_{m\acute{a}x}) + X|VS||VR| \sin(\delta_{m\acute{a}x})]$$

(III.3.11)

Donde: N = 3 para líneas 3  $\phi$ .  
 = 6 para líneas 6  $\phi$ .  
 y  $\delta_{m\acute{a}x}$  =  $\text{ang tan}(X/R)$

(III.3.12)

#### III.4 EVALUACION DE LOS GRADIENTES DE TIERRA.

El tema del impacto ambiental de las líneas de transmisión de alto voltaje ha recibido considerable atención durante los últimos años. Los estudios han conducido a calcular los voltajes electrostáticamente inducidos y los gradientes de voltaje sobre el nivel de tierra en la vecindad de la línea de transmisión. Esto determina efectivamente la seguridad para el personal que trabaja cerca de una línea de transmisión para su reparación ó mantenimiento.

##### III.4.1 CALCULO DE LOS GRADIENTES DEL VOLTAJE INDUCIDO ELECTROSTATICAMENTE.

La ecuación básica en el desarrollo de la teoría para una línea multifásica sencilla es:

$$\vec{V} = P\vec{q} \quad \delta \quad \vec{q} = P^{-1}\vec{V} \quad (\text{III.4.1})$$

En la sección II.2 se mencionaron los elementos de estas dos últimas ecuaciones, las cuales se pueden escribir en forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_i & P_i & \dots & P_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_i \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix} \quad (\text{III.4.2})$$

$$[V] = [P] [Q] \quad (\text{III.4.2.a})$$

Como se mencionó en el Capítulo II,  $q$  es la carga del conductor en coulombs por unidad de distancia,  $V$  es el potencial del conductor en volts con respecto a tierra y  $P$  el coeficiente de potencial definidos por:

$$\begin{aligned} & \text{Si } i = j \\ P_{ii} &= 2.8921 \times 10^{10} \ln(D_{ii}' / r_i) \text{ m/farad} \end{aligned} \quad (\text{III.4.3})$$

ó

$$P_{ii} = 4.138 \times 10^7 \log(D_{ii}' / r_i) \text{ m/farad} \quad (\text{III.4.4})$$

y cuando  $i \neq j$

$$P_{ij} = 2.8921 \times 10^{10} \ln(D_{ij}' / D_{ij}) \text{ m/farad} \quad (\text{III.4.5})$$

ó

$$P_{ij} = 4.138 \times 10^7 \log(D_{ij}' / D_{ij}) \text{ m/farad} \quad (\text{III.4.6})$$

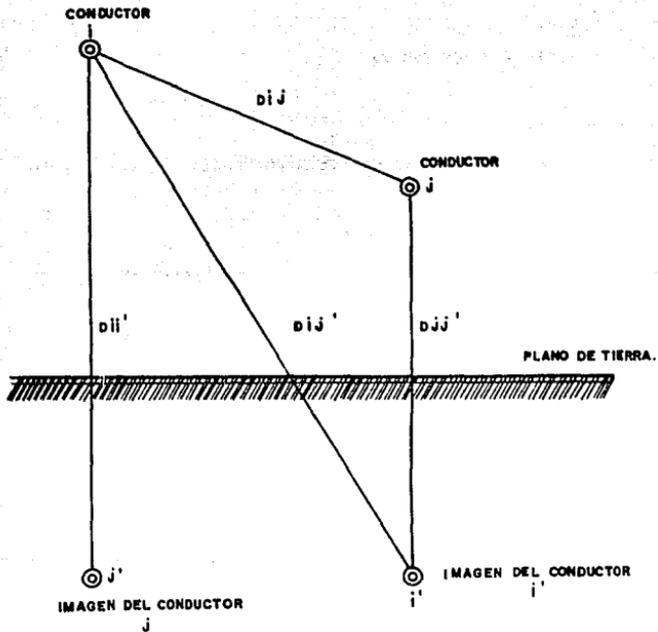
Donde  $r_i$  = radio de cada conductor

$D_{ij}$  = distancia entre los conductores  $i$  y  $j$

$D_{ij}'$  = distancia entre el conductor  $i$  y la imagen del conductor  $j$

Las dimensiones para  $r_i$ ,  $D_{ij}$ , y  $D_{ij}'$  deben ser de las mismas unidades.

Ver figura III.2



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: GEOMETRIA DE LOS CONDUCTORES Y SUS IMAGENES DE UNA LINEA DE TRANSMISION MULTIFABRICA.			
FIGURA No. III - 2	ESCALA: —	FECHA: 1988	

Para calcular el flujo de corriente, es necesario escribir la ecuación III.4.2 en términos de sus cargas eléctricas.

Primero sabemos que:

$$q_i(t) = Q_i (\text{máx}) \text{ Sen } \omega t \quad (\text{III.4.7})$$

y que:

$$i_i(t) = dq_i(t)/dt \quad (\text{III.4.8})$$

entonces:

$$i_i(t) = \omega Q_i (\text{máx}) \text{ Cos } \omega t = \omega Q_i (\text{máx}) \text{ Sen } (\omega t + 90^\circ) \quad (\text{III.4.9})$$

o bien en forma fasorial:

$$I_i = j \omega Q_i \quad (\text{III.4.10})$$

ó

$$Q_i = (1/j\omega) I_i \quad (\text{III.4.11})$$

entonces la ecuación III.4.2.a puede escribirse como:

$$[V] = (1/j\omega) [P] [I] = [Z] [I] \quad (\text{III.4.12})$$

o también en forma expandida por:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & P_{2j} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P_{i1} & P_{i2} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ I_i \end{bmatrix}$$

(III.4.13)

El programa de computadora calcula  $P^{-1}$  para una configuración dada de una línea hexafásica y una línea trifásica de doble circuito. Una vez que se conocen los elementos del vector  $\bar{q}$  de carga en la línea, el potencial  $V$  para un punto dado  $p$  en la vecindad de la línea se puede encontrar como:

$$V_p = \sum_{i=1}^6 P_{pi} q_i \quad (\text{III.4.14})$$

La ecuación III.4.14 puede ser reescrita sustituyendo la expresión para  $P_{pi}$  como:

$$V_p = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^6 q_i \ln \frac{L_{ip}}{l_{ip}} \quad (\text{III.4.15})$$

Con  $V_p$ , el gradiente de voltaje  $E$  puede calcularse de:

$$\nabla V_p = \frac{\partial V_p}{\partial x} \bar{x} + \frac{\partial V_p}{\partial y} \bar{y} = -\bar{E} \quad (\text{III.4.16})$$

Donde  $\nabla V_p$  es el gradiente de voltaje, y:  $\bar{x}$  y  $\bar{y}$  son vectores  $p$  unitarios en dirección de "x" y "y".

De la ecuación anterior las componentes "x", "y" de  $E$  pueden identificarse como:

$$E_x = - \frac{\partial V_p}{\partial x} \quad (\text{III.4.17})$$

y

$$E_y = - \frac{\partial V_p}{\partial y} \quad (\text{III.4.18})$$

Ahora substituyendo las ecuaciones (III.4.16), (III.4.17) y (III.4.18) se tiene, después de una diferenciación y simplificación:

$$E_x = - \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^6 q_i \frac{x_p - x_i}{/Lip/^{3/2}} - \frac{x_p - x_i}{/lip/^{3/2}}$$

(III.4.19)

$$E_y = - \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^6 q_i \frac{y_p - y_i}{/Lip/^{3/2}} - \frac{y_p - y_i}{/lip/^{3/2}}$$

(III.4.20)

Donde las distintas distancias están descritas en la figura III.3.

Dado que cada  $q_i$  en las ecuaciones (III.4.19) y (III.4.20) es un fasor.  $E_x$  y  $E_y$  son también fasores esto es:

$$E_x = E_{xR} + jE_{xI} \quad \text{(III.4.21)}$$

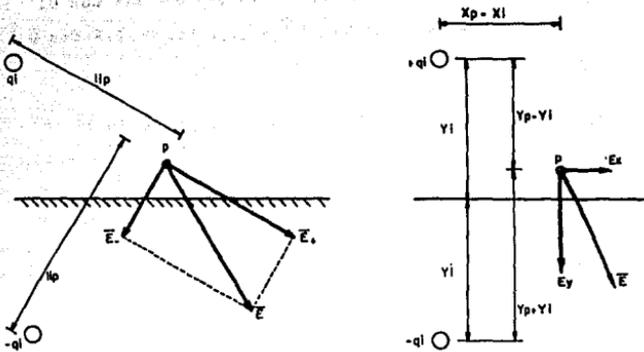
$$E_y = E_{yR} + jE_{yI} \quad \text{(III.4.22)}$$

Esto significa que en un instante dado de un ciclo  $E_x$  y  $E_y$  no tienen sólo diferentes magnitudes, sino también diferentes ángulos. Las magnitudes son individuales y también cambian durante el ciclo. Se puede demostrar que el fasor resultante  $E$  al punto  $p$  traza una elipse en el plano  $x$ - $y$  según aumenta el período de tiempo. Esto se muestra en la figura III.4. Matemáticamente, esto puede expresarse como:

$$E' = (E_{yI} \text{ sen } \theta + E_{xI} \text{ Cos } \theta)' + (E_{yR} \text{ Sen } \theta + E_{xR} \text{ Cos } \theta)'$$

(III.4.23)

Las longitudes de los ejes mayor y menor son los valores máximos y mínimos respectivamente de  $|E'|$ . Esto puede encontrarse diferenciando  $|E'|$  con respecto al ángulo  $\theta$  e igualando la expresión resultante con cero. Esto es:



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: CONTRIBUCIONES DE PUENTE E IMAGEN A E, COMPONENTES HORIZONTAL Y VERTICAL DE E.			
FIGURA No III-3 ESCALA: —			FECHA: 1988

$$\tan^2 \theta (E_{yR} E_{xR} + E_{yI} E_{xI}) + \tan \theta (-E_{yI}^2 + E_{xI}^2 + E_{yR}^2 + E_{xR}^2) - (E_{yR} E_{xR} + E_{yI} E_{xI}) = 0$$

(III.4.24)

DEMOSTRACION:

$$\vec{E} = (E_{yI} \text{Sen } \theta + E_{xI} \text{Cos } \theta)\mathbf{j} + (E_{yR} \text{Sen } \theta + E_{xR} \text{Cos } \theta)\mathbf{i}$$

$$|\vec{E}|^2 = (E_{yI} \text{Sen } \theta + E_{xI} \text{Cos } \theta)^2 + (E_{yR} \text{Sen } \theta + E_{xR} \text{Cos } \theta)^2$$

$$\frac{d|\vec{E}|^2}{d\theta} = 0$$

$$= (E_{yI} \text{Sen } \theta + E_{xI} \text{Cos } \theta) (E_{yI} \text{Cos } \theta - E_{xI} \text{Sen } \theta) + (E_{yR} \text{Sen } \theta + E_{xR} \text{Cos } \theta) (E_{yR} \text{Cos } \theta - E_{xR} \text{Sen } \theta)$$

$$= E_{yI}^2 \text{Sen } \theta \text{Cos } \theta - E_{yI} E_{xI} \text{Sen}^2 \theta + E_{xI} E_{yI} \text{Cos}^2 \theta - E_{xI}^2 \text{Sen } \theta \text{Cos } \theta + E_{yR}^2 \text{Sen } \theta \text{Cos } \theta - E_{yR} E_{xR} \text{Sen}^2 \theta + E_{xR} E_{yR} \text{Cos}^2 \theta - E_{xR}^2 \text{Sen } \theta \text{Cos } \theta$$

$$= \text{Sen } \theta \text{Cos } \theta (E_{yI}^2 - E_{xI}^2 + E_{yR}^2 - E_{xR}^2) - \text{Sen}^2 \theta (E_{yI} E_{xI} + E_{yR} E_{xR}) + \text{Cos}^2 \theta (E_{xI} E_{yI} + E_{xR} E_{yR})$$

$$= \text{Sen } \theta \text{Cos } \theta (E_{yI}^2 - E_{xI}^2 + E_{yR}^2 - E_{xR}^2) + (\text{Cos}^2 \theta - \text{Sen}^2 \theta) (E_{yI} E_{xI} + E_{yR} E_{xR})$$

$$= \frac{\text{Sen } \theta}{\text{Cos } \theta} (E_{yI}^2 - E_{xI}^2 + E_{yR}^2 - E_{xR}^2) + \left( \frac{1 - \text{Sen}^2 \theta}{\text{Cos}^2 \theta} \right) (E_{yI} E_{xI} + E_{yR} E_{xR})$$

E<sub>yR</sub> E<sub>xR</sub>)

$$= \tan \theta (E_{yI}^2 - E_{xI}^2 + E_{yR}^2 - E_{xR}^2) + (E_{yI} E_{xI} + E_{yR} E_{xR}) - \tan^2 \theta (E_{yI} E_{xI} + E_{yR} E_{xR}) (-1)$$

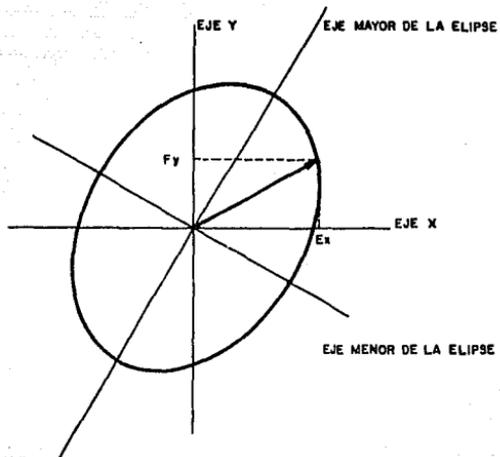
$$\tan^2 \theta (E_{yI} E_{xI} + E_{yR} E_{xR}) + \tan \theta (-E_{yI}^2 + E_{xI}^2 - E_{yR}^2 + E_{xR}^2) - (E_{yI} E_{xI} + E_{yR} E_{xR})$$

$$\theta_1, \theta_2 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

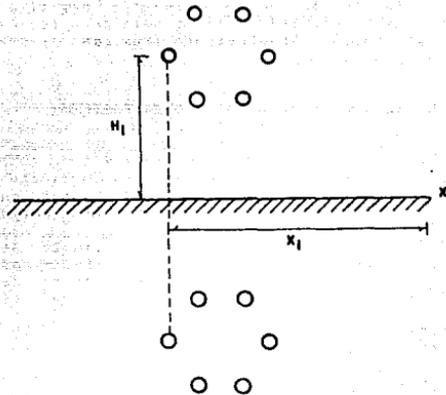
$$A = (E_{yI} E_{xI} + E_{yR} E_{xR})$$

$$B = (-E_{y^2I} + E_{x^2I} - E_{y^2R} + E_{x^2R})$$

$$C = (-1) (E_{yI} E_{xI} + E_{yR} E_{xR})$$



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: ELIPSE DE POLARIZACION DE INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO.			
FIGURA No. III- 4		ESCALA: —	FECHA: 1988



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: GEOMETRIA PARA CALCULAR LA INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO EN EL PUNTO X.			
FIGURA No. III-5		ESCALA: —	FECHA: 1988

### III.5 DESBALANCEOS ELECTROSTATICOS Y ELECTROMAGNETICOS.

La evaluación de los desbalances electrostáticos y electromagnéticos es de importancia para encontrar las corrientes de desbalance resultantes de la no transposición de las líneas hexafásicas, las cuales serían suficientes para un disparo indeseable de los relevadores de falla a tierra. También, la corriente de secuencia negativa, cuando es transmitida al lado del generador a través de los transformadores hexafásico/trifásicos, puede exceder niveles aceptables.

#### III.5.1 METODO DE CALCULO DE DESBALANCES HEXAFASICOS.

El método de parámetros generalizados ABCD se usa en este análisis para obtener las corrientes de fase en los extremos de envío y recepción para un voltaje y una carga dadas en el extremo de envío (ó también en el receptor). Los datos esenciales requeridos para la evaluación de desbalances son las matrices de parámetros eléctricos generados por el programa "Parámetros de líneas de transmisión trifásicas y hexafásicas", dado en el Apéndice A1. La relación entre los voltajes y corrientes de los extremos de envío y recepción, está dada por:

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_s \\ \bar{I}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U & 0 \\ Y/2 & U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U & Z \\ 0 & U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U & 0 \\ Y/2 & U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{E}_r \\ \bar{I}_r \end{bmatrix}$$

(III.5.1)

Donde  $E_s$ ,  $I_s$ ,  $E_r$  e  $I_r$  son vectores columna de  $6 \times 1$  de los voltajes de envío, corrientes de envío, voltajes de recepción y corrientes de recepción, respectivamente. Las matrices  $Z$  y  $Y$  de impedancia serie y susceptancia capacitiva paralelo, respectivamente de orden 6, y  $U$ ,  $0$  son las matrices identidad y nula del mismo orden.

La ecuación III.5.1 de arriba puede ser escrita en términos de los parámetros ABCD como:

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_s \\ \bar{I}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{E}_r \\ \bar{I}_r \end{bmatrix}$$

(III.5.2)

Donde A, B, C, D son submatrices de dimensión 6 x 6 conteniendo los parámetros de línea Z y Y. Además, se puede representar Er en términos de la matriz de impedancia de carga ZL, e Ir como se indica en la ecuación III.5.3.

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_r \\ \bar{I}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U & ZL \\ 0 & U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{I}_r \end{bmatrix}$$

(III.5.3)

Sustituyendo III.5.3 en III.5.2 da:

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_s \\ \bar{I}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U & ZL \\ 0 & U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{I}_r \end{bmatrix}$$

(III.5.4)

o bien:

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_s \\ \bar{I}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{I}_r \end{bmatrix}$$

(III.5.5)

de esta última ecuación:

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_s \\ \bar{I}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B' \\ C' \end{bmatrix} \bar{I}_r \quad (III.5.6)$$

$$\bar{I}_r = \begin{bmatrix} B' \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \bar{E}_s \end{bmatrix} \quad (III.5.7)$$

de la ecuación III.5.2 de arriba:

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{E}_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_r \end{bmatrix} \quad (III.5.8)$$

o:

$$[\bar{E}_s] - [B] [\bar{I}_r] = [A] [\bar{E}_r] \quad (\text{III.5.9})$$

$$[\bar{E}_r] = [A] [\bar{E}_s] - [B] [\bar{I}_r] \quad (\text{III.5.10})$$

y de la ecuación (III.5.5):

$$[\bar{I}_s] = [D] [\bar{I}_r] \quad (\text{III.5.11})$$

Ahora, conociendo los voltajes finales de envío, los cuales podemos suponer que están balanceados, uno puede encontrar  $I_r$  de la ecuación III.5.7,  $E_r$  de la ecuación III.5.10, e  $I_s$  de la ecuación III.5.11. Estos valores de fase de voltaje y corriente pueden transformarse en sus valores de secuencia usando la matriz de transformación de componentes simétricas mencionada en el capítulo II.

Entonces, los factores de desequilibrio pueden calcularse dividiendo los valores de secuencia por los respectivos valores de secuencia positiva. Esto da 5 factores de desequilibrio llamados factores de desbalance de secuencia cero, secuencia segunda, secuencia tercera, secuencia cuarta y secuencia quinta (o negativa). Un factor de desequilibrio de secuencia es la relación de la corriente de cada secuencia a la corriente de secuencia positiva. Por ejemplo, el factor de desbalance de secuencia cero, es la relación de la corriente de secuencia cero a la corriente de secuencia positiva, el factor de desequilibrio de secuencia segunda es la relación de la corriente de secuencia segunda a la corriente de secuencia positiva, y así sucesivamente para las otras secuencias.

Para propósitos de comparación con los sistemas trifásicos sólo los factores de desequilibrio de secuencia cero y negativa son importantes.

### III.6 MANIOBRAS MONOFASICAS.

La necesidad del análisis de funcionamiento de maniobras monofásicas bajo condiciones de estado estable proviene de la siguiente pregunta: "¿Cuál será la corriente de secuencia negativa que fluiría a través de los devanados del generador debido a corrientes de desbalance en una línea hexafásica vía un transformador trifásico/hexafásico?"

#### III.6.1 DESARROLLO DEL MODELO MATEMATICO.

El efecto de abrir una de las fases de una línea hexafásica puede ser matemáticamente simulado por eliminación del renglón y columna correspondiente a la fase que está siendo abierta de la matriz de admitancia serie normal. Entonces, asignando un valor muy alto del término de la diagonal y uno muy bajo para los términos fuera de la diagonal en la matriz de impedancia serie resultante para el renglón y la columna correspondientes, se tendrá que la corriente en dicha fase, efectivamente es cero. Esto es matemáticamente explicado abajo. Usando el método de parámetros ABCD para la evaluación de desbalances, los factores de desbalance de recepción finales para una línea hexafásica bajo una condición de maniobra monofásica pueden calcularse.

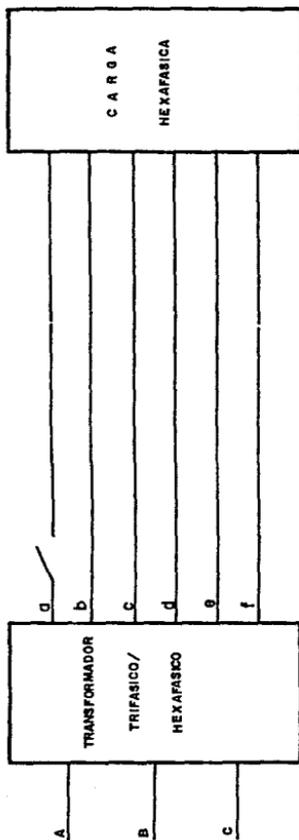
La figura III.6.1 muestra el diagrama de bloques para este análisis. La fase "a" de la línea hexafásica es considerada abierta. La relación entre las corrientes y los voltajes de fase en la línea es:

$$\bar{I}_p = Y_p \bar{V}_p \quad (\text{III.6.1})$$

Donde  $\bar{I}_p$  es un vector columna de 6 x 1 de las corrientes de fase

$\bar{V}_p$  es un vector columna de 6 x 1 de los voltajes de fase

$Y_p$  es la matriz de admitancia serie



<b>U N A M</b>	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
TITULO:	APERTURA DE LA FASE 'A'
FIGURA No. II. 6.1	FECHA: 19 88

$[Z_p] = [Y_p]^{-1}$  es la matriz de impedancia serie

$$[Y_p] = \begin{bmatrix} Y_{aa} & Y_{ab} & \dots & Y_{af} \\ Y_{ba} & Y_{bb} & \dots & Y_{bf} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{fa} & Y_{fb} & \dots & Y_{ff} \end{bmatrix} \quad 6 \times 6$$

(III.6.2)

Los elementos del primer renglón y la primera columna correspondientes a la fase "a" en  $Y_p$  pueden ser eliminados por la operación:

$$Y_{i,j} = Y(i,j) - \frac{Y(1,i) Y(1,j)}{Y(1,1)}$$

(III.6.3)

Esta operación reduce la matriz de admitancia a  $5 \times 5$  correspondientes a las fases "b" a la "f"

Esta matriz se invierte para dar la matriz de admitancia serie  $Z$   $5 \times 5$ .

Esta matriz  $Z$  se aumenta dando un valor alto al término  $Z_{aa}$  y uno muy bajo a los términos  $Z_{aj}$  y  $Z_{ja}$ , donde  $j = b, c, d, e, f$ .

Esto resulta en principio una matriz de  $6 \times 6$  para la matriz serie modificada como se indica abajo:

$$[Z]_{6 \times 6} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & \dots & Z_{af} \\ Z_{ba} & & & \\ \vdots & & & \\ \vdots & & & \\ Z_{fa} & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [Z]_{5 \times 5} \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix}$$

(III.6.4)

Después de que la matriz  $Z$  modificada es obtenida, el procedimiento para evaluar los factores de desbalance bajo condiciones de maniobras monofásicas es el mismo como el delineado en la sección III.5 para un análisis de desbalance normal.

### III.7 EFECTO CORONA.

#### III.7.1 INTRODUCCION.

El efecto corona ocurre en una línea de transmisión cuando el gradiente de voltaje en la vecindad inmediata de la superficie del conductor excede la rigidez dieléctrica del aire. La ruptura del aire genera calor, luz, ruido audible y radiointerferencia. Estas manifestaciones implican la pérdida de ciertas cantidades de potencia y energía, que son alimentadas por la estación generadora.

Estas pérdidas y sus consecuencias económicas juegan un importante papel en la selección de conductores para las líneas de transmisión. Esto es cierto tanto para líneas hexafásicas como para líneas trifásicas. Diversos estudios se han llevado a cabo en laboratorios y en el campo para evaluar las pérdidas corona y como consecuencia de esto se ha desarrollado una fórmula empírica para evaluar estas pérdidas bajo condiciones de tiempo seco y tiempo lluvioso.

En esta sección se presenta un método para evaluar las pérdidas corona como una función de la presión barométrica, temperatura y factor de superficie del conductor para sistemas de transmisión hexafásicos y trifásicos.

#### III.7.2 GRADIENTE DE INICIACION CORONA.

Si el valor del gradiente de iniciación corona es menor que el gradiente de superficie del conductor, entonces el efecto corona ocurre en la línea de transmisión. Por lo tanto, la determinación del gradiente de iniciación corona es importante antes de proceder con los cálculos del efecto corona. Este gradiente de iniciación corona,  $E_0$ , en una superficie de conductor es dado por:

$$E_0 = \frac{(30)}{2} m \sqrt{1.0 + \frac{0.3}{\sqrt{r}}} \text{ KV (rms)/ cm.}$$

(III.7.1)

Donde:

- m = factor de superficie del conductor
- $\delta$  = Densidad relativa del aire
- r = radio del conductor en cm.
- 30 = rigidez dieléctrica del aire en KV/cm

La densidad relativa del aire,  $\delta$ , es una función de la presión barométrica y de la temperatura de la atmósfera. Esto es dado por:

$$\delta = \frac{3.92}{273 + T} \frac{b}{T}$$

(III.7.2)

Donde:

- b = presión atmosférica en cm de Hg
- T = temperatura atmosférica en °C

El efecto corona de corriente alterna que resulta de gradientes en  $\delta$  en exceso de  $E_0$  puede ser al menos de 6 formas diferentes, dependiendo en la polaridad y magnitud de el voltaje como se ilustra en la figura (III.7.1) y explicados en Apéndice A2.

Los pulsos trichel son formas de descarga de calor y aparecen como una continua incandescencia, mientras que las descargas aparecen como un brillo intermitente.

Las descargas son los principales contribuyentes del ruido de la línea y generalmente aparecen en las discontinuidades de la superficie donde el gradiente local es acentuado.

La ecuación III.7.1 se considera que describe todas las formas corona con los factores de superficie apropiados incluidos. La tabla III.7.1 indica el valor probable de estos factores para tamaños de conductores típicos y varios conductores basados en pruebas de laboratorio.

Las despostilladuras metálicas en la superficie tienden a suavizarse por ionización e oxidación y por la edad del conductor.

Además un conductor que no ha sido tensionado puede inicialmente tener un factor de superficie de 0.53 - 0.73, elevando a 0.68 - 0.82 después de un período de energización (por ejemplo, 1 año).

FIG. III.7.1

**MODOS CORONA POSIBLES BAJO  
VOLTAJE DE CORRIENTE ALTERNA**

- |                      |                                  |
|----------------------|----------------------------------|
| 1) PULSOS TRICHEL    | A) INICIO DE DESCARGA DE RUPTURA |
| 2) BRILLO NEGATIVO   | B) INICIO DE BRILLO              |
| 3) DESCARGA NEGATIVA | C) INICIO DE DESCARGA            |
| 4) PULSOS INICIALES  | D) INICIO DE PULSOS TRICHEL      |
| 5) BRILLO            | E) INICIO DE BRILLO NEGATIVO     |
| 6) DESCARGA POSITIVA | F) INICIO DE DESCARGA NEGATIVA   |

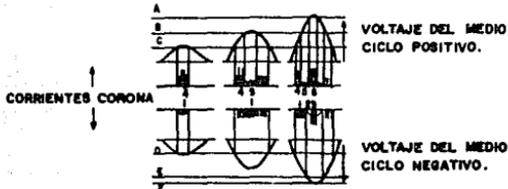
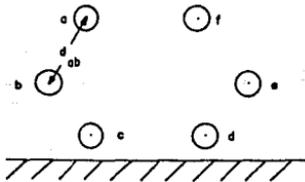


FIG. III.7.2



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: MODOS CORONA POSIBLES BAJO VOLTAJE DE C.A.			
ARREGLO DE CONDUCTORES EN 6 FASES.			
FIGURA No. 33-7-1027-3 ESCALA: _____			FECHA: 19 88

TABLA III.7.1

## FACTORES DE SUPERFICIE

Condición del conductor	Puesto en servicio	Tipo corona	Factor de superficie probable.
Nuevo, limpio y seco	NO	Fosforescencia	0.88 - 0.96
Mojado, seco	SI	Descarga	0.68 - 0.82
Nuevo, no mojado	SI	Descarga	0.53 - 0.73
Húmedo	UNO U OTRO	Descarga	0.12 - 0.23

## III.7.3 EVALUACION DE LAS PERDIDAS POR EFECTO CORONA.

Las pérdidas por efecto corona para líneas de doble circuito trifásico pueden calcularse usando la fórmula empírica dada por:

$$P = \frac{1287}{\rho} (f+25) \frac{E}{D} \left( \log_{10} \frac{D}{r} \right)^2 (E - E_0)^2 \times 10^{-5}$$

Kw/Km. de conductor

(III.7.3)

Donde:

- f = frecuencia del sistema en Hz.
- D = espaciamiento equilátero equivalente entre conductores en cm.
- E = gradiente de superficie máximo del conductor en KV(rms)/cm.
- $\rho$  = densidad relativa del aire
- r = radio del conductor en cm.
- $E_0$  = gradiente de iniciación corona en KV(rms)/cm.
- D = distancia media geométrica

La ecuación III.7.3 es también válida para líneas de transmisión hexafásicas.

Para una línea de transmisión hexafásica, la distancia media geométrica  $D$  puede ser calculada como se explica abajo y con la ayuda de la figura III.7.2

$$D = \sqrt{\frac{d_{ab} \cdot d_{ac} \cdot d_{ad} \cdot d_{ae} \cdot d_{af} \cdot d_{bc} \cdot d_{bd} \cdot d_{be} \cdot d_{bf} \cdot d_{cd} \cdot d_{ce} \cdot d_{cf} \cdot d_{de} \cdot d_{df} \cdot d_{ef}}{d_{bf} \cdot d_{cd} \cdot d_{ce} \cdot d_{cf} \cdot d_{de} \cdot d_{df} \cdot d_{ef}}}}$$

(III.7.4)

Donde  $d_{ij}$  = distancia entre los  $i$ -ésimo y el  $j$ -ésimo conductores donde  $i, j = a, \dots, f$ ;  $i \neq j$

Un cálculo separado será hecho para las pérdidas corona para cada conductor de fase, debido a que sus gradientes de superficie son diferentes. La suma de esos valores calculados para los seis conductores da el valor total de las pérdidas por efecto corona en Kw/Km.

### III.8 COMPORTAMIENTO DEL RUIDO AUDIBLE.

El ruido audible (AN), generado en las superficies de los conductores de una línea de transmisión, juega un papel importante en los estudios de planeación. Los niveles de ruido audible en las orillas del derecho de vía no excederá un cierto valor. Se debe efectuar los cálculos apropiados para encontrar los niveles exactos del ruido generado por las líneas de transmisión.

El ruido audible ocurre principalmente en presencia de descarga corona. En condiciones atmosféricas secas, los conductores normalmente operan abajo del nivel de iniciación corona. Por lo tanto no habrá cualquier generación significativa de ruido.

Los máximos niveles de ruido se encuentran usualmente en condiciones de lluvia pesada (1.8 - 3.9 cm/hora). En la realidad, este tipo de situación ocurre por períodos cortos de tiempo y puede ser simulado exitosamente en un laboratorio para obtener los valores deseados.

El método para calcular los niveles de ruido audible de las líneas de transmisión en general se presenta en las secciones siguientes:

#### III.8.1 FENOMENO DEL RUIDO AUDIBLE.

El ruido audible es causado por un punto fuente de corona, como es en la radio interferencia y TV interferencia. El ruido audible desde las líneas de transmisión tiene dos componentes característicos:

1) El ancho de banda del ruido asemejando una crepitación ó un chiflido de sonido. Este usualmente se extiende sobre un rango de 20 Hz a 20 KHz de frecuencia. Esto es causado por el flujo de polaridad positiva.

2) Los componentes de tono puro, los cuales son armónicas de la frecuencia fundamental de 60 Hz. El ruido más notable es el zumbido de 120 Hz, que es causado por movimiento de cargas en el espacio alrededor del conductor.

A diferencia de la Radio interferencia (RI) y la TV interferencia (TV), el ruido audible es más localizado.

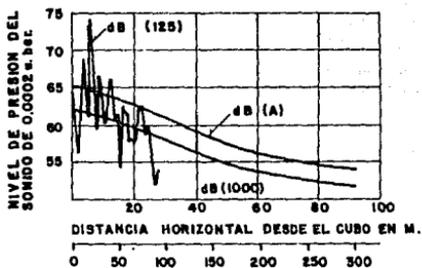
El ruido se propaga a través del aire y descarga a poca distancia, no afectando mediciones locales. La cantidad medida en relación con el ruido audible es el valor RMS de la presión del sonido. Los niveles de presión están comunmete referidos a una base de  $0.0002 \text{ bar}$  ( $2 \times 10^{-5} \text{ Nt/m}^2$ ), el cual es el nivel mínimo que una persona puede detectar a 1000 Hz. Un comité de la IEEE sugirió formas estándares de medición del ruido audible de las líneas de transmisión. El ruido audible generalmente se mide por medio del uso de una red de peso A y se expresa en db (A). La red A caracteriza solamente el ancho de banda del ruido. Los diferentes tipos de ruido mencionados arriba, se suman de diferente forma, dependiendo del tiempo y pueden ser de naturaleza aleatoria o no. Los ruidos aleatorios, están combinados en tal forma que sus densidades de potencia (J) se suman linealmente y los niveles de presión son iguales a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los niveles de presión de los ruidos individuales. Los diferentes zumbidos se combinan en una forma dependiendo de sus relaciones de fase. Si dos zumbidos están en fase, los niveles de presión se suman, si están en oposición, el nivel de presión resultante es la diferencia entre los dos. Entonces, los ruidos de n fases de una línea de transmisión se combinan sustancialmente de diferente manera para el ruido aleatorio que para el zumbido. Esto es evidente en el "perfil lateral" mostrado en la figura III.8.1 en la que se muestra cómo las mediciones de zumbidos, principalmente dependen del punto de medición, resultando en muy altos valores, esto se debe a que el zumbido desde las tres fases individuales llega al punto de medición con pequeñas diferencias en el ángulo de fase.

### III.8.2 METODO PARA LA EVALUACION DEL RUIDO AUDIBLE.

El procedimiento para encontrar el ancho de banda del ruido audible es diferente de aquel para encontrar el zumbido explicado arriba. El procedimiento detallado para cada uno de estos es el siguiente:

#### III.8.2.1 ANCHO DE BANDA DEL RUIDO EN CONDICIONES DE LLUVIA

Paso 1.- El máximo gradiente de superficie,  $E_m$ , de



U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

TITULO : PERFIL LATERAL TÍPICO DE RUIDO  
AUDIBLE DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

FIGURA No. III-B-1

ESCALA : ——— FECHA : 1968

cada fase es calculado usando el programa de computadora descrito en el apéndice A1.

Paso 2.- La potencia acústica generada en condiciones de lluvia  $A_1$  de cada fase se puede encontrar usando la forma empírica.

$$A_1 = 46.4 - 665/Em \quad \text{db sobre } 1 \mu\text{W/m} \quad (\text{III.8.1})$$

Donde:

Em = Máximo gradiente de superficie del conductor en KV(RMS)/cm.

El valor  $A_1$  obtenido aquí pertenece a un conductor de 3.8 cm. de diámetro.

Paso 3.- La potencia acústica generada A de cada una de las fases es calculada para el número actual de subconductores y sus diámetros, usando la fórmula empírica:

$$A = (N_{\text{sub}}) \left( \frac{d}{3.8} \right)^{4.4} A_1^{Kn} \mu\text{W/m} \quad (\text{III.8.2})$$

Donde:

$N_{\text{sub}}$  = número de subconductores por fase.

d = diámetro del subconductor (o conductor) en cm.

$A_1$  = potencia generada de ruido audible referida a un conductor de 3.8 cm. de diámetro y calculada con la ecuación III.8.1

$K_n$  = factor dependiente del número de subconductores en la fase o arreglo (asumiendo un arreglo por fase).

$K_n = 1$  para  $N_{\text{sub}} = 3$   
 $= 1.8$  para  $N_{\text{sub}} = 2$   
 $= 5.6$  para  $N_{\text{sub}} = 1$

El valor de A calculado, usando la ecuación III.8.1 tiene que convertirse de db sobre  $1 \mu\text{W/m}$  a  $\mu\text{W/m}$  para poder usarse en la ecuación III.8.2, esto puede hacerse así:

$$A_1 (\mu\text{W/m}) = 10 (A_1 (\text{db sobre } 1 \mu\text{W/m})/10.0) \quad (\text{III.8.3})$$

Paso 4.- La energía acústica,  $J_i$ , debida a la fase  $i$  se calcula de:

$$J_i = \frac{A_i}{4 R_i} \quad \text{W/m}^2$$

(III.8.4)

Donde:

$A_i$  = Potencia acústica generada de la fase  $i$  en  $\text{W/m}$ .

$R_i$  = Distancia desde el conductor de fase  $i$  al punto de medición en metros.

La atenuación del sonido en el aire es tomada multiplicando el valor de arriba por  $e^{-\alpha R_i}$ , donde  $\alpha$  es la constante de atenuación, y  $\alpha$  es aproximadamente igual a  $0.0075 \text{ m}^{-1}$ .

Paso 5.- La energía acústica total se encuentra de:

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} J_i$$

Donde  $N_p$  es el número total de fases

(III.8.5)

Paso 6.- El nivel de presión del ruido  $P$ , se calcula de:

$$P = \sqrt{c J} \quad (\text{Nt/m}^2)$$

(III.8.6)

Donde:

$\rho$  = Densidad del aire en  $\text{Kg/m}^3$ .

$c$  = Velocidad de onda sonora en  $\text{m/seg}$ .

$J$  = Energía acústica en  $\text{W/m}^2$ .

Bajo condiciones atmosféricas normales la ecuación III.8.6 puede ser escrita como:

$$P = 20.5 J \quad (\text{Nt/m}^2)$$

(III.8.7)

Paso 7.- El nivel de presión del sonido en db es obtenido de:

$$P \text{ (db)} = 20 \log [P \text{ (Nt/m}^2\text{)}/2 \times 10^{-5}] \quad (\text{III.8.8})$$

Donde P(db) es el ruido audible db(A) en lluvia intensa.

### III.8.2.2 ANCHO DE BANDA DEL RUIDO DE UN CONDUCTOR HUMEDO.

En los casos de lluvia ligera, niebla y después lluvia, el agua que cae golpeando o dejando el conductor, es mucho menor que aquella que cuelga de la parte baja del conductor. Esta condición se considera de conductor húmedo. Para propósitos de diseño, de líneas de transmisión, se define el gradiente  $E_c$  de 6 db en el cual el ruido de un conductor húmedo es 6 db menor que el ruido en lluvia.

Este gradiente es usado para caracterizar el comportamiento de conductor húmedo de un arreglo en relación con su comportamiento en lluvia. El procedimiento para encontrar el ruido audible bajo condiciones de un conductor húmedo es el siguiente:

Paso 1.- Los mismos pasos 1 a 4 de la sección III.8.2.1.

Paso 2.-  $E_c$  se calcula usando la fórmula empírica:

$$E_c = \frac{(12.5 d - 4.57)}{(d - 1.07)} \quad \text{para } 2 \text{ cm} < d < 6 \text{ cm} \\ \text{y para } N_{\text{sub}} < 4$$

(III.8.9)

Donde:

$E_c$  = Gradiente de 6 db en KV(rms)/cm.

$d$  = Diámetro del conductor en cm.

$N_{\text{sub}}$  = Número de subconductores en el arreglo.

Paso 3.- La relación,  $C_i$ , entre el conductor húmedo y la potencia acústica generada en lluvia intensa para la fase  $i$  se encuentra de:

$$C_i = (63.4 X^2 + 1.87 X^{-1} - 1.15 X^4)/1000$$

(III.8.10)

Donde:

$$X = 10 \left( \frac{EM}{EC} - 0.8 \right) \quad \text{para } 0.8 < \frac{EM}{EC} < 1.4$$

$C_i$  = relación de EM y EC para la fase i.

Paso 4.- La energía acústica de un conductor húmedo  $J'_i$ , para la fase i está dada por:

$$J'_i = J_i \times C_i \quad \mu W/m^2 \quad (III.8.11)$$

Donde:

$J_i$  = Energía acústica de la fase i en lluvia, y se calcula como en la ecuación III.8.4.

$C_i$  = Relación dada por III.8.10.

De aquí en adelante, uno puede hacer uso de los pasos 5 a 7 de la sección III.8.2.1 para calcular el ruido audible para la condición de conductor húmedo.

### III.8.2.3 EVALUACION DEL ZUMBIDO DE 120 Hz.

Los siguientes pasos están encaminados a encontrar el zumbido de 120 Hz de las líneas de transmisión.

Paso 1.- El gradiente de superficie máximo,  $E_m$ , de cada conductor de fase es calculado como en el paso 1 de la sección III.8.2.1.

Paso 2.- La potencia acústica generada  $A'$  es calculada de:

$$A' = 53.5 - 505.5/E_m \quad \text{db sobre } 1 \mu W/m.$$

(III.8.12)

Donde:

$E_m$  = Gradiente de superficie de conductor máximo en KV (rms)/cm.

El valor  $A'$  obtenido aquí pertenece a un arreglo de 6 conductores con un diámetro por conductor de 3.8 cm.

Para calcular  $A'$  para cualquier otra condición distinta a la de arriba, se pueden aplicar los siguientes factores de corrección para la  $A'$  calculada en la ecuación III.8.12.

Paso 3.- Factor de corrección,  $C_d$ , para el diámetro, se calcula usando la ecuación:

$$C_d = 10.6 - 41/d \quad \text{db sobre } 1 \mu\text{W/m.}$$

(III.8.13)

Donde:

$d$  = diámetro actual del subconductor (o conductor) en cm

Paso 4.- Factor de corrección,  $C_{N_{\text{Sub}}}$  para el número de subconductores en el arreglo está dado por:

$$C_{N_{\text{Sub}}} = 24.1 - 390/(N_{\text{Sub}} + 10) \quad \text{db sobre } 1 \mu\text{W/m.}$$

para  $d = 4.63$  cm.

$$C_{N_{\text{Sub}}} = 47.4 - 1000/(N_{\text{Sub}} + 15) \quad \text{db sobre } 1 \mu\text{W/m.}$$

para  $d = 2.3$  cm.

Donde:

$N_{\text{Sub}}$  = Número de subconductores en el arreglo.

$d$  = Diámetro del subconductor en cm.

Si el diámetro del conductor es distinto a uno de estos valores, entonces, la interpolación o extrapolación lineales pueden usarse para encontrar el valor correcto.

Paso 5.- Los resultados de los pasos 2, 3 y 4 se suman algebraicamente y el resultado en db sobre  $1 \mu\text{W/m}$  se convierte a  $\mu\text{W/m}$  como se indica en la sección III.8.2.1.

Paso 6.- Los niveles de presión de las ondas directas y reflejadas de la fase  $i$  se calculan usando:

$$P_{i,d} = \sqrt{2} \frac{\sqrt{6c} A_i}{2\pi R_{i,d}} \cos(\omega t - \alpha_i - 2\pi R_{i,d}/\lambda)$$

$$P_{i,r} = \sqrt{2} k \frac{\sqrt{6c} A_i}{2\pi R_{i,r}} \cos(\omega t - \alpha_i - 2\pi R_{i,r}/\lambda)$$

(III.8.15)

Donde:

- $P_{i,d}$  = Nivel de presión de onda directa de la fase  $i$  en  $Nt/m^2$ .  
 $P_{i,r}$  = Nivel de presión de onda reflejada de la fase  $i$  en  $Nt/m^2$ .  
 $A_i$  = Potencia acústica generada de la fase  $i$  en W/m.  
 $i$  = Angulo de fase de la fase  $i$  en grados.  
 $R_{i,d}$  = Distancia entre el conductor de la  $i$ ésima fase y el punto de medición P en metros.  
 (Ver figura III.8.2).  
 $R_{i,r}$  = Distancia entre la imagen del conductor de la  $i$ ésima fase y el punto de medición P en m.  
 (Ver figura III.8.2).  
 $\lambda$  = Longitud de onda del zumbido de 120 Hz en m. y es igual a 2.85 m.  
 $k$  = Un coeficiente de reflexión, el cual es aproximadamente igual a 1.

Paso 7.- Las ondas de presión de todos los conductores de fase,  $N_p$ , se suman vectorialmente como:

$$P \text{ real} = \sum_{i=1}^{N_p} P_{i,d} (\text{real}) + \sum_{i=1}^{N_p} P_{i,r} (\text{real}) \quad (Nt/m^2)$$

(III.8.16)

$$P \text{ imaginaria} = \sum_{i=1}^{N_p} P_{i,d} (\text{imaginaria}) + \sum_{i=1}^{N_p} P_{i,r} (\text{imagin.})$$

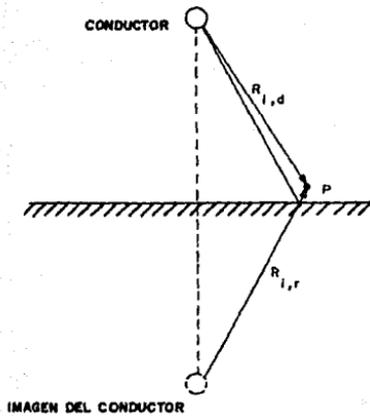
( $Nt/m^2$ )

Donde:

$$P_{i,d} (\text{real}) = \frac{\sqrt{c} A_i}{2 \pi R_{i,d}} \cos \left( -\alpha_i - \frac{2\pi R_{i,d}}{\lambda} \right)$$

$$P_{i,d} (\text{imaginaria}) = \frac{\sqrt{c} A_i}{2 \pi R_{i,d}} \sin \left( -\alpha_i - \frac{2\pi R_{i,d}}{\lambda} \right)$$

$$P_{i,r} (\text{real}) = k \frac{\sqrt{c} A_i}{2 \pi R_{i,r}} \cos \left( -\alpha_i - \frac{2\pi R_{i,r}}{\lambda} \right)$$



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: DISTANCIAS DE RUIDO DIRECTA Y REFLEJADA PARA UN CONDUCTOR SENCILLO.			
FIGURA No. III-8-2 ESCALA: ———			FECHA: 1998

$$P_{i,r} (\text{imag.}) = k \frac{\sqrt{c} A_i}{2\pi R_{i,r}} \text{Sen} \left( -\alpha_i - 2\pi \frac{R_{i,r}}{\lambda} \right)$$

Finalmete:

$$P = \sqrt{(P \text{ real})^2 + (P \text{ imaginaria})^2} \quad \text{Nt/m}^2 \quad (\text{III.8.17})$$

Paso 8.- El zumbido de 120 Hz en db es finalmente obtenido de:

$$P = (\text{db}) = 20 \log \left[ \frac{P(\text{Nt/m}^2)}{2 \times 10^5} \right] \quad (\text{III.8.18})$$

#### III.8.2.4 ESTANDARES DE RUIDO AUDIBLE

Una guía generalmente aceptada para los estándares de ruido audible se da en la tabla III.8.2 está basada en la respuesta pública al ruido audible de las líneas de transmisión existentes en 30 mts. del centro del derecho de vía. Esto muestra que cualquier nivel de ruido mayor de 52.5 db (A) cae bajo el rango de queja, de la gente que vive cerca de la línea. Las mediciones de ruido serán hechas a la mitad y en el nivel de tierra.

<p>NIVEL DE RUIDO A 30m.  DEL CENTRO DEL  DERECHO DE VIA.</p>	<p>PROBABILIDAD DE  RECEPCION DE  QUEJAS.</p>
<p>MENOS DE 52.5 dB.    DE 52.5 dB. A 59 dB.    MAS DE 59dB</p>	<p>BAJA (SIN QUEJA)    MEDIA (ALGUNAS QUEJAS)    ALTA (MUCHAS QUEJAS)</p>

U N A M		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
TITULO: RESPUESTA PUBLICA AL RUIDO AUDIBLE DE LINEAS DE TRANSMISION.		
TABLA No: 1182	ESCALA: —	FECHA: 1988.

### III.9 COMPORTAMIENTO DEL RUIDO DE RADIOINTERFERENCIA.

#### III.9.1 INTRODUCCION.

La radiointerferencia desde las líneas de transmisión se debe al ruido de radiofrecuencia en las superficies de los conductores por el efecto corona. La generación debida a la zona corona es causada por el movimiento de cargas en el espacio debido al aire ionizado en el campo eléctrico del conductor. Para la generalidad, el nivel de ruido en cualquier punto en la vecindad de la línea de transmisión, expresada en dB sobre  $1 \mu\text{V/m}$ . para una señal de 1MHz de frecuencia, es usualmente adoptada como la medida de la radiointerferencia.

#### III.9.2 ANALISIS DE RADIOINTERFERENCIA PARA LINEAS HEXAFASICAS.

El comportamiento de ruido de radio para líneas hexafásicas se predice usando métodos analíticos desarrollados para líneas trifásicas, éste consiste básicamente de los siguientes pasos:

- 1.- Evaluar la matriz de impedancia serie  $[Z]$  para una línea de transmisión en 1MHz.
- 2.- Encontrar la matriz de admitancia paralelo  $[Y]$  para una línea de transmisión en 1MHz.
- 3.- Obtener la matriz producto  $[YZ]$  usando los pasos 1 y 2 de arriba.
- 4.- Encontrar los valores y vectores característicos de la matriz producto  $[YZ]$ .
- 5.- Evaluar las constantes de atenuación modal  $\alpha$ 's de los valores característicos encontrados en el paso 4.
- 5.- Evaluar la matriz  $[A]$  la cuál es proporcional a la matriz de coeficientes de potencial  $[P]$  y depende de la geometría de los conductores.

7.- Evaluar las funciones de generación de ruido de los gradientes de superficie del conductor.

8.- Obtener el campo de radiointerferencia debido a todas las fases usando los resultados de los pasos 4 al 7.

Esto pasos son explicados en detalle en las siguientes subsecciones.

### III.9.2.1 MATRIZ DE IMPEDANCIA SERIE EN 1MHz.

La matriz de impedancia serie de una línea de transmisión en frecuencias de radio es afectada por dos factores:

- 1.- El efecto superficial.
- 2.- El efecto de un conductor de tierra finito.

El efecto superficial en 1MHz, aumenta la resistencia a la corriente directa de los conductores en factor de 43.5 y con este factor se calcula la resistencia a la corriente alterna en 1MHz.

Impedancia serie:

La impedancia serie usada en análisis de radio es determinada usando la fórmula de Carson. La fórmula toma en cuenta la conductividad finita de la tierra. Carson desarrolló una serie infinita para estos términos de corrección de tierra, y las ecuaciones son arregladas para propósitos de cómputo como se indica abajo.

Impedancia propia:

$$Z_{ii} = (R_{ii} + \Delta R_{ii}) + j(2\omega 10^{-4} \ln \frac{2H_i + \Delta X_{ii}}{GMR_i}) \sim /km.$$

(III.9.1)

Impedancia mutua:

$$Z_{ij} = Z_{ji} = \Delta R_{ij} + j(2\omega 10^{-4} \ln \frac{D_{ij} + \Delta X_{ij}}{d_{ij}}) \sim /km.$$

(III.9.2)

Donde:

Rii = Resistencia a la C.A. del conductor i en  $\Omega/\text{km}$ .

Hi = altura sobre tierra del conductor i

Dij = distancia entre el conductor i y la imagen del j

dij = distancia entre conductores i y j

GMRi = radio medio geométrico del conductor i

$\omega$  =  $2\pi f$  y f es en Hz.

$\Delta R$  = término de corrección de tierra para la resistencia.

$\Delta X$  = término de corrección de tierra para la reactancia

Los términos de corrección de tierra están definidos por la siguiente serie infinita.

$$\Delta R = 4 \times 10^{-4} \left\{ \frac{1}{8} - b_1 a \cos \theta + b_2 [(C^2 - \ln a) a^2 \cos 2\theta + \theta a^2 \sin 2\theta] + b_3 a^3 \cos 3\theta - d_4 \cos 4\theta - b_5 a^5 \cos 5\theta + b_6 [(C^6 - \ln a) a^6 \cos 6\theta + \theta a^6 \sin 6\theta] + b_7 a^7 \cos 7\theta - d_8 a^8 \cos 8\theta - \dots \right\}$$

(III.9.3)

$$\Delta X = 4 \times 10^{-4} \left\{ \frac{1}{2} (0.6159315 - \ln a) + b_1 a \cos \theta - d_2 a^2 \cos 2\theta + b_3 a^3 \cos 3\theta - b_4 [(C^4 - \ln a) a^4 \cos 4\theta + \theta a^4 \sin 4\theta] + b_5 a^5 \cos 5\theta - d_6 a^6 \cos 6\theta + b_7 a^7 \cos 7\theta - b_8 [(C_8 \ln a) a^8 \cos 8\theta + \theta a^8 \sin 8\theta] + \dots \right\}$$

(III.9.4)

Donde:

$$a = 4 \pi \sqrt{5} \times 10^{-4} S \sqrt{\epsilon/\rho}$$

- s =  $2H_i$  para elemento de impedancia propia
- =  $D_{ij}$  para elemento de impedancia mutua
- $\emptyset$  = 0 para el elemento de impedancia propia
- =  $\text{Sen}^{-1} \frac{X_{ij}}{D_{ij}}$  para el elemento de impedancia mutua

$X_{ij}$  = distancia horizontal entre los conductores  $i, j$

Los coeficientes para la serie infinita son definidos en la siguiente forma:

$$b_1 = \left| b_{i-2} \right| \frac{\text{Sign}}{i(i+2)} \quad \text{con el valor de arranque de}$$

$$b_1 = 2$$

$$b_2 = 1/\sqrt{16}$$

$$C_i = C_i - 2 + \frac{1}{i} + \frac{1}{i+2}$$

Con el valor de arranque:

$$C_2 = 1.3659315$$

$$d_i = \frac{\pi}{4} b_i$$

$\text{Sign} = \pm 1$  cambiando después de cada 4 términos sucesivos esto es:

$$\text{Sign} = +1 \text{ para } i = 1, 2, 3, 4 \quad \text{y}$$

$$\text{Sign} = -1 \text{ para } i = 5, 6, 7, 8, \text{ etc.}$$

### III.9.2.2 MATRIZ DE ADMITANCIA PARALELO.

La admitancia paralelo usada en análisis de ruido de radio considera la tierra como un conductor perfecto.

La matriz  $[Y]$  está definida por la ecuación:

$$[Y] = j\omega [C] \quad (\text{III.9.5})$$

En esta ecuación, la matriz de capacitancia [C] es la inversa de la matriz de coeficientes de potencial [P]. Los elementos de [P] son calculados de la geometría de la línea y son:

Elementos de la diagonal:

$$P_{ii} = 18.10^6 \ln \frac{2H_i}{r_i} \text{ daraf - km}$$

(III.9.6)

Elementos fuera de la diagonal:

$$P_{ij} = P_{ji} = 18.10^6 \ln \frac{D_{ij}}{d_{ij}} \text{ daraf - km}$$

(III.9.7)

Donde  $r_i$  es el radio del conductor  $i$ , y el resto de los términos ya fue definido con anterioridad.

### III.9.2.3 MATRIZ DE TRANSFORMACION Y CONSTANTES DE ATENUACION MODAL.

La zona corona que genera el ruido de radio se representa usualmente como un generador de corriente. La propagación de esta señal de corriente sobre un sistema multiconductor está dada por la ecuación diferencial.

$$\frac{d^2}{dz^2} [i] = [Y][Z][i] \quad (\text{III.9.8})$$

Donde  $z$  representa la distancia a lo largo de la línea desde el punto de generación de radio frecuencia. Para un sistema de 6 conductores,  $[i]$  será un vector columna de orden 6, y,  $[Y]$  y  $[Z]$  serán matrices cuadradas de 6 x 6. El análisis de propagación de ruido puede ser desarrollado usando la técnica de transformación modal.

La forma de la ecuación III.9.1 no cambia si se escribe de la siguiente forma:

$$\frac{d^2}{dz^2} [S]^{-1} [i] = [S]^{-1} [Y][Z][S][S]^{-1} [i]$$

(III.9.9)

Donde  $[S]$  es por ahora una matriz cuadrada de  $6 \times 6$  desconocida.  
 En forma abreviada la ecuación III.9.2 puede escribirse como:

$$\frac{d^2}{dz^2} [i]^{(m)} = [\lambda]^2 [i]^{(m)}$$

(III.9.10)

Donde:

$[i]^{(m)}$  =  $[S]^{-1} [i]$  es el vector de corrientes modales y

$$[\lambda]^2 = [S]^{-1} [Y] [Z] [S]$$

Con la selección apropiada de una matriz de transformación  $[S]$ , la matriz  $[\lambda]^2$  puede ser reducida a una matriz diagonal.

Los elementos de la matriz diagonal  $[\lambda]$  serán los valores característicos de la matriz producto  $[YZ]$  y la matriz de transformación  $[S]$  es la matriz de vectores característicos de  $[YZ]$ . Los  $\lambda$ 's son las constantes de propagación modal y cada una es un número complejo de la forma.

$$\lambda = \alpha + j\omega \quad (\text{III.9.11})$$

La parte real de la ecuación III.9.4, es llamada constante de atenuación modal.

La matriz  $[YZ]$ , compuesta de números complejos requiere de un riguroso análisis de valores característicos para producir la matriz diagonal perfecta  $[\lambda]$ . Sin embargo, fue encontrado en los estudios desarrollados en Estados Unidos que la exactitud del campo de intensidad de ruido de radio calculado usando una matriz diagonal aproximada  $[\lambda]$  es aún aceptable comparada con las mediciones de campo. También el hecho de que otros factores tales como la inestabilidad esencial de los niveles de ruido de radio y su dependencia en los factores climatológicos, contaminación, etc., no son tomados en cuenta en este estudio, puede justificar el uso de matrices de transformación  $[S]$  que puedan producir una matriz aproximadamente diagonal  $[\lambda]$ .

Por lo tanto, en lugar de resolver para los valores y vectores característicos de  $[YZ]$  como se indicó en el paso 4 de arriba, una matriz de transformación

$[S]$  que produce una matriz  $[\lambda]^2$  aproximadamente diagonal es utilizada para dar las constantes de atenuación. La matriz fue seleccionada de tres matrices de transformación real, las cuales son:

1.- Matriz de transformación de Clarke  $[S_1]$  para líneas hexafásicas.

2.- Matriz  $[S_2]$  desarrollada para un estudio hecho en Dequine-Olive (USA) para una línea en 345 KV.

3.- Matriz  $[S_3]$  compuesta por una componente real de una matriz  $[Q]$  usada por Wedepohl.

Las ecuaciones para estas matrices son:

$$\begin{array}{c}
 \text{Modo N}^\circ \quad (1) \quad (2) \quad (3) \quad (4) \quad (5) \quad (6) \\
 S_1 = \begin{bmatrix}
 1/\sqrt{6} & 5/\sqrt{30} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{30} & 4/\sqrt{20} & 0 & 0 & 0 \\
 1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{30} & -1/\sqrt{20} & 3/\sqrt{12} & 0 & 0 \\
 1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{30} & -1/\sqrt{20} & -1/\sqrt{12} & 2/\sqrt{6} & 0 \\
 1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{30} & -1/\sqrt{20} & -1/\sqrt{12} & -1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{2} \\
 1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{30} & -1/\sqrt{20} & -1/\sqrt{12} & -1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{2}
 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

(III.9.12)

$$\begin{array}{c}
 \text{Modo N}^\circ \quad (1) \quad (2) \quad (3) \quad (4) \quad (5) \quad (6) \\
 S_2 = \begin{bmatrix}
 0.959 & 0.597 & -0.953 & -0.981 & -0.548 & -0.856 \\
 1.000 & 1.000 & 0 & 0 & 1.000 & 1.00 \\
 0.923 & 0.578 & 1.000 & 1.000 & -0.514 & -0.847 \\
 0.923 & -0.578 & 1.000 & 1.000 & -0.514 & -0.847 \\
 1.000 & -1.000 & 0 & 0 & 0 & -1.000 \\
 0.959 & -0.597 & -0.953 & 0.981 & -0.548 & 0.856
 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

(III.9.13)

Modo N°	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$S_3$	0.213	-0.134	-0.839	0.572	-0.859	-1.000
	0.414	-0.418	-0.702	1.000	1.000	0.588
	1.000	-1.000	1.000	-0.707	-0.269	-0.127
	1.000	1.000	1.000	0.707	-0.269	0.127
	0.414	0.418	-0.699	-1.000	1.000	-0.588
	0.214	0.134	-0.844	0.572	-0.859	1.000

(III.9.14)

Estas matrices de transformación real son seleccionadas sobre las complejas porque simplifican los cálculos y satisfacen la invariancia de potencia en la transformación de cantidades de fase a cantidades modales.

La tabla III.9.1 da un resumen del grado al cual la matriz  $[YZ]$  es diagonalizada por cada una de las transformaciones. Los elementos fuera de la diagonal de la matriz  $[S]^{-1}[Y][Z][S]$  son despreciados para dar una matriz diagonal  $[\lambda]^2$ . La tabla III.9.2 resume las constantes de atenuación para cada modo natural de una estructura de línea WP-8 como es definida por las tres matrices de transformación.

MATRIZ DE TRANSFORMACION [S]	RANGO DE LOS TERMINOS DE LA DIAGONAL (3) <sup>1</sup> (Y) (Z) (S)	VALOR MAYOR DEL ELEMENTO FUERA DE LA DIAGONAL DE (S) <sup>1</sup> (Y) (Z) (S)	RELACION DE LA COLUMNA 2 A LA COLUMNA 1	ELEMENTOS FUERA DE LA DIAGONAL DE (S) <sup>1</sup> (Y) (Z) (S)	
				ORDEN	Nº DE ELEM.
[81]	0.456 x 10 <sup>-5</sup> a 0.462 x 10 <sup>-3</sup>	0.337 x 10 <sup>-8</sup>	121-128	10 <sup>-8</sup>	11
				10 <sup>-6</sup>	19
[82]	0.454 x 10 <sup>-3</sup> a 0.462 x 10 <sup>-3</sup>	0.760 x 10 <sup>-8</sup>	60- 63	10 <sup>-8</sup>	4
				10 <sup>-6</sup>	8
				10 <sup>-7</sup>	1
				10 <sup>-8</sup>	3
				10 <sup>-9</sup>	15
[83]	0.4515 x 10 <sup>-8</sup> a 0.479 x 10 <sup>-3</sup>	0.880 x 10 <sup>-8</sup>	82- 84	10 <sup>-8</sup>	8
				10 <sup>-6</sup>	4
				10 <sup>-7</sup>	2
				10 <sup>-8</sup>	6
				10 <sup>-9</sup>	6
				10 <sup>-10</sup>	4

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: COMPARACION DE LA EXACTITUD DE DIA- SONIZACION DE (Y) Z) USANDO LAS TRES MATRICES DE TRANSFORMACION			
TABLA No. M-8-1		ESCALA	FECHA: 1988

## (PARAMETROS DE UNA ESTRUCTURA DE LINEA WF-9)

MATRIZ DE TRANSFORMACION	MODOS(m)	CONSTANTES DE ATENUACION (m)	
		$\alpha_i$	dB/MILLA $\beta_i$
(S1)	(1)	$400 \times 10^6$	5.593
	(2)	$13.3 \times 10^6$	0.186
	(3)	$11.4 \times 10^6$	0.159
	(4)	$23.6 \times 10^6$	0.333
	(5)	$17.3 \times 10^6$	0.242
	(6)	$7.0 \times 10^6$	0.098
(S2)	(1)	$396 \times 10^6$	5.537
	(2)	$22.5 \times 10^6$	0.329
	(3)	$375 \times 10^6$	0.524
	(4)	$5.9 \times 10^6$	0.082
	(5)	$5.2 \times 10^6$	0.077
	(6)	$6.1 \times 10^6$	0.071
(S3)	(1)	$417 \times 10^6$	5.531
	(2)	$244 \times 10^6$	0.336
	(3)	$1.8 \times 10^8$	0.252
	(4)	$5.8 \times 10^6$	0.081
	(5)	$4.8 \times 10^6$	0.067
	(6)	$4.6 \times 10^6$	0.064

\* EN dB/MILLA = 20 (log<sub>10</sub>) (1609) EN NEPER/METRO

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: RESUMEN DE LAS CONSTANTES DE ATENUACION MODAL.			
TABLA No. III - 9-2		ESCALA: —	FECHA: 1988

Los perfiles laterales de una estructura WP-8 como una función de las matrices de transformación son dadas en la figura III.9.1. Esta figura muestra que las matrices de transformación  $[S]_1$  y  $[S]_2$  producen un perfil lateral casi idéntico.

En general, la matriz de transformación de corriente modal es diferente de la matriz de transformación de voltaje modal debido a que el producto de la matriz  $[YZ]$  no es igual a  $[ZY]$ . Sin embargo, en el paso 8 de la sección III.9.2, las matrices de transformación de corriente y voltaje se consideran iguales. Esto es sólo cierto si la matriz de transformación  $[S]$  es ortogonal. Por lo tanto, la matriz  $[S]_1$  la cual es la matriz de transformación de Clark normalizada para líneas hexafásicas es la que generalmente se utiliza.

La misma matriz de transformación modal es usada tanto para las líneas trifásicas de doble circuito como para las hexafásicas. La razón de esto proviene del hecho que el cuadrado de la constante de propagación de la matriz  $[YZ]$  es la misma para ambos sistemas si la geometría de la línea es similar y las líneas de transmisión se consideran no transpuestas.

Los valores característicos y por consiguiente las constantes de atenuación permanecen iguales para ambos sistemas hexafásico y trifásico de doble circuito. En otras palabras, los modos naturales dependen del número de conductores y no del número de fases.

#### III.9.2.4 FUNCION GENERACION T.

Usando métodos analíticos para radiointerferencia, uno tiene que usar una cantidad conceptual que describa las características físicas del efecto corona.

Esta es la función generación ó función de excitación  $T$ . Su comportamiento es gobernado por las leyes de la formación y movimiento de las cargas en el espacio dentro de la zona ionizada muy cerca de la superficie del conductor bajo el efecto corona. El funcionamiento teórico de éste concepto va más allá de los alcances de este trabajo, por lo que aquí solo se hace una presentación breve.

La corriente de ruido generado por la zona de efecto corona e introducida en todos los conductores de un sistema de varios cables depende de las capacitancias propias y mutuas de los conductores y de la función  $T$ .

El valor RMS de las corrientes de alta frecuencia introducidas por unidad de longitud de un conductor expresado en términos de una relación matricial generalizada es:

$$[J] = \frac{[c]}{2 \pi \epsilon_0} [\Gamma]$$

(III.9.15)

Donde  $[c]$  es la matriz de capacitancia de un sistema de varios cables. La función generación  $\Gamma$  es un importante parámetro en la determinación de los niveles de radiointerferencia y es tomada en cuenta para su cálculo en la ecuación (III.9.15). La función generación  $\Gamma$  representa impulsos al azar de muy corta duración. Este aspecto aleatorio de  $\Gamma$  es debido a la naturaleza inherente de las cargas en el espacio. Los impulsos sucesivos todos tienen la misma forma; pero fluctúan en amplitud e intervalos de tiempo alrededor de valores promedio estables. Los impulsos por lo tanto están representados por una densidad espectral  $G(\omega)$ . Si  $n$  es el número de fuentes corona no correlacionadas discretas por unidad de longitud y  $G_i$  es la densidad espectral de la fuente, i, el valor RMS resultante de todas las fuentes por unidad de longitud medida a través de un aparato sintonizado a la frecuencia  $\omega_0$  y con un ancho de banda de B Hz es:

$$\Gamma = \sqrt{B \sum_n G_i \omega_0}$$

(III.9.16)

La ecuación III.9.16 toma en cuenta la naturaleza del aparato de medición y en particular el ancho de banda de un receptor usando un detector de ley cuadrática.

Sin embargo, la expresión analizada para  $\Gamma$  dada por la ecuación III.9.16 no es usada comúnmente, en lugar de ésta, una expresión analítica de  $\Gamma$  derivada de mediciones experimentales de corrientes de alta frecuencia y capacidad llevados a cabo en una caja de pruebas. Para esto, dos experimentos fueron llevados a cabo y éstos determinaron la función generación básica de un número de conductores y arreglos de varias geometrías contra sus gradientes de superficie. Ambas

pruebas fueron conducidas bajo condiciones de lluvia pesada (lluvia insistente mayor que 1 mm/hora) debido a que la condición es fácilmente reproducible en las cajas de prueba.

Los dos experimentos dan una carta mostrando  $\Gamma$  en dB contra el gradiente de superficie E en kv/cm con los radios de conductor r en cm., y el número de arreglo subconductores N como parámetros. De estas cartas las siguientes expresiones fueron derivadas:

La primera de éstas ecuaciones es:

$$\Gamma = 78 - \frac{590}{E} + 38 \log \left( \frac{2r}{3.8} \right) + KN \text{ dB}$$

(III.9.17)

Donde:

$$\begin{aligned} KN &= 7 \text{ dB} , N = 1 \\ &= 2 \text{ dB} , N = 2 \\ &= 0 , N \geq 3 \end{aligned}$$

La segunda ecuación es:

$$\Gamma = \Gamma'(E,r) + (11.5 + \log N^2) r^{-B(N)} \text{ dB}$$

(III.9.18)

Donde:

$$\begin{aligned} B(N) &= 0 \text{ dB} , N = 1 \\ &= 5 \text{ dB} , N = 2 \\ &= 7 \text{ dB} , N = 3 \\ &= 8 \text{ dB} , N = 4 \\ &= 9 \text{ dB} , N = 6 \\ &= 9.5 \text{ dB} , N = 8 \end{aligned}$$

El valor del término  $\Gamma'(E, r)$  puede ser tomado de la carta correspondiente. Para  $E \leq 16$  KV/cm, el término  $\Gamma'(E, r)$  es independiente del radio r y es definido por la ecuación:

$$\Gamma'(E,r) = 155 \log \frac{E}{11.1} \text{ dB} \quad E \leq 16 \text{ KV/cm}$$

(III.9.19)

La figura III.9.2 muestra a manera de referencia las curvas para un conductor ACSR de 1024.5 MCM usando las ecuaciones III.9.17 y III.9.18.

Adicionalmente comentaremos que los diversos experimentos realizados en Estados Unidos han comprobado que la ecuación III.9.18 es más consistente que la ecuación III.9.17 en cuanto a valores medidos en campo.

### III.9.2.5 EL CAMPO DE RADIOINTERFERENCIA.

Después de que la función generación  $\Gamma$  y las constantes de atenuación nodal han sido evaluadas, el siguiente paso es evaluar el campo de radiointerferencia causado por la generación corona en cualquier punto cercano a la línea de transmisión. El valor RMS del campo de radiointerferencia  $E_{RI}$  en microvolts/m en cualquier punto P en la superficie de tierra cerca de la línea de transmisión está dado por:

$$E_{RI} = \sqrt{\sum_{K=1}^6 (E_K)^2}$$

(III.9.20)

Donde  $E_K$  es el valor RMS del campo de radiointerferencia debido a un conductor individual y es dado por:

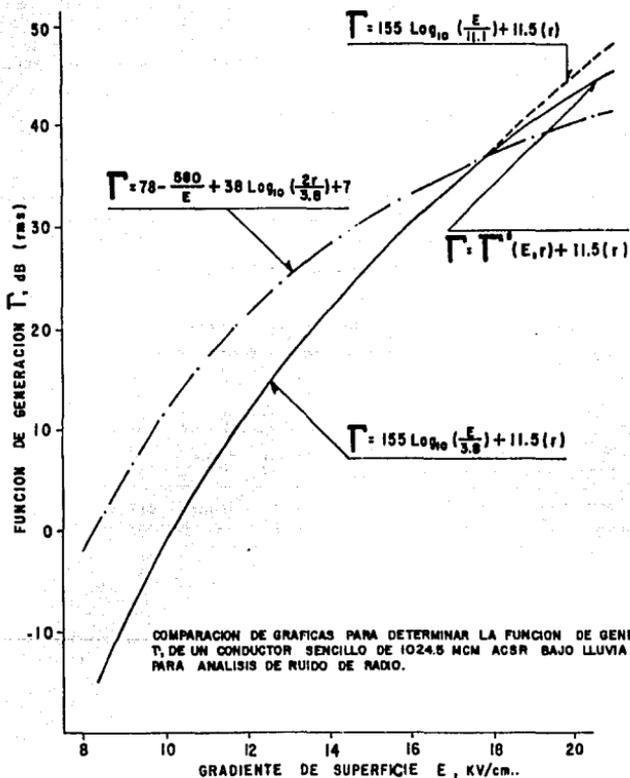
$$E_K = \sqrt{2} \left[ \sum_{a=1}^6 \sum_{b=1}^6 \frac{w_K^a w_K^b}{\alpha^a + \alpha^b} \right]^{1/2}$$

(III.9.21)

$\alpha^a$  y  $\alpha^b$  son las constantes de atenuación descritos en la sección III.9.2.3,  $w_K^a$  y  $w_K^b$  son definidas por:

$$w_K^m = \frac{A}{30} [F] [A]^{-1} [G_K]$$

(III.9.22)



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: ANALISIS DE RUIDO DE RADIO BAJO LLUVIA PESADA.			
FIGURA N.º 3.2.9-2	ESCALA: —	FECHA: 1988	

En esta ecuación  $[F]$  es un vector renglon teniendo elementos:

$$F_i = \frac{2 H_i}{H_i^2 + X_i^2} \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

(III.9.23)

y  $[A]$  es una matriz cuadrada con los siguientes elementos:

$$A_{ii} = \ln \frac{2H_i}{r_i} \quad , r_i = \text{radio del conductor}$$

(III.9.24)

$$A_{ij} = \ln \frac{D_{ij}}{d_{ij}}$$

(III.9.25)

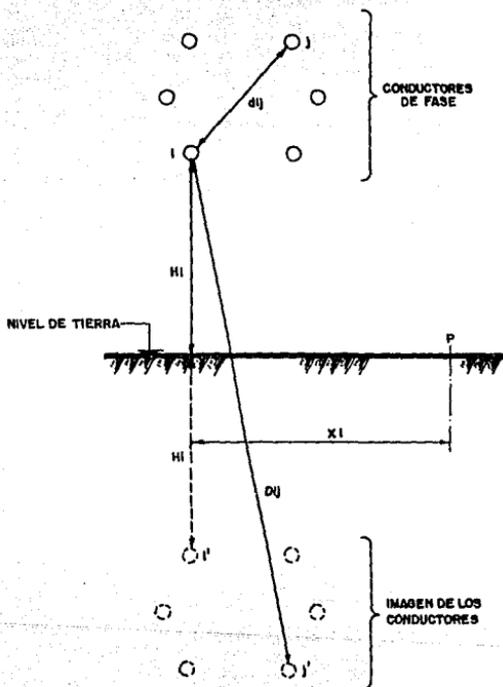
Las cantidades  $H_i$ ,  $X_i$ ,  $D_{ij}$  y  $d_{ij}$  están definidos en la figura III.9.3.

La matriz  $[G_k]$  es un vector columna definido por:

$$[G_k] = \begin{bmatrix} S1m \cdot T \text{ mK} \cdot \Gamma^k \\ S2m \cdot T \text{ mK} \cdot \Gamma^k \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ S6m \cdot T \text{ mK} \cdot \Gamma^k \end{bmatrix}$$

Donde  $S_{ij}$  y  $T_{ij}$  son los elementos de las matrices  $[S]$  y  $[T]$  respectivamente. Siendo las matrices de transformación y su inversa descritas en la sección III.9.2.3

$\Gamma^k$  es la función generación en  $\mu A/m^{1/2}$



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: GEOMETRIA PARA CALCULAR LA INTENSIDAD DE CAMPO EN UN PUNTO P.			
FIGURA No. DC-9-3	ESCALA	FECHA: 1988	

Las ecuaciones dadas en esta sección están basadas en las siguientes consideraciones:

1.- El ruido se considera que es generado aleatoriamente, por lo que solo se considera la magnitud de la corriente introducida; esto es, no hay correlación de fases entre las fuentes.

2.- La intensidad del campo de radiointerferencia  $E_{RI}$  en un punto P es debido al efecto corona distribuido uniformemente sobre la longitud total de todos los conductores extendiéndose en ambas direcciones desde el punto de observación.

3.- En cualquier punto a lo largo de la línea, los voltajes generados y corrientes introducidas están relacionadas a la impedancia característica de la línea. Esto significa que la corriente generada por la zona de efecto corona es propagada sobre los conductores de pérdidas menores y una tierra perfecta.

### III.9.3 NIVELES DE RADIOINTERFERENCIA EN LLUVIA.

La condición de lluvia pesada es definida como lluvia con una intensidad mayor que 1 mm/hr. El nivel de radiointerferencia de lluvia pesada es a menudo tomado como el valor característico de cualquier línea dada. Es estable y perfectamente definido porque es en gran parte independiente de todos los parámetros atmosféricos y del estado de la superficie de los conductores. Constituye en la práctica en un gradiente de trabajo dado, el máximo nivel generado por una línea. Los niveles de radiointerferencia de lluvia pesada para líneas hexafásica y trifásica de doble circuito son encontrados usando el método descrito en la sección III.9.2 .

### III.9.4 NIVELES DE RADIOINTERFERENCIA EN BUEN TIEMPO.

El tiempo seco ó despejado es cualquier otro medio ambiente diferente a niebla, lluvia, nieve, etc., alrededor de los conductores y con las superficies de los conductores libres de agua, hielo ó nieve. La humedad relativa es menor del 90% para líneas cortas y menor del 80% para líneas largas. Aunque el valor promedio de radiointerferencia de tiempo seco es el más probable nivel de interferencia, es difícil determinar los parámetros cuantitativos para calcular analíticamente el nivel de interferencia. Los niveles de interferencia de tiempo seco son inestables y fluctúan debido a la influencia de parámetros los cuales son difíciles para definir, predeterminar o medir e incorporar en una fórmula. Uno de estos es el estado temporal de la superficie el cual depende en la acumulación de partículas atmosféricas, partículas vegetales y así como de insectos. Debido a las variaciones diarias y de estación de los niveles de radiointerferencia de tiempo seco, un valor puede ser definido estrictamente en términos estadísticos, tal como su valor probable, su desviación estándar, su curva de frecuencia acumulativa, etc. Por todas estas razones este estudio no es considerado en este trabajo. Sin embargo, en muchos estudios se considera el valor de radiointerferencia de lluvia pesada como un valor base y a partir de este se deduce ó estima un valor de radiointerferencia para tiempo seco.

**CAPITULO IV**

**AISLAMIENTO DE LINEAS DE TRANSMISION.**

## CAPITULO IV

## AISLAMIENTO DE LINEAS DE TRANSMISION.

## IV.1 INTRODUCCION.

El aislamiento en líneas de transmisión debe seleccionarse después de un cuidadoso estudio de los sobrevoltajes por operación de interruptores, sobrevoltajes debidos a descargas atmosféricas, y funcionamiento a 60 Hz. En el presente, la APS (Allegheny Power System de Estados Unidos) utiliza cadenas de aisladores de 10 ó 12 unidades (5-3/6" x 10") para sus líneas de doble circuito trifásico existentes de 138 KV. Si éstas líneas se convierten en líneas de 138 KV de 6 fases, la suficiencia del aislamiento de las líneas existentes debe ser evaluada con respecto a los tres criterios de funcionamiento mencionados arriba.

La conversión de las líneas existentes en 138 KV de doble circuito trifásico a líneas de 138 KV de 6 fases afectan los equipos de la subestación conectados en las terminales de la línea. Cualquier nueva línea de 6 fases requiere un transformador trifásico/hexafásico en la subestación. El alto voltaje resultante de línea a tierra (de 80 KV a 138 KV) requiere un alto régimen de trabajo de los apartarrayos. Y con éstos nuevos rangos de apartarrayos, podría establecerse un nuevo bus en la subestación.

## IV.2 ANALISIS DEL AISLAMIENTO DE LA LINEA.

Como se menciona en la sección anterior, el estudio siguiente se lleva a cabo para valorar el aislamiento de la línea:

- 1) Comportamiento por maniobras en los interruptores.
- 2) Comportamiento en descargas atmosféricas.
- 3) Comportamiento a 60 Hz.

Para voltajes menores de 345 KV, a menudo se supone que un sistema de aislamiento es adecuado para potencia,

frecuencia y voltaje normales, si satisface el comportamiento en sobrevoltajes por maniobras en interruptores y contra descargas atmosféricas.

#### IV.2.1 COMPORTAMIENTO POR SOBREVOLTAJES DEBIDOS A MANIOBRAS EN INTERRUPTORES.

La inserción de la resistencia de interrupción, la longitud y configuración de la línea juegan una parte importante en la determinación de la forma de onda y magnitud de un sobrevoltaje por maniobras, que podría ocurrir en una línea. La magnitud de los sobrevoltajes ocurre en una forma aleatoria y frecuentemente se supone que siguen la distribución probabilística de Gauss. Las siguientes suposiciones se hacen en este análisis:

1) Basada en experiencia y lógica, se espera que el máximo sobrevoltaje que pueda ocurrir en una línea de 6 fases es de 2.0 p.u.. Esta consideración necesita verificación por medio de estudios con analizadores de redes electrónicos disponibles ó por métodos de simulación por computadora.

2) La desviación estándar del voltaje crítico para una corriente de fuga se considera del 5%

Los siguientes pasos resumen el análisis:

Paso 1.- Evaluación de la rigidez del aislamiento de la torre. Esta se define como el voltaje crítico para corriente de fuga (CFO) menos tres desviaciones estándar. Matemáticamente esto se puede expresar como;

rigidez = CFO - 3 \* CFO = voltaje de línea a neutro del sistema

$$\times 1.05 \times \sqrt{2} \times \text{nivel de sobrevoltaje en p.u.}$$

(IV.1)

Sustituyendo los valores numéricos propios para los sistemas de voltaje de línea a neutro como 138 KV en la ecuación (IV.1) la rigidez dieléctrica de la línea de 138 KV de 6 fases es igual a 410 KV.

$$\begin{aligned} \text{Por lo tanto, CFO (1-0.15)} &= 410 \text{ KV} \\ \frac{6}{0.85} \text{ CFO} &= 410 = 482 \text{ KV.} \end{aligned}$$

Paso 2.- Se aumenta el CFO, calculado arriba, en un 10% para tomar en cuenta la influencia de los factores meteorológicos en el aislamiento de la línea. Esto da:

$$\text{CFO} = 1.1 \times 482 = 530 \text{ KV} \quad (\text{IV.2})$$

Paso 3.- Para una configuración de torre y cadena de aisladores dadas, se calcula HD:

$$\text{HD} = \frac{\text{altura de la cadena de aisladores arriba de tierra}}{\text{longitud de la cadena de aisladores}}$$

(IV.3)

Para la configuración de torre WP8 :  $H = 45' = 13.7 \text{ m}$   
 $D$  para 10 elem. =  $10 \times 11.5'' \approx 4.8' = 1.46 \text{ m}$  (ver figura IV.1) usando los valores de arriba en la ecuación (IV.3) se tiene:

$$\frac{H}{D} = \frac{45}{4.8} \approx 9 \quad (\text{IV.4})$$

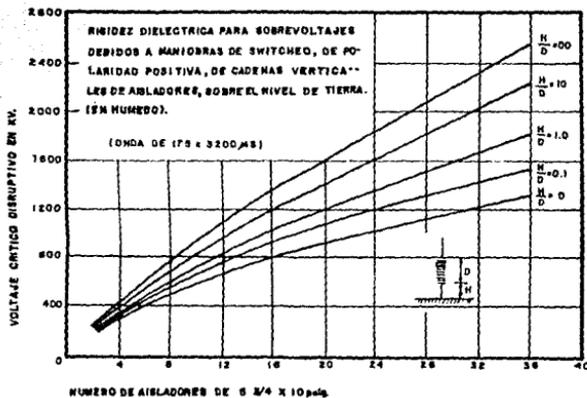
Paso 4.- Por uso de datos experimentales disponibles las figuras IV.1 y IV.2, y la relación H/D uno puede hallar el voltaje crítico para corriente de fuga de la cadena de aisladores.

De la figura IV.1 para sobrevoltajes de polaridad positiva húmedo, CFO = 800 KV.

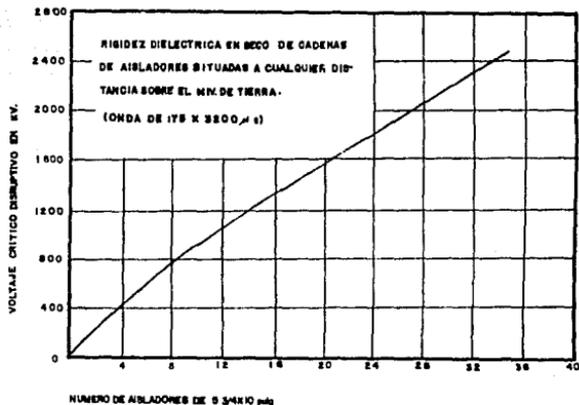
De la figura IV.2 para sobrevoltajes de polaridad negativa seco, CFO = 900 KV. El calculado CFO, 530 KV es menor que para el sobrevoltaje de polaridad positiva para condiciones húmedas CFO, 800 KV. Esto hace que uno podría ir hasta 3.2 p.u de sobrevoltaje con el aislamiento existente para el modo de operación de hexafásico en 138 KV.

#### IV.2.2 COMPORTAMIENTO CON DESCARGAS ATMOSFERICAS.

Este análisis no se considera en este estudio por ser un tanto complicado ya que se fundamenta básicamente en estudios experimentales que quedan fuera del alcance de este trabajo.



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: RIGIDEZ DIELECTRICA EN HUMEDO DE CADENAS DE AISL. PARA SOBREVOLTAJES POR SWITCHEO DE POLARIDAD POSITIVA.			
FIGURA N.º IV - 1	ESCALA: —	FECHA: 1988.	



<b>U N A M</b>		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
TITULO: RIGIDEZ DIELECTR. EN CADENAS DE AISLADORES PARA SOBREVOLTajes POR MANIOBRAS DE SWITCHEO, DE POLARIDADES EN SECO.		
FIGURA: IV-8	ESCALA: ———	FECHA: 1988

## IV.2.3 COMPORTAMIENTO A 60 HZ.

El comportamiento a 60 Hz. del aislamiento de la línea se estudia comunmente:

- 1) Bajo condiciones de contaminación.
- 2) Condiciones de estado estable

La fuga de corriente por contaminación generalmente ocurre cuando condiciones ambientales especiales depositan una delgada película de humedad en las superficies del aislador. Muchos productos químicos transportados por el aire inician la corriente de fuga por contaminación. Algunos de estos productos químicos son: fertilizantes para agricultura, cemento y polvos de fosfato, sal del mar, cenizas que lleva el viento, polvo de carbón, el alcalí en regiones desérticas, el dióxido de azufre y vapores de ácidos de plantas industriales. Los dos tópicos de arriba serán discutidos a continuación, por separado.

## IV.2.3.1 COMPORTAMIENTO DE LA CONTAMINACION A 60 Hz.

El procedimiento para el análisis de estos aspectos están descritos (delineados) en los siguientes pasos:

Paso 1.- Para la existencia de  $n$  - elementos (5 - 3/4" x 10" de la cadena de aisladores, calcular la distancia de fuga,  $L_d$ , en pulgadas igual a:

$n \times$  longitud de cada elemento en pulgadas. (IV.5)

Para una cadena de aisladores de 10 elementos, su valor es

$$= 10 \times 11.5 = 115 \text{ pulgadas.}$$

Paso 2.- Hallar el máximo voltaje rms de línea a neutro en la línea.

$$\text{Max } V_{1-n}(\text{rms}) = V_{1-n} \times 1.05$$

$$= 138 \times 1.05 = 145 \text{ KV.}$$

Paso 3.- Evaluar la distancia de fuga por KV dada por:

Ld distancia de fuga en pulgadas

Máximo voltaje rms de línea a neutro en KV

$$= \frac{115}{145} = 0.793 \text{ pulgadas por KV (rms)}$$

145

La rigidez dieléctrica del aislamiento de la línea se determina usualmente como una función de depósitos de NaCl (Cloruro de Sodio) equivalente, pero una predicción precisa (exacta) del comportamiento durante contaminación no es posible de hacer sin relacionar los depósitos de contaminantes locales con una suma equivalente de depósitos de NaCl (Cloruro de Sodio). La tabla IV.1 relaciona equivalentes en funciones que son Ld y n.

TABLA IV.1

DATOS DE VARIOS NIVELES DE CONTAMINACION

Clasificación de la región aproximada:	Suma: Equivalente típico de Depósitos de NaCl (Cloruro de Sodio) mg/cm <sup>2</sup> :	Distancia de fuga requerida pulgadas/ KV(rms):	Número de unidades estándar del aislador 5 3/4" x 10":
Aislador limpio	0	0.30	4
Rural, Forestal	0.02 - 0.03	0.52-0.65	6 - 8
Suburbios de Regiones Industriales	0.04 - 0.05	0.84-0.93	10 - 11
Regiones Industriales	0.06 - 0.1	1.04-1.39	12 - 16
Precipitación de sal	0.2 - 0.3	1.6 -1.74	18 - 20

Paso 4.- Hallar el equivalente de depósitos NaCl (cloruro de sodio) usando los resultados de los pasos 2, 3 y de la tabla IV.1. Para la línea hexafásica en 138 KV en estudio, el equivalente típico se encuentra entre 0.03 y 0.04 mg/cm<sup>2</sup> (que no se indica en la figura).

Esto implica que un posible brinco de corriente a través del aislador podría ocurrir si la línea obtiene un depósito de NaCl alrededor de 0.04 mg/cm<sup>2</sup>.

#### IV.2.3.2 COMPORTAMIENTO DE ESTADO ESTABLE A 60 HZ.

De un conocimiento de distribución de voltaje a través de los elementos de una cadena de aisladores dada, el operador puede juzgar si los elementos están sobretabajados (cerca de ruptura) ó en condiciones de estado estable. La mayoría de los trabajos en esta área, para evaluar la distribución de voltaje a través de la cadena de aisladores, se llevan a cabo en laboratorio.

En el presente esto parece no ser un método general disponible para solucionar este problema analíticamente. El método resumido por Woodruff para un cable de 4 elementos se extiende a  $n$  elementos para evaluar la distribución de voltaje. La cadena de aisladores puede estar modelada como aparece en la figura IV.3. La siguiente suposición está hecha en el análisis del circuito equivalente:

- 1) La capacitancia entre cada conector (o nodo) a la torre,  $\bar{C}_n$ , y la capacitancia entre cada conector (o nodo) de conductor,  $\frac{C}{2}$ , se consideran constantes a lo largo de la longitud del aislador.
- 2) Si un anillo equipotencial está presente, entonces sólo se consideran el anillo y las tres unidades inferiores. De esta forma, la capacitancia entre el anillo y las unidades restantes se desprecia.

#### ALGORITMO PARA EVALUAR LA DISTRIBUCION DE VOLTAJE A TRAVES DE UNA CAD. DE AISL. SIN ANILLO EQUIPOTENCIAL.

En la figura IV.3 se tiene:

- $v$  = voltaje a través del pico mayor ó ler. elemento.
- $V_{i+1,i}$  = voltaje entre el nodo (i+1) iésimo y el nodo iésimo.
- $v_{i+1,i}$  = voltaje a través del elemento ó unidad iésimo.
- $I_{i+1,i}$  = corriente de carga fluyendo desde el nodo (i+1) iésimo a el nodo iésimo.
- $I_{ci}$  = corriente de fuga fluyendo desde el conductor al nodo iésimo.
- $I_{it}$  = corriente de fuga fluyendo desde el nodo iésimo a la torre.
- $V$  = voltaje de línea a neutro del sistema.
- = voltaje a través del aislador de  $n$ -elementos.

Las ecuaciones matemáticas relevantes pueden derivarse para cada uno de los elementos.

Para el 1er. elemento:

$$V_{21} = v$$

$$\text{y } I_{21} = j\omega cv$$

(IV.7)

Para el 2do. elemento:

$$I_{32} = I_{21} + I_{2c} - I_{c2}$$

$$= j\omega cv + j\omega \frac{c}{n} v - j\omega \frac{c}{2n} (V-v)$$

$$= j\omega c \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{1}{2n}\right)v - j\omega \frac{c}{2n} V$$

(IV.8.a)

A partir de  $V_{32} = I_{32} / j\omega c$ , usando la ecuación (IV.8.a), esta ecuación puede ser escrita como:

$$V_{32} = \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{1}{2n}\right)v - \frac{1}{2n} V$$

(IV.8)

Para el 3er. elemento:

$$I_{43} = I_{32} + I_{3c} - I_{c3}$$

$$= [j\omega c \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{1}{2n}\right)v - j\omega c \frac{1}{2n} V] +$$

$$+ j\omega \frac{c}{n} (v + V_{32}) - j\omega \frac{c}{2n} (v + V_{32})$$

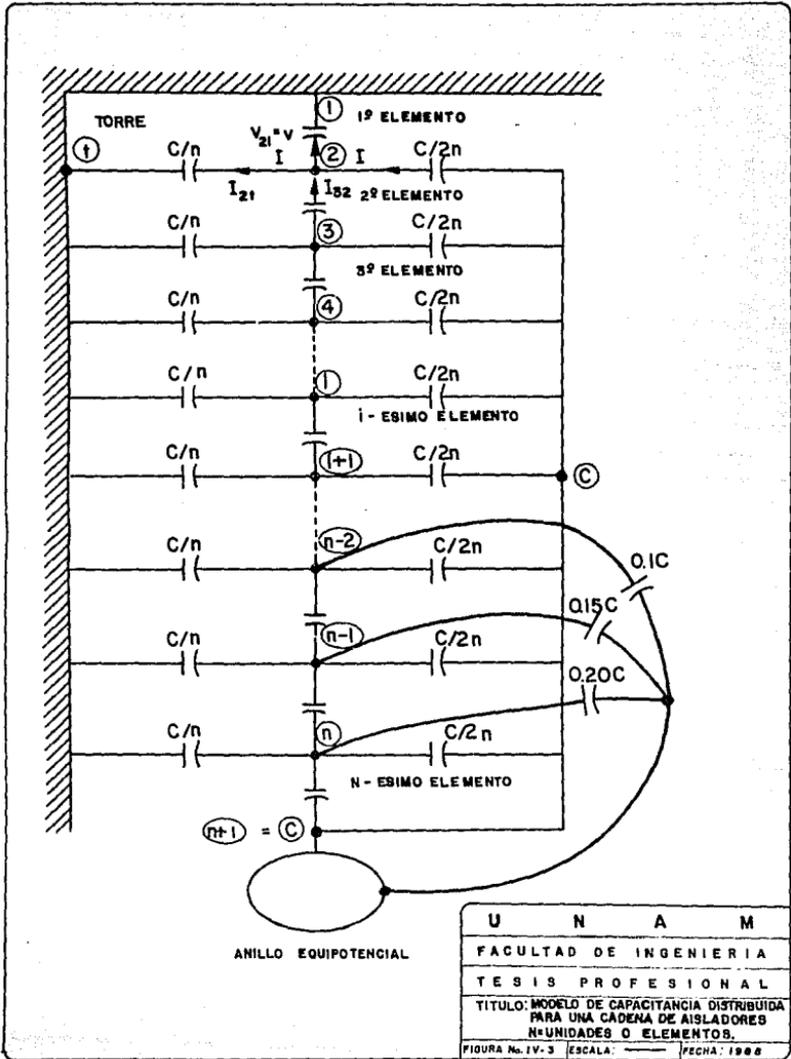
(IV.9.a)

Ahora la expresión para  $(v + V_{32})$  usando la ecuación (IV.8) resulta:

$$= v + \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{1}{2n}\right)v - \frac{1}{2n} V$$

$$= v \left(2 + \frac{1}{n} + \frac{1}{2n}\right) - \frac{1}{2n} V$$

(IV.9.b)



ANILLO EQUIPOTENCIAL

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: MODELO DE CAPACITANCIA DISTRIBUIDA PARA UNA CADENA DE AISLADORES N=UNIDADES O ELEMENTOS.			
FIGURA No. IV-3		ESCALA:	FECHA: 1988

Substituyendo para  $(v + V_{32})$  de la ecuación (IV.9.b) en (IV.9.a) se obtiene después de la simplificación como:

$$V_{43} = \left[ \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{1}{2n} \right) + \left( \frac{1}{n} - \frac{1}{2} \right) \left( 2 + \frac{1}{n} + \frac{1}{2n} \right) \right] v \\ - \left[ \frac{1}{2n} + \left( \frac{1}{n} - \frac{1}{2n} \right) \frac{1}{2n} \right] V$$

(IV.9)

Cada una de las ecuaciones (IV.7), (IV.8), y (IV.9) representan los voltajes a través del 1er., 2do. y 3er. elemento respectivamente, puede ser escrita de manera simplificada como:

$$V_{21} = k_1 v - K_1 V \quad (\text{IV.10})$$

$$V_{32} = k_2 v - K_2 V \quad (\text{IV.11})$$

$$V_{43} = k_3 v - K_3 V \quad (\text{IV.12})$$

y así sucesivamente. En estas últimas ecuaciones  $k_i$ 's y  $K_i$ 's son funciones de  $n$  como puede observarse de (IV.7) a (IV.9). Generalizando esta tendencia, el voltaje a través del  $i$ -ésimo elemento es:

$$V_{i+1,i} = k_i v - K_i V \quad (\text{IV.13})$$

el voltaje a través del  $n$ -ésimo elemento es:

$$V_{n+1,n} = k_n v - K_n V \quad (\text{IV.14})$$

El voltaje de línea a neutro  $V$  del sistema es igual a la suma de todos los voltajes de los  $n$ -elementos. Esto es:

$$V = V_{21} + V_{32} + \dots + V_{i+1,i} + \dots + V_{n+1,n}$$

(IV.15)

Usando las ecuaciones (IV.10) a (IV.14) en (IV.15) se produce:

$$V = \left[ \sum_{i=1}^n k_i \right] v - \left[ \sum_{i=1}^n K_i \right] V$$

(IV.16)

$$V = K_1 v - K_2 V \quad (\text{IV.17})$$

$$\circ K_1 v = (1 + K_2) v$$

$$\circ v = \left[ \frac{1 + K_2}{K_1} \right] V$$

(IV.18)

La ecuación (IV.18) expresa el voltaje a través del elemento más alto como una función de  $n$ , del número de elementos en el aislador dado y de  $V$ , voltaje de línea a neutro del sistema. Algunas veces, es deseable expresar el voltaje a través de cada elemento como un porcentaje de  $v$ .

Entonces, se define:  

$$v'_{i+1,i} = \frac{V_{i+1,i}}{v} \times 100\%$$

(IV.19)

Usando la ecuación de (IV.13) en (IV.19) da:

$$\begin{aligned} v'_{i+1,i} &= \frac{k_{iv} - K_i V}{v} \times 100 = \\ &= (k_i - K_i \frac{v}{v}) \times 100 \end{aligned}$$

(IV.20)

Ahora, usando la ecuación (IV.18) en (IV.20) se tiene la expresión para  $v'_{i+1,i}$  como una función de  $k_i$ ,  $K_1$ ,  $K_1$  y  $K_2$ , las cuales son implícitamente funciones de  $n$ . Esto es:

$$v'_{i+1,i} = k_i - K_i \left[ \frac{1 + K_2}{K_1} \right] \times 100$$

(IV.21)

La ecuación (IV.21) da el voltaje a través del elemento  $i$ -ésimo como un porcentaje del voltaje total a través del aislador, el cual es el resultado deseado.

ALGORITMO PARA EVALUAR LA DISTRIBUCION DE VOLTAJE A TRAVES DEL AISLADOR CON ANILLO EQUIPOTENCIAL.

Recordando a la segunda suposición hecha anteriormente, la expresión para el voltaje a través de las  $n-3$  unidades superiores esencialmente permanecerán igual que en el caso previo sin anillo equipotencial. La expresión del voltaje para los tres elementos más bajos tendrá que modificarse.

Esto puede ser realizado escribiendo las ecuaciones de corriente de Kirchhoff en los nodos (n-2), (n-1) y n, primero usando la figura IV.3 y luego simplificando los resultados de las ecuaciones. Al final resulta:

En el nodo (n-2)

$$\begin{aligned} V_{n-2,n-1} + (V_{n-2,n-1} + V_{n-1,n} + V_{n,n+1}) \left(0.1 + \frac{1}{2n}\right) &= \\ &= V_{n-3,n-2} + (V_{12} + \dots + V_{n-3,n-2}) \frac{1}{n} \end{aligned} \quad (\text{IV.22})$$

En el nodo (n-1)

$$\begin{aligned} V_{n-1,n} + (V_{n-1,n} + V_{n,n+1}) \left(0.15 + \frac{1}{2n}\right) &= \\ &= V_{n-2,n-1} + (V_{12} + \dots + V_{n-2,n-1}) \frac{1}{n} \end{aligned} \quad (\text{IV.23})$$

En el nodo n

$$\begin{aligned} V_{n,n+1} + \left(0.2 + \frac{1}{n}\right) V_{n,n+1} &= \\ &= V_{n-1,n} + (V_{12} + \dots + V_{n-1,n}) \frac{1}{n} \end{aligned} \quad (\text{IV.24})$$

Resolviendo las ecuaciones (IV.22) a (IV.23) paralelamente con las ecuaciones para los elementos más altos (n-3) como se da en las ecuaciones (IV.7) a (IV.14) simultáneamente da el voltaje a través de cada elemento como una función de  $v$  y  $V$ . Estas ecuaciones resultan similares a las ecuaciones (IV.16) De éste procedimiento se obtienen expresiones para  $V_{i+1,i}$  como es dado en la ecuación (IV.12) que es la misma como en el caso previo sin anillo equipotencial visto antes.

Los dos algoritmos desarrollados antes deberán usarse para calcular la distribución del voltaje a

través de la cadena de aisladores de 16 elementos (5-3/4" x 10") con y sin el anillo equipotencial. Los resultados obtenidos cercanamente concuerdan valores experimentales proporcionados por APS de esta manera se establece la validez del modelo de cadena de aisladores propuesto en este análisis. Los mismos algoritmos deberán usarse para evaluar la distribución de voltajes para una cadena de aisladores de 10 elementos en los tres modos de operación. El mínimo, promedio y máximo esfuerzo de voltajes con y sin el anillo equipotencial se presentan en la tabla IV.2. Esta tabla también presenta algunos resultados para aislador de 12 y 14 elementos. Las figuras IV.4-IV.6 representan las distribuciones de voltaje para los tres ejemplos específicos de cadena, es decir, cadenas de 10, 12 y 14 elementos, con y sin el anillo equipotencial.

### IV.3 COORDINACION DE AISLAMIENTO.

#### IV.3.1 INTRODUCCION.

La coordinación del aislamiento del equipo y circuitos eléctricos con las características de los dispositivos de protección para proteger el aislamiento de excesivos sobrevoltajes en sistemas de 6 fases es muy importante. En una subestación, el aislamiento de los transformadores trifásicos/hexafásicos, circuitos interruptivos, barras colectoras, etc. deberá tener una rigidez de aislamiento sobre los límites de nivel de voltaje previstos para la protección de aparatos tales como los apartarrayos.

Cuando la onda rebasa el límite del voltaje máximo del apartarrayos, éste manda la perturbación a tierra protegiendo el equipo. Entonces el concepto de la aplicación apartarrayos para sistemas de 6 y 3 fases es equivalente.

Los rangos de apartarrayos para sistemas de 6 fases están determinados de una forma, la cuál es convencionalmente usada en sistemas de 3 fases. El nivel básico de aislamiento (BIL) de los equipos deberá ser seleccionado de tal forma que puedan ser protegidos con apartarrayos seleccionados. Usando la característica de protección del apartarrayos escogido y un margen de protección deseado, el mínimo BIL del equipo es determinado de la magnitud del cambio de

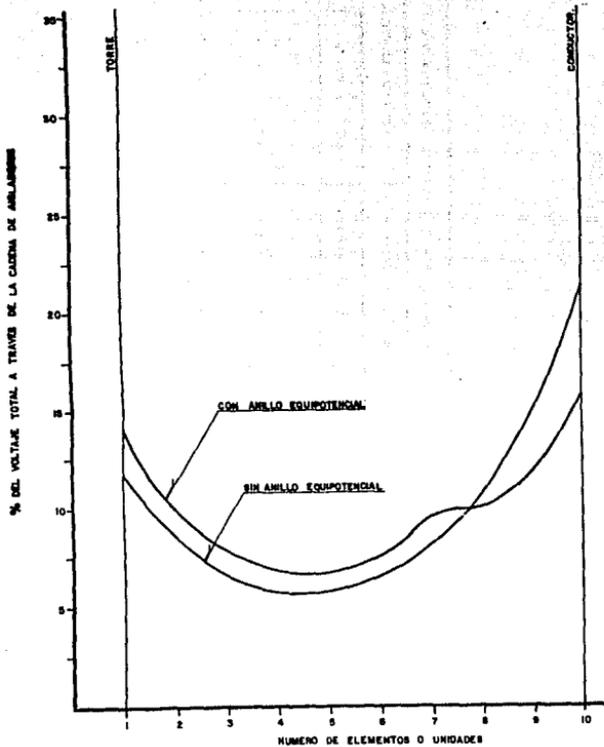
U  
N  
A  
M

FACULTAD DE INGENIERIA  
TESIS PROFESIONAL

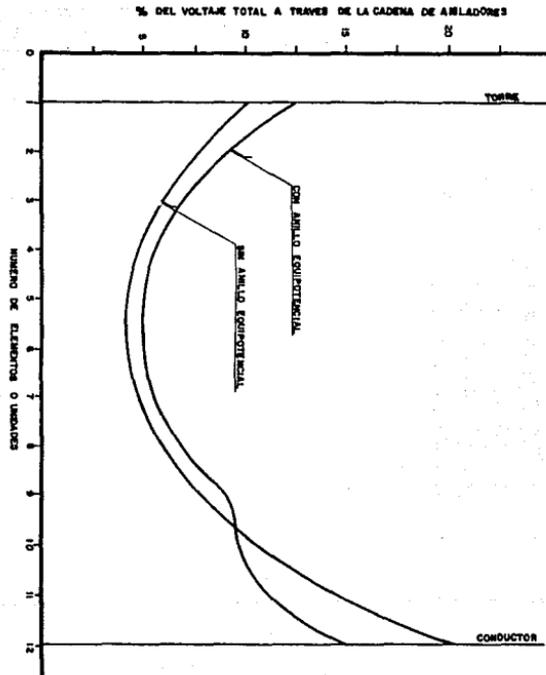
TITULO: VOLTAJE (EN KV) EN UNIDADES  
DE LA CABLEA DE AISLADORES

TEMA N.º IV - 2 ESCALA: \_\_\_\_\_ FECHA: 1988

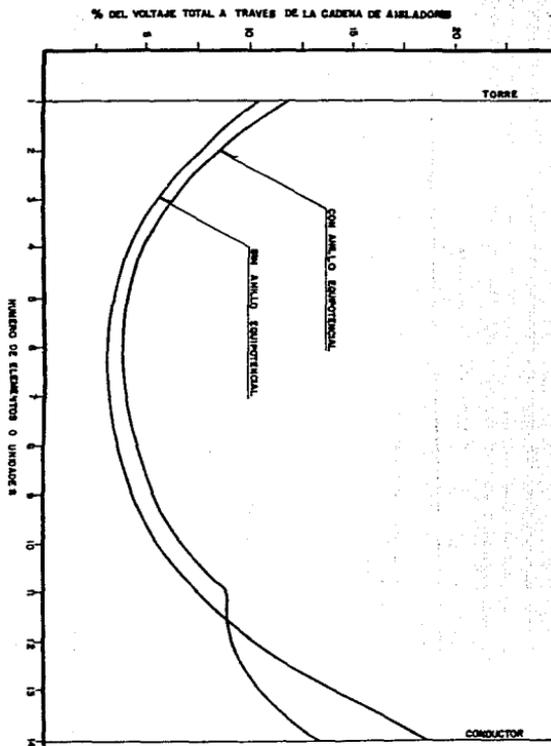
NUMERO DE ELEMENTOS	158-KV DOBLE CIRCUITO TRIFASICO (200KV L-3)			158-KV HEXAFASICO O 230KV DOBLE CIRCUITO TRIFASICO (158-KV L-3).					
	SIN ANILLO EQUIPOTENCIAL			SIN ANILLO EQUIPOTENCIAL			CON ANILLO EQUIPOTENCIAL		
	MINIMO	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO	MAXIMO
10	4.4	6.00	17.6	7.6	13.8	30.4	9.1	15.6	22.2
12	3.2	6.7	16.0	9.6	11.6	27.7	6.7	11.5	20.0
14	2.5	5.7	15.1	4.3	9.9	26.2	5.0	9.9	18.4



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: DISTRIBUCION DE VOLTAJE A TRAVES DE CADA ELEMENTO DE UNA CADENA DE AISLADORES DE 10 ELEMENTOS.			
FIGURA No. IV-4	ESCALA:	FECHA: 1968	



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: DISTRIBUCION DE VOLTAJE A TRAVES DE CADA ELEMENTO DE UNA CADENA DE AISL. DE 12 ELEMENTOS			
FIGURA No. IV-R	ESCALA: —	FECHA: 1988	



U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

TITULO: DISTRIBUCION DE VOLTAJE A TRAVES DE CADA ELEMENTO DE UNA CADENA DE AISLADORES DE 14 ELEM.

FIGURA No. IV - 6 ESCALA: ——— FECHA: 1956

onda y descarga atmosférica con el voltaje de 60 Hz. El margen de protección definido en las ecuaciones IV.27 y IV.28 para cambio de onda e impulso por descarga atmosférica respectivamente es:

$$\% \text{ margen del cambio de onda} = \left[ \frac{\text{Cambio fuerte de onda del equipo}}{\text{Valor de la interrupción de onda por el chisporroteo}} - 1 \right] \times 100$$

(IV.27)

$$\% \text{ margen del impulso por descarga atmosférica} = \left[ \frac{\text{BIL'S del equipo}}{\text{EA}} - 1 \right] \times 100$$

(IV.28)

En la ecuación (IV.28), EA es el voltaje de descarga del apartarrayos a una corriente específica de descarga más la caída de voltaje que lleva el apartarrayos. Los márgenes recomendados son de un 15% y un 20% respectivamente, para una protección satisfactoria de aislamiento de los transformadores.

Tomando una SE de 138 KV como ejemplo, las siguientes subsecciones explican el detalle de los análisis y cálculos hechos con respecto a la selección de apartarrayos y del BIL'S del equipo de una subestación hexafásica de 138 KV.

Se supone en éste estudio que los trabajos por cambio de onda y descargas atmosféricas impuestos en los apartarrayos son los mismos para las líneas trifásicas y hexafásicas.

#### IV.3.2 SELECCION DEL RANGO DEL APARTARRAYOS.

El máximo sobrevoltaje en el sistema a frecuencia normal se toma en cuenta en la determinación de los apartarrayos.

El sobrevoltaje se considera como una elevación de el voltaje en fases no falladas durante fallas a tierra.

Los sobrevoltajes en los sistemas trifásicos que involucran la falla a tierra pueden analizarse por componentes simétricos.

Un método rápido, es usar las curvas de coeficiente de tierra dadas en el libro Westinghouse T y D junto con las relaciones  $R_0/X_1$ ,  $R_1/X_1$  y  $X_0/X_1$ .

Sin embargo, dado que estas curvas se derivan de las ecuaciones de falla de sistemas de 3 fases, estas no pueden ser utilizadas directamente para sistemas de 6 fases. Además, el análisis detallado de fallas para sistemas de 6 fases no puede ser seguro porque no todas las fallas a tierra dan el mismo resultado que para sistemas de 3 fases por el método de componentes simétricas. Además, los modelos de mallas de los sistemas de 6 fases requeridos para cortos circuitos estudiados son hasta ahora incompletos. Estas insuficiencias conducen a la determinación de los apartarrayos por un método más bien lógico. Para lo cual se presenta un ejemplo:

El método supone primero que el sistema entero esta convertido a 6 fases. Estudios previos han mostrado que los valores óhmicos de  $Z_s$  y  $Z_m$  para sistemas de 3 fases son aproximadamente iguales a los de sistemas de 6 fases.

El valor numérico para estos 2 parámetros con cables 1024.5 MCM ACSR por fase son:

Para un circuito, en líneas de 138 KV de 3 fases con doble circuito:

$$Z_s^{3\phi} = 0.2925 + j1.236 \quad \sphericalangle \quad \text{/circuito/milla.}$$

$$Z_m^{3\phi} = 0.1921 + j .5001 \quad \sphericalangle \quad \text{/circuito/milla.}$$

(IV.29)

y para líneas de 138 KV de 6 fases:

$$Z_s^{6\phi} = 0.2925 + j1.236 \quad \sphericalangle \quad \text{/milla.}$$

$$Z_m^{6\phi} = 0.1922 + j0.4624 \quad \sphericalangle \quad \text{/milla.}$$

(IV.30)

Basados en las condiciones de arriba, los elementos de las matrices de las impedancias de secuencia cero y positivas para la conversión de sistemas de 6 fases se deducen de la siguiente manera:

$$Z_1^{3\phi} = Z_s^{3\phi} - Z_m^{3\phi} \quad (\text{IV.31})$$

$$Z_0^{3\phi} = Z_s^{3\phi} + 2Z_m^{3\phi} \quad (\text{IV.32})$$

Los valores de  $Z_s^{3\phi}$  y  $Z_m^{3\phi}$  hallados de las ecuaciones (IV.29) y (IV.30) se multiplican por las relaciones de impedancia base de los sistemas de 3 fases a los de 6 fases para dar en unidad a  $Z_s^{6\phi}$  y  $Z_m^{6\phi}$ . En ecuaciones se obtiene,

$$Z_s^{6\phi} (\text{p.u.}) = Z_s^{3\phi} (\text{p.u.}) \times \frac{Z^{3\phi} \text{ BASE}}{Z^{6\phi} \text{ BASE}} \quad (\text{IV.31})$$

$$Z_m^{6\phi} (\text{p.u.}) = Z_m^{3\phi} (\text{p.u.}) \times \frac{Z^{3\phi} \text{ BASE}}{Z^{6\phi} \text{ BASE}} \quad (\text{IV.32})$$

donde:

$$Z_{\text{BASE}}^{3\phi} = \frac{(138)^2}{100} = 190 \text{ } \Omega$$

$$Z_{\text{BASE}}^{6\phi} = \frac{(138)^2}{100} \times 6 = 1140 \text{ } \Omega$$

Finalmente, los valores por unidad de  $Z_1^{6\phi}$  y  $Z_0^{6\phi}$  son calculados por las siguientes ecuaciones:

$$Z_1^{6\phi} = Z_s^{6\phi} - Z_m^{6\phi} \quad (\text{IV.33})$$

$$Z_0^{6\phi} = Z_s^{6\phi} + 2Z_m^{6\phi} \quad (\text{IV.34})$$

La tabla IV.3 da estas cantidades para las condiciones de líneas en otro sistema.

Las curvas mencionadas anteriormente pueden ser usadas si se supone que los sistemas de 6 fases en 138 KV son equivalentes a los sistemas de 3 fases en 276 KV. Entonces las relaciones  $R_1/X_1$ ,  $X_0/X_1$  y  $R_0/X_1$ , dadas en la tabla IV.3 son usadas para los sistemas de 6 fases de 138 KV para encontrar los coeficientes de tierra para sistemas de 3 fases a 276 KV. De las curvas mencionadas, éste coeficiente es de 0.74.

Los sobrevoltajes máximos son por lo tanto, aproximadamente iguales a  $(0.74) (276) (1.05) = 214$  KV rms.

LUGAR DE LA FALLA	SISTEMA	$Z_1$ (p.u.)	$Z_0$ (p.u.)	$R_1/X_1$	$X_0'/X_1$	$R_0/X_1$
LINEA DE 138KV	TRIFASICO 2 CIRCUITOS	$0.00068 + j0.0096^*$	$0.0037 + j0.016^*$	0.079	1.86	0.430
LINEA DE 138KV	HEXAFASICO	$0.00011 + j0.00143^{**}$	$0.00112 + j0.0039^{**}$	0.077	2.73	0.780

\* ESTOS VALORES SE TOMARON DE UN ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO

\*\* ESTOS VALORES SE CALCULARON USANDO LAS ECUACIONES (IV.29) A (IV.34)

U  
N  
A  
M

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

TITULO: IMPENDENCIA DE SECUENCIA POSITIVA Y  
NEGATIVA PARA UNA FALLA EN LA LÍ-  
NEA DE 138KV, PARA DOS MODOS DE OPERACION.  
TAMA, No. IV-3 ESCALA: ——— FECHA: 1988.

Basado en rangos de apartarrays disponibles, se recomienda un apartarrayos de 228 KVrms. La tabla IV.4 da las características de apartarrayos.

Los sobrevoltajes debidos a fallas de tierra pueden también calcularse para el sistema equivalente de 6 fases.

Desafortunadamente, fuera de las 12 fallas a tierra significantes, solamente 5 casos pueden ser analizados por el método de componentes simétricas. La única solución factible a estos problemas es usar predicciones comparativas, como: referir sobrevoltajes en sistemas de 3 fases con los sistemas de 6 fases en términos de fallas a tierra equivalentes.

Los cálculos numéricos muestran que el mayor sobrevoltaje para una falla de línea a tierra en la línea de 138 KV para un sistema trifásico aparece en la fase b y es 0.55 veces el voltaje de línea a línea.

Para una doble falla de línea a tierra, el voltaje en la fase c es 0.69 veces el voltaje de línea a línea. En el sistema equivalente a 6 fases, una falla sencilla de línea a tierra en el mismo lugar causa un sobrevoltaje alto que ocurre en la fase b y es 1.2 veces el voltaje de fase a tierra. Para los otros 4 casos, el sobrevoltaje no excede el factor de 0.2. Pero para los casos restantes, el sobrevoltaje será alrededor de 0.2. Una estimación conservadora es predecir que el máximo sobrevoltaje es causado por cualquiera de los casos restantes sin resolver. Si este caso se toma como equivalente a una falla de dos líneas a tierra para el sistema de 3 fases y los sobrevoltajes son de la misma proporción para fallas equivalentes de sistemas de 3 fases y 6 fases. Entonces el máximo sobrevoltaje esperado en el sistema equivalente de 6 fases es:

$$\frac{0.69}{0.55} \times 1.2 = 1.51 \text{ p.u.}$$

En una base de 138 KV, el rango del apartarrayos debe ser igual ó mayor que  $(1.51) \times (138) \times (1.05) = 219 \text{ KV rms}$ . Esto deja el rango del apartarrayos en 228 KV rms. Este procedimiento no es necesariamente general y debe ser repetido para otros casos para hacer las conclusiones adecuadas.

Si en lugar de un sistema a 138 KV de 6 fases, la conversión se hace para un sistema de 230 KV a 3 fases, el rango del apartarrayos requerido es de 180 KV rms. Si no es usado un análisis de fallas detallado ni

U  
N  
A  
M

FACULTAD DE INGENIERIA  
TESIS PROFESIONAL

TITULO: CARACTERISTICAS DE PROTECCION  
DE LOS APARTARAYOS.

TEMA: IV-6 ESCALA: \_\_\_\_\_ FECHA: 1988

RANGO DEL APARTARAYO KV, rms.	VOLTAJE DE DESCARGA DEL APAR- -TARAYOS KV CRESTA			VOLTAJE DE DESCAR- -GA, KV PARA KA DE				
	FRENTE DE ONDA	1.2 x 50 ONDA	SOBRETEN- -CION DE ONDA	1.5	3.0	5.0	10.0	20.0
180	565	410	410	288	324	353	400	465
228	705	515	515	365	410	446	506	588

tampoco curvas de coeficientes de tierra. La regla práctica que se recomienda es considerar el apartarrayos al 75% cuando son usados sistemas con neutro a tierra sólidamente aterrizados. Esto es,  $(0.75) \times (230) \times (1.05) = 182$  KV rms. y un apartarrayos de 180 KV rms. será suficiente. La tabla IV.4 resume las características de apartarrayos para el caso doble circuitos en 230 KV.

#### IV.3.3 SELECCION DE BIL DEL EQUIPO (NIVEL BASICO DE AISLAMIENTO).

El mínimo BIL de equipo puede determinarse en base a sobrevoltajes debidos al impulso de descargas atmosféricas y cambios de la onda. En la selección del BIL de equipo en sobrevoltajes por cambio de onda, se utilizan dos criterios:

- 1.- El máximo cambio de voltaje que llegará a los equipos,
- 2.- La máxima descarga del apartarrayos.

Los resultados son dados en la tabla IV.5.

Y a falta de un estudio de sobrev. por manobr., para líneas de 6 fases se toma 2.0 p.u. La resistencia requerida es de 15% arriba del máximo cambio de voltaje considerado para el criterio 1, ó el voltaje de descarga para el criterio 2. Usando la definición de la resistencia de aislamiento como se da en la columna 2, los mínimos BIL'S de equipos se dan en la columna 5 para el criterio 1, y en la columna 8 para el criterio 2.

La tabla IV.6 da los margenes de un impulso de rayo para los diferentes BIL'S encontrados en la tabla IV.5. Los porcentajes de margen están calculados de la ecuación IV.28 donde EA es el voltaje de descarga del apartarrayos en una corriente de descarga de 10 KV más la caída de conducción. Una caída de conducción de 38KV se calcula basándonos en la suposición de que una relación de 500 KV/ seg de elevación de la onda entrante, una longitud de conducción de 35 pies teniendo una inductancia de 0.4 henry por pie y una impedancia característica de 375  $\Omega$ . La ecuación (IV.35) da los cálculos para la caída de conducción.

$$\begin{aligned} \text{Caída de conducción} &= L \frac{di}{dt} = L \frac{2(de/dt)}{Z} \\ \text{del apartarrayos} &= (0.4)(35) \frac{2(500)}{375} = 38 \text{ KV} \\ &\quad (IV.35) \end{aligned}$$

SISTEMA DE AISLAMIENTO	RIGIDEZ DEL AISLADOR	CRITERIO 1 :BASADO EN UN SOBREV. POR SWITCH MAX			CRITERIO 2 :BASADO EN UN APARTARRAYOS DE 20 KV		
		SOBREV. POR SWITCH., KV (1)	RIGIDEZ REQUERIDA, KV	MINIMO BIL ESTANDAR, KV (2)	SOBREV. EN EL APARTARR., KV	RIGIDEZ REQUERIDA, KV	MINIMO BIL EST., KV (2)
BOQUILLAS INTERNAS DEL TRANSF.	0.83 BIL	4 1 0	4 7 2	6 5 0	5 1 5	5 9 3	7 5 0
BOQUILLAS EXTERNAS DEL TRANSF.	0.7 BIL	4 1 0	4 7 2	7 5 0	5 1 5	5 9 3	9 0 0
INTERRUPT.	0.66 BIL	4 1 0	4 7 2	7 5 0	5 1 5	5 9 3	9 0 0
SECCIONADORES Y SOPORTES DE B. COLECTORAS	0.6 BIL	4 1 0	4 7 2	9 0 0	5 1 5	5 9 3	105 0

(1) SUPONE UN SOBREV. POR SWITCHEO DE 2.0 p.u.  $2 \times 1.06 \times 136 \times \sqrt{2} = 410 \text{KV}$  PARA LINEAS DE 136 KV, DE 6 FASES.

(2) LOS BIL'S ESTANDAR DADOS SE BASAN EN BIL'S ESTANDAR EXISTENTES PARA TRANSFORMADORES.

124

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA TESIS PROFESIONAL	TITULO :SELECCION DE LOS BIL'S DEL EQUIPO DE APARTARRAYOS EN UN TRANSFORMADOR DE SWITCHEO DE 136 KV	Tema No. 1 y 2	FECHA: 1988
------------------	---------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------	-------------

**U N A M**

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

TITULO: CONSTRUCCION DE AISLAMIENTO DEL SECT.  
 ENERGETICO DE ISM EN BARRION DE ESCAMBUYS ATRV.  
 ENERGETICA.

TEMA: No. 1798      ESCALA:      FECHA: 1988.

SISTEMA DE AISLAMIENTO	B I L	M A R G E N (%)
BOQUILLAS INTERNAS DEL TRANSFORMADOR.	6 5 0	1 9
	7 5 0	3 8
BOQUILLAS EXTERNAS DEL TRANSFORMADOR.	6 5 0	3 8
	9 0 0	6 5
INTERRUPTORES.	7 5 0	3 8
	9 0 0	6 5
	1 0 5 0	9 3
SECCIONADORES Y SOPORTES DE BARRAS COLECTORAS.	9 0 0	6 5
	1 0 5 0	9 3

Los márgenes dados en la tabla IV.6 suponen que el apartarrayos se localiza cerca de los equipos a ser protegidos y el máximo voltaje permisible en los equipos terminales es el BIL. A partir de que un 20% de margen de impulso se recomienda la tabla IV. 6 muestra que de mínima BIL del transformador debe ser de 750 KV. Usando un sobrev. por maniobr. de 2.0, las mismas características de la onda del rayo, corriente de descarga del apartarrayos y la longitud de conducción, se dan resultados similares a las tablas IV.5 y IV.6 en las tablas IV.7 y IV.8 para una SE de 230 KV. La impedancia característica de la línea de 365 . En las tablas IV.7 y IV.8 se recomienda un BIL de 650 KV para el aumento del transformador interno.

#### IV.3.4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

En las tablas IV.5 a IV.8, los rangos de apartarrayos y los BIL'S de los equipos de la subestación, ambos para un sistema hexafásico en 138 KV y para sistema trifásico en 230 KV están dados en la tabla IV.9. Las figuras pertinentes para un sistema de 138 KV de 3 fases se incluyen también en esta tabl.

Las siguientes conclusiones se derivan de la tabla IV.9:

- 1.- La conversión de las líneas de 138 KV de 3 fases de doble circuito a 6 fases requiere de cambiar los apartarrayos existentes de 108 KV a 228 KV. Sin embargo, una conversión a 230 KV de 3 fases requiere cambiar solamente de 108 KV a 180 KV.
- 2.- Los mínimos BIL'S de transformador para aisladores internos y externos son de 750 KV y 900 KV respectivamente para una subestación hexafásica en 138 KV. En el otro sistema, los BIL'S de transformadores de 650 KV y 750KV internos y externos respectivamente son requeridos para una subestación trifásica de doble circuito en 230 KV.
- 3.- Con respecto a otro equipo de la subestación, la conversión a 138 KV de 6 fases necesita de un BIL de cerca de 1050 KV mientras la conversión a una de 230 KV de 3 fases requiere de un BIL de cerca de 900 KV.

U  
N  
A  
M

FACULTAD DE INGENIERIA  
TESIS PROFESIONAL

TITULO "SERVICIO DEL BA PARA ENERG. TRIASICO  
DE 230 KV BASADO EN SOBREVOLTAJES POR SWITCH  
USANDO UN MARGEN DEL 15 %"

TAMA No. 11-7 ESCALA 1:1000000 FECHA 1988

SISTEMA DE AISLAMIENTO	VOLTAJE NOMINAL	CRITERIO 1 : BASADO EN MAX. SOBREV. DE SWITCH			CRITERIO 2 : BASADO EN UN PARARRAYOS DE 180 KV		
		SOBREV. POR SWITCH [ 1 ] KV	RIGIDEZ REQUE- RIDA, KV.	BIL. MINIMO ESTANDAR, KV.	SOBREV. EN EL APARTARR., KV.	RIGIDEZ REQUE- RIDA, KV.	BIL. MINIMO EST., KV. ( 2 )
BOQUILLAS INTERNAS DEL TRANSF.	0.83 BIL	396	455	550	410	472	650
BOQUILLAS EXTERNAS DEL TRANSF.	0.7 BIL	396	455	650	410	472	750
INTERRUPTOR.	0.66 BIL	396	455	750	410	472	750
SECCIONAD. Y SOPORTES DE B. COLECTORAS.	0.6 BIL	396	455	900	410	472	900

(1) SUPONE SOBREVOLTAJE DE SWITCH DE  $2.0 pu, 2.0 \times \frac{230 \times 1.05}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} = 396 \text{ KV}$  PARA LINEAS TRIF. DE 230KV.

(2) LOS BIL'S DADOS SE BASAN EN BIL'S ESTANDAR PARA TRANSFORMADORES

SISTEMA DE AISLAMIENTO	BIL	MARGEN (%)
BOQUILLAS INTERNAS DEL TRANSFORMADOR.	650 650	25 48
BOQUILLAS EXTERNAS DEL TRANSFORMADOR.	650 750	48 71
INTERRUPTORES.	750 900	71 105
SECCIONADORES Y SOPORTES DE BARRAS COLECTORAS.	900	105

CAPAC. DE APARTARRAYOS Y BIL DEL EQUIPO	138 KV.	138 KV.	230 KV.
	TRIFASICO	HEXAFASICO	TRIFASICO
CAPAC. DE LOS APARTARRAYOS KV, RMS	108	228	180
BIL'S DE LOS EQUIPOS			
TRANSF. INTERNO	450	750	650
TRANSF. EXTERNO	650	900	750
INTERRUPTORES	-	1050	900
SECCIONADORES Y SOPORTES DE BARRAS COLECTORAS.	-	1080	900

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: COORD. DE AISL. PARA 230KV TRIF. BASA DA EN DESCARG. ATM. CAPAC. DE APARTARRAYOS Y BIL DE EQ. EN LA SUBEST. PARA 3 MODOS DE OPERAC.			
TABLAS. No. 19		ESCALA: —	FECHA 1988.

Por otra parte, la conversión a 6 fases indica la necesidad para transformación de 6 fases a 3 fases y viceversa. Al mismo tiempo, la barra colectora de 6 fases puede ser necesaria en algunas de las subestaciones existentes.

**CAPITULO V**

**ANALISIS MECANICO DE LAS LINEAS DE TRANSMISION MULTIFASICAS.**

## CAPITULO V

## ANALISIS MECANICO DE LAS LINEAS DE TRANSMISION MULTIFASICAS.

## V.1 INTRODUCCION:

El análisis mecánico para las líneas de transmisión lo enfocaremos básicamente en las consideraciones que se deben hacer en el diseño de nuevas torres, las cuales en un futuro serán las que se instalen en las nuevas líneas de transmisión; así como su diferencia con las existentes desde el punto de vista mecánico.

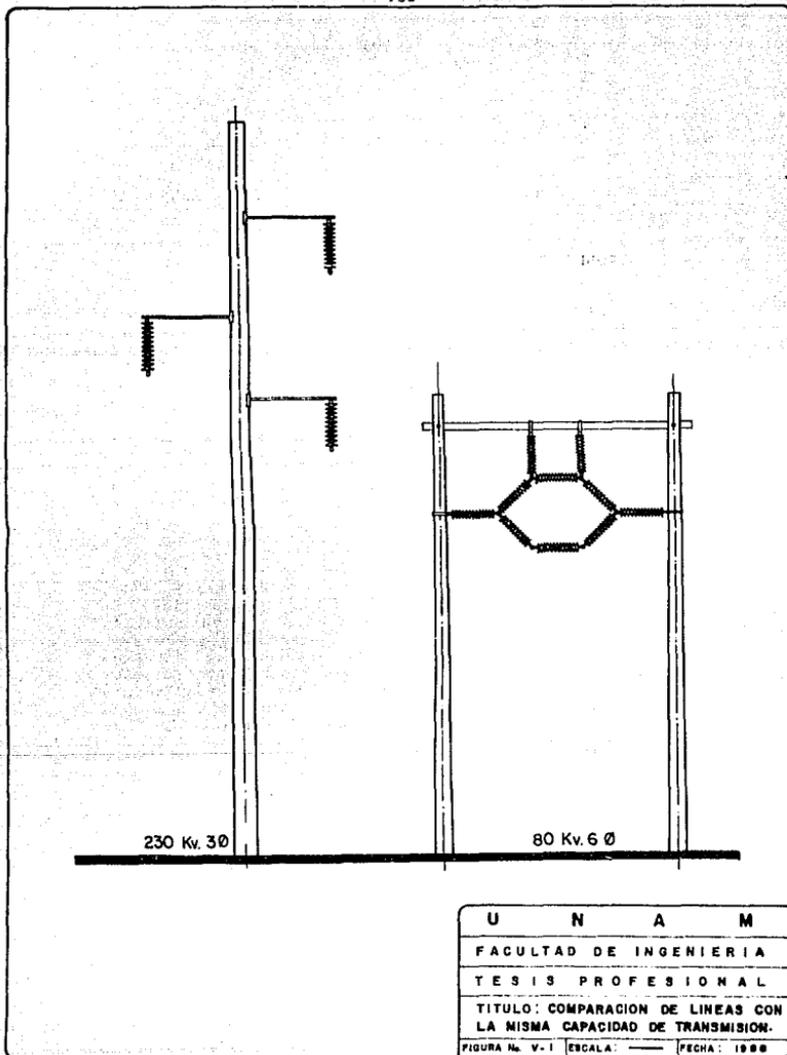
La razón de esto obedece a que se trata de dar el uso más eficiente a los derechos de vía existentes ó futuros.

Como se ha mencionado al incrementar el número de fases, el voltaje entre conductores adyacentes es considerablemente menor que el voltaje de fase a tierra, esto permite hacer diseños de torres más compactos, por ejemplo en la figura V.1 se muestran dos líneas sencillas, una trifásica y la otra hexafásica, con la misma capacidad de transmisión, pueden verse claramente las ventajas de la línea de 6 fases con respecto a la de tres fases en relación al derecho de vía.

Por esta razón en los Estados Unidos, las diversas compañías suministradoras consideraron nuevos diseños de torres de seis, nueve y doce fases y el Departamento de Energía en 1978 patrocinó un proyecto para la construcción y prueba de líneas experimentales de seis y doce fases.

Estas líneas necesitaron el desarrollo de las primeras ideas de diseño, para confirmar la extensión de cálculos complejos hechos para líneas de 3 fases, en líneas de 6 y 12 fases, cálculos como el de radiointerferencia, movimiento de carga, etc., y así demostrar que diseños prácticos son posibles en la actualidad.

Como parte de éste proyecto, se diseñaron nuevas torres para alto orden de fases, aisladores y espaciadores.



Para estas pruebas se seleccionó un voltaje de 80 KV de fase a tierra (equivalente a 138 KV de fase a fase de un Sistema Trifásico) así como un conductor relativamente pequeño (336 MCM para minimizar los costos de construcción, prueba y equipos de subestación de la línea de prueba), pero lo suficientemente grande para investigar en niveles razonables de parámetros importantes en E<sub>n</sub>V tales como efectos de ruido y campos eléctricos.

## V.2 ESTRUCTURAS PARA LAS LINEAS DE PRUEBA.

Los diseños de torre y aisladores se hicieron para conseguir al mismo tiempo diversos objetivos, por lo que las líneas de prueba debían ser versátiles para hacer una variedad de experimentos mecánicos y eléctricos, evaluación de los más promisorios conceptos de diseño de torres y aisladores, y el desarrollo y demostración de técnicas de construcción prácticas.

Para encontrar el mejor diseño se tomaron en cuenta distintas características conflictivas, diversos tipos de torres con diferentes espaciadores y aisladores.

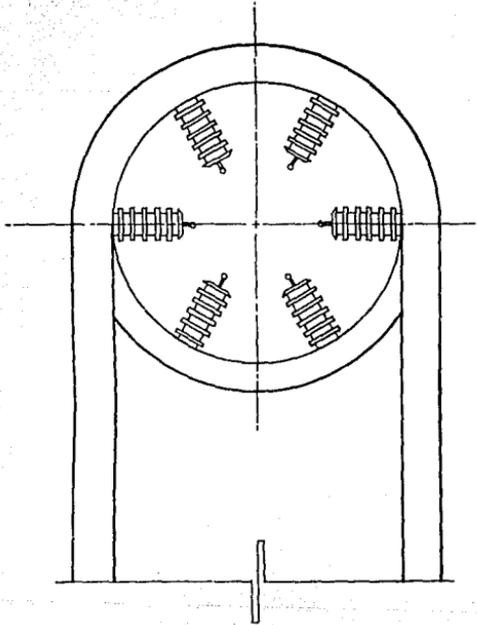
Para este fin las líneas se diseñaron con el objeto de conseguir límites deseados en parámetros importantes, por ejemplo: se eligió un conductor pequeño para gradientes de superficie altos y así tener altos niveles de ruido, y los aisladores y estructuras fueron diseñados del menor tamaño posible para asegurar que cualquier problema fuera rápidamente observado.

Una característica importante de las líneas de prueba fue la utilización de la tecnología de compactación de la torre.

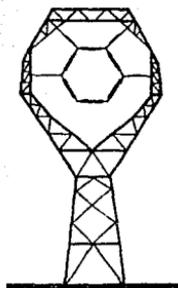
Debido a que los voltajes de línea a línea son menores para alto orden de fases, la compactación se aplicó fácilmente con lo que se obtuvo una gran ventaja.

El diseño de la línea basado en el estudio de compactación previo fue usado para encontrar la mejor geometría de conductores y dimensiones aproximadas de torre y aisladores.

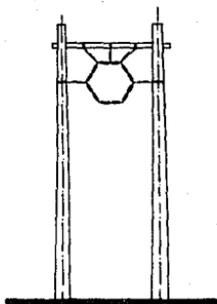
Para esta línea de prueba se usaron arreglos circulares de conductores con un metro de espaciamiento



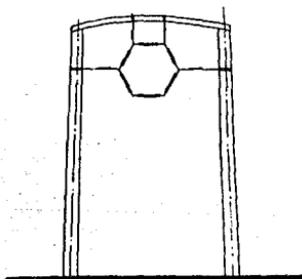
U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: CONCEPTO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DE ALTO ORDEN DE FASE.			
FIGURA No. V-2	ESCALA:	—	FECHA: 1988



(c)



(a)



(b)

<b>U N A M</b>		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
TITULO: ESTRUCTURAS DE LINEAS DE PRUEBA DE ALTO ORDEN DE FASE.		
FIGURA No. V-3	ESCALA: —	FECHA: 1968

entre ellos, como un mínimo por razones eléctricas y de movimiento de conductores.

La compactación máxima requiere que no haya miembros de la torre entre fases aterrizados para aprovechar al máximo el aislamiento del aire. Este arreglo circular de conductores está condicionado al conductor y al diseño del aislador.

Por ejemplo, se utilizaron sistemas de aisladores que no permiten oscilaciones por el viento para máxima compactación. Como un resultado de estas consideraciones, las torres y aisladores fueron diseñados interactivamente.

En el primer concepto de alto orden de fases se ideó un arreglo circular de conductores soportado por un poste radial como se muestra en la figura V.2

Este sistema tiene las ventajas de simplicidad, material estándar y no tiene aisladores entre fases pero hace la torre incesantemente complicada, debido a que los puntos de soporte individuales deben estar sostenidos para cada base de aislador.

El espaciamiento de un metro entre conductores da como resultado una ventana de cuatro metros para una línea hexafásica y una ventana de seis metros para una línea docefásica.

Tres diferentes tipos de torre se construyeron en las líneas de prueba como se muestran en las figuras V.3.a, V.3.b y V.3.c para doce, seis y seis fases respectivamente.

### V.3 DISEÑO DE AISLADORES.

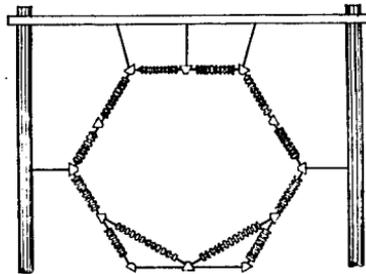
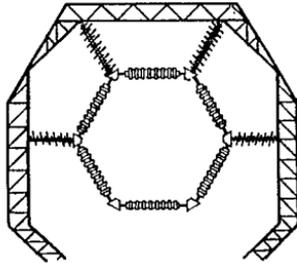
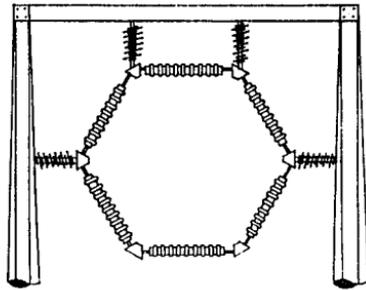
Dos ideas surgieron para el diseño de sistemas de aisladores en las estructuras:

La primera involucra el uso de elementos de aisladores de suspensión cargados en tensión, lo cual puede lograrse con componentes de suspensión convencionales.

Se pueden usar diseños concentrados de aisladores no cerámicos ó aisladores de porcelana en todos los diseños probados.

Las ventajas obtenidas con elementos no cerámicos fueron: sistemas de aisladores con apariencia óptima, peso ligero, alta rigidez dieléctrica, alta resistencia al daño ó corrosión y fáciles de instalar.

Las figuras V.4(a) y V.4(b) muestra dos arreglos de 6 fases de dos diferentes construcciones y la V.4(c) un arreglo similar para 12 fases, este tipo de



U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
TITULO: AISLADORES SOPORTE DE TENSION.	
FIGURAS: V-4	ESCALA: _____
FECHA: 1988	

diseño es muy satisfactorio. Debe notarse que los aisladores de la figura V.4 no representan necesariamente el diseño final para los voltajes que maneja la línea.

La segunda idea usa aisladores rígidos los cuales permiten carga en cantiliver, estos se pueden utilizar especialmente para diseños de doce fases. Un arreglo de este tipo es ilustrado en la figura V.5(a).

Este aislador tiene desventaja por las dificultades de su instalación, debido a que el diseño de los soportes requiere ensamble simultáneo de los aisladores y conductores.

Un segundo diseño como el de la figura V.5(b) tiene la ventaja de una mayor distancia de fuga.

#### V.4 ESPACIADORES.

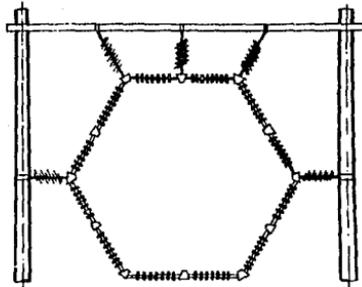
La disponibilidad de espaciadores no es esencial para el éxito de alto orden de fases. Estos pueden proporcionar un medio de compactación adicional y puede ser especialmente útil para grandes longitudes de espaciamiento entre torres. Se desarrolló un número de espaciadores de 6 y 12 fases y fueron puestos en las líneas de prueba. Los cuatro tipos de espaciadores probados se muestran en las figuras V.6(a,b,c y d) y se evaluaron varios factores en su comportamiento. El espaciador tipo asterisco de la figura V.6(a) tiene la ventaja de no tener miembros entre fases, pero tiene la desventaja de que el aislador está cargado en esfuerzo, y así limita efectividad al espaciador, a menos que un aislador fuerte proporcione la rigidez suficiente, pero con un peso significativo.

El hexágono de la figura V.6(b) tiene todos los aisladores cargados en compresión, y por lo tanto es más rígido pero con la desventaja de usar componentes entre fases.

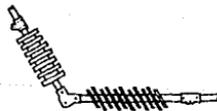
El diseño híbrido de la figura V.6(c) se hizo con el fin de mejorar los dos anteriores, pero desgraciadamente, aunque tiene las ventajas del segundo, tiene también las desventajas del primero.

Finalmente el diseño del triple triángulo de la figura V.6(d) llamado "de defensa civil" tiene tres "brazos" adicionales y por lo tanto sobrecarga en peso la línea.

En general, el diseño del hexágono es el más útil.

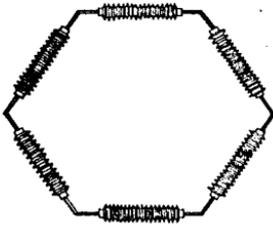


a

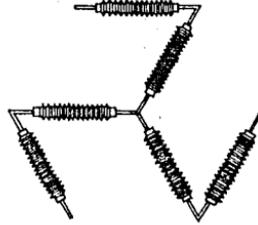


b

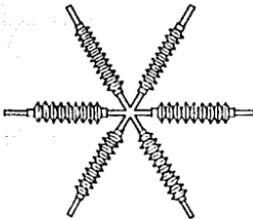
<b>U N A M</b>	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
TITULO: AISLADOR SOPORTE RIGIDO EN CANTILEVER.	
FIGURA No. V-8	FECHA: 1988



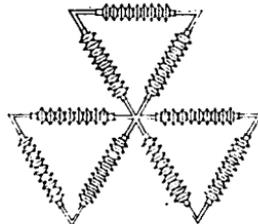
(b)



(c)



(a)



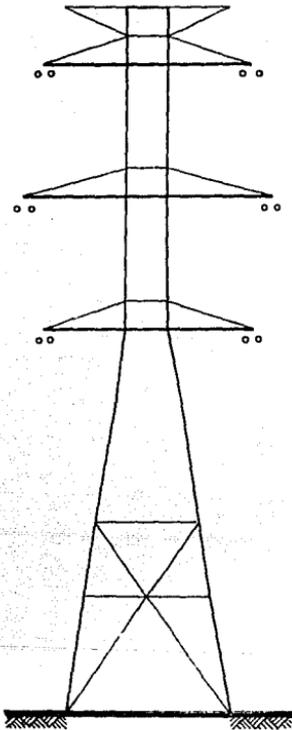
(d)

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: ESPACIADORES DE AISLAMIENTO EXPERIMENTALES.			
FIGURA No. V-6		ESCALA	FECHA 1988

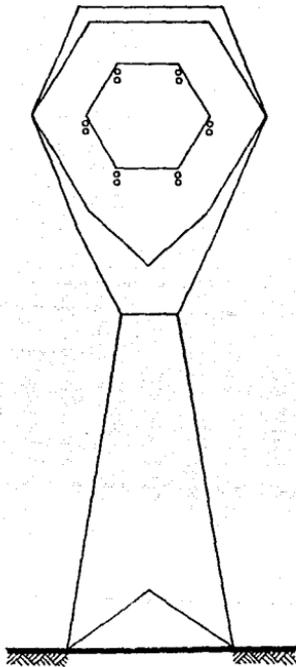
## V.5 PARAMETROS DE DISEÑO MECANICO PARA ESTRUCTURAS.

La figura V.7 muestra una torre de 345 KV de doble circuito trifásico comparada con una de 289 KV hexafásica con alturas de conductores apropiadas para longitudes de espaciamiento similares. Las torres son de tamaño comparable, con la observación de que el diseño de 289 KV es apropiado para la máxima capacidad de transmisión, en el espacio asociado a la torre de 345 KV de doble circuito trifásico. Sin embargo, el tamaño del arreglo de conductores es menor para el diseño de 6 fases que para el de doble circuito trifásico, así el efecto visual de los conductores es menor para el diseño de 6 fases.

La tabla V.1 da los parámetros de diseño mecánico para las estructuras. Debido a que el diseño hexafásico de 289 KV satisface criterios ambientales para el mismo derecho de vía de 50 M. de ancho que el diseño en 345 KV de doble circuito trifásico, es una mejor selección para hacer el máximo uso del derecho de vía, y si además el costo óptimo fuera basado para la misma transferencia de potencia, la reducción en pérdidas ocasionado por el aumento de voltaje de fase a tierra del diseño de seis fases lo hace económicamente atractivo.



SISTEMA 3φ DOBLE CIRCUITO



SISTEMA 6φ

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: COMPARACION DE ALTURAS Y DISPOSICION DE CONDUCTORES EN 2 SISTEMAS.			
FIGURA No. V-7	ESCALA: ———	FECHA: 1988	

PARAMETROS DE DISEÑO PARA ESTRUCTURA DE SOPORTE

PARAMETRO	3 Ø, DOBLE CIRCUITO 345KV	3 Ø, 1 CIRCUITO 345 KV	6 Ø, 289 KV.
ALTURA DEL CONDUCTOR MAS BAJO.	21.5 m.	21.5 m.	43.5 m.
ESPACIAMIENTO ENTRE FASES.	8.3 m.	8.10 m.	4.7 m.
CARGA TRANSVERSAL.	16350 Kg.	9140 Kg.	13636 Kg.
CARGA LONGITUDINAL.	6182 Kg.	2730 Kg.	2730 Kg.
CARGA VERTICAL.	36495 Kg.	26140 Kg.	31909 Kg.
PESO DE LA TORRE.	14673 Kg.	4605.5 Kg.	8636 Kg.
SEPARACION ENTRE FASES.	500 m.	500 m.	330 m.
CONDUCTOR.	795 Km 11. 26/7	795 Km 11. 26/7	2156 Km 11. 84/9

143

U
N
A
M
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
TITULO: PARAMETROS DE DISEÑO PARA ESTRUCTURA DE SOPORTE.
TABLA No. V. 2
BOGOTÁ, 1988
TECN. 1888

CAPITULO VI

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS TRIFASICOS Y  
HEXAFASICOS.

## CAPITULO VI

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS TRIFASICOS Y HEXAFASICOS.

La primer comparación entre los dos sistemas, debido a que es más obvia es el hecho de que si ambos sistemas llevan la misma corriente de línea y los mismos voltajes entre líneas adyacentes, el sistema hexafásico maneja un 73.2% más de potencia que el sistema de doble circuito trifásico.

Adicionalmente un sistema hexafásico requiere un menor derecho de vía que uno de doble circuito trifásico para la misma potencia de transmisión.

El espaciamiento de los conductores de línea es menor para un sistema hexafásico que para uno de doble circuito para la misma potencia de transmisión. Si se aumenta el número de fases, el espaciamiento anterior se reduce aún más estando limitado únicamente por el movimiento de los conductores. La impedancia característica para seis fases es ligeramente mayor que para doble circuito trifásico. Un problema que se presenta con las líneas hexafásicas es la transposición, la cual es sumamente difícil, en cambio en las líneas trifásicas esta transposición se hace libremente.

Los campos eléctricos de superficie son menores para una línea hexafásica que para una línea trifásica de doble circuito.

Los gradientes de tierra son mayores para una línea hexafásica que para una línea trifásica de doble circuito.

Debido a que los gradientes de superficie son mayores para doble circuito trifásico que para seis fases, este último presenta un mejor comportamiento para efecto corona, ruido audible, radiointerferencia.

Los niveles de aislamiento terminales son mayores para sistemas hexafásicos que para doble circuito trifásico.

Finalmente los sistemas hexafásicos presentan equipos terminales más complejos y que no existen en la actualidad siendo este el principal problema por resolver.

Los casos analizados en la computadora para la torre tipo de CFE, la cual se muestra en el apéndice A1, son los siguientes:

**Caso 1.**

Doble circuito trifásico, 230 KV entre fases, 850 MW de transmisión de potencia, factor de potencia unitario y un conductor de 1272 MCM.

**Caso 2.**

Circuito hexafásico, 230 KV entre fases y de fase a tierra, 1472.2 MW de transmisión de potencia, factor de potencia unitario y un conductor de 1272 MCM.

**Caso 3.**

Circuito hexafásico, 230 KV entre fases y de fase a tierra, 850 MW de transmisión de potencia, factor de potencia unitario y un conductor de 1272 MCM.

**Caso 4.**

Circuito hexafásico, 230 KV entre fases y de fase a tierra, 850 MW de transmisión de potencia, factor de potencia unitario y un conductor de 477 MCM.

**Caso 5.**

Igual al caso 2 pero con un voltaje de fase a tierra de 132.790 KV, y una potencia de transmisión de 850 MW.

Los resultados obtenidos, nos confirman las características de funcionamiento previstos, los cuales se muestran en las gráficas A1.1, A1.2, A1.3, A1.4, A1.5 y A1.6.

Cabe aclarar que para comparar cada uno de los casos deben verificarse los parámetros de funcionamiento, tales como la potencia transmitida y en voltaje de operación, con el fin de establecer una comparación en condiciones similares de operación; por ejemplo, el caso 2 nos presenta una mayor transmisión de potencia, aprovechando al máximo las condiciones originales del doble circuito trifásico.

En la gráfica A1.1, se observa que el caso 3 tiene una mejor regulación de voltaje, esto se debe a que maneja una menor cantidad de corriente que todos los demás casos (excepto el caso 4 que maneja la misma

cantidad de corriente), y por lo tanto, tienen una menor caída de voltaje; los demás casos son variantes que nos permiten visualizar las alternativas que se presentan al modificar parámetros tales como: la potencia transmitida, el voltaje de operación, etc. En la gráfica A1.3 se aprecia con claridad que el caso 3 tiene una mejor eficiencia que el resto de los casos, lo cual confirma una ventaja de los sistemas hexafásicos.

La gráfica A1.4 nos muestra que un sistema hexafásico con el mismo voltaje de fase a tierra que el de doble circuito trifásico, como es precisamente el caso 5, tiene menores gradientes de superficie en los conductores.

De manera similar, en la gráfica A1.5, se ilustra como un sistema trifásico tiene menores gradientes de tierra en comparación con uno hexafásico (casos 1 y 5 respectivamente).

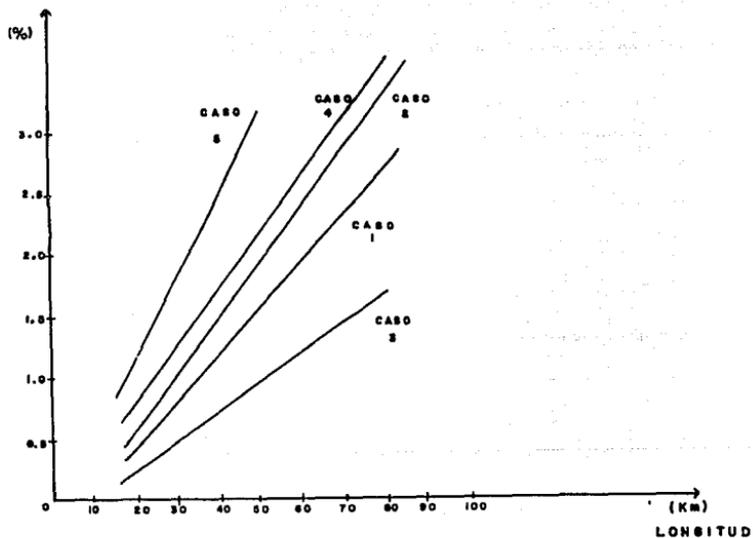
Finalmente comparando los casos 1 y 5, en la gráfica A1.6, se observa que un sistema hexafásico con el mismo voltaje de fase a tierra que uno trifásico, tiene menores pérdidas por efecto corona, ya que tiene menores gradientes de superficie.

Por otro lado, para las configuraciones de torre de USA, tales como la WPS, WPS-1 y APS-22, se obtuvieron resultados similares, los cuales se muestran en el apéndice A1.

Cabe aclarar que debido a que este tipo de torres es diferente al utilizado por Comisión Federal de Electricidad, solo se corrieron dos casos, los cuales, sirvieron para verificar nuestros resultados con los obtenidos en USA, y así obtener un parámetro que nos permitió confirmar la validez de nuestro trabajo.

El punto de comparación fue el reporte que se presenta en la referencia 23 de la bibliografía.

## REGULACION



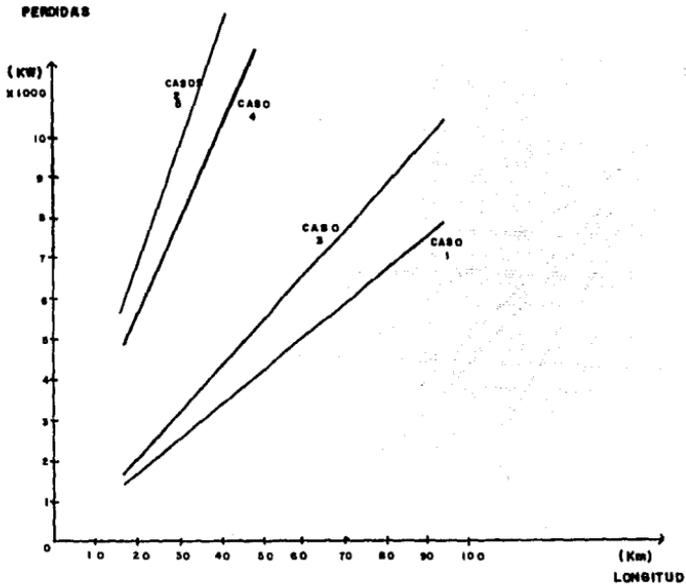
U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

TITULO: REGULACION DE VOLTAJE  
PARA LA TORRE XY DE CFE.

FIGURA No. A1.1 ESCALA ——— FECHA: 1984



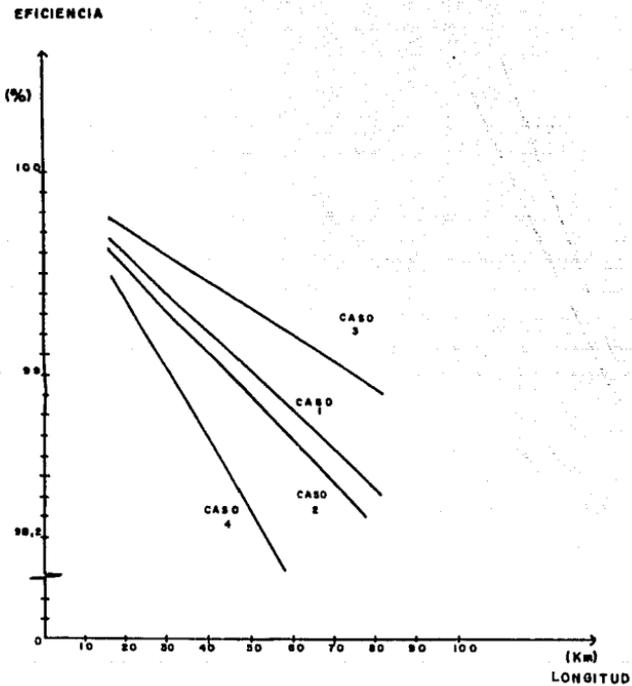
U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

TITULO: PERDIDAS ELECTRICAS  
EN UNA TORRE XY DE CPE

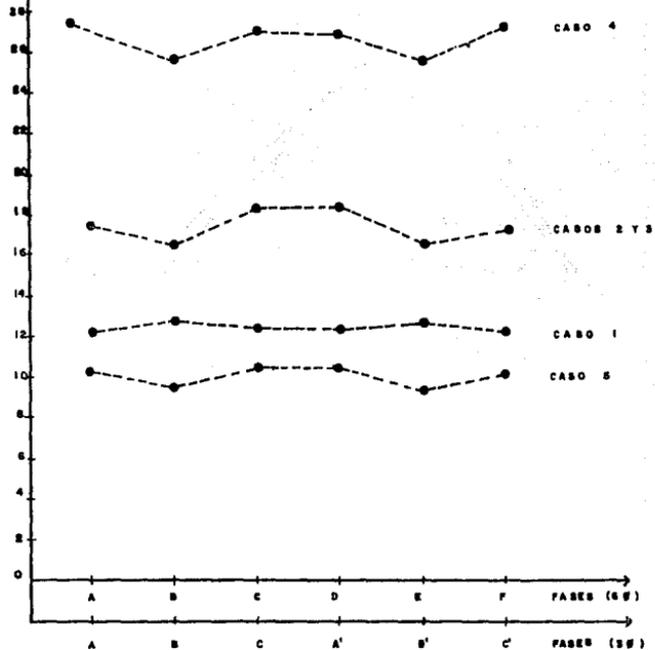
FIG. A1.2 ES-C: FECHA: 1988



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: EFICIENCIA DE LA TORRE XY DE CFE.			
FIG. No. A1.3	ESC:	FECHA: 1988	

GRADIENTE DE  
SUPERFICIE

(KV/M)



U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA

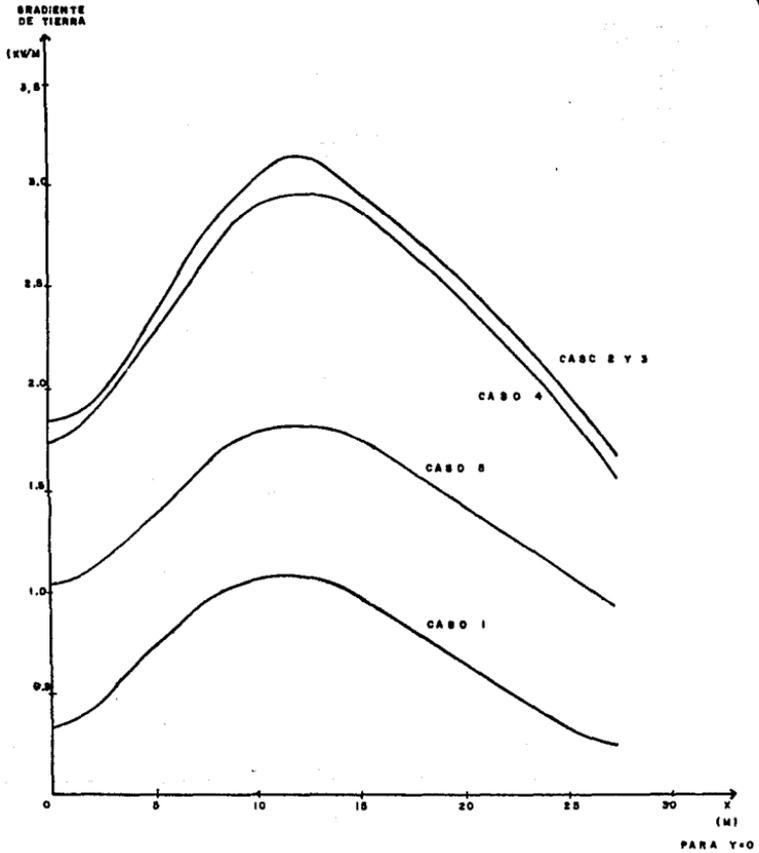
TESIS PROFESIONAL

TITULO: GRADIENTES DE SUPERFICIE  
PARA LA TORRE XY DE CFE

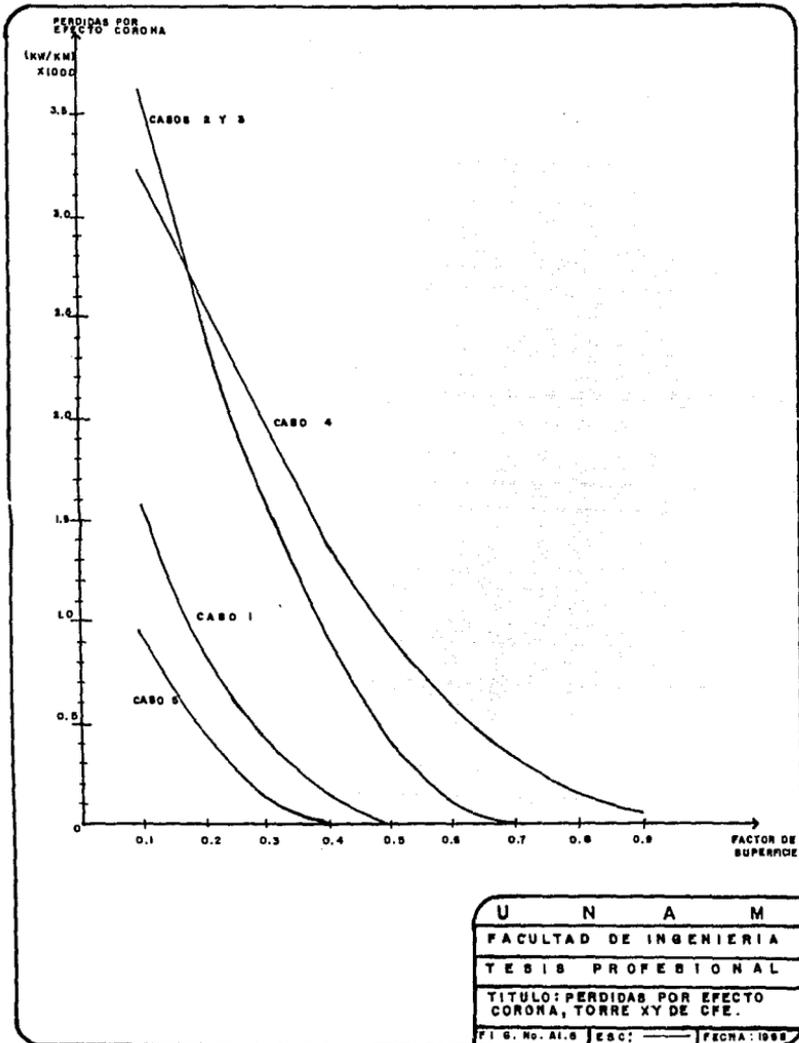
FIG. A1.4

E &amp; C

FECHA: 1988



U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: GRADIENTES DE TIERRA PARA LA TORRE XY C.F.E.			
FIG. A1.0	ESC:	FECHA: 1980	



**CAPITULO VII**

**CONCLUSIONES.**

## CAPITULO VII

## CONCLUSIONES.

Hasta hace algunos años la transmisión de Energía Eléctrica por medio de sistemas multifásicos (mayores pero múltiples del sistema trifásico convencional), mostraba sólo interés académico. Sin embargo debido al crecimiento de las ciudades y el consecuente aumento de la demanda de Energía Eléctrica, en diversas partes del mundo se interesaron en analizar un campo antes no explotado en la práctica: la transmisión multifásica mayor a la trifásica pero múltiplo de esta.

Todo esto con el fin de hacer un uso más eficiente de los derechos de vía existentes.

Las ventajas de esta nueva tecnología surgieron inmediatamente después de los primeros estudios, aunque también hay desventajas, éstas tienen un menor peso que las primeras.

Las ventajas y desventajas se mencionaron en el capítulo anterior, sin embargo el aprovechamiento de esta nueva tecnología muestra dos caminos de desarrollo.

El primero es la construcción de nuevas líneas de transmisión multifásicas con nuevos diseños de torres, aisladores, espaciadores, transformadores, equipos de control, etc.

Esta opción creemos no se desarrollará en un futuro cercano debido al alto costo que se requiere y sólo se tendrán líneas de prueba para corroborar los resultados obtenidos con los estudios realizados.

La segunda opción, sin embargo, presenta un futuro promisorio de aplicación y es la que se ha tratado a lo largo de todo el texto, la cual es la conversión de la líneas trifásicas de doble circuito existentes en líneas sencillas hexafásicas, y en un menor grado las líneas de cuatro circuitos trifásicos en líneas sencillas docefásicas o bien en líneas de doble circuito hexafásico.

Las líneas hexafásicas presentan un mejor comportamiento que las trifásicas en cuanto a: regulación de voltaje, eficiencia, efecto corona, ruido audible, ruido de radio, derecho de vía, capacidad de transmisión de potencia y campos eléctricos de superficie.

Las líneas trifásicas tienen la ventaja de una transposición sencilla, gradientes de tierra menores, y una amplia experiencia en su operación y la gran ventaja de su existencia con todos sus equipos y protecciones terminales.

Creemos que la principal desventaja de las líneas hexafásicas al ser convertidas de líneas trifásicas de doble circuito es el cambio sustancial que se tendrá en los extremos de las líneas básicamente en sus equipos terminales (protecciones y transformadores) y la poca experiencia más bien nula en la aplicación de estos sistemas.

Un tema de gran interés por ser un problema que se presentará con la conversión de las líneas trifásicas de doble circuito a sencillas hexafásicas es el acoplamiento de los sistemas trifásicos que permanecieran (generadores y cargas a alimentar) con los sistemas hexafásicos introducidos (líneas y transformadores), con el fin aprovechar al máximo lo existente con los cambios mínimos posibles.

Por todo lo anterior el resultado inmediato de estos estudios es que las líneas de transmisión existentes (de doble circuito trifásico) sean convertidas a líneas hexafásicas sencillas y que la inversión requerida para hacer los cambios necesarios justifica el incremento del 73.2% en la capacidad de transmisión de las líneas existentes.

APENDICE A1

PROGRAMA DE COMPUTADORA  
PARAMETROS DE LINEAS DE TRANSMISION TRIFASICAS Y  
HEXAFASICAS.

## APENDICE A1

### PROGRAMA DE COMPUTADORA PARAMETROS DE LINEAS DE TRANSMISION TRIFASICAS Y HEXAFASICAS.

A fin de comprobar la teoría explicada en este trabajo, se desarrolló un programa de computadora titulado "Parámetros de líneas de transmisión trifásicas y hexafásicas", que es también auxiliar en el diseño de líneas de transmisión.

El programa tiene la capacidad de generar matrices de parámetros en serie y en paralelo para los casos transpuesto y no transpuesto para líneas de 3 y 6 fases, así como los índices de funcionamiento como la impedancia característica, la regulación de voltaje, eficiencia, potencia máxima, pérdidas de potencia y pérdidas por efecto corona, gradientes de superficie y de tierra, y desequilibrio electromagnético.

A continuación se explica la forma en que está constituido el programa y los algoritmos que forman parte de él, con los que obtenemos los parámetros y características de funcionamiento de las líneas de transmisión.

#### ESTRUCTURA DEL PROGRAMA:

El programa está diseñado para hacer los cálculos eléctricos de líneas de 6 fases y de tres fases de doble circuito, utilizando torres WP8, WPS-1 y APS-22 de USA; XY de CFE, que tienen un subconductor por fase, y en total 8 cables, contando los dos cables de guarda, el programa consta de un programa principal y subrutinas escritas en el lenguaje de programación FORTRAN. El programa principal toma los datos y hace con ellos los primeros cálculos de la línea, calcula las distancias entre conductores, transfiriendo los datos de las coordenadas donde se sitúan los cables a la subrutina DISTANC, a partir de los resultados obtenidos con ésta subrutina y otros más leídos anteriormente, el programa principal calcula los parámetros eléctricos de la línea: matriz de coeficientes y matriz de impedancia serie mediante fórmulas explicadas en el trabajo. Las matrices quedan de orden 8, al calcularse para una línea de 8 cables, y para poder trabajar con ellas, según el número de

fases, se hace primero una reducción de ambas matrices hasta quedar de orden 6, para el caso hexafásico quedan de ese orden, para la transmisión con 3 fases, dos circuitos, se continúa reduciendo la matriz hasta quedar de orden 3 mediante la subrutina SIMP.

Posteriormente se calculan las matrices de admitancia en paralelo y de capacitancia, la última mediante la inversión de la matriz de coeficientes, empleando la subrutina INV para la matriz de orden 6 y la subrutina INVP para la de orden 3.

Todas las matrices que representan los primeros parámetros calculados se mandan imprimir mediante las subrutinas ESCRITURA para 6 fases, y ESCRITURA B para 3 fases.

En seguida se calculan los parámetros en componentes simétricas, para esto se utilizan las matrices obtenidas anteriormente y las matrices de transformación en componentes simétricas y que se dan como datos al programa y se obtiene la multiplicación mediante la subrutina POR para 6 fases y PORA para el caso de 3 fases, la subrutina PORB se utiliza para multiplicar matrices de orden 6 por vectores de 6 elementos, el resultado de las 2 multiplicaciones, que es la matriz de componentes simétricas se manda imprimir mediante las subrutinas de escritura de matrices.

Para calcular los parámetros eléctricos para el caso transpuesto se dispone de las subrutinas PARTRSN para 3 fases y PARTRS para 6 fases, con los datos obtenidos se manda llamar a la subrutina SEC, que calcula los parámetros de secuencia positiva y cero para ambos casos.

Con los datos de la impedancia y admitancia de secuencia positiva obtenidos en la subrutina SEC, junto con los datos de la longitud, potencia de la línea, voltaje al neutro del sistema, y la corriente por fase, estos últimos leídos en el programa principal se manda llamar a la subrutina CARL para obtener la regulación de voltaje, potencia máxima, pérdidas de potencia y eficiencia de la línea. Después se manda llamar a la subrutina GRAD, que calcula los gradientes alrededor de la superficie de cada conductor y en cualquier punto situado a cierta longitud del centro de la línea.

La subrutina PEC es la que calcula las pérdidas por efecto corona, y por último, del programa principal se llama a la subrutina FADE, que calcula los desequilibrios electromagnéticos al inicio y al final de la línea.

## DATOS DE ENTRADA.

Los datos que necesita el programa, que son los que describen el sistema y los datos del conductor se muestran a continuación, junto con los nombres que se les han asignado en el programa:

Número de fases:	L
Número de conductores, incluyendo los cables de guarda:	N
Base de potencia(MVA):	SM
Base de voltaje (KV):	UM
Frecuencia(Hz):	F
Resistencia del conductor (ohms):	R
Altura sobre el terreno de cada conductor(m):	H , YPU
Distancia horizontal del centro de la línea:	BSI, XPU
Radio exterior del conductor (m):	U
Radio medio geométrico del conductor (m):	G
Identificación del conductor (m):	DUCTO
Matriz de transformación:	T
Matriz de transformación inversa:	TI
Matriz de transformación de orden 3:	TP
Matriz de transformación de orden 3:	TIP

Distancia horizontal del punto P, donde se va a medir el gradiente de potencia:	XU
Distancia vertical de P :	YU
Presión atmosférica: (cm/Hg):	BIU
Temperatura ambiente: (C)	TEMP
Factor de superficie del conductor:	FME
Longitud promedio de la línea:	ONL
Longitud de la línea:	on
Potencia de envío de la línea:	OTN
Factor de potencia de la línea:	FACT

## RESULTADOS:

Distancia entre conductores:	D
Distancia entre conductores y sus imágenes:	VE
Matriz de impedancia serie (ohms/km):	Z
Matriz de coeficientes (daraf/km):	P
Matriz de capacitancia (coulomb/km):	C
Matriz de admitancia (siemens/km):	Y

Regulación de voltaje:	RV
Potencia máxima:	Pmax.
Pérdidas:	Pe
Eficiencia:	EF.

Los datos de entrada al programa deben suministrarse de acuerdo con los siguientes formatos de lectura, formando un archivo de entrada, que deberá suministrarse al programa una vez completo en la forma que se muestra:

Para el sistema VAX:

```

ASSIGN NOMBRE DEL ARCHIVO. EXTENSION SYS$INPUT
ASSIGN NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS SYS$OUTPUT
RUN PARAMETROS
DEASSIGN SYS$INPUT
DEASSIGN SYS$OUTPUT

```

Los formatos de lectura son:

Primero se escriben en el 1er. renglón los datos de la frecuencia, potencia base (MVA), voltaje base (KV), número de conductores, números de fases, número de subconductores por fase y resistividad del terreno\* acomodados de acuerdo al siguiente formato: (F4.2, 2F10.2, 3I2, F72) \* en este orden.

En los siguientes 8 renglones se escriben los datos de: resistencia del conductor ( $\Omega$ ), altura del conductor, radio del conductor (m), radio medio geométrico del conductor (m), distancia horizontal del conductor medida a partir del centro de la línea (m) y la asignación ó nombre del conductor, siendo cada renglón para cada conductor, los 6 primeros renglones para los conductores de las fases y los 2 últimos para los datos de los cables de guarda considerando el siguiente orden:

G1 (7)	.G2 (8)	-Entre paréntesis:
.	.	renglón que ocupan los
(1) .A	F.(6)	datos del conductor
(2).B	E.(5)	-Fuera del paréntesis:
		designación del conductor
(3).C	D.(4)	

Los datos, en el orden indicado, se dan según el siguiente formato:

(F5.3, F6.2, F7.4, F8.5, F7.3, A2).

En los siguientes renglones se escriben los datos de la parte real de la matriz de transformación T, luego su parte imaginaria, después la parte real seguida de la parte imaginaria de la matriz de transformación inversa T<sup>-1</sup>; como estamos trabajando con 6 conductores, tanto para 6 fases como para 3 fases con doble circuito, para éste último caso se consideran las matrices de transformación:

$$T_1 = \begin{bmatrix} T & 0 \\ 0 & T \end{bmatrix} \quad ; \quad 3\emptyset, 2c \quad T^{-1} = \begin{bmatrix} T^{-1} & 0 \\ 0 & T^{-1} \end{bmatrix}$$

Donde:

T = Matriz de transformación para 3 $\emptyset$ , 1 circuito.

T<sup>-1</sup> = Matriz de transformación inversa para 3 $\emptyset$ , 1 circuito.

Los elementos van acomodados en el siguiente orden:

Renglón	# de elemento de T	# de elemento de T <sup>-1</sup>
1	(1,1) parte real; parte i(1,1)	parte real(1,1) PI(1,1)
2	(1,2) "	(1,2) "(1,2)
3	(1,3) "	(1,3) "(1,3)
.	.	.
.	.	.
.	.	.

```

6 (1,6) parte real; parte i(1,6) parte real(1,6) PI(1,6)
7 (2,1) " " (2,1) " (2,1) "(2,1)
8 (2,2) " " (2,2) " (2,2) "(2,2)
9 (2,3) " " (2,3) " (2,3) "(2,3)
. . . . .
. . . . .
12 (2,6) " " (2,6) " (2,6) "(2,6)
. . . . .
. . . . .
(6xn) (n,i) " " (n,i) (n,i) (n,i)

```

n = # de conductor de cada matriz

i = # de columna en el renglón.

Estos datos se acomodan con el formato:

(4F(7.4))

En el siguiente renglón van los datos de la potencia (VA), voltaje de recepción, corriente de recepción (A) y ampacidad de la línea, que es igual a la corriente de recepción con el siguiente formato:

F(7.2)

Estos datos son para el cálculo de la regulación de voltaje, pérdidas, etc., calculados para 5 distintas longitudes cuyos datos se dan en los siguientes 5 renglones, 1 para cada longitud, acomodados todos con el siguiente formato:

(F7.2)

En los siguientes 6 renglones se dan los datos de la parte real y parte imaginaria del voltaje en cada fase, ó sea en cada conductor, acomodando cada par de datos en cada renglón, en el siguiente orden:

FASE		DATOS QUE SE DAN	
$6\phi$	$3\phi$	P real voltaje en esa fase	P imaginaria del V
A	A	"	"
B	B	"	"
C	C	"	"
D	A'	"	"
E	B'	"	"
F	C'	"	"

6 fases: A. .F                      3 fases 2c: A. .C'  
           B. .E                                      B. .B'  
           C. .D                                      C. .A'

según el formato:

(2F9.2)

En seguida se vuelve a escribir los datos de la distribución y altura de cada conductor de fase, cada par de datos para cada renglón:

FASE		DATOS	
A		Horizontal altura de este conductor	
B		"	"
C		"	"
D	A'	"	"
E	B'	"	"
F	C'	"	"

siguiendo el formato:

(2F7.2)

Luego se escriben la coordenada y la abcisa de cada punto donde deseamos medir el potencial a tierra, siendo cada renglón para cada punto, y escribiendo los datos según el formato:

(2F6.2)

siendo en total 30 renglones, es decir, 30 puntos en total.

En seguida, con el mismo formato se dan los datos de la presión atmosférica (cm Hg) y la temperatura ambiente (i) para el cálculo de las pérdidas por efecto corona. Luego vuelven a escribirse, con el mismo formato con el que se escribieron la primera vez, los datos de la parte real e imaginaria de los voltajes en cada fase.

Los siguientes 9 renglones se ocupan con los datos de las 9 corrientes de superficie (1 renglón por dato) escribiendo cada uno con el siguiente formato:

F(4.1)

Por último, se dan, en este orden, los datos de la longitud promedio o la longitud que lleguemos a elegir para el cálculo de los desequilibrios electromagnéticos de la línea, la potencia de la línea y el factor de potencia considerado para el caso, con el siguiente formato:

(F5.1, F12.1, F5.2)

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	
88	
89	
90	
91	
92	
93	
94	
95	
96	
97	
98	
99	
100	

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

```

1  PROGRAM: PARAMETROS DE LINEAS DE TRANSMISION BIFASICAS Y REVA-
2  C FASICAS
3  C
4  DIMENSION R(10),R(10),R(10),R(6,6),TR(6,6),J(10),H(10),G(10),
5  T1(6,6),T1(6,6),D(5),ZU(6),YU(6),ABSI(10),VF(10,10)
6  *DIMENSION VC(30),VE(30),EN(30),FO(30),VAV(30),VA(6,1),VA(6,1),PE(5)
7  *1,VEP(6,1),VERB(6,1),RV(5),RF(5),PR(5),ET(3)
8  *0,DTST(6,6)
9  CHARACTER DUCTO(N)*
10 COMMON /16/ I(6,6),II(6,6),CO(6),Y(6,6),V(6,6),VER(6,6)
11 *1,ZU(6,1),ZU(6,6),VP(6,6),VS(6,6),C(11),COO,PII,SOO,AP
12 *E,ZU,VI,VI,PP,PP,CP,CP,YE,VE,VI,YOO,Z(10,10),E(10,10)
13 *ZDF(6,6),DPE(6,6),ZOH(3,3),PDN(3,3),COM(6,6),YDN(6,6)
14 *TD(3,3),TID(3,3),ZIHU(6,6),FUD(6,6),CHV(3,3),YAV(3,3)
15 *ZPHU(3,3),ZSHU(3,3),YPHU(3,3),ZSHU(3,3)
16 *E(5,2601),SP,OS,UL,UR,PU
17 DO 43 I=1,N
18 READ(5,261)R(I),H(I),N(I),G(I),ABSI(I),DUCT(I)
19 CONTINUE
20 CALL DISTAB(I,ABSI,R,D,VE)
21 DO 44 I=1,N
22 DC 55 I=1,6
23 *DTST(I,1)=0
24 CONTINUE
25 55 CONTINUE
26 DO 57 I=1,6
27 RFAB(5,262) T(1,I),TH(I,J),TIA(I,J),TIR(I,J)
28 T(1,I)=CPDI(X(TA(I,J),TP(I,J)))
29 T(I,I)=CPDI(X(TIA(I,I),TIR(I,I)))
30 CONTINUE
31 DO 59 I=1,6
32 DO 58 J=1,6
33 T(I,J)=(T(I,J))/6
34 CONTINUE
35 DO 59 I=1,6
36 TIP(I,I)=T(I,I)
37 TP(I,I)=T(I,I)
38 59 CONTINUE
39 RFAB(5,263) PL,VL,CP,RAV
40 IRU(FO,3) THEN
41 VR=VR/(SOPT(3,0))
42 ELSE
43 R=IF
44 DO 60 I=1,5
45 READ(5,264)O(I)
46 CONTINUE
47 DO 65 I=1,6
48 RFAB(5,265) V(1,I),V(2,I)
49 V(1,I)=CPDI(CO(I,1),V(1,I))
50 IF (I,FO,3) THEN
51 V(1,I)=V(1,I)/(SOPT(3,0))
52 ELSE
53 R=IF
54 65 CONTINUE
55 DO 70 I=1,6
56 READ(5,266)XU(I),YU(J)
57 CONTINUE
58 DO 75 I=1,30
59 L=AB(5,267)CU(I),YCU(I)
60 75 CONTINUE
61 READ(5,268) ID,VFAP
62 DO 80 I=1,6

```



```

1 P(I, J)=P(I, J)-((P(I, J)+P(I, J))/P(I, J))
2 CONTINUE
3 DO 145 I=1,6
4 DO 145 J=1,6
5 Z(I, J)=Z(I, J)-((Z(I, J)+Z(I, J))/Z(I, J))
6 P(I, J)=P(I, J)-((P(I, J)+P(I, J))/P(I, J))
7
8 145 CONTINUE
9 ELSE
10 FNDIF
11 DO 172 I=1,7
12 DO 172 J=1,7
13 Z(I, J)=Z(I, J)-((Z(I, J)+Z(I, J))/Z(I, J))
14
15 172 CONTINUE
16 DO 180 I=1,6
17 DO 180 J=1,6
18 Z(I, J)=Z(I, J)-((Z(I, J)+Z(I, J))/Z(I, J))
19
20 180 CONTINUE
21 DO 224 I=1,7
22 DO 224 J=1,7
23 P(I, J)=P(I, J)-((P(I, J)+P(I, J))/P(I, J))
24
25 224 CONTINUE
26 DO 225 I=1,6
27 DO 225 J=1,6
28 P(I, J)=P(I, J)-((P(I, J)+P(I, J))/P(I, J))
29
30 225 CONTINUE
31 DO 226 I=1,6
32 DO 226 J=1,6
33 Z(I, J)=Z(I, J)-((Z(I, J)+Z(I, J))/Z(I, J))
34
35 226 CONTINUE
36 IF (L.FO, 3) THEN
37 CALL STMP (DND, ZND)
38 CALL STMP (DND, DND)
39 ELSE
40 FNDIF
41
42 220 CONTINUE
43 IF (L.FO, 6) THEN
44 WRITE(*, 298)
45 ELSE
46 WRITE(6, 300)
47
48 WRITE(4, 301) 'D. IMPRESORA SCIP. (001/001)'
49 WRITE(6, 306)
50 IF (L.FO, 6) THEN
51 CALL ESCRITURA (ZND)
52 WRITE (6, 304)
53 ELSE
54 CALL ESCRITURA (DND)
55 WRITE(6, 301)
56
57 CALL ESCRITURA (DND)
58 WRITE(6, 301)
59
60 FNDIF
61 IF (L.FO, 6) THEN
62 CALL DND (ZND, T.ZD)
63 CALL DND (T.ZD, ZND)
64 ELSE
65
66

```

```

1 CALL DD=1/200,TT,TTD(1)
2 CALL DD=1/10,TT,TTD(2)
3 ENDIF
4 IF (L.FO.3) THEN
5 WRITE (6,200)
6 ELSE
7 ENDIF
8 WRITE(6,3) 'MATRIZ DE IMPEDANCIA SEMIR (CONF. SIGNIFICAS)'
9 WRITE(6,3) '(OMBS/KM)'
10 WRITE(6,300)
11 IF (L.FO.3) THEN
12 CALL FSCRITUR (S)
13 WRITE (6,200)
14 ELSE
15 CALL FSCRITUR (ZANU)
16 WRITE (6,300)
17 ENDIF
18 CALL INV (DGL,C)
19 IF (L.FO.3) THEN
20 CALL INVT (DGL,CNV)
21 DO 214 I=1,3
22 DO 214 J=1,3
23 Y(I,J)=2.0*3.1416*F*CVCT(J)
24 234 CONTINUE
25 ELSE
26 ENDIF
27 IF (L.FO.3) THEN
28 WRITE (6,300)
29 ELSE
30 ENDIF
31 WRITE(6,4) 'MATRIZ DE CAPACITANCIA (COULOMB X KM)'
32 WRITE(6,300)
33 IF(L.FO.6) THEN
34 CALL FSCRITUR (C)
35 WRITE (6,300)
36 ELSE
37 CALL FSCRITUR (COV)
38 WRITE (6,300)
39 ENDIF
40 IF (L.FO.6) THEN
41 WRITE (6,200)
42 ELSE
43 ENDIF
44 WRITE (6,5) 'MATRIZ DE ADMITANCIA (SIEMENS/KM)'
45 WRITE (6,300)
46 DO 216 I=1,3
47 DO 216 J=1,3
48 Y(I,J)=2.0*3.1416*F*G(I,J)
49 YD(I,J)=Y(I,J)
50 216 CONTINUE
51 235 CONTINUE
52 IF(L.FO.6) THEN
53 CALL FSCRITUR (G)
54 WRITE(6,200)
55 ELSE
56 ENDIF
57 IF(L.FO.6) THEN
58 CALL DD=(Y,T,YP)
59 CALL DD=(Y,YP,IS)
60 ELSE
61 ENDIF
62 CALL DD=INV(V,TP,YS(1))
63 CALL DD=(TP,YP,YS(1))

```



```

1 750 CONTIN...
2 760 FORMAT (F4.2,F10.2,3I2,F7.2)
3 761 FORMAT (F4.2,F10.2,3I2,F8.5,F7.3,2I)
4 762 FORMAT (4I2,3)
5 763 FORMAT (F11.1,F9.2,F7.1)
6 764 FORMAT (F7.2)
7 765 FORMAT (2F0.2)
8 766 FORMAT (2F7.2)
9 767 FORMAT (2F4.2)
10 768 FORMAT (2F4.2)
11 769 FORMAT (2F0.2)
12 770 FORMAT (F4.1)
13 771 FORMAT (F4.1,F12.1,F5.2)
14 772 FORMAT (6(2,F9.1))
15 773 FORMAT (3(11Y,F11.9))
16 789 FORMAT (2X,5F7.2)
17 790 FORMAT (2X,2F7.2)
18 791 FORMAT (2X,F7.2,2X,F10.4)
19 792 FORMAT (2X,F4.2,2X,F4.2,2X,F4.4)
20 794 FORMAT (F7.2)
21 795 FORMAT (2X,2F7.3)
22 796 FORMAT (F5.1,F12.1,F5.2)
23 797 FORMAT (6(2X,F0.3))
24 798 FORMAT (1X,4(1.7))
25 799 FORMAT (1X,4(1.7))
26 800 FORMAT (1X,7(1.7))
27 801 FORMAT (1X,2(1.7))
28 802 FORMAT (11)
29 803 FORMAT (1X,17(1.7))
30 804 FORMAT (1X,5(1.7))
31 805 FORMAT (1X,2(1.7))
32 806 FORMAT (1X,1(1.7))
33 807 FORMAT (2X, 'VOLTAJE A TIERRA DEL SISTEMA:',F10.2)
34 808 FORMAT (2X, 'NUMERO DE PAGINAS:',I2)
35 809 FORMAT (2X, 'NUMERO DE CIRCUITOS:',I2)
36 810 FORMAT (2X, 'RESISTIVIDAD EN PERIODO:',F5.1)
37 811 FORMAT (2X, 'RESISTENCIA:',F4.1)
38 812 FORMAT (2X, 'CONDUCTOR:',4X, 'DISTANCIA HORIZ:',5X, 'ALTURA',
39 813 '5X, 'ARTO:',5X, 'RNG:',6X, 'RESIST:',
40 814 '11X, 'AL CENRO:',13A, '(1.5X, '(X)',5X, '(X)',
41 815 '6X, '(RNG:))')
42 814 FORMAT (15X, 'DE LA TIERRA (M)')
43 815 FORMAT (3X,29.10Y,P6.2,15X,P5.2,5X,P5.4,4X,P9.7,2X,P5.3)
44 END
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63

```

```

1  SUBROUTINE ESCRITP (ZD)
2  COMPLEX ZD(6,6)
3  DO 299 J=1,6
4  WRITE (6,100) ((ZD(I,J),J=1,6)
5  WRITE (6,100) ((ZD(I,J),J=1,6)
6  WRITE (6,100) ((ZD(I,J),J=1,6)
7  299 CONTINUE
8  300 FDB=LY((ZD,F),4)
9  RETURN
10 END
11 SUBROUTINE ESCRITP (ZD)
12 COMPLEX ZD(3,3)
13 DO 299 J=1,3
14 WRITE (6,110) ((ZD(I,J),J=1,3)
15 WRITE (6,110) ((ZD(I,J),J=1,3)
16 WRITE (6,110) ((ZD(I,J),J=1,3)
17 299 CONTINUE
18 310 FDB=LY((ZD,F),3)
19 RETURN
20 END
21 SUBROUTINE STMP(ZDNU,ZDNU)
22 COMPLEX ZDNU(6,6),ZDNU(3,3)
23 DO 280 J=1,3
24 DO 280 J=1,6
25 ZDNU(I,J)=ZDNU(I+3,J)+ZDNU(I,J)
26 CONTINUE
27 DO 281 J=1,6
28 ZDNU(I,J+3)=ZDNU(I,J+3)+ZDNU(I,J)
29 CONTINUE
30 DO 282 J=1,6
31 ZDNU(I,J)=ZDNU(I,J)+ZDNU(6,J)/ZDNU(6,6)
32 CONTINUE
33 DO 283 J=1,6
34 ZDNU(I,J)=ZDNU(I,J)+ZDNU(5,J)/ZDNU(5,5)
35 CONTINUE
36 DO 284 J=1,6
37 ZDNU(I,J)=ZDNU(I,J)+ZDNU(4,J)/ZDNU(4,4)
38 CONTINUE
39 RETURN
40 END
41 SUBROUTINE DISTANCN,ARST,H,D,VR)
42 DISTANCN=ARST(10),D(10),D(10),VR(10,10)
43 DO 290 J=1,6
44 DO 290 J=1,6
45 D(I,J)=SORT((ARST(I)-ARST(J))**2.0)+((H(I)-H(J))**2.0)
46 VR(I,J)=SORT((ARST(I)-ARST(J))**2.0)+((H(I)+H(J))**2.0)
47 290 CONTINUE
48 RETURN
49 END
50 SUBROUTINE VALTIS (ZD,ZPF,ZP)
51 COMPLEX ZD(6,6),ZPF
52 ZD=(0,0)
53 ZPF=(0,0)
54 ZP=(0,0)
55 ZD=COMI(ZD,ZPF)
56 ZPF=ZD,ZP(ZPF,ZP)
57 DO 300 J=1,6
58 DO 300 J=1,6
59 300 CONTINUE
60 END

```

```

1 IF(I,FO,1) THEN
2 ZP=ZDF(T,1)+Z
3 ELSE

```

```

4 IF(I,GT,1) THEN
5 Z=ZDF(I,1)+Z
6 ELSE

```

```

7 CONTINUE

```

```

8 ENDIF

```

```

9 ENDIF

```

300

```

10 CONTINUE

```

```

11 ZP=ZDF/6.0

```

```

12 Z=Z/15.0

```

```

13 RETURN

```

```

14 END

```

```

15 SUBROUTINE PARTS(C,ZDN,ZPF,Z)

```

```

16 COMPLEX ZDN(3,3),ZPF,Z

```

```

17 ZNA=0.0

```

```

18 ZPB=0.0

```

```

19 ZPF=CMPLY(ZNA,ZNA)

```

```

20 Z=CMPLY(ZNA,ZNA)

```

```

21 DO 305 I=1,3

```

```

22 DO 305 J=1,3

```

```

23 IF(I,FO,J) THEN

```

```

24 ZPF=ZDN(I,J)+ZPF

```

```

25 ELSE

```

```

26 IF(I,GT,J) THEN

```

```

27 Z=ZDF(I,J)+Z

```

```

28 ELSE

```

```

29 CONTINUE

```

```

30 ENDIF

```

```

31 ENDIF

```

300

```

32 CONTINUE

```

```

33 ZP=ZDF/3.0

```

```

34 Z=Z/3.0

```

```

35 RETURN

```

```

36 END

```

```

37 SUBROUTINE SPEC(ZPF,ZM,Z11,Z00)

```

```

38 COMPLEX ZPF,ZM,Z11,Z00

```

```

39 Z11=ZPF-ZM

```

```

40 Z00=((1-1.0)*ZM)+ZPF

```

```

41 RETURN

```

```

42 END

```

C

C

```

43 LA LINEA DE 47SPUESTA

```

```

44 SUBROUTINE PARTS(ZDN,ZPF,ZM,F,II,Z11,Z00)

```

```

45 COMPLEX ZDN(6,6),ZM,ZPF,ZF(6,6),ZPI

```

```

46 *ZP2,ZM1,ZM2,ZM3,Z11,Z00,ZF(6,6),ZVA(3,3)

```

```

47 PRE=0.0

```

```

48 PTM=0.0

```

```

49 ZPF=CMPLY(ZPF,ZPF)

```

```

50 Z1=CMPLY(ZPF,Z1)

```

```

51 Z2=CMPLY(ZPF,Z2)

```

```

52 Z3=CMPLY(ZPF,Z3)

```

```

53 Z4=CMPLY(ZPF,Z4)

```

```

54 Z5=CMPLY(ZPF,Z5)

```

```

55 DO 305 I=1,6

```

```

56 DO 305 J=1,6

```

```

57 IF(I,FO,J) THEN

```

```

58 ZPF=ZPF+ZDN(I,J)

```

```

59 ELSE

```

```

60 IF(I,GT,J) THEN

```

```

61 ZM=ZM+ZDN(I,J)

```

```

62 ELSE

```

```

63 CONTINUE

```

```

64 ENDIF

```

```

65 ENDIF

```

```

66 ENDIF

```

```

67 ENDIF

```

```

68 ENDIF

```

```

69 ENDIF

```

```

70 ENDIF

```

```

71 ENDIF

```

```

72 ENDIF

```

```

73 ENDIF

```

```

74 ENDIF

```

```

75 ENDIF

```

```

76 ENDIF

```

```

77 ENDIF

```

```

78 ENDIF

```

```

79 ENDIF

```

```

80 ENDIF

```

```

81 ENDIF

```

```

82 ENDIF

```

```

83 ENDIF

```

```

84 ENDIF

```

```

85 ENDIF

```

```

86 ENDIF

```

```

87 ENDIF

```

```

88 ENDIF

```

```

89 ENDIF

```

```

90 ENDIF

```

```

91 ENDIF

```

```

92 ENDIF

```

```

93 ENDIF

```

```

94 ENDIF

```

```

95 ENDIF

```

```

96 ENDIF

```

```

97 ENDIF

```

```

98 ENDIF

```

```

99 ENDIF

```

```

100 ENDIF

```

```

1 F-PIE
2 305 CONTINUE
3 ZP=ZP/4.0
4 ZP=ZP/1.5
5 DO 306 I=1,3
6
7 IF (I.EQ.1) THEN
8 ZP1=ZP+ZDF(I,J)
9 ZP2=ZP+ZDN(I+3,C1+3)
10 ELSE
11 TC(I,C1,1).AND.(T.LT.3)) THEN
12 Z1=Z1+Z1(I,J)
13 Z2=Z2+Z2(I+3,C1+3)
14 ELSE
15 Z3=Z3+Z3(I,J)
16
17 ENDIF
18
19 306 CONTINUE
20 DO 307 I=1,3
21 DO 307 J=1,3
22 IF (I.EQ.0) THEN
23 ZDF(I,J)=Z1
24 ZDN(I+3,C1+3)=Z2
25 ELSE
26 ZDF(I,J)=Z3
27 ZDN(I+3,C1+3)=Z3
28 ENDIF
29 CONTINUE
30
31 307 WRITE(*,*) ZTRANS(I,J)
32 DO 309 I=1,3
33 WRITE(*,*) ZDN(I,J) J=1,6
34
35 309 CONTINUE
36 CALL SPCN(ZDF,T,1,ZYA)
37 ZOO=ZYA(1,1)
38
39 END
40
41 C
42 C CALCULO DE LOS FACTORES DE DESQUILIBRIO
43 C ELECTROSTATICO PARA LAMPAS DE 3 FASES
44 SUPORTES 3 ACS (ZDF,T,1,ZYA)
45 COMPLEX ZDF(6,6),DIF(3,3),DIFR(3,3),ZK(3,3)
46 *ZK1=ZDF(1,1),ZK2=ZDF(1,3),ZDFI(1,1),ZYA(1,3)
47 *ZK3=ZDF(1,3),ZK4=ZDF(3,3),ZK5=ZDF(3,3),ZYA(3,3)
48 DO 310 I=1,3
49 DO 310 J=1,3
50 DIF(I,J)=(ZDF(I,1)-ZDF(I,3+3))
51 DIFR(I,J)=(ZDF(I+3,J)-ZDF(I,J))
52 ZK(I,J)=DIF(I,J)-DIFR(I,J)
53
54 310 CONTINUE
55 CALL SPCN(ZK,ZYV,ZPAR)
56 DO 320 I=1,3
57 DO 320 J=1,3
58 CALL SPCN(ZPAR,DIFR,ZDFI)
59 DO 330 I=1,3
60 DO 330 J=1,3
61 ZNVA(I,J)=ZDF(I,J)-ZDFI(I,J)
62 CONTINUE
63 DO 340 I=1,3

```

```

2  DO 140 J=1,3
3  TINT(J)=TIT(J)
4  TOUT(J)=TOT(J)
5
6  140 CONTINUE
7  CALL W04E (CTR,ALFA,204)
8  CALL W04E (CCA,30,444)
9
10 350 CONTINUE
11  RETURN
12
13  CALCULO ELECTICO DE LA LINEA EN REGIMEN PERMANENTE
14  FOMITRADO
15  SHROBINT(2),CAPACIDAD DE TRANSMISION (VA):1, F16,2)
16  DIMENSION OM(5),PR(5),PM(5),PM1(5),PR(5),DS(5),DPM(5),DMA
17  *X(5),RV(5)
18  COMPLEX VS(5),CS(5),A(5),OH(5),CSH(5),Z1(5),Y1(5)
19  *Z11(1),C(5)
20  STASOP(1)=IATG(Z11)/(IATG(Y11))
21  STLE(1)=(VR**2,0)/SI
22  TPRES,AVV08888
23  FU=1.0
24  FU=0.0
25  WRITE (6,373) SII
26  WRITE (6,374) TOL
27  WRITE (6,376)
28  WRITE (6,377)
29  WRITE (6,378)
30  DO 160 I=1,5
31  GO(I)=CMPLX(0,0)
32  Z1(I)=Z11*OM(I)
33  Y1(I)=Y11*OM(I)
34  A(I)=OH(I)+Z1(I)*CY(I1)/2,0)
35  C(I)=(Y1(I)+Z1(I))*CY(I1)/2,0)
36  VS(I)=(A(I)+V0)/Z1(I)*CR
37  CS(I)=(C(I)+V0)/C(I)*CF
38  DEL(I)=(ASTR(DI*IATG(Z1(I)))/L(VR**2)))/Z1,7453E-02
39  PR(I)=I*VS(I)*CONJ(CS(I))
40  CALL TRANSP(I),AM
41  RV(I)=(VA*AM)-V0/(100/VR)
42  PRCT(I)=I*RV(I)/S(I)
43  DEL(I)=I*DEL(I)*ACOS(C(I))/REAL(Z1(I))/Z1,7453E-02
44  PMAX(I)=(I/(CF*FAL(Z1(I))*2,0)+I*IMAG(Z1(I))*2,0))**(((-1,0)*#
45  *FAL(Z1(I)))/(VR**2,0))+(FAL(Z1(I))*VR*COS(PH(C(I)))/Z1,7453E-02))
46  **I*ATG(Z1(I)/VR*VR*STG(DPM(I)))/Z1,7453E-02))
47  PRCT(S)=PR(I)-PR(I)
48
49 360 CONTINUE
50 373 FORMAT(2X,'POTENCIA CARACTERISTICA (W):',F12,2)
51 374 FORMAT(2X,'CAPACIDAD DE TRANSMISION (VA):',F16,2)
52 376 FORMAT(2X,'LONGITUD (M):',F8,2,'REG. EF.:',F7,2,'POTENCIA',F9X)
53 377 FORMAT(2X,'PRCT (W):',F12,2,'PRCT (W):',F12,2,'PRCT (W):',F12,2)
54 378 FORMAT(16X,'(3)',16X,'(4)')
55  RETURN
56  END
57
58  C CALCULO DE LOS CAMPOS ELECTRICOS DE LA LINEA
59  SHROBINT(2),CAPACIDAD DE TRANSMISION (VA):1, F16,2)
60  DIMENSION H(8),XPU(30),YPU(30),XU(6),YU(6),OP(6),CGP(6),PT(30)
61  *X(6),Y(6),Z(6),C(6),D(6),G(6),F1(30),F2(30),CLA(6)
62  CHARACTER DUMPO(8)*2
63  COMPLEX C(6),J(6),I(6),E(6),Y(6),X(6),YU(6),XU(6),PLU
64  *J(6)

```

```

1  FYPD=0.0
2  FYPD=0.0
3  FYPD=0.0
4  FYPD=0.0
5  FPDH=CONJY(FYDA, FADP)
6  FPDH=CONJL(FYDA, FADP)
7  CALL DPHH (C, V, G)
8  XRTF (C, 16)
9  WRTF (C, 110)
10 XRTF (C, 111)
11 WRTF (C, 111)
12 DO 290 TEL, 6
13 CALL FNSF (F(I, 1), V)
14 FM(I)=(OM/(2.0*1.414*8.854E-10*U(1)))/1000.0
15 WRTF (C, 106)
16 XRTF (C, 112) DUCTH(I), FM(I)
17 290 XRTF (C, 104)
18 WRTF (C, 106)
19 WRTF (C, 108)
20 XRTF (C, 109)
21 DO 292 TEL, 30
22 DO 291 TEL, 1
23 A(J)=XPH(I)-XH(J)
24 B(J)=YPH(I)-YH(J)
25 CLA(J)=(YH(J)+YPH(I))
26 CL(J)=(XPH(I)-XH(J))/1.32.0
27 DL(J)=(YH(I)-YPH(I))*2.0
28 G(J)=(YH(I)+YPH(I))*2.0
29 GCP(J)=1.0/(2.0*3.1416*8.854E-12*(CL(J)+G(J)))
30 BC(J)=1.0/(2.0*3.1416*8.854E-12*(CL(J)+G(J)))
31 AC(J)=(G(J)+BC(J))/1000.0
32 DC(J)=(G(J)+BC(J))/1000.0
33 CP(J)=(G(J)+BC(J))/1000.0
34 FY(J)=(CP(J)+GCP(J))-(AC(J)+BC(J))
35 FX(J)=(HP(J)+GCP(J))-(CP(J)+BC(J))
36 FPDH=FY(J)+FX(J)
37 FYPD=FY(J)+FYPH
38 291 CONTINUE
39 IF (YPH(I), FG, 0) THEN
40 CALL FNSF (FYPH, FVAC)
41 FT(I)=FVAC
42 XRTF (I, 4) XPH(I), YPH(I), FT(I)
43 ELSE
44 ACU=(REAL(FYPH))*COS(FT(I))+((ATN2G(FYPH))*((ATN2G(FYPH)))
45 BCU=(ATN2G(FYPH))*2.0)-((ATN2G(FYPH))*2.0)-G(REAL(FYPH))*
46 *2.0)+((REAL(FYPH))*2.0)
47 CCU=(-1.0)*ACH
48 ANGLORS=((-1.0)*CCU)+SQU((CCU**2.0)-(-1.0)*ACH*CCU))/
49 *(2.0*ACH)
50 ANGLORS=((-1.0)*FCU)-SQU((CCU**2.0)-(-1.0)*ACH*CCU))/
51 *(2.0*ACH)
52 ANGLOR=ATAN(ANGLORS)
53 ANGLOR=ATAN(ANGLORS)
54 FTA(I)=SQU(((-1.0)*AL-(YPH)*FT(I)+GCU(0)))+(A*AC(FYH))+COS(4
55 *ANGLOR))**2.0)+((REAL(FYPH)*SIN(ANGLOR))+CPAL(FYPH)*COS
56 *(ANGLOR))**2.0)
57 FTR(I)=SQU(((ATN2G(FYPH)*SIN(ANGLOR)))+(ATN2G(FYPH))*COS(4
58 *ANGLOR))**2.0)+((-1.0)*AL-(YPH)*FT(I)+GCU(0)))+(A*AC(FYPH)*COS
59 *(ANGLOR))**2.0)
60 IF (FTR(I), GT, 0) THEN
61 FT(I)=FTR(I)
62 ELSE
63 FT(I)=FT(I)

```





```

1  IF(1)
2  DO 455 I=1,6
3  TF(I,20,8) THEN
4  TF(I,17,6) THEN
5  ARG(I,1)=ARG(I)+3.0
6  ELSE
7  IF(1,17,6) THEN
8  ARG(I,1)=ARG(I)-120.0
9  ELSE
10  IF(1,17,6) THEN
11  ARG(I,1)=ARG(I)+120.0
12  ELSE
13  ENDTF
14  CONTINUE
15 485 DO 486 I=1,6
16  CALL TRANSF(104,ARG(I),CF(I,1))
17  WRITE(4,*) CM,ARG(I),CF(I,1)
18 486 CONTINUE
19  DO 490 I=1,6
20  DO 490 J=1,6
21  IF(1,20,3) THEN
22  UNITR(I,J)=1.0
23  UNITR(J,I)=0.0
24  ELSE
25  UNITR(I,J)=0.0
26  UNITR(J,I)=0.0
27  ENDTF
28  UNITR(I,1)=APPY(UNITR(I,3),UNITR(I,5))
29  CONTINUE
30  WRITE(6,566)ORL
31  DO 500 I=1,6
32  DO 500 J=1,6
33  Y1(I,J)=TF(I,3)+ORL
34  Y2(I,J)=Y1(I,3)+ORL
35  Y3(I,J)=(Y1(I,3)/2.0)+ORL
36 500 CONTINUE
37  CALL DOP (Z12,Y12,Y2)
38  CALL DOP (Z12,Y13,IPR)
39  DO 505 I=1,6
40  DO 505 J=1,6
41  Y2(I,J)=Y2(I,3)/4.0
42 505 CONTINUE
43  DO 506 I=1,6
44  DO 506 J=1,6
45  Y4(I,J)=UNITR(I,3)+Y2(I,J)
46 506 CONTINUE
47  CALL DOP (Y12,Y3,C)
48  DO 510 I=1,6
49  DO 510 J=1,6
50  A(I,J)=UNITR(I,3)+APP(I,3)
51  CONTINUE
52  CALL DOPR (T,CRR,CPRR)
53  CALL DOPR (T,V2,VPR)
54  CALL DOPR (A,VPR,VSP)
55  CALL DOPR (Z12,CRR,CSP)
56  CALL DOPR (C,VPR,VSPR)
57  CALL DOPR (A,CRR,CSPR)
58  DO 525 I=1,6
59  VSP(I,1)=VSP(I,1)+CRR(I,1)
60  CSPR(I,1)=VSPR(I,1)+CSPR(I,1)
61 525 CONTINUE
62  CALL DOP (T,VSP,VSP)

```

2 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62

```

1 CALL TRANS (CS(I),CSR(I))
2 DO 526 I=1,6
3 CALL TRANS(VSR(I),VSR(I),CSR(I))
4 CALL TRANS(CSR(I),CSR(I))
5 CALL TRANS(VSR(I),VSR(I))
6
7 526 CONTINUE
8 WRITE (6,*) 'VOLTAGE DE RECEPCION EN CADA FASE:'
9 WRITE (6,*) '(V)'
10 WRITE (6,527)
11 WRITE (6,527)
12 WRITE (6,527)
13 WRITE (6,527)
14 WRITE (6,527)
15 DO 527 I=1,6
16 ANGLE=270+2*(I-1)*60,PR(I),REAL(VSR(I))
17 WRITE (6,*) VPR,ANGLE(I),VSR(I)
18 CONTINUE
19 527 WRITE (6,*) 'VOLTAGE DE ENVIO EN CADA FASE:'
20 WRITE (6,*) '(V)'
21 WRITE (6,*)
22 WRITE (6,528)
23 WRITE (6,528)
24 WRITE (6,528)
25 WRITE (6,528)
26 WRITE (6,528)
27 DO 528 I=1,6
28 CALL TRANS (CSR(I),CSR(I))
29 ANGLE=270+2*(I-1)*60,PR(I),REAL(VSR(I))
30 WRITE (6,*) VSR,ANGLE(I),CSR(I)
31 CONTINUE
32 WRITE (6,*)
33 WRITE (6,529)
34 WRITE (6,*) 'CORRIENTE DE ENVIO EN CADA FASE:'
35 WRITE (6,*) '(A)'
36 WRITE (6,*)
37 WRITE (6,530)
38 WRITE (6,530)
39 WRITE (6,530)
40 WRITE (6,530)
41 DO 531 I=1,6
42 ANGLE=270+2*(I-1)*60,CSR(I),REAL(CSR(I))
43 CALL TRANS (CSR(I),CSR(I))
44 WRITE (6,*) CSR,ANGLE(I),CSR(I)
45 CONTINUE
46 532 WRITE (6,*) 'MAGNITUD DE LA'
47 WRITE (6,*) 'CORRIENTE DE RECEPCION EN CADA FASE:'
48 WRITE (6,*) 'EN COMPONENTES SIMETRICAS.(A)'
49 DO 533 I=1,6
50 WRITE (6,*) CRR(I)
51 CONTINUE
52 533 WRITE (6,*) 'MAGNITUD DE LA'
53 WRITE (6,*) 'CORRIENTE DE ENVIO EN CADA FASE:'
54 WRITE (6,*) 'EN COMPONENTES SIMETRICAS.(A)'
55 WRITE (6,*)
56 DO 54 I=1,6
57 WRITE (6,*)
58 CALL TRANS (CSR(I),CSR(I))
59 54 CONTINUE
60 534 WRITE (6,*) 'FACTORES DE Desequilibrio'
61 WRITE (6,*) 'DE CORRIENTE Y VOLTAGE'
62 WRITE (6,*)

```

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62

```

0 13 510 I=1.0
1  CS(1)=(CS*W(1,1)/CSPAC(2,1)))*100.0
2  CPH(1)=(CPH*W(1,1)/CSPAC(2,1)))*100.0
3  CPT(1)=(CPT*W(1,1)/CSPAC(1,1)))*100.0
4  CONTINUE
5  540 CONTINUE
6  540 CPH=1/(1.0-F10.2)
7
8  570 FORMAT(15X,F10.2,5X,F10.2)
9  585 FORMAT(1X,5(1,2))
10  587 FORMAT(1X,(MAGNITUDE),X,'RANGULO',9X,'COMPONENTES')
11  588 FORMAT(1X,'DC',5X,'25X',10F10.2)
12  590 FORMAT(1X,(CORRECTIVE),21X,'CORRIENTES')
13  591 FORMAT(1X,(CORRECTIVE),21X,'AMPERES')
14  592 FORMAT(1X,(CORRECTIVE),21X,'VOLTAJE')
15  593 FORMAT(1X,(CORRECTIVE),21X,'VOLTAJE')
16  594
17  ESTOP
18  FND
19  SUBROUTINE TRANSF(A,AA,AC)
20  COMPLEX A
21  ARG=AC/(ABS(A)*ABS(-)/REAL(A))/1.7453E-02
22  RETURN
23  FND
24  SUBROUTINE TRANSF(A,AN)
25  COMPLEX A
26  AN=SORT(IPREAL(A)**2.01+(AIMAG(A)**2.0))
27  RETURN
28  FND
29  SUBROUTINE TRANSF(A,AP,CA,AN)
30  COMPLEX CA
31  CA=CD(CA)*1.7453E-02/AN
32  CARR=STG(CA)*1.7453E-02/AN
33  CA=CARR*(CA,CA)
34  RETURN
35  FND
36  SUBROUTINE INV(A,VR)
37  COMPLEX A
38  *RDC(3,3),RDC(3,3),AP(3,3),ANV(3,3),DC(3,3),CPC(3,3),CIN(3,3),GB(3,3)
39  *I(3,3),RDC(3,3),AP(3,3),ANV(3,3),DC(3,3),CPC(3,3),CIN(3,3),GB(3,3)
40  *I(3,3),RDC(3,3),AP(3,3),ANV(3,3),DC(3,3),CPC(3,3),CIN(3,3),GB(3,3)
41  DO 600 I=1,3
42  RDC(I,I)=A(I,I)
43  RPT(I,I)=A(I,I+3)
44  GAT(I,I)=A(I+3,I)
45  RDC(I,I)=A(I+3,I+3)
46  600 CONTINUE
47  CALL TVP(DC,DC)
48  CALL PDR(A,RP,DP,AD)
49  CALL PDR(RP,CA,CA)
50  DO 610 I=1,3
51  AP(I,I)=RDC(I,I)-RDC(I,I)
52  610 CONTINUE
53  CALL TVP(AP,AP)
54  DO 620 I=1,3
55  ANV(I,I)=(-.01)*RPT(I,I)
56  620 CONTINUE
57  CALL PDR(CA,AP,AP)
58  CALL PDR(RP,AP,AP)
59  CALL PDR(CA,RP,RP)
60  CALL PDR(RP,RP,RP)
61  DO 650 I=1,3

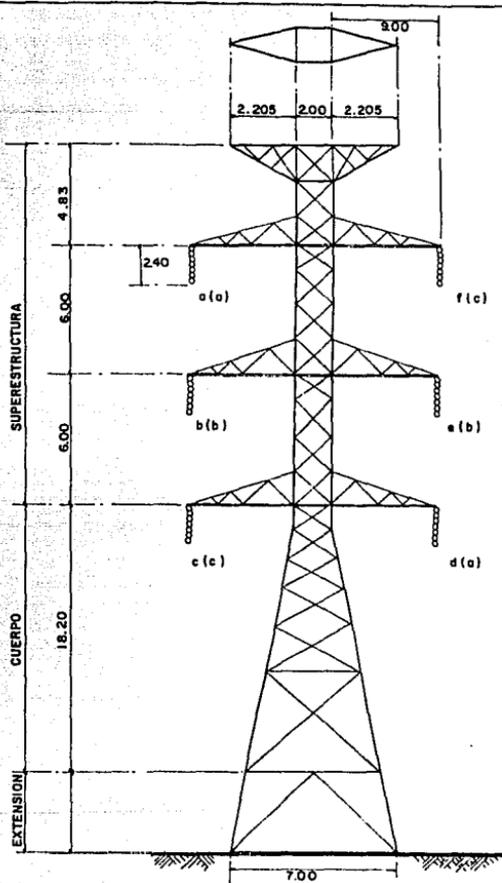
```

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100





1:6



LA IDENTIFICACION DE FASE PARA EL CONDUCTOR CORRESPONDE A LA OPERACION TRIFASICA PARA LA LETRA DENTRO DEL PARENTESIS Y OPERACION HEXAFASICA PARA LA LETRA FUERA DEL PARENTESIS.

ACOT. EN M.

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: TORRE DE TRANSMISION			
XY (84) C.F.E.			
FIGURA No.	ESCALA:	FECHA: 1988	

1	00.00	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	2.1500	35.00	0.0000	0.0000	3.30507
10	2.1500	35.00	0.0000	0.0000	3.30507
11	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
12	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
16	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
17	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
18	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
19	0.0	0.000	0.0	0.0	
20	0.0	0.000	0.0	0.0	
21	0.0	0.000	0.0	0.0	
22	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
23	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
24	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
26	0.0	0.000	0.0	0.0	
27	0.0	0.000	0.0	0.0	
28	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
29	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
31	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
32	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
33	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
34	0.0	0.000	0.0	0.0	
35	0.0	0.000	0.0	0.0	
36	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
37	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
38	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
39	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
40	0.0	0.000	0.0	0.000	
41	0.0	0.000	0.0	0.000	
42	1.0	0.000	1.0000	0.0000	
43	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
44	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
45	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
46	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
47	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
48	48.27				
49	48.27				
50	48.27				
51	48.27				
52	23000.0				
53	-11500.0	-100185.0			
54	-11500.0	-100185.0			
55	23000.0	0.000			
56	-11500.0	-100185.0			
57	-11500.0	-100185.0			
58	-0.00	27.00			
59	-0.00	27.00			
60	-0.00	15.00			
61	0.00	31.00			
62	0.00	27.00			
63	0.00	27.00			

1	2.27	1.27
2	2.27	1.27
3	1.27	1.27
4	1.27	1.27
5	1.27	1.27
6	1.27	1.27
7	1.27	1.27
8	1.11	1.11
9	0.95	1.11
10	0.79	1.11
11	0.64	1.11
12	0.48	1.11
13	0.33	1.11
14	0.17	1.11
15	0.01	1.11
16	0.05	21.34
17	0.43	21.34
18	0.60	27.22
19	2.72	27.22
20	0.00	0.00
21	3.04	0.00
22	6.18	0.00
23	9.32	0.00
24	12.46	0.00
25	15.60	0.00
26	18.74	0.00
27	21.88	0.00
28	24.99	0.00
29	27.41	0.00
30	29.11	0.00
31	76.20	29.11
32	23000.00	140155.8
33	-11500.00	140155.8
34	-11500.00	140155.8
35	23000.00	0.00
36	-11500.00	140155.8
37	-11500.00	140155.8
38	0.1	
39	0.2	
40	0.3	
41	0.4	
42	0.5	
43	0.6	
44	0.7	
45	0.8	
46	0.9	
47	66.0	85660000.0 1.00
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		





MATRIX OF CAPACITANCE (COULOMB X KV)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.155E-07	-1.175E-05	-2.209E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-1.175E-08	0.157E-07	-1.175E-06
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-2.209E-08	-1.175E-06	0.155E-07

MATRIX OF ADMITTANCE (SIEMENS/KM)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.585E-05	-1.142E-05	-1.142E-05
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-1.142E-05	0.585E-05	-1.142E-05
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-1.142E-05	-1.142E-05	0.585E-05

MATRIX OF ADMITTANCE PARALELO (COMP. CAPACITIVAS)  
(SIEMENS/KM)

0.000E+00	-1.56E-06	0.150E-06
0.347E-05	0.900E-07	0.900E-07
0.156E-06	-5.68E-13	0.168E-06
0.900E-07	0.719E-05	-2.24E-06
-1.56E-06	-3.58E-06	0.565E-14
0.900E-07	-2.24E-06	0.708E-05

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63

PARAMETROS DE LA LÍNEA PARA EL CASO DE ANSUELOS:

ZPE 7.711.200.3 FASES (08F/KM)  
 (0.173350E+09, 0.303300E+09, 0.4829873E+09, 0.261638E+09)  
 (2.452000E+02, 0.432711E+02) (0.3216157, 1.017025)  
 PP.PH. (08KAF/KM)  
 (0.060000E+00, 7.200100E+07) (1.000000E+00, 1.059729E+07)  
 CP.CH. (000000/KM)  
 (0.000000E+00, 1.557270E+04) (1.000000E+00, -3.190370E+09)  
 YPE.YM.Y14.Y00.3 FASES. (S (EMENS/KM)  
 (0.000000E+00, 5.474100E+00) (0.000000E+00, -1.255762E+10)  
 (0.000000E+00, 7.083901E+06) (0.000000E+00, 1.866672E+06)

POTENCIA CAPACITATIVA: (M) 291000720.00

CAPACIDAD DE TRANSMISION: (VA) 496000216.00

LONGITUD (KM)	VOLT (KV)	POTENCIA (MW)	CAPACIDAD (KVAR)	EFICACIA (%)
---------------	-----------	---------------	------------------	--------------

10.0000	0.3019774	1.2925417E+10	1345410	99.04417
---------	-----------	---------------	---------	----------

32.1000	0.8140816	6.3399511E+09	2691168	99.17028
---------	-----------	---------------	---------	----------

48.2700	1.1670008	1.2100030E+09	4037700	99.05910
---------	-----------	---------------	---------	----------

64.3700	1.692282	3.2016397E+09	5386436	98.74751
---------	----------	---------------	---------	----------

80.4600	2.210713	2.5701007E+09	6735472	98.03301
---------	----------	---------------	---------	----------

CONDICION: 51 AN. DE  
S. P. E. T. I. L. (V. 5)

A	12208.97
B	12211.21
C	12312.14
D	12312.10
E	12911.21
F	12204.96

X	Y	GRADIENTE DE TIFRA (KV/V):
2.290000	0.000000E+00	453.5069
2.000000	1.570000	255.2187
1.000000	1.450000	544.5152
1.780000	1.470000	721.5129
1.620000	6.100000	951.1098
1.270000	7.120000	1713.127
1.270000	9.110000	1497.971
1.000000	10.87000	1180.254
0.9500000	12.19000	2017.737
0.9500000	13.72000	2101.479
0.9500000	15.24000	2142.300
0.9500000	16.76000	1921.805
0.9500000	18.28000	1570.597
0.9500000	19.81000	1152.143
0.9500000	21.34000	474.6223
0.9500000	22.86000	516.3811
0.9500000	24.38000	1722.249
0.9500000	25.91000	1410.094
0.0000000E+00	27.43000	2150.571
2.720000	27.43000	2631.012
0.0000000E+00	0.000000E+00	323.2512
1.000000	0.000000E+00	525.0352
6.100000	0.000000E+00	834.0976
9.110000	0.000000E+00	1331.177
12.19000	0.000000E+00	1561.154
15.24000	0.000000E+00	972.0333
18.28000	0.000000E+00	745.2515
21.34000	0.000000E+00	440.5481
24.38000	0.000000E+00	307.5267
27.43000	0.000000E+00	210.1045

PERDIDAS POR EFECTO CORONA

PRESSION (CM. HG)	TEMPERATURA (C)	FACTOR DE COR.	GRADIENTE (C/CM)	PERDIDAS (C/G/S)
76.20000	21.11000	0.1000000	7.502000	1550.251
76.20000	21.11000	0.2000000	5.184001	865.5361
76.20000	21.11000	0.3000000	7.775001	300.9151
76.20000	21.11000	0.4000000	10.36800	72.72817
76.20000	21.11000	0.5000000	12.96000	0.000000E+00
76.20000	21.11000	0.6000000	15.55200	0.000000E+00
76.20000	21.11000	0.7000000	18.14400	0.000000E+00
76.20000	21.11000	0.8000000	20.73600	0.000000E+00
76.20000	21.11000	0.9000000	23.32800	0.000000E+00

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63

CORRIENTE DE RECEPCION EN CADA FASE  
(A)

MAGNITUD DE LA CORRIENTE COMPONENTES

DE LA CORRIENTE DE LA CORRIENTE  
(AMPERES) (AMPERES)

1066.843	0.0000000E+00	(1066.843,0.0000000E+00)
1066.843	-170.0000	(-533.391,-921.3117)
1066.843	-740.0000	(-533.4881,921.8757)
1066.843	-300.0000	(1066.843,0.1127364)
1066.843	-480.0000	(-533.7921,-922.9977)
1066.843	-600.0000	(-533.5637,923.8153)

68.00

## VOLTAJE DE RECEPCION EN CADA FASE:

(V)

MAGNITUD ANGULO COMPONENTES

DEL DEL  
(VOLTS) (VOLTS)

132790.6	0.0000000E+00	(132790.6,0.0000000E+00)
132790.6	-2.094395	(-66335.22,-115000.6)
132790.6	2.094395	(-66398.78,115000.0)
132790.6	0.0000000E+00	(132790.6,0.0000000E+00)
132790.6	-2.094395	(-66398.78,-115000.0)
132790.6	2.094395	(-66395.22,115000.6)

## VOLTAJE DE ENVIO EN CADA FASE:

(V)

MAGNITUD ANGULO COMPONENTES

DEL DEL  
(VOLTS) (VOLTS)

143081.8	0.2407100	(139966.5,34409.70)
139844.4	-1.654485	(-39136.3,-134250.1)
137051.7	2.345964	(-95018.08,97897.94)
143053.2	0.2407100	(134922.8,33126.91)
139878.7	-1.654610	(-39158.82,-134234.4)
137081.4	2.345901	(-95923.07,97021.8)

## CORRIENTE DE ENVIO EN CADA FASE:

(A)

MAGNITUD ANGULO COMPONENTES

DE LA DE LA  
CORRIENTE CORRIENTE  
(AMPERES) (AMPERES)

1060.518	2.9651966E-02	(1060.052,31.44183)
1063.694	-2.062743	(-522.6082,-937.1713)
1065.687	2.124650	(-560.8178,906.3711)
1060.518	3.001431E-02	(1060.073,31.82523)
1063.471	-2.062826	(-522.4064,-937.3182)
1065.694	2.124500	(-560.8537,906.3511)



1	80.0	100.00	2.0000	0.0000	0.0000
2	0.040	27.20	0.0180	0.0150	-0.2000
3	0.040	21.20	0.0180	0.0150	-0.2000
4	0.040	15.20	0.0180	0.0150	-0.2000
5	0.040	9.20	0.0180	0.0150	-0.2000
6	0.040	3.20	0.0180	0.0150	-0.2000
7	0.040	27.20	0.0180	0.01480	-0.0000
8	2.130	35.03	0.0044	0.00357	-1.30501
9	2.130	35.03	0.0044	0.00057	1.30502
10	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
11	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
12	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
13	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
14	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
15	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
16	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
17	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
18	-0.5	-0.266	-0.5	0.266	
19	-1.0	-0.000	-1.0	0.000	
20	-0.5	-0.266	-0.5	0.266	
21	0.5	0.266	0.5	-0.266	
22	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
23	-0.5	-0.266	-0.5	0.266	
24	-0.5	-0.266	-0.5	0.266	
25	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
26	-0.5	-0.266	-0.5	0.266	
27	-0.5	-0.266	-0.5	0.266	
28	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
29	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
30	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
31	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
32	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
33	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
34	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
35	-0.5	-0.266	-0.5	0.266	
36	-0.5	-0.266	-0.5	0.266	
37	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
38	-0.5	-0.266	-0.5	0.266	
39	-0.5	-0.266	-0.5	0.266	
40	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
41	0.5	0.266	0.5	-0.266	
42	-0.5	-0.266	-0.5	0.266	
43	-1.0	-0.000	-1.0000	0.0000	
44	-0.5	-0.266	-0.5	0.266	
45	0.5	0.266	0.5	-0.266	
46	147700000	2100000	10000	12500	
47	16.00				
48	32.18				
49	48.27				
50	64.37				
51	80.46				
52	210000.0	0.00			
53	115000.0	-100185.0			
54	-115000.0	100185.0			
55	-230000.0	0.00			
56	-115000.0	100185.0			
57	115000.0	-100185.0			
58	-10.0	27.20			
59	-10.0	21.20			
60	-10.0	15.20			
61	-10.0	9.20			
62	-10.0	3.20			
63	10.0	27.20			



DATOS DEL SISTEMA:						
VOLTAJE A TIERRA DEL SISTEMA: 23000.00						
NUMERO DE FASES: 3						
NUMERO DE CABLES: 3						
1 SUBCONDUCTOR POR FASE						
RESISTIVIDAD DEL TERRENO: 100.0						
FRECUENCIA: 60.0						
DATOS DE LOS CONDUCTORES Y CONFIGURACION DE LA LINEA:						
CONDUCTOR	DISTANCIA HORIZ. AL CENTRO DE LA LINEA	ALTURA CENTRO	RADIO (")	RGC (OH/MI)	RESIST. (OH/MI)	
A	-10.00	27.80	0.180	0.145900	0.049	
B	-10.00	27.80	0.180	0.145900	0.049	
C	-10.00	15.80	0.180	0.145900	0.049	
T	10.00	15.80	0.180	0.145900	0.049	
F	10.00	27.80	0.180	0.145900	0.049	
E	10.00	27.80	0.180	0.145900	0.049	
G1	-3.31	38.03	0.043	0.008700	2.130	
G2	3.31	38.03	0.043	0.008700	2.130	

## MATRIZ DE COEFICIENTES (0.024784)

15	0.156E+00	0.102E+00	0.484E-01	0.484E-01	0.102E+00	0.106E+00
16	0.763E+00	0.313E+00	0.265E+00	0.210E+00	0.219E+00	0.219E+00
17						
18	0.102E+00	0.137E+00	0.750E-01	0.649E-01	0.442E-01	0.102E+00
19	0.313E+00	0.771E+00	0.370E+00	0.227E+00	0.226E+00	0.219E+00
20						
21	0.986E-01	0.950E-01	0.141E+00	0.919E-01	0.949E-01	0.984E-01
22	0.265E+00	0.320E+00	0.775E+00	0.733E+00	0.227E+00	0.214E+00
23						
24	0.984E-01	0.949E-01	0.141E+00	0.111E+00	0.950E-01	0.984E-01
25	0.214E+00	0.226E+00	0.233E+00	0.777E+00	0.320E+00	0.226E+00
26						
27	0.102E+00	0.482E-01	0.444E-01	0.950E-01	0.147E+00	0.102E+00
28	0.219E+00	0.226E+00	0.226E+00	0.226E+00	0.226E+00	0.219E+00
29						
30	0.102E+00	0.137E+00	0.750E-01	0.649E-01	0.102E+00	0.106E+00
31	0.219E+00	0.219E+00	0.214E+00	0.265E+00	0.219E+00	0.219E+00
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

## MATRIZ DE COEFICIENTES (0.024784)

42	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
43	0.136E+00	0.310E+00	0.150E+00	0.278E+00	0.100E+00	0.118E+00
44						
45	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
46	0.317E+00	0.136E+00	0.297E+00	0.463E+00	0.112E+00	0.100E+00
47						
48	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
49	0.150E+00	0.247E+00	0.132E+00	0.300E+00	0.063E+00	0.478E+00
50						
51	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
52	0.875E+00	0.963E+00	0.463E+00	0.132E+00	0.297E+00	0.149E+00
53						
54	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
55	0.104E+00	0.112E+00	0.030E+00	0.287E+00	0.147E+00	0.217E+00
56						
57	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
58	0.116E+00	0.100E+00	0.675E+00	0.189E+00	0.317E+00	0.136E+00
59						
60						
61						
62						
63						

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



7  
 8  
 9  
 10  
 11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100  
 101  
 102  
 103  
 104  
 105  
 106  
 107  
 108  
 109  
 110  
 111  
 112  
 113  
 114  
 115  
 116  
 117  
 118  
 119  
 120  
 121  
 122  
 123  
 124  
 125  
 126  
 127  
 128  
 129  
 130  
 131  
 132  
 133  
 134  
 135  
 136  
 137  
 138  
 139  
 140  
 141  
 142  
 143  
 144  
 145  
 146  
 147  
 148  
 149  
 150  
 151  
 152  
 153  
 154  
 155  
 156  
 157  
 158  
 159  
 160  
 161  
 162  
 163  
 164  
 165  
 166  
 167  
 168  
 169  
 170  
 171  
 172  
 173  
 174  
 175  
 176  
 177  
 178  
 179  
 180  
 181  
 182  
 183  
 184  
 185  
 186  
 187  
 188  
 189  
 190  
 191  
 192  
 193  
 194  
 195  
 196  
 197  
 198  
 199  
 200  
 201  
 202  
 203  
 204  
 205  
 206  
 207  
 208  
 209  
 210  
 211  
 212  
 213  
 214  
 215  
 216  
 217  
 218  
 219  
 220  
 221  
 222  
 223  
 224  
 225  
 226  
 227  
 228  
 229  
 230  
 231  
 232  
 233  
 234  
 235  
 236  
 237  
 238  
 239  
 240  
 241  
 242  
 243  
 244  
 245  
 246  
 247  
 248  
 249  
 250  
 251  
 252  
 253  
 254  
 255  
 256  
 257  
 258  
 259  
 260  
 261  
 262  
 263  
 264  
 265  
 266  
 267  
 268  
 269  
 270  
 271  
 272  
 273  
 274  
 275  
 276  
 277  
 278  
 279  
 280  
 281  
 282  
 283  
 284  
 285  
 286  
 287  
 288  
 289  
 290  
 291  
 292  
 293  
 294  
 295  
 296  
 297  
 298  
 299  
 300  
 301  
 302  
 303  
 304  
 305  
 306  
 307  
 308  
 309  
 310  
 311  
 312  
 313  
 314  
 315  
 316  
 317  
 318  
 319  
 320  
 321  
 322  
 323  
 324  
 325  
 326  
 327  
 328  
 329  
 330  
 331  
 332  
 333  
 334  
 335  
 336  
 337  
 338  
 339  
 340  
 341  
 342  
 343  
 344  
 345  
 346  
 347  
 348  
 349  
 350  
 351  
 352  
 353  
 354  
 355  
 356  
 357  
 358  
 359  
 360  
 361  
 362  
 363  
 364  
 365  
 366  
 367  
 368  
 369  
 370  
 371  
 372  
 373  
 374  
 375  
 376  
 377  
 378  
 379  
 380  
 381  
 382  
 383  
 384  
 385  
 386  
 387  
 388  
 389  
 390  
 391  
 392  
 393  
 394  
 395  
 396  
 397  
 398  
 399  
 400  
 401  
 402  
 403  
 404  
 405  
 406  
 407  
 408  
 409  
 410  
 411  
 412  
 413  
 414  
 415  
 416  
 417  
 418  
 419  
 420  
 421  
 422  
 423  
 424  
 425  
 426  
 427  
 428  
 429  
 430  
 431  
 432  
 433  
 434  
 435  
 436  
 437  
 438  
 439  
 440  
 441  
 442  
 443  
 444  
 445  
 446  
 447  
 448  
 449  
 450  
 451  
 452  
 453  
 454  
 455  
 456  
 457  
 458  
 459  
 460  
 461  
 462  
 463  
 464  
 465  
 466  
 467  
 468  
 469  
 470  
 471  
 472  
 473  
 474  
 475  
 476  
 477  
 478  
 479  
 480  
 481  
 482  
 483  
 484  
 485  
 486  
 487  
 488  
 489  
 490  
 491  
 492  
 493  
 494  
 495  
 496  
 497  
 498  
 499  
 500  
 501  
 502  
 503  
 504  
 505  
 506  
 507  
 508  
 509  
 510  
 511  
 512  
 513  
 514  
 515  
 516  
 517  
 518  
 519  
 520  
 521  
 522  
 523  
 524  
 525  
 526  
 527  
 528  
 529  
 530  
 531  
 532  
 533  
 534  
 535  
 536  
 537  
 538  
 539  
 540  
 541  
 542  
 543  
 544  
 545  
 546  
 547  
 548  
 549  
 550  
 551  
 552  
 553  
 554  
 555  
 556  
 557  
 558  
 559  
 560  
 561  
 562  
 563  
 564  
 565  
 566  
 567  
 568  
 569  
 570  
 571  
 572  
 573  
 574  
 575  
 576  
 577  
 578  
 579  
 580  
 581  
 582  
 583  
 584  
 585  
 586  
 587  
 588  
 589  
 590  
 591  
 592  
 593  
 594  
 595  
 596  
 597  
 598  
 599  
 600  
 601  
 602  
 603  
 604  
 605  
 606  
 607  
 608  
 609  
 610  
 611  
 612  
 613  
 614  
 615  
 616  
 617  
 618  
 619  
 620  
 621  
 622  
 623  
 624  
 625  
 626  
 627  
 628  
 629  
 630  
 631  
 632  
 633  
 634  
 635  
 636  
 637  
 638  
 639  
 640  
 641  
 642  
 643  
 644  
 645  
 646  
 647  
 648  
 649  
 650  
 651  
 652  
 653  
 654  
 655  
 656  
 657  
 658  
 659  
 660  
 661  
 662  
 663  
 664  
 665  
 666  
 667  
 668  
 669  
 670  
 671  
 672  
 673  
 674  
 675  
 676  
 677  
 678  
 679  
 680  
 681  
 682  
 683  
 684  
 685  
 686  
 687  
 688  
 689  
 690  
 691  
 692  
 693  
 694  
 695  
 696  
 697  
 698  
 699  
 700  
 701  
 702  
 703  
 704  
 705  
 706  
 707  
 708  
 709  
 710  
 711  
 712  
 713  
 714  
 715  
 716  
 717  
 718  
 719  
 720  
 721  
 722  
 723  
 724  
 725  
 726  
 727  
 728  
 729  
 730  
 731  
 732  
 733  
 734  
 735  
 736  
 737  
 738  
 739  
 740  
 741  
 742  
 743  
 744  
 745  
 746  
 747  
 748  
 749  
 750  
 751  
 752  
 753  
 754  
 755  
 756  
 757  
 758  
 759  
 760  
 761  
 762  
 763  
 764  
 765  
 766  
 767  
 768  
 769  
 770  
 771  
 772  
 773  
 774  
 775  
 776  
 777  
 778  
 779  
 780  
 781  
 782  
 783  
 784  
 785  
 786  
 787  
 788  
 789  
 790  
 791  
 792  
 793  
 794  
 795  
 796  
 797  
 798  
 799  
 800  
 801  
 802  
 803  
 804  
 805  
 806  
 807  
 808  
 809  
 810  
 811  
 812  
 813  
 814  
 815  
 816  
 817  
 818  
 819  
 820  
 821  
 822  
 823  
 824  
 825  
 826  
 827  
 828  
 829  
 830  
 831  
 832  
 833  
 834  
 835  
 836  
 837  
 838  
 839  
 840  
 841  
 842  
 843  
 844  
 845  
 846  
 847  
 848  
 849  
 850  
 851  
 852  
 853  
 854  
 855  
 856  
 857  
 858  
 859  
 860  
 861  
 862  
 863  
 864  
 865  
 866  
 867  
 868  
 869  
 870  
 871  
 872  
 873  
 874  
 875  
 876  
 877  
 878  
 879  
 880  
 881  
 882  
 883  
 884  
 885  
 886  
 887  
 888  
 889  
 890  
 891  
 892  
 893  
 894  
 895  
 896  
 897  
 898  
 899  
 900  
 901  
 902  
 903  
 904  
 905  
 906  
 907  
 908  
 909  
 910  
 911  
 912  
 913  
 914  
 915  
 916  
 917  
 918  
 919  
 920  
 921  
 922  
 923  
 924  
 925  
 926  
 927  
 928  
 929  
 930  
 931  
 932  
 933  
 934  
 935  
 936  
 937  
 938  
 939  
 940  
 941  
 942  
 943  
 944  
 945  
 946  
 947  
 948  
 949  
 950  
 951  
 952  
 953  
 954  
 955  
 956  
 957  
 958  
 959  
 960  
 961  
 962  
 963  
 964  
 965  
 966  
 967  
 968  
 969  
 970  
 971  
 972  
 973  
 974  
 975  
 976  
 977  
 978  
 979  
 980  
 981  
 982  
 983  
 984  
 985  
 986  
 987  
 988  
 989  
 990  
 991  
 992  
 993  
 994  
 995  
 996  
 997  
 998  
 999  
 1000  
 1001  
 1002  
 1003  
 1004  
 1005  
 1006  
 1007  
 1008  
 1009  
 1010  
 1011  
 1012  
 1013  
 1014  
 1015  
 1016  
 1017  
 1018  
 1019  
 1020  
 1021  
 1022  
 1023  
 1024  
 1025  
 1026  
 1027  
 1028  
 1029  
 1030  
 1031  
 1032  
 1033  
 1034  
 1035  
 1036  
 1037  
 1038  
 1039  
 1040  
 1041  
 1042  
 1043  
 1044  
 1045  
 1046  
 1047  
 1048  
 1049  
 1050  
 1051  
 1052  
 1053  
 1054  
 1055  
 1056  
 1057  
 1058  
 1059  
 1060  
 1061  
 1062  
 1063  
 1064  
 1065  
 1066  
 1067  
 1068  
 1069  
 1070  
 1071  
 1072  
 1073  
 1074  
 1075  
 1076  
 1077  
 1078  
 1079  
 1080  
 1081  
 1082  
 1083  
 1084  
 1085  
 1086  
 1087  
 1088  
 1089  
 1090  
 1091  
 1092  
 1093  
 1094  
 1095  
 1096  
 1097  
 1098  
 1099  
 1100  
 1101  
 1102  
 1103  
 1104  
 1105  
 1106  
 1107  
 1108  
 1109  
 1110  
 1111  
 1112  
 1113  
 1114  
 1115  
 1116  
 1117  
 1118  
 1119  
 1120  
 1121  
 1122  
 1123  
 1124  
 1125  
 1126  
 1127  
 1128  
 1129  
 1130  
 1131  
 1132  
 1133  
 1134  
 1135  
 1136  
 1137  
 1138  
 1139  
 1140  
 1141  
 1142  
 1143  
 1144  
 1145  
 1146  
 1147  
 1148  
 1149  
 1150  
 1151  
 1152  
 1153  
 1154  
 1155  
 1156  
 1157  
 1158  
 1159  
 1160  
 1161  
 1162  
 1163  
 1164  
 1165  
 1166  
 1167  
 1168  
 1169  
 1170  
 1171  
 1172  
 1173  
 1174  
 1175  
 1176  
 1177  
 1178  
 1179  
 1180  
 1181  
 1182  
 1183  
 1184  
 1185  
 1186  
 1187  
 1188  
 1189  
 1190  
 1191  
 1192  
 1193  
 1194  
 1195  
 1196  
 1197  
 1198  
 1199  
 1200  
 1201  
 1202  
 1203  
 1204  
 1205  
 1206  
 1207  
 1208  
 1209  
 1210  
 1211  
 1212  
 1213  
 1214  
 1215  
 1216  
 1217  
 1218  
 1219  
 1220  
 1221  
 1222  
 1223  
 1224  
 1225  
 1226  
 1227  
 1228  
 1229  
 1230  
 1231  
 1232  
 1233  
 1234  
 1235  
 1236  
 1237  
 1238  
 1239  
 1240  
 1241  
 1242  
 1243  
 1244  
 1245  
 1246  
 1247  
 1248  
 1249  
 1250  
 1251  
 1252  
 1253  
 1254  
 1255  
 1256  
 1257  
 1258  
 1259  
 1260  
 1261  
 1262  
 1263  
 1264  
 1265  
 1266  
 1267  
 1268  
 1269  
 1270  
 1271  
 1272  
 1273  
 1274  
 1275  
 1276  
 1277  
 1278  
 1279  
 1280  
 1281  
 1282  
 1283  
 1284  
 1285  
 1286  
 1287  
 1288  
 1289  
 1290  
 1291  
 1292  
 1293  
 1294  
 1295  
 1296  
 1297  
 1298  
 1299  
 1300  
 1301  
 1302  
 1303  
 1304  
 1305  
 1306  
 1307  
 1308  
 1309  
 1310  
 1311  
 1312  
 1313  
 1314  
 1315  
 1316  
 1317  
 1318  
 1319  
 1320  
 1321  
 1322  
 1323  
 1324  
 1325  
 1326  
 1327  
 1328  
 1329  
 1330  
 1331  
 1332  
 1333  
 1334  
 1335  
 1336  
 1337  
 1338  
 1339  
 1340  
 1341  
 1342  
 1343  
 1344  
 1345  
 1346  
 1347  
 1348  
 1349  
 1350  
 1351  
 1352  
 1353  
 1354  
 1355  
 1356  
 1357  
 1358  
 1359  
 1360  
 1361  
 1362  
 1363  
 1364  
 1365  
 1366  
 1367  
 1368  
 1369  
 1370  
 1371  
 1372  
 1373  
 1374  
 1375  
 1376  
 1377  
 1378  
 1379  
 1380  
 1381  
 1382  
 1383  
 1384  
 1385  
 1386  
 1387  
 1388  
 1389  
 1390  
 1391  
 1392  
 1393  
 1394  
 1395  
 1396  
 1397  
 1398  
 1399  
 1400  
 1401  
 1402  
 1403  
 1404  
 1405  
 1406  
 1407  
 1408  
 1409  
 1410  
 1411  
 1412  
 1413  
 1414  
 1415  
 1416  
 1417  
 1418  
 1419  
 1420  
 1421  
 1422  
 1423  
 1424  
 1425  
 1426  
 1427  
 1428  
 1429  
 1430  
 1431  
 1432  
 1433  
 1434  
 1435  
 1436  
 1437  
 1438  
 1439  
 1440  
 1441  
 1442  
 1443  
 1444  
 1445  
 1446  
 1447  
 1448  
 1449  
 1450  
 1451  
 1452  
 1453  
 1454  
 1455  
 1456  
 1457  
 1458  
 1459  
 1460  
 1461  
 1462  
 1463  
 1464  
 1465  
 1466  
 1467  
 1468  
 1469  
 1470  
 1471  
 1472  
 1473  
 1474  
 1475  
 1476  
 1477  
 1478  
 1479  
 1480  
 1481  
 1482  
 1483  
 1484  
 1485  
 1486  
 1487  
 1488  
 1489  
 1490  
 1491  
 1492  
 1493  
 1494  
 1495  
 14

## PARAMETROS DE LA LINEA PARA EL CASO TRANSURSTI:

ZPE.ZE.(OHM/KM)  
 (0.147048E+00,0.770170E) (0.0540167E+02,0.252950E)  
 ZII.ZOO.(HM/A)  
 (4.0366474E+02,1.517211E) (0.6400247E,2.63496E)  
 PP.PV.(OHEAF/A)  
 (0.000000E+00,1.444444E+00) (0.000000E+00,1.0733049E+07)  
 C=1.1E-12  
 (0.000000E+00,0.0515266E+09) (0.000000E+00,-6.9065798E-10)  
 YPE.YV.(SFA/A)  
 (0.000000E+00,3.0353513E-06) (0.000000E+00,-2.6037247E-07)  
 YII.YOO.(SFA/A)  
 (0.000000E+00,3.2952337E-06) (0.000000E+00,1.7334988E-06)

POTENCIA CARACTERISTICA (S) (W)	CAPACIDAD DE TRANSISTION (VAL) (F)	POTENCIA MAXIMA (W)	PERDIDAS (S) (W)	PERDIDAS (R) (W)
16.09000	0.4424195	3.1519621E+10	3.15E+00	96.0321
32.18000	1.033030	1.7359243E+10	1.0942768E+07	99.26900
48.27000	1.771379	1.1551492E+10	1.5251776E+07	96.0321
64.37000	2.657826	8.8065311E+09	2.1677696E+07	98.5471
80.46000	3.691113	7.1073421E+09	2.704472E+07	98.1900

CONTRATO:	CONDICIONES:	GRADIENTE DE TIEMPO (Kv/a):
A	1700.37	
B	1040.11	
C	18746.86	
D	18386.59	
E	16498.11	
F	17942.23	
X	Y	
2.200000	0.000000E+00	1995.444
2.040000	1.520000	1971.457
1.900000	3.050000	1966.000
1.780000	4.570000	2011.273
1.620000	6.100000	2243.224
1.420000	7.620000	2724.355
1.270000	9.140000	3354.967
1.100000	10.670000	4074.752
0.950000	12.190000	4865.467
0.950000	14.720000	5734.128
0.950000	15.240000	6522.787
0.950000	17.770000	7225.739
0.950000	18.290000	7930.028
0.950000	19.810000	8638.067
0.950000	21.340000	9650.584
0.950000	22.870000	10724.787
0.950000	24.390000	13441.403
0.950000	25.910000	15878.782
0.000000E+00	27.430000	20011.657
2.780000	7.650000	2390.208
0.000000E+00	0.000000E+00	1251.170
3.050000	0.000000E+00	2521.072
6.100000	0.000000E+00	2627.973
6.130000	0.000000E+00	2655.260
12.190000	0.000000E+00	3111.322
15.240000	0.000000E+00	2665.271
18.290000	0.000000E+00	2663.047
21.340000	0.000000E+00	2398.244
24.390000	0.000000E+00	1358.018
27.430000	0.000000E+00	1074.764

## PERDIDAS POR EFECTO CURVA

PRESTON (CV. 45)	TEMPERATURA (C.)	FACTOR DE SUP.	GRANDETE (CV/100)	PERDIDAS (CV/100)
76.20000	21.11000	0.1000000	2.502000	310.713
76.20000	21.11000	0.2000000	5.184001	7489.299
76.20000	21.11000	0.4000000	7.776001	1550.10
76.20000	21.11000	0.4000000	10.36800	841.1549
76.20000	21.11000	0.5000000	12.30000	144.3151
76.20000	21.11000	0.6000000	15.55200	65.78978
76.20000	21.11000	0.7000000	18.14400	0.0000000000
76.20000	21.11000	0.8000000	20.73600	0.0000000000
76.20000	21.11000	0.8000000	23.32800	0.0000000000



MAGNITUDE DE LA  
CORRIENTE DE RECEPCIÓN EN CADA FASE.

EN COMPONENTES SIMÉTRICAS (A1)

1.548775E-07

1.066790E-07

1.571522E-07

1.080893E-07

7.366215E-07

1.395704E-07

MAGNITUDE DE LA

CORRIENTE DE CADA UNO DE LOS

EN COMPONENTES SIMÉTRICAS (A1)

0.688946E

1064.615

0.181742E

3.77702E

0.101106E

6.00123E

FACTORES DE DESFOCALIZADO

ELECTRO-ACUSTICO Y ELECTROSTÁTICO

0.00

100.00

0.02

0.35

0.50

0.00

100.00

0.00

0.00

0.00

1	60.00	14.000	2.00000	0.00000
2	0.033	27.000	0.01500	-0.15000
3	0.026	21.000	0.01200	-0.12000
4	0.020	15.000	0.01000	-0.10000
5	0.015	10.000	0.00800	-0.08000
6	0.010	7.000	0.00600	-0.06000
7	0.040	27.000	0.01600	-0.16000
8	2.130	35.000	0.00300	-0.00300
9	2.130	35.000	0.00300	-0.00300
10	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
11	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
12	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
13	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
14	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
15	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
16	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
17	0.5	-0.866	0.5	0.866
18	-0.5	-0.866	-0.5	0.866
19	-1.0	0.000	-1.0	0.000
20	-0.5	0.866	-0.5	-0.866
21	0.5	0.866	0.5	-0.866
22	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
23	-0.5	-0.866	-0.5	0.866
24	-0.5	-0.866	-0.5	0.866
25	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
26	-0.5	-0.866	-0.5	0.866
27	-0.5	-0.866	-0.5	0.866
28	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
29	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000
30	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000
31	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
32	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000
33	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
34	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000
35	0.5	0.866	0.5	-0.866
36	-0.5	0.866	-0.5	-0.866
37	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
38	-0.5	-0.866	-0.5	0.866
39	-0.5	-0.866	-0.5	0.866
40	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
41	0.5	0.866	0.5	-0.866
42	-0.5	0.866	-0.5	-0.866
43	-1.0	0.0000	-1.0000	0.0000
44	-0.5	-0.866	-0.5	0.866
45	0.5	-0.866	0.5	0.866
46	85000000.0	736000.0	816.0	1250.0
47	16.69			
48	32.12			
49	48.27			
50	64.37			
51	80.46			
52	230000.0	0.00		
53	115000.0	-149185.0		
54	-115000.0	-149185.0		
55	-230000.0	0.00		
56	-115000.0	149185.0		
57	115000.0	149185.0		
58	-10.0	21.50		
59	-10.0	21.50		
60	-10.0	14.00		
61	10.0	15.00		
62	10.0	21.50		
63	10.0	27.80		
64	10.0	27.80		

1	2.74	0.00
2	2.04	1.52
3	1.01	1.78
4	1.74	1.57
5	1.02	0.10
6	1.12	1.52
7	1.77	0.13
8	1.10	0.47
9	0.05	12.19
10	0.05	13.72
11	0.05	15.24
12	0.05	16.76
13	0.05	18.28
14	0.05	19.81
15	0.05	21.33
16	0.05	22.85
17	0.05	24.37
18	0.05	25.89
19	0.05	27.41
20	2.75	27.42
21	0.00	0.00
22	3.05	0.00
23	6.10	0.00
24	0.1	0.00
25	12.19	0.00
26	15.24	0.00
27	18.28	0.00
28	21.33	0.00
29	24.37	0.00
30	27.41	0.00
31	26.26	21.11
32	23000.0	0.00
33	115000.0	-100185.0
34	-115000.0	-100185.0
35	-230000.0	0.00
36	-115000.0	100185.0
37	115000.0	100185.0
38	0.1	
39	0.2	
40	0.3	
41	0.4	
42	0.5	
43	0.6	
44	0.7	
45	0.8	
46	0.9	
47	68.0	85000000.0
48	1.00	
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		

## DATOS DEL SISTEMA:

VOLTAJE A TIERRA DEL SISTEMA: 34000.00

NUMERO DE FASAS: 3

NUMERO DE CIRCUIOS: 1

## 1 SUBCONDUCTOR POR FASE

SEPARACION DE LOS SUBCONDUCTORES: 100.0

FRECUENCIA: 60.0

## DATOS DE LOS CONDUCTORES

Y CONFIGURACION DE LOS LINEAS:

CONDUCTOR	DISTANCIA HORIZ. AL CENTRO DE LA LINEA (ft)	ALTURA (ft)	RADIO (ft)	WGT (lb/ft)	PESIST. (ohm/ft)
A	-10.00	27.00	0.180	0.145900	0.049
B	0.00	27.00	0.180	0.145900	0.049
C	10.00	15.00	0.180	0.145900	0.049
D	10.00	21.00	0.180	0.145900	0.049
E	10.00	27.00	0.180	0.145900	0.049
G1	3.31	35.01	0.043	0.005700	2.130
G2	3.31	35.01	0.043	0.005700	2.130

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62

## MATRIZ DE COEFICIENTES DEKTE (DMS/KK)

15	0.156E+00	0.102E+00	0.984E-01	0.984E-01	0.102E+00	0.106E+00
16	0.763E+00	0.313E+00	0.265E+00	0.214E+00	0.219E+00	0.219E+00
17	0.102E+00	0.147E+00	0.955E-01	0.969E-01	0.752E-01	0.142E+00
18	0.313E+00	0.771E+00	0.320E+00	0.296E+00	0.326E+00	0.319E+00
19	0.984E-01	0.984E-01	0.141E+00	0.019E-01	0.049E-01	0.984E-01
20	0.984E-01	0.984E-01	0.777E+00	0.233E+00	0.226E+00	0.715E+00
21	0.102E+00	0.147E+00	0.955E-01	0.969E-01	0.752E-01	0.142E+00
22	0.313E+00	0.771E+00	0.320E+00	0.296E+00	0.326E+00	0.319E+00
23	0.984E-01	0.984E-01	0.141E+00	0.019E-01	0.049E-01	0.984E-01
24	0.984E-01	0.984E-01	0.777E+00	0.233E+00	0.226E+00	0.715E+00
25	0.102E+00	0.147E+00	0.955E-01	0.969E-01	0.752E-01	0.142E+00
26	0.313E+00	0.771E+00	0.320E+00	0.296E+00	0.326E+00	0.319E+00
27	0.984E-01	0.984E-01	0.141E+00	0.019E-01	0.049E-01	0.984E-01
28	0.984E-01	0.984E-01	0.777E+00	0.233E+00	0.226E+00	0.715E+00
29	0.102E+00	0.147E+00	0.955E-01	0.969E-01	0.752E-01	0.142E+00
30	0.313E+00	0.771E+00	0.320E+00	0.296E+00	0.326E+00	0.319E+00
31	0.984E-01	0.984E-01	0.141E+00	0.019E-01	0.049E-01	0.984E-01
32	0.984E-01	0.984E-01	0.777E+00	0.233E+00	0.226E+00	0.715E+00
33	0.102E+00	0.147E+00	0.955E-01	0.969E-01	0.752E-01	0.142E+00
34	0.313E+00	0.771E+00	0.320E+00	0.296E+00	0.326E+00	0.319E+00

## MATRIZ DE COEFICIENTES (DMS/KK)

43	0.000E+00	0.000E+00	0.400E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
44	0.136E+00	0.317E+00	0.189E+00	0.275E+00	0.105E+00	0.116E+00
45	0.000E+00	0.000E+00	0.400E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
46	0.317E+00	0.135E+00	0.297E+00	0.063E+00	0.112E+00	0.109E+00
47	0.000E+00	0.000E+00	0.400E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
48	0.136E+00	0.297E+00	0.132E+00	0.903E+00	0.303E+00	0.275E+00
49	0.000E+00	0.000E+00	0.400E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
50	0.317E+00	0.135E+00	0.297E+00	0.063E+00	0.112E+00	0.109E+00
51	0.000E+00	0.000E+00	0.400E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
52	0.136E+00	0.297E+00	0.132E+00	0.903E+00	0.303E+00	0.275E+00
53	0.000E+00	0.000E+00	0.400E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
54	0.317E+00	0.135E+00	0.297E+00	0.063E+00	0.112E+00	0.109E+00
55	0.000E+00	0.000E+00	0.400E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
56	0.136E+00	0.112E+00	0.063E+00	0.275E+00	0.135E+00	0.317E+00
57	0.000E+00	0.000E+00	0.400E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
58	0.317E+00	0.112E+00	0.063E+00	0.275E+00	0.135E+00	0.317E+00
59	0.000E+00	0.000E+00	0.400E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
60	0.136E+00	0.112E+00	0.063E+00	0.275E+00	0.135E+00	0.317E+00

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63

MATRIZ DE IMPEDANCIAS POR LINEA (CON P. SIMPLICIAS)  
 (OHMS/KM)

16	0.661E+00	-0.167E-01	-0.132E-01	0.311E+00	-0.177E-01	0.475E-02
17	0.203E+01	-0.412E-02	-0.489E-02	-0.149E-07	-0.104E-01	-0.165E-01
18						
19	0.478E+02	0.408E+01	0.134E-03	-0.415E-01	0.183E-04	-0.372E-01
20	-0.165E-01	0.501E+00	0.210E-04	0.241E-01	0.732E-01	-0.427E-01
21						
22	-0.177E-01	0.278E-03	0.249E-01	0.649E-02	-0.267E-01	0.163E-04
23	-0.109E-01	-0.116E-03	0.465E+00	0.143E-04	0.144E-01	0.279E-04
24						
25	-0.189E+07	0.416E-01	0.571E-04	0.491E-01	0.693E-04	-0.415E-01
26	-0.566E-07	0.339E-01	-0.399E-04	0.482E+00	0.141E-01	0.241E-01
27						
28	0.190E-01	-0.172E-04	0.349E-01	0.221E-01	0.101E-01	0.170E-03
29	-0.989E-02	-0.742E-04	0.144E-01	-0.529E-04	0.468E+00	0.2210E-04
30						
31	0.167E-01	0.716E-01	-0.163E-02	0.416E-01	0.879E-04	0.349E-01
32	-0.412E-02	-0.120E-01	-0.792E-04	0.219E-01	-0.118E-03	0.501E+00
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

## MATRIZ DE CAPACITANCIA (COULOMB X KM)

43	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
44	0.790E-08	-0.162E-08	-0.698E-09	-0.232E-09	-0.300E-09	-0.191E-09
45						
46	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
47	-0.162E-08	0.215E-08	-0.185E-09	-0.271E-09	-0.300E-09	-0.300E-09
48						
49	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
50	-0.698E-09	-0.185E-09	0.808E-08	-0.299E-09	-0.271E-09	-0.232E-09
51						
52	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
53	-0.232E-09	-0.271E-09	-0.299E-09	0.808E-08	-0.185E-09	-0.162E-08
54						
55	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
56	-0.300E-09	-0.300E-09	-0.271E-09	-0.185E-09	0.808E-08	-0.162E-08
57						
58	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
59	-0.162E-08	-0.162E-08	-0.162E-08	-0.162E-08	-0.162E-08	0.790E-08
60						
61						
62						

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40

## MATRIZ DE ADMITANCIA (SIEMENS/KM)

7	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
8	0.298E-05	-1.612E-06	-1.263E-06	-1.674E-07	-1.117E-06	-1.172E-06
9	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
10	-1.612E-06	0.308E-05	-1.584E-06	-1.102E-06	-1.114E-06	-1.117E-06
11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
12	-1.263E-06	-1.584E-06	1.305E-05	-1.114E-06	-1.102E-06	-1.274E-07
13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
14	-1.102E-06	-1.114E-06	-1.113E-06	0.305E-05	-1.584E-06	-1.263E-06
15	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
16	-1.113E-06	-1.114E-06	-1.113E-06	-1.114E-06	0.305E-05	-1.102E-06
17	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
18	-1.102E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.114E-06	-1.102E-06	0.000E+00
19	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
20	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
21	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
22	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
23	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
24	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
25	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
26	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
27	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
28	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
29	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
30	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
31	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
32	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
33	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
34	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
35	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
36	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
37	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
38	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
39	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
40	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
41	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
42	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
43	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
44	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
45	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
46	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
47	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
48	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
49	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
50	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
51	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
52	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
53	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
54	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
55	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
56	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
57	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
58	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
59	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
60	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
61	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
62	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06
63	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
64	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06	-1.113E-06

MATRIZ DE ADMITANCIA PARALELO (CO-E. JIETH (C/S)  
(SIEMENS/KM)

43	0.000E+00	0.211E-07	-1.774E-07	0.000E+00	0.774E-07	-1.211E-07
44	0.173E-04	-1.366E-07	0.450E-07	-1.868E-13	0.450E-07	-1.366E-07
45	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
46	-1.211E-07	-1.284E-13	0.574E-08	0.208E-06	0.634E-08	0.331E-06
47	-1.366E-07	0.284E-05	-1.594E-08	-1.120E-06	-1.198E-12	0.151E-06
48	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
49	0.774E-07	-1.574E-13	-1.120E-13	0.293E-08	0.194E-06	0.634E-08
50	0.450E-07	-1.993E-09	0.454E-06	-1.508E-03	-1.112E-06	-1.341E-12
51	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
52	0.000E+00	-1.120E-06	-1.293E-08	0.309E-05	-1.904E-06	-1.120E-06
53	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
54	-1.211E-07	-1.120E-06	-1.120E-06	-1.120E-06	0.127E-13	0.574E-08
55	0.450E-07	-1.341E-12	-1.112E-06	-1.508E-03	0.154E-05	-1.993E-09
56	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
57	-1.211E-07	-1.341E-06	-1.120E-06	-1.293E-08	-1.904E-06	0.294E-13
58	-1.366E-07	0.151E-06	-1.120E-06	-1.120E-06	-1.904E-06	0.294E-13
59	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
60	-1.211E-07	-1.341E-06	-1.120E-06	-1.293E-08	-1.904E-06	0.294E-13
61	-1.366E-07	0.151E-06	-1.120E-06	-1.120E-06	-1.904E-06	0.294E-13
62	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
63	-1.211E-07	-1.341E-06	-1.120E-06	-1.293E-08	-1.904E-06	0.294E-13
64	-1.366E-07	0.151E-06	-1.120E-06	-1.120E-06	-1.904E-06	0.294E-13

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64

PARAMETERS OF THE TRANSMISSION CASE TRANSFORMER:

Z<sub>TR</sub> = 7.0 (0.000000)  
 (0.147946E+01, 0.776176E+01) (0.8580167E-02, 0.2529543E+01)  
 Z<sub>11</sub> = 7.0 (0.000000)  
 (4.9366374E-02, 0.6177117E+01) (0.6008478E-02, 0.034967)  
 R<sub>TR</sub> = 0.0 (0.000000)  
 (0.0000000E+00, 1.3442443E+08) (0.0000000E+00, 1.6733449E+07)  
 C<sub>TR</sub> = 0.0 (0.000000)  
 (0.0000000E+00, 5.0515266E-04) (0.0000000E+00, -6.9065798E-10)  
 Y<sub>TR</sub> = 0.0 (0.000000)  
 (0.0000000E+00, 3.7353613E-06) (0.0000000E+00, -2.6037247E-07)  
 Y<sub>11</sub> = 0.0 (0.000000)  
 (0.0000000E+00, 3.2957337E-06) (0.0000000E+00, 1.7334986E-06)

POTENTIAL CALCULATION RESULTS (CASE NO. 17) 0812.00

CAPACITAN OF TRANSMISSION (CVA): 1725000064.00

LOGIC: THE DISTANCE BETWEEN THE POTENTIAL POINTS IS: (M) (M) (M)

(KM) (M) (M) (M) (M) (M)

(M) (M) (M) (M) (M) (M)

CONDUCTOR: G. L. OF  
SUFFOLK (C/F) (V/V)

8	A	17809.27
9		
10	B	16498.11
11		
12	C	18362.04
13		
14	D	18226.88
15		
16	E	18408.71
17		
18	F	17809.27
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		
100		

GRANTITE DE... (PV/5)

30	2.290000	0.000000E+00	1905.444
31	2.040000	1.520000	1970.457
32	1.900000	1.050000	1966.000
33	1.780000	1.570000	2011.273
34	1.620000	6.100000	2243.274
35	1.420000	7.200000	2723.358
36	1.270000	9.140000	3354.967
37	1.100000	10.60000	4072.752
38	0.9500000	12.10000	4865.867
39	0.8500000	13.70000	5703.175
40	0.7500000	15.24000	6522.787
41	0.6500000	16.70000	7280.739
42	0.5500000	18.24000	7930.028
43	0.4500000	19.80000	8400.437
44	0.3500000	21.30000	8650.524
45	0.2500000	22.80000	8620.767
46	0.1500000	24.30000	8341.603
47	0.0500000	25.80000	7650.712
48	0.000000E+00	27.20000	7601.687
49	0.000000E+00	27.80000	7380.205
50	0.000000E+00	0.000000E+00	1251.376
51	3.050000	0.000000E+00	2044.472
52	6.100000	0.000000E+00	2587.973
53	9.140000	0.000000E+00	2743.881
54	12.10000	0.000000E+00	3111.322
55	15.24000	0.000000E+00	3460.731
56	18.24000	0.000000E+00	2663.047
57	21.30000	0.000000E+00	2405.454
58	24.30000	0.000000E+00	1962.018
59	27.20000	0.000000E+00	1672.167
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			
88			
89			
90			



1	CORRIENTES DE RECEPCION EN CADA FASE:		
2	(A)		
3			
4	MAGNITUD	ANGULO	COMPONENTES
5	DE L.F.		DE L.F.
6	CORRIENTE		CORRIENTE
7	(AMPERES)		(AMPERES)
8	615.9420	0.0000000E+00	(615.9420,0.0000000E+00)
9	615.9420	-7.0000000	(-615.9420,-531.4100)
10	615.9420	-170.0000	(-307.9423,-533.4322)
11	615.9420	-180.0000	(-615.9420,-1.24044E+02)
12	615.9420	-240.0000	(-31.0083,533.3994)
13	615.9420	-300.0000	(597.4242,533.3425)
14		PR.00	
15			
16	VOLTAJES DE RECEPCION EN CADA FASE:		
17	(V)		
18	MAGNITUD	ANGULO	COMPONENTES
19	DE L.F.		DE L.F.
20	VOLTAJE		VOLTAJE
21	(VOLTS)		(VOLTS)
22	230000.0	0.0000000E+00	(230000.0,0.0000000E+00)
23	230000.0	-1.047190	(115000.0,-199135.0)
24	230000.0	-2.004397	(-115000.0,-199195.0)
25	230000.0	-1.81543	(-230000.0,-100000.0E+00)
26	230000.0	2.094397	(-115000.0,199195.0)
27	230000.0	1.047190	(115000.0,199135.0)
28			
29	VOLTAJE DE RECEPCION EN CADA FASE:		
30	(V)		
31			
32	MAGNITUD	ANGULO	COMPONENTES
33	DE L.F.		DE L.F.
34	VOLTAJE		VOLTAJE
35	(VOLTS)		(VOLTS)
36	230015.4	0.0025420	(230765.1,24263.81)
37	233285.4	-0.0205401	(133551.8,-186942.0)
38	227535.0	-1.083438	(-91248.48,-208436.8)
39	230548.3	-1.37103	(-235926.7,-21866.38)
40	232172.3	2.207585	(-138649.8,186671.5)
41	227415.8	1.15140	(22750.33,208184.5)
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50	CORRIENTES DE RECEPCION EN CADA FASE:		
51	(A)		
52			
53	MAGNITUD	ANGULO	COMPONENTES
54	DE L.F.		DE L.F.
55	CORRIENTE		CORRIENTE
56	(AMPERES)		(AMPERES)
57	607.6742	7.4505314E-02	(605.3000,45.18842)
58	615.0300	-0.0778712	(343.0940,-510.6277)
59	623.7094	-2.019603	(-270.6212,-561.9112)
60	608.5948	-1.080000	(-630.0170,-300.0702)
61	614.4725	2.163327	(-343.1595,504.7245)
62	623.8547	1.115522	(271.5639,561.2210)
63			

21	MATRIZ DE
22	COMPONENTES DE TENSION EN CADA BASE.
23	FN COMPONENTES SIMETRICAS (A)
24	1.074612E-02
25	615.0470
26	1.000000E-00
27	6.716131E-04
28	5.447021E-04
29	7.000000E-01
30	
31	MATRIZ DE
32	CURVATURA DE TORSION EN CADA BASE.
33	FN COMPONENTES SIMETRICAS (A)
34	0.4556320
35	615.1738
36	0.1797660
37	3.7000000
38	0.000000E-00
39	5.000017
40	FACTORES DE DESFOCALIZACION
41	ELECTROSTATICA Y PLACIDOSTATICA
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	
88	
89	
90	
91	
92	
93	
94	
95	
96	
97	
98	
99	
100	
101	
102	
103	
104	
105	
106	
107	
108	
109	
110	
111	
112	
113	
114	
115	
116	
117	
118	
119	
120	
121	
122	
123	
124	
125	
126	
127	
128	
129	
130	
131	
132	
133	
134	
135	
136	
137	
138	
139	
140	
141	
142	
143	
144	
145	
146	
147	
148	
149	
150	
151	
152	
153	
154	
155	
156	
157	
158	
159	
160	
161	
162	
163	
164	
165	
166	
167	
168	
169	
170	
171	
172	
173	
174	
175	
176	
177	
178	
179	
180	
181	
182	
183	
184	
185	
186	
187	
188	
189	
190	
191	
192	
193	
194	
195	
196	
197	
198	
199	
200	
201	
202	
203	
204	
205	
206	
207	
208	
209	
210	
211	
212	
213	
214	
215	
216	
217	
218	
219	
220	
221	
222	
223	
224	
225	
226	
227	
228	
229	
230	
231	
232	
233	
234	
235	
236	
237	
238	
239	
240	
241	
242	
243	
244	
245	
246	
247	
248	
249	
250	
251	
252	
253	
254	
255	
256	
257	
258	
259	
260	
261	
262	
263	
264	
265	
266	
267	
268	
269	
270	
271	
272	
273	
274	
275	
276	
277	
278	
279	
280	
281	
282	
283	
284	
285	
286	
287	
288	
289	
290	
291	
292	
293	
294	
295	
296	
297	
298	
299	
300	
301	
302	
303	
304	
305	
306	
307	
308	
309	
310	
311	
312	
313	
314	
315	
316	
317	
318	
319	
320	
321	
322	
323	
324	
325	
326	
327	
328	
329	
330	
331	
332	
333	
334	
335	
336	
337	
338	
339	
340	
341	
342	
343	
344	
345	
346	
347	
348	
349	
350	
351	
352	
353	
354	
355	
356	
357	
358	
359	
360	
361	
362	
363	
364	
365	
366	
367	
368	
369	
370	
371	
372	
373	
374	
375	
376	
377	
378	
379	
380	
381	
382	
383	
384	
385	
386	
387	
388	
389	
390	
391	
392	
393	
394	
395	
396	
397	
398	
399	
400	
401	
402	
403	
404	
405	
406	
407	
408	
409	
410	
411	
412	
413	
414	
415	
416	
417	
418	
419	
420	
421	
422	
423	
424	
425	
426	
427	
428	
429	
430	
431	
432	
433	
434	
435	
436	
437	
438	
439	
440	
441	
442	
443	
444	
445	
446	
447	
448	
449	
450	
451	
452	
453	
454	
455	
456	
457	
458	
459	
460	
461	
462	
463	
464	
465	
466	
467	
468	
469	
470	
471	
472	
473	
474	
475	
476	
477	
478	
479	
480	
481	
482	
483	
484	
485	
486	
487	
488	
489	
490	
491	
492	
493	
494	
495	
496	
497	
498	
499	
500	

1	60.0	160.00	240.00	0.00	160.00
2	0.134	27.80	0.0117	0.00926	-0.044
3	0.134	27.80	0.0117	0.00926	-0.044
4	0.134	15.40	0.0117	0.00926	-0.044
5	0.134	15.40	0.0117	0.00926	-0.044
6	0.134	27.80	0.0117	0.00926	-0.044
7	0.134	27.80	0.0117	0.00926	-0.044
8	2.130	35.63	0.0043	0.00457	-1.345
9	2.130	35.63	0.0043	0.00457	-1.345
10	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
11	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
12	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
13	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
14	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
15	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
16	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
17	0.5	-0.866	0.5	-0.866	
18	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
19	-1.0	0.000	-1.0	0.000	
20	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
21	0.5	-0.866	0.5	-0.866	
22	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
23	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
24	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
25	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
26	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
27	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
28	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
29	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
30	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
31	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
32	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
33	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
34	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
35	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
36	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
37	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
38	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
39	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
40	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
41	0.5	-0.866	0.5	-0.866	
42	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
43	-1.0	0.0000	-1.0000	0.0000	
44	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
45	0.5	-0.866	0.5	-0.866	
46	8500000.0	24000.0	170.0	-0.070.0	
47	16.69				
48	37.18				
49	46.27				
50	64.37				
51	80.46				
52	230000.0	0.000			
53	115000.0	-199185.0			
54	-115000.0	-199185.0			
55	-230000.0	0.0			
56	-115000.0	199185.0			
57	115000.0	199185.0			
58	-10.0	27.80			
59	-10.0	27.80			
60	-10.0	15.40			
61	10.0	15.40			
62	10.0	27.80			
63	10.0	27.80			
64	10.0	27.80			

1	2.29	0.43
2	2.04	1.42
3	1.90	3.05
4	1.78	3.47
5	1.62	6.10
6	1.42	7.42
7	1.27	0.43
8	1.10	10.47
9	0.95	12.79
10	0.85	13.77
11	0.94	15.24
12	0.95	16.76
13	0.95	18.29
14	0.95	19.21
15	0.94	21.34
16	0.95	22.38
17	0.95	24.38
18	0.95	25.91
19	0.90	27.42
20	2.78	27.29
21	0.00	0.00
22	3.05	0.00
23	6.10	0.00
24	0.14	0.00
25	12.20	0.00
26	15.24	0.00
27	18.29	0.00
28	21.34	0.00
29	24.38	0.00
30	27.43	0.00
31	76.20	21.11
32	230000.0	0.00
33	115000.0	-199185.0
34	-115000.0	-199185.0
35	-230000.0	0.00
36	-115000.0	199185.0
37	115000.0	199185.0
38	0.1	
39	0.2	
40	0.3	
41	0.4	
42	0.5	
43	0.6	
44	0.7	
45	0.8	
46	0.9	
47	68.0	25000000.0 1.00
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		
100		

## DATOS DEL SISTEMA:

VOLTAJE A TIERRA DEL SISTEMA: 230000.00

NUMERO DE FASES: 3

NUMERO DE TORCIONES: 1

1 SUBCONDUCTOR POR FASE

RESISTIVIDAD DEL TERREO: 1160.0

FRECUENCIA: 60.0

## DATOS DE LOS CONDUCTORES

Y CONFIGURACION DE LA LINEA:

CONDUCTOR	DISTANCIA HORIZ. AL CENTRO DE LA LINEA (M)	ALTURA (M)	RADIO (M)	RNC (%)	RESIST. (OHMS)
A	-10.00	27.80	.0112	.0092600	0.134
B	-10.00	21.80	.0112	.0092600	0.134
C	-10.00	15.80	.0112	.0092600	0.134
D	10.00	15.80	.0112	.0092600	0.134
E	10.00	21.80	.0112	.0092600	0.134
F	10.00	27.80	.0112	.0092600	0.134
G1	-1.31	35.03	.0043	.0005700	2.130
G2	1.31	35.03	.0043	.0005700	2.130

## MATRIZ DE COEFICIENTES SEPT. (00"/K°)

16	0.241E+00	0.107E+00	0.986E-01	0.984E-01	0.102E+00	0.106E+00
17	0.797E+00	0.313E+00	0.265E+00	0.215E+00	0.219E+00	0.219E+00
18	0.107E+00	0.212E+00	0.950E-01	0.949E-01	0.982E-01	0.102E+00
19	0.313E+00	0.865E+00	0.320E+00	0.226E+00	0.226E+00	0.221E+00
20	0.986E-01	0.950E-01	0.226E+00	0.919E-01	0.949E-01	0.984E-01
21	0.265E+00	0.320E+00	0.111E+00	0.233E+00	0.226E+00	0.214E+00
22	0.950E-01	0.949E-01	0.212E+00	0.226E+00	0.950E-01	0.949E-01
23	0.212E+00	0.226E+00	0.233E+00	0.911E+00	0.320E+00	0.265E+00
24	0.102E+00	0.982E-01	0.919E-01	0.950E-01	0.232E+00	0.102E+00
25	0.219E+00	0.226E+00	0.226E+00	0.429E+00	0.507E+00	0.313E+00
26	0.106E+00	0.102E+00	0.986E-01	0.984E-01	0.102E+00	0.219E+00
27	0.219E+00	0.219E+00	0.214E+00	0.265E+00	0.313E+00	0.179E+00

## MATRIZ DE COEFICIENTES (DARF/°°)

42	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
43	0.145E+09	0.317E+09	0.189E+08	0.475E+07	0.109E+08	0.116E+08
44	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
45	0.317E+08	0.144E+09	0.297E+08	0.963E+07	0.112E+08	0.109E+08
46	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
47	0.189E+08	0.297E+08	0.144E+08	0.963E+07	0.963E+07	0.275E+07
48	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
49	0.000E+00	0.963E+07	0.963E+07	0.141E+09	0.297E+08	0.189E+08
50	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
51	0.109E+08	0.112E+08	0.109E+08	0.297E+08	0.145E+08	0.317E+08
52	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
53	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
54	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
55	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
56	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
57	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
58	0.116E+08	0.109E+08	0.875E+07	0.189E+08	0.317E+08	0.145E+08

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62

MATRIZ DE IMPEDANCIA SERIE (COMP. SIMETRICAS)  
(OHMS/KM)

0.720E+00	0.167E-01	0.102E-01	-0.373E+00	-0.177E-01	0.378E-07
0.207E+01	-0.412E-02	-0.900E-02	0.000E+00	-0.100E-01	-0.165E-01
0.478E-02	0.135E+00	0.135E-04	-0.415E-01	0.183E-04	-0.732E-01
-0.165E-01	0.616E+00	0.210E-08	0.241E-01	0.792E-04	-0.621E-01
-0.177E-01	0.475E-04	0.135E+00	0.663E-04	-0.213E-01	0.133E-04
-0.108E-01	-0.110E-03	0.500E+00	0.144E-04	0.144E-01	0.792E-04
-0.373E-07	0.416E-01	0.470E-04	0.134E+00	0.691E-04	-0.415E-01
-0.596E-07	0.210E+01	-0.523E-04	0.427E+00	-0.144E-01	0.241E-01
0.182E-01	-0.135E-04	0.250E-04	0.371E-04	0.133E+00	0.130E-03
-0.989E-02	-0.702E-04	0.144E-01	-0.528E-04	0.500E+00	0.1210E-04
0.167E-01	0.736E-01	-0.181E-04	0.416E-01	0.878E-04	0.1335E+00
-0.412E-02	-0.120E-01	-0.702E-04	0.237E-01	-0.110E-03	0.633E+00

MATRIZ DE CAPACITANCIA (COULOMB X KM)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.738E-08	-0.143E-08	-0.632E-09	-0.213E-09	-0.283E-09	-0.353E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.143E-08	0.738E-08	-0.137E-08	-0.218E-09	-0.277E-09	-0.283E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.632E-09	-0.137E-08	0.754E-08	-0.270E-09	-0.248E-09	-0.213E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.213E-09	-0.270E-09	-0.248E-09	0.754E-08	-0.137E-08	-0.632E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.283E-09	-0.277E-09	-0.248E-09	-0.137E-08	0.761E-08	-0.143E-08
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.353E-09	-0.213E-09	-0.213E-09	-0.632E-09	-0.143E-08	0.738E-08

2  
 3  
 4  
 5  
 6  
 7  
 8  
 9  
 10  
 11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100  
 101  
 102  
 103  
 104  
 105  
 106  
 107  
 108  
 109  
 110  
 111  
 112  
 113  
 114  
 115  
 116  
 117  
 118  
 119  
 120  
 121  
 122  
 123  
 124  
 125  
 126  
 127  
 128  
 129  
 130  
 131  
 132  
 133  
 134  
 135  
 136  
 137  
 138  
 139  
 140  
 141  
 142  
 143  
 144  
 145  
 146  
 147  
 148  
 149  
 150  
 151  
 152  
 153  
 154  
 155  
 156  
 157  
 158  
 159  
 160  
 161  
 162  
 163  
 164  
 165  
 166  
 167  
 168  
 169  
 170  
 171  
 172  
 173  
 174  
 175  
 176  
 177  
 178  
 179  
 180  
 181  
 182  
 183  
 184  
 185  
 186  
 187  
 188  
 189  
 190  
 191  
 192  
 193  
 194  
 195  
 196  
 197  
 198  
 199  
 200  
 201  
 202  
 203  
 204  
 205  
 206  
 207  
 208  
 209  
 210  
 211  
 212  
 213  
 214  
 215  
 216  
 217  
 218  
 219  
 220  
 221  
 222  
 223  
 224  
 225  
 226  
 227  
 228  
 229  
 230  
 231  
 232  
 233  
 234  
 235  
 236  
 237  
 238  
 239  
 240  
 241  
 242  
 243  
 244  
 245  
 246  
 247  
 248  
 249  
 250  
 251  
 252  
 253  
 254  
 255  
 256  
 257  
 258  
 259  
 260  
 261  
 262  
 263  
 264  
 265  
 266  
 267  
 268  
 269  
 270  
 271  
 272  
 273  
 274  
 275  
 276  
 277  
 278  
 279  
 280  
 281  
 282  
 283  
 284  
 285  
 286  
 287  
 288  
 289  
 290  
 291  
 292  
 293  
 294  
 295  
 296  
 297  
 298  
 299  
 300  
 301  
 302  
 303  
 304  
 305  
 306  
 307  
 308  
 309  
 310  
 311  
 312  
 313  
 314  
 315  
 316  
 317  
 318  
 319  
 320  
 321  
 322  
 323  
 324  
 325  
 326  
 327  
 328  
 329  
 330  
 331  
 332  
 333  
 334  
 335  
 336  
 337  
 338  
 339  
 340  
 341  
 342  
 343  
 344  
 345  
 346  
 347  
 348  
 349  
 350  
 351  
 352  
 353  
 354  
 355  
 356  
 357  
 358  
 359  
 360  
 361  
 362  
 363  
 364  
 365  
 366  
 367  
 368  
 369  
 370  
 371  
 372  
 373  
 374  
 375  
 376  
 377  
 378  
 379  
 380  
 381  
 382  
 383  
 384  
 385  
 386  
 387  
 388  
 389  
 390  
 391  
 392  
 393  
 394  
 395  
 396  
 397  
 398  
 399  
 400  
 401  
 402  
 403  
 404  
 405  
 406  
 407  
 408  
 409  
 410  
 411  
 412  
 413  
 414  
 415  
 416  
 417  
 418  
 419  
 420  
 421  
 422  
 423  
 424  
 425  
 426  
 427  
 428  
 429  
 430  
 431  
 432  
 433  
 434  
 435  
 436  
 437  
 438  
 439  
 440  
 441  
 442  
 443  
 444  
 445  
 446  
 447  
 448  
 449  
 450  
 451  
 452  
 453  
 454  
 455  
 456  
 457  
 458  
 459  
 460  
 461  
 462  
 463  
 464  
 465  
 466  
 467  
 468  
 469  
 470  
 471  
 472  
 473  
 474  
 475  
 476  
 477  
 478  
 479  
 480  
 481  
 482  
 483  
 484  
 485  
 486  
 487  
 488  
 489  
 490  
 491  
 492  
 493  
 494  
 495  
 496  
 497  
 498  
 499  
 500  
 501  
 502  
 503  
 504  
 505  
 506  
 507  
 508  
 509  
 510  
 511  
 512  
 513  
 514  
 515  
 516  
 517  
 518  
 519  
 520  
 521  
 522  
 523  
 524  
 525  
 526  
 527  
 528  
 529  
 530  
 531  
 532  
 533  
 534  
 535  
 536  
 537  
 538  
 539  
 540  
 541  
 542  
 543  
 544  
 545  
 546  
 547  
 548  
 549  
 550  
 551  
 552  
 553  
 554  
 555  
 556  
 557  
 558  
 559  
 560  
 561  
 562  
 563  
 564  
 565  
 566  
 567  
 568  
 569  
 570  
 571  
 572  
 573  
 574  
 575  
 576  
 577  
 578  
 579  
 580  
 581  
 582  
 583  
 584  
 585  
 586  
 587  
 588  
 589  
 590  
 591  
 592  
 593  
 594  
 595  
 596  
 597  
 598  
 599  
 600  
 601  
 602  
 603  
 604  
 605  
 606  
 607  
 608  
 609  
 610  
 611  
 612  
 613  
 614  
 615  
 616  
 617  
 618  
 619  
 620  
 621  
 622  
 623  
 624  
 625  
 626  
 627  
 628  
 629  
 630  
 631  
 632  
 633  
 634  
 635  
 636  
 637  
 638  
 639  
 640  
 641  
 642  
 643  
 644  
 645  
 646  
 647  
 648  
 649  
 650  
 651  
 652  
 653  
 654  
 655  
 656  
 657  
 658  
 659  
 660  
 661  
 662  
 663  
 664  
 665  
 666  
 667  
 668  
 669  
 670  
 671  
 672  
 673  
 674  
 675  
 676  
 677  
 678  
 679  
 680  
 681  
 682  
 683  
 684  
 685  
 686  
 687  
 688  
 689  
 690  
 691  
 692  
 693  
 694  
 695  
 696  
 697  
 698  
 699  
 700  
 701  
 702  
 703  
 704  
 705  
 706  
 707  
 708  
 709  
 710  
 711  
 712  
 713  
 714  
 715  
 716  
 717  
 718  
 719  
 720  
 721  
 722  
 723  
 724  
 725  
 726  
 727  
 728  
 729  
 730  
 731  
 732  
 733  
 734  
 735  
 736  
 737  
 738  
 739  
 740  
 741  
 742  
 743  
 744  
 745  
 746  
 747  
 748  
 749  
 750  
 751  
 752  
 753  
 754  
 755  
 756  
 757  
 758  
 759  
 760  
 761  
 762  
 763  
 764  
 765  
 766  
 767  
 768  
 769  
 770  
 771  
 772  
 773  
 774  
 775  
 776  
 777  
 778  
 779  
 780  
 781  
 782  
 783  
 784  
 785  
 786  
 787  
 788  
 789  
 790  
 791  
 792  
 793  
 794  
 795  
 796  
 797  
 798  
 799  
 800  
 801  
 802  
 803  
 804  
 805  
 806  
 807  
 808  
 809  
 810  
 811  
 812  
 813  
 814  
 815  
 816  
 817  
 818  
 819  
 820  
 821  
 822  
 823  
 824  
 825  
 826  
 827  
 828  
 829  
 830  
 831  
 832  
 833  
 834  
 835  
 836  
 837  
 838  
 839  
 840  
 841  
 842  
 843  
 844  
 845  
 846  
 847  
 848  
 849  
 850  
 851  
 852  
 853  
 854  
 855  
 856  
 857  
 858  
 859  
 860  
 861  
 862  
 863  
 864  
 865  
 866  
 867  
 868  
 869  
 870  
 871  
 872  
 873  
 874  
 875  
 876  
 877  
 878  
 879  
 880  
 881  
 882  
 883  
 884  
 885  
 886  
 887  
 888  
 889  
 890  
 891  
 892  
 893  
 894  
 895  
 896  
 897  
 898  
 899  
 900  
 901  
 902  
 903  
 904  
 905  
 906  
 907  
 908  
 909  
 910  
 911  
 912  
 913  
 914  
 915  
 916  
 917  
 918  
 919  
 920  
 921  
 922  
 923  
 924  
 925  
 926  
 927  
 928  
 929  
 930  
 931  
 932  
 933  
 934  
 935  
 936  
 937  
 938  
 939  
 940  
 941  
 942  
 943  
 944  
 945  
 946  
 947  
 948  
 949  
 950  
 951  
 952  
 953  
 954  
 955  
 956  
 957  
 958  
 959  
 960  
 961  
 962  
 963  
 964  
 965  
 966  
 967  
 968  
 969  
 970  
 971  
 972  
 973  
 974  
 975  
 976  
 977  
 978  
 979  
 980  
 981  
 982  
 983  
 984  
 985  
 986  
 987  
 988  
 989  
 990  
 991  
 992  
 993  
 994  
 995  
 996  
 997  
 998  
 999  
 1000  
 1001  
 1002  
 1003  
 1004  
 1005  
 1006  
 1007  
 1008  
 1009  
 1010  
 1011  
 1012  
 1013  
 1014  
 1015  
 1016  
 1017  
 1018  
 1019  
 1020  
 1021  
 1022  
 1023  
 1024  
 1025  
 1026  
 1027  
 1028  
 1029  
 1030  
 1031  
 1032  
 1033  
 1034  
 1035  
 1036  
 1037  
 1038  
 1039  
 1040  
 1041  
 1042  
 1043  
 1044  
 1045  
 1046  
 1047  
 1048  
 1049  
 1050  
 1051  
 1052  
 1053  
 1054  
 1055  
 1056  
 1057  
 1058  
 1059  
 1060  
 1061  
 1062  
 1063  
 1064  
 1065  
 1066  
 1067  
 1068  
 1069  
 1070  
 1071  
 1072  
 1073  
 1074  
 1075  
 1076  
 1077  
 1078  
 1079  
 1080  
 1081  
 1082  
 1083  
 1084  
 1085  
 1086  
 1087  
 1088  
 1089  
 1090  
 1091  
 1092  
 1093  
 1094  
 1095  
 1096  
 1097  
 1098  
 1099  
 1100  
 1101  
 1102  
 1103  
 1104  
 1105  
 1106  
 1107  
 1108  
 1109  
 1110  
 1111  
 1112  
 1113  
 1114  
 1115  
 1116  
 1117  
 1118  
 1119  
 1120  
 1121  
 1122  
 1123  
 1124  
 1125  
 1126  
 1127  
 1128  
 1129  
 1130  
 1131  
 1132  
 1133  
 1134  
 1135  
 1136  
 1137  
 1138  
 1139  
 1140  
 1141  
 1142  
 1143  
 1144  
 1145  
 1146  
 1147  
 1148  
 1149  
 1150  
 1151  
 1152  
 1153  
 1154  
 1155  
 1156  
 1157  
 1158  
 1159  
 1160  
 1161  
 1162  
 1163  
 1164  
 1165  
 1166  
 1167  
 1168  
 1169  
 1170  
 1171  
 1172  
 1173  
 1174  
 1175  
 1176  
 1177  
 1178  
 1179  
 1180  
 1181  
 1182  
 1183  
 1184  
 1185  
 1186  
 1187  
 1188  
 1189  
 1190  
 1191  
 1192  
 1193  
 1194  
 1195  
 1196  
 1197  
 1198  
 1199  
 1200  
 1201  
 1202  
 1203  
 1204  
 1205  
 1206  
 1207  
 1208  
 1209  
 1210  
 1211  
 1212  
 1213  
 1214  
 1215  
 1216  
 1217  
 1218  
 1219  
 1220  
 1221  
 1222  
 1223  
 1224  
 1225  
 1226  
 1227  
 1228  
 1229  
 1230  
 1231  
 1232  
 1233  
 1234  
 1235  
 1236  
 1237  
 1238  
 1239  
 1240  
 1241  
 1242  
 1243  
 1244  
 1245  
 1246  
 1247  
 1248  
 1249  
 1250  
 1251  
 1252  
 1253  
 1254  
 1255  
 1256  
 1257  
 1258  
 1259  
 1260  
 1261  
 1262  
 1263  
 1264  
 1265  
 1266  
 1267  
 1268  
 1269  
 1270  
 1271  
 1272  
 1273  
 1274  
 1275  
 1276  
 1277  
 1278  
 1279  
 1280  
 1281  
 1282  
 1283  
 1284  
 1285  
 1286  
 1287  
 1288  
 1289  
 1290  
 1291  
 1292  
 1293  
 1294  
 1295  
 1296  
 1297  
 1298  
 1299  
 1300  
 1301  
 1302  
 1303  
 1304  
 1305  
 1306  
 1307  
 1308  
 1309  
 1310  
 1311  
 1312  
 1313  
 1314  
 1315  
 1316  
 1317  
 1318  
 1319  
 1320  
 1321  
 1322  
 1323  
 1324  
 1325  
 1326  
 1327  
 1328  
 1329  
 1330  
 1331  
 1332  
 1333  
 1334  
 1335  
 1336  
 1337  
 1338  
 1339  
 1340  
 1341  
 1342  
 1343  
 1344  
 1345  
 1346  
 1347  
 1348  
 1349  
 1350  
 1351  
 1352  
 1353  
 1354  
 1355  
 1356  
 1357  
 1358  
 1359  
 1360  
 1361  
 1362  
 1363  
 1364  
 1365  
 1366  
 1367  
 1368  
 1369  
 1370  
 1371  
 1372  
 1373  
 1374  
 1375  
 1376  
 1377  
 1378  
 1379  
 1380  
 1381  
 1382  
 1383  
 1384  
 1385  
 1386  
 1387  
 1388  
 1389  
 1390  
 1391  
 1392  
 1393  
 1394  
 1395  
 1396  
 1397  
 1398  
 1399  
 1400  
 1401  
 1402  
 1403  
 1404  
 1405  
 1406  
 1407  
 1408  
 1409  
 1410  
 1411  
 1412  
 1413  
 1414  
 1415  
 1416  
 1417  
 1418  
 1419  
 1420  
 1421  
 1422  
 1423  
 1424  
 1425  
 1426  
 1427  
 1428  
 1429  
 1430  
 1431  
 1432  
 1433  
 1434  
 1435  
 1436  
 1437  
 1438  
 1439  
 1440  
 1441  
 1442  
 1443  
 1444  
 1445  
 1446  
 1447  
 1448  
 1449  
 1450  
 1451  
 1452  
 1453  
 1454  
 1455  
 1456  
 1457  
 1458  
 1459  
 1460  
 1461  
 1462  
 1463  
 1464  
 1465  
 1466  
 1467  
 1468  
 1469  
 1470  
 1471  
 1472  
 1473  
 1474  
 1475  
 1476  
 1477  
 1478  
 1479  
 1480  
 1481  
 1482  
 1483  
 1484  
 1485  
 1486  
 1487  
 1488  
 1489  
 1490  
 1491  
 1492

## PARAMETROS DE LA LINEA PARÁ EL CASO TRANSICION:

ZPF\_ZA (OHV/K")  
 (0.9328466,0.804412) (0.9580167E-02,0.2529593)  
 Z1\_1\_700 (OHV/K")  
 (0.1343665,0.5514716) (0.7258175,2.0664227)  
 PP\_PP (PARA/K")  
 (0.0000000E+00,1.4301099E+08) (0.0000000E+00,1.6733849E+07)  
 CP\_CM (PARA/K")  
 (0.0000000E+00,7.4001289E-03) (0.0000000E+00,-6.1651750E-10)  
 YPE\_YM (STEP/K")  
 (0.0000000E+00,2.8238257E-06) (0.0000000E+00,-2.3242212E-07)  
 Y11\_Y00 (STEP/K")  
 (0.0000000E+00,1.6622477E-06) (0.0000000E+00,1.6677151E-06)

POTENCIA CARACTERISTICA (W): 747937600.00  
 CAPACIDAD DE TRANSMISION (VA): 924600000.00  
 LONGITUD (KM) VOLTAJE POTENCIA PERDIDAS EFICIA  
 (M) (V) (W) (W) (%)

16.09000	0.6573769	2.0730277E+10	4272854	93.12125
32.18000	1.271661	1.3460042E+10	9847680	96.85487
48.27000	1.904311	9.0500721E+09	1.4777792E+07	98.29131
64.37000	2.776379	6.8406313E+09	1.9718464E+07	97.73299
80.46000	3.102221	5.5160148E+09	2.4066176E+07	97.15017

CONDUCTOR:	CLAS. DE	GRADIENTE DE
	SUBCATEGORIA (VZ)	TIPICA (%)
A	26795.40	1456.436
B	24920.36	1431.307
C	27623.05	1431.517
D	27623.12	1442.924
E	24920.39	2120.430
F	26795.31	2492.452
X	GRADIENTE DE	TIPICA (%)
2.290000	0.000000E+00	1456.436
2.040000	1.520000	1431.307
1.900000	1.050000	1431.517
1.780000	4.570000	1442.924
1.620000	6.110000	2120.430
1.420000	7.290000	2492.452
1.270000	9.140000	3187.922
1.100000	13.470000	3777.422
0.950000	17.190000	4623.920
0.950000	18.720000	5117.711
0.950000	18.240000	6193.537
0.950000	18.760000	6567.873
0.950000	18.290000	7521.993
0.950000	19.810000	7449.574
0.950000	21.340000	8201.018
0.950000	22.280000	1177.872
0.950000	24.380000	7012.134
0.950000	25.910000	7450.001
0.000000E+00	27.820000	6659.694
2.780000	27.120000	7621.754
0.000000E+00	0.000000E+00	1717.864
3.050000	0.000000E+00	1850.967
6.100000	0.000000E+00	2327.213
9.140000	0.000000E+00	2492.452
12.190000	0.000000E+00	2938.303
15.240000	0.000000E+00	2990.597
18.290000	0.000000E+00	2521.342
21.340000	0.000000E+00	2150.244
24.380000	0.000000E+00	1867.780
27.430000	0.000000E+00	1442.352

## PERDIDAS POR EFECTO CORONA

PRESTON (C <sup>2</sup> - HG)	TEMPERATURA (C.)	FACTORES DE SUB	GRADIENTE (C./C.)	PERDIDAS (S./H.)
76,20000	21,11000	0,1000000	7,718016	3204,711
76,20000	21,11000	0,2000000	5,436032	2512,577
76,20000	21,11000	0,3000000	4,154048	1692,562
76,20000	21,11000	0,4000000	3,087206	1380,605
76,20000	21,11000	0,5000000	2,54006	944,717
76,20000	21,11000	0,6000000	1,630810	585,0291
76,20000	21,11000	0,7000000	1,02611	313,3497
76,20000	21,11000	0,8000000	21,74413	125,8492
76,20000	21,11000	0,9000000	24,46214	22,4079

CORRIENTE DE LINEA EN CADA FASE (A)			
MAGNITUD DE LA	ANGULO	COMPONENTES DE LA	
<b>CORRIENTE (AMPERES)</b>			
615.9420	0.0000000E+00	(615.9420,0.0000000E+00)	
615.9420	-76.60000	(407.4403,-533.4100)	
615.9420	-126.0000	(-307.2523,-533.4100)	
615.9420	-189.0000	(-615.9420,-2.248044E-02)	
615.9420	-240.0000	(-308.0084,533.4100)	
615.9420	-300.0000	(407.4403,533.4100)	
<b>VOLTAJE DE RECEPCION EN CADA FASE (V)</b>			
MAGNITUD DEL VOLTAJE (VOLTS)	ANGULO	COMPONENTES DEL VOLTAJE (VOLTS)	
230000.0	0.0000000E+00	(230000.0,0.0000000E+00)	
230000.0	-1.017185	(115000.0,-199185.0)	
230000.0	-2.094397	(-115000.0,-199185.0)	
230000.0	1.141854	(-230000.0,0.0000000E+00)	
230000.0	2.094397	(-115000.0,199185.0)	
230000.0	1.017185	(115000.0,199185.0)	
<b>VOLTAJE DE LINEA EN CADA FASE (V)</b>			
MAGNITUD DEL VOLTAJE (VOLTS)	ANGULO	COMPONENTES DEL VOLTAJE (VOLTS)	
241699.6	0.1074223	(240336.4,75914.01)	
241699.6	-0.942451	(192000.0,-189200.0)	
241278.1	-1.978485	(-91699.05,-212323.5)	
240231.5	-1.032233	(-236776.0,-20215.52)	
225890.4	2.212394	(-141174.8,188981.4)	
231841.2	1.156772	(3114.41,212066.9)	
<b>CORRIENTE DE LINEA EN CADA FASE (A)</b>			
MAGNITUD DE LA CORRIENTE (AMPERES)	ANGULO	COMPONENTES DE LA CORRIENTE (AMPERES)	
607.8185	7.0328742E-02	(606.3160,42.71198)	
615.0064	-0.9415278	(302.0130,-511.0164)	
622.5786	-2.023667	(-272.4193,-550.8141)	
607.3730	-1.004200	(-605.7050,-43.55843)	
614.3752	2.169700	(-341.2544,510.4839)	
622.5407	1.119081	(774.0410,550.1711)	

1	MAGNITUD DE LA
2	CORRIENTE DE DEFENSO EN CADA FASE.
3	EN COMPONENTES SIMÉTRICAS (A)
4	1.0796406E-02
5	615.9330
6	1.0790795E-02
7	6.2364410E-04
8	5.4420419E-04
9	7.9890049E-04
10	
11	MAGNITUD DE LA
12	CORRIENTE DE FVTC EN CADA FASE
13	EN COMPONENTES SIMÉTRICAS (A)
14	0.5936839
15	615.0042
16	0.1581557
17	3.312279
18	9.1038035E-02
19	5.340374
20	FACTORES DE DEFENSO
21	ELECTROMAGNÉTICO (ELECTROSTÁTICO)
22	0.19
23	100.00
24	0.00
25	100.00
26	0.04
27	0.00
28	0.54
29	0.00
30	0.87
31	0.00
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	

1	60.0	100.00	100.00	0.00	0.00
2	0.049	27.80	0.0180	0.0145	-0.559
3	0.048	21.80	0.0180	0.0152	-0.559
4	0.049	15.80	0.0180	0.0154	-0.559
5	0.049	15.80	0.0180	0.0154	-0.559
6	0.049	21.80	0.0180	0.0153	-0.559
7	0.049	27.80	0.0180	0.0145	-0.559
8	7.130	35.03	0.0000	0.0000	-3.3082
9	7.130	35.03	0.0000	0.0000	-3.3082
10	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
11	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
12	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
13	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
14	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
15	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
16	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
17	0.5	-0.866	0.5	-0.866	
18	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
19	-1.0	0.000	-1.0	0.000	
20	-0.5	0.866	-0.5	0.866	
21	0.5	0.866	0.5	0.866	
22	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
23	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
24	-0.5	0.866	-0.5	0.866	
25	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
26	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
27	-0.5	0.866	-0.5	0.866	
28	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
29	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
30	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
31	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
32	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
33	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
34	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
35	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
36	-0.5	0.866	-0.5	0.866	
37	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
38	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
39	-0.5	0.866	-0.5	0.866	
40	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
41	0.5	0.866	0.5	0.866	
42	-0.5	0.866	-0.5	0.866	
43	-1.0	0.0000	-1.0000	0.0000	
44	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	
45	0.5	-0.866	0.5	-0.866	
46	8500000.00	0.132760	0.109200	1250.0	
47	16.09				
48	32.18				
49	48.27				
50	64.37				
51	80.46				
52	132790.0				
53	66395.0	-115.0000			
54	-66395.0	-115.0000			
55	-132790.0	0.0			
56	-66395.0	115.0000			
57	66395.0	115.0000			
58	-10.0	21.80			
59	-10.0	21.80			
60	-10.0	15.80			
61	10.0	15.80			
62	10.0	21.80			
63	10.0	21.80			
64	10.0	27.80			
65	10.0	27.80			
66	12.14	6.90	0.2245	6.7890	12.4487
67	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
68	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
69	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
70	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
71	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
72	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
73	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
74	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
75	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
76	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
77	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
78	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
79	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
80	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
81	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
82	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
83	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
84	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
85	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
86	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
87	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
88	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
89	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
90	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
91	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
92	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
93	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
94	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
95	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
96	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
97	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
98	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
99	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
100	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

2	2.79	0.00
3	2.04	1.52
4	1.90	3.05
5	1.78	4.57
6	1.62	6.10
7	1.42	7.62
8	1.27	9.14
9	1.10	10.67
10	0.95	12.19
11	0.05	13.72
12	0.95	15.24
13	0.05	16.76
14	0.95	18.29
15	0.05	19.81
16	0.95	21.34
17	0.05	22.86
18	0.95	24.38
19	0.05	25.91
20	0.00	27.42
21	2.78	27.42
22	0.00	0.00
23	3.05	0.00
24	6.10	0.00
25	9.14	0.00
26	12.19	0.00
27	15.24	0.00
28	18.29	0.00
29	21.34	0.00
30	24.38	0.00
31	27.43	0.00
32	76.20	21.11
33	132790.0	0.00
34	66395.0	-11500.0
35	-66395.0	-11500.0
36	-132700.0	0.00
37	-66395.0	11500.0
38	66395.0	11500.0
39	0.1	
40	0.2	
41	0.4	
42	0.5	
43	0.6	
44	0.7	
45	0.8	
46	0.0	
47	68.0	85000000.0 1.00
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		

123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890



1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63

MATRIZ DE IMPEDANCA DE FIM (OHM/KM)

0.156E+00	0.102E+00	0.986E-01	0.984E-01	0.102E+00	0.106E+00
0.763E+00	0.312E+00	0.285E+00	0.212E+00	0.212E+00	0.312E+00
0.102E+00	0.102E+00	0.986E-01	0.984E-01	0.982E-01	0.102E+00
0.313E+00	0.771E+00	0.320E+00	0.226E+00	0.226E+00	0.719E+00
0.986E+01	0.980E+01	0.141E+00	0.910E-01	0.943E-01	0.2984E-01
0.265E+00	0.320E+00	0.771E+00	0.233E+00	0.226E+00	0.214E+00
0.984E-01	0.910E-01	0.141E+00	0.141E+00	0.950E-01	0.940E-01
0.214E+00	0.226E+00	0.233E+00	0.777E+00	0.320E+00	0.265E+00
0.102E+00	0.987E-01	0.949E-01	0.950E+01	0.147E+00	0.102E+00
0.219E+00	0.226E+00	0.233E+00	0.320E+00	0.771E+00	0.313E+00
0.106E+00	0.102E+00	0.984E-01	0.986E-01	0.102E+00	0.106E+00
0.219E+00	0.219E+00	0.214E+00	0.265E+00	0.313E+00	0.1763E+00

MATRIZ DE COEFICIENTES (OHM/KM)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.136E+09	0.312E+09	0.149E+09	0.875E+07	0.102E+09	0.116E+09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.317E+08	0.135E+09	0.297E+08	0.963E+07	0.112E+09	0.109E+08
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.199E+08	0.297E+08	0.132E+09	0.903E+07	0.903E+07	0.875E+07
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.875E+07	0.963E+07	0.903E+07	0.132E+09	0.297E+08	0.189E+08
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.109E+08	0.112E+09	0.109E+08	0.297E+08	0.132E+09	0.317E+08
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.116E+08	0.149E+08	0.875E+07	0.189E+08	0.317E+08	0.136E+09

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63

## MATRIZ DE TOLERANCIA SERIE (CON SIMILICIAS)

0.641E+00	-0.167E-01	-0.182E-01	-0.011E-09	-0.177E-01	-0.478E-02
0.703E+00	-0.472E-02	-0.099E-02	-0.149E-07	-0.108E-01	-0.165E-01
0.478E-02	0.109E-01	0.130E-03	-0.415E-01	0.183E-04	-0.732E-01
-0.165E-01	-0.011E+00	0.210E-04	-0.241E-01	0.792E-04	-0.327E-01
-0.177E-01	0.078E-04	0.401E-01	0.004E-04	-0.209E-01	0.113E-04
-0.108E-01	-0.110E-03	0.465E+00	0.143E-04	0.144E-01	0.792E-04
-0.149E-07	0.416E-01	0.471E-04	0.801E-01	0.693E-04	-0.415E-01
-0.496E-07	0.219E-01	-0.529E-02	-0.452E+00	0.131E-01	0.741E-01
0.182E-01	-0.182E-03	0.220E-01	0.471E-04	0.461E-01	0.139E-01
-0.989E-02	-0.702E-04	0.144E-01	-0.529E-04	0.465E+00	0.219E-04
0.167E-01	0.716E-01	-0.183E-04	0.416E-01	0.876E-04	0.498E-01
-0.417E-02	-0.320E-01	-0.792E-01	-0.233E-01	-0.155E-01	0.601E-01

## MATRIZ DE CAPACITANCIA (CONDICION X KM)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.790E+00	-0.162E-00	-0.608E-09	-0.272E-09	0.304E+00	-0.391E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.162E-00	0.818E+00	-0.155E-00	-0.271E-00	-0.312E-09	-0.302E-00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.608E-09	-0.155E-00	0.408E-00	-0.299E-09	-0.271E-09	-0.232E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.271E-09	-0.271E-00	-0.299E-09	0.338E+00	-0.155E-00	-0.041E-00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.304E-00	-0.302E-00	-0.271E-09	-0.155E-00	0.011E+00	-0.162E-00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.391E-09	-0.302E-00	-0.299E-09	-0.155E-00	-0.162E-00	0.790E+00

MATRIZ DE ADMITANCIA (SIEMENS/KM)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.298E-05	-0.32E-06	-2.63E-06	-8.77E-07	-1.17E-06	-1.17E-06
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-6.12E-06	0.308E-05	-5.88E-06	-1.02E-06	-1.14E-06	-1.11E-06
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-2.63E-06	-5.88E-06	0.105E-05	-1.13E-06	-1.27E-06	-1.44E-07
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-8.77E-07	-1.02E-06	-1.13E-06	0.305E-05	-5.84E-06	-2.63E-06
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-1.17E-06	-1.14E-06	-1.02E-06	-5.84E-06	0.305E-05	-1.02E-06
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-1.47E-06	-1.17E-06	-8.74E-07	-2.63E-06	-5.12E-06	0.298E-05

MATRIZ DE SUSCEPTANCIA REACTIVA (GIGAS/STADTICAS)  
[SIEMENS/KM]

0.000E+00	0.211E-07	-0.774E-07	0.000E+00	0.774E-07	-0.211E-07
0.173E-05	-0.366E-07	0.450E-07	0.568E-13	0.450E-07	-0.366E-07
-0.211E-07	0.284E-13	0.574E-08	0.208E-06	0.634E-08	0.331E-06
-0.366E-07	0.284E-05	-0.343E-05	-0.126E-06	-0.126E-12	0.191E-06
0.774E-07	-0.574E-08	-0.126E-11	0.208E-06	0.126E-06	0.284E-08
0.450E-07	-0.943E-09	0.154E-05	-0.508E-08	-0.126E-06	-0.341E-12
0.000E+00	-0.208E-06	-0.293E-08	0.000E+00	0.293E-08	-0.208E-06
0.000E+00	-0.120E-06	-0.508E-08	0.305E-05	-0.508E-08	-0.120E-06
-0.211E-07	-0.341E-09	-0.154E-06	-0.293E-08	0.305E-13	0.574E-08
0.450E-07	-0.341E-12	-0.112E-06	-0.508E-08	0.354E-05	-0.993E-09
0.211E-07	-0.331E-06	-0.634E-08	-0.208E-06	-0.574E-08	0.284E-13
-0.366E-07	0.191E-06	-0.126E-12	-0.126E-06	-0.943E-09	0.284E-05

## PARAMETROS DE LA LINEA PARA EL CASO TRANSURSION:

ZPF, YV (OH/7.2)  
 (0.187446E+02, 0.770170E1) (9.8520167E-02, 0.2529593)  
 Z11, Z00 (OH/7.2)  
 (4.9366474E-02, 0.5179112) (0.6408475, 2.034967)  
 PP, PV (DARAF/11)  
 (0.0000000E+00, 1.3484437E+02) (0.0000000E+00, 1.6713849E+07)  
 CP, CM (FAPR/1.1)  
 (0.0000000E+00, 3.0515266E-03) (0.0000000E+00, -6.9065798E+01)  
 YPE, YV (SIF/5.252)  
 (0.0000000E+00, 1.0353613E-06) (0.0000000E+00, -2.6037247E-07)  
 Y11, Y00 (SIF/5.252)  
 (0.0000000E+00, 2.2957377E-06) (0.0000000E+00, 1.7334988E-06)

POTENCIA CARACTERISTICA (VA): 76.009392, 00  
 CAPACIDAD DE TRANSMISION (VA): 2005024000, 00  
 LONGITUD (KM) VOLTS PER UNIT (KV) PER UNIT (KV) PER UNIT (KV)

16.09000	0.4545221	1.1549242E+13	5415680	99.16634
32.18000	2.156636	5.8574033E+09	1.0831808E+07	98.74072
48.27000	3.840573	3.472734E+08	1.6713849E+07	98.12274
64.37000	6.017725	3.0413996E+09	2.11670016E+07	97.51204
80.46000	8.852017	2.2105746E+09	2.7084210E+07	96.80900

CONDUCTOR: GRAV. OF SUPERHEATED (V/M)

A	10242.11
B	9525.21
C	10615.85
D	10615.85
E	9525.21
F	10242.11

X	Y	GRADIENT OF SUPERHEATED (V/M)
2.290000	0.000000E+00	1152.066
2.040000	1.820000	1137.469
1.900000	4.050000	1135.066
1.780000	6.870000	1141.299
1.670000	9.100000	1294.123
1.420000	7.020000	1572.123
1.270000	9.140000	1936.992
1.100000	11.260000	2385.298
0.9500000	12.140000	2604.313
0.8500000	13.720000	429.205
0.9500000	15.240000	3765.936
0.9500000	16.760000	3203.444
0.9500000	18.290000	4579.431
0.9500000	19.810000	555.454
0.9500000	21.340000	4924.427
0.9500000	22.860000	147.452
0.9500000	24.380000	4816.936
0.9500000	25.910000	182.451
0.0000000E+00	27.420000	4042.444
2.780000	27.920000	4270.210
0.0000000E+00	0.0000000E+00	1068.296
3.050000	0.0000000E+00	1224.872
6.100000	0.0000000E+00	1324.151
9.140000	0.0000000E+00	1722.330
12.190000	0.0000000E+00	1796.318
15.240000	0.0000000E+00	171.253
18.290000	0.0000000E+00	1537.509
21.340000	0.0000000E+00	1331.331
24.380000	0.0000000E+00	1136.237
27.420000	0.0000000E+00	925.232

## PERDIDAS POR EFECTO COMERCIAL

PERDIDA (C.M. 000)	TEMPERATURA (C.)	FACTUR P.P. 000	OPERTACION (C.M. 000)	PERDIDAS (C.M. 000)
76.20000	21.11000	0.1000000	2.520000	025.4711
76.20000	21.11000	0.2000000	3.184001	399.0456
76.20000	21.11000	0.3000000	7.720981	10.23100
76.20000	21.11000	0.4000000	10.36800	0.0000000E+00
76.20000	21.11000	0.5000000	15.20000	0.0000000E+00
76.20000	21.11000	0.6000000	15.55200	0.0000000E+00
76.20000	21.11000	0.7000000	15.21400	0.0000000E+00
76.20000	21.11000	0.8000000	20.73600	0.0000000E+00
76.20000	21.11000	0.9000000	24.42000	0.0000000E+00

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63

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

CORRIENTE DE RECEPCION EN CADA FASE  
(A)

MAGNITUD DE LA CORRIENTE (AMPERES)	ANGULO	COMPONENTES
1066.847	0.0000000E+00	(1066.847, 0.0000000E+00)
1066.847	-0.0000000	(533.4235, -923.8796)
1066.847	-1.0000000	(-1066.847, -5.611940E-12)
1066.847	-2.0000000	(-533.4235, 923.8796)
1066.847	-3.0000000	(533.4235, -923.8796)

## VOLTAJE DE RECEPCION EN CADA FASE:

MAGNITUD DEL VOLTAJE (VOLTS)	ANGULO	COMPONENTES
132790.0	0.0000000E+00	(132790.0, 0.0000000E+00)
132790.0	-1.047199	(66395.00, -115000.00)
132790.0	-2.094398	(-66395.00, -115000.00)
132790.0	3.141593	(-132790.0, 0.0000000E+00)
132790.0	2.094398	(66395.00, 115000.00)
132790.0	1.047199	(66395.00, 115000.00)

## VOLTAJE DE ENVIO EN CADA FASE:

MAGNITUD DEL VOLTAJE (VOLTS)	ANGULO	COMPONENTES
141447.3	0.0000000E+00	(141447.3, 0.0000000E+00)
144650.1	-0.7142941	(102297.3, -94763.25)
144426.5	-1.764628	(-25805.39, -131008.7)
142717.7	-2.518999	(-132790.0, -126952.80)
142428.0	-2.218863	(-106618.7, 94204.37)
134411.2	1.450071	(78377.54, 131341.4)

CORRIENTE DE ENVIO EN CADA FASE:  
(A)

MAGNITUD DE LA CORRIENTE (AMPERES)	ANGULO	COMPONENTES
1058.459	2.4493064E-02	(1058.128, 26.45233)
1063.343	-1.173632	(583.7228, -963.2063)
1067.266	-2.068889	(-510.1260, -938.0278)
1057.293	-3.110092	(-1058.128, -26.45233)
1062.730	2.147352	(-552.3420, 907.8504)
1068.165	1.071789	(511.2024, 937.9253)

1 MAGNITUD DE LA  
 2 COEFICIENTE DE EFICIENCIA EN CADA FASE.  
 3 EN COMPONENTES RECTANGULARES (1)

4 1.8689766E-02  
 5 1066.432  
 6 1.8694391E-02  
 7 1.0820420E-02  
 8 9.4066116E-03  
 9 1.3829816E-02

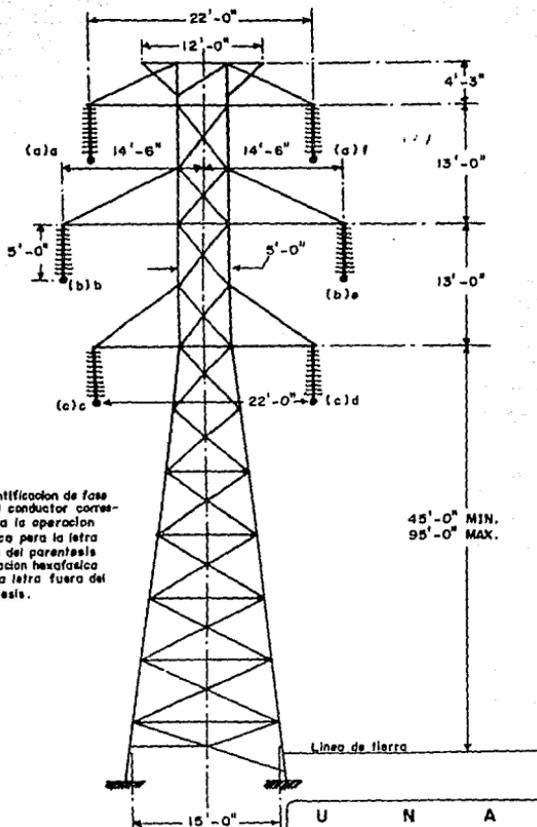
11 MAGNITUD DE LA  
 12 COEFICIENTE DE EFICIENCIA EN CADA FASE  
 13 EN COMPONENTES SIMÉTRICAS (1)

14 0.4507136  
 15 1063.027  
 16 0.1086748  
 17 2.1996779  
 18 6.0677923E-02  
 19 3.474517

21 FACTORES DE DIFUSIÓN DE  
 22 ELECTROMAGNETISMO CLASIFICADO

23	0.04	0.00
24	100.00	100.00
25	0.01	0.00
26	0.21	0.00
27	0.01	0.00
28	0.13	0.00

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62



La identificación de fase para el conductor corresponde a la operación trifásica para la torre dentro del paréntesis y operación hexafásica para la torre fuera del paréntesis.

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
YESIS PROFESIONAL			
TITULO: TORRE DE TRANSMISION WPS, 138 KV.			
FIGURA No.	ESCALA:	FECHA: 1988	

	60.0	-100.00	0.0117	5.01170	-3.35	A
	0.068	20.72	0.0147	5.01170	-4.41	A
	0.068	16.76	0.0147	5.01170	-4.41	A
	0.068	17.80	0.0147	5.01170	-3.35	C
	0.068	17.80	0.0147	5.01170	-3.35	C
	0.068	16.76	0.0147	5.01170	-4.41	E
	0.068	20.72	0.0147	5.01170	-3.35	F
8	2.130	21.62	0.0041	0.00057	11.89202	
9	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
10	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000		
11	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000		
12	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000		
13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
15	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000		
16	-0.5	-0.866	-0.5	0.866		
17	-0.5	-0.866	-0.5	0.866		
18	0.0	0.000	0.0	0.0		
19	0.0	0.000	0.0	0.0		
20	0.0	0.000	0.0	0.0		
21	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000		
22	-0.5	-0.866	-0.5	0.866		
23	-0.5	-0.866	-0.5	0.866		
24	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
25	0.0	0.000	0.0	0.0		
26	0.0	0.000	0.0	0.0		
27	0.0	0.000	0.0	0.0		
28	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
29	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
30	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000		
31	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000		
32	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000		
33	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
34	0.0	0.000	0.0	0.0		
35	0.0	0.000	0.0	0.0		
36	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000		
37	-0.5	-0.866	-0.5	0.866		
38	-0.5	-0.866	-0.5	0.866		
39	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
40	0.0	0.000	0.0	0.0		
41	0.0	0.000	0.0	0.000		
42	0.0	0.000	0.0	0.000		
43	1.0	0.0000	1.0000	0.0000		
44	-0.5	-0.866	-0.5	0.866		
45	-0.5	-0.866	-0.5	0.866		
46	83700000.0	0.000000	1051.0	100.0		
47	16.09					
48	32.17					
49	48.27					
50	64.37					
51	80.46					
52	23000.0	0.0000				
53	-115000.0	-199185.8				
54	-115000.0	-199185.8				
55	230000.0	0.0000				
56	-115000.0	-199185.8				
57	-115000.0	-199185.8				
58	-3.35	20.72				
59	-4.41	16.76				
60	-3.35	17.80				
61	3.35	17.80				
62	4.41	16.76				
63	3.35	20.72				



## DATOS DEL SISTEMA:

VOLTAJE A TIERRA DEL SISTEMA: 132750.56

NUMERO DE FASAS: 3

NUMERO DE CIRCUITOS: 2

1 SUBCONDUCTOR POR FASE

RESISTIVIDAD DEL TERRENO: 100.0

FRECUENCIA: 60.0

## DATOS DE LOS CONDUCTORES

Y CONFIGURACION DE LA LINEA:

CONDUCTOR	DISTANCIA HORIZ. DE LA TIERRA (M)	ALTURA (M)	RADIO (M)	AREA (M <sup>2</sup> )	RESIST. (OHM/KM)
A	-3.36	20.72	0.147	0.117600	0.1088
B	-3.41	16.76	0.147	0.117600	0.0988
C	-3.35	12.80	0.147	0.117600	0.0888
D	3.35	12.80	0.147	0.117600	0.0988
E	2.41	16.76	0.147	0.117600	0.0888
F	3.35	20.72	0.147	0.117600	0.0988
G1	11.00	23.62	0.043	0.0005700	2.130
G2	1.64	23.62	0.043	0.0005700	2.130

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63

MATRIZ DE IMPEDANCIA SERIE (OHM/KM)

13	0.155E+00	0.119E+00	0.121E+00
14	0.510E+00	0.298E+00	0.281E+00
15			
16	0.119E+00	0.151E+00	0.117E+00
17	0.298E+00	0.520E+00	0.298E+00
18			
19	0.121E+00	0.119E+00	0.158E+00
20	0.281E+00	0.298E+00	0.515E+00
21			
22			
23			
24			

MATRIZ DE COEFICIENTES (CHARA/KM)

25	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
26	0.707E+08	0.227E+08	0.183E+08
27			
28	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
29	0.227E+08	0.740E+08	0.227E+08
30			
31	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
32	0.183E+08	0.227E+08	0.707E+08
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			

MATRIZ DE IMPEDANCIA SERIE (COMP. SIMPLICAS)  
(OHMS/KM)

42			
43	0.393E+01	0.298E-02	-0.728E-02
44	0.110E+01	-0.298E-02	-0.646E-02
45			
46	-0.672E-02	0.341E+01	-0.818E-02
47	-0.646E-02	0.227E+00	0.300E-02
48			
49	0.896E-02	0.687E-02	0.341E+01
50	-0.259E-02	0.341E-02	0.271E+00
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			

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

MATRIZ DE CAPACITANCIA (COULOMB/KV)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.162E-07	-4.06E-09	-2.20E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-4.06E-08	0.100E-07	-4.06E-08
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-2.88E-09	-4.06E-08	0.162E-07

MATRIZ DE ADMITANCIA (SIEMENS/KV)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.611E-05	-1.54E-05	-1.09E-05
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-1.54E-05	0.43E-05	-1.54E-05
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-1.09E-05	-1.54E-05	0.611E-05

MATRIZ DE ADMITANCIA PARALELO (CO-P. STATISTICAS)  
(SIEMENS/KV)

0.000E+00	-1.52E-06	0.122E-06
0.331E-05	0.879E-07	0.079E-07
0.152E-06	0.128E-12	0.239E-06
0.879E-07	0.737E-05	-1.13E-06
-1.52E-06	-2.30E-06	-1.20E-12
0.079E-07	-1.13E-06	0.747E-05

## PARAMETROS DE LA LINEA PARA EL CASO TRANSUESTO:

ZPE-ZP 211.200,31238E+00 (0.000000)  
 (0.153457E+02,0.512900E+01) (0.149484,0.2910429)  
 (3.4107195E+02,0.226914) (0.3228035,1.090731)  
 PP-PW (DARAF/KM)  
 (0.0000000E+00,7.177634E+07) (0.0000000E+00,7.1297244E+07)  
 CP-CW (COULOMB/KM)  
 (0.0000000E+00,1.3142755E+04) (0.0000000E+00,-3.621691E+09)  
 YPE-YW Y11-Y00 (SIFRENS/KM)  
 (0.0000000E+00,0.0856123E+04) (0.0000000E+00,-1.3681441E+06)  
 (0.0000000E+00,7.4738173E+06) (0.0000000E+00,3.3094027E+06)

POTENCIA CARACTERISTICA (W) 1307058400.00  
 CAPACIDAD DE TRANSMISION (VA) 844517968.00  
 LONGITUD LEG. DE LINEA POTEN. CAR. PERDIDAS: PFC:  
 (KM) VOLT. (KV) MARTHA (W) (KV) (KV)

16.09000	0.4734665	1.2528303E+10	1815232.	99.56791
32.18000	1.626208	6.5003192E+09	3631072.	99.13940
48.27000	1.656542	3.2226831E+09	3111192.	98.71429
64.37000	2.371760	3.1942815E+09	2269288.	98.29205
80.46000	3.165805	2.3099174E+09	804488.	97.87112

CONDUCTOR:	GRAL. DE SUPERFICIE (V/L)	GRADIENTE DE TIERRA (RV/L)	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8	A	16080.66	
9			
10			
11	H	16310.96	
12			
13			
14	C	15940.10	
15			
16			
17	D	15920.11	
18			
19			
20			
21	F	16310.96	
22			
23			
24	F	16080.65	
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33	X		
34			
35	7.200000	0.0000000F+00	838.4368
36	2.040000	0.0000000F+00	457.8004
37	1.900000	1.550000	943.3644
38	1.780000	2.570000	1154.6966
39	1.620000	8.100000	1652.516
40	1.420000	7.270000	2016.187
41	1.270000	9.140000	4381.316
42	1.100000	10.870000	7469.124
43	0.9500000	12.190000	10774.43
44	0.9500000	13.720000	1466.775
45	0.9500000	15.240000	5461.340
46	0.9500000	16.760000	2337.632
47	0.9500000	18.280000	5730.683
48	0.9500000	19.810000	10165.23
49	0.9500000	21.340000	10955.94
50	0.9500000	22.860000	7111.185
51	0.9500000	24.380000	4516.208
52	0.9500000	25.910000	2762.626
53	0.0000000F+00	27.430000	1617.729
54	2.780000	27.430000	1511.505
55	0.0000000F+00	0.0000000F+00	799.6582
56	3.050000	0.0000000F+00	572.043
57	6.100000	0.0000000F+00	859.7266
58	9.140000	0.0000000F+00	705.6732
59	12.190000	0.0000000F+00	490.3961
60	15.240000	0.0000000F+00	316.1749
61	18.280000	0.0000000F+00	175.1370
62	21.340000	0.0000000F+00	95.61170
63	24.380000	0.0000000F+00	54.03147
64	27.430000	0.0000000F+00	34.01454
65			
66			
67			
68			
69			
70			

## PERDIDAS POR EFECTO CORONA

PRESTON (CM. HG)	TEMPERATURA (C.)	FACTOR DE SUP.	GRADIENTE (°V/CM)	PERDIDAS (h/m <sup>2</sup> )
76.20000	21.11000	0.1000000	2.62153	2159.492
76.20000	21.11000	0.2000000	5.284318	1393.358
76.20000	21.11000	0.3000000	7.921477	796.274
76.20000	21.11000	0.4000000	10.568664	365.1149
76.20000	21.11000	0.5000000	13.21580	99.76226
76.20000	21.11000	0.6000000	15.85295	0.7889779
76.20000	21.11000	0.7000000	18.4911	0.0000000E+00
76.20000	21.11000	0.8000000	21.13727	0.0000000E+00
76.20000	21.11000	0.9000000	23.77943	0.0000000E+00

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63



1	MAGNITUD DE LA
2	CORRIENTE DE RECEPCION EN CADA FASE.
3	EN COMPONENTES SIMETRICAS.(a)
4	2.2446395E-02
5	1105.401
6	3.3617799E-02
7	2.2937617E-02
8	1105.401
9	3.3497028E-02
10	
11	MAGNITUD DE LA
12	CORRIENTE DE ENVIO EN CADA FASE.
13	EN COMPONENTES SIMETRICAS.(a)
14	1.126826
15	1091.475
16	1.270643
17	1.141292
18	1091.633
19	1.2659
20	
21	FACTORES DE DESPLAZAMIENTO
22	ELECTROMAGNETICO Y ELECTROSTATICO
23	
24	0.10 0.00
25	0.12 0.00
26	0.14 0.00
27	0.16 0.00
28	100.01 100.00
29	0.12 0.00
30	0.12 0.00
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	

1	60.0	100.00	112.50	125.00	100.00
2	0.068	20.72	0.0147	0.01178	-2.150
3	0.068	16.76	0.0147	0.01178	-2.41
4	0.068	12.80	0.0147	0.01178	-3.35
5	0.068	8.84	0.0147	0.01178	-3.35
6	0.068	4.88	0.0147	0.01178	-3.35
7	0.068	20.72	0.0147	0.01178	2.150
8	2.130	23.62	0.0043	0.00057	-1.962
9	2.130	23.62	0.0043	0.00057	1.962
10	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
11	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
12	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
13	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
14	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
15	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
16	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
17	-0.5	-0.866	-0.5	0.866	
18	-1.0	0.000	-1.0	0.000	
19	-0.5	0.866	-0.5	-0.866	
20	0.5	0.866	0.5	-0.866	
21	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
22	-0.5	-0.866	-0.5	0.866	
23	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
24	-0.5	0.866	-0.5	-0.866	
25	0.5	0.866	0.5	-0.866	
26	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
27	-0.5	-0.866	-0.5	0.866	
28	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
29	-0.5	0.866	-0.5	-0.866	
30	0.5	0.866	0.5	-0.866	
31	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
32	-0.5	-0.866	-0.5	0.866	
33	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
34	-0.5	0.866	-0.5	-0.866	
35	0.5	0.866	0.5	-0.866	
36	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
37	-0.5	-0.866	-0.5	0.866	
38	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
39	-0.5	0.866	-0.5	-0.866	
40	0.5	0.866	0.5	-0.866	
41	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
42	-0.5	-0.866	-0.5	0.866	
43	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
44	-0.5	0.866	-0.5	-0.866	
45	0.5	0.866	0.5	-0.866	
46	86.940000	0.118000	0.105000	1000.0	
47	16.09				
48	18.18				
49	64.27				
50	64.37				
51	80.46				
52	138000.0	0.00			
53	69000.0	-119511.0			
54	-69000.0	-119511.0			
55	-138000.0	0.0			
56	69000.0	119511.0			
57	69000.0	119511.0			
58	-3.35	20.72			
59	-4.41	16.76			
60	-3.35	12.80			
61	3.35	12.80			
62	4.41	16.76			
63	3.35	20.72			

1	2.74	0.00
2	2.04	1.52
3	1.00	3.05
4	1.74	4.57
5	1.67	4.10
6	1.22	7.62
7	1.77	0.14
8	1.10	10.67
9	0.05	12.10
10	0.95	12.72
11	0.05	15.74
12	0.05	16.76
13	0.05	19.20
14	0.05	19.41
15	0.05	21.34
16	0.05	22.80
17	0.05	24.30
18	0.05	25.01
19	0.00	27.02
20	2.78	27.82
21	0.00	0.00
22	3.05	0.00
23	6.10	0.00
24	9.14	0.00
25	12.10	0.00
26	15.74	0.00
27	18.29	0.00
28	21.34	0.00
29	24.38	0.00
30	27.43	0.00
31	36.70	21.11
32	138000.0	0.00
33	60000.0	-119511.0
34	60000.0	-119511.0
35	138000.0	0.00
36	60000.0	119511.0
37	60000.0	119511.0
38	0.1	
39	0.2	
40	0.3	
41	0.4	
42	0.5	
43	0.6	
44	0.7	
45	0.8	
46	0.9	
47	65.0	869400000.0 0.05
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		
100		

## DATOS DEL SISTEMA:

VOLTAJE A TIERRA DEL SISTEMA: 11,000.00  
 NUMERO DE FASES: 3  
 NUMERO DE CIRCULOS: 1

1 SUBCONDUCTOR POR FASE  
 RESISTIVIDAD DEL CABLE: 1.00.0  
 FRECUENCIA: 60.0

DATOS DE LOS CONDUCTORES  
Y CONFIGURACION DE LA LINEA:

CONDUCTOR	DISTANCIA HORIZONTAL DE LA LINEA (M)	ALTURA (M)	RADIO (M)	RNG (M)	RESIST. ( $\Omega$ /M)
A	-3.35	20.72	0.0147	0.0117600	0.068
B	-2.41	16.78	0.0147	0.0117600	0.068
C	-2.35	12.86	0.0147	0.0117600	0.068
D	3.35	12.86	0.0147	0.0117600	0.068
E	4.41	16.78	0.0147	0.0117600	0.068
F	3.35	20.72	0.0147	0.0117600	0.068
G1	-1.80	23.62	0.043	0.005700	2.140
G2	1.80	23.62	0.043	0.005700	2.140

## MATRIZ DE IMPEDANCIA SERV. (OHM/KM)

10	0.204E+00	0.125E+00	0.120E+00	0.119E+00	0.125E+00	0.135E+00
11	0.751E+00	0.319E+00	0.275E+00	0.254E+00	0.263E+00	0.273E+00
12	0.125E+00	0.184E+00	0.111E+00	0.111E+00	0.116E+00	0.125E+00
13	0.319E+00	0.768E+00	0.332E+00	0.276E+00	0.276E+00	0.263E+00
14	0.120E+00	0.111E+00	0.175E+00	0.107E+00	0.111E+00	0.119E+00
15	0.275E+00	0.332E+00	0.776E+00	0.299E+00	0.275E+00	0.254E+00
16	0.119E+00	0.111E+00	0.107E+00	0.119E+00	0.111E+00	0.120E+00
17	0.254E+00	0.276E+00	0.299E+00	0.776E+00	0.332E+00	0.275E+00
18	0.125E+00	0.116E+00	0.111E+00	0.111E+00	0.104E+00	0.125E+00
19	0.263E+00	0.270E+00	0.276E+00	0.332E+00	0.768E+00	0.319E+00
20	0.135E+00	0.125E+00	0.119E+00	0.120E+00	0.125E+00	0.204E+00
21	0.273E+00	0.263E+00	0.254E+00	0.275E+00	0.332E+00	0.751E+00

## MATRIZ DE COEFICIENTES. (OHM/KM)

40	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
41	0.126E+00	0.294E+00	0.177E+00	0.133E+00	0.155E+00	0.172E+00
42	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
43	0.284E+00	0.141E+00	0.294E+00	0.170E+00	0.300E+00	0.090E+00
44	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
45	0.177E+00	0.259E+00	0.130E+00	0.205E+00	0.172E+00	0.133E+00
46	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
47	0.133E+00	0.170E+00	0.204E+00	0.140E+00	0.294E+00	0.177E+00
48	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
49	0.156E+00	0.109E+00	0.170E+00	0.259E+00	0.131E+00	0.254E+00
50	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
51	0.172E+00	0.156E+00	0.133E+00	0.177E+00	0.284E+00	0.126E+00

MATRIZ DE IMPEDANCIA SENTR (COMP. SIMÉTRICAS)

0.781E+00	0.327E+01	0.173E-01	0.052E+00	-1.13E-01	0.472E-02
0.219E+01	-7.40E-02	-0.522E-02	0.050E+00	-0.124E-01	-0.320E-01
0.002E-02	0.600E+01	0.567E-03	-0.61E-01	0.173E-03	-0.222E-01
-0.120E-01	0.540E+00	0.297E-04	0.957E-22	-0.734E-04	-0.143E-01
-0.135E-01	0.304E-03	0.022E-01	0.173E-03	-0.130E-01	-0.123E-03
-0.124E-01	-0.476E-03	0.342E+00	0.340E-03	0.001E-02	-0.133E-04
-0.298E-07	0.163E-01	0.120E-03	0.642E-01	0.173E-03	-0.161E-01
-0.264E-07	0.017E-02	-0.130E-03	0.423E+00	0.380E-01	0.437E-02
0.174E-11	0.193E-03	0.137E-01	0.120E-03	0.052E-01	0.557E-03
-0.522E-02	0.733E-01	0.782E-02	-0.130E-03	0.442E+00	0.229E-04
0.427E-01	0.235E-01	0.123E-03	0.103E-01	0.302E-03	0.699E-01
-0.730E-02	-0.120E-01	0.733E-02	0.017E-02	-0.47E-03	0.513E-06

MATRIZ DE CAPACITANCIA (CONDENS. X KK)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.856E+00	-1.51E-08	-0.618E-09	-0.367E-09	-0.495E-09	-0.755E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.151E-08	0.000E+00	-0.151E-09	-0.273E-09	-0.430E-09	-0.135E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.618E-09	-0.151E-09	0.000E+00	-0.201E-09	-0.272E-09	-0.307E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.367E-09	-0.273E-09	-0.201E-09	0.000E+00	-0.151E-09	-0.135E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.495E-09	-0.430E-09	-0.272E-09	-0.151E-09	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.755E-09	-0.307E-09	-0.307E-09	-0.135E-09	0.000E+00	0.000E+00

2345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

## MATRIZ DE ADMITANCIA (CIRCUITOS)

14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
15	0.323E-05	-5.70E-06	-2.23E-06	-1.13E-06	-1.87E-06	-2.25E-06
16	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
17	-5.70E-06	0.320E-05	-5.83E-06	-1.99E-06	-1.85E-06	-2.18E-06
18	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
19	-2.23E-06	-5.83E-06	0.11E-05	-1.33E-06	-1.14E-06	-1.19E-06
20	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
21	-1.13E-06	-1.99E-06	2.00E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
22	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
23	-1.87E-06	-1.85E-06	-1.99E-06	-5.83E-06	1.13E-05	5.57E-06
24	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
25	-2.25E-06	-2.18E-06	-1.13E-06	-2.23E-06	-5.70E-06	0.323E-05

## MATRIZ DE ADMITANCIA PARALELO (CIRCUITOS) (STAMPENS/KH)

43	0.000E+00	-2.11E-07	-7.62E-07	0.000E+00	0.762E-07	0.211E-07
44	0.165E-05	0.366E-07	0.440E-07	0.000E+00	0.440E-07	0.266E-07
45	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
46	0.211E-07	-2.40E-07	-6.59E-08	0.104E-06	0.716E-08	0.161E-06
47	0.166E-07	0.307E-05	0.114E-07	-6.02E-07	0.241E-14	0.211E-07
48	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
49	0.762E-07	0.659E-08	0.307E-13	-2.50E-08	0.119E-06	0.716E-08
50	0.440E-07	0.114E-07	0.374E-05	0.433E-08	-6.98E-07	0.455E-12
51	0.000E+00	-1.04E-05	0.250E-08	0.000E+00	-2.50E-08	0.104E-06
52	0.284E-13	-6.02E-07	0.133E-08	0.291E-08	0.133E-08	-6.02E-07
53	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
54	-7.62E-07	-2.11E-07	-1.14E-06	0.250E-08	0.162E-13	-6.02E-07
55	0.440E-07	0.366E-07	-6.88E-07	0.433E-08	0.374E-05	0.114E-07
56	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
57	-2.11E-07	-1.61E-06	-7.16E-08	-1.04E-06	0.659E-08	0.219E-13
58	0.366E-07	0.440E-07	0.441E-12	-6.02E-07	0.114E-07	0.374E-05

PARAMETROS DE LA OJFA PARA EL CASO TRANSPUNTO:

ZPE,  $Z_w$  (CMV/K) (0.1875600, 0.7658790) (0.1186806, 0.7853599)  
 Y11,  $Z_{00}$  (CMV/K) (6.8879433E+02, 0.4805100) (0.7509+29, 2.192679)  
 PP,  $P_w$  (PABE/K) (0.0000000E+01, 1.2906442E+08) (0.0000000E+00, 1.9893132E+07)  
 CP,  $C_w$  (PABE/K) (0.0000000E+00, 8.4794891E+07) (0.0000000E+00, -8.21005335E+10)  
 YPF,  $Z_w$  (STEP/K) (0.0000000E+00, 3.1866490E+00) (0.0000000E+00, -3.0839954E+07)  
 Y11,  $Z_{00}$  (STEP/K) (0.0000000E+00, 3.5070987E+06) (0.0000000E+00, 1.6547014E+06)

POTENCIA CARACTERÍSTICA (W): 300015420.00

CAPACIDAD DE TRANSMISION (VA): 877680000.00

LOCACION: 50. DE: 2000000000.00 PERIODOS: 1.00

(KM) VOLTS MAXIMA (A) (W)

(V) (A) (W)

16.0000	1.018127	1.263E+00+10	713142	98.16170
37.18000	2.368965	6.4435389E+09	1.4663296E+07	98.34137
48.27000	4.653041	4.37216E+09	2.1896452E+07	97.63217
64.37000	6.659681	3.4456222E+09	2.9335808E+07	96.73586
80.46000	8.376536	2.74411E+09	3.60712E+07	95.75151

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63

CONDUCTOR: GRAV. OF  
SUBJECTS (V/D)

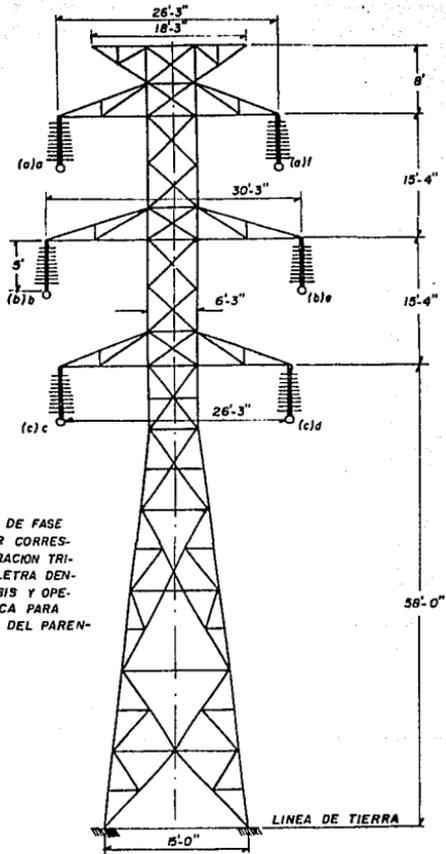
- A 14157.44
- B 13443.99
- C 13713.03
- D 13713.67
- E 11444.99
- F 14157.44

		CREDITS OF
2.290000	0.000000F+00	1741.000
2.040000	1.470000	1781.000
1.900000	3.050000	1907.265
1.780000	4.570000	2128.591
1.670000	6.100000	2505.894
1.470000	7.720000	3249.112
1.270000	9.140000	4740.511
1.100000	10.670000	7291.150
0.950000	12.190000	10518.243
0.950000	13.720000	15109.07
0.950000	15.240000	19612.65
0.950000	16.760000	1473.25
0.950000	18.290000	12671.277
0.950000	19.810000	12312.13
0.950000	21.330000	16069.85
0.950000	22.850000	7387.184
0.950000	24.380000	4407.952
0.450000	25.910000	3301.024
0.000000F+00	27.430000	2276.533
2.780000	27.430000	2311.000
0.000000F+00	0.000000F+00	1737.117
3.050000	0.000000F+00	1752.030
6.100000	0.000000F+00	1710.644
9.140000	0.000000F+00	1552.238
12.190000	0.000000F+00	1337.211
15.240000	0.000000F+00	1172.433
18.290000	0.000000F+00	951.7347
21.340000	0.000000F+00	745.1700
24.380000	0.000000F+00	625.5128
27.430000	0.000000F+00	527.0652









LA IDENTIFICACION DE FASE  
 PARA EL CONDUCTOR CORRES-  
 PONDE A LA OPERACION TRI-  
 FASICA PARA LA LETRA DEN-  
 TRO DEL PARENTESIS Y OPE-  
 RACION HEXAFASICA PARA  
 LA LETRA FUERA DEL PAREN-  
 TESIS.

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: TORRE DE TRANSMISION WPS-1 138 KV.			
FIGURA No.	ESCALA:	FECHA: 1988	

1	66.0	1.0000	1.0000	1.0000
2	0.068	25.42	0.0044	-1.76
3	0.068	25.42	0.0044	-1.76
4	0.068	25.42	0.0044	-1.76
5	0.068	25.42	0.0044	-1.76
6	0.068	25.42	0.0044	-1.76
7	0.068	25.42	0.0044	-1.76
8	2.130	29.46	0.0044	-2.78
9	2.130	29.46	0.0044	-2.78
10	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
11	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
12	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
17	-0.5	-0.268	-0.2	-0.266
18	-0.5	-0.268	-0.2	-0.266
19	0.0	0.000	0.0	0.0
20	0.0	0.000	0.0	0.0
21	0.0	0.000	0.0	0.0
22	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
23	-0.5	-0.268	-0.2	-0.266
24	-0.5	-0.268	-0.2	-0.266
25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	0.0	0.000	0.0	0.0
27	0.0	0.000	0.0	0.0
28	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
29	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
31	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
32	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
33	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
34	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
35	0.0	0.000	0.0	0.0
36	0.0	0.000	0.0	0.0
37	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
38	-0.5	-0.268	-0.2	-0.266
39	-0.5	-0.268	-0.2	-0.266
40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
41	0.0	0.000	0.0	0.0
42	0.0	0.000	0.0	0.0
43	1.0	0.000	1.0000	0.0000
44	-0.5	-0.268	-0.2	-0.266
45	-0.5	-0.268	-0.2	-0.266
46	83700000.0	2300000.0	12500.0	100000.0
47	16.00			
48	32.15			
49	48.27			
50	64.37			
51	80.46			
52	23000.0	0.0		
53	-11500.0	0.195125.2		
54	-11500.0	0.195125.2		
55	23000.0	0.0		
56	-11500.0	0.195125.2		
57	-11500.0	0.195125.2		
58	-4.00	12.15		
59	-4.51	12.15		
60	-4.00	12.15		
61	4.00	12.15		
62	4.61	12.15		
63	4.00	12.15		
64	4.00	12.15		

1	2.29	0.20
2	2.04	1.69
3	1.40	3.08
4	1.78	4.57
5	1.62	6.16
6	1.42	7.67
7	1.27	0.14
8	1.10	0.67
9	0.95	1.19
10	0.95	11.72
11	0.95	16.24
12	0.95	16.76
13	0.95	19.20
14	0.95	19.61
15	0.95	21.34
16	0.95	22.66
17	0.95	24.38
18	0.95	25.31
19	0.00	27.89
20	2.78	27.82
21	0.00	0.00
22	3.05	0.00
23	6.16	0.00
24	6.16	0.00
25	12.14	0.00
26	15.24	0.00
27	19.20	0.00
28	21.34	0.00
29	22.38	0.00
30	27.43	0.00
31	76.20	21.11
32	23000.0	0.00
33	-11500.0	-100185.8
34	-11500.0	100185.8
35	23000.0	0.00
36	-11500.0	-100185.8
37	-11500.0	100185.8
38	0.1	
39	0.2	
40	0.3	
41	0.4	
42	0.5	
43	0.6	
44	0.7	
45	0.8	
46	0.9	
47	65.0	83700000.0
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		
100		

1 DATOS DEL SISTEMA

2  
3  
4 VOLTAGE 115.000 V  
5 NOMBRE DE LINEAS 4  
6 NOMBRE DE CABLES 2

7 1 SUBCONDUCTOR POR FASE  
8 RESISTIVIDAD DEL AISLAMIENTO  
9 PERMISIVIDAD 1.000

10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17 DATOS DE LOS CONDUCTORES  
18 7 CONFIGURACION DE LAS LINEAS

19 CONDUCTOR	20 DISTANCIA HORIZ. 21 DE LA LINEA (M)	22 ALTURA 23 (M)	24 RADIO 25 (M)	26 PDC 27 (M)	28 RESIST. 29 (OHM/KM)
30 A	31 -4.00	32 25.30	33 -0.147	34 -0.117600	35 0.068
36 B	37 -4.61	38 20.80	39 -0.147	40 -0.117600	41 0.068
42 C	43 -4.60	44 16.15	45 -0.147	46 -0.117600	47 0.068
48 D	49 4.00	50 16.15	51 -0.147	52 -0.117600	53 0.068
54 E	55 4.61	56 20.80	57 -0.147	58 -0.117600	59 0.068
60 F	61 4.60	62 25.30	63 -0.147	64 -0.117600	65 0.068
66 G	67 -2.78	68 29.40	69 -0.043	70 -0.057000	71 2.130
72 H	73 2.78	74 29.40	75 -0.043	76 -0.057000	77 2.130

78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63

MATRIZ DE IMPEDANCIA SERIE (OHMS)

0.140E+00	0.114E+00	0.115E+00
0.500E+00	0.204E+00	0.274E+00
0.114E+00	0.106E+00	0.114E+00
0.204E+00	0.573E+00	0.203E+00
0.115E+00	0.114E+00	0.140E+00
0.274E+00	0.203E+00	0.500E+00

MATRIZ DE COEFICIENTES (OHMS/KN)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.732E+00	0.202E+00	0.193E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.202E+00	0.772E+00	0.232E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.193E+00	0.232E+00	0.732E+00

MATRIZ DE IMPEDANCIA SERIE (OHMS SIMETRICAS)

0.370E+01	0.410E-01	-0.545E-02
0.100E+01	-0.410E-02	-0.095E-02
-0.084E-02	0.331E-01	-0.732E-02
-0.695E-02	0.277E+00	0.131E-02
0.104E-01	0.710E-02	0.141E-01
-0.410E-02	0.410E-02	0.222E+00

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

MATRIX OF COEFFICIENTS (COEFF) (3x3)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.157E-07	-1.205E-05	-2.210E-04
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-1.405E-08	0.155E-07	-1.405E-06
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-1.280E-08	-1.405E-08	1.157E-07

MATRIX OF DERIVATIVES (STEPS/CM)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.593E-05	-1.153E-05	-1.100E-05
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-1.153E-05	0.542E-05	-1.153E-05
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-1.100E-05	-1.153E-05	0.593E-05

MATRIX OF DERIVATIVES (STEPS/CM) (COEFF) (3x3)

0.000E+00	-1.153E-05	0.100E-05
0.316E-05	0.947E-07	0.147E-07
0.100E-05	0.711E-11	0.244E-08
0.947E-07	0.737E-05	-1.153E-05
-1.153E-05	-1.205E-05	0.711E-11
0.947E-07	-1.41E-06	0.722E-05

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100



CONDUCTOR: G. L. DE  
SUPERVISOR: (10/23)

8			
9			
10			
11	B	15644.80	
12			
13	A	15877.01	
14			
15	C	15533.07	
16			
17	D	15533.07	
18			
19	E	14971.01	
20			
21	F	15644.80	
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33	X	GRADIENT DE	
34			
35	2.290000	0.000000E+00	594.0610
36	2.040000	1.520000	600.2227
37	1.900000	1.050000	630.3274
38	1.780000	1.570000	722.6363
39	1.620000	2.100000	846.3458
40	1.420000	2.620000	1165.624
41	1.270000	3.140000	1704.403
42	1.100000	3.670000	2430.276
43	0.950000	4.190000	3478.253
44	0.850000	4.720000	4889.207
45	0.850000	5.240000	6310.964
46	0.950000	5.760000	7895.141
47	0.950000	6.290000	9478.749
48	0.950000	6.810000	11118.767
49	0.950000	7.340000	12872.563
50	0.950000	7.860000	14702.372
51	0.950000	8.380000	16338.655
52	0.950000	8.910000	18000.221
53	0.000000E+00	9.430000	19813.911
54	2.780000	9.950000	21714.660
55	0.000000E+00	0.000000E+00	473.2159
56	3.050000	0.000000E+00	511.1750
57	6.100000	0.000000E+00	617.2373
58	9.140000	0.000000E+00	846.2711
59	12.190000	0.000000E+00	1142.2905
60	15.240000	0.000000E+00	1462.1851
61	18.290000	0.000000E+00	1757.7425
62	21.340000	0.000000E+00	1711.1111
63	24.390000	0.000000E+00	116.8314
64	27.440000	0.000000E+00	81.27455
65			
66			
67			
68			
69			
70			



CORRIENTE DE LINEA EN CADA FASE  
(A)MAGNITUD ANGULO COMPONENTES  
DE LA DE LACORRIENTE COMPONENTES  
(AMPERES) (AMPERES)

1105.817 -18.14518 (1650.496, -345.2914)

1105.817 -13.19552 (-724.2684, -737.1863)

1105.817 -25.81052 (-726.3082, 1082.4171)

1105.817 -37.81952 (1050.583, -345.1841)

1105.817 -49.81052 (-824.1910, -737.2426)

1105.817 -61.81952 (-226.4415, 1012.3891)

69.00

## VOLTAJE DE RECEPCION EN CADA FASE:

MAGNITUD ANGULO COMPONENTES  
DEL VOLTAJE VOLTAJE

(VOLTS) (VOLTS)

132790.6 0.0000000E+00 (132790.6, 0.0000000E+00)

132790.6 -2.304395 (-66345.28, -115000.0)

132790.6 2.004395 (-66345.28, -115000.0)

132790.6 0.0000000E+00 (132790.6, 0.0000000E+00)

132790.6 -2.004395 (-66345.28, -115000.0)

132790.6 2.004395 (-66345.28, -115000.0)

## VOLTAJE DE ENVIO EN CADA FASE:

MAGNITUD ANGULO COMPONENTES  
DEL VOLTAJE VOLTAJE

(VOLTS) (VOLTS)

153309.3 0.1076426 (150342.8, 30013.371)

151051.6 -1.385373 (-46752.46, -143539.2)

148874.8 2.305768 (-98805.84, -110193.9)

153254.7 0.1072312 (150243.6, 30031.021)

150977.4 -1.385441 (-46731.41, -143563.1)

148742.9 2.305797 (-98800.25, -110242.2)

## CORRIENTE DE LINEA EN CADA FASE:

MAGNITUD ANGULO COMPONENTES  
DE LA DE LACORRIENTE COMPONENTES  
(AMPERES) (AMPERES)

1089.667 -0.2891757 (1344.423, -310.7318)

1091.066 -2.102620 (-724.2682, -737.2412)

1093.696 1.806508 (-726.4149, 1063.4571)

1089.672 -3.305027 (1044.541, -310.5034)

1092.060 -2.382533 (-742.2489, -751.6224)

1093.726 1.806508 (-726.4149, 1063.4571)

234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890



1	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000
2	0.068	25.48	0.0127	0.01176	-4.200	0.000
3	0.068	25.48	0.0127	0.01176	-4.200	0.000
4	0.068	16.15	0.0117	0.01176	-4.000	0.000
5	0.068	16.15	0.0117	0.01176	-4.000	0.000
6	0.068	20.30	0.0167	0.01176	-4.500	0.000
7	0.068	25.48	0.0147	0.01176	-4.000	0.000
8	2.130	29.41	0.023	0.00057	-2.72	0.000
9	2.130	29.41	0.023	0.00057	-2.72	0.000
10	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
17	0.5	-0.866	0.5	-0.866	0.000	0.000
18	-0.5	-0.866	0.5	-0.866	0.000	0.000
19	-1.0	0.000	-1.0	0.000	0.000	0.000
20	-0.5	0.866	-0.5	0.866	0.000	0.000
21	0.5	0.866	0.5	0.866	0.000	0.000
22	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	0.000	0.000
24	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	0.000	0.000
25	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	0.000	0.000
27	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	0.000	0.000
28	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
29	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
31	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
32	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
33	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
34	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
35	-0.5	0.866	-0.5	0.866	0.000	0.000
36	-0.5	0.866	-0.5	0.866	0.000	0.000
37	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
38	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	0.000	0.000
39	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	0.000	0.000
40	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
41	0.5	0.866	0.5	0.866	0.000	0.000
42	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	0.000	0.000
43	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
44	-0.5	-0.866	-0.5	-0.866	0.000	0.000
45	0.5	-0.866	0.5000	0.866	0.000	0.000
46	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
47	16.08					
48	2.13					
49	48.27					
50	64.37					
51	80.46					
52	13800.0	0.000				
53	64000.0	-119511.0				
54	64000.0	-119511.0				
55	138000.0	0.000				
56	64000.0	119511.0				
57	64000.0	119511.0				
58	-4.00	20.20				
59	-4.00	20.20				
60	4.00	12.15				
61	4.00	12.15				
62	4.00	25.48				
63	4.00	25.48				

1	2.24	0.00
2	2.04	1.52
3	1.90	3.05
4	1.78	4.57
5	1.62	6.10
6	1.42	7.62
7	1.27	9.14
8	1.10	10.67
9	0.95	12.19
10	0.95	13.72
11	0.95	15.24
12	0.95	16.76
13	0.95	18.29
14	0.95	19.81
15	0.95	21.34
16	0.95	22.86
17	0.95	24.38
18	0.95	25.91
19	0.00	27.43
20	2.78	27.92
21	0.00	0.00
22	3.05	0.00
23	6.10	0.00
24	9.14	0.00
25	12.19	0.00
26	15.24	0.00
27	18.29	0.00
28	21.34	0.00
29	24.38	0.00
30	27.43	0.00
31	76.20	21.11
32	138000.0	0.00
33	69000.0	-119511.0
34	-69000.0	-119511.0
35	-138000.0	0.00
36	-69000.0	119511.0
37	69000.0	119511.0
38	0.1	
39	0.2	
40	0.3	
41	0.4	
42	0.5	
43	0.6	
44	0.7	
45	0.8	
46	0.9	
47	68.0	869400000.0
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		
100		

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

## DATOS DEL SISTEMA:

VOLTAJE A TRAVÉS DEL SISTEMA: 13500.00

NÚMERO DE FASAS: 3

NÚMERO DE CÁLCULOS: 3

## 1 SUBCONDUCTOR POR FASE

RESISTIVIDAD DEL TERMO: 0.100.0

FRECUENCIA: 60.00

## DATOS DE LOS CONDUCTORES

Y CONFIGURACIÓN DE LA LÍNEA:

CONDUCTOR	DISTANCIA HORIZ. DE LA LÍNEA (M)	ALTURA (M)	RESISTIVIDAD (Ω)	RESISTENCIA (Ω)	REACTIVIDAD (Ω)	REACTANCIA (Ω)
A	0.00	25.40	0.147	0.117600	0.688	0.000
B	10.00	20.40	0.147	0.117600	0.688	0.000
C	20.00	18.15	0.147	0.117600	0.688	0.000
D	30.00	18.15	0.147	0.117600	0.688	0.000
E	40.00	20.40	0.147	0.117600	0.688	0.000
F	50.00	25.40	0.147	0.117600	0.688	0.000
G	60.00	20.40	0.043	0.000700	2.130	0.000
H	70.00	20.40	0.043	0.000700	2.130	0.000

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64

7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63

MATRIX DE TENDENCIA DEFORMACION (GPa/Km)

19	0.197E+00	0.120E+00	0.114E+00	0.118E+00	0.115E+00	0.128E+00
16	0.759E+00	0.315E+00	0.299E+00	0.248E+00	0.206E+00	0.207E+00
17	0.120E+00	0.140E+00	0.107E+00	0.107E+00	0.111E+00	0.117E+00
18	0.315E+00	0.770E+00	0.327E+00	0.279E+00	0.227E+00	0.226E+00
21	0.414E+00	0.107E+00	0.170E+00	0.102E+00	0.107E+00	0.114E+00
22	0.269E+00	0.227E+00	0.283E+00	0.241E+00	0.277E+00	0.207E+00
23	0.114E+00	0.107E+00	0.102E+00	0.120E+00	0.107E+00	0.114E+00
24	0.248E+00	0.279E+00	0.291E+00	0.783E+00	0.327E+00	0.226E+00
27	0.119E+00	0.111E+00	0.107E+00	0.107E+00	0.180E+00	0.120E+00
28	0.260E+00	0.272E+00	0.272E+00	0.327E+00	0.774E+00	0.315E+00
29	0.126E+00	0.114E+00	0.114E+00	0.114E+00	0.127E+00	0.137E+00
31	0.267E+00	0.260E+00	0.248E+00	0.264E+00	0.315E+00	0.275E+00

41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63

MATRIX DE COMPRESIBILIDAD (GPa/Km)

42	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
44	0.136E+00	0.207E+00	0.147E+00	0.147E+00	0.173E+00	0.100E+00
46	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
47	0.297E+00	0.135E+00	0.313E+00	0.186E+00	0.196E+00	0.173E+00
48	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
50	0.187E+00	0.313E+00	0.134E+00	0.214E+00	0.000E+00	0.102E+00
51	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
52	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
53	0.142E+00	0.186E+00	0.214E+00	0.134E+00	0.313E+00	0.187E+00
54	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
55	0.173E+00	0.158E+00	0.128E+00	0.113E+00	0.135E+00	0.297E+00
56	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
58	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
59	0.184E+00	0.173E+00	0.142E+00	0.187E+00	0.297E+00	0.130E+00

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63

MATRIZ DE IMPEDANCIA LINEAL (COMP. BINOMIALS)  
 (OHMS/KM)

0.749E+00	0.316E-01	0.209E-01	-0.006E-08	-0.177E-01	0.933E-02
0.218E+01	-0.689E-02	-0.334E-02	0.224E-07	-0.139E-01	-0.274E-01
0.903E-02	0.648E-01	0.454E-03	-0.147E-01	0.217E-03	-0.141E-01
-0.294E-01	0.454E+00	0.932E-04	0.111E-01	0.269E-03	-0.123E-01
-0.139E-01	-0.350E-03	0.632E-01	0.140E-03	-0.14E-01	0.217E-03
0.149E-07	0.149E-01	0.188E-03	0.682E-01	0.140E-03	-0.187E-01
0.000E+00	0.149E-01	-0.345E-03	0.135E+00	0.137E-03	0.113E-01
0.209E-01	-0.217E-03	0.144E-01	-0.185E-03	0.632E-01	0.454E-03
-0.836E-02	-0.269E-04	0.838E-02	-0.546E-04	0.454E+00	0.942E-04
0.300E-01	0.203E-01	-0.217E-03	0.189E-01	0.311E-03	0.698E-01
-0.888E-02	-0.103E-01	-0.263E-03	0.139E-01	-0.354E-03	0.558E+00

## MATRIZ DE CAPACITANCIA (COULOMB X KM)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.831E-08	-0.147E-08	-0.007E-09	-0.356E-09	-0.520E-09	-0.741E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.147E-08	0.000E+00	-0.151E-08	-0.600E-09	-0.374E-09	-0.520E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.607E-09	-0.151E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.356E-09	-0.600E-09	-0.149E-08	0.000E+00	-0.151E-08	-0.600E-09
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.520E-09	-0.600E-09	-0.550E-09	-0.151E-08	0.000E+00	-0.147E-08
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.741E-09	-0.520E-09	-0.550E-09	-0.147E-08	-0.147E-08	0.000E+00

## MATRIZ DE ADITIVOS (SIFEM/S/64)

15	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
16	0.313E-08	-5.51E-06	-7.73E-07	-1.14E-06	-1.96E-06	-2.79E-06
17	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
18	-5.54E-06	0.314E-05	-5.71E-06	-7.07E-06	-2.16E-06	-1.196E-06
19						
20						
21	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
22	-2.29E-06	-5.71E-06	-1.07E-06	-3.20E-06	-2.07E-06	-1.14E-06
23						
24	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
25	-1.134E-06	-7.07E-06	-3.20E-06	-3.07E-05	-5.71E-06	-2.29E-06
26						
27	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
28	-1.96E-06	-2.16E-06	-7.07E-06	-5.71E-06	0.114E-05	-5.54E-06
29						
30	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
31	-2.79E-06	-1.96E-06	-1.134E-06	-2.29E-06	-5.54E-06	0.313E-05
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52						
53						
54						
55						
56						
57						
58						
59						
60						
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68						
69						
70						
71						
72						
73						
74						
75						
76						
77						
78						
79						
80						
81						
82						
83						
84						
85						
86						
87						
88						
89						
90						
91						
92						
93						
94						
95						
96						
97						
98						
99						
100						

MATRIZ DE ADITIVOS PARALELO (COMP. SIMÉTRICAS)  
(6JEMFNS/KM)

44	0.000E+00	-1.17E-07	-2.41E-07	0.000E+00	0.41E-07	0.187E-07
45	0.158E-05	0.324E-07	0.471E-07	0.000E+00	0.247E-07	0.324E-07
46						
47	0.187E-07	-3.58E-14	-5.14E-08	0.117E-06	0.198E-08	0.134E-06
48	0.324E-07	0.301E-05	0.424E-08	-6.77E-07	0.164E-13	0.774E-07
49						
50	0.41E-07	0.544E-08	0.142E-14	-1.42E-08	0.122E-06	0.148E-06
51	0.471E-07	0.924E-08	0.364E-05	0.345E-08	-7.04E-07	0.227E-12
52						
53	0.000E+00	-1.17E-06	0.199E-08	0.000E+00	-1.19E-06	0.117E-06
54	-2.84E-14	-6.77E-07	1.345E-08	0.320E-08	0.145E-06	-6.77E-07
55						
56	-0.41E-07	-1.134E-08	-1.22E-16	0.148E-06	-1.12E-13	-5.44E-08
57	0.471E-07	0.227E-12	-7.04E-07	0.345E-08	0.364E-05	0.924E-08
58						
59	-0.187E-07	-1.134E-06	-1.98E-08	-1.17E-06	0.51E-06	0.235E-14
60	0.324E-07	0.774E-07	0.504E-13	-6.77E-07	0.022E-08	0.031E-05
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68						
69						
70						
71						
72						
73						
74						
75						
76						
77						
78						
79						
80						
81						
82						
83						
84						
85						
86						
87						
88						
89						
90						
91						
92						
93						
94						
95						
96						
97						
98						
99						
100						

PARAMETROS DE LA LINEA PARA EL CASO TRANSMISION:

ZDF, ZI, (OHM/KM) (0.1822304, 0.7718112) (0.113300, 0.2807824)  
 ZII, ZOB, (OHM/KM) (0.6688976, 0.2710288) (0.7491832, 0.1757232)  
 CO, CS, (FEMPER/KM) (0.0000000E+00, 1.3307198E+04) (0.0000000E+00, 2.1258176E+07)  
 CP, CK, (FEMPER/KM) (0.0000000E+00, 1.2509899E+09) (0.0000000E+00, -8.1296985E+10)  
 YDF, YI, (SIEG/KM) (0.0000000E+00, 3.1129186E+06) (0.0000000E+00, -1.0641065E+07)  
 YII, YO, (SIEG/KM) (0.0000000E+00, 3.3192792E+06) (0.0000000E+00, 1.8395158E+08)

POTENCIA CARACTERISTICA (W): 301524896.00  
 CAPACIDAD DE TRANSMISION (VA): 87768000.00  
 LONGITUD (KM) 1000.00  
 PFC: 0.9999999999999999  
 VOLT 100000.00  
 VAYTRA 100000.00  
 PFC: 0.9999999999999999  
 PFC: 0.9999999999999999

LONGITUD (KM)	PFC	VOLT	VAYTRA	PFC:	PFC:
10.0000	1.002224	1.077267E+10	7327165	99.16129	
32.18000	0.997939	6.3823653E+09	1.4654656E+07	98.34934	
48.27000	0.998047	4.2989230E+09	2.1953458E+07	97.53370	
64.37000	0.9973857	3.2909365E+09	2.9313656E+07	96.73373	
80.46000	0.995207	2.6945431E+09	3.8451501E+07	95.95081	

CONDUCTOR: GRAD. DE SUPERFICIE (V/F)

A	13754.90
B	1390.10
C	13372.35
D	13372.39
E	13390.10
F	13754.97

X	Y	GRADIENTE DE SUPERFICIE (V/F)
2.790000	0.000000E+00	1396.318
2.040000	1.520000	1324.699
1.900000	3.050000	1381.910
1.780000	4.570000	1481.264
1.620000	6.100000	1631.288
1.320000	7.620000	1845.485
1.270000	9.140000	2215.345
1.100000	10.670000	2900.498
0.950000	12.190000	4161.255
0.950000	13.720000	5942.498
0.950000	15.240000	8244.080
0.950000	16.760000	9876.104
0.950000	18.290000	10741.57
0.950000	19.810000	11406.22
0.950000	21.340000	12134.13
0.950000	22.860000	11112.58
0.950000	24.380000	10239.08
0.950000	25.910000	9016.27
0.000000E+00	27.420000	6027.302
2.780000	27.420000	7530.801
0.000000E+00	0.000000E+00	1304.618
3.050000	0.000000E+00	1396.241
6.100000	0.000000E+00	1631.254
9.140000	0.000000E+00	1845.472
12.190000	0.000000E+00	1843.448
15.240000	0.000000E+00	9.23.322
18.290000	0.000000E+00	824.3149
21.340000	0.000000E+00	718.3454
24.380000	0.000000E+00	625.5443
27.430000	0.000000E+00	542.7617

PERIODOS POR EFECTO CURVA	PRESTOS (Cm. 50)	TEMPERATURA (C)	FACTORES (Cm. 50)	CANTIDADES (Cm. 50)	PERCENTAJES (Cm. 50)
76.26000	21.11000	0.1000000	2.642159	1800.647	
76.27000	21.11000	0.2000000	5.284316	763.4037	
76.28000	21.11000	0.3000000	7.926473	300.5061	
76.29000	21.11000	0.4000000	10.56864	100.0370	
76.20000	21.11000	0.5000000	13.21080	1.19154	
76.20000	21.11000	0.6000000	15.85295	0.000000E+00	
76.20000	21.11000	0.7000000	18.49511	0.000000E+00	
76.26000	21.11000	0.8000000	21.13727	0.000000E+00	
76.26000	21.11000	0.9000000	23.77943	0.000000E+00	

123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

## CORRIENTE DE RECEPCIÓN EN CADA FASE:

(A)

MAGNITUD DE LA	ÁNGULO	COMPONENTES DE I <sub>3</sub>
CORRIENTE (AMPERES)		CORRIENTE (AMPERES)
1105,263	-19,19519	(1050,000,-345,1183)
1105,263	-79,19519	(226,1377,-1041,542)
1105,263	-428,1952	(-823,8455,-716,7964)
1105,263	-103,1952	(-1050,012,145,033)
1105,263	-258,1952	(-226,1947,1081,070)
1105,263	-316,1952	(271,8167,736,3397)

## VOLTAJE DE RECEPCIÓN EN CADA FASE:

(V)

MAGNITUD DEL	ÁNGULO DEL	COMPONENTES DEL
VOLTAJE (VOLTS)		VOLTAJE (VOLTS)
13000,0	0,00000000+00	(13000,0,0,00000000+00)
13000,0	-1,921178	(6309,075,-119511,9)
13000,0	-2,094397	(-69000,00,-119511,0)
13000,0	1,161533	(-13000,0,0,00000000+00)
13000,0	-2,094397	(-69000,00,119511,0)
13000,0	1,921178	(-9000,00,119511,0)

## VOLTAJE DE ENVÍO EN CADA FASE:

(V)

MAGNITUD DEL	ÁNGULO DEL	COMPONENTES DEL
VOLTAJE (VOLTS)		VOLTAJE (VOLTS)
164258,7	0,2212379	(160255,1,36044,50)
157267,2	-0,8023479	(127379,1,-11666,4)
158295,3	-1,2830736	(-40669,03,-152919,5)
160989,0	-2,309366	(-156341,2,-31436,03)
157881,3	-2,332090	(-109917,1,114298,7)
157130,6	1,282675	(34635,25,150653,1)

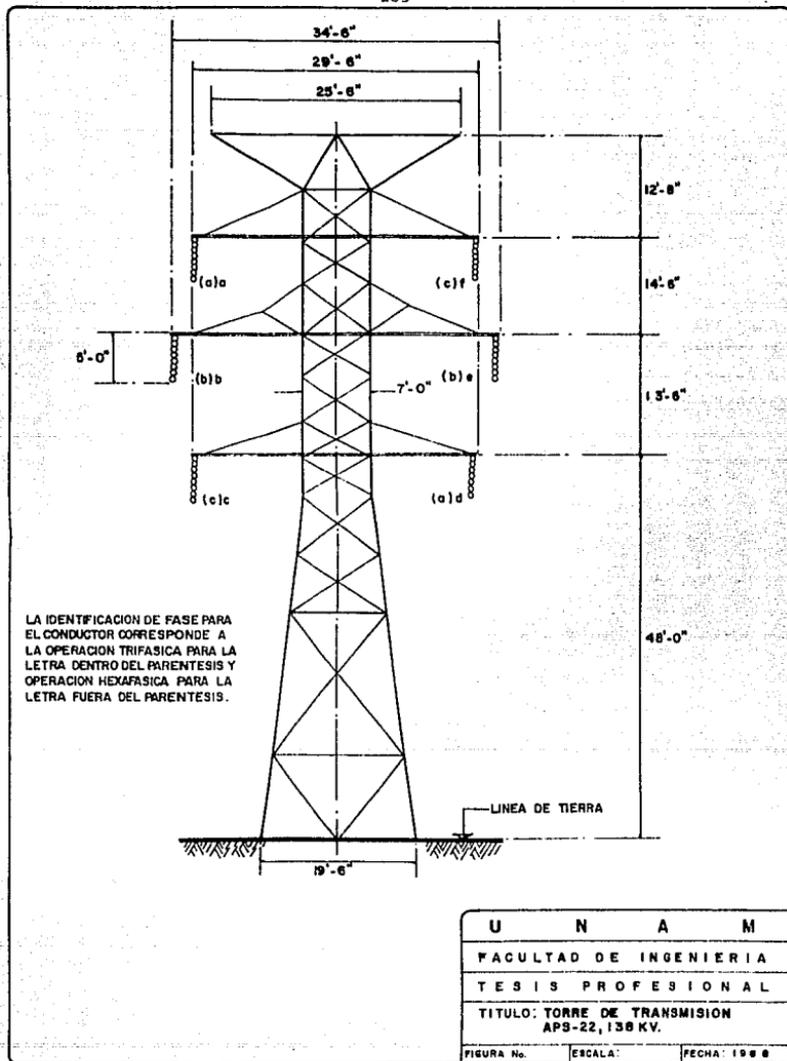
## CORRIENTE DE ENVÍO EN CADA FASE:

(A)

MAGNITUD DE I <sub>3</sub>	ÁNGULO DE I <sub>3</sub>	COMPONENTES DE I <sub>3</sub>
CORRIENTE (AMPERES)		CORRIENTE (AMPERES)
1084,166	-0,2926215	(1043,441,-314,3576)
1092,174	-1,430545	(234,4552,-1043,219)
1094,670	-2,388768	(-797,346,-750,0247)
1094,630	2,810025	(-1043,433,418,5797)
1094,114	1,801825	(-250,3002,1063,071)
1094,404	0,2561650	(756,8815,751,1760)

2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62





1	60.0	16.0	0.0	146.0	4.3	6.10	0.0
2	0.068	21.22	0.0147	0.01176	-4.446	3	
3	0.068	17.22	0.0147	0.01176	-5.259	4	
4	0.068	13.10	0.0147	0.01176	-4.136	5	
5	0.068	13.10	0.0147	0.01176	4.486	6	
6	0.068	17.22	0.0147	0.01176	5.259	7	
7	0.068	21.22	0.0147	0.01176	4.446	8	
8	2.130	25.31	0.0043	0.00057	-3.68	31	
9	2.130	25.31	0.0043	0.00057	3.68	32	
10	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000			
11	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000			
12	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000			
13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
16	-0.5	0.866	-0.5	0.866			
17	-0.5	0.866	-0.5	0.866			
18	0.0	0.000	0.0	0.0			
19	0.0	0.000	0.0	0.0			
20	0.0	0.000	0.0	0.0			
21	0.0	0.000	0.0	0.0			
22	-0.0000	0.0000	1.0000	0.0000			
23	-0.5	0.866	-0.5	0.866			
24	-0.5	0.866	-0.5	0.866			
25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
26	0.0	0.000	0.0	0.0			
27	0.0	0.000	0.0	0.0			
28	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
29	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
31	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000			
32	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000			
33	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000			
34	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
35	0.0	0.000	0.0	0.0			
36	0.0	0.000	0.0	0.0			
37	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000			
38	-0.5	0.866	-0.5	0.866			
39	-0.5	0.866	-0.5	0.866			
40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
41	0.0	0.000	0.0	0.0			
42	0.0	0.000	0.0	0.0			
43	-1.0	0.0000	1.0000	0.0000			
44	-0.5	0.866	-0.5	0.866			
45	-0.5	0.866	-0.5	0.866			
46	8.0000	0.0000	0.1600	0.1050	0.1600	0.1050	
47	16.09						
48	32.18						
49	48.27						
50	64.37						
51	80.46						
52	23000.0						
53	-11500.0	199185.2					
54	-11500.0	199185.2					
55	23000.0	0.00					
56	-11500.0	199185.2					
57	-11500.0	199185.2					
58	-4.49	21.22					
59	-5.25	17.22					
60	-4.49	21.22					
61	4.49	17.22					
62	5.25	13.10					
63	4.49	21.22					

1	2.24	0.11
2	2.04	-1.59
3	1.90	3.65
4	1.78	3.57
5	1.62	5.10
6	1.47	7.52
7	1.27	0.13
8	1.10	10.67
9	0.95	12.10
10	0.95	13.72
11	0.05	15.24
12	0.95	16.78
13	0.05	19.24
14	0.95	19.24
15	0.95	19.24
16	0.95	22.86
17	0.95	24.38
18	0.95	25.91
19	0.00	27.42
20	2.74	27.42
21	0.00	0.00
22	3.05	0.00
23	6.10	0.00
24	9.14	0.00
25	12.19	0.00
26	15.24	0.00
27	18.29	0.00
28	21.33	0.00
29	24.38	0.00
30	27.43	0.00
31	76.20	21.11
32	230000.0	0.00
33	-115000.0	-100185.8
34	-115000.0	193185.4
35	230000.0	0.00
36	-115000.0	-100185.8
37	-115000.0	100185.8
38	0.1	
39	0.2	
40	0.3	
41	0.4	
42	0.5	
43	0.6	
44	0.7	
45	0.8	
46	0.9	
47	RR.0	837000000.0
48	0.95	
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		

2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63

## DATOS DEL SISTEMA:

VOLTAGE A NIVEL DEL SISTEMA: 132740.50  
 NUMERO DE FASES: 3  
 NUMERO DE CABLES: 2

1 SUBCONDUCTOR POR FASE  
 RESISTIVIDAD DEL TUBERO: 100.0  
 FRECUENCIA: 60.0

DATOS DE LOS CONDUCTORES  
Y CONFIGURACION DE LA LINEA:

CONDUCTOR	DISTANCIA HORIZ. AL CENRO DE LA LINEA (M)	ALTURA (M)	RADIO (M)	RNC (%)	RESIST. (OHMS/KM)
A	-4.50	21.63	0.147	0.117600	0.048
B	-5.26	17.22	0.147	0.117600	0.048
C	-4.50	13.10	0.147	0.117600	0.048
D	4.50	13.10	0.147	0.117600	0.048
E	5.26	17.22	0.147	0.117600	0.048
F	4.50	21.63	0.147	0.117600	0.048
G1	-3.86	25.31	0.043	0.005700	2.130
G2	3.86	25.31	0.043	0.005700	2.130

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63

## MATRIZ DE IMPEDANCIAS SERIE (OHMS/KM)

0.150E+00	0.114E+00	0.116E+00
0.509E+00	0.294E+00	0.273E+00
0.114E+00	0.147E+00	0.114E+00
0.294E+00	0.319E+00	0.294E+00
0.116E+00	0.114E+00	0.150E+00
0.273E+00	0.294E+00	0.509E+00

## MATRIZ DE COEFICIENTES (NARAR/KM)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.710E+08	0.221E+08	0.170E+08
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.221E+08	0.740E+08	0.221E+08
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.170E+08	0.221E+08	0.710E+08

MATRIZ DE IMPEDANCIAS SERIE (COEF. SIMÉTRICAS)  
(OHMS/KM)

0.379E+00	0.950E-02	-7.50E-02
0.109E+01	-1.353E-02	-1.648E-02
-1.780E+02	0.174E+01	-0.918E-02
-1.648E-02	0.225E+00	0.544E-02
0.950E-02	0.932E-02	0.342E-01
-1.353E+02	0.521E-05	0.325E+00

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63

7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63

MATRIZ DE CAPACITANCIA (COULOMB/KV)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.160E-07	-0.000E+00	-0.250E-06
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.000E+00	0.150E-07	-0.000E-00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.250E-06	-0.000E+00	0.100E-07

MATRIZ DE ADMITANCIA (SIEMENS/KM)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.602E-05	-0.151E-05	-0.974E-06
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.151E-05	0.600E-05	-0.151E-05
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-0.974E-06	-0.151E-05	0.602E-05

MATRIZ DE ADMITANCIA RA-ABEJO (CORP. SI-ETRICAS)  
(SIEMENS/KM)

0.000E+00	-0.150E-06	0.150E-06
0.335E-05	0.919E-07	0.919E-07
0.150E-06	-0.204E-13	0.304E-06
0.919E-07	0.742E-15	-0.170E-06
-0.150E-06	0.204E-13	0.254E-13
0.919E-07	-0.170E-06	0.734E-05

64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63



CONDUCTOR:	GRADE:	STEP:	DATE:
A	15676.86		
B	12107.31		
C	15625.07		
D	15645.03		
E	16167.91		
F	15676.86		
X: 1.00000000E+00 1.00000000E+00 1.00000000E+00 1.00000000E+00			
2.290000	0.0000000E+00	75.0524	
2.000000	1.172000	798.3171	
1.900000	3.050000	866.4674	
0.700000	4.970000	1131.278	
1.670000	6.100000	1644.847	
1.450000	7.120000	2061.169	
1.270000	9.140000	3113.487	
1.100000	10.70000	3812.277	
0.950000	12.10000	4656.591	
0.950000	13.72000	5626.806	
0.950000	15.24000	6749.072	
0.950000	16.76000	7981.483	
0.950000	18.28000	9356.999	
0.950000	19.80000	10862.486	
0.950000	21.32000	12477.313	
0.950000	22.84000	14181.027	
0.950000	24.36000	15949.503	
0.950000	25.88000	17731.711	
0.000000E+00	27.40000	19572.462	
2.700000	27.42000	20500.772	
0.000000E+00	0.000000E+00	707.0637	
3.050000	0.000000E+00	811.2075	
6.100000	0.000000E+00	943.7077	
9.140000	0.000000E+00	1081.1900	
12.10000	0.000000E+00	1311.1728	
15.24000	0.000000E+00	1524.5322	
18.28000	0.000000E+00	1718.3906	
21.32000	0.000000E+00	1897.7483	
24.36000	0.000000E+00	2054.8089	
27.40000	0.000000E+00	2191.62	

## PERDIDAS POR EFECTOS CORONA

PRESTOR (C.M. %G)	TEMPERATURA (C)	FACTOS DE SUP.	GRADIENTE (V/C)	PERDIDAS (A/yr)
----------------------	--------------------	-------------------	--------------------	--------------------

76.20000	21.11000	0.1000000	2.042150	2011.000
----------	----------	-----------	----------	----------

76.20000	21.11000	0.2000000	5.284310	1286.354
----------	----------	-----------	----------	----------

76.20000	21.11000	0.3000000	1.426477	722.521
----------	----------	-----------	----------	---------

76.20000	21.11000	0.4000000	10.54664	320.1850
----------	----------	-----------	----------	----------

76.20000	21.11000	0.5000000	13.21000	79.3474
----------	----------	-----------	----------	---------

76.20000	21.11000	0.6000000	15.85295	0.000000E+00
----------	----------	-----------	----------	--------------

76.20000	21.11000	0.7000000	15.43511	0.000000E+00
----------	----------	-----------	----------	--------------

76.20000	21.11000	0.8000000	21.13727	0.000000E+00
----------	----------	-----------	----------	--------------

76.20000	21.11000	0.9000000	21.77943	0.000000E+00
----------	----------	-----------	----------	--------------

COEFICIENTE DE REFRACCION EN CADA FASE:		
(C)		
MAGNITUD	ANGULO	COMPONENTES
DE LA		DE LA
CORRECTIVA		CORRECTIVA
(ARISTE)		(ARISTE)
1105.817	-18.19512	(1050.526,-345.2914)
1105.817	-18.19512	(-924.2684,-737.1060)
1105.817	-26.1682	(-226.3082,1082.412)
1105.817	-37.1352	(1050.526,-345.2914)
1105.817	-49.1052	(-874.1010,-737.256)
1105.817	-61.0752	(-226.3082,1082.399)
1105.817	-69.0452	
VOLTAJE DE REFRACCION EN CADA FASE:		
(V)		
MAGNITUD	ANGULO	COMPONENTES
DE LA		DE LA
VOLTAJE		VOLTAJE
(ARISTE)		(ARISTE)
132790.6	0.0000000E+00	(132790.6,0.0000000E+00)
132790.6	-2.694395	(-86395.20,-115000.0)
132790.6	2.694395	(-86395.20,115000.0)
132790.6	0.0000000E+00	(132790.6,0.0000000E+00)
132790.6	-2.694395	(-86395.20,-115000.0)
132790.6	2.694395	(-86395.20,115000.0)
VOLTAJE DE ENFOQUE EN CADA FASE:		
(V)		
MAGNITUD	ANGULO	COMPONENTES
DE LA		DE LA
VOLTAJE		VOLTAJE
(ARISTE)		(ARISTE)
153377.8	0.1975903	(150318.4,30109.15)
150001.0	-1.49249	(-47300.27,-143267.1)
148351.8	2.307271	(-99644.96,109908.21)
153504.7	0.1975903	(150318.4,30109.15)
150365.0	-1.488839	(-47020.38,-142874.0)
148265.0	2.306630	(-99320.52,109348.5)
COEFICIENTE DE EXTINCION EN CADA FASE:		
(K)		
MAGNITUD	ANGULO	COMPONENTES
DE LA		DE LA
CORRECTIVA		CORRECTIVA
(ARISTE)		(ARISTE)
1087.864	-0.2691304	(1046.330,-310.6552)
1081.850	-2.481142	(-781.8145,-751.8037)
1094.056	1.506809	(-255.8179,1063.721)
1082.891	-2.481142	(-781.8145,-751.8037)
1069.115	-0.2691304	(1046.330,-310.6552)
1081.850	1.506809	(-255.8179,1063.721)



1	60.0	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000
2	0.068	21.67	0.0147	0.01176	-4.496
3	0.068	17.27	0.0147	0.01176	-5.250
4	0.068	13.1	0.0147	0.01176	-4.466
5	0.068	13.1	0.0147	0.01176	4.466
6	0.068	17.27	0.0147	0.01176	5.250
7	0.068	21.67	0.0147	0.01176	4.496
8	2.130	25.31	0.0047	0.00057	-3.8002
9	2.130	25.31	0.0047	0.00057	3.8002
10	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
11	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
12	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
13	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
14	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
15	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
16	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
17	0.5	-0.866	0.5	0.866	
18	-0.5	-0.866	-0.5	0.866	
19	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
20	-0.5	0.866	-0.5	-0.866	
21	0.5	0.866	0.5	-0.866	
22	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
23	-0.5	-0.866	-0.5	0.866	
24	-0.5	0.866	-0.5	-0.866	
25	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
26	-0.5	-0.866	-0.5	0.866	
27	-0.5	0.866	-0.5	-0.866	
28	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
29	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
30	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
31	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
32	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
33	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
34	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
35	0.5	0.866	0.5	-0.866	
36	-0.5	-0.866	-0.5	0.866	
37	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
38	-0.5	0.866	-0.5	-0.866	
39	-0.5	-0.866	-0.5	0.866	
40	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	
41	0.5	0.866	0.5	-0.866	
42	-0.5	-0.866	-0.5	0.866	
43	-1.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	
44	-0.5	-0.866	-0.5	0.866	
45	0.5	0.866	0.5	-0.866	
46	86940000.0	1.00000.0	1052.6	10000.0	
47	16.09				
48	32.18				
49	48.27				
50	64.37				
51	80.46				
52	139000.0	0.00			
53	69000.0	-119511.0			
54	-69000.0	-119511.0			
55	-138000.0	0.00			
56	-69000.0	119511.0			
57	-69000.0	119511.0			
58	-4.50	21.67			
59	-5.25	17.27			
60	-4.50	13.10			
61	4.50	13.10			
62	5.25	17.27			
63	4.50	21.67			

1	2.29	0.00
2	2.04	1.62
3	1.9	1.05
4	1.78	4.67
5	1.62	6.10
6	1.42	8.62
7	1.27	0.14
8	1.1	10.67
9	0.95	12.19
10	0.85	14.72
11	0.85	18.24
12	0.84	16.74
13	0.95	18.24
14	0.95	19.31
15	0.95	21.31
16	0.95	21.86
17	0.95	26.36
18	0.95	25.31
19	0.90	27.82
20	0.90	27.82
21	2.78	27.82
22	3.05	0.00
23	6.10	0.00
24	9.14	0.00
25	12.19	0.00
26	15.23	0.00
27	18.29	0.00
28	21.34	0.00
29	24.38	0.00
30	27.43	0.00
31	76.20	21.11
32	138000.0	0.00
33	69000.0	-119511.0
34	-69000.0	-119511.0
35	-138000.0	0.00
36	-690000.0	119511.0
37	690000.0	119511.0
38	0.1	
39	0.2	
40	0.3	
41	0.4	
42	0.5	
43	0.6	
44	0.7	
45	0.8	
46	0.9	
47	68.0	889400000.0
48	0.95	
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		



## MATRIZ DE IMPEDANCIAS SERIE (OHM/KM)

16	0.197E+00	0.120E+00	0.115E+00	0.115E+00	0.119E+00	0.128E+00
17	0.750E+00	0.319E+00	0.275E+00	0.247E+00	0.255E+00	0.260E+00
18	0.120E+00	0.160E+00	0.164E+00	0.138E+00	0.112E+00	0.110E+00
19	0.319E+00	0.774E+00	0.335E+00	0.265E+00	0.262E+00	0.254E+00
20						
21	0.115E+00	0.108E+00	0.172E+00	0.164E+00	0.168E+00	0.115E+00
22	0.275E+00	0.315E+00	0.728E+00	0.281E+00	0.265E+00	0.247E+00
23						
24	0.115E+00	0.108E+00	0.164E+00	0.172E+00	0.168E+00	0.115E+00
25	0.247E+00	0.265E+00	0.281E+00	0.782E+00	0.135E+00	0.275E+00
26						
27	0.119E+00	0.112E+00	0.108E+00	0.168E+00	0.180E+00	0.120E+00
28	0.254E+00	0.247E+00	0.265E+00	0.335E+00	0.275E+00	0.319E+00
29						
30	0.128E+00	0.110E+00	0.115E+00	0.115E+00	0.126E+00	0.160E+00
31	0.260E+00	0.254E+00	0.247E+00	0.275E+00	0.319E+00	0.275E+00

## MATRIZ DE COEFICIENTES (0.04E/KM)

42	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
43	0.129E+08	0.287E+08	0.129E+08	0.122E+08	0.114E+08	0.126E+08
44						
45	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
46	0.287E+08	0.132E+09	0.308E+08	0.149E+08	0.155E+08	0.144E+08
47						
48	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
49	0.180E+08	0.308E+08	0.131E+08	0.167E+08	0.149E+08	0.122E+08
50						
51	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
52	0.122E+08	0.149E+08	0.167E+08	0.131E+08	0.308E+08	0.180E+08
53						
54	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
55	0.134E+08	0.155E+08	0.131E+08	0.308E+08	0.132E+08	0.287E+08
56						
57	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
58	0.158E+08	0.144E+08	0.122E+08	0.180E+08	0.287E+08	0.129E+08



## MATRIZ DE ADHESIVIDAD (SIEMENS/KW)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.315E-05	-5.87E-06	-2.94E-05	-1.26E-06	-5.17E-06	-2.70E-06
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-5.67E+06	0.31E+05	-6.05E+06	0.000E+00	-4.16E+06	-2.167E+06
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-2.43E-06	-6.5E-06	0.112E-05	-2.4E-06	-1.7E-06	-1.2E-06
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-1.76E+06	-1.70E+06	-2.48E+06	0.2312E-05	-2.605E-06	-2.243E-06
0.000E+06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-1.67E+06	-1.15E+06	-1.17E+06	-1.605E-06	0.11E-05	-8.87E-06
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
-2.40E+06	-1.67E+06	-1.19E+06	-2.23E-06	-2.567E-06	0.315E-05

MATRIZ DE ADHESIVIDAD PARALELO (COMP. SIMETRICAS)  
(SIEMENS/KW)

0.000E+00	-1.15E-07	-7.9E-07	0.000E+00	0.19E-07	6.11E-07
0.167E-05	0.205E-07	0.160E-07	0.114E-12	0.460E-07	0.205E-07
0.118E-07	-2.13E-13	-4.09E-08	0.140E-06	-1.97E-07	0.220E-06
0.205E-07	0.300E-05	0.20E-08	-1.10E-07	0.171E-12	0.127E-06
0.79E-07	0.39E-08	-1.5E-10	0.14E-08	0.15E-06	-1.47E-07
0.460E-07	0.270E-08	0.367E-05	-2.49E-08	-3.75E-07	0.198E-07
0.000E+00	-1.40E-06	-1.44E-08	0.000E+00	0.144E-08	0.140E-06
0.171E-12	-8.16E-07	-2.19E-06	0.14E-06	-2.1E-06	-1.10E-07
-7.9E-07	0.107E-07	-1.5E-06	-1.4E-06	0.15E-06	-1.4E-06
0.460E-07	0.39E-12	-8.75E-07	-2.49E-08	0.367E-05	0.179E-08
-1.18E-07	-2.20E-06	0.197E-07	-1.40E-06	0.49E-08	0.213E-13
0.205E-07	0.127E-06	0.171E-12	-1.10E-07	0.79E-06	0.30E-05



CONDUCTOR: CHAS. W.  
SUPERINT. (V/E)

A	13048.66		
B	13035.00		
C	13632.83		
D	13632.86		
E	13035.00		
F	13805.60		
X	2.290000	0.000000E+00	1776.148
Y	2.040000	1.570000	1736.154
Z	4.900000	3.050000	1831.276
AA	1.780000	4.570000	1693.429
AB	1.620000	4.100000	2319.240
AC	1.420000	7.200000	3019.200
AD	1.270000	9.140000	4193.000
AE	1.100000	10.670000	5580.813
AF	0.950000	12.100000	7333.934
AG	0.950000	13.720000	9294.372
AH	0.950000	15.240000	10248.71
AI	0.950000	16.760000	10770.83
AJ	0.950000	18.290000	10697.51
AK	0.950000	19.810000	9688.343
AL	0.950000	21.340000	9015.350
AM	0.950000	22.860000	7725.870
AN	0.950000	24.380000	5570.566
AO	0.950000	25.910000	3611.555
AP	0.000000E+00	27.420000	2911.000
AQ	2.780000	27.920000	2431.423
AR	0.000000E+00	0.000000E+00	1577.493
AS	3.050000	0.000000E+00	1757.176
AT	6.100000	0.000000E+00	1879.130
AU	9.140000	0.000000E+00	1747.325
AV	12.190000	0.000000E+00	1534.692
AW	15.240000	0.000000E+00	1724.029
AX	18.290000	0.000000E+00	1497.858
AY	21.340000	0.000000E+00	911.6789
AZ	24.380000	0.000000E+00	769.0792
BA	27.420000	0.000000E+00	633.1355

PERDIDAS POR EFECTO CURVA

PROFUND (CM. HG)	TEMPERATURA (C)	FACTOR DE SUP.	GRADIENTE (C/M)	PERDIDAS (KWH)
76.20000	21.11000	0.1000000	2.642159	1160.534
76.20000	21.11000	0.2000000	5.284318	2321.068
76.20000	21.11000	0.4000000	10.56864	4642.136
76.20000	21.11000	0.6000000	15.85295	6963.204
76.20000	21.11000	0.7000000	18.43511	8000.000E+00
76.20000	21.11000	0.8000000	21.13727	8000.000E+00
76.20000	21.11000	0.9000000	23.77943	8000.000E+00

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64



CORRIENTE DE RECEPCION EN CADA FASE			
(A)			
MAGNITUD DE LA CORRIENTE (AMPERES)	ANGULO	COMPONENTES	
1105.263	-18.19518	(1050.000,-345.1143)	
1105.263	-72.14814	(726.1377,-1061.552)	
1105.263	-138.1952	(-873.8555,-736.7464)	
1105.263	-196.1952	(-165.012,-345.0636)	
1105.263	-258.1952	(-226.1947,1081.870)	
1105.263	-318.1952	(-223.167,736.0317)	
VOLTAJE DE RECEPCION EN CADA FASE:			
(V)			
MAGNITUD DEL VOLTAJE (VOLTS)	ANGULO	COMPONENTES DEL VOLTAJE	
138000.0	0.0000000E+00	(138000.0,0.0000000E+00)	
138000.0	-1.017196	(89999.88,-119511.0)	
138000.0	-2.004397	(-66000.00,-119511.6)	
138000.0	3.121524	(-138000.0,0.0000000E+00)	
138000.0	2.004397	(66000.00,119511.0)	
138000.0	1.017196	(89999.89,119511.0)	
VOLTAJE DE ENVIO EN CADA FASE:			
(V)			
MAGNITUD DEL VOLTAJE (VOLTS)	ANGULO	COMPONENTES DEL VOLTAJE	
163310.9	0.2047284	(161555.4,35424.92)	
156865.2	-0.7480260	(111321.1,-110581.7)	
162726.3	-1.824672	(-39314.84,-151648.7)	
188885.6	-2.907548	(-154281.7,-37730.42)	
155757.0	2.342264	(-110628.8,117761.6)	
155757.0	1.204395	(-3313.04,149613.1)	
CORRIENTE DE ENVIO EN CADA FASE:			
(A)			
MAGNITUD DE LA CORRIENTE (AMPERES)	ANGULO	COMPONENTES	
1009.039	-0.20496542	(1042.735,-314.1819)	
1022.209	-1.310509	(734.2304,-1063.486)	
1095.778	-2.386014	(-797.5532,-751.3513)	
1089.173	2.846918	(-107.822,315.1183)	
1003.364	1.801471	(-249.8065,1064.491)	
1095.627	0.7481261	(799.5172,51.8779)	

2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62

**APENDICE A2**

**EFFECTO CORONA EN LINEAS DE TRANSMISION.**

## APENDICE A2

## EFECTO CORONA EN LINEAS DE TRANSMISION.

## A2.1 INTRODUCCION.

Las descargas de energía por efecto corona se forman en las superficies de los conductores de una línea de transmisión cuando la intensidad de campo eléctrico en sus superficies excede la rigidez dieléctrica del aire. Aún en un campo uniforme entre dos electrodos planos paralelos en el aire, una gran cantidad de condiciones controlan esta rigidez dieléctrica. Algunas de estas condiciones son: la presión atmosférica, el material del conductor, presencia de vapor de agua, fotoionización incidente y el tipo de voltaje.

En la superficie de un conductor, una irregularidad como por ejemplo, partículas contaminantes, ocasionan una concentración del gradiente de voltaje que puede ser el punto de descarga corona.

La ruptura de la rigidez dieléctrica del aire en esta región genera: luz, ruido audible, ruido de radio, vibración del conductor, ozono y otros productos, y ocasiona una disipación de energía que es alimentada por la estación generadora de energía eléctrica.

El efecto corona ha sido investigado en muchos aspectos teóricos, con los que se han determinado ecuaciones para evaluar las pérdidas que ocasiona este efecto, las cuales han sido descritas en la sección III.7.

## A2.2 MECANISMO DEL EFECTO CORONA.

## A2.2.1 PROCESO DE DESCARGA EN GASES.

Las descargas eléctricas son comúnmente disparadas por un campo eléctrico acelerando electrones libres a través de un gas. Cuando estos electrones adquieren suficiente energía de un campo eléctrico, pueden producirse iones nuevos por el choque de electrones de átomos en colisión.

Este proceso se llama ionización por impacto de electrones; los electrones se multiplican como se ilustra en la figura A2.1., hasta que los efectos secundarios de los electrones hacen la descarga autosostenida. Los electrones iniciales que arrancan el proceso de ionización se crean generalmente por fotoionización, lo cual se logra, cuando un fotón de alguna fuente distante imparte suficiente energía a un átomo, de tal forma que el átomo se divide en un electrón y un ión cargado positivamente. Durante la aceleración en el campo eléctrico, el electrón choca con los átomos de nitrógeno, oxígeno y los otros gases presentes en el ambiente. La mayoría de estos choques son colisiones elásticas, similares al choque de dos bolas de billar. Con este tipo de choques, el electrón pierde solo una pequeña parte de su energía cinética en cada colisión; ocasionalmente un electrón puede pegarle a un átomo con la suficiente fuerza, para que lo excite de tal forma que el átomo cambie a un estado de energía mayor, los estados orbitales de uno ó más electrones cambian, y el electrón impactado, pierde parte de su energía cinética; después el átomo excitado puede regresar a su estado normal, mediante una radiación del exceso de energía en forma de luz (luz visible corona) y ondas electromagnéticas (ruido de radio). Un electrón puede también chocar con un ión positivo, convirtiéndolo en un átomo neutro. Como los electrones están manejados a travez de un gas por el campo eléctrico, el proceso básico de ionización se describe comúnmente como sigue:



Donde:

A = un átomo

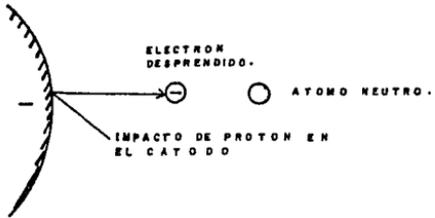
A<sup>+</sup> = un ión positivo

e = un electrón

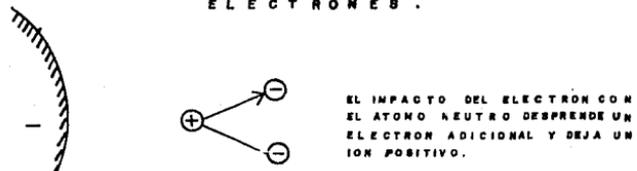
Después de que un electrón choca con un átomo, otro electrón se libera y cada uno de ellos puede entonces liberar dos electrones más y está reacción en cadena ocasiona que la cantidad de electrones se incremente rápidamente.

El investigador Townsend, en sus más recientes experimentos sobre descargas en gases, describió por medio de un coeficiente, el número de electrones producido por un solo electrón viajando a travez de un campo eléctrico uniforme, una distancia de 1 cm.

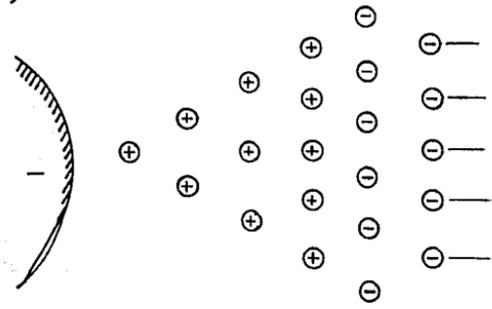
A) INICIACION



B) FORMACION DE UN PAR ELECTRONES .



C) MULTIPLICACION .



LOS ELECTRONES RECORREN LA TRAYECTORIA CREANDO IONES POSITIVOS AL MULTIPLICARSE

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: ARRANQUE DE UNA AVALANCHA ELECTRONES DE UN ELECTRODO (-)			
FIG. No. A2-1	EBC: ---	FECHA 1988	

Este coeficiente se conoce como primer coeficiente de ionización de Townsend, y la corriente de descarga en el proceso de avalancha se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I = I_0 e^{\alpha d} \quad (A2.2)$$

Donde:

$\alpha$  = Primer coeficiente de ionización de Townsend.

$d$  = Distancia recorrida.

El coeficiente  $\alpha$  cambia con la intensidad del campo eléctrico, presión del gas (en nuestro caso la presión atmosférica), y otros factores que influyen en la producción de pares de electrones.

Afortunadamente, no todas las colisiones crean un electrón adicional. Aquí, el concepto de sección de cruce de colisión viene siendo importante, así como la eficiencia de ionización y los potenciales de ionización, los cuales se definen a continuación: La sección de cruce es tan pequeña (aproximadamente  $8 \times 10^{-19}$  cm<sup>2</sup> para el nitrógeno) por lo que pocos átomos son golpeados por un electrón dado durante su corto período de aceleración. Un electrón viajando a través de un gas a una presión de 1 mm. de Hg. y una temperatura de 0° C hace solamente de 10 a 100 colisiones por cada centímetro de recorrido; a medida que aumenta la presión, el número de átomos por centímetro cúbico y la probabilidad de colisión aumentan.

La eficiencia de ionización se define como el número de iones formados por un electrón durante un centímetro de recorrido. Una cierta energía potencial mínima del electrón libre, medida en electron-volts, es necesaria antes de que ocurra cualquier ionización. En este potencial, el cual se llama potencial de ionización, la probabilidad de ionización es cero. Cuando la energía del electrón excede el potencial de ionización, la probabilidad de ionización aumenta rápidamente; finalmente la probabilidad decrece hasta que la energía del electrón aumente nuevamente.

Durante la mayor parte de este recorrido, el electrón no causa ionización pero choca elásticamente con los átomos en sus trayectorias; en cada choque, el electrón pierde cierta cantidad pequeña de energía, sin embargo puede tener una pérdida importante de energía cinética, si llega a tener enlace. Durante el enlace, un átomo neutro captura el electrón, y el electrón radía la energía excedente. En el aire, un electrón podría hacer  $2 \times 10^3$  colisiones antes de ser capturado.

Algunas moléculas tienen una gran capacidad para capturar electrones, por ejemplo, los halógenos y el vapor de agua. Esta es una razón por la que aumentando la humedad en un recorrido de aire se mejora la rigidez. El vapor de agua captura los electrones de ionización e inhibe el proceso de avalancha. Una vez que un átomo captura un electrón, se forma un ión negativo; desde entonces este ión es una partícula relativamente inmóvil, fallará para ionizar gases por colisión excepto bajo condiciones de extremadamente alta energía.

#### A2.2.2 PROCESO DE AVALANCHA DE TOWNSEND.

Quando un campo eléctrico actúa en una trayectoria en aire, los iones y electrones que naturalmente resultan en el aire pasan hacia el electrodo de polaridad opuesta y causan una débil corriente. Esta corriente representa la conductividad natural de el aire. Cuando el campo aumenta arriba de aproximadamente 15 KV/cm, la corriente crece rápidamente por dos razones:

- 1.- El proceso de ionización discutido previamente produce nuevos electrones en el gas.
- 2.- Los iones positivos y protones bombardean el cátodo y desprenden nuevos electrones.

Esta liberación de electrones desde el cátodo representa un proceso secundario y el proceso de ionización normal por colisión en el gas representa un proceso primario.

El aumento de corriente a altos valores de campo eléctrico cuando no se excede la rigidez del gas, está dada por:

$$I = I_0 \frac{e^{\alpha d}}{1 - \beta (e^{\alpha d} - 1)} \quad (A2.3)$$

Donde:

- I = Corriente del recorrido.
- $I_0$  = Corriente inicial en el gas debida a fuentes externas.
- d = Distancia de recorrido.
- $\alpha$  = Primer coeficiente de ionización de Townsend (representando el proceso primario).
- $\beta$  = Segundo coeficiente de ionización de Townsend (representando el proceso secundario).

El numerador de la ecuación (A2.3) es simplemente la ecuación (A2.2), y el denominador contiene ese proceso secundario que también contribuye a la corriente. La inspección de la ecuación (A2.3) muestra que la corriente sería infinita si el denominador es cero. Está forma indeterminada ocurre cuando la siguiente condición es conseguida:

$$(e^{-\alpha d} - 1) = 1 \quad (A2.4)$$

El criterio de ruptura mostrado en la anterior ecuación, a pesar de que conceptualmente es útil, se usa rara vez, debido a que el proceso de ruptura es mucho más complicado.

#### A2.2.3 MODOS DE EFECTO CORONA DE CORRIENTE DIRECTA.

En las figuras A2.1 a A2.3 se muestran los mecanismos de descargas parciales de electrodos positivos y negativos. Aún para la misma polaridad, el efecto corona se puede manifestar en uno ó más modos diferentes, dependiendo del voltaje aplicado, forma del electrodo, y las condiciones de la superficie. Cada uno de los modos corona tiene diferentes características, por ejemplo, diferente forma de corriente, voltajes y frecuencia de pulsos. Por lo tanto cada modo corona afecta el ruido de radio, ruido audible y pérdidas corona, de distinta manera.

##### A2.2.3.1 PROCESO CORONA NEGATIVO.

Trichel realizó la mayor parte de sus más recientes trabajos, en procesos corona en campos eléctricos no uniformes de polaridad negativa. Las descargas Trichel aparecen como un brillo continuo, casi imperceptible, debido a que es muy tenue. Las pulsaciones individuales no se pueden identificar ópticamente. Posiblemente el impacto de un ión positivo que entra, dispara cada descarga, este impacto produce un electrón secundario, éste electrón se retira desde el impacto debido a que el campo negativo lo repele; cuando se retira, un flujo de otros electrones dispara el proceso de Townsend. Estos electrones salen fuera del campo y dejan atrás al lento e inmóvil ión positivo, tal y como se muestra en la figura A2.2.



A) LA DENSIDAD DE IONES EN UN CORONA NEGATIVO ROMPE EN LAS PRIMERAS ETAPAS.



B) BARRIDO FINAL DE LOS IONES EN EL ESPACIO



A) DENSIDAD DE IONES EN UN CANAL CORONA POSITIVO DURANTE LA PROPAGACION.



B) LOS IONES POSITIVOS RECORREN EL ESPACIO

FIG. A2.2 DISTRIBUCION DE CARGAS EN UN CAMPO CORONA NEGATIVO NO UNIFORME,

FIG. A2.3 DISTRIBUCION DE CARGAS EN UN CAMPO CORONA POSITIVO NO UNIFORME,

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: DISTRIBUCION DE CARGAS EN EL ESPACIO.			
FIGS. A2.2 Y A2.3		EBC: _____	FECHA: 1988

Los electrones inmediatamente atacan los átomos neutros, usualmente oxígeno, y forman iones negativos; los iones positivos formados cerca de las discontinuidades alrededor, reducen la intensidad de campo aún más; el proceso parará hasta que los iones son limpiados del campo, entonces el campo negativo lentamente lleva los iones positivos al cátodo.

Los iones negativos se mueven hacia el ánodo, y el campo aumenta hasta que el proceso pueda repetirse. La energía requerida para este proceso aparece como pérdida por efecto corona. El proceso negativo corona es usualmente caracterizado por su apariencia, como: pulsos Trichel, pulsos brillantes y descargas negativas.

Otros investigadores, tales como Trinh y Jordan, han obtenido datos medidos y fotografías como las mostradas en la figura A2.4 donde se aprecian éstos modos corona.

Las amplitudes de los pulsos de corriente Trichel son de  $10^{-6}$  Amp. para electrodos puntuales hasta  $20 \times 10^{-3}$  Amp. para electrodos grandes. La descarga se propaga por hasta 20 nseg. y es apagada por su espacio de carga; aumentando el voltaje, se incrementa la frecuencia y decrece la amplitud.

La máxima frecuencia que ha sido reportada por los pulsos Trichel es de 2 KHz para una esfera de 8 mm. y  $3 \times 10^6$  Hz. para un punto cónico de  $30^\circ$ .

La corriente de pérdida por pulsos brillantes corona aumentan con el voltaje; después de que los pulsos Trichel alcanzan su máxima frecuencia, los puntos brillantes corona se forman cuando el voltaje aumenta. La área luminosa viene siendo mezclada con un brillo esférico luminoso y una columna cónica extensa.

Las descargas negativas aparecen cuando el voltaje aumenta más, la columna cónica se alarga con ramificaciones pequeñas; ésta corriente está formada por pulsos superpuestos en una corriente casi estable. El tiempo de duración de estos pulsos es de alrededor  $0.5 \times 10^{-6}$  Segs.

#### A2.2.3.2 PROCESO CORONA NEGATIVO.

Las descargas corona bajo voltajes positivos tienen algunas de las características descritas para un proceso corona negativo.

Las formas corona positivas son: pulsos iniciales, brillo de Hermstein y descargas positivas.

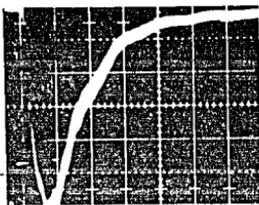
FOTOGRAFÍAS DE DESCARGAS CORONA EN EL  
CATODO



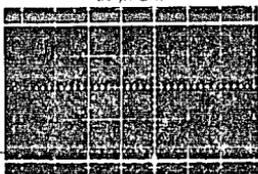
DESCARGA TRICHEL



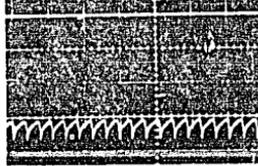
BRILLO NEGATIVO



50 μ/div.



5 μs/div.



50 μs/div.



DESCARGA NEGATIVA

U	N	A	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TESIS PROFESIONAL			
TITULO: DESCARGAS CORONA EN EL CÁTODO.			
FIG. A 2. 4	E S C:	FECHA: 1988	

Nuevamente para este proceso corona, los investigadores Trinh y Jordan han obtenido datos medidos y fotografías mostradas en la figura A2.5. Los pulsos iniciales aparecen como descargas en forma de un tronco con algunas ramificaciones, una amplitud de ésta ramificación da la impresión de una brocha para pintar.

Las amplitudes de corriente andan alrededor de 0.25 A para un electrodo esférico de 8 mm. de diámetro y 0.003 A para un electrodo cónico de 30° con tiempos de duración de 30 ns; las frecuencias tienen valores de 200 Hz. para grandes electrodos y 2000 Hz. para electrodos puntuales.

Los pulsos iniciales pueden ser seguidos por pulsos de estallido en conductores de superficie grande. Estos pueden aparecer en presencia de un espacio de cargas negativo y tomar la forma de pulsos de ionización extendiéndose a lo largo de la superficie del ánodo.

El brillo de Hermstein aparece en la forma de una capa de ionización cuando el voltaje aumenta. La transición de pulsos iniciales a brillo es gradual para conductores grandes; siendo el resultado una descarga con pequeñas ondulaciones de hasta  $2 \times 10^6$  Hz.

Las descargas positivas se parecen a los pulsos iniciales, pero están desplazados de la posición del eje por un espacio de cargas negativo.

La velocidad de las descargas positivas varían de 20 a 2000 cm/μs.

Las descargas positivas avanzan más rápido que las negativas, debido a la fotoionización, los tiempos de duración de las descargas positivas están usualmente en el rango de los nanosegundos.

### A2.3 MODOS CORONA DE CORRIENTE ALTERNA.

Bajo condiciones de voltaje alterno, todos los modos corona descritos previamente para corriente directa, están también presentes, sin embargo el espacio de cargas producido durante un medio ciclo puede modificar el tipo e intensidad del modo corona que ocurrirá en el siguiente medio ciclo.

La secuencia de los diferentes modos corona bajo voltajes de corriente alterna se muestran en la figura A2.6 tal y como fueron experimentados por los antes mencionados Trinh y Jordan.



ESTALLIDO CORONA 0.2 μs/div.

BRILLO POSITIVO 1 μs/div



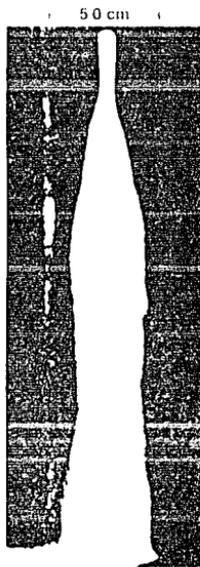
50 ns/div

DESCARGAS INICIALES



50 ns/div.

DESCARGAS DE RUPTURA



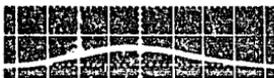
U	N	Á	M
FACULTAD DE INGENIERIA			
TECIS PROFESIONAL			
TITULO: DESCARGAS CORONA EM EL ANODO.			
FIG. A2.5	ESC: _____	FECHA: 1968	

MEDIO CICLO POSITIVO

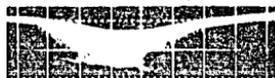
MEDIO CICLO NEGATIVO



V = 38 kV



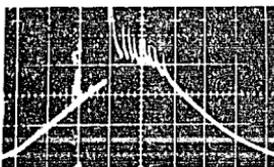
V = 54 kV



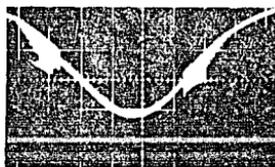
V = 71 kV



V = 98 kV



V = 106 kV

ELECTRODO: CONICO ( $\theta = 30^\circ$ ) EN UNA ESFERA (D=7 CM)

DISTANCIA: 25 CM

R = 10,000  $\Omega$ ESCALAS: 50  $\mu$ A/DIV., 1.0  $\mu$ S/DIV.

U			N			A			M		
FACULTAD DE INGENIERIA											
TESIS PROFESIONAL											
TITULO: CORRIENTES DE DESCARGA CORONA DE UN PUNTO CONICO EN 155 CM											
FIG: A2.6				ESC: —				FECHA: 1988			

Finalmente en el Capítulo III se resumieron en la gráfica III.7.1 los diferentes modos corona que pueden ser encontrados bajo voltaje de corriente alterna. Para líneas de transmisión en EHV y VHV es seguro encontrar todos estos tipos de modos corona.

**BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- L.O. Barthold and H.C. Barnes, "HIGH PHASE ORDER POWER TRANSMISSION", "CIGRE Study Committee No. 31 Report", 1972 and ELECTRA, No. 24, pp. 139-153, 1973.
- 2.- S.S. Venkata, "FEASIBILITY STUDIES OF HIGHER ORDER PHASE ELECTRICAL TRANSMISSION SYSTEMS (PHASE I)", Final Report to Allegheny Power System, Greensburg, Pennsylvania, 1976-77.
- 3.- S.S. Venkata, "FEASIBILITY STUDIES OF HIGHER ORDER PHASE ELECTRICAL TRANSMISSION SYSTEMS (PHASE II)", Final Report to Allegheny Power System, Greensburg, Pennsylvania, 1977-78.
- 4.- S.S. Venkata, "FEASIBILITY STUDIES OF HIGHER ORDER PHASE ELECTRICAL TRANSMISSION SYSTEMS (PHASE III)", Final Report to Allegheny Power System, Greensburg, Pennsylvania, 1978-79.
- 5.- J.R. Stewart and D.D. Wilson, "HIGH PHASE ORDER TRANSMISSION - A FEATIBILITY ANALYSIS. PART I STEADY STATE CONSIDERATIONS", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-97 No. 6, Nov/Dec. 1978, pp.2300-2307.
- 6.- Aly A. Mahmoud and Richard D. Shultz, "A METHOD FOR ANALYZING HARMONIC DISTRIBUTION IN A.C. POWER SYSTEMS", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-101, No. 6, June 1980, pp. 1815-1824
- 7.- J.R. Stewart and D.D. Wilson, "HIGH PHSE ORDER TRANSMISSION - A FEATIBILITY ANALYSIS. PART II OVERVOLTAGES AND INSULATION REQUIREMENTS", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-97 No. 6, Nov/Dec. 1978, pp. 2308-2317.

- 8.- S.S. Venkata, W.C. Guyker, J. Kondragunta, W. H. Booth, N.K. Saini and E.K. Stanek, "138-KV, SIX PHASE TRANSMISSION SYSTEM: FAULT ANALYSIS", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-101, No. 5, May 1982, pp. 1203-1218.
- 9.- J.R. Stewart and I.S. Grant, "HIGH PHASE ORDER - READY FOR APPLICATION", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-101, No. 6, Jun 1982, pp. 1757-1767.
- 10.- D.W. Deno, "TRANSMISSION LINE FIELDS", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-95, No. 5, September/October 1976, pp. 1600-1611.
- 11.- D.W. Deno, "CALCULATING ELECTROSTATIC EFFECTS OF OVERHEAD TRANSMISSION LINES", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-93 September/October 1974, pp. 1458-1471.
- 12.- M. Harry Hesse, "CIRCULATING CURRENTS IN PARALLELED UNTRANSPOSED MULTICIRCUIT LINES: I - NUMERICAL EVALUATIONS", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-85, NO. 7, July 1966, pp. 802-811.
- 13.- M. Harry Hesse, "CIRCULATING CURRENTS IN PARALLELED UNTRANSPOSED MULTICIRCUIT LINES: II - METHODS FOR ESTIMATING CURRENT UNBALANCE" IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-85, No. 7, July 1966, pp. 812-820.
- 14.- D.N. Keast, "ASSESSING THE IMPACT OF AUDIBLE NOISE FROM AC TRANSMISSION LINES: A PROPOSED METHOD", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-99, No. 3, May/Jun 1980, pp. 1021-1031.
- 15.- M.G. Comber and L.E. Zaffanella, "TRANSMISSION LINE REFERENCE BOOK--345 KV AND ABOVE", Palo Alto, CA.: Electric Power Research Institute, 1975.

- 16.- P.M. Anderson, "ANALYSIS OF FAULTED POWER SYSTEMS", Iowa State University Press, Ames, IA, 1976.
- 17.- John R. Carson, "WAVE PROPAGATION IN OVERHEAD WIRES WITH GROUND RETURN", Bell Systems Technical Journal, pp. 539-554.
- 18.- Jacinto Viqueira Landa, "REDES ELECTRICAS I", Representación y Servicios de Ingeniería, S.A., 2da. Edición, Marzo 1973.
- 19.- Jacinto Viqueira Landa, "REDES ELECTRICAS II", Representación y Servicios de Ingeniería, S.A., 2da. Edición, Mayo 1973.
- 20.- William D. Stevenson Jr., "ANALISIS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA", Mc Graw-Hill, Agosto 1978.
- 21.- John R. Rertz and Frederick Milford, "FUNDAMENTOS DE LA TEORIA ELECTROMAGNETICA", UTEHA, 1a. Edición, 1969.
- 22.- R.A. Chipman, "LINEAS DE TRANSMISION", Mc Graw-Hill, 1971.
- 23.- S.S. Venkata, "EPPC - A COMPUTER PROGRAM FOR SIX-PHASE TRANSMISSION LINE DESIGN", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-101, No. 7, July 1982, pp. 1859-1869.
- 24.- James R. Stewart, "SIX-PHASE LINES (OR MORE?)", Power Technologies, Inc., pp. 1870-1872.
- 25.- James R. Stewart, Shalom Zellingher and G.I. Stillman, "HPO LINE PRACTICAL FOR LIMITED R/W", Power Technologies, Inc.; New York Power Authority, pp. 1873-1876.

- 26.- D.W. Deno, "TRANSMISSION LINE FIELDS", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-95, No. 5, September/October 1976, pp. 1877-1888.
- 27.- G. Muzdeka and N. Rajakovic, "OPTIMAL VOLTAGE PROFILES IN TRANSMISSION NETWORKS TAKING INTO ACCOUNT THE PHENOMENON OF CORONA", Electric Power Systems Research, 6 (1983), pp. 43-50.
- 28.- S.M. Peeran, Mudaffar Al-Nema and Huesain I. Zynal, "SIX PHASE TRANSMISSION SYSTEMS: GENERALIZED ALPHA-BETA-ZERO COMPONENTS AND FAULT ANALYSIS", Department of Electrical Engineering, University of Mosul, Mosul, IRAQ, pp. 1-6.
- 29.- M.M. Choudhary and L.P. Singh, "GENERALIZED MATHEMATICAL MODELING OF n-PHASE POWER SYSTEMS", Department of Electrical Engineering Indian Institute of Technology, Kanpur 208016, India, pp. 367-378.
- 30.- S.N. Tiwari and L.P. Singh, "SIX-PHASE (MULTIPHASE) POWER TRANSMISSION SYSTEMS: A GENERALIZED INVESTIGATION OF THE LOAD FLOW PROBLEM", Electric Power Systems Research, 5 (1982) pp. 285-297.
- 31.- S.P. Nanda, S.N. Tiwari and L.P. Singh, "FAULT ANALYSIS OF SIX-PHASE SYSTEMS", Electric Power Systems Research, 4 (1981), pp. 201-211.
- 32.- S.N. Tiwari and L.P. Singh, "SIX-PHASE (MULTIPHASE) POWER SYSTEMS: SOME ASPECTS OF MODELLING AND FAULT ANALYSIS", Electric Power Systems Research, 6 (1983), pp. 193-202.
- 33.- Navin B. Bhatt, S.S. Venkata, William C. Guyker, and William H. Booth, "SIX-PHASE (MULTI-PHASE) POWER TRANSMISSION SYSTEMS: FAULT ANALYSIS", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-96, No. 3, May/June 1977, pp. 758-767.

- 34.- Mo-Shing Chen, Yasuo Ohba, Lindian Reynolds, and W. Donald Dickson, "LOSSES IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS", Electrical Power Systems Research, 1 (1977/78), pp. 9-19.
- 35.- S.N. Tiwari and L.P. Singh, "MATHEMATICAL MODELLING AND ANALYSIS OF MULTI PHASE SYSTEMS", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume PAS-101, No. 6, June 1982, pp. 1784-1793.
- 36.- L.O. Barthold and H.C. Barnes, "HIGH PHASE ORDER POWER TRANSMISSION", ELECTRA, No. 24, pp. 139-153.