



78-A  
1-25

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**F  
A  
C  
U  
L  
T  
A  
D  
E  
  
I  
N  
G  
E  
N  
I  
E  
R  
I  
A**

**OPTIMIZACION EN LA  
PLANEACION Y EXPANSION  
DE UN AREA DE CARGA  
DE DISTRIBUCION  
DE ENERGIA ELECTRICA**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO MECANICO**  
**ELECTRICISTA**  
**PRESENTA**

**MIGUEL MOISES LEON BRANDI**

**México, D.F.**

**1985**

*QUISE M...  
JULIO GARCIA ZUCAS CASTILLO*



## **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.

## I N D I C E

	Pág.
<u>INTRODUCCION</u>	1
<u>CAPITULO I.</u>	
<u>GENERALIDADES:</u>	
1.1.- Definición de un sistema de distribución eléctrico.	4
1.2.- Breve descripción histórica.	4
1.3.- Sistema aéreo de distribución primaria.	6
<u>CAPITULO II.</u>	
<u>ASPECTOS FUNDAMENTALES EN LA PLANEACION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIA.</u>	
II.1.- Limitación mecánica.	12
II.2.- Limitación térmica.	14
II.3.- Limitación por caída de voltaje.	15
II.4.- Limitación económica.	16
<u>CAPITULO III.</u>	
<u>MODELO MATEMATICO PARA LA OPTIMIZACION DE LOS PARAMETROS DE UN AREA DE CARGA DE DISTRIBUCION.</u>	
III.1.- Introducción.	19
III.2.- Nomenclatura.	21
III.3.- Desarrollo.	24

III.3.1.- Alimentadores limitados por caída de voltaje. Condición: máxima área de carga cubierta.	24
III.3.2.- Alimentadores limitados térmicamente. Condición: mínimo porcentaje de caída de voltaje.	36
III.3.3.- Alimentadores limitados por caída de voltaje. Condición: longitud del lateral constante.	44
III.3.4.- Alimentadores limitados térmicamente. Condición: longitud del lateral constante.	47
III.3.5.- Alimentadores limitados por caída de voltaje. Condición: relación a/c constante.	50
III.3.6.- Alimentadores limitados térmicamente. Condición: relación a/c constante.	53
III.3.7.- Sumario: Tablas I, II y III.	57
III.4.- Análisis de pérdidas $I^2R$ en un alimentador primario de distribución.	61
III.4.1.- Pérdidas $I^2R$ en alimentadores limitados por caída de voltaje. Condición: máxima área de carga cubierta.	61
III.4.2.- Pérdidas $I^2R$ en alimentadores limitados térmicamente. Condición: mínimo porcentaje de caída de voltaje.	70
III.4.3.- Densidad de carga simultánea. Condiciones: máxima área de carga cubierta y mínimo porcentaje de caída de voltaje.	78
III.4.4.- Pérdidas $I^2R$ en alimentadores limitados por caída de voltaje. Condición: longitud del lateral constante.	80

III.4.5.- Pérdidas $I^2R$ en alimentadores limitados térmicamente. Condición: Longitud del lateral constante.	83
III.4.6.- Densidad de carga simultánea. Condición: longitud del lateral constante.	86
III.4.7.- Pérdidas $I^2R$ en alimentadores limitados por caída de voltaje. Condición: relación a/c constante.	87
III.4.8.- Pérdidas $I^2R$ en alimentadores limitados térmicamente. Condición: relación a/c constante.	91
III.4.9.- Densidad de carga simultánea. Condición: relación a/c constante.	94
III.4.10.- Sumario: Tabla IV.	95

CAPITULO IV.APLICACIONES.

IV.1.- Programa de computadora - OPTIMO.	98
IV.2.- Ejemplos.	111

<u>CONCLUSIONES.</u>	167
----------------------	-----

<u>BIBLIOGRAFIA.</u>	169
----------------------	-----

## I N T R O D U C C I O N

La magnitud y complejidad de las interrelaciones de las variables que intervienen en la planeación de un sistema de distribución hacen que este procedimiento sea imposible de evaluar exhaustivamente, por el gran número de opciones que suelen presentarse. Sin embargo, actualmente la automatización de la planeación de los sistemas de distribución que emplea computadoras en el diseño y expansión, es una realidad. El proceso en la computadora no sustituye el juicio del ingeniero en la planeación, pero si puede proporcionarle más información en menos tiempo. Los modelos implantados en la computadora pueden ayudarle a obtener más rápidas y mejores decisiones y explorar más opciones con menos recursos humanos.

La planeación de los sistemas de distribución no es técnicamente comparable a la planeación de los sistemas de transmisión. En tanto que los sistemas de transmisión son relativamente estáticos, los de distribución son dinámicos. Es decir, la planeación de estos últimos, es numéricamente más compleja.

En este trabajo se presenta un modelo matemático de fácil manejo para la optimización de un área de carga de distribución, en el que se realizan cálculos simplificados que permiten visualizar ciertas características importantes del sistema y que además no requieren de un estudio exhaustivo; de esta manera se analizan de forma generalizada los

cambios que ocurren en la geometría de un área de carga, al variar la densidad de carga o al pasar de un nivel de voltaje nominal a otro. Asimismo se elaboró un programa escrito en BASIC-PLUS para ejecutarse eficientemente en una minicomputadora.

CAPITULO I

GENERALIDADES



## I. 1.- DEFINICION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO.

Un sistema de distribución eléctrico es el conjunto de elementos encargados de suministrar la energía desde una subestación de potencia hasta el usuario. Siendo la función de la red de distribución el tomar de la fuente la energía eléctrica en bloque y distribuirla a los usuarios a los niveles de tensión normalizados y en las condiciones de seguridad exigidas por los reglamentos. Figura 1.

## I. 2.- BREVE DESCRIPCION HISTORICA.

La historia de la distribución de la energía eléctrica se inicia paralelamente, a las aplicaciones de la electricidad en el teléfono, telégrafo y alumbrado público.

Los sistemas de distribución por medio de corriente alterna, tal como se conocen y aplican actualmente, es decir, transportando grandes cantidades de energía en alta tensión a lugares distantes donde se encuentran transformadores de distribución que reducen el voltaje a baja tensión, fueron diseñados por L. Gaulard y J. D. Gibbs en el año 1882.

La primera instalación en forma experimental se instaló y se puso en servicio en Great Barrington, Mass. en el año de 1886, en este mismo año se inicia la aplicación de este sistema en forma comercial en Buffalo, Nueva York.

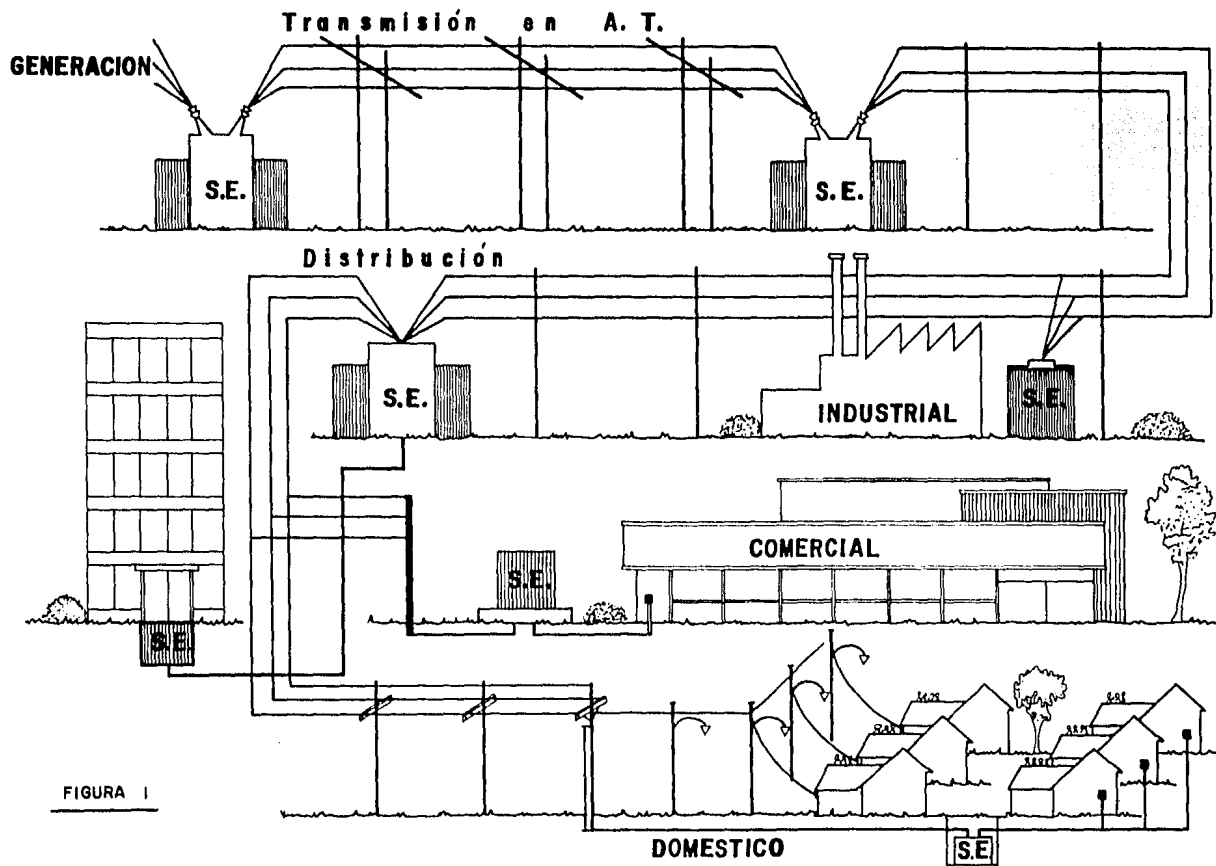


FIGURA 1

La instalación de líneas aéreas es considerada esencial para el desarrollo en esta época, con lo cual su uso se ha generalizado.

En la Ciudad de México, a principios de siglo se inicia la distribución por medio de líneas aéreas, los voltajes usados en la distribución primaria fueron 3,000 Volts, posteriormente se aumento a 6,600 Volts y actualmente se está realizando el cambio a 23,000 Volts.

### I. 3.- SISTEMA AEREO DE DISTRIBUCION PRIMARIA.

Los principales elementos componentes de un sistema de distribución son: Subestaciones de Distribución, Redes Primarias, Transformadores de Distribución, Redes Secundarias, Acometidas y medición al servicio del cliente, cada uno de estos elementos está íntimamente relacionado con los demás, de tal manera que la modificación de uno generalmente afecta a los demás.

#### ALIMENTADORES PRIMARIOS DE DISTRIBUCION.

Los alimentadores primarios son los elementos encargados de distribuir la energía eléctrica de la subestación de potencia hasta los transformadores de distribución.

Los componentes de un alimentador primario, son:

- (a) Alimentador principal, es el tramo de mayor capacidad del alimentador que transmite la energía desde la subestación primaria a los alimentadores laterales y a los transformadores de distribución y

servicios particulares suministrados en alta tensión, conectados directamente al mismo. ( Actualmente en las líneas de 27 kV, se utiliza el calibre 336.4 MCM de aluminio desnudo, salvo cuando la magnitud excepcionalmente grande de algún servicio obliga al empleo de calibre 556 MCM de aluminio desnudo ).

- (b) Alimentador lateral, es una porción del alimentador primario, energizado a través de un alimentador principal, en el cual van conectados la casi totalidad de transformadores de distribución y servicios particulares suministrados en alta tensión. ( En líneas de 25 kV, se utilizan los calibres ACSR 1/0 y No. 2 ).

Las tensiones de operación de los alimentadores primarios son función de: el valor de la potencia a alimentar, las pérdidas, el costo de la instalación, el costo de mantenimiento y las restricciones de espacio que presenten los reglamentos en vigor. Las tensiones más comúnmente empleadas, son: 2400, 3000, 4160, 4300, 6600, 7200, 12470, 13200, 13800, 22900 y 24940 Volts. En la República Mexicana las tensiones más comunes son: 6600, 13200 y 22900 Volts.

Los factores principales que deben tomarse en cuenta al diseñar un alimentador primario son: regulación, continuidad, flexibilidad y costo. Sin olvidar que como un sistema de distribución de energía eléctrica siempre representa un proceso dinámico, es conveniente que al diseñar un alimentador primario, la construcción de éste, adopte una configuración que permita fácil y económicamente absorber todos los incrementos de carga del sistema.

Las redes primarias de distribución se clasifican de acuerdo a su tipo de operación, de la siguiente manera:

- 1.- Radial.
- 2.- Paralelo.

Por definición en un sistema radial el flujo de energía tiene una sola trayectoria de la fuente a la carga, en el sistema en paralelo tiene más de una trayectoria. Cada uno de estos sistemas presenta muchas variantes y modificaciones.

La red aérea de distribución primaria se caracteriza por su sencillez y economía, razón por la cual su empleo está muy generalizado. Se adapta principalmente para:

1.- Zonas urbanas con:

- (a) Carga residencial.
- (b) Carga comercial.
- (c) Carga industrial.

2.- Zonas rurales con:

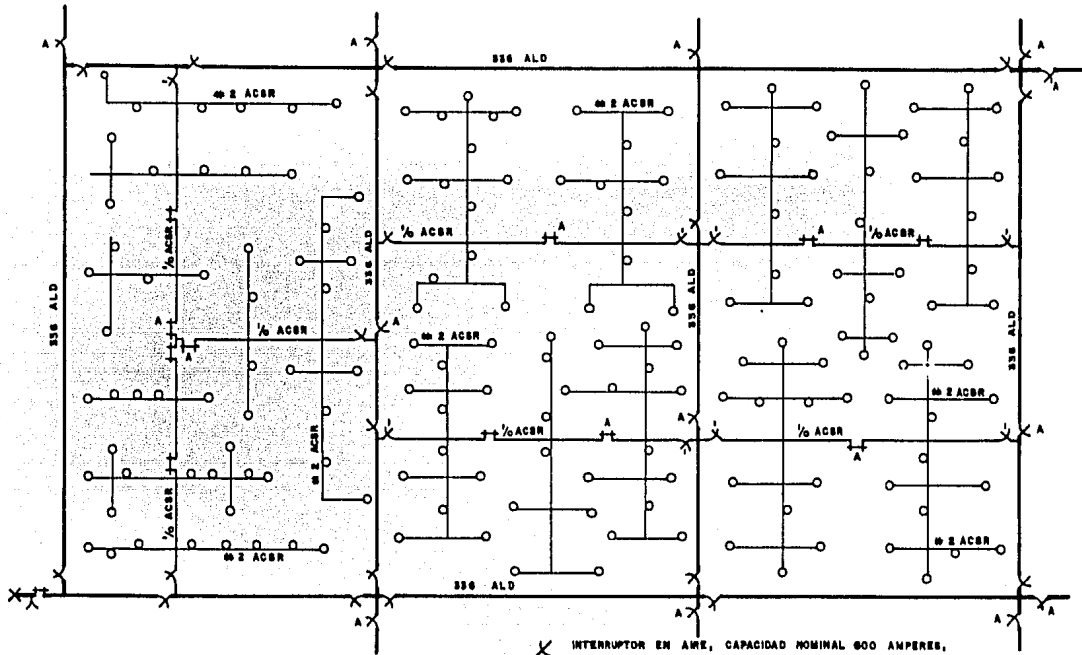
- (a) Carga doméstica.
- (b) Carga de pequeña industria ( bombas de agua, molinos, etc. ).

Los elementos principales de esta red ( transformadores, cuchillas, seccionadores, cables, etc. ) se instalan en postes o estructuras de diferentes materiales.

Los alimentadores primarios normalmente se estructuran en forma radial

en un sistema de este tipo la forma geométrica del alimentador semeja la de un árbol en el que el grueso de la energía se transmite a lo largo de un alimentador principal derivándose a la carga a lo largo de los alimentadores laterales. Figura 2.

La capacidad normal de los alimentadores de 23 kV es de 9 a 12 MVA, dependiendo de la capacidad firme de la subestación.



ESTRUCTURA DE LA RED AEREA DE 23 kV

FIGURA 2

- X INTERRUPTOR EN AIRE, CAPACIDAD NOMINAL 600 AMPERES,  
1 CAMARA DE EXTINCION (OPERACION MANUAL)
- ⌋ INTERRUPTOR EN AIRE, CAPACIDAD NOMINAL 400 AMPERES,  
1 CAMARA DE EXTINCION (OPERACION MANUAL)
- ⌋-⌋ CUCHILLAS DE NAVAJA PARA ABRIR SIN CARGA (OPERACION MANUAL)
- X JUEGO DE TERMINALES MONOFASICAS DE 23 kV
- ⌋ JUEGO DE PARARRAYOS DE 23 kV
- TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION
- A INTERRUPTORES Y CUCHILLAS NORMALMENTE ABIERTAS

C A P I T U L O    I I

ASPECTOS FUNDAMENTALES EN LA PLANEACION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION  
PRIMARIA



## II.- ASPECTOS FUNDAMENTALES EN LA PLANEACION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIA.

La planeación de un sistema de distribución primaria es sumamente compleja debido a la cantidad de variables que se presentan.

En la planeación de alimentadores de distribución se deberán de cubrir las siguientes limitaciones:

- 1) Limitación Mecánica.
- 2) Limitación Térmica.
- 3) Limitación por Caída de Voltaje o Regulación.
- 4) Limitación Económica.

El orden en que son enumeradas indica su importancia relativa en el caso general, de manera que el cumplimiento de la primera es absolutamente indispensable en tanto que el de la última puede ser menos importante, cuando se presentan motivos poderosos para ello.

### II. 1.- LIMITACION MECANICA.

Se enuncia diciendo que todo conductor debe tener la suficiente resistencia mecánica para soportar sin romperse y sin deformarse permanentemente, los esfuerzos aplicados al mismo, en el servicio normal que debe desempeñar y aún los que sean anormales pero previsibles técnicamente.

En el caso de líneas aéreas, los esfuerzos normales son: el peso del hielo que pudiera depositarse en los conductores instalados en zonas frías; el efecto del viento a una velocidad límite sobre el conductor, con o sin hielo; los efectos de la contracción a bajas temperaturas; los esfuerzos de corte en los amarres o mordazas de los aisladores; los resultados de aplicar un instrumento cortante al conductor para desnudarlo; etc. Los anormales comprenden: la presión de escaleras apoyadas contra las líneas; la suspensión de personal de las mismas; el esfuerzo de los huracanes; la presión de árboles o remaje; la tensión debida a la movilidad de los apoyos, con motivo de la ruptura de uno o más cables, o la caída de un poste; la falla de una retenida, etc.

Ante esfuerzos tan variados, no es posible fijar de un modo absoluto las dimensiones y características de un conductor, tanto más cuanto que el peso del mismo es uno de los motivos de esfuerzo y al crecer la resistencia mecánica, crece también el peso. Para líneas aéreas sostenidas entre apoyos distantes, se ha tomado como base el valor del "claro" para definir cuales son las secciones de metal que cubren la limitación mecánica. Con dichos valores se ha formado la tabla que sigue:

TABLA 1.- CALIBRES MÍNIMOS EN MILÍMETROS CUADRADOS SEGUN LA DISTAN-  
CIA ENTRE APOYOS.

MATERIAL	30 m	45 m	60 m	90 m
Cobre estirado en frío	8	13	21	33
Cobre recocido	13	21	42	NO
Aluminio duro	--	42	53	--
Aluminio reforzado	--	13 (+)	21 (+)	--

(+) Area neta de aluminio, sin contar el refuerzo.

La palabra NO significa que no se permite usar conductores recocidos en claros mayores de 60 m. Las rayas ( -- ) significan que no es normaliza da la sección en dichos claros.

Los calibres usuales en líneas aéreas, de tensión mediana y alta, son \_ " bastante más gruesos " que los marcados en la tabla 1. Por lo consi-- guiente queda cubierta la limitación mecánica en los sistemas de distri bución primaria.

## II. 2.- LIMITACION TERMICA.

Se expresa diciendo que todo conductor debe alcanzar, en operación nor mal, una temperatura moderada, de acuerdo con las características de su instalación.

En un conductor desnudo el límite de temperatura lo establecen los siguientes motivos:

- a) La resistencia óhmica del conductor aumenta con el incremento de la temperatura lo que hace mayores las pérdidas por efecto Joule y la regulación de la línea, es decir, la pérdida resistiva de voltaje.
- b) La dilatación exagerada del conductor puede ser causa de acercamiento a tierra o a otros conductores de un nivel inferior, en forma peligrosa; por tal motivo los conductores situados en la misma vertical, deben estar separados especialmente.
- c) La dilatación del herraje de un aislador que soporta un conductor muy caliente, puede ser causa de deterioro más o menos grave del aislador, a causa de esfuerzos internos anormales.

### II. 3.- LIMITACION POR CAIDA DE VOLTAJE O REGULACION.

Se entiende por regulación el cambio de tensión en una carga alimentada por generador o transformador de potencial invariable, cuando dicha carga se reduce progresivamente hasta cero; y se expresa en valor absoluto por la diferencia entre la tensión máxima y la normal; o en porcentaje, por el cociente de esta diferencia entre la tensión normal, multiplicada por cien.

Como la causa de la regulación es la caída de potencial en los conductores de alimentación, la regulación será íntimamente ligada a las características de la línea; recíprocamente las constantes de una línea determinan la regulación de ella.

Como quiera que sea, la corriente que usa cada receptor debe ser llevada hasta él en condiciones apropiadas para que el servicio que ese receptor desempeña sea satisfactorio.

Es necesario no solamente proveer a los generadores del sistema, de reguladores de campo y aplicar a los alimentadores suficientes reguladores de tensión, que mantengan dentro de límites permisibles la tensión en los cables distribuidores secundarios, sino también limitar las caídas de potencial en las líneas de transmisión y distribución, y en las instalaciones interiores, para que la regulación sea pequeña y para que la tensión en los receptores quede dentro de límites aceptables.

#### II. 4.- LIMITACION ECONOMICA.

Si para transportar una potencia determinada, a cierta distancia y con una tensión dada, se emplean conductores delgados, el costo de la línea y los gastos posteriores derivados del capital invertido serán pequeños pero la energía disipada por efecto Joule será muy grande y su valor podrá exceder y anular cualquier economía que pudiera proveer de poca

capital invertido. Si por lo contrario, se emplean conductores de calibre excesivo, la pérdida de energía podrá resultar despreciable; pero - los gastos derivados del capital invertido serán tan grandes que la línea no será costeable. En ambos casos la pérdida en efectivo será demasiado grande y la explotación resultara antieconómica.

En el término medio se encuentra la solución apropiada: ni demasiado \_\_ gasto de capital, ni demasiada disipación de energía. Este es el proble \_\_ ma que enfocó por primera vez Lord Kelvin y al cual dió la ley siguiente: " Cuando la energía disipada por efecto Joule tiene un valor fijo \_\_ por unidad, independiente del costo que puedan tener los conductores, \_\_ la sección más económica es aquella que hace iguales los gastos por con \_\_ cepto de capital invertido y por concepto de energía disipada."

CONCLUSIONES: Para el análisis y proyecto de alimentadores de distribu \_\_ ción, podemos decir que la " limitación mecánica " queda cubierta con \_\_ los calibres de los conductores usuales y que la " limitación económi \_\_ ca " tiene una importancia relativa, más bien baja con respecto a las \_\_ demás y por consiguiente podrá considerarse muy elástica; por lo que \_\_ respecta a la " limitación térmica " y a la " limitación por caída de \_\_ voltaje " será necesario considerarlas por su importancia; en adelante se hara un análisis de estas dos limitaciones.

C A P I T U L O   I I I

MODELO MATEMATICO PARA LA OPTIMIZACION DE LOS PARAMETROS DE UN AREA DE

CARCA DE DISTRIBUCION

### III.- MODELO MATEMATICO PARA LA OPTIMIZACION DE LOS PARAMETROS DE UN AREA DE CARGA DE DISTRIBUCION.

#### III. 1.- INTRODUCCION.

El modelo utilizado aquí, para optimizar la planeación de un sistema de distribución primario se ha tratado de una manera generalizada, asumiendo ciertas simplificaciones. En dicho estudio generalizado, se considera que el área de carga del alimentador tiene una densidad de carga uniforme y una forma geométrica regular, por ejemplo un rectángulo.

Ahora bien, los resultados de un estudio generalizado no son siempre directamente aplicables a un problema específico, ellos nos sirven para ilustrar las relaciones fundamentales entre la regulación, la densidad de carga, el voltaje del sistema; y sus efectos en el tamaño y forma del área servida por el alimentador de distribución; asimismo se examinan las relaciones entre el voltaje del sistema y las pérdidas  $I^2R$  del conductor en el alimentador primario.

#### AREAS DE CARGA DE FORMA RECTANGULAR

La figura 3 representa un área de carga de forma rectangular con una densidad de carga uniforme, alimentada por un sistema trifásico, 4 hilos con neutro multiterizado. El área de carga esta cubierta por un alimentador principal trifásico y algunos laterales monofásicos ( ó trifási---



cos ) espaciados uniformemente, como se muestra en la figura 3.

En el caso de laterales monofásicos, se considera que hay un número suficiente de cargas laterales conectadas para balancear la carga trifásica en el alimentador principal.

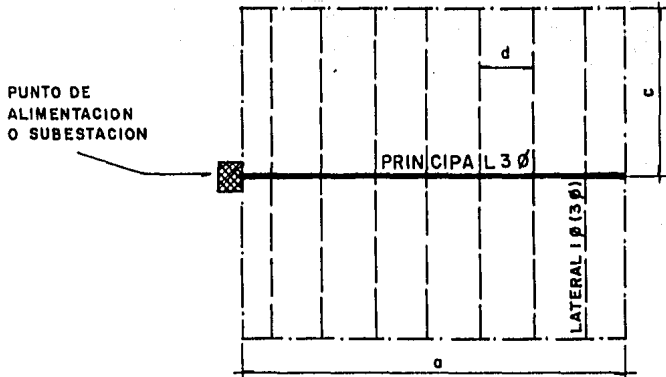


FIGURA 3 AREA DE CARGA RECTANGULAR

### III. 2.- NOMENCLATURA.

a = longitud del alimentador principal en km.

c = longitud de cada alimentador lateral en km.

d = distancia entre laterales en km.

A = área alimentada en  $\text{km}^2$ .

D = densidad de carga en  $\text{kVA}/\text{km}^2$ .

W = carga total del alimentador en kVA.

E = voltaje de alimentación en kV ( entre fases ).

I = corriente total en A ( rms ).

$\Delta V$  = caída de voltaje en V.

e = porcentaje de caída de voltaje en el alimentador primario.

$W_L$  = carga por lateral en kVA/lateral.

$I_L$  = corriente por lateral en A ( rms )/lateral.

$\Delta V_P$  = caída de voltaje en el alimentador principal.

$\Delta V_L$  = caída de voltaje en el alimentador lateral.

$e_P$  = porcentaje de caída de voltaje en el alimentador principal.

$e_L$  = porcentaje de caída de voltaje en el alimentador lateral.

$Z_1$  = factor de impedancia del alimentador principal en  $\Omega/\text{km}$ .

$$= R_1 \cos \phi + X_1 \sin \phi$$

$Z_2$  = factor de impedancia del alimentador lateral en  $\Omega/\text{km}$ .

$$= R_2 \cos \phi + X_2 \sin \phi$$

$R_1$  = resistencia de una fase del alimentador principal en  $\Omega/\text{km}$ .

$R_2$  = resistencia de los conductores fase y neutro ( ó fase ) del lateral en  $\Omega/\text{km}$ .

$\cos \phi$  = factor de potencia de la carga.

$n$  = número de laterales.

$$K_1 = \frac{0.10 DZ_1}{E^2}$$

$$K_2 = \frac{K_3 DdZ_2}{E^2}$$

$K_3$  = constante que depende del tipo de lateral.

= 0.30 para laterales de fase y neutro asumiendo que toda la corriente regresa a través del conductor neutro.

= 0.21 para laterales de fase y neutro asumiendo que el 40 % de la corriente regresa a través del conductor neutro.

= 0.10 para laterales de fase a fase.

= 0.05 para laterales trifásicos.

$K_4$  = constante que depende del tipo de lateral.

=  $\sqrt{3}$  para laterales de fase y neutro.

= 1 para laterales de fase a fase.

=  $1/\sqrt{3}$  para laterales trifásicos.

$K_5$  = constante que depende del tipo del lateral.

= 2 considerando que toda la corriente regresa a través del conductor neutro ( ó fase ).

= 1.4 considerando que el 40 % de la corriente regresa a través del conductor neutro.

= 3 para laterales trifásicos.

$\propto$  = léase: " es proporcional a ".

$N$  = número de circuitos requeridos para cubrir una área dada.

$W_T$  = carga del alimentador primario, limitado térmicamente en kVA.

$I_T$  = corriente en el punto de alimentación del alimentador primario limitado térmicamente en A ( rms ).

$D_T$  = densidad de carga del alimentador limitado térmicamente en  $\text{kVA}/\text{km}^2$ .

$P$  = pérdidas  $I^2R$  totales en el alimentador primario en W.

$P_L$  = pérdidas  $I^2R$  en todos los alimentadores laterales combinados en W.

$P_P$  = pérdidas  $I^2R$  en los tres conductores del alimentador principal en W.

$P_{L1}$  = pérdidas  $I^2R$  en un alimentador lateral en W.

$P_P1$  = pérdidas  $I^2R$  en un conductor del alimentador principal en W.

$D_S$  = densidad de carga simultánea, para la cual el alimentador primario está limitado tanto por caída de voltaje como térmicamente en  $\text{kVA}/\text{km}^2$ .

### III. 3.- DESARROLLO.

#### III. 3.1.- ALIMENTADORES LIMITADOS POR CAIDA DE VOLTAJE.

##### CONDICION: MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA.

El largo del alimentador principal y de los laterales esta determinado por el porciento de caída de voltaje permitido en el alimentador primario, entre el punto de alimentación y el final del último lateral. Por consiguiente, mientras más grande sea el sistema, mayor será su limitación por caída de voltaje.

##### CALCULO DEL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO.

Cuando se alimentan a través de un circuito de distribución consumos de energía de la misma magnitud y del mismo factor de potencia a intervalos de distancia iguales, la caída de voltaje total desde el origen hasta el final de la línea puede calcularse suponiendo toda la carga concentrada en el punto medio del circuito. O sea:

$$\Delta V = \frac{R}{2} IZ$$

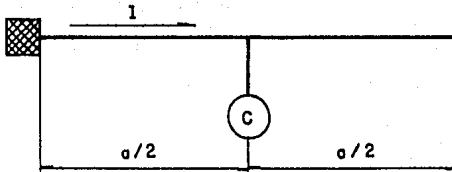


FIGURA 4

## CALCULO DEL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE EN EL ALIMENTADOR PRINCIPAL.

Denominando:

$$A = 2ac \quad (1)$$

$$W = AD = 2acD \quad (2)$$

$$\Delta V_P = \frac{a}{2} I Z_1$$

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} E} = \frac{2acD}{\sqrt{3} E}$$

$$\Delta V_P = \frac{2acD}{\sqrt{3} E} \frac{a Z_1}{2} = \frac{a^2 c D Z_1}{\sqrt{3} E}$$

De donde el porciento de caída de voltaje en el alimentador principal,

es:

$$e_P = \frac{a^2 c D Z_1}{\sqrt{3} E} \frac{100}{1000 \frac{E}{\sqrt{3}}} = \frac{0.10 a^2 c D Z_1}{E^2} \quad (3)$$

## CALCULO DEL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE EN EL LATERAL.

El número de laterales, es:

$$n = \frac{2a}{d}$$

Y la potencia por lateral:

$$W_L = \frac{W}{\frac{2a}{d}} = \frac{2acD}{\frac{2a}{d}} = Dcd$$

entonces la corriente por lateral, es:

$$I_L = \frac{K_4 Dcd}{E}$$

$$V_L = K_5 I_L Z_2 \frac{c}{2} = K_5 K_4 \frac{Dcd}{E} Z_2 \frac{c}{2}$$

De donde el porcentaje de caída de voltaje en el alimentador lateral, es:

$$e_L = K_5 K_4 \frac{Dcd}{E} Z_2 \frac{c}{2} \frac{K_4 100}{1000 E} = K_3 \frac{Ddc^2 Z_2}{E^2} \quad (4)$$

Reagrupando (3) y (4) se obtiene el porcentaje de caída de voltaje en el alimentador primario, o sea:

$$e = e_P + e_L = \left( \frac{0.10 \cdot DZ_1}{E^2} \right) a^2 c + \left( \frac{K_3 DdZ_2}{E^2} \right) c^2$$

$$e = K_1 a^2 c + K_2 c^2 \quad (5)$$

La ecuación (5) muestra la variación del porcentaje de caída de voltaje total con los valores geométricos  $a$  y  $c$  del área considerada, si se mantiene constante la demanda, el calibre de los conductores y el voltaje del sistema.

#### CONDICION DE MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA

De la figura 3 se observa que se puede cumplir un porcentaje de caída de voltaje permisible, teniendo un alimentador principal muy largo y late-

rales cortos o un alimentador principal muy corto y laterales largos, pero el área de carga cubierta por estas condiciones extremas sería bastante pequeña.

Por esto se hace necesario encontrar una relación óptima entre el largo del alimentador principal y el largo del lateral, la cual nos de un área de carga cubierta máxima bajo un porcentaje de caída de voltaje permisible dado. La relación, será:

De la ecuación (5), se tiene:

$$a^2 = \frac{e - K_2 c^2}{K_1 c}, \text{ y entonces}$$

$$a = \left( \frac{e - K_2 c^2}{K_1 c} \right)^{0.5}; \text{ sabemos que } A = 2ac$$

$$A = \left( \frac{4ec - 4K_2 c^3}{K_1} \right)^{0.5}; \text{ maximizando el área, se tiene}$$

$$\frac{dA}{dc} = 0 = \frac{1}{2} \left( \frac{4ec - 4K_2 c^3}{K_1} \right)^{-0.5} \left( \frac{1}{K_1} \right) (4e - 12K_2 c^2)$$

$$0 = \frac{1}{2K_1} \left( \frac{4ec - 4K_2 c^3}{K_1} \right)^{-0.5} (4e - 12K_2 c^2)$$

Esta ecuación se hace cero cuando:

$$4e = 12K_2 c^2$$

$$K_2 c^2 = \frac{e}{3}$$

( 6 )



Ahora bien, de la ecuación (5),  $K_2 c^2$  es el porciento de caída de voltaje en el lateral. Por lo tanto, la máxima área de carga cubierta se obtiene cuando  $1/3$  de la caída de voltaje permisible ocurre en el lateral y  $2/3$  ocurren en el alimentador principal. La relación obtenida es muy general y para áreas de carga de forma rectangular, independientemente de:

- 1.- La densidad de carga.
- 2.- Las dimensiones de los conductores.
- 3.- El voltaje del sistema.
- 4.- Tipo de circuito.
- 5.- Porciento de caída de voltaje permisible.

Sin embargo, no debemos olvidar que la longitud real de los alimentadores principal y laterales depende de estos parámetros.

### III. 3.1.1.- DETERMINACION DE LAS RELACIONES FUNDAMENTALES DE LOS PARAMETROS DEL SISTEMA A PARTIR DE SUS ECUACIONES GENERALES.

De la ecuación (6), se tiene:

$$c = \left( \frac{e}{3K_2} \right)^{0.5}, \text{ sustituyendo } K_2$$

$$c = \left( \frac{eE^2}{3K_3 D Z_2 d} \right)^{0.5} \quad (7)$$

Suponiendo un porciento de caída de voltaje y considerando constantes  $Z_2$ ,  $K_3$  y  $d$  se obtiene la siguiente relación:

$$c \propto \frac{E}{D^{0.5}} \quad (8)$$

Sustituyendo la ecuación (7) en (5), se obtiene:

$$e = K_1 a^2 \left( \frac{e}{3K_2} \right)^{0.5} + K_2 \left( \frac{e}{3K_2} \right)$$

$$a^2 = \frac{e - \frac{K_2 e}{3K_2}}{K_1 \left( \frac{e}{3K_2} \right)^{0.5}} = \frac{2e \left( 3K_2 \right)^{0.5}}{3K_1 e^{0.5}}$$

$$a = \frac{\sqrt{2} K_2^{0.25} e^{0.25}}{3^{0.25} K_1^{0.5}} \quad ; \text{ sustituyendo } K_1 \text{ y } K_2$$

$$a = \frac{2 \left( K_3 Z_2 d \right)^{0.25} E^{0.5} e^{0.25}}{3^{0.25} \left( 0.10 Z_1 \right)^{0.5} D^{0.25}} \quad (9)$$

Para un porciento de caída de voltaje y siendo  $K_3$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $d$  constantes, se tiene:

$$a \propto \frac{E^{0.5}}{D^{0.25}} \quad (10)$$

Combinando las ecuaciones (7) y (9), la relación  $a$  entre  $c$ , será:

$$\frac{a}{c} = \frac{\sqrt{2} K_2^{0.25} e^{0.25} \left( 3K_2 \right)^{0.5}}{3^{0.25} K_1^{0.5} e^{0.5}} = \frac{\sqrt{2} 3^{0.25} K_2^{0.75}}{K_1^{0.5} e^{0.25}} \quad ; \text{ sustituyendo}$$

$K_1$  y  $K_2$ , se tiene:

$$\frac{a}{c} = \frac{\sqrt{2} \cdot 3^{0.25} (K_3 Z_2 d)^{0.75} D^{0.75} E}{e^{0.25} (0.10 Z_1)^{0.5} E^{1.5} D^{0.5}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 3^{0.25} (K_3 Z_2 d)^{0.75} D^{0.25}}{e^{0.25} (0.10 Z_1)^{0.5} E^{0.5}} \quad (11)$$

Por consiguiente para un porcentaje de caída de voltaje y haciendo constantes a  $K_3$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $d$ , se tendrá:

$$\frac{a}{c} \propto \frac{D^{0.25}}{E^{0.5}} \quad (12)$$

La máxima área de carga que puede ser cubierta por circuito, será:

$$A = 2ac = 2 \left( \frac{e}{3K_2} \right)^{0.5} \frac{\sqrt{2} K_2^{0.25} e^{0.25}}{3^{0.25} K_1^{0.5}} = \frac{2 \sqrt{2} e^{0.75}}{3^{0.75} K_1^{0.5} K_2^{0.25}}$$

Sustituyendo  $K_1$  y  $K_2$

$$A = \frac{2 \sqrt{2} e^{0.75} E^{0.5}}{3^{0.75} (K_3 Z_2 d)^{0.25} (0.10 Z_1)^{0.5} D^{0.5} D^{0.25}} \\ = \frac{2 \sqrt{2} e^{0.75} E^{1.5}}{3^{0.75} (K_3 Z_2 d)^{0.25} (0.10 Z_1)^{0.5} D^{0.75}} \quad (13)$$

Suponiendo un porcentaje de caída de voltaje y considerando constantes  $K_3$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $d$ , se obtiene la siguiente relación:

$$A \propto \frac{E^{1.5}}{D^{0.75}} \quad (14)$$

La carga que puede ser llevada por circuito, es el área de carga por la

densidad, o sea:

$$W = AD = \frac{2\sqrt{2} e^{0.75} D}{3^{0.75} K_1^{0.5} K_2^{0.25}} ; \text{ sustituyendo } K_1 \text{ y } K_2$$

$$W = \frac{2\sqrt{2} e^{0.75} D E^{0.75}}{3^{0.75} (0.10 Z_1)^{0.5} (K_3 Z_2 d)^{0.25} D^{0.5} D^{0.25}}$$

$$= \frac{2\sqrt{2} e^{0.75} D^{0.25} E^{1.5}}{3^{0.75} (0.10 Z_1)^{0.5} (K_3 Z_2 d)^{0.25}} \quad (15)$$

Considerando un porcentaje de caída de voltaje y que  $K_3$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $d$  son constantes, se tiene

$$W \propto D^{0.25} E^{1.5} \quad (16)$$

El número de circuitos requeridos para cubrir una área dada, será:

$$N = \frac{\text{carga total}}{\text{carga / circuito}}$$

Dado que la carga total es proporcional a la densidad de carga, se tie-

ne que:

$$N \propto \frac{D}{E^{1.5} D^{0.25}}$$

$$N \propto \frac{D^{0.75}}{E^{1.5}} \quad (17)$$

Tanto la longitud real del alimentador principal y de los laterales como la relación óptima entre estas dos longitudes, también dependen de los factores de impedancia  $Z_1$  y  $Z_2$ , o sea:  $K_1 \propto Z_1$  ;  $K_2 \propto Z_2$

Por lo tanto las ecuaciones (7), (9), (11), (13) y (15), también pueden ser útiles para mostrar el efecto que tienen diferentes calibres de conductores en los parámetros del circuito.

### III. 3.1.2.- EFFECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LOS ALIMENTADORES.

Las relaciones (8), (10), (12), (14), (16) y (17) nos sirven para mostrar como es afectada la geometría del área de carga rectangular bajo la condición de máxima área de carga cubierta cuando varía la densidad de carga, manteniendo constante tanto el voltaje del sistema como el calibre de los conductores.

Sabemos que:

$c \propto \frac{E}{D^{0.5}}$  ; pero como E es constante y considerando  $Z_2$ ,  $K_3$  y d constantes, se tiene:

$$c = \frac{K}{D^{0.5}}$$

Por otro lado, el subíndice 1 denotará condiciones para el sistema 1 y el subíndice 2 para condiciones del sistema 2.

Por lo tanto en los laterales

$$c_1 = \frac{K}{D_1^{0.5}} ; c_2 = \frac{K}{D_2^{0.5}}$$

Entonces

$$\frac{c_2}{c_1} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{0.5} \quad (18)$$

En el alimentador principal, tenemos:

$$\frac{a_2}{a_1} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{0.25} \quad (19)$$

La relación del alimentador principal al lateral

$$\frac{a_2 / c_2}{a_1 / c_1} = \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^{0.25} \quad (20)$$

Para las áreas de carga, se tiene:

$$\frac{A_2}{A_1} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{0.75} \quad (21)$$

Para la carga por circuito

$$\frac{W_2}{W_1} = \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^{0.25} \quad (22)$$

Y con el número de circuitos

$$\frac{N_2}{N_1} = \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^{0.75} \quad (23)$$

### III. 3.1.3.- EFEECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LOS ALIMENTADORES.

Las relaciones (8), (10), (12), (14), (16) y (17) también nos sirven para mostrar como es afectada la geometría del área de carga rectangular bajo las condiciones de máxima área de carga cubierta cuando se cambia el voltaje del sistema, manteniendo constante tanto la densidad de carga como el calibre de los conductores.

Sabemos que en los laterales

$c \propto \frac{E}{D^{0.5}}$ ; pero D es constante y considerando  $Z_2$ ,  $K_3$  y d constantes se tendrá:

$$c_1 = \frac{E_1}{K} ; \quad c_2 = \frac{E_2}{K}$$

Por lo tanto

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{E_2}{E_1} \quad (24)$$

En el alimentador principal, tenemos:

$$\frac{a_2}{a_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{0.5} \quad (25)$$

La relación del alimentador principal al lateral

$$\frac{a_2 / c_2}{a_1 / c_1} = \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^{0.5} \quad (26)$$

Para las áreas de carga, se tiene:

$$\frac{A_2}{A_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{1.5} \quad (27)$$

Para la carga por circuito

$$\frac{W_2}{W_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{1.5} \quad (28)$$

Y con el número de circuitos

$$\frac{N_2}{N_1} = \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^{1.5} \quad (29)$$

El concepto de máxima área de carga cubierta es una guía útil en la planeación del desarrollo de sistemas de distribución y también en el cambio de un nivel de voltaje a otro. Además, rara vez es posible desarrollar un sistema, conforme a una idealización o un estudio generalizado, los resultados de tales estudios son útiles como índices y guías, los cuales encaminan nuestros esfuerzos en la dirección adecuada para lograr los grandes beneficios de un sistema ideal.



### III. 3.2.- ALIMENTADORES LIMITADOS TÉRMICAMENTE.

#### CONDICION: MÍNIMO PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE.

La ecuación (15) nos muestra que en un alimentador limitado por caída de voltaje, la carga que puede ser llevada por circuito, es proporcional a  $D^{0.25}$ . Esto es, si la densidad de carga se incrementa, la carga por alimentador se incrementará, hasta llegar a un límite térmico o quizá a un valor máximo de carga por circuito prefijado.

#### CALCULO DEL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE TOTAL.

De la ecuación (2) sabemos que el área por alimentar esta determinada por la carga máxima ( $W_T$ ) y la densidad de carga ( $D_T$ ), tal como se muestra:

$$W_T = AD_T = 2acD_T \quad (30)$$

Sabemos de la ecuación (5) que el porcentaje de caída de voltaje, es:

$$e = K_1 a^2 c + K_2 c^2$$

Ahora, de la ecuación (30) se tiene:

$$a = \frac{W_T}{2cD_T}, \text{ sustituyendo este valor en la ecuación anterior, se tendrá:}$$

$$e = K_1 \frac{W_T^2}{4cD_T^2} + K_2 c^2 \quad (31)$$

## CONDICION DE MINIMO PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE

Para determinar la relación en el largo del alimentador principal y los laterales bajo la condición de un mínimo porcentaje de caída de voltaje, es necesario minimizar  $e$  con respecto a  $c$  de la ecuación (31), es decir

$\frac{de}{dc} = 0$ , entonces:

$$\frac{de}{dc} = -K_1 \frac{W_T^2}{4D_T^2 c^2} + 2K_2 c = 0$$

$$\frac{K_1 W_T^2}{4D_T^2 c^2} = 2K_2 c \quad (32)$$

De la expresión anterior, puede ser determinada, para un alimentador limitado térmicamente, la relación entre el porcentaje de caída de voltaje en el alimentador principal y el lateral, bajo la condición de mínimo porcentaje de caída de voltaje.

Multiplicando ambos miembros de la ecuación (32) por  $c$ , se tiene:

$$\frac{K_1 W_T^2}{4D_T^2 c} = 2 K_2 c^2$$

Comparando este resultado con la ecuación (31), se tendrá:

$$\frac{K_1 W_T^2}{4D_T^2 c} = \text{Representa el porcentaje de caída de voltaje en el alimentador principal}$$

$K_2 c^2$  = Representa el porciento de caída de voltaje en el lateral.

De otra manera

$$e_p = 2 e_L$$

Es decir, lo anterior nos muestra que el porciento de caída de voltaje mínimo, se alcanza cuando el porciento de caída de voltaje en el alimentador principal es dos veces el porciento de caída de voltaje en el lateral.

Esta misma relación se obtuvo para la condición de máxima área de carga cubierta con un porciento de caída de voltaje permisible en alimentadores limitados por caída de voltaje.

### III. 3.2.1.- DETERMINACION DE LAS RELACIONES FUNDAMENTALES DE LOS PARAMETROS DEL SISTEMA A PARTIR DE SUS ECUACIONES GENERALES.

Para un tamaño de conductores dado, y considerando a su vez que la carga permitida ( máxima ) es proporcional al voltaje del sistema (  $W_T \propto E$  ) las relaciones de los parámetros bajo condiciones de mínimo porciento de caída de voltaje, serán:

De la ecuación (32), se tiene:

$$c = \left( \frac{K_1 W_T^2}{8K_2 D_T^2} \right)^{0.33}, \text{ sustituyendo } K_1 \text{ y } K_2$$

$$c = \left( \frac{0.10 Z_1 W_T^2}{8K_2 Z_2 d D_T^2} \right)^{0.33} \quad (33)$$

$$c \propto \left( \frac{E}{D_T} \right)^{0.66} \quad (34)$$

Combinando las ecuaciones (30) y (33), se tiene:

$$a = \left( \frac{W_T K_2}{D_T K_1} \right)^{0.33} = \left( \frac{K_2 Z_2 d W_T}{0.10 Z_1 D_T} \right)^{0.33} \quad (35)$$

$$a \propto \left( \frac{E}{D_T} \right)^{0.33} \quad (36)$$

De las ecuaciones (33) y (35), se tendrá:

$$\frac{a}{c} = 2 \left( \frac{K_2}{K_1} \right)^{0.66} \left( \frac{D_T}{W_T} \right)^{0.33} = 2 \left( \frac{K_2 Z_2 d}{0.10 Z_1} \right)^{0.66} \left( \frac{D_T}{W_T} \right)^{0.33} \quad (37)$$

$$\frac{a}{c} \propto \left( \frac{D_T}{E} \right)^{0.33} \quad (38)$$

De las ecuaciones (33) y (35), se tiene:

$$A = 2ac = 2 \left( \frac{K_1 W_T^2}{8K_2 D_T^2} \right)^{0.33} \left( \frac{W_T K_2}{D_T K_1} \right)^{0.33} = \frac{W_T}{D_T} \quad (39)$$

$$A \propto \frac{E}{D_T} \quad (40)$$

## RELACION ENTRE EL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE Y LA DENSIDAD DE CARGA

El porcentaje de caída de voltaje total, esta dado por la ecuación siguiente:

$$e = \left( \frac{0.10 Z_1 D}{E^2} \right) a^2 c + \left( \frac{K_2 d Z_2 D}{E^2} \right) c^2 \quad (41)$$

Cuando el voltaje del alimentador, la sección de los conductores y la carga son mantenidos constantes, de la ecuación (35), se tiene:

$$a \propto \frac{1}{D_T^{0.33}}$$

Y de la ecuación (33), se tendrá:

$$c \propto \frac{1}{D_T^{0.66}}$$

Sustituyendo estas relaciones en la ecuación (41):

$$e = \frac{K_1'}{D_T^{0.33}} + \frac{K_2'}{D_T^{0.33}} = \frac{K_1' + K_2'}{D_T^{0.33}}$$

Por lo tanto, en un alimentador limitado térmicamente, para un voltaje de sistema y tamaño de los conductores dados, se tiene:

$$e \propto \frac{1}{D_T^{0.33}} \quad (42)$$

RELACION ENTRE EL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE Y EL VOLTAJE DEL ALIMENTADOR.

Cuando la densidad de carga y la sección de los conductores se mantiene constante y la carga permitida es proporcional al voltaje del sistema  $(W_T \propto E)$ , de la ecuación (35), se tiene:

$$a \propto E^{0.33}$$

Y de la ecuación (33), se tendrá:

$$c \propto E^{0.66}$$

Sustituyendo estas relaciones en la ecuación (41):

$$e = \frac{K_1''}{E^{0.66}} + \frac{K_2''}{E^{0.66}} = \frac{K_1'' + K_2''}{E^{0.66}}$$

Por lo tanto, un alimentador limitado térmicamente con una densidad de carga y sección de los conductores constantes, el porcentaje de caída de voltaje, será:

$$e \propto \frac{1}{E^{0.66}} \quad (43)$$

Ahora bien, de las relaciones (42) y (43), la relación del porcentaje de caída de voltaje con la densidad de carga y el voltaje del sistema, será:

$$e \propto \frac{1}{D_T^{0.33} E^{0.66}} \quad (44)$$

III. 3.2.2.- EFFECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LOS ALIMENTADORES.

Las relaciones (34), (36), (38), (40) y (44) nos sirven para mostrar como es afectada la geometría del área de carga rectangular bajo la condición de mínimo porcentaje de caída de voltaje, cuando varía la densidad de carga, manteniendo constante tanto el voltaje del sistema como la sección de los conductores, esto es:

$$\frac{c_2}{c_1} = \left( \frac{D_{T1}}{D_{T2}} \right)^{0.66} \quad (45)$$

$$\frac{a_2}{a_1} = \left( \frac{D_{T1}}{D_{T2}} \right)^{0.33} \quad (46)$$

$$\frac{a_2 / c_2}{a_1 / c_1} = \left( \frac{D_{T2}}{D_{T1}} \right)^{0.33} \quad (47)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{D_{T1}}{D_{T2}} \quad (48)$$

$$\frac{e_2}{e_1} = \left( \frac{D_{T1}}{D_{T2}} \right)^{0.33} \quad (49)$$

III. 3.2.3.- EFFECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LOS ALIMENTADORES.

Las relaciones (34), (36), (38), (40) y (44) también nos sirven para mos

trar como es afectada la geometría del área de carga rectangular bajo la condición de mínimo porcentaje de caída de voltaje, cuando se cambia el voltaje del sistema, manteniendo constante tanto la densidad de carga como la sección de los conductores, esto es:

$$\frac{c_2}{c_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{0.66} \quad (50)$$

$$\frac{a_2}{a_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{0.33} \quad (51)$$

$$\frac{a_2 / c_2}{a_1 / c_1} = \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^{0.33} \quad (52)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1} \quad (53)$$

$$\frac{e_2}{e_1} = \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^{0.66} \quad (54)$$



III. 3.3.- ALIMENTADORES LIMITADOS POR CAIDA DE VOLTAJE.  
CONDICION: LONGITUD DEL LATERAL CONSTANTE.

Si el área a ser cubierta es larga y estrecha, la condición para la longitud constante del lateral puede ser obtenida, a través de la siguiente ecuación, la cual se dedujo anteriormente:

$$e = \frac{0.10 \text{ DZ}_1}{E^2} a^2 c + \frac{K_2 \text{ DZ}_2 d}{E^2} c$$

Cuando la longitud del lateral  $c$  es una constante y además corta, entonces la máxima caída de voltaje ocurre en el alimentador principal, especialmente si la densidad de carga es pequeña. Si despreciamos la caída de voltaje en el lateral, la ecuación anterior nos quedará:

$$e = \frac{0.10 \text{ DZ}_1}{E^2} a^2 c \quad (55)$$

de donde

$$e \propto \frac{Da^2}{E^2} \quad (56)$$

III. 3.3.1.- DETERMINACION DE LAS RELACIONES FUNDAMENTALES DE LOS PARAMETROS DEL SISTEMA A PARTIR DE SUS ECUACIONES GENERALES.

Como el alimentador es limitado por caída de voltaje, la ecuación (55) nos muestra que para un porcentaje de caída de voltaje dado, se tiene:

$$a = \sqrt{\frac{eE^2}{0.10 Z_1 Dc}} \quad (57)$$

$$a \propto \frac{E}{D^{0.5}} \quad (58)$$

El área cubierta por alimentador para este caso es proporcional a  $a$ , \_\_  
por lo que:

$$A = 2ac = \sqrt{\frac{40 ec E^2}{Z_1 D}} \quad (59)$$

$$A \propto \frac{E}{D^{0.5}} \quad (60)$$

Por lo tanto, para la carga se tiene:

$$W = AD = \sqrt{\frac{40 ecDE^2}{Z_1}} \quad (61)$$

$$W \propto ED^{0.5} \quad (62)$$

### III. 3.3.2.- EFEECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LOS ALIMENTADO-RES.

Las relaciones (58), (60) y (62) nos sirven para mostrar como es afectada la geometría del área de carga rectangular bajo la condición de longitud del lateral constante, cuando varía la densidad de carga, manteniendo constante tanto el voltaje del sistema como el calibre de los \_\_

conductores, esto es:

46.

$$\frac{a_2}{a_1} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{0.5} \quad (63)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{0.5} \quad (64)$$

$$\frac{W_2}{W_1} = \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^{0.5} \quad (65)$$

### III. 3.3.3.- EFFECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LOS ALIMENTADORES.

Las relaciones (58), (60) y (62) también nos sirven para mostrar como es afectada la geometría del área de carga rectangular bajo la condición de longitud del lateral constante, cuando se cambia el voltaje del sistema, manteniendo constante tanto la densidad de carga como la sección de los conductores, esto es:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{E_2}{E_1} \quad (66)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1} \quad (67)$$

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{E_2}{E_1} \quad (68)$$

III. 3.4.- ALIMENTADORES LIMITADOS TÉRMICAMENTE.

CONDICION: LONGITUD DEL LATERAL CONSTANTE.

En alimentadores limitados térmicamente para una longitud del lateral y sección de conductores constante, la carga máxima es:

$$W_T = AD_T = 2acD_T \quad (69)$$

III. 3.4.1.- DETERMINACION DE LAS RELACIONES FUNDAMENTALES DE LOS PARAMETROS DEL SISTEMA A PARTIR DE SUS ECUACIONES GENERALES.

De la ecuación (69), se tiene que:

$$a = \frac{W_T}{2cD_T} \quad (70)$$

Cuando el voltaje del alimentador varía, entonces  $W_T \propto E$ , por lo que de la ecuación anterior y sabiendo que  $c$  es constante, podemos escribir:

$$a \propto \frac{E}{D_T} \quad (71)$$

Por lo tanto, para el área se tendrá:

$$A = 2ac = \frac{W_T}{D_T} \quad (72)$$

$$A \propto \frac{E}{D_T} \quad (73)$$

Si la caída de voltaje en el lateral es despreciable, de las ecuaciones (55) y (70) se tiene que:

$$e = \frac{0.10 D_T Z_1}{E^2} a^2 c = \frac{0.025 Z_1 W_T^2}{E^2 D_T c} \quad (74)$$

$$e \propto \frac{1}{D_T} \quad (75)$$

### III. 3.4.2.- EFFECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LOS ALIMENTADOS.

Las relaciones (71), (73) y (75) nos sirven para mostrar como es afectada la geometría del área de carga rectangular bajo la condición de longitud de lateral constante, cuando varía la densidad de carga, manteniendo constante tanto el voltaje del sistema como el calibre de los conductores, esto es:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{D_{T1}}{D_{T2}} \quad (76)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{D_{T1}}{D_{T2}} \quad (77)$$

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{D_{T1}}{D_{T2}} \quad (78)$$

Si la caída de voltaje en el lateral es despreciable, de las ecuaciones (55) y (70) se tiene que:

$$e = \frac{0.10 D_T Z_1}{E^2} a^2 c = \frac{0.025 Z_1 W_T^2}{E^2 D_T c} \quad (74)$$

$$e \propto \frac{1}{D_T} \quad (75)$$

### III. 3.4.2.- EFEECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LOS ALIMENTADO- RES.

Las relaciones (71), (73) y (75) nos sirven para mostrar como es afectada la geometría del área de carga rectangular bajo la condición de longitud de lateral constante, cuando varía la densidad de carga, manteniendo constante tanto el voltaje del sistema como el calibre de los conductores, esto es:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{D_{T1}}{D_{T2}} \quad (76)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{D_{T1}}{D_{T2}} \quad (77)$$

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{D_{T1}}{D_{T2}} \quad (78)$$

### III. 3.4.3.- EFEECTO DEL AUMENTO DEL VOLTAJE EN LOS ALIMENTADORES.

Las relaciones (71), (73) y (75) también nos sirven para mostrar como es afectada la geometría del área de carga rectangular bajo la condición de longitud del lateral constante, cuando se cambia el voltaje del sistema, manteniendo constante tanto la densidad de carga como la sección de los conductores, esto es:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{E_2}{E_1} \quad (79)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1} \quad (80)$$

$$\frac{e_2}{e_1} = 1$$

Esta última relación nos muestra que el porcentaje de caída de voltaje es independiente del aumento del voltaje del alimentador.

### III. 3.5.- ALIMENTADORES LIMITADOS POR CAIDA DE VOLTAJE.

#### CONDICION: RELACION a/c CONSTANTE.

Cuando la longitud del alimentador principal y los laterales es variada en la misma proporción, ya sea que la densidad de carga o el voltaje del alimentador esten cambiando, una relación constante de  $a/c = R$  se mantendrá. La ecuación (5) del porciento de caída de voltaje total puede entonces ser, escrita como:

$$e = \frac{0.10 DZ_1 a^3}{RE^2} + \frac{K_3 DZ_2 da^2}{R^2 E^2}$$

Si  $R$ , la relación  $a/c$ , es muy grande, el segundo término de la ecuación anterior o el porciento de caída de voltaje en el lateral, será muy pequeño comparado con el porciento de caída de voltaje del alimentador principal. Si asumimos entonces, que el porciento de caída de voltaje en el lateral es despreciable, podemos decir:

$$e = \frac{0.10 DZ_1 a^3}{RE^2} \quad (81)$$

$$e \propto \frac{Da^3}{E^2} \quad (82)$$

### III. 3.5.1.- DETERMINACION DE LAS RELACIONES FUNDAMENTALES DE LOS PARAMETROS DEL SISTEMA A PARTIR DE SUS ECUACIONES GENERALES.



Como el alimentador es limitado por caída de voltaje, de la ecuación (81) podemos despejar  $a$ , de donde:

$$a = \left( \frac{eRE^2}{0.10 DZ_1} \right)^{0.33} \quad (83)$$

$$a \propto \frac{E^{0.66}}{D^{0.33}} \quad (84)$$

El área del alimentador es proporcional a  $ac$  y dado que  $c$  es proporcional a  $a$ , el área es proporcional a  $a^2$ . Entonces:

$$A = 2ac = \frac{2a^2}{R} = \frac{2}{R} \left( \frac{eRE^2}{0.10 DZ_1} \right)^{0.66} \quad (85)$$

$$A \propto \frac{E^{1.33}}{D^{0.66}} \quad (86)$$

Por lo tanto, para la carga se tendrá:

$$W = AD = \frac{2}{R} \left( \frac{eRE^2 D^{0.5}}{0.10 Z_1} \right)^{0.66} \quad (87)$$

$$W \propto D^{0.33} E^{1.33} \quad (88)$$

### III. 3.5.2.- EFFECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LOS ALIMENTADORES.

Las relaciones (84), (86) y (88) nos sirven para mostrar como es afectada la geometría del área de carga rectangular bajo la condición de  $a/c$

constante, cuando varía la densidad de carga, manteniendo constante tanto el voltaje del sistema como el calibre de los conductores, esto es:

$$\frac{a_2}{a_1} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{0.33} \quad (89)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{0.66} \quad (90)$$

$$\frac{w_2}{w_1} = \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^{0.33} \quad (91)$$

### III. 3.5.3.- EFEECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LOS ALIMENTADORES.

Las relaciones (84), (86) y (88) también nos sirven para mostrar como es afectada la geometría del área de carga rectangular bajo la condición de relación a/c constante, cuando se cambia el voltaje del sistema manteniendo constante tanto la densidad de carga como la sección de los conductores, esto es:

$$\frac{a_2}{a_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{0.66} \quad (92)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{1.33} \quad (93)$$

$$\frac{w_2}{w_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{1.33} \quad (94)$$

III. 3.6.- ALIMENTADORES LIMITADOS TÉRMICAMENTE.  
CONDICION: RELACION a/c CONSTANTE.

En alimentadores limitados térmicamente para una sección de conductor dada, la máxima carga esta dada por:

$$W_T = AD_T = 2acD_T \quad ; \text{ si } a/c = R$$

$$W_T = \frac{2a^2 D_T}{R} \quad (95)$$

III. 3.6.1.- DETERMINACION DE LAS RELACIONES FUNDAMENTALES DE LOS PARAMETROS DEL SISTEMA A PARTIR DE SUS ECUACIONES GENERALES.

Para una relación a/c constante, la ecuación (95) puede ser escrita:

$$a = \left( \frac{W_T R}{2D_T} \right)^{0.5} \quad (96)$$

$$a \propto \left( \frac{W_T}{D_T} \right)^{0.5}$$

Cuando el voltaje del alimentador es variado, entonces,  $W_T \propto E$ , por lo tanto, la relación anterior puede ser escrita, como:

$$a \propto \left( \frac{E}{D_T} \right)^{0.5} \quad (97)$$

Para el área del alimentador, se tiene:

$$A = 2ac = \frac{2a^2}{R} = \frac{2}{R} \left( \frac{W_T R}{2D_T} \right)^2 = \frac{W_T^2}{D_T} \quad (98)$$

y como  $W_T \propto E$ , se tiene:

$$A \propto \frac{E^2}{D_T} \quad (99)$$

Si combinamos las ecuaciones (81) y (96), resulta que:

$$e = \frac{0.10 D_T Z_1}{RE^2} \left[ \left( \frac{W_T R}{2D_T} \right)^{0.5} \right]^3$$

$$e = \frac{0.0354 Z_1 R^{0.5} W_T^{1.5}}{E^2 D_T^{0.5}} \quad (100)$$

$$e \propto \frac{W_T^{1.5}}{E^2 D_T^{0.5}} ; \text{ como } W_T \propto E, \text{ se tiene:}$$

$$e \propto \frac{1}{(E D_T)^{0.5}} \quad (101)$$

### III. 3.6.2.- EFFECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LOS ALIMENTADORES.

Las relaciones (97), (99) y (101) nos sirven para mostrar como es afec-

tade la geometría del área de carga rectangular bajo la condición de relación a/c constante, cuando varía la densidad de carga, manteniendo constante tanto el voltaje del sistema como el calibre de los conductores, esto es:

$$\frac{a_2}{a_1} = \left( \frac{D_{T1}}{D_{T2}} \right)^{0.5} \quad (102)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{D_{T1}}{D_{T2}} \quad (103)$$

$$\frac{e_2}{e_1} = \left( \frac{D_{T1}}{D_{T2}} \right)^{0.5} \quad (104)$$

### III. 3.6.3.- EFFECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LOS ALIMENTADORES.

Las relaciones (97), (99) y (101) también nos sirven para mostrar como es afectada la geometría del área de carga rectangular bajo la condición de relación a/c constante, cuando se cambia el voltaje del sistema manteniendo constante tanto la densidad de carga como la sección de los conductores, esto es:

$$\frac{a_2}{a_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{0.5} \quad (105)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1} \quad (106)$$

$$\frac{e_2}{e_1} = \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^{0.5} \quad (107)$$

III. 3.7.- SUMARIO: TABLAS I, II y III.

Las tablas I y II, resumen las relaciones desarrolladas entre los diferentes parámetros del alimentador, con el voltaje del alimentador y la densidad de carga para todos los casos tratados.

Este trabajo ha sido desarrollado e ilustrado para un sistema trifásico, 4 hilos con neutro multiterizado y con laterales monofásicos ( ó trifásicos ); los principios son igualmente aplicables a un sistema conectado en delta, la unica diferencia es que en la ecuación (5) para el porcentaje de caída de voltaje total, se tendrá,  $K_2 = \frac{0.10 DZ_2^d}{E^2}$ , para el sistema en delta.

Todas las relaciones desarrolladas, también son aplicables a un circuito conectado en delta. Ahora bien, el largo real del alimentador principal y del lateral, sus relaciones y el área del alimentador, serán diferentes para el circuito delta, ya que existe un valor diferente de  $K_2$ .

Las relaciones entre estos valores, para un circuito delta y un circuito estrella, se obtienen fácilmente de las ecuaciones (7), (9), (11) y (13).

Asumiendo el mismo voltaje de circuito, densidad de carga, espacio entre laterales y sección de conductores, se obtienen las relaciones que se muestran en la tabla III.

# TABLA I

## RELACIONES DE LOS PARAMETROS EN ALIMENTADORES LIMITADOS POR CAIDA DE VOLTAJE

TIPO DE CIRCUITO	PARAMETROS DEL ALIMENTADOR				
	$Q \propto$	$C \propto$	$Q/C \propto$	$A \propto$	$W \propto$
PARA MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA, CONSIDERANDO LA CAIDA DE VOLTAJE EN EL PRINCIPAL Y LATERAL.	$\frac{E^{0.5}}{D^{0.25}}$	$\frac{E}{D^{0.5}}$	$\frac{D^{0.25}}{E^{0.5}}$	$\frac{E^{1.5}}{D^{0.75}}$	$D^{0.25} E^{1.5}$
PARA LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE, DESPRECIANDO SU CAIDA DE VOLTAJE.	$\frac{E}{D^{0.5}}$	$C$	$Q$	$\frac{E}{D^{0.5}}$	$D^{0.5} E$
PARA UNA RELACION CONSTANTE DEL PRINCIPAL AL LATERAL, DESPRECIANDO LA CAIDA DE VOLTAJE EN EL LATERAL.	$\frac{E^{0.66}}{D^{0.33}}$	$Q$	$\frac{Q}{C}$	$\frac{E^{1.33}}{D^{0.66}}$	$D^{0.33} E^{1.33}$



## TABLA II

RELACIONES DE LOS PARAMETROS EN ALIMENTADORES  
LIMITADOS TERMICAMENTE

TIPO DE CIRCUITO	PARAMETROS DEL ALIMENTADOR				
	$Q \propto$	$C \propto$	$Q/C \propto$	$A \propto$	$e \propto$
PARA MINIMO %. DE CAIDA DE VOLTAJE, CONSIDERANDO LA CANTIDAD DE VOLTAJE EN EL PRINCIPAL Y LATERAL.	$\frac{E^{0.33}}{D_T^{0.33}}$	$\frac{E^{0.66}}{D_T^{0.66}}$	$\frac{D_T^{0.33}}{E^{0.33}}$	$\frac{E}{D_T}$	$\frac{I}{D_T^{0.33} E^{0.66}}$
PARA LONGITUD CONSTANTE, DEL LATERAL, DESPRECIANDO SU CAIDA DE VOLTAJE.	$\frac{E}{D_T}$	$C$	$Q$	$\frac{E}{D_T}$	$\frac{I}{D_T}$
PARA UNA RELACION CONSTANTE DEL PRINCIPAL AL LATERAL, DESPRECIANDO LA CAIDA DE VOLTAJE EN EL LATERAL.	$\frac{E^{0.5}}{D_T^{0.5}}$	$Q$	$\frac{Q}{C}$	$\frac{E}{D_T}$	$\frac{I}{D_T^{0.5} E^{0.5}}$

### TABLA III

FACTORES DE CONVERSION DE LOS PARAMETROS  
DE UN CIRCUITO Y A UN CIRCUITO  $\Delta$

CIRCUITO Y	CIRCUITO $\Delta$		
	$K_3 = 0.21$	$K_3 = 0.30$	$K_3 = 0.05$
$K_3$	$K_3/2.1$	$K_3/3$	$K_3/0.5$
$d$	$0.831 d$	$0.760 d$	$1.189 d$
$c$	$1.449 c$	$\sqrt{3} c$	$0.707 c$
$d/c$	$0.573 d/c$	$0.439 d/c$	$1.682 d/c$
$A$	$1.204 A$	$1.316 A$	$0.841 A$

### III. 4.- ANÁLISIS DE PÉRDIDAS $I^2R$ EN UN ALIMENTADOR PRIMARIO DE DISTRIBUCIÓN.

Dado el incremento en el uso de voltajes mayores a 15 kV en sistemas de distribución, habrá de considerarse en la planeación de los mismos, las pérdidas por energía disipada debidas al efecto Joule. El análisis de dichas pérdidas se hará examinando sus relaciones con los parámetros del sistema.

Asimismo se harán las comparaciones de las pérdidas  $I^2R$  en alimentadores primarios limitados por caída de voltaje y térmicamente, operando a diferentes niveles de voltaje.

#### III. 4. 1.- PERDIDAS $I^2R$ EN ALIMENTADORES LIMITADOS POR CAIDA DE VOLTAJE CONDICION: MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA.

Cuando se alimentan a través de un circuito, consumos de la misma magnitud y del mismo factor de potencia a intervalos de distancia iguales, pueden calcularse las pérdidas  $I^2R$ , suponiendo que el consumo íntegro se hallase concentrado en un punto a la distancia de un tercio del total de la línea a partir de la fuente de energía. O sea:

$$P = \frac{a}{3} I^2R, \text{ siendo } a = \text{longitud total de la línea.}$$

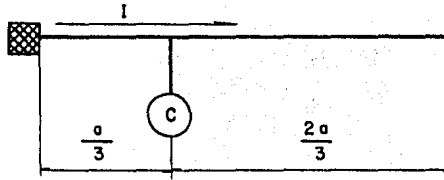


FIGURA 5

Como ya fue analizado, para un área de carga rectangular, el porcentaje de caída de voltaje entre el punto de alimentación y el final del último lateral, está dado por:

$$e = \frac{0.10 \text{ DZ}_1}{E^2} a^2 c + \frac{K_3 \text{ DZ}_2 d}{E^2} c^2$$

La ecuación anterior nos muestra que cuando existe una caída de voltaje máxima permisible, el área máxima que puede ser cubierta con esta caída de voltaje, ocurre cuando las 2/3 partes de la caída permisible se tienen en el alimentador principal y 1/3 se tiene en el último lateral, o sea:

$$\frac{K_3 \text{ DZ}_2 d}{E^2} c^2 = \frac{e}{3} \quad (108)$$

$$y \quad \frac{0.10 \text{ DZ}_1}{E^2} a^2 c = \frac{2e}{3} \quad (109)$$

Dividiendo (109) entre (108), resulta la siguiente ecuación:

$$a = \left( \frac{20 K_3 Z_2 d c}{Z_1} \right)^{0.5} \quad (110)$$

Despejando  $\underline{a}$  de (109), se tiene:

$$a = \left( \frac{20 e E^2}{3 D Z_1 c} \right)^{0.5} \quad (111)$$

Igualando (110) y (111), se tendrá:

$$c = 0.5774 \left( \frac{e^{0.5} E}{D^{0.5} K_3^{0.5} Z_2^{0.5} d^{0.5}} \right) \quad (112)$$

Sustituyendo (112) en (110), resulta:

$$a = 3.3982 \left( \frac{K_3^{0.25} Z_2^{0.25} d^{0.25} e^{0.25} E^{0.5}}{D^{0.25} Z_1^{0.5}} \right) \quad (113)$$

Sustituyendo (112) y (113) en:

$$A = 2ac = 3.924 \left( \frac{e^{0.75} E^{1.5}}{K_3^{0.25} Z_2^{0.25} d^{0.25} Z_1^{0.5} D^{0.75}} \right) \quad (114)$$

y la carga del alimentador, será:

$$W = AD = 3.924 \left( \frac{D^{0.25} e^{0.75} E^{1.5}}{K_3^{0.25} Z_2^{0.25} d^{0.25} Z_1^{0.5}} \right) \quad (115)$$

De las ecuaciones (112), (113) y (115) las cuales definen la configuración del alimentador y la carga, el total de pérdidas  $I^2R$  en todos los laterales y en el alimentador principal, serán:

Sabemos que el número de laterales es:

$$n = \frac{2a}{d} \quad (116)$$

Sustituyendo (113) en (116), se tiene:

$$n = 6.7964 \left( \frac{K_3^{0.25} Z_2^{0.25} e^{0.25} E^{0.5}}{D^{0.25} Z_1^{0.5} d^{0.75}} \right) \quad (117)$$

La corriente del alimentador principal en el punto de alimentación, es:

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} E} ; \text{ sustituyendo (115), tenemos:}$$

$$I = 2.2656 \left( \frac{D^{0.25} E^{0.5} e^{0.75}}{K_3^{0.25} Z_2^{0.25} d^{0.25} Z_1^{0.5}} \right) \quad (118)$$

Sabemos que la carga por lateral es  $\frac{W}{n}$ , por lo tanto la corriente de cada lateral, será:

$$I_L = \frac{W}{n} \frac{K_4}{E} \quad (119)$$

Sustituyendo (115) y (117) en (119), tenemos:

$$I_L = 0.5774 K_4 \left( \frac{Dde}{K_3 Z_2} \right)^{0.5} \quad (120)$$

Entonces para cargas uniformemente distribuidas, las pérdidas por efecto Joule en un lateral, son:

$$P_L = \frac{K_5 R_2 c I_L^2}{3} \quad (121)$$

Sustituyendo (112) y (120) en (121) :

$$P_L = 0.0642 K_5 R_2 \left( \frac{d^{0.5} D^{0.5} E_e^{1.5} K_4^2}{K_3^{1.5} Z_2^{1.5}} \right) \quad (122)$$

Y las pérdidas en todos los laterales del alimentador, son:

$$P_L = n P_L = \frac{K_5 R_2 n c I_L^2}{3} \quad (123)$$

Sustituyendo (112), (117) y (120) en (123) :

$$P_L = 0.4361 K_5 R_2 \left( \frac{D^{0.25} E_e^{1.5} K_4^2}{d^{0.25} Z_1^{0.5} K_3^{1.25} Z_2^{1.25}} \right) \quad (124)$$

Dividiendo (124) entre (115), se obtiene la siguiente expresión en "por unidad" :

$$\frac{P_L}{W} = \frac{K_5 R_2 e K_4^2}{9 K_3 Z_2} \quad (125)$$

Para una carga uniformemente distribuida, las pérdidas en uno de los \_\_\_ conductores del alimentador principal, serán:

$$P_p = \frac{aR_1 I^2}{3} \quad (126)$$

Sustituyendo (113) y (118) en (128) :

$$P_p = 5.8143 R_1 \left( \frac{D^{0.25} E^{1.5} e^{1.75}}{Z_2^{0.25} K_3^{0.25} d^{0.25} Z_1^{1.5}} \right) \quad (127)$$

Y el total de pérdidas en el alimentador principal, será 3 veces la ecuación (126), o sea:

$$P_p = aR_1 I^2 \quad (128)$$

Sustituyendo (113) y (118) en (128) :

$$P_p = 17.4428 R_1 \left( \frac{D^{0.25} E^{1.5} e^{1.75}}{Z_2^{0.25} K_3^{0.25} d^{0.25} Z_1^{1.5}} \right) \quad (129)$$

Dividiendo (129) entre (115), se obtiene la siguiente expresión en "por unidad" :

$$\frac{P_p}{W} = \frac{4.448 R_1 e}{Z_1} \quad (130)$$

III. 4.1.1.- EFEECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LAS PERDIDAS == I<sup>2</sup>R DE LOS ALIMENTADORES.



Las ecuaciones (124) y (129) nos sirven para mostrar como son afectadas las pérdidas  $I^2R$  bajo la condición de máxima área de carga cubierta, cuando varía la densidad de carga, manteniendo constantes tanto el voltaje del sistema como el calibre de los conductores.

De la ecuación (124), suponiendo un porcentaje de caída de voltaje y considerando constantes  $d$ ,  $K_3$ ,  $K_4$  y  $K_5$ , se obtiene la siguiente relación:

$$P_L \propto D^{0.25}$$

De la ecuación (129), suponiendo un porcentaje de caída de voltaje y considerando constantes  $d$  y  $K_3$ , se obtiene la siguiente relación:

$$P_P \propto D^{0.25}$$

Las pérdidas totales se definen, como:

$$P = P_P + P_L \quad (131)$$

Sustituyendo las relaciones obtenidas en la ecuación anterior, se tiene:

$$P = K_6 D^{0.25} + K_7 D^{0.25}$$

Por lo tanto, se tiene que:

$$P \propto D^{0.25}$$

Por otro lado, para dos niveles de densidad de carga, se tendrá:

$$\frac{P_2}{F_1} = \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^{0.25} \quad (132)$$

III. 4.1.2.- EFFECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LAS PERDIDAS  $I^2R$  DE LOS ALIMENTADORES.

Las ecuaciones (124) y (129), también nos sirven para mostrar como son afectadas las pérdidas  $I^2R$  bajo la condición de máxima área de carga cubierta cuando se cambia el voltaje del sistema, manteniendo constantes tanto la densidad de carga como el calibre de los conductores.

De la ecuación (124), suponiendo un porciento de caída de voltaje y considerando constantes  $d$ ,  $K_3$ ,  $K_4$  y  $K_5$ ; se obtiene la siguiente relación:

$$P_L \propto E^{1.5}$$

De la ecuación (129), suponiendo un porciento de caída de voltaje y considerando constantes  $d$  y  $K_3$ ; se obtiene la siguiente relación:

$$P_P \propto E^{1.5}$$

Sustituyendo las relaciones obtenidas en la ecuación (131), se tiene:

$$P = K_8 E^{1.5} + K_9 E^{1.5}$$

Por lo tanto, se tiene que:

$$P \propto E^{1.5}$$

Por otro lado, para dos niveles de voltaje, se tendrá:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{1.5} \quad (133)$$

### III. 4.2.- PERDIDAS I<sup>2</sup>R EN ALIMENTADORES LIMITADOS TÉRMICAMENTE.

#### CONDICION: MINIMO PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE.

Para alimentadores limitados térmicamente, proporcionados para una mínima caída de voltaje, la ecuación general del porcentaje de caída de voltaje (5), todavía es aplicable, pero ahora  $e$  es una variable y no más una constante arbitraria.

Dado que la limitación térmica se encuentra en el punto de alimentación del alimentador principal, el límite de carga térmica del alimentador, será:

$$W_T = \sqrt{3} E I_T \quad (134)$$

Donde  $I_T$  es la corriente del alimentador principal en el punto de alimentación, siendo ésta constante.

$$I_T = \frac{W_T}{\sqrt{3} E} \quad (135)$$

El porcentaje de caída de voltaje en el alimentador principal, será:

$$e_P = 0.05 \frac{Z_1 W_T a}{E^2} \quad (136)$$

Dado que:

$$W_T = 2acD_T \quad (137)$$

Entonces la ecuación (136), puede escribirse como:

$$e_P = \frac{0.10 Z_1 D_T c a^2}{E^2} \quad (138)$$

Similarmente el porciento de caída de voltaje en el lateral, será:

$$e_L = \frac{K_3 Z_2 d D_T c^2}{E^2} \quad (139)$$

La potencia por lateral:

$$W_L = \frac{W_T d}{2a} \quad (140)$$

Entonces la corriente en el lateral, será:

$$I_L = \frac{K_4 D_T d c}{E} \quad (141)$$

El porciento de caída de voltaje en un lateral, para una carga uniformemente distribuida, es:

$$e_L = \frac{K_4 K_5 c I_L Z_2}{20 E} \quad (142)$$

Sustituyendo (141) en (142) :

$$e_L = \frac{K_4 K_5 Z_2 d D_T K_4^2 c^2}{20 E^2} = \frac{K_3 d D_T Z_2 c^2}{E^2} \quad (143)$$

Partiendo de  $e_p = 2 e_L$  para una mínima caída de voltaje total, dividiendo (133) entre (143) y resolviendo, se tiene:

$$a = \left( \frac{20 K_3 Z_2 c d}{Z_1} \right)^{0.5} \quad (144)$$

Pero de la ecuación (137), se tiene:

$$a = \frac{w_T}{2cD_T} \quad (145)$$

Iguando (144) con (145) y sustituyendo (134), resolvemos para  $c$ :

$$c = 0.3347 \left( \frac{Z_1^{0.33} E^{0.66} I_T^{0.66}}{K_3^{0.33} Z_2^{0.33} d^{0.33} D_T^{0.66}} \right) \quad (146)$$

Sustituyendo (146) en (145) y resolviendo para  $a$ :

$$a = 2.5875 \left( \frac{E I_T K_3 Z_2 d}{Z_1 D_T} \right)^{0.33} \quad (147)$$

De las ecuaciones (116), (119), (134) y (147), la corriente por lateral es:

$$I_L = 0.3347 K_4 \left( \frac{D_T^{0.33} Z_1^{0.33} I_T^{0.66} d^{0.66}}{E^{0.33} K_3^{0.33} Z_2^{0.33}} \right) \quad (148)$$

Suponiendo una carga uniformemente distribuida, las pérdidas en un con-

ductor del alimentador principal, son:

$$P_P = \frac{aR_1 I_T^2}{3} \quad (149)$$

Sustituyendo (147) en (149) :

$$P_P = 0.8625 \left( \frac{R_1 E^{0.33} K_3^{0.33} Z_2^{0.33} d^{0.33} I_T^{2.33}}{Z_1^{0.33} D_T^{0.33}} \right) \quad (150)$$

Y el total de pérdidas en el alimentador principal, será 3 veces la ecuación (149), por lo tanto:

$$P_P = aR_1 I_T^2 \quad (151)$$

Sustituyendo (147) en (151) :

$$P_P = 2.5875 \left( \frac{R_1 E^{0.33} K_3^{0.33} Z_2^{0.33} d^{0.33} I_T^{2.33}}{Z_1^{0.33} D_T^{0.33}} \right) \quad (152)$$

Dividiendo (152) entre (134), se obtiene la siguiente expresión en "por unidad" :

$$\frac{P_P}{W_T} = 1.4939 \left( \frac{R_1 K_3^{0.33} Z_2^{0.33} d^{0.33} I_T^{1.33}}{Z_1^{0.33} D_T^{0.33} E^{0.66}} \right) \quad (153)$$

Las pérdidas para un lateral con carga uniformemente distribuida, serán:

$$P_L = \frac{K_5 R_2 c I_L^2}{3} \quad (154)$$

Sustituyendo (146) y (148) en (154) :

$$P_L = 0.25 \left( \frac{d R_2 Z_1 I_T^2}{Z_2} \right) \quad (155)$$

Y las pérdidas en todos los laterales del alimentador, son:

$$P_L = \frac{nc K_5 R_2 I_L^2}{3} \quad (156)$$

Sustituyendo (116), (146), (147) y (148) en (156) :

$$P_L = 1.29 \left( \frac{R_2 K_5^3 d^3 0.33 E^3 0.33 Z_1^2 0.66 I_T^2 2.33}{D_T^3 0.33 Z_2^2 0.66} \right) \quad (157)$$

Dividiendo (157) entre (134), se obtiene la siguiente expresión en "por unidad" :

$$\frac{P_L}{W_T} = 0.7448 \left( \frac{R_2 K_5^3 d^3 0.33 E^3 0.33 Z_1^2 0.66 I_T^2 1.33}{D_T^3 0.33 E^3 0.66 Z_2^2 0.66} \right) \quad (158)$$

III. 4.2.1.- EFFECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LAS PÉRDIDAS --  
I<sup>2</sup>R DE LOS ALIMENTADORES.



Las ecuaciones (152) y (157) nos sirven para mostrar como son afectadas las pérdidas  $I^2R$  bajo la condición de mínimo porcentaje de caída de voltaje, cuando varía la densidad de carga, manteniendo constantes tanto el voltaje del sistema como el calibre de los conductores.

De la ecuación (157), suponiendo una corriente total del sistema y considerando constantes  $d$  y  $K_3$ , se obtiene la siguiente relación:

$$P_L \propto \frac{1}{D_T^{0.33}}$$

De la ecuación (152), suponiendo una corriente total del sistema y considerando constantes  $d$  y  $K_3$ , se obtiene la siguiente relación:

$$P_P \propto \frac{1}{D_T^{0.33}}$$

Sustituyendo las relaciones obtenidas en la ecuación (131), se tiene:

$$P = \frac{K_{10}}{D_T^{0.33}} + \frac{K_{11}}{D_T^{0.33}}$$

Por lo tanto se tiene que:

$$P \propto \frac{1}{D_T^{0.33}}$$

Por otro lado, para dos niveles de densidad de carga, se tendrá:

$$\frac{P_2}{F_1} = \frac{D_{T1}}{D_{T2}}^{0.33} \quad (159)$$

III. 4.2.2.- EFEECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LAS PERDIDAS  $I^2R$  DE LOS ALIMENTADORES.

Las ecuaciones (152) y (157) también nos sirven para mostrar como son afectadas las pérdidas  $I^2R$  bajo la condición de mínimo porcentaje de caída de voltaje cuando se cambia el voltaje del sistema, manteniendo constantes tanto la densidad de carga como el calibre de los conductores.

De la ecuación (157), suponiendo una corriente total del sistema y considerando constantes  $d$  y  $K_3$ , se obtiene la siguiente relación:

$$P_L \propto E^{0.33}$$

De la ecuación (152), suponiendo una corriente total del sistema y considerando constantes  $d$  y  $K_3$ , se obtiene la siguiente relación:

$$P_P \propto E^{0.33}$$

Sustituyendo las relaciones obtenidas en la ecuación (131), se tiene:

$$P = K_{12}E^{0.33} + K_{13}E^{0.33}$$

Por lo tanto se tiene que:

$$P \propto E^{0.33}$$

Por otro lado, para dos niveles de voltaje, se tendrá:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{0.33} \quad (160)$$

III. 4.3.- DENSIDAD DE CARGA PARA CONEXION SIMULTANEA DE LIMITACIONES TANTO POR CAIDA DE VOLTAJE COMO TERMICA.

CONDICIONES: MAXIMA AREA DE CARGA COBIERTA Y MINIMO PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE.

La densidad de carga  $D_S$  a la cual los límites de caída de voltaje y térmico ocurren simultáneamente, se dará, igualando  $a$  de (113) con  $a$  de (147), resultando:

$$D_S = 0.03796 \left( \frac{K_3 d Z_2 Z_1^2 \frac{4}{T}}{R^2 e^3} \right) \quad (161)$$

III. 4.3.1.- EFEECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LA DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA.

La ecuación (161) nos sirve para mostrar como es afectada la densidad de carga simultánea, bajo las condiciones de máxima área de carga cubierta y mínimo porcentaje de caída de voltaje, cuando varía el voltaje del sistema, manteniendo constantes  $d$ ,  $K_3$  y el calibre de los conductores.

Suponiendo una corriente del sistema y un porcentaje de caída de voltaje se obtiene la siguiente relación:

$$D_S \propto \frac{1}{E^2}$$

Por otro lado, para dos niveles de voltaje, se tendrá:

$$\frac{D_{S2}}{D_{S1}} = \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^2 \quad ( 162 )$$

III. 4.4.- PERDIDAS  $I^2R$  EN ALIMENTADORES LIMITADOS POR CAIDA DE VOLTAJE  
CONDICION: LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE.

Sabemos de (57), que:

$$a = \left( \frac{eE^2}{0.10 Z_1 Dc} \right)^{0.5}$$

Y de (61):

$$W = \left( \frac{40 ecDE^2}{Z_1} \right)^{0.5}$$

La corriente del alimentador principal en el punto de alimentación, es:

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} E} ; \text{ sustituyendo (61), tenemos:}$$

$$I = \frac{\left( \frac{40 ecDE^2}{Z_1} \right)^{0.5}}{\sqrt{3} E} = 3.6515 \left( \frac{ecD}{Z_1} \right)^{0.5} \quad (163)$$

De (126), para una carga uniformemente distribuida, las pérdidas en uno de los conductores del alimentador principal, serán:

$$P_P = \frac{aR_1 I^2}{3}$$

Sustituyendo (57) y (163) en (126):

$$P_P = \frac{R_1 \left( \frac{eB^2}{0.10 Z_1 D_c} \right)^{0.5} (13.3335) \frac{ecD}{Z_1}}{3} ; \text{ de donde:}$$

$$P_P = 14.0547 \left( \frac{R_1 E_c^{0.5} D^{0.5} e^{1.5}}{Z_1^{1.5}} \right) \quad (164)$$

Y el total de pérdidas en el alimentador principal, (128), será 3 veces la ecuación (126), o sea:

$$P_P = aR_1 I^2$$

Sustituyendo (57) y (163) en (128):

$$P_P = 42.1641 \left( \frac{R_1 E_c^{0.5} D^{0.5} e^{1.5}}{Z_1^{1.5}} \right) \quad (165)$$

Dividiendo (165) entre (61), se obtiene la siguiente expresión en " por unidad " :

$$\frac{P_P}{W} = 6.6666 \frac{eR_1}{Z_1} \quad (166)$$

### III. 4.4.1.- EFEECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LAS PERDIDAS $I^2 R$ DE LOS ALIMENTADORES.

La ecuación (165) nos permite mostrar como son afectadas las pérdidas \_

$I^2R$  bajo la condición de longitud de lateral constante, cuando varía la densidad de carga, manteniendo constantes tanto el voltaje del sistema como el calibre del conductor. Suponiendo constante un porcentaje de caída de voltaje, se obtiene la siguiente relación:

$$P \propto D^{0.5}$$

Ahora bien, para dos niveles de densidad de carga, tenemos:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^{0.5} \quad (167)$$

### III. 4.4.2.- EFFECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LAS PERDIDAS $I^2R$ DE LOS ALIMENTADORES.

La ecuación (165) también nos permite mostrar como son afectadas las -- pérdidas  $I^2R$  bajo la condición de longitud de lateral constante, cuando varía el voltaje del sistema, manteniendo constantes la densidad de carga y el calibre del conductor. Suponiendo un porcentaje de caída de voltaje, se obtiene la siguiente relación:

$$P \propto E$$

Ahora bien, para dos niveles de voltaje, tenemos:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{E_2}{E_1} \quad (168)$$



III. 4.5.- PERDIDAS  $I^2R$  EN ALIMENTADORES LIMITADOS TERMICAMENTE.  
CONDICION: LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE.

Sabemos de la ecuación (145), que:

$$a = \frac{W_T}{2 cD_T}$$

Y de (134) :

$$W_T = \sqrt{3} EI_T$$

De la ecuación (149), suponiendo una carga uniformemente distribuida, las pérdidas en un conductor del alimentador principal, son:

$$P_P = \frac{aR_1 I_T^2}{3}$$

Sustituyendo (134) y (145) en (149) :

$$P_P = 0.2887 \frac{R_1 EI_T^3}{cD_T} \quad (169)$$

Y el total de pérdidas en el alimentador principal, (151), será 3 veces la ecuación (149), o sea:

$$P_P = aR_1 I_T^2$$

Sustituyendo (134) y (145) en (151) :

$$P_P = 0,8661 \frac{R_1 EI_T^3}{cD_T} \quad (170)$$

Dividiendo (170) entre (134), se obtiene la siguiente expresión en " por unidad " :

$$\frac{P_P}{W_T} = 0,50 \frac{R_1 I_T^2}{cD_T} \quad (171)$$

### III. 4.5.1.- EFEECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LAS PERDIDAS -- I<sup>2</sup>R DE LOS ALIMENTADORES.

La ecuación (170) nos permite mostrar como son afectadas las pérdidas  $I^2R$  bajo la condición de longitud de lateral constante, cuando varía la densidad de carga, manteniendo constantes tanto el voltaje del sistema como el calibre del conductor. Suponiendo constante la corriente del sistema, se obtiene la siguiente relación:

$$P \propto \frac{1}{D}$$

Ahora bien, para dos niveles de densidad de carga, tenemos:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{D_1}{D_2} \quad (172)$$

III. 4.5.2.- EFFECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LAS PERDIDAS  $I^2R$  DE LOS -  
ALIMENTADORES.

La ecuación (170) nos permite mostrar como son afectadas las pérdidas  $I^2R$  bajo la condición de longitud de lateral constante, cuando varía el voltaje del sistema, manteniendo constantes tanto la densidad de carga como el calibre del conductor. Suponiendo una corriente del sistema, se tiene la siguiente relación:

$$P \propto E$$

Ahora bien, para dos niveles de voltaje, tenemos:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{E_2}{E_1} \quad (173)$$

III. 4.6.- DENSIDAD DE CARGA PARA OCURRENCIA SIMULTANEA DE LIMITACIONES  
TANTO POR CAIDA DE VOLTAJE COMO TERMICA.  
CONDICION: LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE.

La densidad de carga  $D'_S$  a la cual los límites de caída de voltaje y       
 térmico ocurren simultáneamente, se dará, igualando a de (57) con a de  
 (70), resultando:

$$D'_S = 0.075 \frac{Z_1 I_T^2}{ce} \quad (174)$$

" En este caso la variación del voltaje no afecta la densidad de carga  
 simultánea, ya que ésta no depende del voltaje del sistema ".

III. 4.7.- PÉRDIDAS  $I^2R$  EN ALIMENTADORES LIMITADOS POR CAIDA DE VOLTAJE  
CONDICION: RELACION a/c CONSTANTE.

De (83), sabemos que:

$$a = 2.1544 \left( \frac{eRE^2}{DZ_1} \right)^{0.33}$$

Y de (87) :

$$W = 9.2832 \left( \frac{eD^{0.5}E^2}{Z_1R^{0.5}} \right)^{0.66}$$

La corriente en el alimentador principal en el punto de alimentación,  
 es:

$$I = \frac{W}{\sqrt{3}E} \quad ; \text{ y sustituyendo (87), tenemos:}$$

$$I = 5.3597 \frac{eD^{0.5}E^{0.5}}{Z_1R^{0.5}} \quad (175)$$

De (126), para una carga uniformemente distribuida, las pérdidas en uno  
 de los conductores del alimentador principal, serán:

$$P_P = \frac{aR_1I^2}{3}$$

Sustituyendo (83) y (175) en (126) :

$$P_P = \frac{2.1544 R_1 \left( \frac{eRE^2}{DZ_1} \right)^{0.33} + 28.7264 \left( \frac{eD^{0.5}R^{0.5}}{Z_1 R^{0.5}} \right)^{1.33}}{3}$$

$$P_P = 20.6294 R_1 \left( \frac{DE^4 e^5}{RZ_1^5} \right)^{0.33} \quad (176)$$

Y el total de pérdidas en el alimentador principal, (128), será 3 veces la ecuación (126), o sea:

$$P_P = a R_1 I^2$$

Sustituyendo (83) y (175) en (128) :

$$P_P = 2.1544 R_1 \left( \frac{eRE^2}{DZ_1} \right)^{0.33} + 28.7264 \left( \frac{eD^{0.5}R^{0.5}}{Z_1 R^{0.5}} \right)^{1.33}$$

$$P_P = 61.8882 R_1 \left( \frac{DE^4 e^5}{RZ_1^5} \right)^{0.33} \quad (177)$$

Dividiendo (177) entre (87), se obtiene la siguiente ecuación en " por unidad " :

$$\frac{P_P}{W} = 6.6666 \frac{eR_1}{Z_1} \quad (178)$$

III. 4.7.1.- EFEECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LAS PERDIDAS --  
I<sup>2</sup>R DE LOS ALIMENTADORES.

De la ecuación (177) se puede mostrar como son afectadas las pérdidas I<sup>2</sup>R bajo la condición de relación del principal al lateral constante, cuando varía la densidad de carga, manteniendo constantes el voltaje del sistema y el calibre del conductor. Suponiendo un por ciento de caída de voltaje, se tiene la siguiente relación:

$$P \propto D^{0.33}$$

Entonces, para dos niveles de densidad de carga, tenemos:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^{0.33} \quad (179)$$

III. 4.7.2.- EFEECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LAS PERDIDAS I<sup>2</sup>R DE LOS --  
ALIMENTADORES.

De la ecuación (177), también se puede mostrar como son afectadas las pérdidas I<sup>2</sup>R bajo la condición de relación del principal al lateral constante, cuando varía el voltaje del sistema, manteniendo constantes la densidad de carga y el calibre del conductor. Suponiendo un por ciento de caída de voltaje, se obtiene la siguiente relación:

$$P \propto E^{1.33}$$

Entonces para dos niveles de voltaje, tenemos:

$$\frac{F_2}{F_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{1.33}$$

( 180 )



III. 4.8.- PERDIDAS  $I^2R$  EN ALIMENTADORES LIMITADOS TERMICAMENTE.  
CONDICION: RELACION a/c CONSTANTE.

De (96), se tiene que:

$$a = \left( \frac{W_T R}{2 D_T} \right)^{0.5}$$

Y de (134) :

$$W_T = \sqrt{3} EI_T$$

De (149), para una carga uniformemente distribuida, las pérdidas en un conductor del alimentador principal, son:

$$P_P = \frac{a R_1 I_T^2}{3}$$

Sustituyendo (95) y (134) en (149) :

$$P_P = 0.3102 \left( \frac{ERR_1^2 I_T^5}{D_T} \right)^{0.5} \quad (181)$$

Y el total de pérdidas en el alimentador principal, (151), será 3 veces la ecuación (149), o sea:

$$P_P = a R_1 I_T^2$$

Sustituyendo (96) y (134) en (151) :

$$P_P = 0.9306 \left( \frac{ERR_{1T}^{2.5}}{D_T} \right)^{0.5} \quad (182)$$

Dividiendo (182) entre (134), se obtiene la siguiente expresión en " por unidad " :

$$\frac{P_P}{W_T} = 0.5373 \left( \frac{RR_{1T}^3}{ED_T} \right)^{0.5} \quad (183)$$

### III. 4.8.1.- EFECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LAS PERDIDAS $I^2R$ EN LOS ALIMENTADORES.

De la ecuación (182) se puede mostrar como son afectadas las pérdidas  $I^2R$  bajo la condición de relación del principal al lateral constante, cuando varía la densidad de carga, manteniendo constantes el voltaje del sistema y el calibre del conductor. Suponiendo una corriente del sistema, se tiene la siguiente relación:

$$P \propto \frac{1}{D^{0.5}}$$

Entonces, para dos niveles de densidad de carga, se tendrá:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{0.5} \quad (184)$$

III. 4.8.2.- EFFECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LAS PÉRDIDAS  $I^2R$  DE LOS -  
ALIMENTADORES.

De la ecuación (182), también se puede mostrar como son afectadas las \_  
 pérdidas  $I^2R$ , bajo la condición de relación del principal al lateral \_  
 constante, cuando varía el voltaje del sistema, manteniendo constante \_  
 la densidad de carga y el calibre del conductor. Suponiendo una corrien  
 te total del sistema, se obtiene la siguiente relación:

$$P \propto E^{0.5}$$

Entonces, para dos niveles de voltaje, tenemos:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{0.5} \quad ( 185 )$$

III. 4.9.- DENSIDAD DE CARGA PARA OCURRENCIA SIMULTANEA DE LIMITACIONES  
TANTO POR CAIDA DE VOLTAJE COMO TERMICA.  
CONDICION: RELACION a/c CONSTANTE.

La densidad de carga  $D_S''$  para la cual los límites de caída de voltaje y térmico ocurren simultáneamente, se dará, igualando  $a$  de (83) con  $a$  de (96), obteniéndose:

$$D_S'' = 0.0065 \frac{RZ_1^2 I_T^3}{Ee^2} \quad (186)$$

III. 4.9.1.- EFEECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LA DENSIDAD DE CARGA SI--  
MULTANEA.

La ecuación (186) nos permite mostrar como es afectada la densidad de carga simultánea, bajo la condición de relación del principal al lateral constante, cuando varía el voltaje del sistema, manteniendo constante el calibre del conductor. Suponiendo una corriente de sistema y un porcentaje de caída de voltaje, se obtiene la relación siguiente:

$$D_S'' \propto \frac{1}{E}$$

Por otro lado, para dos niveles de voltaje, se tendrá:

$$\frac{D_{S2}''}{D_{S1}''} = \frac{E_1}{E_2} \quad (187)$$

III. 4. 10.- RESUMARIO: TABLA IV.

La tabla IV resume las relaciones desarrolladas entre las pérdidas totales de los alimentadores con el voltaje del alimentador y la densidad de carga.

# T A B L A   I V

RELACIONES DE LAS PERDIDAS  $I^2R$  CON EL VOLTAJE  
Y LA DENSIDAD DE CARGA

TIPO DE ALIMENTADOR	PERDIDAS $I^2R$ TOTALES
	$P \propto$
ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE. CONDICION: MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA.	$D^{0.25} E^{1.50}$
ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE. CONDICION: MINIMO PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE.	$\left(\frac{E}{D_T}\right)^{0.33}$
ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE. CONDICION: LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE.	$D^{0.5} E$
ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE. CONDICION: LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE.	$\frac{E}{D_T}$
ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE. CONDICION: RELACION a/c CONSTANTE.	$D^{0.33} E^{1.33}$
ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE. CONDICION: RELACION a/c CONSTANTE.	$\left(\frac{E}{D_T}\right)^{0.5}$

C A P I T U L O   I V

A P L I C A C I O N E S

IV. 1.- PROGRAMA DE COMPUTADORA - OPTIMO.

Este programa se diseñó como un auxiliar en la planeación de un sistema de distribución. El programa calcula los parámetros geométricos y eléctricos más importantes para circuitos conectados en estrella o delta, así como también nos permite analizar en una tabla, las variaciones de éstos parámetros para diferentes valores de densidad de carga y nos permite visualizar los efectos del aumento de voltaje en los parámetros del sistema.

Las opciones de cálculo de este programa, son:

- 1.- Alimentador limitado por caída de voltaje, para máxima área de carga cubierta.
- 2.- Alimentador limitado térmicamente, para mínimo porcentaje de caída de voltaje.
- 3.- Alimentador limitado por caída de voltaje, para longitud de lateral constante.
- 4.- Alimentador limitado térmicamente, para longitud de lateral constante.
- 5.- Alimentador limitado por caída de voltaje, para una relación constante del alimentador principal al lateral.
- 6.- Alimentador limitado térmicamente, para una relación constante del alimentador principal al lateral.
- 7.- Densidades de carga para simultaneidad de limitaciones.



Se adjunta el programa fuente, escrito en BASIC - PLUS y compilado en una minicomputadora VAX / 11-780 - DEC.

VAX/VMS RELOAD OPTIMU 14-JAN-1985 20:02 LPA0: 14-JAN-1985 20:02 DISK&CECAF  
 VAX/VMS RELOAD OPTIMU 14-JAN-1985 20:02 LPA0: 14-JAN-1985 20:02 DISK&CECAF  
 VAX/VMS RELOAD OPTIMU 14-JAN-1985 20:02 LPA0: 14-JAN-1985 20:02 DISK&CECAF

```

KKKK EEEEE L 000 000 000
K K E L 0 0 0 0 0 0
K K E L 0 00 0 00 0 00
KKKK EEEE L 0 0 0 0 0 0
K K E L 00 0 00 0 00 0
K K E L 0 0 0 0 0 0
K K EEEEE LLLL 000 000 000
  
```

```

UUUUUU PPPPPPP TTTTTTTT 111111 MM MM UUUUUU
UUUUUU PPPPPPP TTTTTTTT 111111 MM MM UUUUUU
UU PP PP PP T T 11 MM MM MM MM UU UU
UU PP PP PP T T 11 MM MM MM MM UU UU
UU PP PP PP T T 11 MM MM MM MM UU UU
UU PP PP PP T T 11 MM MM MM MM UU UU
UU PP PP PP T T 11 MM MM MM MM UU UU
UU PP PP PP T T 11 MM MM MM MM UU UU
UU PP PP PP T T 11 MM MM MM MM UU UU
UU PP PP PP T T 11 MM MM MM MM UU UU
UU PP PP PP T T 11 MM MM MM MM UU UU
UU PP PP PP T T 11 MM MM MM MM UU UU
UUUUUU PP 11 111111 MM MM UUUUUU
UUUUUU PP 11 111111 MM MM UUUUUU
  
```

```

BBBBBBB AAAAAA SSSSSSSS ???? 222222 888888
BBBBBBB AAAAAA SSSSSSSS ???? 222222 888888
BB BB AA AA SS ???? 22 22 88 88
BB BB AA AA SS ???? 22 22 88 88
BB BB AA AA SS ???? 22 22 88 88
BBBBBBB AA AA SSSSSS ???? 22 888888
BBBBBBB AA AA SSSSSS ???? 22 888888
BB BB AA AAAA AAAA SS ???? 22 88 88
BB BB AA AAAA AAAA SS ???? 22 88 88
BB BB AA AA SS ???? 22 88 88
BB BB AA AA SS ???? 22 88 88
BBBBBBB AA AA SSSSSS ? 2222222222 888888
BBBBBBB AA AA SSSSSS ? 2222222222 888888
  
```

```

KKKK EEEE L 000 000 000
K K E L L 0 0 0 0 0 0
K K E L L 0 00 0 00 0 00
KKKK EEEE L L 0 0 0 0 0 0
K K E L L 00 0 00 0 00 0
K K E L L 0 0 0 0 0 0
K K EEEEE LLLL 000 000 000
  
```

VAX/VMS RELOAD OPTIMU 14-JAN-1985 20:02 LPA0: 14-JAN-1985 20:02 DISK&CECAF  
 VAX/VMS RELOAD OPTIMU 14-JAN-1985 20:02 LPA0: 14-JAN-1985 20:02 DISK&CECAF  
 VAX/VMS RELOAD OPTIMU 14-JAN-1985 20:02 LPA0: 14-JAN-1985 20:02 DISK&CECAF

```

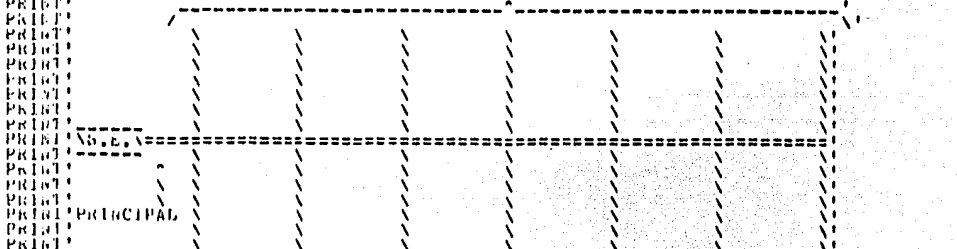
1. FOR I=1 TO 26\PRINTNEXT I
2. PRINT '
3. PRINTPRINT '
4. PRINT '
5. PRINT '
6. FOR I=1 TO 26\PRINTNEXT I
7. PRINT CHR$(12)
10. PRINT '
20. PRINT '
30. PRINT '
40. PRINT '
50. PRINT '
60. PRINT '
70. PRINT '
80. PRINT '
90. PRINT '
100. PRINT '
110. PRINT '
120. PRINT '
130. PRINT '
140. PRINT '
150. PRINT '
160. PRINT '
170. PRINT '
180. PRINT '
190. PRINT '
200. PRINT '
210. PRINT '
220. PRINT '
230. PRINT '
240. PRINT '
250. PRINT '
260. PRINT '
270. PRINT '
280. PRINT '
290. PRINT '
300. PRINT '
310. PRINT '
320. PRINT '
330. PRINT '
340. PRINT '
350. PRINT '
360. PRINT '
370. PRINT '
380. PRINTPRINTINPUT'DESEEA CONOCER LAS OPCIONES DE ESTE PROGRAMA, MARQUE SI O NO',AS
390. IF ASC'SI' <= 65 THEN GOTO 20003
400. PRINT CHR$(12)
401. PRINT '
410. PRINT '
415. PRINT '
420. PRINT '
430. PRINT '
435. PRINT '
440. PRINT '
445. PRINT '
450. PRINT '
455. PRINT '
460. PRINT '
465. PRINT '
470. PRINT '
480. PRINT '
490. INPUT '

```

MODELO MATEMATICO PARA LA OPTIMIZACION DE LA  
PLANIFICACION Y EXPANSION DE UNA AREA DE CARGA  
DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

ESTE PROGRAMA SE DISEÑO COMO UN AUXILIAR EN LA  
PLANIFICACION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION, EN EL  
CUAL SE TIENE UN AREA DE CARGA DEL ALIMENTADOR DE  
FORMA RECTANGULAR, CON UNA DENSIDAD DE CARGA UNI-  
FORME, ALIMENTADA POR UN SISTEMA TRIFASICO, 4 HI-  
LOS. EL AREA DE CARGA ESTA CUBIERTA POR UN ALIMEN-  
TADOR PRINCIPAL TRIFASICO Y ALGUNOS LATERALES MU-  
NIFICADOS (O TRIFASICOS) ESPACIADOS UNIFORMEMENTE  
A CADA LADO DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL, TAL COMO SE  
MUESTRA EN LA FIGURA, POSTERIORMENTE.

\* \* \* \* \*



DESEA CONOCER LAS OPCIONES DE ESTE PROGRAMA, MARQUE SI O NO',AS

LAS OPCIONES DE CALCULO DE ESTE PROGRAMA, SON :

- 1.- ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE; MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA.
- 2.- ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE; MINIMA CAIDA DE VOLTAJE.
- 3.- ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE; LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE.
- 4.- ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE; LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE.
- 5.- ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE; PARA UNA RELACION CONSTANTE DEL PRINCIPAL AL LATERAL.
- 6.- ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE; PARA UNA RELACION CONSTANTE DEL PRINCIPAL AL LATERAL.
- 7.- DENSIDADES DE CARGA PARA SIMULTANEIDAD DE LIMITACIONES.
- 8.- N I N G U N A

MARQUE EL NUMERO DE LA OPCION DESEADA',BI

```

500 IF D1=1 THEN Y80
510 IF D1=2 THEN Y150
520 IF D1=3 THEN Y210
530 IF D1=4 THEN Y265
540 IF D1=5 THEN Y300
550 IF D1=6 THEN Y340
560 IF D1=7 THEN Y380
570 IF D1=8 THEN Y4000 Y15E 400
580 PRINT CHR$(12)
590 PRINT "LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:",BINPRINT\PRINT
610 PRINT "ESTA ES LA RUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN"
620 PRINT "ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE, BAJO LA"
630 PRINT "CONDICION DE MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA."PRINT\PRINT\PRINT
640 PRINT "LOS DATOS PARA EL CALCULO SON: (MERGENTE)PRINT
650 GOSUB 800 Y GO TO 892 X 1 SUBROUTINA NO. 1
660 PRINT "EL FACTOR DE CORRIENTE DEL VOLTAJE EN EL ALIMENTADOR PRINCIPAL ES"
670 PRINT "DE LA CORRIENTE DEL CABLE DE VOLTAJE DEL ALIM. PRINCIPAL ES"
680 PRINT "LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP. ES"
690 PRINT "LA RESISTENCIA ENTRE LATERALES EN K."
700 PRINT "LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN FT. ES"
710 PRINT "LA RESISTENCIA DE UNA FASE DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL EN OHM/KM."
720 PRINT "LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES"
730 PRINT "LA RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES DEL LATERAL EN OHM/KM."
740 PRINT "EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES"
750 PRINT "EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIMENTADOR LATERAL EN OHM/KM."
760 PRINT "EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES"
770 PRINT "EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV."
780 PRINT "EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES"
790 PRINT "LA CONDUCTANCIA DE CARGA EN KV/KM2 ES"
800 PRINT "DETERMINADO DEL TIPO DE LATERAL, SELECCIONE UN VALOR"
810 PRINT "0.30 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE TODA"
820 PRINT "LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO."
830 PRINT "0.21 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE EL 40%"
840 PRINT "DE LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO."
850 PRINT "0.10 PARA LATERALES DE FASE A FASE."
860 PRINT "0.05 PARA LATERALES TRIFASICOS."
870 PRINT "EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL."
880 PRINT "EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES"
890 RETURN
900 GOSUB 800 X GO TO 892 X 1 SUBROUTINA DE CALCULO NO. 1
910 C=((E*E1^2)/(4*K3*D1))^0.5
920 A1=(3.39E2+E1^0.5*(K3*Z2+D1+E)^0.25)/(D^0.25*Z1^0.5)
930 C1=A1/C
940 A=2*A1*C
950 W=A*D
960 P1=(1.4426*RI*U^0.25+E1^1.5+E^1.75)/((Z2*K3*D1)^0.25*Z1^1.5)
970 P2=(8.7224E2*U^0.25+E1^1.5+E^1.75)/((D1*K3)^0.25*Z1^0.5+Z2^1.25)
980 P3=P1/(1000*W)
990 P4=P2/(1000*W)
1000 RETURN
1010 PRINT CHR$(12)
1020 PRINT\PRINT\PRINT
1030 PRINT "PARAMETROS DEL SISTEMA"
1040 PRINT "LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL."A1"KM"PRINT\PRINT
1050 PRINT "LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL."C"KM"PRINT\PRINT
1060 PRINT "RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL."C1"---"PRINT\PRINT

```

```

930 PRINT 'AREA DE CARGA COBIERTA.          ',A,'KZ'\PRINT\PRINT
940 PRINT 'CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.     ',A,'KV'\PRINT\PRINT
950 PRINT 'PERDIDAS IZR EN EL ALIM. PRINCIPAL.',P1,'%' \PRINT\PRINT
960 PRINT 'PERDIDAS IZR EN LOS ALIM. LATERALES.',P2,'%' \PRINT\PRINT
970 PRINT 'PERDIDAS EN PZO DEL ALIM. PRINCIPAL.',P3,'%' \PRINT\PRINT
980 PRINT 'PERDIDAS EN PZO DEL ALIM. LATERALES.',P4,'%' \PRINT\PRINT
982 IF K3=0,05 THEN GOSUB 1020 ELSE 990
984 GO TO 1042
990 IF K3=0,21 THEN GOSUB 1020 ELSE 1000
995 GO TO 1050
1000 IF K3=0,30 THEN GOSUB 1020 ELSE 1220
1005 GO TO 1090
1010 I SUBORDINADA NO. 2.
1020 INPUT 'DESEA PARAMETROS EN CIRCUITO DELTA, MARQUE SI O NO',BS
1030 IF BS<>'SI' GO TO 1270
1040 RETURN
1042 A1=1,189*A1
1044 C=0,707*C
1046 C1=1,082*C1
1048 A=0,841*A XGO TO 1130
1050 A1=0,631*A1
1060 C=1,149*C
1070 C1=0,573*C1
1080 A=1,294*A X GO TO 1130
1090 A1=0,76*A1
1100 C=3*0,5*C
1110 C1=0,439*C1
1120 A=1,316*A
1130 FOR L=1 TO 8 X PRINT X NEXT L
1140 PRINT '          LOS VALORES PARA EL CIRCUITO DELTA, SON :'\PRINT\PRINT\PRINT
1150 PRINT 'LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.  ',A1,'KM'\PRINT
1160 PRINT 'LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.     ',C,'KM'\PRINT
1170 PRINT 'PERDACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.',C1,'%' \PRINT
1180 PRINT 'AREA DE CARGA COBIERTA.                ',A,'KM2'\PRINT
1190 FOR J=1 TO 3
1200 PRINT
1210 NEXT J
1220 INPUT 'DESEA CULTIVAR CON ESTA OPCION, MARQUE SI O NO ',FS
1225 IF FS<>'SI' GO TO 420
1230 PRINT CHR$(12)
1240 PRINT
1260 PRINT '          EN ESTA PARTE DE LA RUTINA, SE CALCULA UNA TABLA EN LA '
1270 PRINT '          QUE APARECEN LAS VARIACIONES DE LOS PARAMETROS, PARA '
1280 PRINT '          DIFERENTES VALORES DE DENSIDAD DE CARGA. '\PRINT\PRINT\PRINT
1290 INPUT 'DESEA OBTENER UNA TABLA, MARQUE SI O NO',CS
1300 IF CS<>'SI' GO TO 1490
1310 PRINT\PRINT\PRINT
1320 INPUT 'DE EL LIMITE INFERIOR DE DENSIDAD DE CARGA',X\PRINT
1330 INPUT 'DE EL LIMITE SUPERIOR DE DENSIDAD DE CARGA',Y\PRINT
1340 INPUT 'DE EL INCREMENTO DE DENSIDADES, QUE UD. DESEE',Z\PRINT\PRINT\PRINT
1350 X=Y-X/Z
1360 IF A1<14 THEN PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT'*** DE UN INCREMENTO MAYOR ***\NGO TO 1310
1370 IF A1<14 THEN PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT'*** DE UN INCREMENTO MENOR ***\NGO TO 1310
1372 IF D1=2 THEN 1950
1373 IF D1=3 THEN 2440
1374 IF D1=4 THEN 2820
1375 IF D1=5 THEN 2440
1376 IF D1=6 THEN 2820
1380 PRINT ' * * * PARA UN VOLTAGE DE SISTEMA DE ',E1,' KV * * * '\PRINT\PRINT
1390 PRINT 'DENS. ALIM. ALIM. REL. DEL AREA DE CARGA PERDS. PERDS.'
1400 PRINT 'CARGA PRINC. LAT. PRINC. AL CARGA SIST. PRINC. LAT.'

```

```

1410 PRINT 'KVA/CM2' CM. NO. LAT. KMZ. KVA W W\PRINT
1440 FOR D=1 TO Y STEP 2
1450 GOSUB 800
1455 PRINT USING '###.#' ,D;\PRINT USING '###.#' ,A1;\PRINT USING '###.#' ,C; ,W;
1465 PRINT USING '###.#' ,C1;\PRINT USING '###.#' ,A7;\PRINT USING '###.#' ,P2; ,W;
1470 NEXT D
1475 S=14-2\NFOR Z=1 TO NPRINTNEXT Z
1480 PRINTINPUJ'DESEEA CONTINUAR CON ESTA OPCION, MARQUE SI O NO',PS
1485 IF PS<>'S1' GO TO 490
1490 PRINT CHR$(12)
1500 PRINT ' SECUENCIA DE ANALISIS DE LOS EFECTOS DEL AUMENTO DE
1510 PRINT ' VOLTIAJE EN LOS PARAMETROS DEL SISTEMA.\PRINT\PRINT\PRINT
1520 INPUT'DESEEA ANALIZAR LOS EFECTOS DE UN AUMENTO DE VOLTIAJE, MARQUE SI O NO',DS
1530 IF DS<>'S1' THEN 1715 ELSE PRINT\PRINT
1540 INPUT'DE EL VALOR DEL VOLTIAJE INCREMENTADO, EN KV',E2
1550 G=0
1552 IF G1=2 THEN T=2050
1553 IF G1=3 THEN T=2540
1554 IF G1=4 THEN T=2940
1555 IF G1=5 THEN T=3360
1556 IF G1=6 THEN T=3570
1560 GOSUB 800
1570 PS=H1+P2
1580 CZ=C*(E2/L1)
1590 AZ=(E2/E1)^0.5*A1
1600 CS=(E1/E2)^0.5*C1
1610 AS=(E2/E1)^1.5*A
1620 KZ=(E2/E1)^1.5*K
1630 PS=(E2/E1)^1.5*PS\PRINT\PRINT\PRINT
1640 PRINT ' PARA UNA DENSIDAD DE CARGA DE ',D; ' KVA/KM2'\PRINT\PRINT
1650 PRINT ' VOLTIAJE DEL SISTEMA. ',E1,E2; 'KV'\PRINT\PRINT
1660 PRINT ' ABSEJTOR PRINCIPAL. ',A1,A2; 'KM'\PRINT
1670 PRINT ' ABSEJTOR LATERAL. ',C,C2; 'KM'\PRINT
1680 PRINT ' ANG. DEL PFC. AL LAT. ',C1,C3; '°'\PRINT
1690 PRINT ' AREA DE CARGA COMERTA. ',A,AJ; 'KM2'\PRINT
1700 PRINT ' CARGA DEL SISTEMA. ',W,WZ; 'KVA'\PRINT
1710 PRINT ' PERDIDAS TOTALES. ',PS,PS; 'W'\PRINT
1715 PRINT\PRINT\PRINT
1720 INPUT'DESEEA ANALIZAR UNA OPCION DE CALCULO DE ESTE PROGRAMA, MARQUE SI O NO',ES
1730 IF ES<>'S1' GO TO 20000
1740 GO TO 490
1750 PRINT CHR$(12)
1755 PRINT\PRINT\PRINT\PRINT'LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:',B1;\PRINT\PRINT
1760 PRINT ' ESTA ES LA RUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN
1770 PRINT ' ABSEJTOR LIMITADO TERMICAMENTE, BAJO LA CONDI --
1780 PRINT ' CION DE MINIMO PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTIAJE.\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT
1785 PRINT ' LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:\PRINT\PRINT\PRINT
1790 GOSUB 836
1800 GOSUB 1810 \ GO TO 1920 \ 1 SUBROUTINA DE CALCULO NO. 3.
1810 S=3^0.5+11*E1
1820 C=0.721*(1+(21+*42)/(K3+27*D1*D^2))^0.333
1830 A1=2.1544*((K3+27*D1*D^2)/(21+D))^0.333
1840 C1=A1/C
1850 A=1/D
1860 F1=(0.48+7+11^2+41^0.666+(27*K3*D1)^0.333)/(D^0.333*W^0.666)
1870 F1=(2.5875*F1*(E1+K3*2*D1)^0.333+11^2.333)/(21+D)^0.333
1880 P2=(1.29+K2*(K3*D1+E1)^0.333+21^0.666+11^2.333)/(D^0.333+22^0.666)
1890 P3=P1/(1000*W)
1900 P4=P2/(1000*W)
1910 RETURN

```

```

1920 PRINT CHR$(12)
1925 PRINT ' * * * PARAMETROS DEL SISTEMA * * * '\PRINT\PRINT\PRINT
1930 PRINT '% DE REGULACION DEL ALIM. PRIMARIO ',E,'%\PRINT
1940 GO TO 900
1950 PRINT ' * * * PARA UN VOLTAJE DEL SISTEMA DE ',E1,' KV * * * '\PRINT\PRINT
1955 PRINT 'ALIM. ALIM. REL. DEL AREA DE REGULACION PERUS PERUS '\PRINT
1970 PRINT 'CARGA PRINC. DAT. PRIO. AL CARGA CION PRINC. DAT.'
1980 PRINT 'KVA/KM2 KM. DAT. KM2 * '\PRINT
1990 FOR D=1 TO 1 STEP 2
2000 GOSUB 1310
2010 PRINT USING'##### ',E;\PRINT USING'###.### ',A1;\PRINT USING'###.### ',C;
2015 PRINT USING'###.### ',L1;\PRINT USING'###.### ',A;\PRINT USING'###.### ',E;
2020 PRINT USING'##### ',P1;\PRINT USING'##### ',P2
2030 NEXT D
2040 GO TO 1475
2050 GOSUB 1410
2060 P5=P1+P2
2070 C2=(E2/E1)^0.066+C
2080 A2=(E2/E1)^0.333+A1
2090 C3=(E1/E2)^0.333+C1
2100 A3=(E2/E1)*A \ W2=(E2/E1)*W
2110 E3=(E1/E2)^0.066+E
2120 F0=(E2/E1)^0.333+P5 \PRINT\PRINT
2130 PRINT ' PARA UNA DENSIDAD DE CARGA DE ',D,' KVA/KM2 '\PRINT\PRINT
2140 PRINT 'VOLTAGE DEL SISTEMA ',E1,E2,'KV '\PRINT
2150 PRINT '% DE REGULACION ',E,E3,'%\PRINT
2160 GO TO 1060
2165 PRINT CHR$(12)
2167 PRINT\PRINT\PRINT\PRINT 'LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES: ',B1;\PRINT\PRINT
2170 PRINT ' ESTA ES LA ROTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN
2180 PRINT ' ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE, BAJO
2190 PRINT ' LA CONDICION DE LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE. '\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT
2195 PRINT 'LOS DATOS PARA EL CALCULO SON: '\PRINT\PRINT\PRINT
2200 GOSUB 2210 \ GO TO 2300 \ ! SUBROUTINA NO. 4.
2210 INPUT 'DE EL PORCENTAJE DE REGULACION EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO ' \PRINT
2215 PRINT 'PORCENTAJE DE REGULACION EN EL ALIM. PRIMARIO ES ',EXPRINTINGO TO 2230
2220 INPUT 'DE EL CUMPLIMIENTO TOTAL DEL SISTEMA EN AMP.
2225 PRINT 'CUMPLIMIENTO TOTAL DEL SISTEMA EN AMP. ES ',I1\PRINT
2230 INPUT 'DE LA LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL (CONSTANTE) EN KM.
2235 PRINT 'LA LONGITUD DEL ALIM. LATERAL (CONSTANTE) EN KM ES ',C1\PRINT
2240 INPUT 'DE LA DENSIDAD DE CARGA EN UNA FASE DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL EN OHM/KM,
2245 PRINT 'LA DENSIDAD DE CARGA EN UNA FASE DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL EN OHM/KM ES ',R1\PRINT
2250 INPUT 'DE EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL EN OHM/KM,
2255 PRINT 'EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES ',Z1\PRINT
2260 INPUT 'DE EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV.
2265 PRINT 'EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES ',E1\PRINT
2270 INPUT 'DE LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2.
2275 PRINT 'LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2 ES ',D;\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT
2280 END
2290 RETURN
2300 GOSUB 2310 \ GO TO 2370 \ ! SUBROUTINA DE CALCULOS NO. 5.
2310 A1=((E+E1^2)/(0.1*Z1^0+C))^0.5
2320 A=((40+E^4*C*E1^2)/(Z1^0))^0.5
2330 V=((40+E^4*C*D*E1^2)/(Z1))^0.5
2340 P1=142.1041R1*(C*D)^0.5+E1*E^1.5)/(Z1^1.5)
2350 P3=P1/(1000+W)
2360 R1=1000
2370 PRINT\PRINT\PRINT ' * * * PARAMETROS DEL SISTEMA * * * '\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT
2380 PRINT 'LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL. ',A1,'KM '\PRINT
2390 PRINT 'AREA DE CARGA CUBIERTA. ',A,'KM2 '\PRINT
2400 PRINT 'CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR. ',R,'KVA '\PRINT

```

```

2410 PRINT 'PERIODOS EN EL ALIMENTADOR PRINCIPAL.',P1,' ';\PRINT
2420 PRINT 'PERIODOS EN PZO DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.',P3,'--'
2425 FOR I=1 TO 5:\PRINT\GEAT I
2430 GO TO 1220
2440 PRINT ' * * * PARA UN VOLTAGE DE SISTEMA DE:;E1;'KV * * *\PRINT\PRINT
2450 PRINT ' DENS. ALIM. AREA DE CARGA PERDS.'
2460 PRINT ' CARGA PRINC. AREA DE CARGA SIST. PRINC.'
2470 PRINT ' KVA/KM2 KM KM2 KVA W'
2472 PRINT
2480 FOR D=4 TO Y STEP Z
2485 IF D=4 THEN 2490 ELSE 2495
2490 GOSUB 2310 \ GO TO 2500
2495 GOSUB 3300
2500 PRINT USING' #####,D;\PRINT USING' #####,A1;\PRINT USING' #####,A;
2510 PRINT USING' #####,P1;\PRINT USING' #####,P1
2520 NEXT D
2530 GO TO 1475
2540 GOSUB 2310
2550 J7=E2/E1
2560 A2=J7*A1
2570 A3=J7*A
2580 W2=J7*W
2590 P7=J7*P1
2595 FOR I=1 TO 6 \PRINT \NEXT I
2600 PRINT ' PARA UNA DENSIDAD DE CARGA DE ;D;' KVA/KM2'\PRINT\PRINT
2605 PRINT\PRINT
2610 PRINT 'VOLTAGE DEL SISTEMA ;E1,E2,'KV '\PRINT\PRINT
2620 PRINT 'ALIMENTADOR PRINCIPAL ;A1,A2,'KM '\PRINT
2630 PRINT 'AREA DE CARGA ;A,A3,'KM2'\PRINT
2640 PRINT 'CARGA DEL SISTEMA ;W,W2,'KVA'\PRINT
2650 PRINT 'PERIODOS TOTALES ;P1,P7,'
2660 GO TO 1715
2665 PRINT CHR$(12)
2667 PRINT\PRINT\PRINT'LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES;'B1'\PRINT\PRINT
2670 PRINT ' ESTA ES LA PUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN
2680 PRINT ' ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE, BAJO LA CONDI-
2690 PRINT ' CION DE LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE '\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT
2695 PRINT 'LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:'\PRINT\PRINT\PRINT
2700 GOSUB 2220
2710 GOSUB 2720 \ GO TO 2790 \ ! SUBROUTINA DE CALCULOS NO. 6.
2720 A=3*0.5+11*E1
2730 A1=A/(2+0.4C)
2740 A=E/D
2750 F=(0.025+41*W^2)/(E1^2*D*C)
2760 P1=(0.0061*E1*F11^3)/(C*0)
2770 P3=P1/(1000*W)
2780 RETURN
2790 PRINT\PRINT\PRINT' * * * PARAMETROS DEL SISTEMA * * *\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT
2800 PRINT '% DE REGULACION EN EL ALIM. PRIMARIO ;L,%'\PRINT
2810 GO TO 2380
2820 PRINT ' * * * PARA UN VOLTAGE DE SISTEMA DE ;E1;'KV * * *\PRINT
2830 PRINT ' DENS. ALIM. AREA DE CARGA PERDS.'
2840 PRINT ' CARGA PRINC. AREA DE CARGA REGULACION PRINC.'
2850 PRINT ' KVA/KM2 KM KM2 W'\PRINT
2860 FOR D=X TO Y STEP Z
2870 IF D=4 THEN 2880 ELSE 2890
2880 GOSUB 2720 \ GO TO 2900
2890 GOSUB 3300
2900 PRINT USING' #####,D;\PRINT USING' #####,A1;\PRINT USING' #####,A;
2910 PRINT USING' #####,L;\PRINT USING' #####,P1
2920 NEXT D

```



```

2930 GO TO 1475
2940 GOSUB 2720
2950 J7=J2/E1
2960 A2=J7*A1
2970 A3=J7*A
2980 F3=E
2990 F7=J7*F1 \ A2=(L2/E1)+A
3000 FOR I=1 TO C \ PRINT \ NEXT I
3010 PRINT ' PARA UNA DENSIDAD DE CARGA DE 'J0;' KVA/KM2 \ PRINT \ PRINT
3020 PRINT 'VOLTAGE DEL SISTEMA 'E1,E2,'KV \ PRINT \ PRINT
3030 PRINT '% DE REGULACION 'E,E2,'%' \ PRINT
3040 GO TO 2620
3050 PRINT COKS(12)
3055 PRINT 'LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:',BI \ PRINT \ PRINT
3060 PRINT ' ESTA ES LA RUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN '
3070 PRINT ' ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAGE, BAJO '
3080 PRINT ' LA CONDICION DE RELACION CONSTANTE DEL PRINCIPAL '
3090 PRINT ' AL DATENAL,' \ PRINT \ PRINT \ PRINT
3095 PRINT 'LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:' \ PRINT \ PRINT \ PRINT
3100 GOSUB 3110 \ GO TO 3200 \ ! SUBROUTINA NO. 7.
3110 PRINT ' EL PORCIENTO DE REGULACION EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO ',E \ PRINT
3115 PRINT ' EL PORCIENTO DE REGULACION EN EL ALIM. PRIMARIO ES:',E \ PRINT \ GO TO 3130
3120 PRINT ' LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP. ',I \ PRINT
3125 PRINT ' LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP. ES ',I \ PRINT
3130 PRINT ' LA RELACION DEL PRINCIPAL AL DATENAL (CONSTANTE) ',R \ PRINT
3135 PRINT ' LA RELACION DEL PRINC. AL DATENAL (CONSTANTE) ES: ',R \ PRINT
3140 PRINT ' DE LA EXISTENCIA DE UNA FASE DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL EN OHM/KM,' \ PRINT
3145 PRINT ' LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES ',R \ PRINT
3150 PRINT ' EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES ',Z \ PRINT
3155 PRINT ' EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES ',Z \ PRINT
3160 PRINT ' EL VOLTAGE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV. ',E \ PRINT
3165 PRINT ' EL VOLTAGE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES ',E \ PRINT
3170 PRINT ' LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2. ',D \ PRINT
3175 PRINT ' LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2 ES ',D \ PRINT
3180 D=D
3190 RETURN
3200 GOSUB 3300 \ GO TO 2370 \ ! SUBROUTINA DE CALCULO NO. 8.
3300 A1=((L1*R+E1^2)/(0.10*0.41))^.533
3310 A=0.2632*((E+E1^2)/(0.41*R+.5))^.666
3320 W=9.2632*((E+E1^2+.5)/(Z1*R+.5))^.666
3330 P1=61.8882*R1*(D+E1^4+E^5)/(R+Z1^5)^.333
3340 P3=F1/(100+W)
3350 RETURN
3360 GOSUB 3300
3370 J7=E2/E1
3380 A7=J7^0.666*A1
3390 A3=J7^1.333*A
3400 A2=J7^1.333*W
3410 F7=J7^1.333*P1
3420 GO TO 2595
3430 PRINT COKS(12)
3435 PRINT 'LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:',BI \ PRINT \ PRINT
3440 PRINT ' ESTA ES LA RUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN '
3450 PRINT ' ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE, BAJO LA CONDICI- '
3460 PRINT ' ON DE RELACION CONSTANTE DEL PRINCIPAL AL DATE- '
3470 PRINT ' NAL,' \ PRINT \ PRINT \ PRINT
3475 PRINT 'LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:' \ PRINT \ PRINT \ PRINT
3480 GOSUB 3120
3490 GOSUB 3500 \ GO TO 2790 \ ! SUBROUTINA DE CALCULOS NO. 9.
3500 W=3^0.5*11*E1
3510 A1=((L1*R)/(Z^2+D))^0.5

```

```

3520 A=K/D
3530 E=(0.0354*Z1*K*0.5*K*1.5)/(U*0.5*E1*2)
3540 P1=0.336*(E1*K*E1*2+I1*5)/(U))*0.5
3550 P3=P1/(1000*V)
3560 RETURN
3570 GOSUB 3500
3580 AZ=(E2/E1)*0.5*W1 \ *Z=(E2/E1)*W
3590 A3=(E2/E1)*A
3600 F3=(E1/E2)*0.5*E1
3610 P3=(E2/E1)*0.5*P1
3620 GO TO 3000
3630 PRINT CORR(12)
3635 PRINTPRINTPRINT'LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:',N1PRINTPRINT
3640 PRINT'ESTA ES LA PUTINA DONDE SE REALIZAN LOS CALCULOS'
3650 PRINT'PARA DENSIDADES DE CARGA DE OCURRENCIA SIMULTANEA'
3660 PRINT'DE LIMITACIONES (POR CAIDA DE VOLTAJE Y TERMICA),'
3670 PRINT'PARA LAS DIFERENTES CONDICIONES QUE SE PRESENTAN:'PRINTPRINTPRINTPRINT
3680 PRINT'LAS OPCIONES DE CALCULO, SON : ' \ PRINT \ PRINT
3685 PRINT'1.- DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA PARA LAS CONDICIONES DE MAXIMA'
3690 PRINT'AREA DE CARGA CUBIERTA Y MINIMO PORCIENTO DE CAIDA DE VOL--'
3695 PRINT'TAJE.' \ PRINT
3700 PRINT'2.- DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA PARA LA CONDICION DE LONGITUD '
3705 PRINT'DE LATERAL CONSTANTE.' \ PRINT
3710 PRINT'3.- DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA PARA LA CONDICION DE RELACION '
3720 PRINT'DEL PRINCIPAL AL LATERAL CONSTANTE.' \ PRINT \ PRINT \ PRINT
3730 PRINT'PORQUE EL GRUPO DE LA DENSIDAD DESEADA',G2
3740 PRINT CORR(12)PRINTPRINTPRINT'LA OPCION DE CALCULO DE DENSIDAD ES:',G2PRINTPRINT
3750 IF G2=1 THEN 3760
3760 IF G2=2 THEN 3940
3770 IF G2=3 THEN 3990 ELSE 400
3780 PRINT'PARA EL CALCULO DE LA DENSIDAD DE CARGA PARA SIMULTANEIDAD DE '
3790 PRINT'LIMITACIONES, BAJO LAS CONDICIONES DE MAXIMA AREA DE CARGA CU-'
3795 PRINT'BIERTA Y MINIMO PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE, PROPORCIONE LOS '
3800 PRINT'SIGUIENTES DATOS : 'PRINTPRINTPRINTPRINT
3810 INPUT'DE UN VALOR (CONSTANTE) DE PEGUELO DEL TIPO DEL LATERAL',K3
3820 INPUT'DE LA DISTANCIA ENTRE LATERALES SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES',K3PRINT',D1
3830 INPUT'DE LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ES ',D1PRINT',D1
3840 INPUT'DE EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM. ES',Z2
3850 INPUT'DE EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM. ES',Z2PRINT',Z2
3860 INPUT'DE EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV. ES ',E1
3870 INPUT'DE EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV. ES ',E1PRINT',E1
3880 INPUT'DE EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES',Z1
3890 INPUT'DE EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES',Z1PRINT',Z1
3900 INPUT'DE LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP. ES ',I1
3910 INPUT'DE LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP. ES ',I1PRINT',I1
3920 INPUT'DE EL PORCIENTO DE REGULACION EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO ',E
3930 INPUT'DE EL PORCIENTO DE REGULACION DEL ALIM.PRIMARIO ES ',EPRINT',E
3940 GO TO 4040
3950 PRINT'PARA EL CALCULO DE LA DENSIDAD DE CARGA PARA SIMULTANEIDAD DE '
3960 PRINT'LIMITACIONES, BAJO LA CONDICION DE LONGITUD DE LATERAL CONS-'
3970 PRINT'ANTE, PROPORCIONE LOS SIGUIENTES DATOS : 'PRINTPRINTPRINTPRINT
3980 INPUT'DE LA LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL (CONSTANTE) EN KM. ',C
3990 PRINT'LA LONGITUD DEL ALIM. LATERAL EN KM. (CONSTANTE) ES ',CPRINT',C
4000 GO TO 3900
4010 PRINT'PARA EL CALCULO DE LA DENSIDAD DE CARGA PARA SIMULTANEIDAD DE '
4020 PRINT'LIMITACIONES, BAJO LA CONDICION DE RELACION ENTRE PRINCIPAL Y '
4030 PRINT'LATERAL CONSTANTE, PROPORCIONE LOS SIGUIENTES DATOS : 'PRINTPRINTPRINTPRINT
4040 INPUT'DE LA RELACION DEL PRINCIPAL AL LATERAL (CONSTANTE) ',R
4050 PRINT'LA RELACION DEL PRINCIPAL AL LATERAL (CONSTANTE) ES ',RPRINT',R

```

```

4030 GO TO 4090.
4040 IF BZ=1 THEN 4060
4050 IF BZ=2 THEN 4070
4060 DS=(0.0005*K+Z1^2+11^3)/(L1+E^2)X GO TO 4090
4070 DS=(0.075*Z1+11^2)/(C+E)X GO TO 4090
4080 DS=(0.13796*K3+D1+Z2*Z1^2+11^4)/(E1^2+E^3)
4090 PRINT CHR$(12)
4100 PRINT
4110 PRINT PRINT LA DENSIDAD DE CARGA PARA
4120 PRINT SIMULACION DE LIMITACIONES ES :
4130 PRINT PRINT PRINT PRINT
4140 PRINT '05,' NVA/KK2'
4145 FOR I=1 TO 7 X PRINT X NEAT J
4150 INPUT 'DESEA CONTINUAR CON ESTA OPCION, MARQUE SI O NO',FS
4155 IF FS<>'S' GO TO 490
4160 PRINT CHR$(12)
4170 PRINT
4180 PRINT EN ESTA PARTE DE LA RUTINA, SE CALCULA UNA TABLA EN LA
4190 PRINT QUE APARECEN LAS VARIACIONES DE LA DENSIDAD DE CARGA =
4200 PRINT SIMULADA PARA DIFERENTES VALORES DEL PORCENTO DE
4210 PRINT CAIDA DE VOLTAJE.'PRINT PRINT PRINT
4220 INPUT 'DESEA OBTENER UNA TABLA, MARQUE SI O NO',FS
4230 IF FS<>'S' THEN 4530
4230 PRINT PRINT PRINT
4240 INPUT 'DE EL LIMITE INFERIOR DEL PORCENTAJE DE CAIDA DE VOLTAJE',XPRINT
4250 INPUT 'DE EL LIMITE SUPERIOR DEL PORCENTAJE DE CAIDA DE VOLTAJE',XPRINT
4260 INPUT 'DE EL INCREMENTO DE PORCENTAJE, QUE USIED DESE',XPRINT PRINT PRINT
4270 XI=(Y-X)/Z
4280 IF X1<X THEN PRINT PRINT PRINT PRINT PRINT *** DE UN INCREMENTO MAYOR *** GO TO 4230
4290 IF X1<X THEN PRINT PRINT PRINT PRINT PRINT *** DE UN INCREMENTO MENOR *** GO TO 4230
4300 PRINT * * * PARA UNA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA DE 'I1,' AMP * * * PRINT PRINT
4410 PRINT 'FORCIENTO DE DENSIDAD DE CARGA'
4420 PRINT 'REGULACION SIMULTANEA NVA/KK2' PRINT
4430 FOR P=X TO Y STEP Z
4440 IF BZ=1 THEN 4460
4450 IF BZ=2 THEN 4470
4460 DS=(0.0005*K+Z1^2+11^3)/(L1+E^2)GO TO 4490
4470 DS=(0.075*Z1+11^2)/(C+E)GO TO 4490
4480 DS=(0.03796*K3+D1+Z2*Z1^2+11^4)/(E1^2+E^3)
4490 PRINT USING '###.#',E;PRINT USING '#####',DS
4500 NEAT E
4510 P=I-A1 X FOR I=1 TO 6 X PRINT X NEAT J
4520 INPUT 'DESEA CONTINUAR CON ESTA OPCION, MARQUE SI O NO',FS
4525 IF FS<>'S' GO TO 490
4530 PRINT CHR$(12)
4540 PRINT
4550 PRINT EN ESTA PARTE DE LA RUTINA, SE CALCULA UNA TABLA EN LA
4560 PRINT QUE APARECEN LAS VARIACIONES DE LA DENSIDAD DE CARGA =
4570 PRINT SIMULADA PARA DIFERENTES VALORES DE CORRIENTE TOTAL
4580 PRINT DEL SISTEMA.'PRINT PRINT PRINT PRINT
4590 INPUT 'DESEA OBTENER UNA TABLA, MARQUE SI O NO',FS
4600 IF FS<>'S' THEN 4800
4600 PRINT PRINT PRINT PRINT
4610 INPUT 'DE EL LIMITE INFERIOR DE LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA',XPRINT
4620 INPUT 'DE EL LIMITE SUPERIOR DE LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA',XPRINT
4630 INPUT 'DE EL INCREMENTO DE CORRIENTE, QUE USIED DESE',XPRINT PRINT PRINT
4640 XI=(Y-X)/Z
4650 IF X1<X THEN PRINT PRINT PRINT PRINT PRINT *** DE UN INCREMENTO MAYOR *** GO TO 4600
4660 IF X1<X THEN PRINT PRINT PRINT PRINT PRINT *** DE UN INCREMENTO MENOR *** GO TO 4600
4670 PRINT * * * PARA UNA CAIDA DE VOLTAJE DE 'E,' % * * * PRINT PRINT
4680 PRINT 'CORRIENTE TOTAL DEL DENSIDAD DE CARGA'
4690 PRINT 'SISTEMA EN AMP SIMULTANEA NVA/KK2' PRINT
4700 FOR I=X TO Y STEP Z

```

```

4710 IF B2=1 THEN 4730
4720 IF B2=2 THEN 4730
4730 D1=(0.0065*E1*Z1^2+11^3)/(E1+E^2)NGO TO 4760
4740 D2=(0.075*Z1+11^2)/(C+E)NGO TO 4760
4750 D3=(0.05796*E3+0.1*Z2+21^2+11^3)/(E1^2+E^3)
4760 PRINT USING '#####',D1
4770 NEXT I
4780 NEXT A1
4790 INPUT 'DESEA CONTINUAR CON ESTA OPCION, MARQUE SI O NO',B5
4795 IF B5<>'SI' GO TO 490
4800 PRINT CHR$(12)
4810 PRINT 'SECUENCIA DE ANALISIS DE LOS EFECTOS DEL AUMENTO DE'
4820 PRINT 'VOLTAJE EN LA DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA.'
4830 INPUT 'DESEA ANALIZAR LOS EFECTOS DE UN AUMENTO DE VOLTAJE, MARQUE SI O NO',D5
4840 IF D5<>'SI' THEN 1715 ELSE PRINT
4850 INPUT 'DE EL VALOR DEL VOLTAJE INCREMENTADO, EN KV',E2
4860 IF B2=1 THEN 4845
4870 IF B2=2 THEN 4845
4880 D6=(E1/E2)^D5
4885 D6=D5
4890 D6=(E1/E2)^2*D5
4900 J1=10
4910 PRINT 'PARA UNA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA DE ',J1,'AMP'
4915 PRINT 'Y UNA CAIDA DE VOLTAJE DE ',E1,'KV'
4920 PRINT 'VOLTAJE DEL SISTEMA ',E1,E2,'KV'
4930 PRINT 'DENSIDAD DE CARGA'
4940 PRINT 'SIMULTANEA'
4950 PRINT 'DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA'
4955 PRINT 'DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA'
20000 PRINT CHR$(12)
20001 PRINT 'SI DESEA LA IMPRESION DE LOS CALCULOS REALIZADOS'
20002 PRINT 'REMITASE A LA RUTINA DE IMPRESION'
20003 STOP 5
20004 PRINT ' * * * F I N D E L P R O G R A M A * * * '
20005 FOR I=1 TO 9
20006 END

```

IV. 2.- EJEMPLOS.

EJEMPLO 1.- Basándose en las relaciones fundamentales de la geometría de un sistema de distribución, alimentando un área de carga regular, analizar los efectos que en los diferentes parámetros de diseño de un sistema aéreo típico, se obtienen al pasar de un voltaje nominal de 6 kV a 23 kV.

## CARACTERISTICAS DEL SISTEMA:

El área que se alimentará tendrá una forma rectangular similar a la que se muestra en la figura 3.

El sistema es Y multiaterrizado tanto en el alimentador principal como en los laterales ( trifásicos ), siendo los calibres utilizados:

	CALIBRE CABLE	SECCION mm <sup>2</sup>	R Ω/km	Z Ω/km	I Amp.
ALIMENTADOR PRINCIPAL	ALD 336	198.3	0.19	0.43	470
ALIMENTADOR LATERAL	ACSR 1/0	62.39	0.70	0.86	220

Asimismo, grafique para los dos niveles de voltaje, los parámetros geométricos y la carga que se obtienen al variar la densidad de carga ( 1-10 MVA/km<sup>2</sup> ), considerando un 3 % de caída de voltaje máximo permisible en el alimentador primario y una distancia entre laterales ( d ) de 0.16 km.

SOLUCION

Para un alimentador limitado por caída de voltaje, se tiene:

Para los alimentadores laterales, de la ecuación (24)

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{23}{6} = 3.83, \text{ o sea}$$

$$c_2 = 3.83 c_1$$

Es decir, que para una densidad de carga constante y aplicando el concepto de máxima área de carga cubierta, la longitud de los alimentadores laterales puede aumentar hasta 3.83 veces en relación a la longitud de éstos en 6 kV.

Para el alimentador principal, de la ecuación (25)

$$\frac{a_2}{a_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{0.5} = \left( \frac{23}{6} \right)^{0.5} = 1.96, \text{ o sea}$$

$$a_2 = 1.96 a_1$$

Lo que significa que la longitud del alimentador principal se puede aumentar en 1.96 veces la longitud inicial con respecto a 6 kV.

Para el área de carga, de la ecuación (27)

$$\frac{A_2}{A_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{1.5} = \left( \frac{23}{6} \right)^{1.5} = 7.51$$

La carga por circuito, de la ecuación (28)

$$\frac{W_2}{W_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{1.5} = \left( \frac{23}{6} \right)^{1.5} = 7.51$$

Por lo tanto podemos afirmar que el área máxima de influencia y la carga por circuito aumentarán en 7.51 veces al elevar el voltaje de alimentación de 6 a 23 kV.

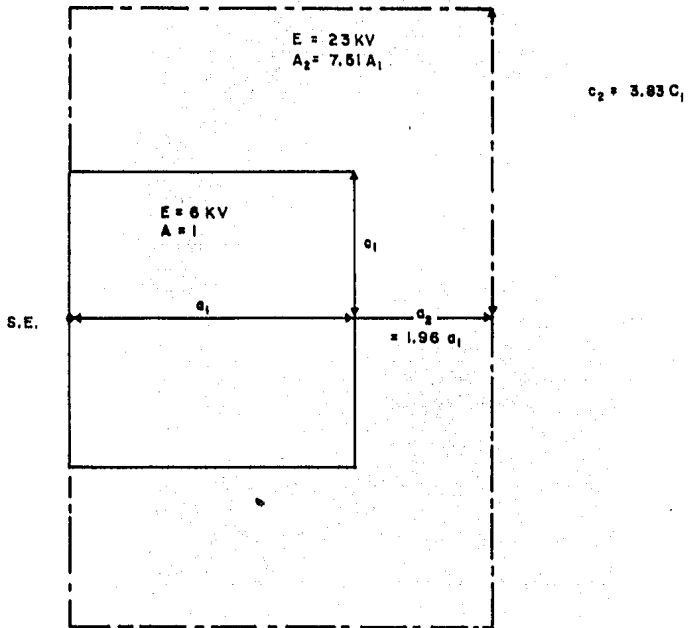
Y con el número de circuitos, de la ecuación (29)

$$\frac{N_2}{N_1} = \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^{1.5} = \left( \frac{6}{23} \right)^{1.5} = 0.13$$

Es decir, en este caso el número de circuitos necesarios se reduce considerablemente al aumentar el voltaje a 23 kV.

Los resultados obtenidos se representan gráficamente en la figura 6.

Para analizar el efecto de la variación de la densidad de carga en los parámetros geométricos y la carga, se utilizó el programa OPTIMO. Se anexan los resultados del programa y las gráficas resultantes. ( figuras 7, 8 y 9 ).



EXPANSION DEL AREA SERVIDA POR UN ALIMENTADOR  
( LIMITE % AV )

FIGURA 6

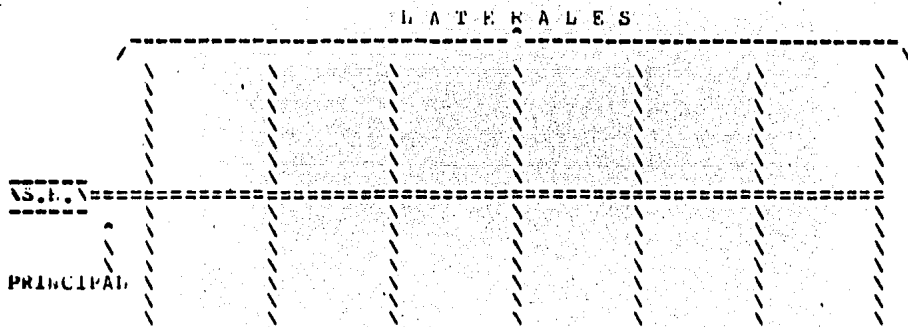


MODELO MATEMATICO PARA LA OPTIMIZACION DE LA  
PLANEACION Y EXPANSION DE UNA AREA DE CARGA  
DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

ESTE PROGRAMA SE DISEÑO COMO UN AUXILIAR EN LA PLANEACION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION, EN EL CUAL SE TIENE UN AREA DE CARGA DEL ALIMENTADOR DE FORMA RECTANGULAR, CON UNA DENSIDAD DE CARGA UNIFORME, ALIMENTADA POR UN SISTEMA TRIFASICO, 4 HILOS. EL AREA DE CARGA ESTA CUBIERTA POR UN ALIMENTADOR PRINCIPAL TRIFASICO Y ALGUNOS LATERALES MONOFASICOS (O TRIFASICOS) ESPACIADOS UNIFORMEMENTE A CADA LADO DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL, TAL COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA, POSTERIORMENTE.

EL PROGRAMA CALCULA LOS PARAMETROS GEOMETRICOS Y ELECTRICOS MAS IMPORTANTES, ASI COMO TAMBIEN NOS PERMITE ANALIZAR EN UNA TABLA, LAS VARIACIONES DE ESTOS PARAMETROS PARA DIFERENTES VALORES DE DENSIDAD DE CARGA; Y NOS PERMITE VISUALIZAR LOS EFECTOS DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LOS PARAMETROS DEL SISTEMA.

\* \* \* F I G U R A \* \* \*



LAS OPCIONES DE CALCULO DE ESTE PROGRAMA, SON :

- 1.- ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE; MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA.
- 2.- ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE; MINIMA CAIDA DE VOLTAJE.
- 3.- ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE; LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE.
- 4.- ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE; LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE.
- 5.- ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE; PARA UNA RELACION CONSTANTE DEL PRINCIPAL AL LATERAL.
- 6.- ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE; PARA UNA RELACION CONSTANTE DEL PRINCIPAL AL LATERAL.
- 7.- DENSIDADES DE CARGA PARA SIMULTANEIDAD DE LIMITACIONES.
- 8.- N I N G U N A .

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

1

ESTA ES LA RUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE, BAJO LA CONDICION DE MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA.

LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:

EL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE DEL ALIM.PRIMARIO ES 3  
LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ES .10  
LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES .19  
LA RESIST. DE LOS CONDUCTORES DEL LATERAL EN OHMS/KM ES .7  
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES .43  
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES .80  
EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES 6

LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2 ES 1000  
DEPENDIENDO DEL TIPO DE LATERAL, SELECCIONE UN VALOR  
0.30 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE TODA  
LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.  
0.21 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE EL 40%  
DE LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.  
0.10 PARA LATERALES DE FASE A FASE.  
0.05 PARA LATERALES TRIFASICOS.

EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES .05

\* \* \* PARAMETROS DEL SISTEMA \* \* \*

LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	.855594	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	2.28748	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.374034	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	3.91431	KM2
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	3914.31	KVA
PERDIDAS IZR EN EL ALIM. PRINCIPAL.	23065.3	W
PERDIDAS IZR EN LOS ALIM. LATERALES.	21245.8	W
PERDIDAS EN P/D DEL ALIM. PRINCIPAL.	.589256E-02	--
PERDIDAS EN P/D EN LOS ALIM. LATERALES.	.542773E-02	--

EN ESTA PARTE DE LA RUTINA, SE CALCULA UNA TABLA EN LA QUE APARECEN LAS VARIACIONES DE LOS PARAMETROS, PARA DIFERENTES VALORES DE DENSIDAD DE CARGA.

\* \* \* PARA UN VOLTAJE DE SISTEMA DE 6 KV \* \* \*

DENS. CARGA KVA/KM <sup>2</sup>	ALIM. PRINC. KM.	ALIM. LAL. KM.	REN. DEL PRINC. AL LAL.	AREA DE CARGA KM <sup>2</sup> .	CARGA SIST. KVA.	PERDS. PRINC. %	PERDS. LAL. %
1000	0.856	2.287	0.374	3.91	3914.3	23065	21240
2000	0.719	1.617	0.445	2.33	4654.9	27429	25208
3000	0.650	1.321	0.492	1.72	5151.5	30350	27961
4000	0.605	1.144	0.529	1.38	5535.7	32619	30040
5000	0.572	1.023	0.559	1.17	5853.3	34491	31770
6000	0.547	0.934	0.585	1.02	6126.2	36099	33251
7000	0.526	0.865	0.608	0.91	6366.9	37517	34556
8000	0.509	0.809	0.629	0.82	6583.1	38791	35731
9000	0.494	0.762	0.648	0.75	6779.8	39950	36799
10000	0.481	0.723	0.665	0.70	6960.7	41017	37781

SECUENCIA DE ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL AUMENTO DE  
VOLTAGE EN LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA.

PARA UNA DENSIDAD DE CARGA DE 1000 KVA/KM2

VOLTAGE DEL SISTEMA.	6	23	KV
ALIMENTADOR PRINCIPAL.	.855594	1.67516	KM
ALIMENTADOR LATERAL.	2.28748	6.76867	KM
RED. DEL PRINC. AL LAT.	.374034	.191039	-4-
AREA DE CARGA CUBIERTA.	1.91431	29.3776	KM2
CARGA DEL SISTEMA.	3914.31	29377.6	KVA
PERDIDAS TOTALES.	44311.1	332566	W

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

1

ESTA ES LA ROTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN -  
ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE, BAJO LA  
CONDICION DE MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA.

LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:

EL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE DEL ALIM.PRINCIPAL ES	3
LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ES	.10
LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.19
LA RESIST. DE LOS CONDUCTORES DEL LATERAL EN OHMS/KM ES	.7
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.43
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES	.86
EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES	23
LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2 ES	1000
DEPENDIENDO DEL TIPO DE LATERAL, SEDECCIONE UN VALOR	
0.30 PARA LATERALES DE FASE I NEUTRO, ASUMIENDO QUE TODA	
LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0.21 PARA LATERALES DE FASE I NEUTRO, ASUMIENDO QUE EL 40%	
DE LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0.10 PARA LATERALES DE FASE A FASE.	
0.05 PARA LATERALES TRIFASICOS.	
EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES	.05



\* \* \* PARAMÉTROS DEL SISTEMA \* \* \*

LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	1.67516	MM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	8.76867	MM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.191039	--
AREA DE CARGA COBIERTA.	29.3776	MM <sup>2</sup>
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	29377.6	KVA
PERDIDAS IZK EN EL ALIM. PRINCIPAL.	173111	W
PERDIDAS IZK EN LOS ALIM. LATERALES.	159455	W
PERDIDAS EN P/0 DEL ALIM. PRINCIPAL.	.589256E-02	--
PERDIDAS EN P/0 EN LOS ALIM. LATERALES.	.542774E-02	--

EN ESTA PARTE DE LA RUTINA, SE CALCULA UNA TABLA EN LA QUE APARECEN LAS VARIACIONES DE LOS PARAMETROS, PARA DIFERENTES VALORES DE DENSIDAD DE CARGA.

\* \* \* PARA UN VOLTAJE DE SISTEMA DE 23 KV \* \* \*

DENS. CARGA KVA/KM2	ALIM. PRINC. KM.	ALIM. LAT. KM.	REL. DEL PRINC. AL LAT.	AREA DE CARGA KM2.	CARGA SIST. KVA	PERDS. PRINC. %	PERDS. LAT. %
1000	1.075	0.769	0.191	29.38	29377.8	173111	159455
2000	1.409	0.200	0.227	17.47	34936.3	205865	189625
3000	1.273	5.063	0.251	12.89	38663.4	227827	209855
4000	1.185	4.384	0.270	10.39	41546.5	244815	225503
5000	1.120	3.921	0.286	8.79	43430.1	258861	238441
6000	1.070	3.580	0.299	7.66	45978.8	270933	249561
7000	1.030	3.314	0.311	6.83	47785.3	281578	259366
8000	0.996	3.100	0.321	6.16	49407.4	291136	268170
9000	0.967	2.923	0.331	5.65	50865.9	299837	276184
10000	0.942	2.773	0.340	5.22	52242.0	307839	283556

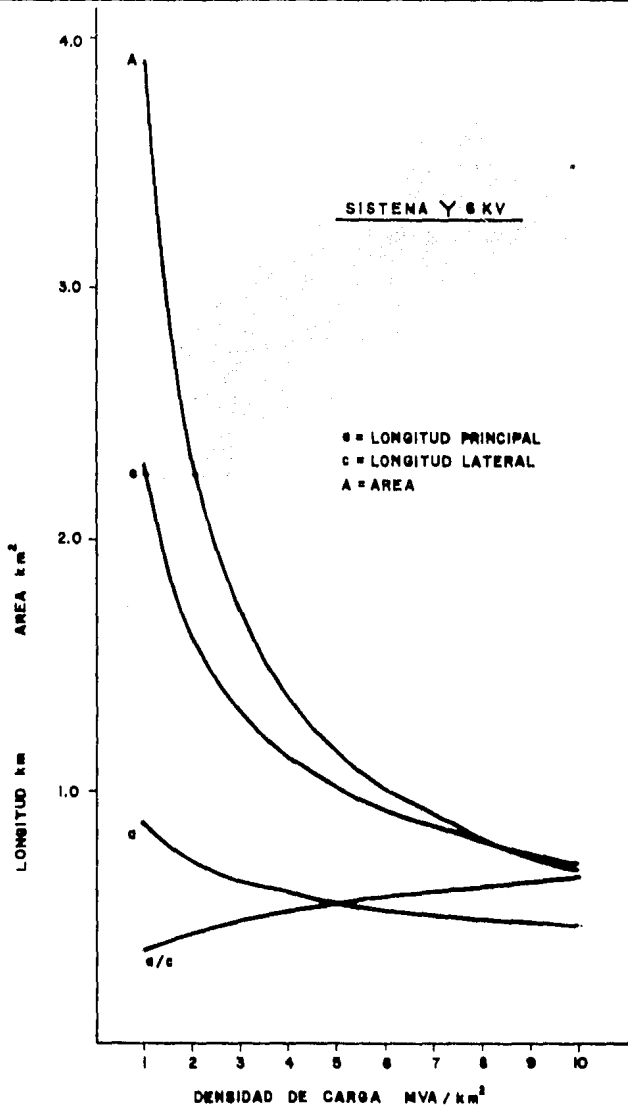


FIGURA 7

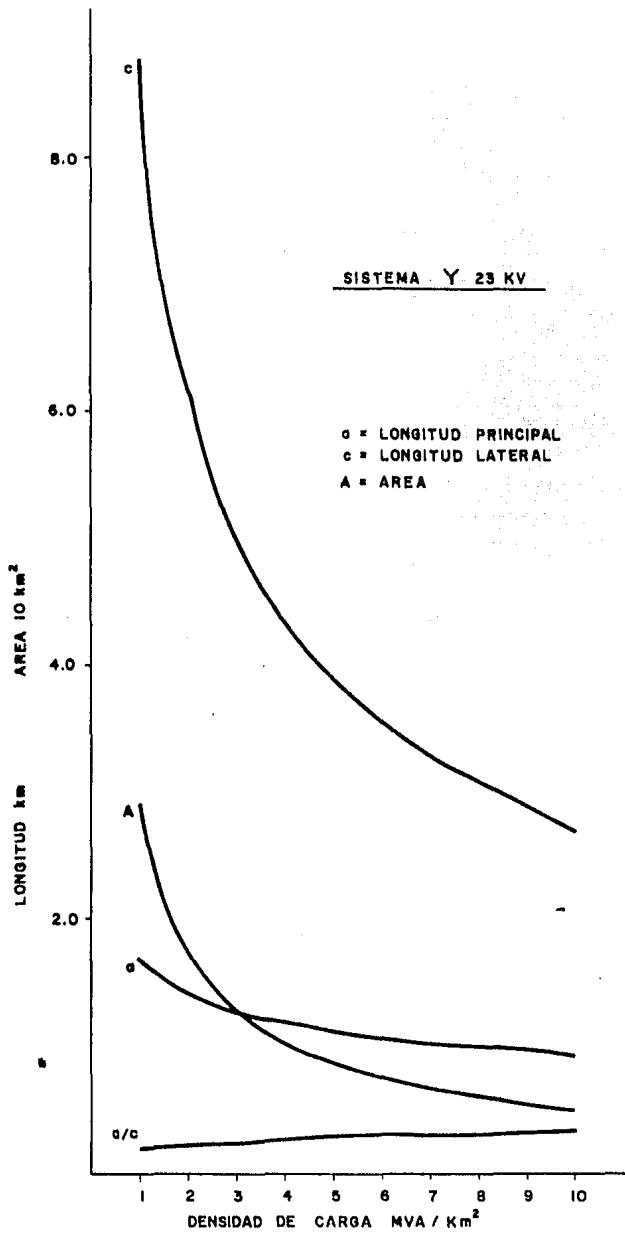


FIGURA 8

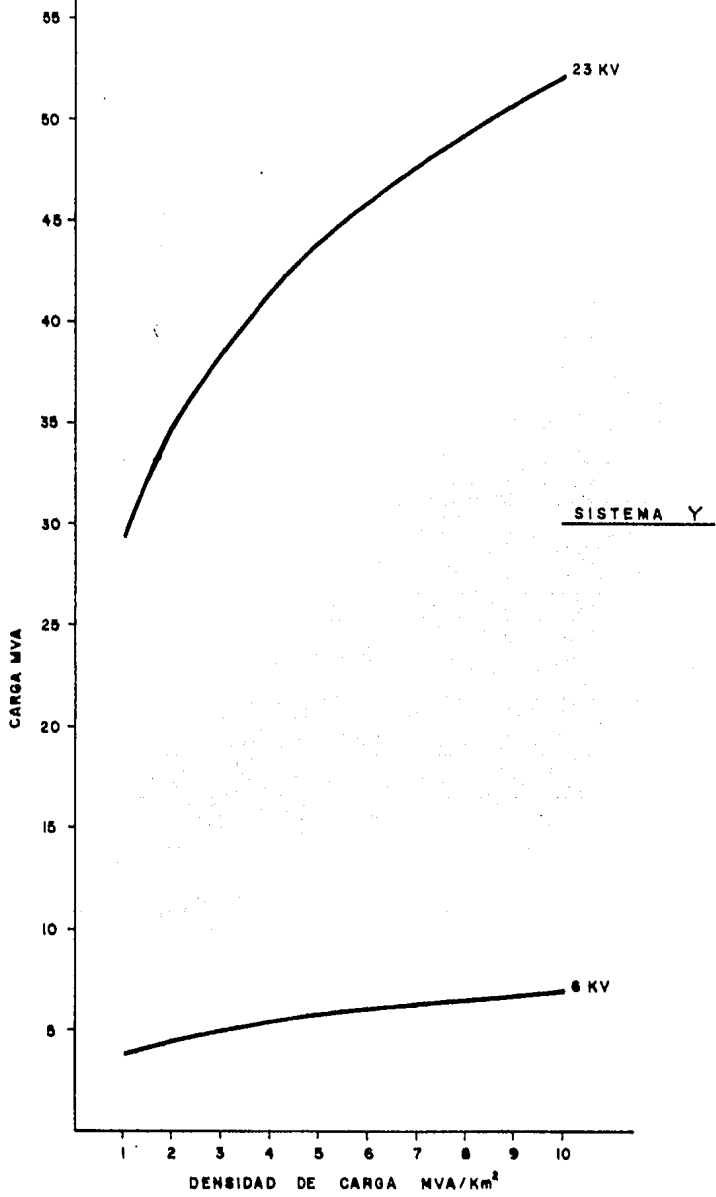


FIGURA 9

EJEMPLO 2.- Cuantifique los efectos que se presentan en los parámetros del sistema, cuando se utilizan diferentes calibres de conductores, para un alimentador limitado por caída de voltaje bajo la condición de máxima área de carga cubierta, con las siguientes características:

$$E = 23 \text{ kV} ; D = 2000 \text{ kVA/km}^2 ; e = 3 \% ; K_3 = 0.3 ; d = 0.16 \text{ km}$$

Los datos de los conductores se muestran en la tabla siguiente:

CALIBRE DE CONDUCTORES	$R_1$	$R_2$	$Z_1$	$Z_2$	CORRIENTE NOMINAL	
	$\Omega/\text{km}$	$\Omega/\text{km}$	$\Omega/\text{km}$	$\Omega/\text{km}$	EN AMP.	
ALD 556 - ACSR 1/0	0.11	0.70	0.39	0.86	580	220
ALD 556 - ACSR 2	0.11	1.05	0.39	1.16	580	160
ALD 336 - ACSR 1/0	0.19	0.70	0.43	0.86	470	220
ACSR 336 - ACSR 1/0	0.19	0.70	0.42	0.86	470	220
ALD 336 - ACSR 2	0.19	1.05	0.43	1.16	470	160
ACSR 4/0 - ACSR 2	0.37	1.05	0.59	1.16	330	160

SOLUCION

Se utilizó el programa OPTIMO, y se obtuvieron los siguientes resultados que se integraron en la tabla anexa.

TABLA DE RESULTADOS

CALIBRE DE CONDUCTORES	a km	c km	a/c	A km <sup>2</sup>	W kVA	PERDIDAS EN P.U.
ALD 556 - ACSR 1/0	2.31	2.53	0.91	11.72	23439	0.0092
ALD 556 - ACSR 2	2.49	2.18	1.14	10.87	21750	0.0098
ALD 336 - ACSR 1/0	2.20	2.53	0.87	11.16	22322	0.0113
ACSR 336 - ACSR 1/0	2.23	2.53	0.86	11.29	22587	0.0125
ALD 336 - ACSR 2	2.38	2.18	1.09	10.36	20713	0.0119
ACSR 4/0 - ACSR 2	2.03	2.18	0.93	8.84	17683	0.0144

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

1

ESTA ES LA ROTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN ALIMENTADOR DIRIGIDO POR CAIDA DE VOLTAJE, BAJO LA CONDICION DE MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA.

LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:

EL PORCENTAJE DE CAIDA DE VOLTAJE DEL ALIM.PRIMARIO ES	3
LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ES	.16
LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.11
LA RESIST. DE LOS CONDUCTORES DEL LATERAL EN OHM/KM ES	.7
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.39
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES	.86
EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES	23
LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2 ES	2000
DEPENDIENDO DEL TIPO DE LATERAL, SELECCIONE UN VALOR	
0.30 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE TODA LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0,21 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE EL 40% DE LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0.10 PARA LATERALES DE FASE A FASE.	
0.05 PARA LATERALES TRIFASICOS.	
EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES	.3



\* \* \* PARAMETROS DEL SISTEMA \* \* \*

LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	2.31493	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	2.5313	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.914524	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	11.7196	KM2
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	23439.1	KVA
PERDIDAS 12R EN EL ALIM. PRINCIPAL.	88163.5	W
PERDIDAS 12R EN LOS ALIM. LATERALES.	127221	W
PERDIDAS EN P/0 DEL ALIM. PRINCIPAL.	.376136E-02	--
PERDIDAS EN P/0 EN LOS ALIM. LATERALES.	.542774E-02	--

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

1

ESTA ES LA ROTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE, BAJO LA CONDICION DE MAXIMA AREA DE CARGA COBIERTA.

LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:

EL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE DEL ALIM.PRIMARIO ES	3
LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ES	.16
LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.11
LA RESIST. DE LOS CONDUCTORES DEL LATERAL EN OHMS/KM ES	1.05
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.39
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES	1.16
EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES	23
LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2 ES	2000
DEPENDIENDO DEL TIPO DE LATERAL, SELECCIONE UN VALOR	
0.30 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE TODA LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0.21 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE EL 40% DE LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0.10 PARA LATERALES DE FASE A FASE.	
0.05 PARA LATERALES TRIFASICOS.	
EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES	.3

/

\* \* \* PARAMETROS DEL SISTEMA \* \* \*

LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	2.49476	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	2.17953	KM
REDUCCION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	1.14463	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	10.8748	KM2
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	21749.6	KVA
PERDIDAS 12K EN EL ALIM. PRINCIPAL.	81808.6	W
PERDIDAS 12K EN LOS ALIM. LATERALES.	131281	W
PERDIDAS EN P/U DEL ALIM. PRINCIPAL.	.376138E-02	--
PERDIDAS EN P/U EN LOS ALIM. LATERALES.	.603602E-02	--

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

1

ESTA ES LA ROTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAGE, BAJO LA CONDICION DE MAXIMA AREA DE CARGA COBERTA.

LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:

EL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAGE DEL ALIM. PRIMARIO ES	3
LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ES	.16
LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.19
LA RESIST. DE LOS CONDUCTORES DEL LATERAL EN OHM/KM ES	.7
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.43
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES	.86
EL VOLTAGE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES	23
LA DENSIDAD DE CARGA EN KV/KM2 ES	2000
DEPENDIENDO DEL TIPO DE LATERAL, SELECCIONE UN VALOR	
0.30 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE TODA LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0.21 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE EL 40% DE LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0.10 PARA LATERALES DE FASE A FASE.	
0.05 PARA LATERALES TRIFASICOS.	
EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES	.3

/

\* \* \* PARAMETROS DEL SISTEMA \* \* \*

LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	2.20463	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	2.5313	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.87095	--
AREA DE CARGA COBIERTA.	11.1612	KM2
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	22322.3	KVA
PERDIDAS 12K EN EL ALIM. PRINCIPAL.	131536	W
PERDIDAS 12K EN LOS ALIM. LATERALES.	121160	W
PERDIDAS EN P/U DEL ALIM. PRINCIPAL.	.589257E-02	--
PERDIDAS EN P/U EN LOS ALIM. LATERALES.	.542774E-02	--

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

1

ESTA ES LA RUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE, BAJO LA CONDICION DE MISMA AREA DE CARGA CUBIERTA.

LOS FACTOR PARA EL CALCULO SON:

EL PORCENTAJE DE CAIDA DE VOLTAJE DEL ALIM. PRIMARIO ES	3
LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ES	.16
LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.19
LA RESIST. DE LOS CONDUCTORES DEL LATERAL EN OHMS/KM ES	.7
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.42
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES	.86
EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES	23

LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2 ES 2000  
DEPENDIENDO DEL TIPO DE LATERAL, SELECCIONE UN VALOR  
0.30 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE TODA  
LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.  
0,21 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE EL 40%  
DE LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.  
0.10 PARA LATERALES DE FASE A FASE.  
0.05 PARA LATERALES TRIFASICOS.

EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES .3

\* \* \* PARAMETROS DEL SISTEMA \* \* \*

LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	2.23072	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	2.5313	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.881258	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	11.2932	KM2
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	22586.5	KVA
PERDIDAS 12R EN EL ALIM. PRINCIPAL.	138261	W
PERDIDAS 12R EN LOS ALIM. LATERALES.	122594	W
PERDIDAS EN P/0 DEL ALIM. PRINCIPAL.	.60328/E-02	--
PERDIDAS EN P/0 EN LOS ALIM. LATERALES.	.542774E-02	--

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

1

ESTA ES LA RUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN ALIMENTADOR DISTIBUO POR CAIDA DE VOLTAGE, BAJO LA CONDICION DE MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA.

LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:

EL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAGE DEL ALIM.PRIMARIO ES	3
LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ES	.10
LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.19
LA RESIST. DE LOS CONDUCTORES DEL LATERAL EN OHMS/KM ES	1.05
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.43
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES	1.10
EL VOLTAGE DE ADAPTACION ENTRE FASES EN KV ES	23
LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2 ES	2000
DEPENDIENDO DEL TIPO DE LATERAL, SELECCIONE UN VALOR	
0.30 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE TODA LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0,21 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE EL 40% DE LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0.10 PARA LATERALES DE FASE A FASE.	
0.05 PARA LATERALES TRIFASICOS.	
EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES	.3



\* \* \* PARAMETROS DEL SISTEMA \* \* \*

LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	2.37589	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	2.17953	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	1.09009	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	10.3567	KM2
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	20713.3	KVA
PERDIDAS 12K EN EL ALIM. PRINCIPAL.	122055	W
PERDIDAS 12K EN LOS ALIM. LATERALES.	125026	W
PERDIDAS EN P/U DEL ALIM. PRINCIPAL.	.589250E-02	--
PERDIDAS EN P/U EN LOS ALIM. LATERALES.	.603002E-02	--

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

1

ESTA ES LA RUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE, BAJO LA CONDICION DE MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA.

LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:

EL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE DEL ALIM.PRIMARIO ES 3  
LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ES .16  
LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES .37  
LA RESIST. DE LOS CONDUCTORES DEL LATERAL EN OHM/KM ES 1.05  
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES .59  
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES 1.16  
EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES 23

LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM<sup>2</sup> ES 2000  
DEPENDIENDO DEL TIPO DE LATERAL, SELECCIONE UN VALOR  
0.30 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE TODA  
LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.  
0.21 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE EL 40%  
DE LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.  
0.10 PARA LATERALES DE FASE A FASE.  
0.05 PARA LATERALES TRIFASICOS.

EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES .3

/

\* \* \* PARAMETROS DEL SISTEMA \* \* \*

LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	2.02631	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	2.17953	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.930616	-*-
AREA DE CARGA CUBIERTA.	8.84153	KM2
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	17683.1	KVA
PERDIDAS 12R EN EL ALIM. PRINCIPAL.	147886	W
PERDIDAS 12R EN LOS ALIM. LATERALES.	106735	W
PERDIDAS EN P/0 DEL ALIM. PRINCIPAL.	.836313E-02	-*-
PERDIDAS EN P/0 EN LOS ALIM. LATERALES.	.603602E-02	-*-

EJEMPLO 3.- Se desea diseñar un alimentador primario de distribución, con las siguientes características:

El área que se alimentará tendrá una forma rectangular, similar a la que se muestra en la figura 3 ; en donde la distancia entre laterales (  $d$  ) es de 0.16 km. El voltaje nominal del sistema será de 23 kV ; el sistema es 3  $\phi$ , 4 hilos con neutro multiterrizado, el área de carga está cubierta por un alimentador trifásico y laterales monofásicos espaciados uniformemente ( considere que toda la corriente regresa a través del conductor neutro ), siendo los calibres utilizados:

	CALIBRE CABLE	SECCION mm <sup>2</sup>	R $\Omega$ /km	Z $\Omega$ /km	I Amp.
ALIMENTADOR PRINCIPAL	ALD 336	198.30	0.19	0.43	470
ALIMENTADOR LATERAL	ACSR 1/0	62.39	0.70	0.86	220

### CUESTIONARIO

A.- Para un alimentador limitado por caída de voltaje, bajo la condición de máxima área de carga cubierta, una densidad de carga (  $D$  ) de 1000 kVA/km<sup>2</sup> y un 3 % de caída de voltaje total, determine lo siguiente:

1 ) Los parámetros geométricos del sistema (  $a$ ,  $c$ ,  $a/c$  y  $A$  ), la carga (  $W$  ) y las pérdidas  $I^2R$  en el alimentador principal y en todos los alimentadores laterales. Calcule también los parámetros geométricos pa-

ra el circuito conectado en delta.

2 ) Si varía la densidad de carga de 200 a 3000 kVA/km<sup>2</sup>, tabule los parámetros del sistema y las pérdidas  $I^2R$  con respecto a la densidad de carga, en intervalos de 200 kVA/km<sup>2</sup>.

3 ) Analice los efectos que en los diferentes parámetros del sistema y en las pérdidas, se obtienen al pasar de un voltaje nominal de 23 kV a 34.5 kV. Considere  $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $d$  iguales para ambos niveles de voltaje.

B.- Para un alimentador limitado térmicamente, bajo la condición de mínima caída de voltaje, una densidad de carga ( $D_T$ ) de 1000 kVA/km<sup>2</sup> y una corriente máxima ( $I_T$ ) de 470 A en el alimentador principal, determine:

1 ) Los parámetros geométricos del sistema ( $a$ ,  $c$ ,  $a/c$  y  $A$ ), el porcentaje de caída de voltaje ( $e$ ) y las pérdidas  $I^2R$  en el alimentador principal y en todos los alimentadores laterales. Calcule también los parámetros geométricos para el circuito conectado en delta.

2 ) Si varía la densidad de carga de 200 a 3000 kVA/km<sup>2</sup>, tabule los parámetros del sistema y las pérdidas  $I^2R$  con respecto a la densidad de carga, en intervalos de 200 kVA/km<sup>2</sup>.

3 ) Analice los efectos que se obtienen en los diferentes parámetros del sistema y en las pérdidas  $I^2R$  al pasar de un voltaje nominal de

23 kV a 34.5 kV. Considere  $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $d$  iguales para ambos niveles de voltaje.

C.- Para el caso de ocurrencia simultánea de limitaciones, determine:

- 1 ) La densidad de carga simultánea ( $D_S$ ).
- 2 ) Si varía el porciento de caída de voltaje ( $e$ ) de 1 a 10 %, tabule la densidad de carga simultánea ( $D_S$ ) con respecto al porciento de caída de voltaje, en intervalos de 1 %.
- 3 ) Si varía la corriente ( $I_T$ ) de 250 a 650 A, tabule la densidad de carga simultánea ( $D_S$ ) con respecto a la corriente en intervalos de 50 A.
- 4 ) Analice los efectos que se obtienen en la densidad de carga simultánea ( $D_S$ ), al pasar de un voltaje nominal de 23 kV a 34.5 kV. Considere  $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $d$  iguales para ambos niveles de voltaje.

#### SOLUCION

Los resultados para este ejemplo, se obtuvieron al correr el programa OPTIMO. Se adjunta la salida del programa y las gráficas de los resultados más significativos. ( figuras 10,11,12 y 13 )

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

1

ESTA ES LA ROTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE, BAJO LA CONDICION DE MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA.

LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:

EL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE DEL ALIM.PRIMARIO ES	3
LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN MM. ES	.16
LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.19
LA RESIST. DE LOS CONDUCTORES DEL LATERAL EN OHMS/MM ES	.7
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.43
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES	.86
EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES	23
LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/NEZ ES	1000
DEPENDIENDO DEL TIPO DE LATERAL, SELECCIONE UN VALOR	
0.30 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE TODA LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0.21 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE EL 40% DE LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0.10 PARA LATERALES DE FASE A FASE.	
0.05 PARA LATERALES TRIFASICOS.	
EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES	.3

/

\* \* \* PARAMETROS DEL SISTEMA \* \* \*

LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	2.62177	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	3.57979	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.732379	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	18.7708	KM2
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	18770.8	KVA
PERDIDAS 12R EN EL ALIM. PRINCIPAL.	110608	W
PERDIDAS 12R EN LOS ALIM. LATERALES.	101883	W
PERDIDAS EN P/D DEL ALIM. PRINCIPAL.	.589256E-02	--
PERDIDAS EN P/D EN LOS ALIM. LATERALES.	.542774E-02	--

LOS VALORES PARA EL CIRCUITO DELTA, SON :

LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	1.99254	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	6.20036	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.321514	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	24.7023	KM2



EN ESTA PARTE DE LA RUTINA, SE CALCULA UNA TABLA EN  
 QUE APARECEN LAS VARIACIONES DE LOS PARÁMETROS, POR  
 DIFERENTES VALORES DE DENSIDAD DE CARGA.

\* \* \* PARA UN VOLTAGE DE SISTEMA DE 23 KV \* \* \*

DENS. CARGA KVA/KM <sup>2</sup>	ALIM. PRINC. KM.	ALIM. LAT. KM.	REL. DEL PRINC. AL LAT.	AREA DE CARGA KM <sup>2</sup> .	CARGA SIST. KVA.	PERDS. PRINC. W.	PERDS. LAT. W.
200	3.420	3.005	0.490	62.76	12552.8	73968	68133
400	3.297	5.000	0.582	31.32	14927.8	87963	81024
600	2.979	3.621	0.645	27.53	16520.4	97347	89668
800	2.777	4.002	0.693	22.14	17752.3	104607	96355
1000	2.622	3.560	0.732	18.77	18770.8	110608	101883
1200	2.505	3.266	0.767	16.37	19646.1	115760	106634
1400	2.410	3.025	0.797	14.58	20418.0	120315	110824
1600	2.331	2.830	0.824	13.14	21111.1	124349	114560
1800	2.263	2.666	0.848	12.06	21747.0	128116	118010
2000	2.205	2.531	0.871	11.16	22327.3	131536	121160
2200	2.153	2.413	0.892	10.39	22860.6	134708	124081
2400	2.106	2.311	0.912	9.73	23363.3	137670	126810
2600	2.065	2.220	0.930	9.17	23835.5	140453	129373
2800	2.027	2.139	0.947	8.67	24281.3	143079	131792
3000	1.992	2.067	0.964	8.23	24703.7	145568	134085

SECUENCIA DE ANALISIS DE LOS EFECTOS DEL AUMENTO DE  
VOLTAGE EN LOS PARAMETROS DEL SISTEMA.

PARA UNA DENSIDAD DE CARGA DE 1000 KVA/KM2

VOLTAGE DEL SISTEMA.	23	34.5	KV
ALIMENTADOR PRINCIPAL.	2.62177	3.21099	KM
ALIMENTADOR LATERAL.	3.57979	5.36969	KM
REL. DEL PRINC. AL LAL.	.732379	.597985	-4-
AREA DE CARGA CUBIERTA.	18.7708	34.4841	KM2
CARGA DEL SISTEMA.	18770.8	34484.1	KVA
PERDIDAS TOTALES.	212491	390370	W

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

2

ESTA ES LA ROTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN ALIMENTADOR DEFINIDO TERMINICAMENTE, BAJO LA CONDICION DE MÍNIMO PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE.

LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:

LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP. ES	470
LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ES	.10
LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.19
LA RESIST. DE LOS CONDUCTORES DEL LATERAL EN OHM/KM ES	.7
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.43
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES	.80
EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES	23
LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2 ES	1000
DEPENDIENDO DEL TIPO DE LATERAL, SELECCIONE UN VALOR	
0.30 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE TODA LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0.71 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE EL 40% DE LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.	
0.10 PARA LATERALES DE FASE A FASE.	
0.05 PARA LATERALES TRIFASICOS.	
EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES	.3

\* \* \* PARAMETROS DEL SISTEMA \* \* \*

% DE REGULACION DEL ALIM. PRIMARIO	3.02128	%
LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	2.01895	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	3.56441	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.734749	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	18.7235	KM <sup>2</sup>
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	18723.5	KVA
PERDIDAS IZR EN EL ALIM. PRINCIPAL.	109949	W
PERDIDAS IZR EN LOS ALIM. LATERALES.	101045	W
PERDIDAS EN P/0 DEL ALIM. PRINCIPAL.	.567224E-02	--
PERDIDAS EN P/0 EN LOS ALIM. LATERALES.	.53967E-02	--

LOS VALORES PARA EL CIRCUITO DELTA, SON :

LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	1.9904	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	6.17574	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.322555	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	24.6401	KM <sup>2</sup>

EN ESTA PARTE DE LA RUTINA, SE CALCULA UNA TABLA EN LA QUE APARECEN LAS VARIACIONES DE LOS PARAMETROS, PARA DIFERENTES VALORES DE DENSIDAD DE CARGA.

\* \* \* PARA UN VOLTAJE DEL SISTEMA DE 23 KV \* \* \*

DEMS. CARGA KVA/KM2	ALIM. PRINC. K.V.	ALIM. LAT. K.V.	REL. DEL PRIM. AL LAT.	AREA DE CARGA KM2	REGULA- CIÓN %	PERDS. PRINC. W	PERDS. LAT. W
200	4.476	10.411	0.440	93.62	5.164	187909	172692
400	3.553	6.562	0.542	46.61	4.099	149170	137097
600	3.105	5.009	0.620	31.21	3.582	116336	119782
800	2.821	4.136	0.667	23.40	3.254	118430	108039
1000	2.614	3.564	0.735	18.72	3.021	109949	101045
1200	2.465	3.157	0.761	15.60	2.843	103472	95093
1400	2.341	2.839	0.822	13.37	2.701	96294	90335
1600	2.240	2.605	0.859	11.70	2.584	94020	86406
1800	2.153	2.416	0.894	10.40	2.484	90403	83082
2000	2.079	2.240	0.926	9.36	2.399	87280	80218
2200	2.014	2.108	0.955	8.51	2.324	84560	77712
2400	1.957	1.940	0.963	7.80	2.257	82145	75493
2600	1.905	1.836	1.010	7.20	2.198	79984	73507
2800	1.858	1.795	1.035	6.69	2.144	78034	71715
3000	1.817	1.715	1.059	6.24	2.096	76262	70060

SECUENCIA DE ANALISIS DE LOS EFECTOS DEL AUMENTO DE  
VOLTAGE EN LOS PARAMETROS DEL SISTEMA.

PARA UNA DENSIDAD DE CARGA DE 1000 KVA/KM2

VOLTAGE DEL SISTEMA	23	34.5	KV
% DE REGULACION	3.02128	2.30629	%
ADJUSTADOR PRINCIPAL.	2.01895	2.99754	KM
ADJUSTADOR LATERAL.	3.56441	4.06944	KM
REL. DEL PRINC. AL LAT.	.734749	.041949	-+-
AREA DE CARGA CORRIENTE.	18.7235	28.0652	KM2
CARGA DEL SISTEMA.	18723.5	28085.2	KVA
PERDIDAS TOTALES.	210994	241495	W

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

7

ESTA ES LA RUTINA DONDE SE REALIZAN LOS CALCULOS PARA DENSIDADES DE CARGA DE OCURRENCIA SIMULTANEA DE LIMITACIONES (CON CAIDA DE VOLTAGE Y TERMICA), PARA LAS DIFERENTES CONDICIONES QUE SE PRESENTAN.

LAS OPCIONES DE CALCULO, SON :

- 1.- DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA PARA LAS CONDICIONES DE MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA Y MINIMO PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAGE.
- 2.- DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA PARA LA CONDICION DE LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE.
- 3.- DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA PARA LA CONDICION DE RELACION DEL PRINCIPAL AL LATERAL CONSTANTE.

LA OPCION DE CALCULO DE DENSIDAD ES: 1

PARA EL CALCULO DE LA DENSIDAD DE CARGA PARA SIMULTANEIDAD DE LIMITACIONES, BAJO LAS CONDICIONES DE MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA Y MINIMO PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE, PROPORCIONE LOS SIGUIENTES DATOS :

EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES	.3
LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ES	.10
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES	.80
EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV. ES	23
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.43
LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP. ES	470
EL PORCIENTO DE REGULACION DEL ALIM. PRIMARIO ES	3

LA DENSIDAD DE CARGA PARA  
SIMULTANEIDAD DE LIMITACIONES ES :

989.803 KVA/KM2



EN ESTA PARTE DE LA RUTINA, SE CALCULA UNA TABLA QUE APARECE, LAS VARIACIONES DE LA DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA PARA DIFERENTES VALORES DEL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE.

\* \* \* PARA UNA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA DE 470 AMP \* \* \*

PORCIENTO DE REGULACION	DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA KVA/KM <sup>2</sup>
1.00	26/26.30
2.00	3340.79
3.00	989.86
4.00	417.60
5.00	213.81
6.00	123.73
7.00	77.92
8.00	52.20
9.00	36.66
10.00	26.73

EN ESTA PARTE DE LA RUTINA, SE CALCULA UNA TABLA EN LA  
CUM APARECEN LAS VARIACIONES DE LA DENSIDAD DE CARGA -  
SIMULTANEA PARA DIFERENTES VALORES DE CORRIENTE TOTAL  
DEL SISTEMA

\* \* \* PARA UNA CAIDA DE VOLTAJE DE 3 % \* \* \*

CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP	DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA KVA/KM2
250.00	79.24
300.00	164.31
350.00	304.41
400.00	519.31
450.00	831.83
500.00	1267.84
550.00	1856.24
600.00	2628.99
650.00	3621.07

SECUENCIA DE ANALISIS DE LOS EFECTOS DEL AUMENTO DE  
VOLTAJE EN LA DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA.

PARA UNA CUBRIENTE TOTAL DEL SISTEMA DE 470 AMP  
Y UNA CAIDA DE VOLTAJE DE 3 %

VOLTAJE DEL SISTEMA	23	34.5	KV
DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA	989.863	439.939	KVA/KM2

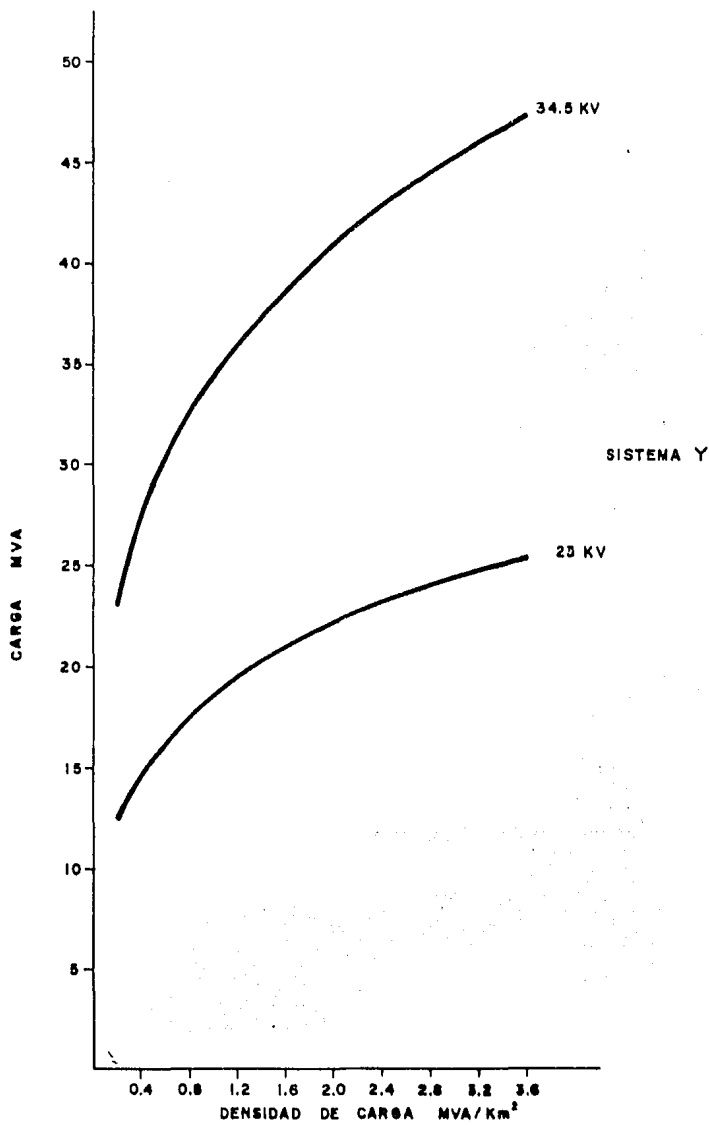
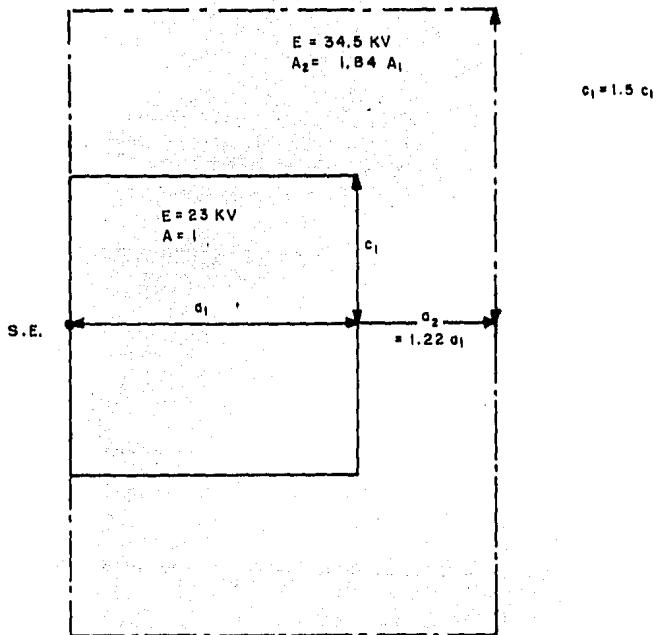
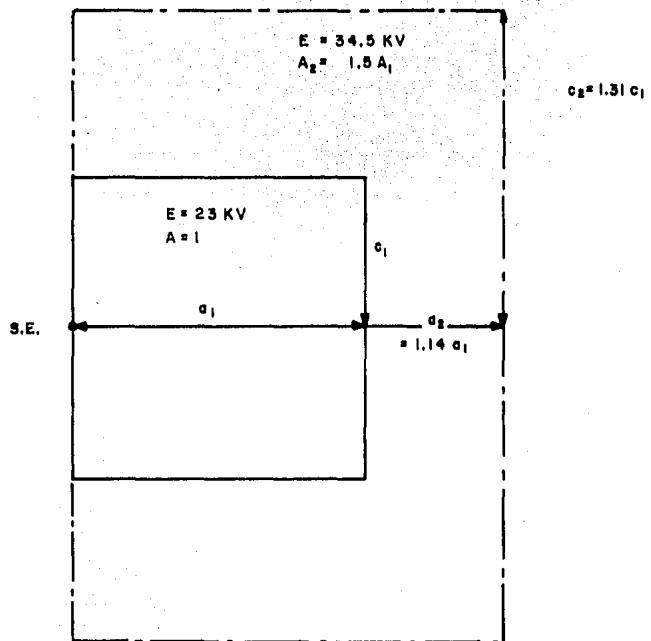


FIGURA 10



EXPANSION DEL AREA SERVIDA POR UN ALIMENTADOR  
 (LIMITE %  $\Delta V$ )

FIGURA 11



EXPANSION DEL AREA SERVIDA POR UN ALIMENTADOR

(LIMITE TECNICO)

FIGURA 12

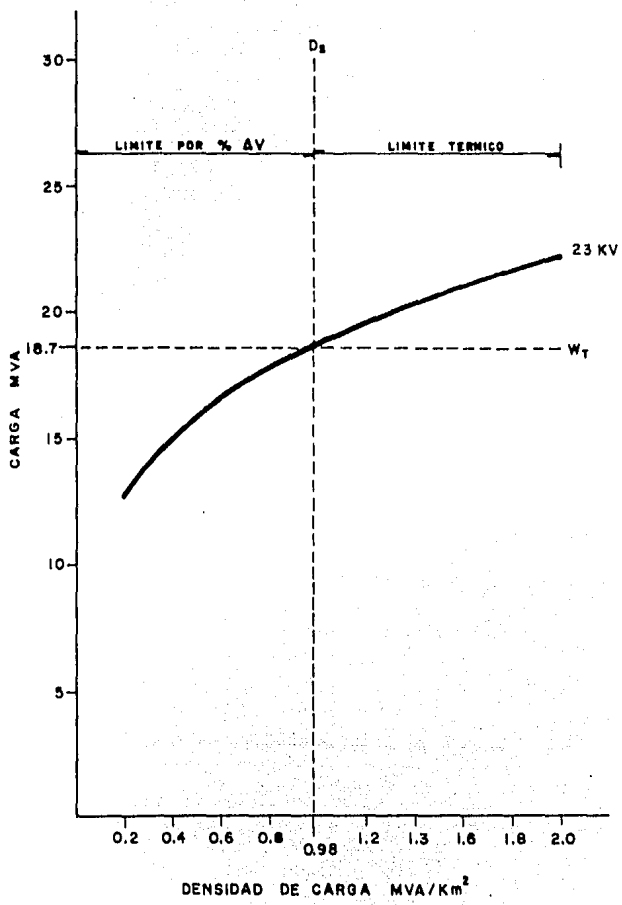


FIGURA 13

EJEMPLO 4.- Si el número de circuitos requeridos para cubrir un área de carga dada, se debe conservar constante por problemas de espacio. Determine hasta que punto se puede aumentar la densidad de carga, si se incrementa el voltaje de 23 kV a 34,5 kV.

SOLUCION

De (17), sabemos que:

$$N \propto \frac{D^{0.75}}{E^{1.5}}, \text{ para dos condiciones se tendrá:}$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^{0.75} \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^{1.5}; \text{ pero } N_1 = N_2, \text{ por lo tanto:}$$

$$D_2 = \left( \frac{D_1^{0.75} E_2^{1.5}}{E_1^{1.5}} \right)^{1.33} = \left( \frac{D_1^{0.75} (34.5)^{1.5}}{23^{1.5}} \right)^{1.33}$$

$$D_2 = \left( D_1^{0.75} (1.84) \right)^{1.33} = 2.25 D_1$$

$$D_2 = 2.25 D_1$$

Es decir, manteniendo constante el número de circuitos, al elevar 1.5 veces el voltaje, la densidad de carga aumenta o puede aumentar en 2.25 veces.



EJEMPLO 5.- Compare los efectos que al pasar de un nivel de voltaje de 23 kV a otro de 34.5 kV se producen en los parámetros geométricos y eléctricos de alimentadores limitados por caída de voltaje y limitados térmicamente, bajo las condiciones siguientes:

- a.1) Máxima área de carga cubierta.
- a.2) Mínimo porcentaje de caída de voltaje.
- b ) Longitud de lateral constante.
- c ) Relación a/c constante.

#### SOLUCION

Para alimentadores limitados por caída de voltaje, se tiene:

- a.1) Máxima área de carga cubierta.

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{34.5}{23} = 1.5 \quad ; \quad c_2 = 1.5 \cdot c_1$$

$$\frac{a_2}{a_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{0.5} = \left( \frac{34.5}{23} \right)^{0.5} = 1.22 \quad ; \quad a_2 = 1.22 a_1$$

$$\frac{a_2/c_2}{a_1/c_1} = \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^{0.5} = \left( \frac{23}{34.5} \right)^{0.5} = 0.82 \quad ; \quad a_2/c_2 = 0.82 a_1/c_1$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{1.5} = \left( \frac{34.5}{23} \right)^{1.5} = 1.84 \quad ; \quad A_2 = 1.84 A_1$$

$$\frac{W_2}{W_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{1.5} = \left( \frac{34.5}{23} \right)^{1.5} = 1.84 \quad ; \quad W_2 = 1.84 W_1$$

b) Longitud de lateral constante.

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1.5 \quad ; \quad a_2 = 1.5 a_1$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1.5 \quad ; \quad A_2 = 1.5 A_1$$

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1.5 \quad ; \quad W_2 = 1.5 W_1$$

c) Relación a/c constante.

$$\frac{a_2}{a_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{0.66} = 1.31 \quad ; \quad a_2 = 1.31 a_1$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{1.33} = 1.71 \quad ; \quad A_2 = 1.71 A_1$$

$$\frac{W_2}{W_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{1.33} = 1.71 \quad ; \quad W_2 = 1.71 W_1$$

Para alimentadores limitados térmicamente, se tiene:

a.2) Mínimo porciento de caída de voltaje.

$$\frac{c_2}{c_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{0.66} = 1.31 ; c_2 = 1.31 c_1$$

$$\frac{a_2}{a_1} = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^{0.33} = 1.14 ; a_2 = 1.14 a_1$$

$$\frac{a_2/c_2}{a_1/c_1} = \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^{0.33} = 0.87 ; a_2/c_2 = 0.87 a_1/c_1$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1.5 ; A_2 = 1.5 A_1$$

$$\frac{e_2}{e_1} = \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^{0.66} = 0.77 ; e_2 = 0.77 e_1$$

b) Longitud de lateral constante.

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1.5 ; a_2 = 1.5 a_1$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1.5 ; A_2 = 1.5 A_1$$

$$\frac{e_2}{e_1} = 1 ; e_2 = e_1$$

c) Relación a/c constante.

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{E_2}{E_1}^{0.5} = 1.22 \quad ; \quad a_2 = 1.22 a_1$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1.5 \quad ; \quad A_2 = 1.5 A_1$$

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{E_1}{E_2}^{0.5} = 0.82 \quad ; \quad e_2 = 0.82 e_1$$

TABLAS COMPARATIVAS

ALIMENTADORES LIMITADOS POR CAIDA DE VOLTAJE		
MAXIMA AREA CUBIERTA	LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE	RELACION a/c CONSTANTE
$a_2 = 1.22 a_1$	$a_2 = 1.5 a_1$	$a_2 = 1.31 a_1$
$A_2 = 1.84 A_1$	$A_2 = 1.5 A_1$	$A_2 = 1.71 A_1$
$w_2 = 1.84 w_1$	$w_2 = 1.5 w_1$	$w_2 = 1.71 w_1$

ALIMENTADORES LIMITADOS TERMICAMENTE		
MINIMO PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE	LONGITUD DE LATERAL CONSTANTE	RELACION a/c CONSTANTE
$a_2 = 1.14 a_1$	$a_2 = 1.5 a_1$	$a_2 = 1.22 a_1$
$A_2 = 1.50 A_1$	$A_2 = 1.5 A_1$	$A_2 = 1.50 A_1$
$e_2 = 0.77 e_1$	$e_2 = e_1$	$e_2 = 0.82 e_1$

## CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Mientras que los resultados de un estudio generalizado, no son siempre directamente aplicables a problemas específicos, sí nos permiten visualizar las relaciones fundamentales entre el porcentaje de caída de voltaje, la densidad de carga, el voltaje del sistema y sus efectos en el tamaño y forma del área servida por el alimentador; asimismo nos sirven para examinar las relaciones entre el voltaje del sistema y las pérdidas  $I^2R$  del conductor en el alimentador primario, y nos proporcionan un mejor entendimiento físico de éstas relaciones.

Los conceptos de máxima área de carga cubierta y de mínimo porcentaje de caída de voltaje son guías muy útiles en la planeación y expansión de sistemas de distribución. Sabemos que rara vez es posible desarrollar un sistema conforme a una idealización o un estudio generalizado, pero tales estudios son útiles como índices y además nos permiten encauzar nuestros esfuerzos para lograr los grandes beneficios de un sistema ideal.

BIBLIOGRAFIA

B I B L I O G R A F I A

- 1.- F.C. Van Wormer, " Some Aspects of Distribution Load Area Geometry " AIEE Transactions, Power Apparatus and Systems, Dec. 1954, p. 1343.
- 2.- N.R. Schultz, " Distribution Primary Feeder I<sup>2</sup>R Losses ", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, No. 2, March / April 1978.
- 3.- Standard Handbook for Electrical Engineers, Donald G. Fink and H. Wayne Beaty. Mac Graw Hill.
- 4.- VAX / VMS Command Language User's Guide - Digital Equipment Corporation.
- 5.- BASIC - PLUS - 2, RSX - 11/IAS User's Guide - D.E.C.
- 6.- Líneas e Instalaciones Eléctricas, Carlos Luca M., R.S.I.
- 7.- Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica, Cía. de Luz y Fuerza del Centro S.A.
- 8.- Apuntes sobre Sistemas de Distribución, Roberto Espinosa L. - UNAM.