



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

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
JULIO CARLOS LUNA CASTILLO

México, D.F.
1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

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

	Págs.
III.3.1.- Alimentadores limitados por caída de voltaje. Condición: máxima área de carga cubierta.	44
III.3.2.- Alimentadores limitados térmicamente. Condición: mínimo porcentaje de caída de voltaje.	56
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

	Pág.
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
----------------------	-----

INTRODUCCION

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

1. 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.

1. 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.

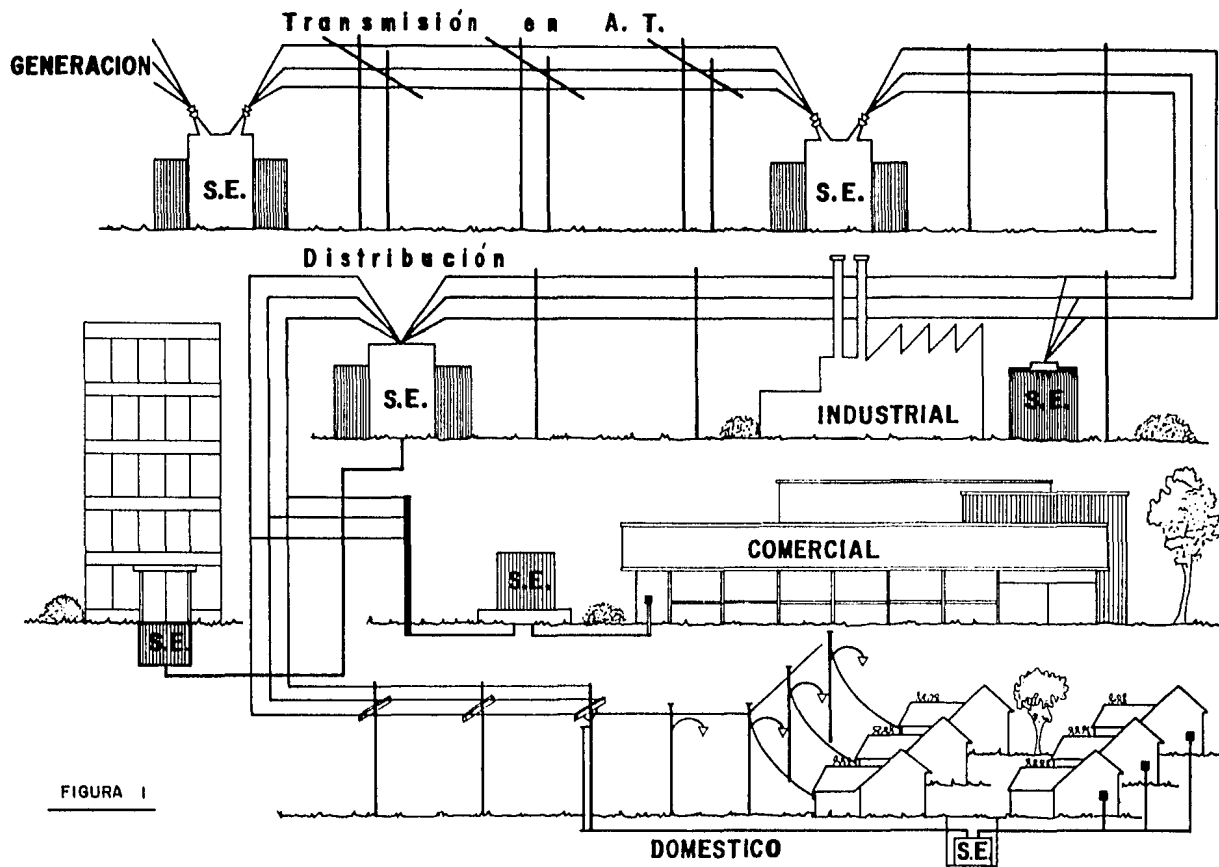


FIGURA 1

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 23 kV, se utiliza el calibre 336.4 NCM de aluminio desnudo, salvo cuando la magnitud excepcionalmente grande de algún servicio obliga al empleo de calibre 556 NCM 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 23 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, eficiencia, 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:

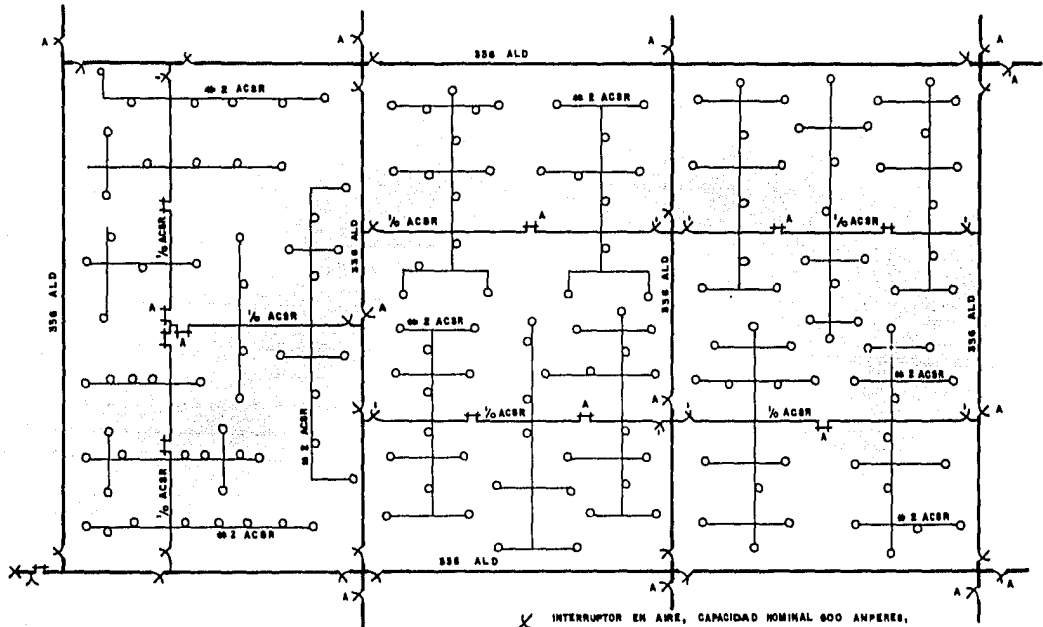
- (a) Carga doméstica.
- (b) Carga de pequeña industria (bombas de agua, molinos, etc.).

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)
- X 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
- O 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 ___ frias; 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 des- nudarlo; etc. Los anormales comprenden: la presión de escaleras apoya- das contra las líneas; la suspensión de personal de las mismas; el es- fuerzo de los huracanes; la presión de arboles o remaje; la tensión de- bida 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 re- sistencia mecánica, crece también el peso. Para líneas aéreas sosteni- das entre apoyos distantes, se ha tomado como base el valor del " cla- ro " para definir cuales son las secciones de metal que cubren la limi- tación mecánica. Con dichos valores se ha formado la tabla que sigue:

TABLA 1.- CALIBRES MÍNIMOS EN MÍLIMETROS CHAMADON 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 normalizada 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 consiguiente queda cubierta la limitación mecánica en los sistemas de distribución primaria.

II. 2.- LIMITACION TERMICA.

Se expresa diciendo que todo conductor debe alcanzar, en operación normal, 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 por ciento, 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 está 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 provenir del poco

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 problema 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 concepto de capital invertido y por concepto de energía disipada."

CONCLUSIONES: Para el análisis y proyecto de alimentadores de distribución, podemos decir que la " limitación mecánica " queda cubierta con los calibres de los conductores usuales y que la " limitación económica " 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
CARGA 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 multiaterrizado. 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.

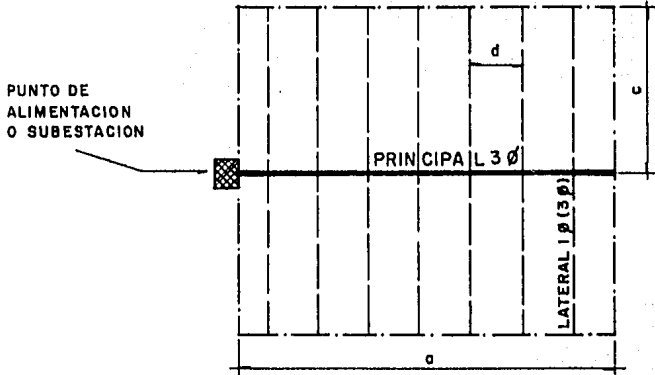


FIGURA 3 AREA DE CARGA RECTANGULAR

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 km^2 .

D = densidad de carga en kVA/km^2 .

W = carga total del alimentador en kVA.

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

I = corriente total en A (rms).

ΔV = caída de voltaje en V.

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

W_L = carga por lateral en $\text{kVA}/\text{lateral}$.

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

ΔV_P = caída de voltaje en el alimentador principal.

ΔV_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 Ω/km .

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

Z_2 = factor de impedancia del alimentador lateral en Ω/km .

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

R_1 = resistencia de una fase del alimentador principal en Ω/km .

R_2 = resistencia de los conductores fase y neutro (ó fase) del lateral en Ω/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 kVA/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 kVA/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. For 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:

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

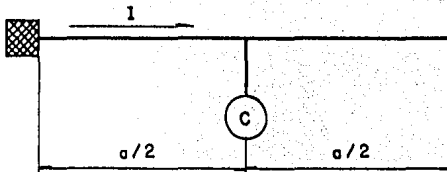


FIGURA 4

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

Denominando:

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

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

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

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

$$\Delta V_P = \frac{2acD}{\sqrt{3} E} \frac{aZ_1}{2} = \frac{a^2 c D Z_1}{\sqrt{3} E}$$

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 porciento de caída de voltaje en el alimentador lateral, es:

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

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

$$e = e_P + e_L = \left(\frac{0.10 DZ_1}{E^2} \right) a^2 c + \left(\frac{K_3 Ddc^2 Z_2}{E^2} \right) c^2$$

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

La ecuación (5) muestra la variación del porciento 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 porciento 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.- Forciento 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:

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

$$c = \left(\frac{eE^2}{3K_3 DZ_2 d} \right)^{0.5} \quad (7)$$

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 \underline{a} entre \underline{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:

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

Por consiguiente para un porciento 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

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

Suponiendo un porciento 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:

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

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

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

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 tiene 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.- EFECTO 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.- EFFECTO 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:

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

For 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: MINIMO 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 porciento 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 FORCIENTO 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 \underline{e} con respecto a \underline{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 \underline{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 porcentaje de caída de voltaje en el lateral.

De otra manera

$$e_p = 2 e_L$$

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

Esta misma relación se obtuvo para la condición de máxima área de carga cubierta con un porcentaje 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 porcentaje de caída de voltaje, serán:

De la ecuación (32), se tiene:

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

$$c = \left(\frac{0.10 Z_1 W_T^2}{8K_3 Z_2 d D_T^2} \right)^{0.33} \quad (33)$$

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

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

$$a = \left(\frac{W_T K_2}{D_T K_1} \right)^{0.33} = \left(\frac{K_3 Z_2 d W_T}{0.10 Z_1 D_T} \right)^{0.33} \quad (35)$$

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

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

$$\frac{a}{c} = 2 \left(\frac{K_2}{K_1} \right)^{0.66} \left(\frac{D_T}{W_T} \right)^{0.33} = 2 \left(\frac{K_3 Z_2 d}{0.10 Z_1} \right)^{0.66} \left(\frac{D_T}{W_T} \right)^{0.33} \quad (37)$$

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

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.- EFECTO 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.- EFECTO 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 CAÍDA DE VOLTAJE.
CONDICIÓN: 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 afecta da 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.- EFEECTO 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:

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

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

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

III. 3.4.3.- EFFECTO DEL AUMENTO DE 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:

$$e = \frac{0.10 DZ_1 a^3}{RE^2} + \frac{K_2 bZ_2 da^2}{R^2 L^2}$$

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.- EFECTO 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 tan to 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.- EFFECTO 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 condi— ción 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:

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

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

III. 3.6.1.- DETERMINACION DE LAS RELACIONES FUNDAMENTALES DE LOS PARA-
METROS 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

tada 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, $K_2 = \frac{0,10 \text{ } DZ_2^d}{E^2}$, 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 Δ

CIRCUITO Y	CIRCUITO Δ		
	$K_3 = 0.21$	$K_3 = 0.30$	$K_3 = 0.05$
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.- ANALISIS DE PERDIDAS I^2R EN UN ALIMENTADOR PRIMARIO DE DISTRIBUCION.

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 ARFA 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:

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

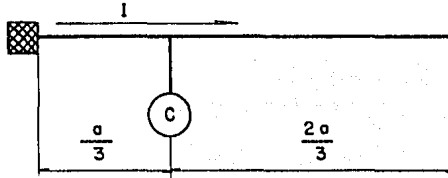


FIGURA 5

Como ya fue analizado, para un área de carga rectangular, el porciento de caída de voltaje entre el punto de alimentación y el final del último lateral, esta 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
$$\frac{0.10 \text{ DZ}_1}{E^2} a^2 c = \frac{2e}{3} \quad (109)$$

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 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) :

$$P_L = 0.4361 K_5 R_2 \left(\frac{D^{0.25} E_e^{1.5} e^{1.75} K_4^2}{d^{0.25} Z_1^{0.5} K_3^{1.25} Z_2^{1.25}} \right) \quad (124)$$

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 PÉRDIDAS == I²_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:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{0.25} \quad (132)$$

III. 4.1.2.- EFEECTO 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 por ciento 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 por ciento 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. 4.3.- PERDIDAS I^2R EN ALIMENTADORES LIMITADOS TÉRMICAMENTE.
CONDICIÓN: MÍNIMO PORCIENTO DE CAÍDA 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 \underline{g} 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:

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

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:

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

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 porcentaje de caída de voltaje en el lateral, será:

$$e_L = \frac{K_2 Z_2 d D_T c^2}{E^2} \quad (139)$$

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

$$e_L = \frac{K_4 K_2 c I_L Z_2}{20 E} \quad (142)$$

Sustituyendo (141) en (142) :

$$e_L = \frac{K_2 Z_2 d D_T K_4^2 c^2}{20 E^2} = \frac{K_2 d D_T Z_2 c^2}{E^2} \quad (143)$$

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:

$$a = \frac{W_T}{2c D_T} \quad (145)$$

Igualando (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) :

$$P_L = 0.25 \left(\frac{dR_2 Z_1 I_T^2}{Z_2} \right) \quad (155)$$

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

$$P_L = \frac{ncK_5 R_2 I_L^2}{3} \quad (156)$$

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

$$P_L = 1.29 \left(\frac{R_2 K_3^{0.33} d^{0.33} E^{0.33} Z_1^{0.66} I_T^{2.33}}{D_T^{0.33} Z_2^{0.66}} \right) \quad (157)$$

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

$$\frac{P_L}{W_T} = 0.7448 \left(\frac{R_2 K_3^{0.33} d^{0.33} Z_1^{0.66} I_T^{1.33}}{D_T^{0.33} E^{0.66} Z_2^{0.66}} \right) \quad (158)$$

III. 4.2.1.- EFEECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LAS PERDIDAS --
I² 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_2 , 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_2 , 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.- EFFECTO 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 dós 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 CONDICIONES SIMULTANEAS DE LIMITACIONES
TANEC POR CAIDA DE VOLTAJE COMO TERMICA.
CONDICIONES: MAXIMA AREA DE CARGA CUBIERTA 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:

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

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

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:

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

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

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):

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

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

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.- EFECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LAS PERDIDAS -- I²R 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.- EFEECTO 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) :

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

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.- EFFECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LAS PERDIDAS -- I²R 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:

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

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

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

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

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) :

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

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

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.- EFFECTO DEL AUMENTO DE DENSIDAD DE CARGA EN LAS PERDIDAS I²R DE LOS ALIMENTADORES.

De la ecuación (177) se puede mostrar como son afectadas las pérdidas I²R 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.- EFFECTO DEL AUMENTO DE VOLTAJE EN LAS PERDIDAS I²R DE LOS ALIMENTADORES.

De la ecuación (177), también se puede mostrar como son afectadas las pérdidas I²R 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:

$$\frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{1.33} \quad (190)$$

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) :

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

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) :

$$P_P = 0.9306 \left(\frac{ERR_1^2 I_T^5}{D_T} \right)^{0.5} \quad (182)$$

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

$$\frac{P_P}{W_T} = 0.5373 \left(\frac{RR_1^2 I_T^3}{ED_T} \right)^{0.5} \quad (183)$$

III. 4.8.1.- EFEECTO 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 corriente 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. 4.8.2.- EFTECTO 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 corriente 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 SIMULTANEA.

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.- SUMARIO: 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.	$\left(\frac{E}{D_T}\right)^{0.5}$

CAPITULO IV

APLICACIONES

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  RELO00      OPTIM0 14-JAN-1985 20:02      LPA0: 14-JAN-1985 20:02      DISK$CECAF
VAX/VMS  RELO00      OPTIM0 14-JAN-1985 20:02      LPA0: 14-JAN-1985 20:02      DISK$CECAF
VAX/VMS  RELO00      OPTIM0 14-JAN-1985 20:02      LPA0: 14-JAN-1985 20:02      DISK$CECAF

```

```

RRKK  EEEEE  L      000  000  000
R  K  E  L      0  0  0  0  0
R  K  E  L      0  00  0  00  0  00
RRKK  EEEE  L      0  0  0  0  0  0
R  K  E  L      00  0  00  0  00  0
R  K  E  L      0  0  0  0  0  0
R  K  EEEEE  LLLLL 000  000  000

```

```

000000  PPPPPPP  TTTTTTTT  111111  MM  MM  000000
000000  PPPPPPP  TTTTTTTT  111111  MM  MM  000000
00  00  PP  PP  TT  TT  11  MM  MM  00  00
00  00  PP  PP  TT  TT  11  MM  MM  00  00
00  00  PP  PP  TT  TT  11  MM  MM  00  00
00  00  PP  PP  TT  TT  11  MM  MM  00  00
00  00  PP  PP  TT  TT  11  MM  MM  00  00
00  00  PP  PP  TT  TT  11  MM  MM  00  00
00  00  PP  PP  TT  TT  11  MM  MM  00  00
00  00  PP  PP  TT  TT  11  MM  MM  00  00
00  00  PP  PP  TT  TT  11  MM  MM  00  00
000000  000000  PP  PP  TT  TT  111111  MM  MM  000000
000000  000000  PP  PP  TT  TT  111111  MM  MM  000000

```

```

BBBBBBB  AAAAAA  SSSSSSS  ???  222222  888888
BBBBBBB  AAAAAA  SSSSSSS  ???  222222  888888
Bj  bb  AA  AA  S  S  ???  22  22  88  88
Bb  bb  AA  AA  S  S  ???  22  22  88  88
Bc  bb  AA  AA  S  S  ???  22  22  88  88
Bd  bb  AA  AA  S  S  ???  22  22  88  88
BBBBBBB  AA  AA  SSSSSS  ???  22  888888
BBBBBBB  AA  AA  SSSSSS  ???  22  888888
Bb  bb  AAAAAAAAAA  S  S  ???  22  88  88
Bb  bb  AAAAAAAAAA  S  S  ???  22  88  88
Bb  bb  AA  AA  S  S  ???  22  88  88
Bb  bb  AA  AA  S  S  ???  22  88  88
BBBBBBB  AA  AA  SSSSSSS  ??  2222222222  888888
BBBBBBB  AA  AA  SSSSSSS  ??  2222222222  888888

```

```

RRKK  EEEEE  L      000  000  000
R  K  E  L      0  0  0  0  0
R  K  E  L      0  00  0  00  0  00
RRKK  EEEE  L      0  0  0  0  0  0
R  K  E  L      00  0  00  0  00  0
R  K  E  L      0  0  0  0  0  0
R  K  EEEEE  LLLLL 000  000  000

```

```

VAX/VMS  RELO00      OPTIM0 14-JAN-1985 20:02      LPA0: 14-JAN-1985 20:02      DISK$CECAF
VAX/VMS  RELO00      OPTIM0 14-JAN-1985 20:02      LPA0: 14-JAN-1985 20:02      DISK$CECAF
VAX/VMS  RELO00      OPTIM0 14-JAN-1985 20:02      LPA0: 14-JAN-1985 20:02      DISK$CECAF

```

```

1. FOR I=1 TO 26:PRINTNEXT I
2. PRINT
3. PRINT*PRINT
4. PRINT
5. PRINT
6. FOR I=1 TO 26:PRINTNEXT I
7. PRINT CIRC(12)
8. PRINT
9. PRINT
10. PRINT
11. PRINT
12. PRINT
13. PRINT
14. PRINT
15. PRINT
16. PRINT
17. PRINT
18. PRINT
19. PRINT
20. PRINT
21. PRINT
22. PRINT
23. PRINT
24. PRINT
25. PRINT
26. PRINT
27. PRINT
28. PRINT
29. PRINT
30. PRINT
31. PRINT
32. PRINT
33. PRINT
34. PRINT
35. PRINT
36. PRINT
37. PRINT
38. PRINT
39. PRINT
40. PRINT
41. PRINT
42. PRINT
43. PRINT
44. PRINT
45. PRINT
46. PRINT
47. PRINT
48. PRINT
49. PRINT
50. PRINT
51. PRINT
52. PRINT
53. PRINT
54. PRINT
55. PRINT
56. PRINT
57. PRINT
58. PRINT
59. PRINT
60. PRINT
61. PRINT
62. PRINT
63. PRINT
64. PRINT
65. PRINT
66. PRINT
67. PRINT
68. PRINT
69. PRINT
70. PRINT
71. PRINT
72. PRINT
73. PRINT
74. PRINT
75. PRINT
76. PRINT
77. PRINT
78. PRINT
79. PRINT
80. PRINT
81. PRINT
82. PRINT
83. PRINT
84. PRINT
85. PRINT
86. PRINT
87. PRINT
88. PRINT
89. PRINT
90. PRINT
91. PRINT
92. PRINT
93. PRINT
94. PRINT
95. PRINT
96. PRINT
97. PRINT
98. PRINT
99. PRINT
100. PRINT
101. PRINT
102. PRINT
103. PRINT
104. PRINT
105. PRINT
106. PRINT
107. PRINT
108. PRINT
109. PRINT
110. PRINT
111. PRINT
112. PRINT
113. PRINT
114. PRINT
115. PRINT
116. PRINT
117. PRINT
118. PRINT
119. PRINT
120. PRINT
121. PRINT
122. PRINT
123. PRINT
124. PRINT
125. PRINT
126. PRINT
127. PRINT
128. PRINT
129. PRINT
130. PRINT
131. PRINT
132. PRINT
133. PRINT
134. PRINT
135. PRINT
136. PRINT
137. PRINT
138. PRINT
139. PRINT
140. PRINT
141. PRINT
142. PRINT
143. PRINT
144. PRINT
145. PRINT
146. PRINT
147. PRINT
148. PRINT
149. PRINT
150. PRINT
151. PRINT
152. PRINT
153. PRINT
154. PRINT
155. PRINT
156. PRINT
157. PRINT
158. PRINT
159. PRINT
160. PRINT
161. PRINT
162. PRINT
163. PRINT
164. PRINT
165. PRINT
166. PRINT
167. PRINT
168. PRINT
169. PRINT
170. PRINT
171. PRINT
172. PRINT
173. PRINT
174. PRINT
175. PRINT
176. PRINT
177. PRINT
178. PRINT
179. PRINT
180. PRINT
181. PRINT
182. PRINT
183. PRINT
184. PRINT
185. PRINT
186. PRINT
187. PRINT
188. PRINT
189. PRINT
190. PRINT
191. PRINT
192. PRINT
193. PRINT
194. PRINT
195. PRINT
196. PRINT
197. PRINT
198. PRINT
199. PRINT
200. PRINT
201. PRINT
202. PRINT
203. PRINT
204. PRINT
205. PRINT
206. PRINT
207. PRINT
208. PRINT
209. PRINT
210. PRINT
211. PRINT
212. PRINT
213. PRINT
214. PRINT
215. PRINT
216. PRINT
217. PRINT
218. PRINT
219. PRINT
220. PRINT
221. PRINT
222. PRINT
223. PRINT
224. PRINT
225. PRINT
226. PRINT
227. PRINT
228. PRINT
229. PRINT
230. PRINT
231. PRINT
232. PRINT
233. PRINT
234. PRINT
235. PRINT
236. PRINT
237. PRINT
238. PRINT
239. PRINT
240. PRINT
241. PRINT
242. PRINT
243. PRINT
244. PRINT
245. PRINT
246. PRINT
247. PRINT
248. PRINT
249. PRINT
250. PRINT
251. PRINT
252. PRINT
253. PRINT
254. PRINT
255. PRINT
256. PRINT
257. PRINT
258. PRINT
259. PRINT
260. PRINT
261. PRINT
262. PRINT
263. PRINT
264. PRINT
265. PRINT
266. PRINT
267. PRINT
268. PRINT
269. PRINT
270. PRINT
271. PRINT
272. PRINT
273. PRINT
274. PRINT
275. PRINT
276. PRINT
277. PRINT
278. PRINT
279. PRINT
280. PRINT
281. PRINT
282. PRINT
283. PRINT
284. PRINT
285. PRINT
286. PRINT
287. PRINT
288. PRINT
289. PRINT
290. PRINT
291. PRINT
292. PRINT
293. PRINT
294. PRINT
295. PRINT
296. PRINT
297. PRINT
298. PRINT
299. PRINT
300. PRINT
301. PRINT
302. PRINT
303. PRINT
304. PRINT
305. PRINT
306. PRINT
307. PRINT
308. PRINT
309. PRINT
310. PRINT
311. PRINT
312. PRINT
313. PRINT
314. PRINT
315. PRINT
316. PRINT
317. PRINT
318. PRINT
319. PRINT
320. PRINT
321. PRINT
322. PRINT
323. PRINT
324. PRINT
325. PRINT
326. PRINT
327. PRINT
328. PRINT
329. PRINT
330. PRINT
331. PRINT
332. PRINT
333. PRINT
334. PRINT
335. PRINT
336. PRINT
337. PRINT
338. PRINT
339. PRINT
340. PRINT
341. PRINT
342. PRINT
343. PRINT
344. PRINT
345. PRINT
346. PRINT
347. PRINT
348. PRINT
349. PRINT
350. PRINT
351. PRINT
352. PRINT
353. PRINT
354. PRINT
355. PRINT
356. PRINT
357. PRINT
358. PRINT
359. PRINT
360. PRINT
361. PRINT
362. PRINT
363. PRINT
364. PRINT
365. PRINT
366. PRINT
367. PRINT
368. PRINT
369. PRINT
370. PRINT
371. PRINT
372. PRINT
373. PRINT
374. PRINT
375. PRINT
376. PRINT
377. PRINT
378. PRINT
379. PRINT
380. PRINT
381. PRINT
382. PRINT
383. PRINT
384. PRINT
385. PRINT
386. PRINT
387. PRINT
388. PRINT
389. PRINT
390. PRINT
391. PRINT
392. PRINT
393. PRINT
394. PRINT
395. PRINT
396. PRINT
397. PRINT
398. PRINT
399. PRINT
400. PRINT
401. PRINT
402. PRINT
403. PRINT
404. PRINT
405. PRINT
406. PRINT
407. PRINT
408. PRINT
409. PRINT
410. PRINT
411. PRINT
412. PRINT
413. PRINT
414. PRINT
415. PRINT
416. PRINT
417. PRINT
418. PRINT
419. PRINT
420. PRINT
421. PRINT
422. PRINT
423. PRINT
424. PRINT
425. PRINT
426. PRINT
427. PRINT
428. PRINT
429. PRINT
430. PRINT
431. PRINT
432. PRINT
433. PRINT
434. PRINT
435. PRINT
436. PRINT
437. PRINT
438. PRINT
439. PRINT
440. PRINT
441. PRINT
442. PRINT
443. PRINT
444. PRINT
445. PRINT
446. PRINT
447. PRINT
448. PRINT
449. PRINT
450. PRINT
451. PRINT
452. PRINT
453. PRINT
454. PRINT
455. PRINT
456. PRINT
457. PRINT
458. PRINT
459. PRINT
460. PRINT
461. PRINT
462. PRINT
463. PRINT
464. PRINT
465. PRINT
466. PRINT
467. PRINT
468. PRINT
469. PRINT
470. PRINT
471. PRINT
472. PRINT
473. PRINT
474. PRINT
475. PRINT
476. PRINT
477. PRINT
478. PRINT
479. PRINT
480. PRINT
481. PRINT
482. PRINT
483. PRINT
484. PRINT
485. PRINT
486. PRINT
487. PRINT
488. PRINT
489. PRINT
490. PRINT

```

```

FOR I=1 TO 26:PRINTNEXT I
MODELO LATERALICO PARA LA OPTIMIZACION DE LA
PLANEACION Y EXPANSION DE UNA AREA DE CARGA
DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

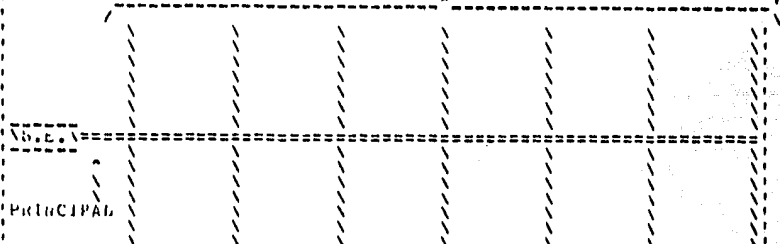
```

```

ESTE PROGRAMA DE 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 ESTÁ CUBIERTA POR UN ALIMENTADOR
PRINCIPAL TRIFASICO Y ALGUNOS LATERALES
RECTANGULOS (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 * * *
L A T E R A L E S * * *



```

DESEA CONOCER LAS OPCIONES DE ESTE PROGRAMA, MARQUE SI O NO, AS
SI GO TO 20003
CIRC(12)
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 LA
TERMO CONSTANTE.
4.- ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE; LONGITUD DE LATERAL CONS-
TANTE.
5.- ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE; PARA UNA RELA-
CION CONSTANTE DEL PRINCIPAL AL LATERAL.
6.- ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE; PARA UNA RELACION CONS-
TANTE 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, B1

```

```

500 IF N1=1 THEN 500
510 IF N1=2 THEN 1750
520 IF N1=3 THEN 2105
530 IF N1=4 THEN 2805
540 IF N1=5 THEN 3050
550 IF N1=6 THEN 3430
560 IF N1=7 THEN 3630
570 IF N1=8 THEN 20003 LIST 400
580 PRINT CHR$(12)
590 PRINT*PRINT*PRINT*LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:',BI*PRINT*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*PRINT
631 PRINT*LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:'*PRINT*PRINT*PRINT*
632 GOSUB 634 N GO TO 190 N ! SUBROUTINA NO. 0.
634 INPUT*DE EL PORCENTAJE DE CAIDA DE VOLTAJE EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO',E
635 PRINT*EL PORCENTAJE DE CAIDA DE VOLTAJE DEL ALIM.PRIMARIO ES',ENGO*TO 640
636 INPUT*DE LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP.' ,I1
637 PRINT*LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP. ES ' ,I1
638 INPUT*DE LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ' ,D1
639 PRINT*LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ES ' ,D1
640 INPUT*DE LA RESISTENCIA DE UNA FASE DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL EN OHM/KM.' ,R1
641 PRINT*LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES ' ,R1
642 INPUT*DE LA RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES DEL LATERAL EN OHM/KM.' ,R2
643 PRINT*LA RESIST. DE LOS CONDUCTORES DEL LATERAL EN OHM/KM ES',R2
644 INPUT*DE EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL EN OHM/KM.' ,Z1
645 PRINT*EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES ' ,Z1
646 INPUT*DE EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIMENTADOR LATERAL EN OHM/KM.' ,Z2
647 PRINT*EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES ' ,Z2
648 INPUT*DE EL VOLTAJE DE ABASTECIMIENTO ENTRE FASES EN KV. ' ,E1
649 PRINT*EL VOLTAJE DE ABASTECIMIENTO ENTRE FASES EN KV ES ' ,E1
650 INPUT*DE LA DENSIDAD DE CARGA EN KV/KM2. ' ,D
651 PRINT*LA DENSIDAD DE CARGA EN KV/KM2 ES ' ,D
652 PRINT* DEPENDIENDO DEL TIPO DE LATERAL, SELECCIONE UN VALOR '
653 PRINT* 0.30 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE TODA '
654 PRINT* LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO. '
655 PRINT* 0.21 PARA LATERALES DE FASE Y NEUTRO, ASUMIENDO QUE EL 40% '
656 PRINT* DE LA CORRIENTE REGRESA A TRAVES DEL CONDUCTOR NEUTRO.'
657 PRINT* 0.10 PARA LATERALES DE FASE A FASE.
658 PRINT* 0.05 PARA LATERALES TRIFASICOS.
659 INPUT*DE EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL.' ,K3
660 PRINT*PRINT*EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES',K3
661 DO=0 NPRINT*PRINT*PRINT
662 RETURN
663 GOSUB 600 N GO TO 692 N ! SUBROUTINA DE CALCULO NO. 1
664 C=(C+E*E**2)/(C*K3*D**2+D1)**0.5
665 R1=C3.3982*R1*0.5*(R1**2+D1+E)**0.25)/(D*0.25+Z1*0.5)
666 C1=C/C
667 A=2*A1*C
668 W=A*W
669 P1=(17.4426*R1*0*0.25+E*E**1.5+E**1.75)/((Z2*K3*D)**0.25+Z1*1.5)
670 P2=(8.7224*E**2*0.25+E*E**1.5+E**1.75)/(D1*K3)**0.25+Z1*0.5+Z2*1.25)
671 P3=P1/(1000*W)
672 P4=P2/(1000*W)
673 RETURN
674 PRINT CHR$(12)
675 PRINT*PRINT*PRINT*
676 PRINT* * * * * PARAMETROS DEL SISTEMA * * * * *
677 PRINT*LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.' ,A1 , 'KM'*PRINT*PRINT*
678 PRINT*LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.' ,C , 'KM'*PRINT*PRINT*
679 PRINT*RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.' ,C1 , '*-'*PRINT*PRINT

```

```

930 PRINT AREA DE CARGA COBIERTA.           'A', 'K2' \PRINT\PRINT
940 PRINT CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.     'A', 'VA' \PRINT\PRINT
950 PRINT PIEDRAS 12K EN EL ALIM. PRINCIPAL. 'P1', 'A' \PRINT\PRINT
960 PRINT PIEDRAS 12K EN LOS ALIM. LATERALES. 'P2', 'A' \PRINT\PRINT
970 PRINT PIEDRAS EN PU DEL ALIM. PRINCIPAL. 'P3', 'A' \PRINT\PRINT
980 PRINT PIEDRAS EN PU DEL ALIM. LATERALES. 'P4', 'A' \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 ! SORBE LINA NO. 2.
1020 INPUT DESEA PARAMETROS EN CIRCUITO DELTA, MARQUE SI O NO', BS
1030 IF BS<>'SI' GO TO 1220
1040 NETON.
1042 A1=1,189*A1
1044 C=0,707*C
1046 (1=1,682*C)
1048 A=0,861*A \GO TO 1130
1050 A1=0,831*A1
1060 C=1,149*C
1070 C1=0,573*C1
1080 A=1,294*A \ GO TO 1130
1090 A1=0,78*A1
1100 C=3*0,5*C
1110 C1=0,439*C1
1120 A=1,316*A
1130 FOR I=1 TO 5 \ PRINT \ NEXT I
1140 PRINT '          LOS VALORES PARA EL CIRCUITO DELTA, SON :'\PRINT\PRINT
1150 PRINT BORGION DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL. 'A1', 'K1' \PRINT
1160 PRINT BORGION DEL ALIMENTADOR LATERAL. 'C', 'K1' \PRINT
1170 PRINT DENSIDAD DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL. 'C1', 'A' \PRINT
1180 PRINT AREA DE CARGA COBIERTA. 'A', 'K2' \PRINT
1190 FOR J=1 TO 3
1200 PRINT
1210 NEXT J
1220 INPUT DESEA CONTINUAR CON ESTA OPCION, MARQUE SI O NO ', FS
1225 IF FS<>'SI' GO TO 990
1230 PRINT CARGO(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 1
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. DESEA', Z\PRINT\PRINT\PRINT
1350 X1=(Y-X)/Z
1360 IF A1>14 THEN PRINT\PRINT\PRINT\PRINT'*** DE UN INCREMENTO MAYOR ***'\GO TO 1310
1370 IF A1<1 THEN PRINT\PRINT\PRINT\PRINT'*** DE UN INCREMENTO MENOR ***'\GO 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 2940
1376 IF D1=6 THEN 2820
1380 PRINT '          * * *          PARA UN VOLTAGE DE SISTEMA DE 'E1;' KV * * * '\PRINT\PRINT
1390 PRINT DEBS. ALIM. ALIM. REG. DEL AREA DE CARGA PERDS. PERDS.
1400 PRINT CARGA PRINC. LAT. PRINC. AL CARGA SIST. PRINC. LAT.'

```

```

1410 PRINT 'NVA/802' GM.      TH.      LAT.      KMZ.      KVA      W      W\NPRINT
1420 FOR I=1 TO 7 STEP 2
1430 GOSUB 600
1450 PRINT USING '####' I, D; NPRINT USING '###.###' I, A1; NPRINT USING '###.###' I, C1;
1455 PRINT USING '###.###' I, C1; NPRINT USING '###.###' I, W; NPRINT USING '#####' I, W;
1460 PRINT USING '#####' I, E1; NPRINT USING '#####' I, P2;
1470 NEXT I
1475 S=1-1/1000 Z=1 TO 1000000000 Z
1480 PRINT USING '0LSEA CONTINUAR CON ESTA OPCION, MARQUE SI O NO' , ES
1485 IF ES<'SI' GO TO 490
1490 PRINT CHR$(12)
1500 PRINT '          SECUENCIA DE ANALISIS DE LOS EFECTOS DEL AUMENTO DE'
1510 PRINT '          VOLTAJE EN LOS PARAMETROS DEL SISTEMA.' NPRINT NPRINT NPRINT
1520 INPUT 'DESEA ANALIZAR LOS EFECTOS DE UN AUMENTO DE VOLTAJE, MARQUE SI O NO' , US
1530 IF US<'SI' THEN 1715 ELSE PRINT NPRINT
1540 INPUT 'DE EL VALOR DEL VOLTAJE INCREMENTADO, EN KV' , EZ
1550 G=0
1552 IF N1=2 THEN 2050
1553 IF N1=3 THEN 2540
1554 IF N1=4 THEN 2940
1555 IF N1=5 THEN 3360
1556 IF N1=6 THEN 3570
1560 GOSUB 600
1570 P5=P1+P2
1580 C2=C*(E2/L1)
1590 A2=(E2/E1)^0.5*A1
1600 C3=(E1/E2)^0.5*C1
1610 A3=(E2/E1)^1.5*A
1620 E2=(E2/E1)^1.5*W
1630 P6=(E2/E1)^1.5*P15 NPRINT NPRINT NPRINT
1640 PRINT '      PARA UNA DENSIDAD DE CARGA DE ' ; D ; ' KVA/KM2' NPRINT NPRINT
1650 PRINT 'VOLTAJE DEL SISTEMA.      ' ; E1, E2, 'KV' NPRINT NPRINT
1660 PRINT 'ALISEADOR PRINCIPAL.      ' ; A1, A2, 'KV' NPRINT
1670 PRINT 'ALISEADOR LATERAL.      ' ; C, C2, 'KV' NPRINT
1680 PRINT 'VEL. DEL FEHC. AL LAT.      ' ; C1, C3, '---' NPRINT
1690 PRINT 'AREA DE CARGA COMERTA.      ' ; A, A3, 'KM2' NPRINT
1700 PRINT 'CARGA DEL SISTEMA.      ' ; W, W2, 'KVA' NPRINT
1710 PRINT 'EPPDIPAS ADICIONALES.      ' ; P5, P6, ' ' NPRINT
1715 PRINT NPRINT NPRINT
1720 INPUT 'DESEA ANALIZAR OTRA OPCION DE CALCULO DE ESTE PROGRAMA, MARQUE SI O NO' , ES
1730 IF ES<'SI' GO TO 20000
1740 GO TO 490
1750 PRINT CHR$(12)
1755 PRINT NPRINT NPRINT NPRINT 'LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:' ; N1 NPRINT NPRINT
1760 PRINT '      ESTA ES LA RUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN ---'
1770 PRINT '      ALIBERADOR LIMITADO IERMICAMENTE, BAJO LA CONDI ---'
1780 PRINT '      CION DE MÍNIMO PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE.' NPRINT NPRINT NPRINT NPRINT
1785 PRINT 'LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:' NPRINT NPRINT NPRINT
1790 GOSUB 636
1800 GOSUB 1610 N GO TO 1920 N 1 SUBROUTINA DE CALCULO NO. 3.
1810 W=3^0.5*11*F1
1820 C=0.7521*((Z1+4^2)/(K3+27*01+D^2))^0.333
1830 A1=2.1544*((K3+27*01+Y)/(Z1+D))^0.333
1840 C1=A1/C
1850 A=1/D
1860 F1=(0.4F+7*11^2+Z1^0.666*(Z2*K3*01)^0.333)/(D^0.333*W^0.666)
1870 F1=(7.5675*E1*(E1+K3*27*01)^0.333*11^2.333)/(Z1*0)^0.333
1880 F2=1.25*W2*(1+01*E1)^0.333+Z1^0.666*11^2.333)/(D^0.333*22^0.666)
1890 P3=P1/(1000*W)
1900 P4=P2/(1000*W)
1910 K=L/0.8

```

```
1920 PRINT C0P5(12)
1925 PRINT * * * PARAMETROS DEL SISTEMA * * * **\PRINT\PRINT\PRINT
1930 PRINT '% DE REGULACION DEL ALIM. PRIMARIO ',E,'%\PRINT
1940 GO TO 200
1950 PRINT * * * PARA UN VOLTAJE DEL SISTEMA DE 'E3;' KV * * * \PRINT\PRINT
1955 PRINT 'DEBO. ALIM. REL. DEL AREA DE REGULACION PERDS. PERDS.'
1970 PRINT 'CARGA PRINC. DPT. PRIN. AL CARGA CION PRINC. LAT.'
1980 PRINT 'KVA/KM2'
1990 FOR J=1 TO 1 STEP 2
2000 GOSUB 2110
2010 PRINT USING '###.###' 'A';\PRINT USING '###.###' 'C';
2015 PRINT USING '###.###' 'U';\PRINT USING '###.###' 'A';\PRINT USING '###.###' 'E';
2020 PRINT USING '###.###' 'P';\PRINT USING '###.###' 'P2
2030 NEXT J
2040 GO TO 1975
2050 GOSUB 2110
2060 P5=P1+P2
2070 CZ=(E2/E1)^0.000+C
2080 AZ=(E2/E1)^0.333+AI
2090 CJ=(E1/E2)^0.333+C1
2100 AJ=(E2/E1)*A \ *2=(E2/E1)*W
2110 E3=(E1/E2)^0.000+E
2120 EC=(E2/E1)^0.333+P5 \PRINT\PRINT
2130 PRINT ' PARA UNA DENSIDAD DE CARGA DE 'E3;' KVA/KM2 \PRINT\PRINT
2140 PRINT 'VOLTAJE DEL SISTEMA ',E1,E2,'KV\PRINT
2150 PRINT '% DE REGULACION ',E,E3,'%\PRINT
2160 GO TO 2060
2165 PRINT C0P5(12)
2170 PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT 'LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:' \PRINT\PRINT
2180 PRINT ' ESTA ES LA PUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN
2190 PRINT ' ALIMENTADOR LIMITADO POR CAIDA DE VOLTAJE, BAJO
2200 PRINT ' LA CONDICION DE LOGITUD DE LATERAL CONSTANTE. ' \PRINT\PRINT\PRINT\PRINT
2210 PRINT ' LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:' \PRINT\PRINT\PRINT\PRINT
2220 GOSUB 2210 \ GO TO 2300 \ SUBROUTINA NO. 9.
2230 PRINT ' EL PORCIENTO DE REGULACION EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO ' \PRINT
2240 PRINT ' EL PORCIENTO DE REGULACION EN EL ALIM. PRIMARIO ES' \PRINT\GO TO 2230
2250 PRINT ' LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP. ' \PRINT
2260 PRINT ' LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP. ES ' \PRINT
2270 PRINT ' LA LOGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL (CONSTANTE) EN KM. ' \PRINT
2280 PRINT ' LA LOGITUD DEL ALIM. LATERAL (CONSTANTE) EN KM ES ' \PRINT
2290 PRINT ' LA RESISTENCIA DE UNA FASE DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL EN OHM/KM \PRINT
2300 PRINT ' LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES ' \PRINT
2310 PRINT ' EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL EN OHM/KM \PRINT
2320 PRINT ' EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES ' \PRINT
2330 PRINT ' EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV. ' \PRINT
2340 PRINT ' EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES ' \PRINT
2350 PRINT ' LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2 ES. ' \PRINT
2360 PRINT ' LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2 ES. ' \PRINT\PRINT\PRINT\PRINT
2370 GO TO 2310 \ GO TO 2370 \ SUBROUTINA DE CALCULOS NO. 5.
2380 A1=(E+E1^2)/(0.1*Z1*D*(C))^0.5
2390 A=(100+E*C*E1^2)/(Z1*D)^0.5
2400 Y=(100+E*C*E1^2)/(Z1)^0.5
2410 F1=(0.25+A*(F1*(C*D))^0.5+E1*E^-1.5)/(Z1^1.5)
2420 F3=F1/(1000*W)
2430 RETURN
2440 PRINT\PRINT\PRINT * * * PARAMETROS DEL SISTEMA * * * **\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT
2450 PRINT 'LOGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL. ',A,'KM\PRINT
2460 PRINT 'AREA DE CARGA CUBIERTA. ',A,'KM2\PRINT
2470 PRINT 'CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR. ',W,'KVA\PRINT
```

```

2410 PRINT 'PERDIDAS EN EL ALIMENTADOR PRINCIPAL,';P1;' W'\PRINT
2420 PRINT 'PERDIDAS EN EL ALIMENTADOR PRINCIPAL,';P3;'--'
2425 FOR I=1 TO 5:NPRINT:NEXT I
2430 GO TO 1270
2440 PRINT ' * * * PARA UN VOLTAJE DE SISTEMA DE:'E1;'KV * * *\PRINT\PRINT
2450 PRINT ' DENS. ALIM. AREA DE CARGA PERD.'
2460 PRINT ' KVA/KM2 PRINC. CARGA SIST. PRINC.'
2470 PRINT ' KMZ KMZ KVA *
2472 PRINT
2480 FOR D=4 TO 1 STEP 2
2485 IF D=4 THEN 2490 ELSE 2495
2490 GOSUB 2310 A GO TO 2500
2495 GOSUB 3300
2500 PRINT USING' #####',D;\PRINT USING' #####',A;\PRINT USING' #####',A;
2510 PRINT USING' #####',D;\PRINT USING' #####',P1
2520 NEXT D
2530 GO TO 1475
2540 GOSUB 2310
2550 J7=E2/E1
2560 A2=J7*A1
2570 A3=J7*A4
2580 A2=J7*A4
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 'VOLTAJE DEL SISTEMA 'E1,E2;'KV '\PRINT\PRINT
2620 PRINT 'ALIMENTADOR PRINCIPAL 'A1,A2;'KM '\PRINT
2630 PRINT 'AREA DE CARGA 'A,A2;'KM2'\PRINT
2640 PRINT 'CARGA DEL SISTEMA 'A,A2;'KVA'\PRINT
2650 PRINT 'PERDIDAS TOTALES 'P1,P7;'%'
2660 GO TO 1475
2665 PRINT CORR(12)
2670 PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT
2675 PRINT ' ESTO ES LA OPCION 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\PRINT
2700 GOSUB 2220
2710 GOSUB 2120 A GO TO 2790 A ! SUBROUTINA DE CALCULOS NO. 6.
2720 A=3*0.5*11*E1
2730 B1=A/(2*D*C)
2740 A=B/D
2750 F=(0.025*2140*2)/(E1*2*D*C)
2760 F1=(0.0001*E1*F1*11*3)/(C*D)
2770 P3=F1/(1000*A)
2780 ELFORO
2790 PRINT\PRINT\PRINT ' * * * PARAMETROS DEL SISTEMA * * *\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT\PRINT
2800 PRINT '% DE REGULACION EN EL ALIM. PRIMARIO 'L;'%\PRINT
2810 GO TO 2380
2820 PRINT ' * * * PARA UN VOLTAJE DE SISTEMA DE ;E1;' KV * * *\PRINT
2830 PRINT ' DENS. ALIM. AREA DE REGULACION PERD.'
2840 PRINT ' CARGA PRINC. CARGA CION PRINC.'
2850 PRINT ' KVA/KM2 KMZ KMZ *'\PRINT
2860 FOR D=4 TO 1 STEP 2
2870 IF D=4 THEN 2880 ELSE 2890
2880 GOSUB 2720 A GO TO 2900
2890 GOSUB 3300
2900 PRINT USING' #####',D;\PRINT USING' #####',A;\PRINT USING' #####',A;
2910 PRINT USING' #####',L;\PRINT USING' #####',P1
2920 NEXT D

```



```

2930 GO TO 1475
2940 GOSUB 2720
2950 J=F2/F1
2960 F2=0.741
2970 A5=0.744
2980 F3=F1
2990 F7=J/F1 X A7=(L2/F1)**4
3000 L2=L1 TO L X PRIN1 X GRAT 1
3010 PRIN1' PARA UNA DENSIDAD DE CARGA DE 1200' KVA/KM2'XPRIN1XPRIN1
3020 PRIN1'VOLTAJE DEL SISTEMA 'L1,L2,'X'XPRIN1XPRIN1
3030 PRIN1' % DE REGULACION 'L3,'F3,' X'XPRIN1
3040 GO TO 2620
3050 PRIN1' COM#(12)
3055 PRIN1'XPRIN1XPRIN1XPRIN1'LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:',XPRIN1XPRIN1
3060 PRIN1' ESTA ES LA RUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN '
3070 PRIN1' ALIMENTADOR LIMITADO POR CARGA DE VOLTAJE, BAJO '
3080 PRIN1' LA CONDICION DE RELACION CONSTANTE DEL PRINCIPAL.'
3090 PRIN1' AL LATERAL.'XPRIN1XPRIN1XPRIN1XPRIN1
3095 PRIN1'LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:'XPRIN1XPRIN1XPRIN1
3100 GOSUB 3110 X GO TO 3200 X ! SUBROUTINA NO. 7.
3110 L2=0.01 DE PORCIENTO DE REGULACION EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO ',XPRIN1X
3115 PRIN1'EL PORCIENTO DE REGULACION EN EL ALIM. PRIMARIO ES:',XPRIN1XGO TO 3130
3120 L2=0.01 DE LA CUBIERTA TOTAL DEL SISTEMA EN %.
3125 PRIN1'LA CUBIERTA TOTAL DEL SISTEMA EN %. ES ',XPRIN1
3130 L2=0.01 DE LA RELACION DEL PRINCIPAL AL LATERAL (CONSTANTE) ',XPRIN1
3135 PRIN1'LA RELACION DEL PRINC. AL LATERAL (CONSTANTE) ES: ',XPRIN1
3140 L2=0.01 DE LA EXISTENCIA DE UNA FASE DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL EN UNM/KM',XPRIN1
3145 PRIN1'LA RESISTENCIA DE FASE DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES ',XPRIN1
3150 PRIN1'EL FACTOR DE DEFERENCIA DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL EN OHM/KM ',Z1XPRIN1
3155 L2=0.01 DE LA CARGA DE DEFERENCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES ',Z1XPRIN1
3160 PRIN1'EL VOLTAJE DE REGULACION ENTRE FASES EN KV. ',XPRIN1
3165 PRIN1'EL VOLTAJE DE REGULACION ENTRE FASES EN KV. ',XPRIN1
3170 L2=0.01 DE LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2. ',XPRIN1
3175 PRIN1'LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM2 ES ',XPRIN1
3180 DUD=
3190 K1000.
3200 GOSUB 3500 X GO TO 2370 X ! SUBROUTINA DE CALCULO NO. 8.
3300 A1=((L1*L1+L2**2)/(L1+D*Z1))**0.333
3310 A2=0.7432*((L1**2)/(L1+Z1*K*0.5))**0.666
3320 A3=0.7432*((L1**2+D*0.5)/(Z1*K*0.5))**0.666
3330 F1=0.1,K*0.2*K*(D*K**4*L**5)/(R*Z1**5)**0.333
3340 F3=L1/(1000*A2)
3350 K1000.
3360 GOSUB 3500
3370 J=F2/F1
3380 A2=0.7*0.666*A1
3390 A5=0.7*1.333*A1
3400 V2=0.7*1.333*F1
3410 F7=0.7*1.333*F1
3420 GO TO 2595
3430 PRIN1' COM#(12)
3435 PRIN1'XPRIN1XPRIN1XPRIN1'LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:',XPRIN1XPRIN1
3440 PRIN1' ESTA ES LA RUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN '
3450 PRIN1' ALIMENTADOR LIMITADO TERMICAMENTE, BAJO LA CONDI- '
3460 PRIN1' CION DE RELACION CONSTANTE DEL PRINCIPAL AL LATER- '
3470 PRIN1' AL.'XPRIN1XPRIN1XPRIN1XPRIN1
3475 PRIN1'LOS DATOS PARA EL CALCULO SON:'XPRIN1XPRIN1XPRIN1
3480 GOSUB 3120
3490 GOSUB 3500 X GO TO 2790 X ! SUBROUTINA DE CALCULO NO. 9.
3500 A1=0.5*11*F1
3510 A1=((L1*K)/(Z1*D))**0.5

```

```
3520 A=1/0
3530 E=(0.0354+Z1*K*0.5*K*1.5)/(U*0.5*E1^2)
3540 F1=0.0354*(E1*K*E1^2+11^5)/(U)**0.5
3550 P3=F1/(1000**Z)
3560 K1=U**Z
3570 G0=0.0354
3580 A2=(E2/Z1)**0.5*W1 X A2=(E2/Z1)*W
3590 A3=(E2/Z1)*A
3600 E3=(E1/Z2)**0.5*W1
3610 P7=(E2/Z1)**0.5*W1
3620 G0=0.0354
3630 PRINT C0*(12)
3635 PRINT PRINT PRINT LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES: ',N1NPRINT
3640 PRINT ESTA ES LA PUTINA DONDE SE REALIZAN LOS CALCULOS '
3650 PRINT PARA LAS SITUACIONES DE CARGA DE OCURRENCIA SIMULTANEA '
3660 PRINT DE LIMITACIONES (POR CAIDA DE VOLTAJE Y TERMICA) '
3670 PRINT PARA LAS DIFERENTES CONDICIONES QUE SE PRESENTAN: ',NPRINTNPRINTNPRINT
3680 PRINT LAS OPCIONES DE CALCULO, SON: ',N PRINT X PRINT
3685 PRINT 1.- DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA PARA LAS CONDICIONES DE MAXIMA '
3690 PRINT AREA DE CARGA CORRIENTE Y MÍNIMO PORCENTAJE DE CAIDA DE VOL-- '
3695 PRINT TAJE. ',N PRINT
3700 PRINT 2.- DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA PARA LA CONDICION DE LONGITUD '
3705 PRINT DE LATERAL CONSTANTE. ',N PRINT
3710 PRINT 3.- DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA PARA LA CONDICION DE RELACION '
3720 PRINT DEL PRINCIPAL AL LATERAL CONSTANTE. ',N PRINT X PRINT X PRINT
3730 PRINT 4.- QUE EL CONTROL DE LA DENSIDAD DESEADA. ',02
3740 PRINT C0*(12)NPRINTNPRINTNPRINT LA OPCION DE CALCULO DE DENSIDAD ES: ',02NPRINTNPRINT
3750 IF 02=1 THEN 3760
3760 IF 02=2 THEN 3940
3770 IF 02=3 THEN 3990 ELSE 400
3780 PRINT PARA EL CALCULO DE LA DENSIDAD DE CARGA PARA SIMULTANEIDAD DE '
3790 ENTORNAMIENTOS, PAGO LAS CONDICIONES DE MAXIMA AREA DE CARGA CU- '
3795 ENTORNAMIENTOS Y MÍNIMO PORCENTAJE DE CAIDA DE VOLTAJE, PROPORCIONE LOS '
3800 SIGUIENTES DATOS: ',NPRINTNPRINTNPRINT
3810 IMPRIME EL VALOR (CONSTANTE) DE PERCENTAJE DEL TIPO DEL LATERAL',N3
3865 IMPRIME EL VALOR DE LA CONSTANTE SEGUN EL TIPO DE LATERAL ES',N3NPRINT
3870 IMPRIME LA DISTANCIA ENTRE LATERALES EN KM. ',01
3875 IMPRIME LA RELACION ENTRE LATERALES EN KM. ES ',N1NPRINT
3880 IMPRIME EL FACTOR DE DEFERENCIA DEL ALIM. LATERAL EN OMM/CM. ',22
3885 IMPRIME EL FACTOR DE DEFERENCIA DEL ALIM. LATERAL EN OMM/CM. ES',22NPRINT
3890 IMPRIME EL VOLTAJE DE DEFERENCIA ENTRE FASES EN KV. ',01
3895 IMPRIME EL VOLTAJE DE DEFERENCIA ENTRE FASES EN KV. ES ',N1NPRINT
3900 IMPRIME EL FACTOR DE DEFERENCIA DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL EN OMM/CM. ',21
3905 IMPRIME EL FACTOR DE DEFERENCIA DEL ALIM. PRINC. EN OMM/CM. ES',21NPRINT
3910 IMPRIME LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP. ',11
3915 IMPRIME LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA EN AMP. ES ',N1NPRINT
3920 IMPRIME EL PORCENTAJE DE REGULACION EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO ',E
3925 IMPRIME EL PORCENTAJE DE REGULACION DEL ALIM. PRIMARIO ES ',E NPRINT
3930 G0=0.0354
3940 PRINT PARA EL CALCULO DE LA DENSIDAD DE CARGA PARA SIMULTANEIDAD DE '
3950 ENTORNAMIENTOS, PAGO LA CONDICION DE LONGITUD DEL LATERAL CONST- '
3960 TANTE, PROPORCIONE LOS SIGUIENTES DATOS: ',NPRINTNPRINTNPRINT
3970 IMPRIME LA LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL (CONSTANTE) EN KM. ',C
3975 IMPRIME LA LONGITUD DEL ALIM. LATERAL EN KM. (CONSTANTE) ES ',C NPRINT
3980 G0=0.0354
3990 PRINT PARA EL CALCULO DE LA DENSIDAD DE CARGA PARA SIMULTANEIDAD DE '
4000 PRINT LIMITACIONES, PAGO LA CONDICION DE RELACION ENTRE PRINCIPAL Y '
4010 PRINT LATERAL CONSTANTE, PROPORCIONE LOS SIGUIENTES DATOS: ',NPRINTNPRINTNPRINT
4020 IMPRIME LA RELACION DEL PRINCIPAL AL LATERAL (CONSTANTE) ',R
4025 IMPRIME EL FACTOR DEL PRINCIPAL AL LATERAL (CONSTANTE) ES ',NPRINT
```

```

4030 GO TO 4090.
4040 IF D2=1 THEN 4060
4050 IF D2=2 THEN 4070
4060 D5=(0.0005*K*Z1^2+11^3)/(L1+E^2)X GO TO 4090
4070 D5=(0.075*Z1^11^2)/(C*J)X GO TO 4090
4080 D5=(0.03796*K3*D1+Z2*Z1^2+11^4)/(L1^2+E^3)
4090 PRINT CHR$(12)
4100 PRINT
4110 PRINT*PRINT
4120 PRINT
4130 PRINT*PRINT*PRINT*PRINT
4140 PRINT
4145 FOR I=1 TO 7 X PRINT X NEXT I
4150 INPUT 'DESEA CONTINUAR CON ESTA OPCION, MARQUE SI O NO',F5
4155 IF F5<'SI' GO TO 490
4160 PRINT CHR$(12)
4170 PRINT
4180 PRINT
4190 PRINT
4200 PRINT
4210 INPUT 'DESEA OBTENER UNA TABLA, MARQUE SI O NO',F5
4220 IF F5<'SI' THEN 450
4230 PRINT*PRINT*PRINT
4240 INPUT 'DE EL LIMITE INFERIOR DEL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE',A*PRINT
4250 INPUT 'DE EL LIMITE SUPERIOR DEL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE',B*PRINT
4260 INPUT 'DE EL INCREMENTO DE PORCENTAJE, QUE USIED DESEE',Z*PRINT*PRINT*PRINT
4270 A1=(Y-A)/Z
4280 IF A1>1 THEN PRINT*PRINT*PRINT*PRINT'*** DE UN INCREMENTO MAIOR ***'GO TO 4230
4290 IF A1<1 THEN 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' PORCIENTO DE DENSIDAD DE CARGA'
4420 PRINT' REGULACION SIMULTANEA KVA/KM2'PRINT
4430 FOR X=A TO Y STEP Z
4440 IF D2=1 THEN 4460
4450 IF D2=2 THEN 4470
4460 D5=(0.0005*K*Z1^2+11^3)/(L1+E^2)X GO TO 4490
4470 D5=(0.075*Z1^11^2)/(C*J)X GO TO 4490
4480 D5=(0.03796*K3*D1+Z2*Z1^2+11^4)/(L1^2+E^3)
4490 PRINT USING' ###.##',F5*PRINT USING'
4500 NEXT X
4510 F=1-A1 X FOR I=1 TO 6 X PRINT X NEXT I
4520 INPUT 'DESEA CONTINUAR CON ESTA OPCION, MARQUE SI O NO',F5
4525 IF F5<'SI' GO TO 490
4530 PRINT CHR$(12)
4540 PRINT
4550 PRINT
4560 PRINT
4570 PRINT
4580 INPUT 'DESEA OBTENER UNA TABLA, MARQUE SI O NO',F5
4590 IF F5<'SI' THEN 4600
4600 PRINT*PRINT*PRINT
4610 INPUT 'DE EL LIMITE INFERIOR DE LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA',A*PRINT
4620 INPUT 'DE EL LIMITE SUPERIOR DE LA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA',B*PRINT
4630 INPUT 'DE EL INCREMENTO DE CORRIENTE, QUE USIED DESEE',Z*PRINT*PRINT*PRINT
4640 A1=(Y-A)/Z
4650 IF A1>1 THEN PRINT*PRINT*PRINT*PRINT'*** DE UN INCREMENTO MAIOR ***'GO TO 4600
4660 IF A1<1 THEN PRINT*PRINT*PRINT*PRINT'*** DE UN INCREMENTO MENOR ***'GO TO 4600
4670 PRINT*PRINT' * * * PARA UNA CAIDA DE VOLTAJE DE 'E:' V * * *'PRINT*PRINT
4680 PRINT' CORRIENTE TOTAL DEL DENSIDAD DE CARGA'
4690 PRINT' SISTEMA EN AMP SIMULTANEA KVA/KM2'PRINT
4700 FOR I1=A TO Y STEP Z

```

```

4710 IF C2=1 THEN 4750
4720 IF C2=2 THEN 4740
4730 D1=(0.0005*(171^2+11^2))/((L1+E^2)*G) TO 4760
4740 D1=(0.075*(2111^2))/((C+E)*G) TO 4760
4750 D1=(0.93908*(101^2+21^2+11^2))/((L1^2+E^2)*G)
4760 PRINT USING '#####',D1
4770 NEXT I
4780 H=10-A1 \ FOR I=1 TO B \ PRINT \ NEXT I
4790 INPUT 'DESEA CONTINUAR CON ESTA OPCION, MARQUE SI O NO',FS
4795 IF FS<>'SI' GO TO 490
4800 PRINT CHR$(12)
4810 PRINT 'SECUENCIA DE ANALISIS DE LOS EFECTOS DEL AUMENTO DE '
4820 PRINT 'VOLTAJE EN LA DENSIDAD DE CARGA SIMULTANEA. '
4830 INPUT 'DESEA ANALIZAR LOS EFECTOS DE UN AUMENTO DE VOLTAJE, MARQUE SI O NO',DS
4840 IF DS<>'SI' THEN 1715 ELSE PRINT
4850 INPUT 'DE EL VALOR DEL VOLTAJE INCREMENTADO, EN KV',E2
4860 IF C2=1 THEN 4890
4870 IF C2=2 THEN 4845
4880 D6=(E1/E2)^D5 \ GO TO 4900
4885 D6=D5 \ GO TO 4900
4890 D6=(E1/E2)^D5
4900 J1=10 \ FOR I=1 TO 18 \ PRINT \ NEXT I
4910 PRINT 'PARA UNA CORRIENTE TOTAL DEL SISTEMA DE ;J1; AMP'
4915 PRINT 'Y UNA CARGA DE VOLTAJE DE ;E2; KV'
4920 PRINT 'VOLTAJE DEL SISTEMA ;E1,E2,'KV'
4930 PRINT 'DENSIDAD DE CARGA '
4940 PRINT 'SIMULTANEA ;D5,D6,'KVA/KM2'
4950 PRINT 'RUTINA ;PRINT' GO TO 1715
20000 PRINT CHR$(12)
20001 PRINT 'SI DESEA LA IMPRESION DE LOS CALCULOS REALIZADOS'
20002 PRINT 'REMITASE A LA RUTINA DE IMPRESION'
20003 STOP 5 \ FOR I=1 TO 27 \ PRINT \ NEXT I
20004 PRINT ' * * * * * '
20005 FOR I=1 TO 9 \ PRINT \ NEXT I
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 ²	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/km²), 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.

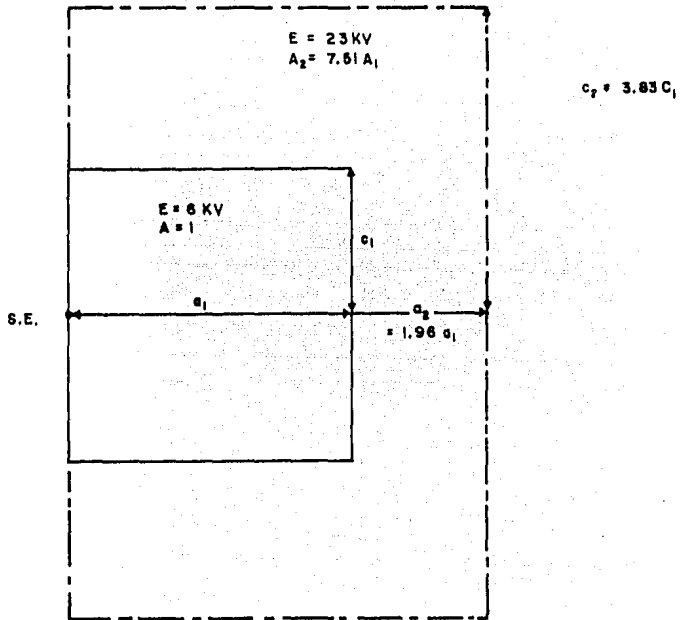
Y con el número de circuitos, de la ecuación (29)

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

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 graficamente 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 graficas resultantes. (figuras 7,8 y 9).



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

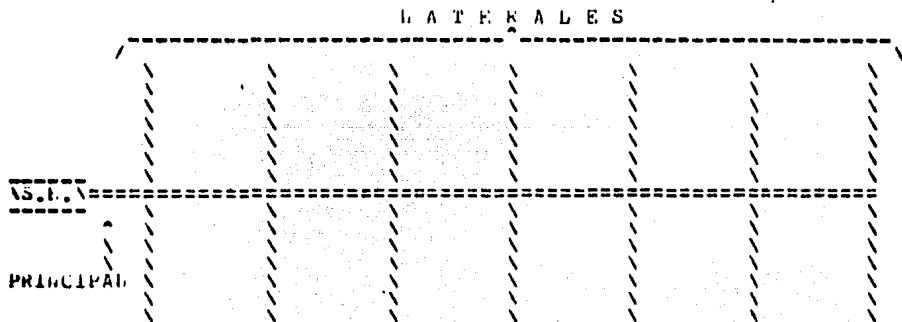
FIGURA 6

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 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 COBIERTA.
- 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.- F I N G U I 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 ALIA. 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 ALIA. 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 PZO DEL ALIM. PRINCIPAL.	.589256E-02	--
PERDIDAS EN PZO 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 0 KV * * *

DENS. CARGA KVA/KM ²	ALIM. PRINC. KV.	ALIM. LAF. KM.	REL. DEL PRINC. AL LAF.	AREA DE CARGA KM ² .	CARGA SIST. KVA	PERDS. PRINC. %	PERDS. LAF. %
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	25200
3000	0.650	1.321	0.492	1.72	5151.5	30356	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
VOLTAJE EN LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA.

PARA UNA DENSIDAD DE CARGA DE 1000 KVA/KM2

VOLTAJE DEL SISTEMA.	6	23	KV
ALIMENTADOR PRINCIPAL.	.855594	1.67516	KM
ALIMENTADOR LATERAL.	2.28748	6.76867	KM
REL. DEL PRINC. AL LAT.	.374034	.191039	-4-
AREA DE CARGA CUBIERTA.	3.91431	29.3778	KM2
CARGA DEL SISTEMA.	3914.31	29377.8	KVA
PERDIDAS TOTALES.	44311.1	332566	W

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 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 VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES	23
LA DENSIDAD DE CARGA EN KVA/KM ² ES	1000
DEPENDIENDO DEL TIPO DE LATERAL, SEDECCIONE 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.	1.67516	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	8.76867	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.191039	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	29.3776	KM2
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	29377.6	KVA
PERDIDAS 12K EN EL ALIM. PRINCIPAL.	173111	W
PERDIDAS 12K 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 RUINA, SE CALCULA UNA TABLA EN LA QUE APARECEN LAS VARIACIONES DE LOS PARAMETROS, PARA DIFERENTES VALORES DE DENSIDAD DE CARGA.

* * * PARA UN VIATAJE DE SISTEMA DE 23 KV * * *

DENS. CARGA KVA/KM2	ALIM. PRINC. KM.	ALIM. LAT. KM.	REL. DEL PRINC. AL DAT.	AREA DE CARGA KM2.	CARGA SIST. KVA	PERDS. PRINC. W	PERDS. LAT. W
1000	1.675	6.769	0.191	29.38	29377.8	173111	159455
2000	1.409	6.200	0.227	17.47	34936.3	205863	189623
3000	1.273	5.063	0.251	12.89	30663.4	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	6.18	49407.4	291136	268170
9000	0.967	2.923	0.331	5.65	50883.9	299837	276184
10000	0.942	2.773	0.340	5.22	52242.0	307839	283556

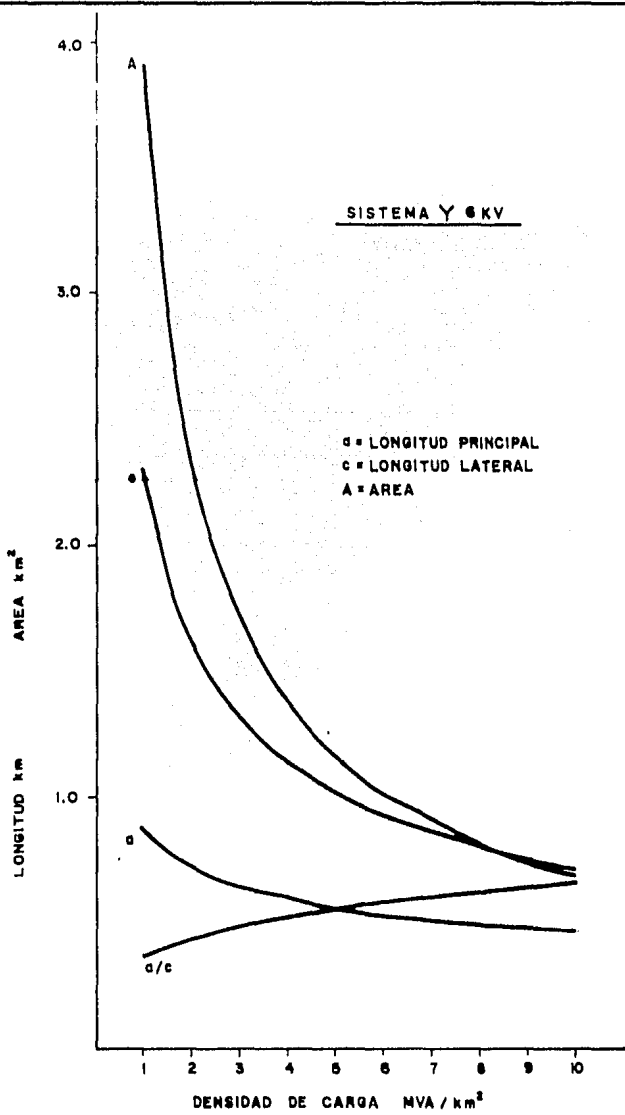


FIGURA 7

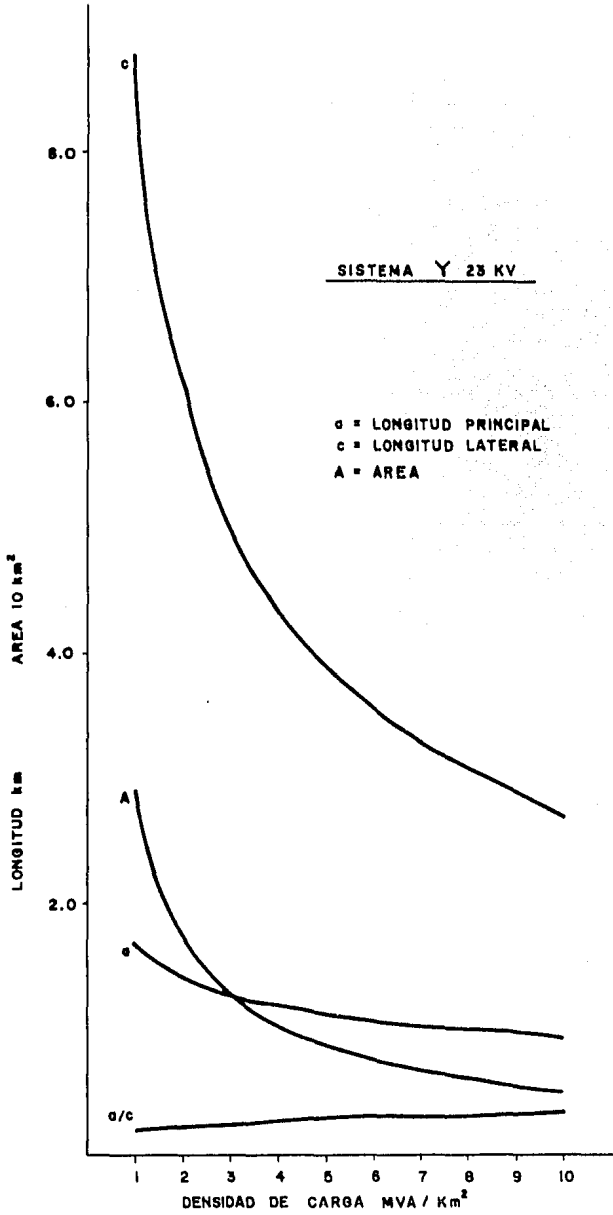


FIGURA 8

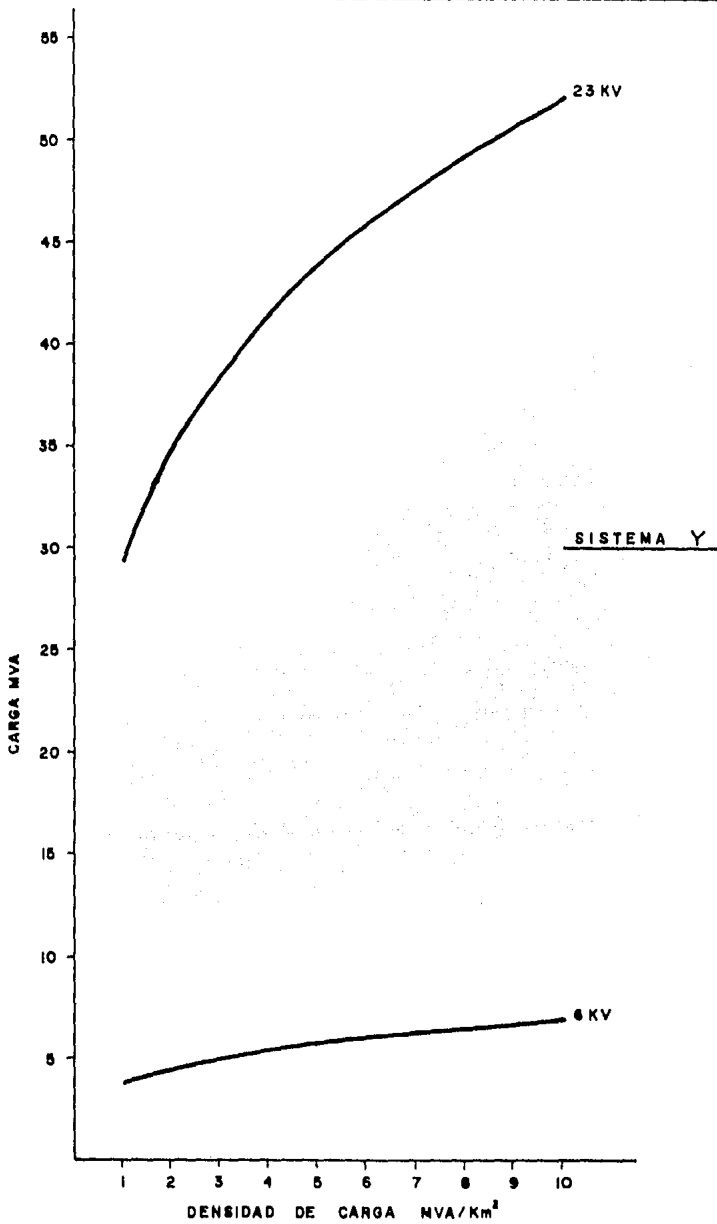


FIGURA 9

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	
	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/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

17.

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 ²	W kVA	PERDIDAS EN F.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	21700	0.0098
ALD 336 - ACSR 1/0	2.20	2.53	0.87	11.10	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 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 ENFIE 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	.80
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 COBERTA.	11.7196	KM2
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	23439.1	KVA
PERDIDAS I2R EN EL ALIM. PRINCIPAL.	88163.5	W
PERDIDAS I2R EN LOS ALIM. LATERALES.	127221	W
PERDIDAS EN P/D DEL ALIM. PRINCIPAL.	.376136E-02	--
PERDIDAS EN P/D EN LOS ALIM. LATERALES.	.542774E-02	--

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

1

ESTA ES LA ROTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN ALIMENTADOR DISTANADO POR CAIDA DE VOLTAJE, BAJO LA CONDICION DE PRIMERA 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	.10
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 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.	2.49470	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	2.17953	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	1.14403	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	10.8748	KM2
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	21749.6	KVA
PERDIDAS 12R EN EL ALIM. PRINCIPAL.	81808.6	W
PERDIDAS 12R EN LOS ALIM. LATERALES.	131201	W
PERDIDAS EN P/10 DEL ALIM. PRINCIPAL.	.376138E-02	--
PERDIDAS EN P/10 EN LOS ALIM. LATERALES.	.603602E-02	--

L. 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 OHM/KM ES	.7
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KM ES	.45
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/KM ² 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 FORMA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN ALIMENTADOR UTILIZADO POR CAIDA DE VOLTAJE, BAJO LA CONDICION DE BAIXA AREA DE CARGA CUBIERTA.

LOS FACTOS PARA EL CALCULO SON:

EL PORCIENTO DE CAIDA DE VOLTAJE DEL ALIM.PRINCIPAL 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 COBERTA.	11.2932	KM2
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	22588.5	KVA
PERDIDAS 12R EN EL ALIM. PRINCIPAL.	130261	W
PERDIDAS 12R EN LOS ALIM. LATERALES.	122594	W
PERDIDAS EN P70 DEL ALIM. PRINCIPAL.	.603287E-02	--
PERDIDAS EN P70 EN LOS ALIM. LATERALES.	.542774E-02	--

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

1

ESTA ES LA FORMA 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 OHM/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	1.16
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.	2.37589	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 12R EN EL ALIM. PRINCIPAL.	122055	W
PERDIDAS 12R EN LOS ALIM. LATERALES.	125026	W
PERDIDAS EN P/U DEL ALIM. PRINCIPAL.	.589250E-02	--
PERDIDAS EN P/U EN LOS ALIM. LATERALES.	.603602E-02	--

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

1

ESTA ES LA RUTINA QUE REALIZA LOS CALCULOS DE UN
REINTEGRADOR DEFINIDO POR CAIDA DE VOLTAJE, BAJO LA
CONDICION DE MAXIMA AREA DE CARGA COBERTA.

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	.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/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.	2.02831	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	2.17953	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.930618	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	8.84153	KM2
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	17683.1	KVA
PERDIDAS 12K EN EL ALIM. PRINCIPAL.	147886	W
PERDIDAS 12K 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 3ϕ , 4 hilos con neutro multiaterrizado, 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^2	R Ω/km	Z Ω/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 $1000 \text{ kVA}/\text{km}^2$ 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/km², tabule los parámetros del sistema y las pérdidas I^2R con respecto a la densidad de carga, en intervalos de 200 kVA/km².

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/km² 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/km², tabule los parámetros del sistema y las pérdidas I^2R con respecto a la densidad de carga, en intervalos de 200 kVA/km².

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 porcentaje de caída de voltaje (e) de 1 a 10 %, tabule la densidad de carga simultánea (D_S) con respecto al porcentaje 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 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	.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
DEFENDIDO 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.	6.20038	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.321514	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	24.7023	KM2

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

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

DENS. CARGA KVA/KM ²	ALIM. PRINC. KM.	ALIM. LAT. KM.	REL. DEL PRINC. AL LAT.	AREA DE CARGA KM ² .	CARGA SIST. KVA.	PERDS. PRINC. W.	PERDS. LAT. W.
200	3.420	3.005	0.490	62.76	12552.8	74968	68133
400	3.297	3.060	0.582	31.32	14927.8	87983	81024
600	2.974	4.621	0.645	21.53	16510.4	97347	89666
800	2.772	4.002	0.693	22.19	17522.3	104607	96355
1000	2.622	3.550	0.732	18.77	18770.8	110608	101883
1200	2.505	3.268	0.767	16.37	19646.1	115766	106634
1400	2.410	3.075	0.797	14.58	20419.0	120315	110824
1600	2.331	2.930	0.824	13.19	21111.1	124349	114566
1800	2.263	2.808	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	134706	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 LIMITADO TERMICAMENTE, BAJO LA CONDICION DE MINIMO 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/AM ES	.7
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. PRINC. EN OHM/KA ES	.43
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/AM ES	.80
EL VOLTAJE DE ALIMENTACION ENTRE FASES EN KV ES	23
LA DENSIDAD DE CARGA EN KV/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 TRIPLO, 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	3.02126	%
LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	2.01695	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	3.50441	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.734749	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	18.7235	KM ²
CARGA TOTAL DEL ALIMENTADOR.	18723.5	KVA
PERDIDAS 12K EN EL ALIM. PRINCIPAL.	109949	W
PERDIDAS 12K EN LOS ALIM. LATERALES.	101045	W
PERDIDAS EN P/D DEL ALIM. PRINCIPAL.	.567224E-02	--
PERDIDAS EN P/D EN LOS ALIM. LATERALES.	.53967E-02	--

LOS VALORES PARA EL CIRCUITO DELTA, SON :

LONGITUD DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL.	1.9904	KM
LONGITUD DEL ALIMENTADOR LATERAL.	0.17374	KM
RELACION DEL ALIM. PRINCIPAL AL LATERAL.	.322555	--
AREA DE CARGA CUBIERTA.	24.6401	KM ²

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

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

DENS. CARGA KVA/KM2	ALIM. PRINC. KA.	ALIM. LAL. Nº.	RED. DEL PRIN. AL LAL.	AREA DE CARGA KM2	REGULA- CION %	PERDS. PRINC. W	PERDS. LAL. W
200	4.476	10.411	0.430	93.02	5.164	187909	172692
400	3.553	6.552	0.542	40.81	4.099	149178	137097
600	3.105	5.009	0.620	31.21	3.582	130336	119782
800	2.821	4.136	0.662	23.40	3.254	118430	108839
1000	2.614	3.564	0.735	18.72	3.021	109949	101045
1200	2.365	3.157	0.781	15.00	2.843	103472	95093
1400	2.341	2.809	0.822	13.37	2.701	96244	90335
1600	2.290	2.605	0.859	11.70	2.584	94020	86406
1800	2.153	2.410	0.894	10.40	2.484	90403	83082
2000	2.074	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	1.990	0.983	7.80	2.257	82145	75493
2600	1.905	1.890	1.010	7.20	2.198	79984	73507
2800	1.854	1.795	1.035	6.69	2.144	78034	71715
3000	1.817	1.715	1.059	6.24	2.096	76262	70086

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

PARA UNA DENSIDAD DE CARGA DE 1000 KVA/KM²

VOLTAJE DEL SISTEMA	23	34,5	KV
% DE REGULACION	3.02128	2.30629	%
ALIMENTADOR PRINCIPAL.	2.01895	2.99754	KM
ALIMENTADOR LATERAL.	3.56441	4.06944	KM
REL. DEL PRINC. AL LAT.	.734749	.041949	-*-
AREA DE CARGA CUBIERTA.	18.7235	28.0652	KM ²
CARGA DEL SISTEMA.	18723.5	28085.2	KVA
PERDIDAS TOTALES.	210994	241495	W

LA OPCION DE CALCULO DESEADA ES:

7

ESTA ES LA NOTINA DONDE SE REALIZAN LOS CALCULOS PARA DENSIDADES DE CARGA DE OCURRENCIA SIMULTANEA DE DIMITACIONES (POR 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 CARGO 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	.16
EL FACTOR DE IMPEDANCIA DEL ALIM. LATERAL EN OHM/KM ES	.86
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 :

989.863

KVA/KM²

EN ESTA PARTE DE LA RUTINA, SE CALCULA UNA TABLA EN LA QUE APARECEN 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/KM2
1.00	26726.30
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 QUE 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 CUBRIMIENTO 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

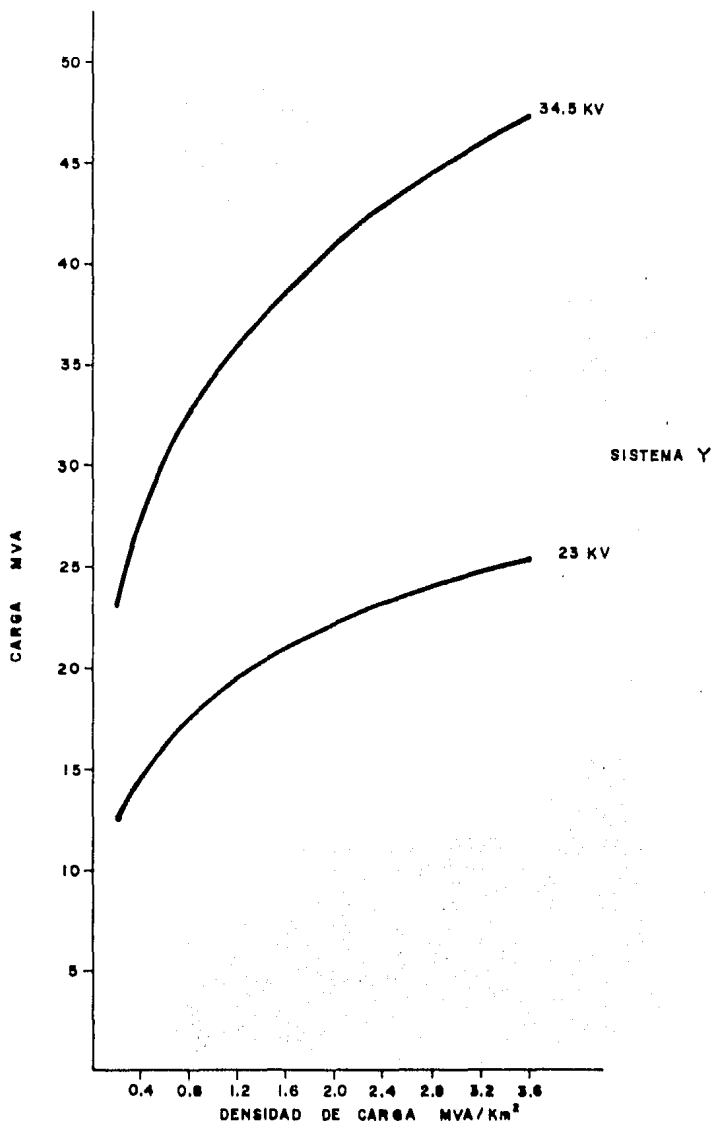
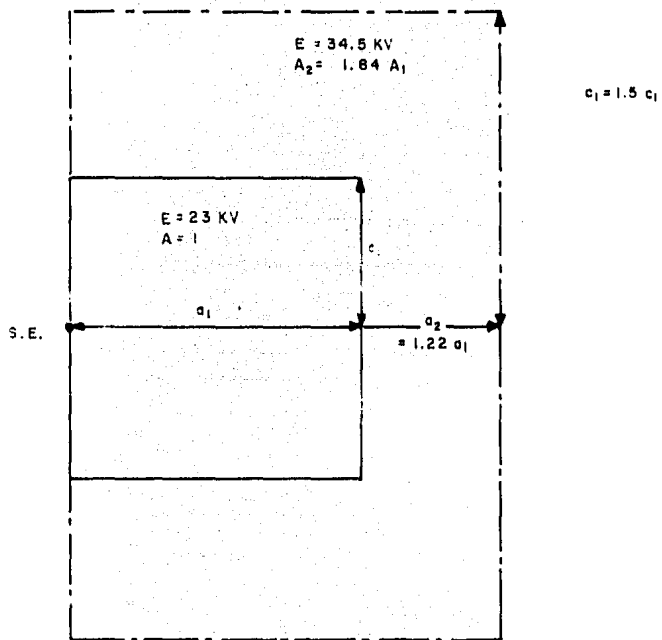
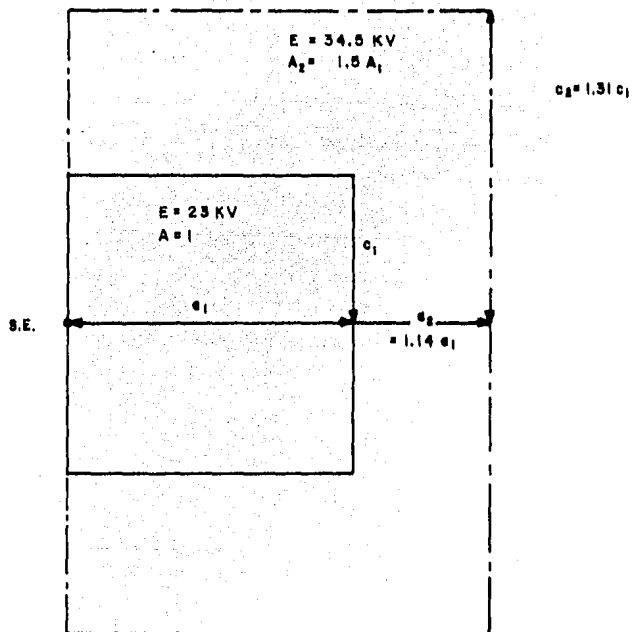


FIGURA 10



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

FIGURA 11



EXPANSION DEL AREA SERVIDA POR UN ALIMENTADOR
 (LIMITE TERMICO)

FIGURA 12

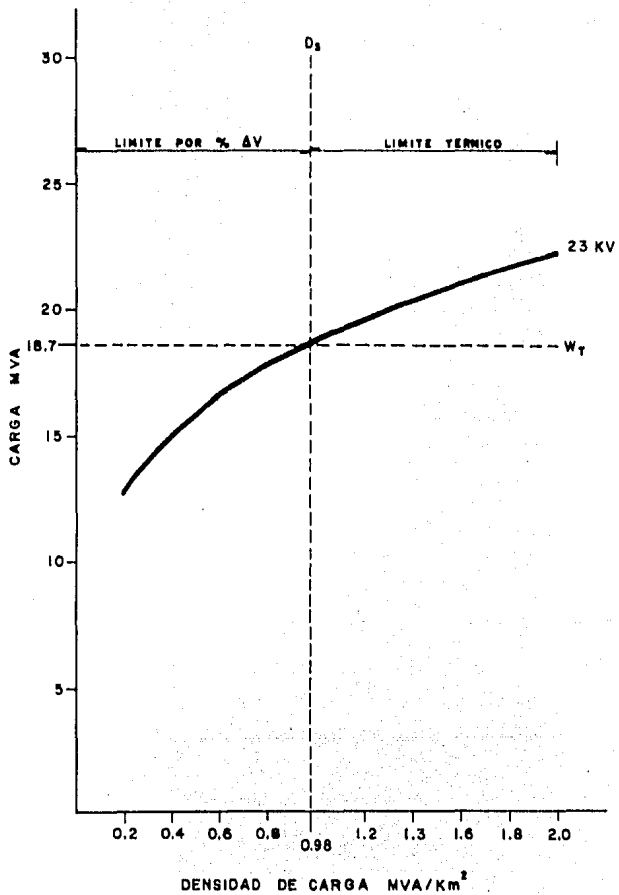


FIGURA 13

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.

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{34.5}{23} = 1.5 \quad ; \quad c_2 = 1.5 c_1$$

$$\frac{a_2}{a_1} = \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{0.5} = \left(\frac{34.5}{23} \right)^{0.5} = 1.22 \quad ; \quad a_2 = 1.22 a_1$$

$$\frac{a_2/c_2}{a_1/c_1} = \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{0.5} = \left(\frac{23}{34.5} \right)^{0.5} = 0.82 \quad ; \quad a_2/c_2 = 0.82 a_1/c_1$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{1.5} = \left(\frac{34.5}{23} \right)^{1.5} = 1.84 ; A_2 = 1.84 A_1$$

$$\frac{W_2}{W_1} = \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{1.5} = \left(\frac{34.5}{23} \right)^{1.5} = 1.84 ; W_2 = 1.84 W_1$$

b) Longitud de lateral constante.

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1.5 ; a_2 = 1.5 a_1$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1.5 ; A_2 = 1.5 A_1$$

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1.5 ; W_2 = 1.5 W_1$$

c) Relación a/c constante.

$$\frac{a_2}{a_1} = \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{0.66} = 1.31 ; a_2 = 1.31 a_1$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{1.33} = 1.71 ; A_2 = 1.71 A_1$$

$$\frac{W_2}{W_1} = \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{1.33} = 1.71 ; W_2 = 1.71 W_1$$

Para alimentadores limitados térmicamente, se tiene:

a.2) Mínimo porciento de caída de voltaje.

$$\frac{c_2}{c_1} = \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{0.66} = 1.31 \quad ; \quad c_2 = 1.31 c_1$$

$$\frac{a_2}{a_1} = \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{0.33} = 1.14 \quad ; \quad a_2 = 1.14 a_1$$

$$\frac{a_2/c_2}{a_1/c_1} = \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{0.33} = 0.87 \quad ; \quad a_2/c_2 = 0.87 a_1/c_1$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1.5 \quad ; \quad A_2 = 1.5 A_1$$

$$\frac{e_2}{e_1} = \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{0.66} = 0.77 \quad ; \quad e_2 = 0.77 e_1$$

b) Longitud de lateral constante.

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1.5 \quad ; \quad a_2 = 1.5 a_1$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1.5 \quad ; \quad A_2 = 1.5 A_1$$

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

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 encastrar nuestros esfuerzos para lograr los grandes beneficios de un sistema ideal.

BIBLIOGRAFIA

B I E 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^2R 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, Cfa. de Luz y Fuerza del Centro S.A.
- 8.- Apuntes sobre Sistemas de Distribución, Roberto Espinosa L. - UNAM.