R E D D E D I S T R I B U C I O N
D E
E N E R G I A E L E C T R I C A
D E L A
C I U D A D D E S A N T A R O S A

P R O V I N C I A D E E L O R O

(Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero en la especialización de Electricidad de la Escuela Politécnica Nacional)

por

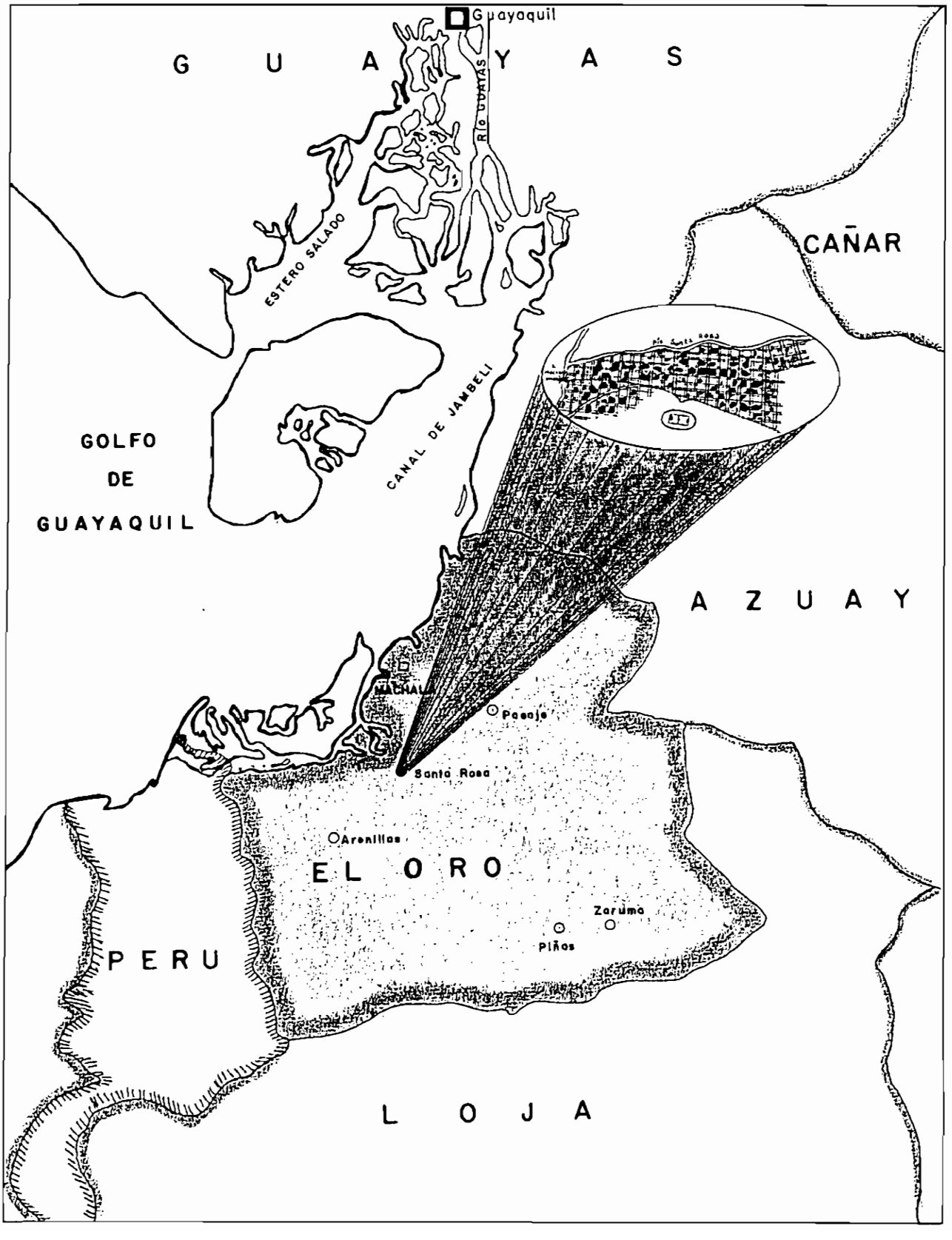
Jesús Patricio Morejón Gutiérrez

Quito Ecuador, Julio de 1964

Certifico que la presente Tesis sobre la Red de Distribución de Energía Eléctrica de la Ciudad de Santa Rosa en la Provincia de El Oro, ha sido elaborada por el Sr. Jesús Patricio Morejón Gutiérrez.

Quito, Ecuador 14 de Julio de 1964

Ing. Honorato Placencia
Director de Tesis


Guayaquil
G U A Y A S
Río Guayas
ESTERO SALADO
CAÑAR
CANAL DE JAMBELI
GOLFO
DE
GUAYAQUIL
A Z U A Y
MACHALA
Pasaje
Santa Rosa
Arenillas
EL ORO
Zaruma
Piñas
PERU
L O J A

El presente estudio sobre la Red de Distribución de Energía Eléctria de la Ciudad de Santa Rosa, contempla las necesidades de demanda de energía eléctrica presentes y futuras hasta el año de 1973.

En el capítulo primero se hace un análisis de la situación actual de la Planta y de la Red de Distribución de Energía Eléctrica del Municipio de la Ciudad de Santa Rosa, que a manera de introducción, hace comprender la necesidad de una mejora en el sistema de distribución actual.

En el segundo capítulo se estudia el incremento de la demanda de energía eléctrica para proyectar la nueva red de distribución. Debe considerarse la importancia de este capítulo ya que puede tomarse como base para futuros proyectos relacionados con la demanda de energía eléctrica en la Provincia de El Oro dentro del período comprendido en este estudio.

Finalmente, la nueva red de distribución de energia eléctrica de la Ciudad de Santa Rosa, su iluminación, y sus sistemas de protección, se estudian en el tercer capítulo de esta obra.

El método utilizado en este estudio ha consistido en determinar primeramente la demanda futura y con ella calcular el número promedio de watts por habitantes al final del período estudiado. Tomando en consideración

el número de habitantes por vivienda, se ha calculado la demanda promedio por consumidor.

Estos consumidores han sido clasificados en dos grupos. Uno de estos grupos se ha ubicado en la zona comercial de la Ciudad, en tanto que el otro grupo se ha situado alrrededor de esta zona.

La carga de estos consumidores y la de las lámpa ras que sirven para la iluminación de las calles, se han concentrado en los poste, para seleccionar mas tar de los calibres de conductores y las capacidades de transformadores mas conveniente, atendiendo a factores técnicos y económicos.

Despues de proyectar los sistemas de protección de sobrecorriente y sobrevoltaje, se ha calculado finalmente, el costo de los materiales.

El autor quiere dejar constancia de su agradeci miento al señor Julio L. Betancourt, Presidente del Ilustre Consejo Municipal de Santa Rosa, y al Secreta rio señor Voltaire Córdova, quienes con su entusiasta y decidida cooperación pusieron a su disposición todo el personal de la Planta Eléctrica, durante los cuatro dias de permanencia en la Ciudad.

Llegue a los señores José Raimundo Gimenez(Jefe de la Planta), Carlos Echeverría (Inspector de Luz) y Nelson Paredes, Marcelino Bernales y José Chuchuca, em pleados de la Planta Eléctrica del Municipio de la Ciu dad de Santa Rosa, el reconocimiento del autor por su eficaz colaboración.

A la Dra. Piedad Arcentales Calderón, funcionaria de la División de Industrias de la Junta Nacional de Planificación y Coordinación Económica, quiere el autor hacer llegar el testimonio de su gratitud, por la ayuda recibida en los cálculos estadísticos de la producción agrícola.

A la gentil colaboración de la Srta. Maria Elena Miño, actualmente encargada de la Biblioteca de la Escuela Politécnica Nacional, debe el autor la facilidad que siempre encontró para consultar alguno de los textos mencionados en esta Tesis.

Reciba el señor Fabian Torres el sincero reconocimiento por el cuidado y esmero que siempre puso al dibujar los gráficos y planos que aquí aparecen.

Finalmente quiere el autor consignar su mas profundo agradecimiento al que fué Director de esta Tesis, Ing. Honorato Placencia Caicedo, quien con su experiencia y paciente colaboración contribuyó a la culminación de esta obra.

Jesús Patricio Morejón Gutiérrez

INDICE GENERAL DE MATERIA

CAPITULO 1. Pag.

Estado Actual de la Planta y de la Red de Distribución de Energía Eléctrica de la Ciudad de Santa Rosa, provincia de El Oro.---------- 1.

1-1. Planta y Transformadores. 1.

1-2. Red de Distribución Actual.---------- 5.

CAPITULO 2.

Estudio de la demanda de energía eléctrica.---------- 10.

2-1. Influencia de la Agricultura en el desarrollo de la Energía Eléctrica en la Provincia de El Oro.- 10.

2-2. Posibles Industrias en la Provincia de El Oro.- 17.

2-3. Capacidad proyectada de las Plantas Eléctricas en la Provincia de El Oro. 18.

2-4. Porcentaje de aumento de la capacidad proyectada en la Provincia de El Oro. 19.

2-5. Capacidad de las Plantas de Energía Eléctrica en la Ciudad de Santa Rosa. 19.

2-6. Aumento de la Capacidad de las Plantas de Energía Eléctrica en la Ciudad de Santa Rosa.---------- 21.

2-7. Crecimiento de la Población de Santa Rosa en un período de diez años a partir del año de 1963.------ 23.

2-8. Planes futuros de vivienda en la Ciudad de Santa Rosa. 25.

2-9. Carga conectada declarada de Luz Fija en la Ciudad de Santa Rosa.---------- 26.

2-10. Muestra de la Carga Real conectada de Luz Fija en la Ciudad de Santa Rosa. 26.

2-11. Porcentaje de carga conectada no declarada por los consumidores con tarifa de Luz Fija.---------- 27.

2-12. Carga conectada actual en la Ciudad de Santa Rosa. 28.

2-13. Carga conectada en la Ciudad de Santa Rosa al instalar la nueva red de distribución de energía eléctrica.---------- 30.

2-14. Demanda máxima en la Ciudad de Santa Rosa.---------- 30.

2-15. Demanda Diversificada. 31.

2-16. Capacidad que debe tener la Planta Eléctrica del Municipio de la Ciudad de Santa Rosa, al instalar la nueva red de distribución de energía eléctrica a principios de el año de 1964.--------- 32.

2-17. Ejemplos de aumento de consumo en Ciudades del Ecuador cuyos sistemas de distribución de energía eléctrica ha sido mejorado.---------- 33.

2-18. Carga conectada en la Ciudad de Santa Rosa al final del año de 1973.----- 34.

2-19. Carga conectada promedio por consumidor en la Ciudad de Santa Rosa al final del año de 1973.---- 34.

2-20. Demanda máxima promedio por consumiddor en la Ciudad de Santa Rosa al final del año de 1973.----- 35.

2-21. Demanda diversificada promedio a nivel de los transformadores de distribución al final del año de 1973.- 35.

CAPITULO 3.

Red de distribución de energía Eléctrica.---------- 36.

3-1. Circuito secundario de Distribución.--------- 39.

3-2. Calibre de conductor en el circuito de distribución secundaria.------- 40.

3-3. Fórmula de la Caida de Tensión en la Línea de Distribución Secundaria. 40.

3-4. Cálculo del valor de la corriente de carga.---- 41.

3-5. Cálculo del valor de la Impedancia Equivalente de la Línea.---------- 42.

3-5.1. Impedancia Equivalente de un conductor de cobre desnudo "hard Drawn" de calibre #4 AWG de 7 h. 42.

3-5-2. Impedancia Equivalente de un conductor de cobre desnudo "hard drawn" de calibre #2 AWG de 7 h. 43.

3-6. Método seguido para calcular la longitud de circuito secundario servido por un transformador.-------- 44.

3-7. Cálculo de la capacidad del transformador de distribución secundaria.--- 48.

3-8. Consideración del factor económico para determinar el calibre de conductor para la distribución secundaria.---- 49.

3-9. Circuito Primario de Distribución.------- 52.

3-10. Separación entre los con ductores del circuito pri mario de distribución u- sando conductor de cobre desnudo "hard drawn" de ca libre #6 AWG de 1 hilo.--- 52.

3-11. Caida de voltaje en el A- limentador primario con cable de cobre desnudo "hard drawn" de calibre # 6 AWG de 1 hilo.------- 61.

3-12. Separación entre los con- ductores del circuito pri mario de distribución u- sando conductor de cobre desnudo "hard drawn" de ca libre #4 AWG de 7 hilos.-- 66.

3-13. Caida de voltaje en el A- limentador primario con cable de cobre desnudo "hard drawn" de calibre # 4 AWG de 7 hilos.------ 74.

3-14. Selección del calibre de conductor para la red de alta tensión y separación de los mismos. ---------- 76.

3-15. Red de alumbrado público. 77.

3-16. Cálculo de la Iluminación. 84.

3-17. Control de Alumbrado Públi co.---------- 92.

3-18. Potencia que debe suministrar la Planta Eléctrica de la Ciudad de Santa Rosa para satisfacer la demanda del año de 1973.--- 94.

3-19. Número de luminarias a instalarse en la Ciudad de Santa Rosa y porcentaje de potencia dedicado a la iluminaciónpública. 95.

3-20. Análisis del porcentaje de potencia dedicado a la iluminación pública.----- 96.

3-21. Capacidad de la Planta Eléctrica de la Ciudad de Santa Rosa para satisfacer la demanda proyectadapara el año de 1973.------ 97.

3-22. Tipo de transformadores y conexión de los mismos en la Ciudad de Santa Rosa.- 99.

3-23. Sistema de protección de sobrecorriente.--------- 101.

3-23-1. Cálculo de las resistencias y reactancias en el diagrama unifilar de distribución primaria. 104.

3-23-2. Corriente de corto circuito.---------- 110.

3-24. Cálculo de las corrientes de corto circuito.------- 113.

3-25. Características generales de los equipos de protec-

ción de sobrecorriente.-- 149.

3-26.Resumen de los valores de las corrientes máximas y mínimas de corto circuito, Factores de multiplicación Corrientes asimétricas de interrupción, y corriente nominal en cada uno de los puntos en los cuales se co locarán equipos de protec ción de sobrecorriente.--- 153.

3-27.Selección de los equipos de protección de sobreco rriente para la red de distribución primaria de la Ciudad de Santa Rosa. 155.

3-28.Características generales de los equipos de protec- ción de sobrevoltaje.---- 167.

3-29.Selección de los equipos de protección de sobrevoltaje. 171.

3-30.Altura de los postes en la Ciudad de Santa Rosa.----- 172.

3-31.Cálculo mecánico de los apoyos.---------- 181.

3-31-1.Cálculo del esfuerzo a que se somete el poste cuando sobre él y sus elementos se ejerce la presión de un viento de 60 millas por hora.---- 182.

3-31-2.Cálculo de la resistencia a la compresión del poste

producida por el peso de los conductores, aisladores y crucetas.--------- 188.

3-32. Cálculo de la tensión mecánica de los tensores.--------- 192.

LISTA DE MATERIALES Y COSTO TOTAL ESTIMADO.---------- 194.

BIBLIOGRAFIA.---------- 202.

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico No.2-1.	Aumento de la capacidad de las Plantas Eléctricas en la Provincia de El Oro.----------	20.
Gráfico.No.2-2.	Aumento de la capacidad de las Plantas Eléctricas en la Ciudad de Santa Rosa.----------	22.
Gráfico No.3-1.	Esquema del empalme de los postes de madera.--	38.
Gráfico No.3-2.	Distribución de los conductores de baja tensión en el "rack".----------	38.
Gráfico No.3-3.	Representación de una línea trifásica de distribución para ilustrar el método de momentos en el cálculo de la caida máxima de tensión establecida.----------	45.
Gráfico No.3-4.	Separación entre los conductores de alta tensión.	62.
Gráfico No.3-5.	Brazo soporte de la luminaria.----------	81.
Gráfico No.3-6.	Diagramas de isocandelas y de distribución de luz de las luminarias HRT 12 de la Philips.----------	82.

Gráfico No.3-7. Reles de accionamiento en cascada.---------- 93.

Gráfico No.3-8. Diagrama unifilar de la conexión de los generadores y transformadores en la Planta Eléctrica del Municipio de la Ciudad de Santa Rosa.----- 100.

Gráfico No.3-9. Diagrama unifilar de la red de distribución primaria de la Ciudad de Santa Rosa con conductores de cobre desnudo "hard drawn" y con espaciamiento equivalente de 2 pies. Característica de los equipos eléctricos, localización de los equipos de protección de sobrecorriente y potencia máxima que pueden llevar los conductores, segun la interconexión que se haga.--- 105.

Gráfico No.3-10. Diagrama unifilar con los valores de impedancia referidos a la base de 300 KVA y expresados en por ciento.---------- 111.

Gráfico No.3-11. Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito, con los valores de las impedancias expresados en por ciento, la carga de la Ciudad repartida entre los Alimentadores A y B, y en funcionamiento el Generador G_1. ---------- 116.

Gráfico No.3-12. Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresadas en por ciento, la carga de toda la Ciudad a través del Alimentador A y en funcionamiento el Generador G_1. 122.

Gráfico No.3-13. Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresadas en por ciento, la carga de la Ciudad a través del Alimentador B y en funcionamiento el Generador G_1.---- 125.

Gráfico No.3-14. Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresados en por ciento, la carga de la Ciudad repartida entre los Alimentadores A y B y en funcionamiento el Generador G_2. ---------- 127.

Gráfico No.3-15. Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresados en por ciento, la carga de toda la Ciudad a través del Alimentador A y en funciona-

miento el Generador G_2. 134.

Gráfico No.3-16. Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresados en por ciento, la carga de toda la Ciudad a través del Alimentador B y en funcionamiento el Generador G_2. 136.

Gráfico No. 3-17. Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresados en por ciento, la carga de la Ciudad repartida entre los Alimentadores A y B, y en funcionamiento los Generadores G_1 y G_2 .------ 139.

Gráfico No.3-18. Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresados en por ciento, la carga de toda la Ciudad a través del Alimentador A, y en funcionamiento los Generadores G_1 y G_2. ---------- 145.

Gráfico No.3-19. Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias ex-

presados en por ciento, la carga de toda la Ciudad a través del Alimentador B y en funcionamiento los Generadores G_1 y G_2. ---------- 148.

Gráfico No.3-20. Relación entre los valores efectivos asimétricos y simétricos de las corrientes de corto circuito en función del factor de potencia o de la relación X/R del circuito de distribución, segun el acuerdo de la Junta de Secciones del Comité de NEMA. ---------- 152.

Gráfico No.3-21. Curvas de Tiempo-Corriente de los equipos de protección de sobrecorriente de la Red de Distribución de Alta Tensión.--------- 157.

Gráfico No.3-22. Diagrama de conexión de los fusibles en la conexión Delta del lado primario de los transformadores de la Ciudad de Santa Rosa.---------- 166.

Gráfico No.3-23. Curvas para explicar la protección de sobrevoltaje.---------- 168.

Gráfico No.3-24. Conexión de "tres puntos" para aterramiento de los pararrayos, y equipo que protege.---------- 168.

Gráfico No.3-25. Base de poste de madera. 173.

Gráfico No.3-26. Poste con baja tensión. 174.

Gráfico No.3-27. Poste con alta y baja tensión sin cruceta ramal.---------- 175.

Gráfico No.3-28. Poste con alta y baja tensión con cruceta ramal.---------- 176.

Gráfico No.3-29. Torre de Transformador. 177.

Gráfico No.3-30. Tensor Vertical. 178.

Gráfico No.3-31. Tensor de Ancla. 179.

Gráfico No.3-32. Tensor con Rail. 180.

Gráfico No.3-33. Localización de las fuerzas que actuan en un poste con líneas de alta y baja tensión y con cruceta ramal, para el cálculo del momento flector en la sección de empotramiento.---------- 187.

INDICE DE CUADROS

		Pag.
Cuadro No.1-1.	Característica de los grupos de generación de la Ciudad de Santa Rosa.----------	2.
Cuadro No.1-2.	Transformadores el la Ciudad de Santa Rosa.	3.
Cuadro No.1-3.	Tiempo de funcionamiento de los grupos de generación de la Ciudad de Santa Rosa.--------	4.
Cuadro No.1-4.	Capacidad, Voltajes promedio y número de acometidas de los transformadores de distribución secundaria instalados actualmente en la Ciudad de Santa Rosa.----------	8.
Cuadro No.2-1.	Producción agrícola de la Provincia de El Oro de productos cultivados en el Cantón de Santa Rosa y Capacidad de las Plantas Eléctricas instaladas en la Provincia.	12.
Cuadro No.2-2.	Producción agrícola anual de la Provincia de El Oro en miles de quintales.----------	13.

Cuadro No.2-3. Proyección de la Producción agrícola en miles de quintales por año, hasta el año de 1973.---------- 14.

Cuadro No.2-4. Desarrollo anual de la capacidad de las Plantas Eléctricas en función de la Producción Agrícola en la Provincia de El Oro.-------- 17.

Cuadro No.2-5. Relación de las posibles industrias que se instalaran en la Provincia de El Oro en el período de 1963 a 1967 con la posible carga conectada.---------- 18.

Cuadro No.2-6. Relación de las Plantas Eléctricas en la Ciudad de Santa Rosa en 1963.- 21.

Cuadro No.2-7. Estimado del número de habitantes de la Ciudad de Santa Rosa por año, hasta 1973.---------- 24.

Cuadro No.2-8. Carga conectada declarada de Luz Fija en la Ciudad de Santa Rosa.-- 27.

Cuadro No.2-9. Muestra tomada de 94 consumidores de Luz Fija para determinar su carga conectada.------- 28.

Cuadro No.2-10. Muestra tomada de 94 consumidores en el Libro Matriz del Catastro de Luz Fija del Municipio de Santa Rosa, con selección de cinco en cinco segun el orden en que aparecen.--- 29.

Cuadro No.2-11. Ejemplos de aumento de consumo en Ciudades del Ecuador al mejorar el sistema de distribución de Energía Eléctrica.-- 34.

Cuadro No.3-1. Iluminación media para vias urbanas.--------- 78.

Cuadro No.3-2. Característica de la combinación Lámpara HPL,"Ballast" y Condensador.--- 83.

Cuadro No.3-3. Tiempo de operación de los equipos de protección de sobrecorriente de la línea de distribución primaria, cuando está en funcionamiento el Generador G_1 y cuando la carga de toda la Ciudad se reparte a través de los Alimentadores A y B, o a través del Alimentador A solamente.---------- 162.

Cuadro No.3-4. Tiempo de operación de los equipos de protección de sobrecorriente de la línea de distribución primaria, cuando está en funcionamiento el Generador G_2 y cuando la carga de toda la Ciudad se reparte a través de los Alimenta

dores A y B, o a través
del Alimentador A sola
mente.---------- 163.

Cuadro No.3-5. Tiempo de operación de
los equipos de protección
de sobrecorriente de la
línea de distribución ppi
maria, cuando estan en fun
cionamiento los generadores
G_1 y G_2 y cuando la carga
de toda la Ciudad se repar
te a través de los Alimenta
dores A y B, o a través del
Alimentador A solamente.--- 164.

Cuadro No.3-6. Altura mínima de separación
de los conductores del nivel
del suelo.---------- 173.

-
.

PLANOS Y DETALLES DE CONSTRUCCION

El Plano de la Ciudad de Santa Rosa en la Provincia de El Oro, fue sacado de una copia reducida del plano de la Junta de Reconstrucción de El Oro levantado por el Ing.Alban en escala 1:2000, el cual fué suministrado por el departamento de Obras Sanitarias del Servicio Cooperativo Interamericano de Salud Pública.

Tambien se utilizó una fotografía aérea tomada a 10000 metros de altura por miembros del Instituto Geográfico Militar, quienes facilitaron a la Escuela Politécnica Nacional una ampliación de la misma en escala 1:3300, con el fin de elaborar los planos que servirían para hacer el trazado de las líneas de distribución de energía eléctrica de dicha Ciudad.

Los detalles de construcción que aquí aparecen son los utilizados actualmente por la Empresa Eléctrica de Quito S.A.

CAPITULO 1

ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA Y DE LA RED DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA DE LA CIUDAD DE SANTA ROSA, PRO - VINCIA DE EL ORO.

1-1. PLANTA Y TRANSFORMADORES.

La Planta Eléctrica de la Ciudad de Santa Rosa, que es propiedad del Municipio, tiene dos grupos de ge neración de energía eléctrica con las características mostradas en el cuadro No. 1-1.

La potencia total de la Planta es de 205KVA, y existen dos transformadores para elevar el voltaje de generación a 6600 voltios, los cuales sirven con circui tos independientes a los transformadores de distribución secundaria, como se muestra en el cuadro No. 1-2.

En la Ciudad de Santa Rosa la energía eléctrica se sirve desde las 6.00 pm. hasta las 7.00 am. del día siguiente. Durante este período, el tiempo de funcionam miento de los grupos de generación se distribuye en la forma mostrada en el cuadro No. 1-3.

Cuando a las 11.00 pm. deja de funcionar el grupo # 2, toda la carga del transformador II es pasada al transformador I que queda en servicio hasta las 7.00 am. del día siguiente.

CUADRO Nº I-I

CARACTERISTICAS DE LOS GRUPOS DE GENERACION DE LA CIUDAD DE SANTA ROSA

REF.	MOTOR				GENERADOR						
GRUPO	MARCA	PAIS	POTENCIA EN C.V.	VELOCIDAD EN R.P.M.	MARCA	PAIS	POTENCIA EN KVA.	FACTOR DE POTENCIA	TENSION EN VOLTIOS	FRECUENCIA	Nº DE FASES
1	MWM	Alemania	180	450	STILL	Alemania	150	0.8	230	60	3
2	POLAR	Suecia	70	300	ASEA	Suecia	55	0.8	400	60	3

CUADRO Nº 1-2

TRANSFORMADORES EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA

REFERENCIA	TRANSFORMADORES DE ELEVACION				TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION			
	Nº DE TRANSFORMADORES.	KVA	FASE	TENSION EN VOLTIOS	Nº DE TRANSFORMADORES	KVA	FASE	TENSION EN VOLTIOS
I	1	125	3	6600 / 220	1 2 1 1	12 20 24 36	3 3 3 3	6600 / 231 6600 / 220 6600 / 231 6600 / 231
II	1	30	3	6600 / 400	1 1	20 24	3 3	6600 / 220 6600 / 231

CUADRO Nº 1-3

TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS GRUPOS DE GENERACION DE LA CIUDAD DE SANTA ROSA

GRUPO	ARRANCADA	PARADA
1	6.00 p.m.	7.00 a.m.
2	6.00 p.m.	11.00 p.m.

Fuera de los instrumentos existentes en los tableros de control, no existe en la Planta Eléctrica instrumentos de medida. Todas las operaciones se realizan manualmente ya que:

a)- Los controles automáticos de presión de aceite y temperatura del agua de enfriamiento de los motores, no funcionan.

b)- El sistema de protección de sobrecorriente está dañado y el regulador de voltaje no funciona.

1-2. RED DE DISTRIBUCION ACTUAL.

En la Ciudad de Santa Rosa la red de distribución de energía eléctrica está sujetada por aisladores de alfiler que en ganchos curvos se fijan a los postes de madera. Estos postes tienen una sección cuadrada de 20 cm. y están empalmados. La parte inferior de los mismos es de Guayacán y la superior de Sota. La apariencia que tienen es buena y según información del Jefe de la Planta existen algunos que llevan mas de doce años de instalados. Sin embargo, es de observar que muchos de los terminales de línea no tienen en los postes cable tensor, lo cual hace que casi todos ellos esten rajados por el empalme.

RED DE ALTA TENSION: El sistema de distribución primario es en forma radial, aérea y trifásico de tres conductores, con voltajes de 6600 voltios. Su longitud es de 3.20 Km. en cable de cobre #6 AWG sin aislamiento.

RED DE BAJA TENSION: El sistema de distribución secundario es en forma radial, aérea y trifásico de cuatro conductores, con voltajes de 220/127 voltios y 231/133 voltios. Su longitud es de 10.00 Km. en cable de cobre # 8, # 10 y # 12 AWG, con aislamiento.

OBSERVACIONES:

a)- Es de observar que no toda el area de la Ciudad está cubierta por la red de distribución actual, por lo cual, muchos de sus habitantes se ven privados de este servicio.

b)- La altura mínima recomendada sobre el nivel del suelo, para las líneas de distribución secundaria, no siempre se cumple, como ocurre en la calle Quito entre Olmedo y Sucre, por citar una.

c)- En muchas zonas de la Ciudad las líneas de distribución secundarias se calientan tanto, que se estiran hasta unirse unas con otras, formando corto cincuitos. Por esta razón, están separadas por listones en algunos puntos de la Ciudad, o les han colgado piedras para que al tener mayor peso, la separación entre dos líneas se haga mayor impidiendo los corto circuitos por estiramiento de los materiales.

d)- Existen zonas como las del Puerto, en las cuales el voltaje medido en el extremo de una de las líneas de distribución secundaria es de cincuenta voltios.

e)- Puede observarse que a la hora de máxima demanda, la luminosidad de las lámparas incandescentes disminuye, en tanto que las lámparas fluorescentes y los radios no funcionan.

VOLTAJE PROMEDIO A LA HORA DE MAXIMA DEMANDA: Con el objeto de determinar el voltaje promedio de distribución a la hora de máxima demanda de la Planta de energía eléctrica de la Ciudad de Santa Rosa, se tomaron lecturas de voltaje en los bornes de los transformadores de distribución y en la mitad y en el extremo de los circuitos secundarios.

El nombre con que se disigna a estos transformadores, sus capacidades, voltajes promedio y número de las acometidas que tienen, se muestran en el cuadro No.1-4., en donde ademas se determina que el voltaje promedio de distribución de la Ciudad de Santa Rosa, a la hora de máxima demanda es de 84 voltios.

AUTOPRODUCTORES DE ENERGIA ELECTRICA: Debido a la falta de continuidad en el servicio, y a la mala distribución de este, algunos de los habitantes de la Ciudad de Santa Rosa, poseen sus propias Plantas Eléctricas, alcanzando estas una potencia total de 46 KW.

ALUMBRADO PUBLICO: El alumbrado público en la Ciudad de Santa Rosa es muy deficiente. No podría decirse que el nivel de iluminación de las calles es muy bajo, puesto que la gran mayoría de las mismas permanecen a obscuras, iluminadas de vez en cuando, por el foco que algún vecino coloca sobre la puerta de su casa.

En el centro de la Ciudad, alrrededor del Parque, focos de 110 voltios y 220 voltios, conectados directamente a las líneas de distribución secundarias, sirven para el alumbrado público.

Debido a que la Planta Eléctrica presta servicio

CUADRO Nº 1-4*

CAPACIDAD, VOLTAJES PROMEDIO Y NUMERO DE ACOMETIDAS DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION SECUNDARIA INSTALADOS ACTUALMENTE EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA

NOMBRE	CAPACIDAD	VOLTAJE PROMEDIO	ACOMETIDAS
PLANTA	12 KVA	86 VOLTIOS	37
ATILIO	36 "	91 "	123
PATA DE MAZO	20 "	86 "	35
MERCADO	20 "	88 "	71
ECUADOR	20 "	88 "	73
24 DE MAYO	24 "	82 "	98
PUERTO	24 "	82 "	112

Para calcular el voltaje promedio de distribución se aplica la fórmula:

$$T_1 A_1 + T_2 A_2 + T_3 A_3 + \cdots\cdots\cdots = T\Sigma A_i$$

T_i = Voltaje promedio de un transformador.
A_i = Número de acometidas de un transformador.
T = Voltaje promedio del sistema de distribución secundaria

Sustituyendo valores:

$$(86 \times 37) + (91 \times 123) + (86 \times 35) + (88 \times 71) + (88 \times 73) + (82 \times 98) + (82 \times 112) = 549\,T$$

$$T = \frac{46277}{549} = 84.3 \text{ Voltios}$$

* NOTAS: 1.- En Santa Rosa a los transformadores se les reconoce por el nombre del barrio donde se encuentran ubicados o del dueño de la casa frente a la cual estan situados.

2.- De una acometida se sirven varios consumidores.

desde las 6.00pm. hasta las 7.00 am. del día siguiente, no se hace necesario el empleo de un conductor de alumbrado público. No obstante esto, puede verse en algunas zonas de la Ciudad, un conductor que servía para este efecto, cuando le vendieron al Municipio cuatro relojes eléctricos marca FR. SAUTER S.A. tipo ZE 15 I, para regular el alumbrado público, y que no pudieron hacer funcionar correctamente ya que como es sabido necesitan tener un servicio de energía eléctrica ininterrumpido.

CONCLUSION: De más está decir que en un sistema de distribución de energía eléctrica, en donde la pérdida de voltaje es del orden de 30% del voltaje nominal de distribución, gran parte de la energía generada se pierde en calentar las líneas de distribución.

El diseño de una nueva red de distribución de energía eléctrica que contemple las necesidades presentes y futuras de la Ciudad de Santa Rosa, eliminaría los perjuicios que trae consigo la actual distribución, tanto para el productor como para el consumidor, brindando la oportunidad de un mejor desarrollo económico para la zona.

Es esta la justificación de este trabajo en el que se proyecta la nueva red de distribución de energía eléctrica para la Ciudad de Santa Rosa en la Provincia de El Oro, hasta el final del año de 1973.-

CAPITULO 2

ESTUDIO DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA

2-1. INFLUENCIA DE LA AGRICULTURA EN EL DESARROLLO DE LA ENERGIA ELECTRICA EN LA PROVINCIA DE EL ORO.

La actividad económica de la Ciudad de Santa Rosa en la Provincia de El Oro, es la agricultura en un (90%) mientras que el resto de su actividad es el comercio.(1)

Por esta razón, el desarrollo futuro de esta región estará íntimamente ligado a los productos de la tierra.

La demanda de energía eléctrica se incrementará por tanto, con el aumento del ingreso "per cápita" de la zona y será posible predecir con cierta aproximación esta demanda, tomando en cuenta el desarrollo de la producción agrícola.

---(1). Servicio Cooperativo Interamericano de Salud Pública. "Encuesta Sanitaria Nacional de 1961" 2 Tomos. Primera Edición. Quito Ecuador, 1961. Tomo II, pag. 254.

Los datos estadísticos de la producción agrícola en la Provincia de El Oro, brindan una oportunidad para hacer esta predicción, como puede apreciarse en el cuadro No. 2-1.

Para hacer esta predicción se supone:

a)- Que el aumento de la producción de cada producto considerado, se incrementará al mismo rítmo de crecimiento que ha mantenido desde 1954 a 1962.

b)- Que el ingreso por unidad de cada uno de los productos considerados ha de permanecer invariable.

Dadas estas condiciones, se puede sumar la producción en quintales de cada uno de los productos producidos en un año, considerándolos como una unidad de producción anual.

CUADRO No. 2-1. (1)

PRODUCCION AGRICOLA DE LA PROVINCIA DE EL ORO, DE PRODUCTOS CULTIVADOS EN EL CANTON DE SANTA ROSA Y CAPACIDAD DE LAS PLANTAS ELECTRICAS INSTALADAS EN LA PROVINCIA.

Productos	Años	Capacidad Instalada en KW.	Producción en quintales
	1954	2300	46100
CACAO	1957	3954	51600
	1962	4400	180000
	1954	2300	46300
CAFE	1957	3954	74200
	1962	4400	64000
	1954	2300	3597300 (2)
BANANO	1957	3954	6712000
	1962	4400	7087500 (2)
	1954	2300	145000 (3)
PLATANO	1957	3954	492000 (3)
	1962	4400	1950000 (3)
	1954	2300	1331
TABACO	1957	3954	2606 (4)
	1962	4400	8000

___(1). Oficina Permanente de Estadísticas Agropecuarias.

CUADRO No. 2-2.

PRODUCCION AGRICOLA ANUAL DE LA PROVINCIA DE EL ORO EN MILES DE QUINTALES.

Años	Producción
1954	3836
1957	7332
1962	9289

Aplicando la tasa logarítmica de crecimiento a la producción agrícola anual en miles de quintales entre los años de 1954 y 1962, se determina el porcentaje de incremento anual. Esto, permite proyectar la serie de - producción agrícola hasta el año de 1973 tal como se muestra en el cuadro No. 2-3.

—— . "Censo Agropecuario Nacional de 1954". Quito, Ecuador, 1956.
"Resultados de la Investigación General Agropecuaria de 1957". Quito Ecuador, 1958.
Ministerio de Fomento. Dirección General de Agricultura. "Producción Agrícola del Ecuador en el año 1962". Quito, Ecuador, 1963.

——(2). Calculado a razón de: Un racimo igual a 70 libras según dato de la Junta Nacional de Planificación.

——(3). Calculado a razón de: Un racimo igual a 50 libras según dato de la Junta Nacional de Planificación.

——(4). Sacado de la tasa logarítmica de crecimiento desde 1954 hasta 1962.

$P_2 = P_1 (1+i)^n$

$9289 = 3836 (1+i)^8$

$\log 9289 - \log 3836 = 8 \log (1+i)$

$3.9680 - 3.5834 = 8 \log (1+i)$

$0.3846 = 8 \log (1+i)$

$\log (1+i) = 0.0480$

$(1+i) = 1.117$

$i = 0.117$

$\therefore \; i = 11.7 \%$

CUADRO No. 2-3.

PROYECCION DE LA PRODUCCION AGRICOLA EN MILES DE QUINTALES POR AÑO, HASTA EL AÑO DE 1973.

Años	Producción
1954	3836
1957	7332
1962	9290
1963	10378
1964	11593
1965	12951
1966	14467
1967	16161
1968	18053
1969	20167
1970	22528
1971	25166
1972	28113
1973	31405

Por medio de la ley de los Mínimos Cuadrados se relaciona la capacidad de las Plantas Eléctricas con la producción agrícola.

Sea:

X = producción agrícola anual.

Y = capacidad de las Plantas Eléctricas.

La ecuación de primer grado será de la forma:

$$Y = aX + b$$

Las tres ecuaciones que se forman son:

$$2300 = 3836\ a + b$$

$$3954 = 7332\ a + b$$

$$4400 = 9290\ a + b$$

Sea:

A = coeficiente de a.

B = coeficiente de b.

C = término conocido.

Las ecuaciones normales serán:

Año	A.A	A.B	A.C
1954	14'714,896	3836	8'822,800
1957	53'758,224	7332	28'990,728
1962	86'304,100	9290	40'876,000
	154'777,220	20458	78'689,528

$$154'777,220\ a + 20458\ b = 78'689,528 \qquad (2-1)$$

Año.	B.A	B.B	B.C
1954	3836	1	2300
1957	7332	1	3954
1962	9290	1	4400
	20458	3	10654

$$20458\ a + 3\ b = 10654 \qquad (2\text{-}2)$$

Eliminando b en las ecuaciones (2-1) y (2-2) se tiene:

$$217'959,532 = 418'529,764\ a + 61,374\ b$$
$$236'068,584 = 464'331,660\ a + 61374\ b$$

Restando:

$$18'109,052 = 45'801,896\ a$$
$$a = 0.3954$$

Resolviendo:

$$10654 = 8089 + 3\ b$$
$$b = 855$$

De donde:

$$Y = 0.3954\ X + 855$$

Ecuación que dá el valor de la capacidad de las Plantas Eléctricas en función de la producción agrícola.

El desarrollo anual de la producción agrícola y la capacidad de las Plantas Eléctricas se muestran en el cuadro No. 2-4.

CUADRO No. 2-4.

DESARROLLO ANUAL DE LA CAPACIDAD DE LAS PLANTAS ELECTRICAS EN FUNCION DE LA PRODUCCION AGRICOLA, EN LA PROVINCIA DE EL ORO.

Años	Producción Agrícola en 1000 qq.(X)	Capacidad de las Plantas Eléctricas en KW. (Y)
1954	3836	2300
1957	7332	3954
1962	9290	4400
1963	10378	4958
1964	11593	5439
1965	12951	5976
1966	14467	6575
1967	16161	7245
1968	18053	7993
1969	20167	8829
1970	22528	9762
1971	25166	10806
1972	28113	11971
1973	31405	13273

2-2. POSIBLES INDUSTRIAS EN LA PROVINCIA DE EL ORO.

Según datos suministrados por la Sección de Industrias de la Junta Nacional de Planificación y Coordinación Económica, en la Provincia de El Oro se proyectan

instalar varias industrias en el período comprendido en tre los años de 1963 y 1967.

Dichas industrias y la carga conectada que tendrán se muestran en el cuadro No. 2-5.

CUADRO No. 2-5.

RELACION DE LAS POSIBLES INDUSTRIAS QUE SE INSTALARAN EN LA PROVINCIA DE EL ORO EN EL PERIODO DE 1963 a 1967, CON LA POSIBLE CARGA CONECTADA.

Nombre	Carga Conectada
Fábrica de Hielo	46 KW
Cristalería	60 KW
Casas Prefabricadas	120 KW
Cajas de Cartón Corrugado	360 KW
TOTAL INDUSTRIAS.....	586 KW

2-3. CAPACIDAD PROYECTADA DE LAS PLANTAS ELECTRICAS EN LA PROVINCIA DE EL ORO, PARA 1973.

Sumando la capacidad proyectada que originará el incremento de la producción agrícola, y la que causará la creación de las nuevas industrias, se obtiene la ca pacidad proyectada total, para el final del año de 1973.

Esta capacidad proyectada total tiene un valor de

13,859 KW, que se ajusta a 14,000 KW.

En el gráfico No. 2-1, se muestra el aumento de la capacidad de las Plantas Eléctricas en la Provincia de El Oro desde 1947 hasta 1962. Tambien aparece en línea rayada, la capacidad proyectada para 1973.

2-4. PORCENTAJE DE AUMENTO DE LA CAPACIDAD PROYECTADA EN LA PROVINCIA DE EL ORO.

Puede apreciarse que el aumento de la capacidad proyectada para un período de llaños, comprendidos entre 1962 y 1973, es de 317%, lo que equivale al 11.1% de incremento anual.

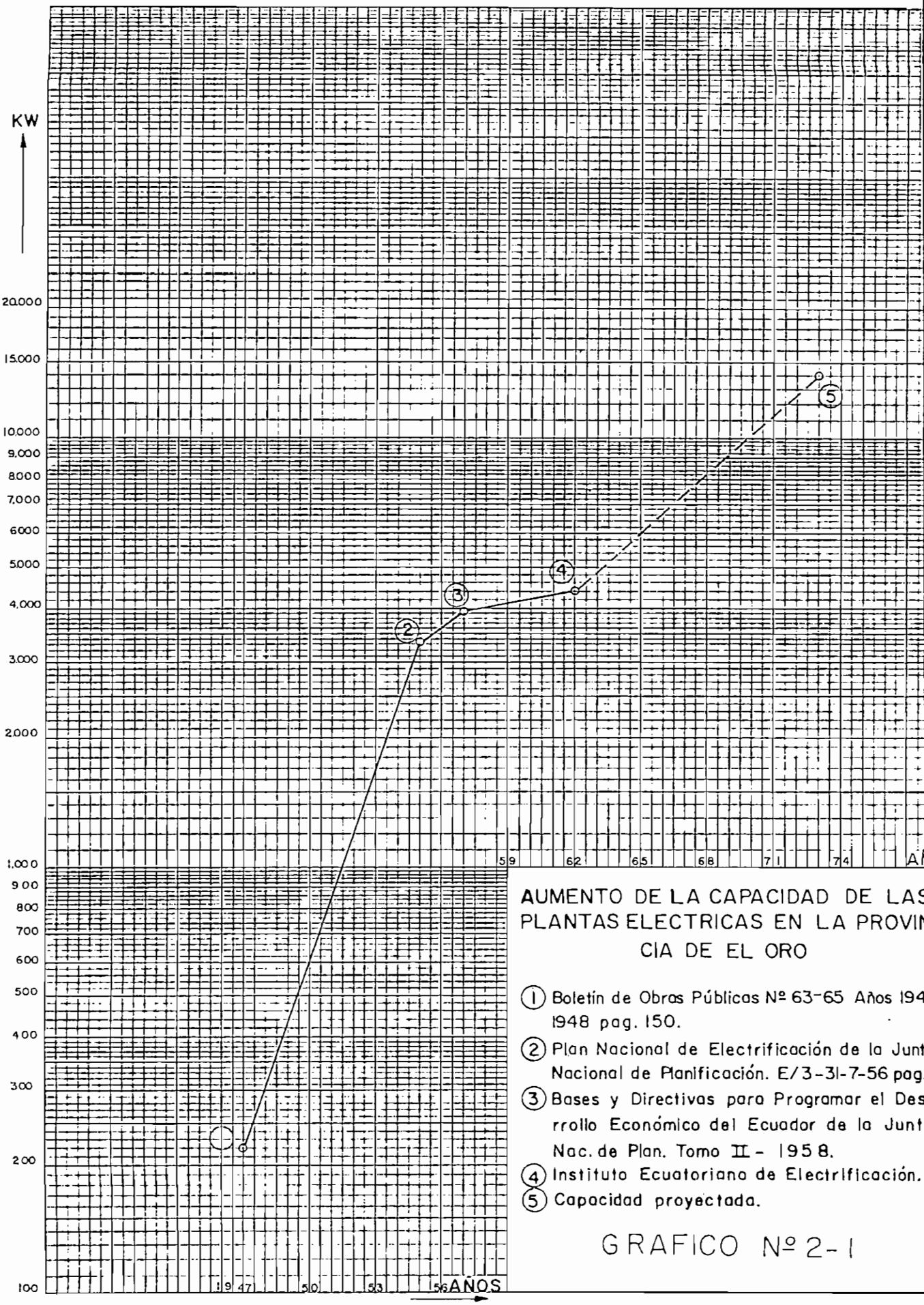
Es de esperarse que este porcentaje de aumento se produzca en cada uno de los Cantones de la Provincia, como un reflejo del incremento en el consumo de energía eléctrica, durante este período de tiempo.

2-5. CAPACIDAD DE LAS PLANTAS DE ENERGIA ELECTRICA EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA.

En la Ciudad de Santa Rosa existen actualmente (1963) dos Plantas Eléctricas, propiedad del Municipio, con una capadidad total de 164 KW.

Existen tambien varias Plantas Eléctricas utilizadas por sus propietarios para su autoconsumo.

La relación de dichas Plantas se muestra en el cuadro No. 2-6 , y puede comprobarse que la capacidad de las mismas es de 46.3 KW.



AUMENTO DE LA CAPACIDAD DE LAS PLANTAS ELECTRICAS EN LA PROVIN CIA DE EL ORO

1. Boletín de Obras Públicas Nº 63-65 Años 194 1948 pag. 150.
2. Plan Nacional de Electrificación de la Junt Nacional de Planificación. E/3-31-7-56 pag
3. Bases y Directivas para Programar el Des rrollo Económico del Ecuador de la Junt Nac. de Plan. Tomo II - 1958.
4. Instituto Ecuatoriano de Electrificación.
5. Capacidad proyectada.

GRAFICO Nº 2-1

CUADRO No. 2-6. (1)

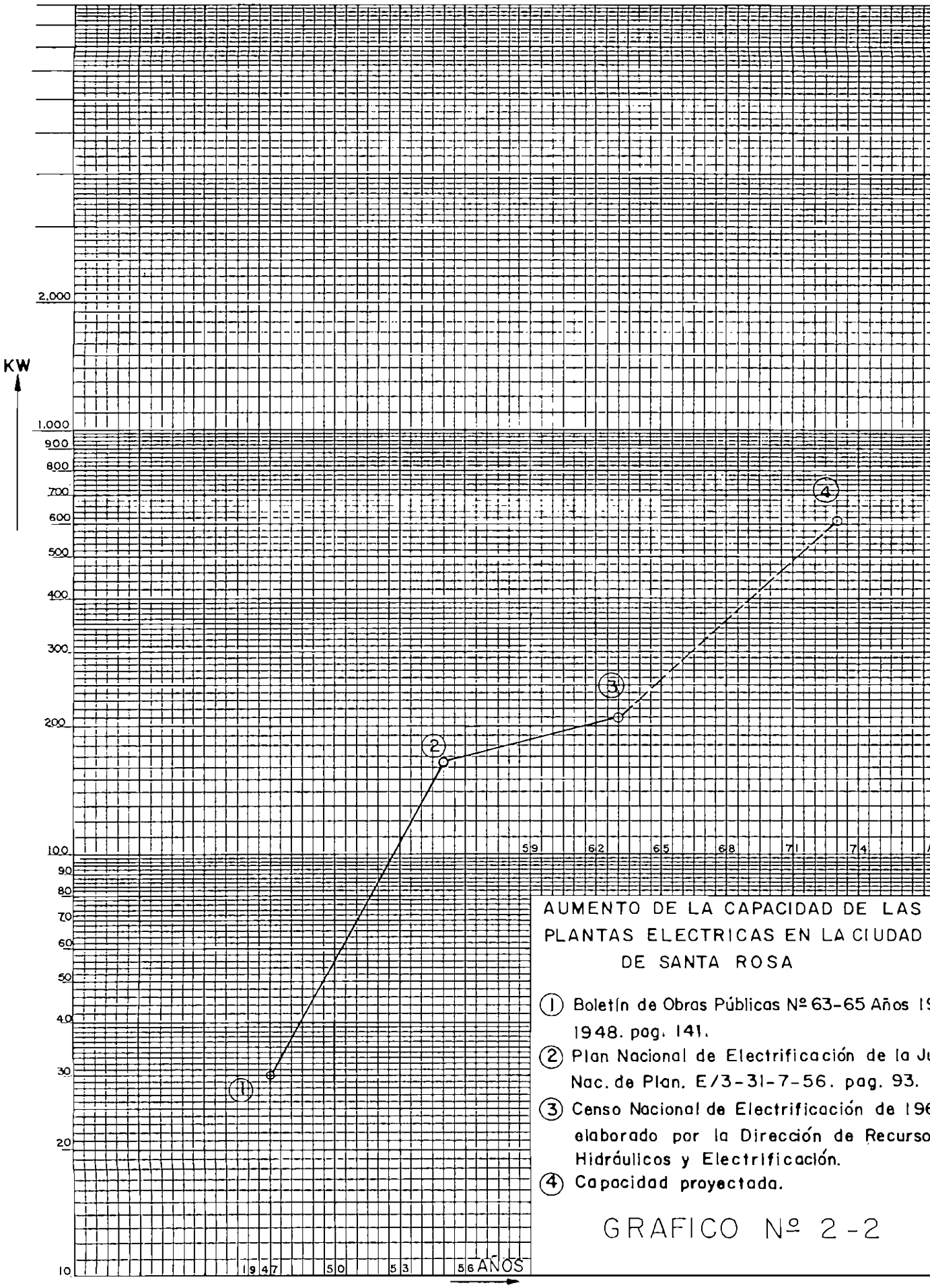
RELACION DE LAS PLANTAS ELECTRICAS EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA, EN 1963.

Propietario	Tipo de generación	Fecha de Instalación	Potencia en KW.
Alvarado Guillermo	Diessel	1956	4.3
Alvarado Francisco	Diessel	1959	4.8
Chuchuca José	Gasolina	1959	2.0
Cruz Carlos A.	Diessel	1954	17.6
Feijó Armando	Diessel	1960	8.8
Mieles Isabel	Gasolina	1956	1.3
Municipio	Diessel	1933	44.0
Municipio	Diessel	1955	120.0
Reconstrucción Junta de	Gasolina	1959	5.0
Villacis Ramón	Gasolina	1960	2.5

2-6. AUMENTO DE LA CAPACIDAD DE LAS PLANTAS DE ENERGIA ELECTRICA EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA.

En el gráfico No. 2-2 se muestra el desarrollo de la capacidad de las Plantas de Energía Eléctrica en la Ciudad de Santa Rosa desde el año de 1947 hasta el año de 1963. Tambien aparece la capacidad proyectada para el año de 1973, tomando en cuenta el factor de 2.9 de aumento, que tiene lugar en 10 años, al considerar el 11.1% de incremento anual de la capacidad de las Plantas de Energía Eléctrica según se determinó anteriormente.

(1). INECEL. "Censo Nacional de Electrificación de 1962". Quito, Ecuador 1963.



AUMENTO DE LA CAPACIDAD DE LAS PLANTAS ELECTRICAS EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA

(1) Boletín de Obras Públicas Nº 63-65 Años 19 1948. pag. 141.

(2) Plan Nacional de Electrificación de la Ju Nac. de Plan. E/3-31-7-56. pag. 93.

(3) Censo Nacional de Electrificación de 196 elaborado por la Dirección de Recurso Hidráulicos y Electrificación.

(4) Capacidad proyectada.

GRAFICO Nº 2-2

2-7. CRECIMIENTO DE LA POBLACION DE SANTA ROSA EN UN PERIODO DE DIEZ AÑOS A PARTIR DEL AÑO DE 1963.

Santa Rosa, cabecera cantonal de la Provincia de El Oro, tenía en el año de 1950 una población urbana de 4776 (cuatro mil setecientos setenta y seis) habitantes, según datos tomados del Primer Censo Nacional de 1950.

El crecimiento vegetativo de sus habitantes y la afluencia de personas procedentes de provincias vecinas, hicieron que el Censo Nacional de 1962 arrojara una población urbana de 8970 (ocho mil novecientos setenta) habitantes.

Aplicando la tasa logarítmica de crecimiento entre los años de 1950 y 1962 se obtiene el porcentaje de aumento anual de la población.

$$P_2 = P_1 (1 + i)^n$$

Donde: P_2= población en 1962.
P_1= población en 1950.
i = tasa de crecimiento anual.
n = período de años.

Despejando:

$$\log (1 + i) = 1/n \log P_2 / P_1$$

Sustituyendo valores:

$$\log (1 + i) = 1/12 \log 8970/4776$$
$$\log (1 + i) = 1/12 \log (1.87814)$$
$$\log (1 + i) = 1/12 (0.27370)$$
$$\log (1 + i) = 0.022808$$
$$(1 + i) = 1.054$$
$$i = 0.054$$

Este aumento de la población en 5.4% anual se supone que no variará hasta el año de 1973 (final del período que corresponde a este estudio).

Se considera que este incremento ha de corresponder tanto al crecimiento vegetativo, como al desplazamiento de personas de provincias vecinas, en busca de trabajo y de un mejor nivel de vida en estas zonas de la costa que ofrecen mejores posibilidades económicas para el trabajador.

CUADRO No. 2-7

ESTIMADO DEL NUMERO DE HABITANTES DE LA CIUDAD DE SANTA ROSA POR AÑO, HASTA 1973.

Años	Habitantes
1950	4776
1962	8970
1963	9502
1964	10023
1965	10562
1966	11130
1967	11728
1968	12359
1969	13023
1970	13724
1971	14462
1972	15241
1973	16061

2-8. PLANES FUTUROS DE VIVIENDA EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA.

El "Censo de Población y Vivienda de 1962" arrojó los siguientes datos de la población urbana de Santa Rosa:

1962	No. de habitantes	= 8970
	No. de viviendas	= 1696

Puede comprobarse que el número promedio de habitantes por vivienda es de 5.3 .-

El Servicio Cooperativo Interamericano de Salud Publica, en su "Encuesta Sanitaria Nacional de 1961", publica los siguientes datos de la población urbana de Santa Rosa.

1960	No. de habitantes	= 7196
	No. de casas	= 913

Debe aclararse que el término "vivienda" se refiere al sitio donde se aloja un grupo familiar o no familiar de la población.

Existen casas que sirven de vivienda a dos o mas grupos familiares, y en el período transcurrido entre Diciembre de 1960 (fecha en que tuvo lugar la enumeración de Santa Rosa), y Noviembre de 1962 (Censo de Población y Vivienda), el número de habitantes por vivienda ha guardado la misma proporción.

Por esta razón, puede estimarse que el número de viviendas existentes en 1960 era de 1356.

En dos años el aumento ha sido de 340 viviendas, lo que equivale a un promedio de 170 viviendas anuales.

001516

Suponiendo que este incremento se mantenga debido a:

a)- Crecimiento vegetativo de la población.

b)- Incentivos y mayores facilidades para la construcción de nuevas viviendas.

Se tendrá que en el año de 1973 habrá en la Ciudad de Santa Rosa 3566 viviendas, lo que arroja un promedio de 4.5 habitantes por vivienda.

2-9. CARGA CONECTADA DECLARADA DE LUZ FIJA EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA.

En la Ciudad de Santa Rosa el 72% de los consumidores pagan el consumo de energía eléctrica por medio de una tarifa de Luz Fija. Los demas tienen instalado Medidor.

Según datos sacados del "Libro Matriz del Catastro de Luz Fija del Municipio de Santa Rosa", se observa que los 638 consumidores tienen declarada una carga conectada de 51.76 KW, distribuida según se muestra en el cuadro No.2-8.

2-10. MUESTRA DE LA CARGA REAL CONECTADA DE LUZ FIJA EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA.

Debido a que el sistema de cobro de la energía vendida por medio de una Tarifa de Luz Fija, se presta al abuso por parte de los consumidores, se hizo un muestreo en la Ciudad de Santa Rosa, para determinar cuál era realmente la carga conectada.

Este muestreo se realizó en cuatro manzanas del cen

tro de la Ciudad (que es la parte de mayor densidad de población), y en dos manzanas de cada uno de los barrios Ecuador, 24 de Mayo, y Puerto, arrojando los datos mostrados en el cuadro No.2-9

CUADRO No. 2-8

CARGA CONECTADA DECLARADA DE LUZ FIJA EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA.

No. de unidades	Potencia Nominal	Potencia
10	foco de 25 W	250 W
2	" " 40 "	80 "
548	" " 50 "	27400 "
67	" " 60 "	4020 "
135	" " 100 "	13500 "
10	lamp. fluoresc.(60W)	600 "
86	radios (60W)	5160 "
1	congelador (1 H.P.)	745 "
		51755 W

TOTAL DE CARGA CONECTADA DECLARADA = 52 KW.

2-11. PORCENTAJE DE CARGA CONECTADA NO DECLARADA POR LOS CONSUMIDORES CON TARIFA DE LUZ FIJA/

Comparando los resultados obtenidos en las muestras de los 94 consumidores de Luz Fija, (cuadros No.2-9 y No.2-10), se aprecia que el 68% de la carga conectada no se ha declarado y consecuentemente no se paga.

CUADRO No. 2-9

MUESTRA TOMADA DE 94 CONSUMIDORES DE LUZ FIJA PARA DETERMINAR SU CARGA CONECTADA.

No de unidades	Potencia Nominal	Potencia
114	foco de 25 W	2850 W
123	" " 50 "	6150 "
46	" " 60 "	2760 "
89	" " 100 "	8900 "
14	lamp, fluoresc.(60W)	840 "
44	radios (60W)	2640 "
5	planchas (600W)	3000 "
		25140 W

TOTAL DE CARGA CONECTADA REAL EN LA MUESTRA = 25 KW.

2-12. CARGA CONECTADA ACTUAL EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA/

La carga conectada de todos los consumidores de tarifa de Luz Fija será:

52 KW ---------- 32%

X KW ----------100%

X = 162 KW

Esta carga dividida por el número de consumidores dará el promedio de carga conectada por consumidor.

162 / 638 = 0.254 KW/consumidor.

Debido a que no se aprecia una marcada diferencia entre la carga conectada de los usuarios de Luz con Medidor, y la de aquellos que tienen una tarifa de Luz Fija, el error que se comete al suponer que tienen el mismo promedio de carga conectada es despreciable.

En la Ciudad de Santa Rosa el número de consumido-

res con Medidor es de 250, y la carga que tienen conecta da es de 64 KW.

La carga conectada en la Ciudad de Santa Rosa por los usuarios de la Planta Municipal, será la suma de la carga conectada por los consumidores de Luz Fija, mas la de aquellos que tienen Medidor.(230 KW)

CUADRO No. 2-10

MUESTRA TOMADA DE 94 CONSUMIDORES EN EL LIBRO MATRIZ DEL CATASTRO DE LUZ FIJA, DEL MUNICIPIO DE SANTA ROSA, CON SE LECCION DE CINCO EN CINCO SEGUN EL ORDEN EN QUE APARECEN.

No. de consumidores.	Carga conectada declarada	Potencia.
1	25 W	25 W
43	50 "	2150 "
4	60 "	240 "
7	80 "	560 "
13	100 "	1300 "
11	110 "	1210 "
3	120 "	360 "
1	125 "	125 "
4	160 "	640 "
1	180 "	180 "
1	190 "	190 "
1	200 "	200 "
1	210 "	210 "
3	240 "	720 "
94		8110 W

TOTAL DE LA CARGA CONECTAD DECLARADA EN LA MUESTRA = 8 KW.

2-13. CARGA CONECTADA EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA AL INSTALAR LA NUEVA RED DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA.

Al diseñar una nueva red de distribución que cubra el área de toda la Ciudad y con capacidad suficiente para dar servicio a todos sus habitantes, en general, las viviendas que ahora se ven imposibilitadas de disfrutar de este servicio, podrán tener una carga conectada promedio igual a la que hoy tienen conectada sus vecinos.

De igual forma, no habrá razón para que los autoproductores mantengan sus Plantas de Energía Eléctrica en funcionamiento, y la capacidad que ahora tienen sus Plantas, se convertirá en la carga conectada que tendrán al instalarse la nueva red de distribución de energía eléctrica.

Por esta razón, si las viviendas de la Ciudad de Santa Rosa al final del año de 1963 son 1866(1), la carga que tendrán conectada será:

$$1866 \times 0.254 = 474 \text{ KW.}$$

La carga conectada de los autoproductores es: 46 KW (2), y por tanto, la carga conectada total en la Ciudad de Santa Rosa al instalar la nueva red de distribución será de 520 KW.

2-14. DEMANDA MAXIMA EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA.

El factor de demanda, definido como la relación

--- (1). Ver inciso No. 2-8.

--- (2). Ver inciso No. 2-5.

entre la demanda máxima y la carga conectada, se ha estimado para la Ciudad de Santa Rosa en un valor de 0.85

Para determinar este valor se han considerado los valores representativos recomendados para residencias pequeñas con focos y aparatos eléctricos, pero sin cocina.(1)

Tambien se ha tenido en cuenta que las residencias de la Ciudad de Santa Rosa tienen un promedio de dos a tres piezas, y que los aparatos eléctricos no son numerosos, aumentando lógicamente los valores representativos del factor de demanda que se recomiendan en el mencionado texto.

2-15. DEMANDA DIVERSIFICADA

La relación entre la demanda máxima de todo el grupo servido por un transformador y la suma de las demandas máximas individuales, se conoce con el nombre de factor de coincidencia.

Este factor decrece a medida que aumenta el número de consumidores, con un decrecimiento rápido al principio y lento a medida que aumenta el número de usuarios.

El factor de coincidencia ademas de estar afectado por el número de cargas individuales, se ve modificado por los hábitos característicos de cada comunidad, estimándose en 0.56 para el grupo de consumidores de la Ciudad de Santa Rosa a quienes sirve un transformador.

---(1). Skrotzki. "Electric Transmission and Distribution" Mc.Graw Hill, Primera Edición, 1954.

La demanda máxima no tendrá lugar al mismo tiempo en todos y cada uno de los consumidores a quienes sirve un transformador. Por esta razón, al multiplicar la demanda máxima por el facror de coincidencia estimado para los consumidores de la Ciudad de Santa Rosa, se obtiene la demanda diversificada de estos, a nivel de los transformadores de distribución.

En la Ciudad de Santa Rosa la energía eléctrica se distribuye a los transformadores de distribución por medio de dos alimentadores primarios, tal como se mencionó en el inciso No. 1-1.

El factor de diversidad, que es el inverso del factor de coincidencia, se considera en 1.20 para los transformadores de distribución de la Ciudad de Santa Rosa, y si la carga diversificada a nivel de los transformadores se divide para el factor de diversidad de estos, se obtiene la potencia que debe suministrar la Planta Eléctrica para satisfacer a la demanda.

2-16. CAPACIDAD QUE DEBE TENER LA PLANTA ELECTRICA DEL MUNICIPIO DE LA CIUDAD DE SANTA ROSA AL INSTALAR La NUEVA RED DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA A PRINCIPIOS DEL AÑO DE 1964.

Si la carga conectada total en la Ciudad de Santa Rosa al instalar la nueva red de distribución de energía eléctrica es de 520 KW, tal como se calculó en el inciso No.2-13, al aplicar el factor de demanda a los consumidores de la Ciudad de Santa Rosa, se obtendrá la demanda máxima que tendrán.

DEMANDA MAXIMA DE LA CIUDAD = 520 x 0.85 = 442 KW.

La demanda máxima multiplicada por el factor de coincidencia de los consumidores, dará la demanda diversificada a nivel de los transformadores de distribución.

DEMANDA DIVERSIFICADA A NIVEL
DE LOS TRANSFORMADORES DE DIS
TRIBUBION SECUNDARIA. . . . . .= 442 x 0.56 = 248 KW.

Si se divide la demanda diversificada a nivel de los transformadores, para el factor de diversidad de estos, se obtiene el valor de los KW necesarios pra servir a la demanda, y por tant, la capacidad que debe tener la Planta Eléctrica del Municipio de la Ciudad de Santa Rosa al tiempo de instalar la nueva red de distribución de energía eléctrica.

CAPACIDAD QUE DEbE TENER
LA PLANTA ELECTRICA AL
INSTALARSE LA NUEVA RED
DE DISTRIBUCION. . . . . .= 248 x 1.20 = 206 KW.

Este valor de 206 KW, representa un 20% de aumento de la capacidad de la Planta Eléctrica del Municipio de la Ciudad de Santa Rosa, en un año, al instalarse la nueva red de distribución de energía eléctrica.

2-17. EJEMPLOS DE AUMENTO DE CONSUMO EN CIUDADES DEL ECUADOR CUYOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA HA SIDO MEJORADO/.

El "Plan Nacional de Electrificación" publicado en el año de 1956 por la Junta Nacional de Planificación y Coordinación Económica, en lo referente al aumento del consumo de energía eléctrica, enumera varios ejemplos de Ciudades del Ecuador cuyo consumo habia aumentado a raiz de

las mejoras en sus redes de distribución y aumento de la capacidad de sus Plantas Eléctricas.

Estos ejemplos se muestran en el cuadro No. 2-11, y se comprueba que el aumento de la capacidad de la Planta Eléctrica del Municipio de la Ciudad de Santa Rosa, (20% en un año), está dentro de esos límites.

CUADRO No.2-11

EJEMPLOS DE AUMENTO DE CONSUMO EN CIUDADES DEL ECUADOR AL MEJORAR EL SISTEMA DE DISTRIBUCiON DE ENERGIA ELECTRICA.

Ciudades	Aumento de consumo en porciento	Período de tiempo. Años
Ambato	24%	2
Guayaquil	50%	3
Latacunga	200%	3
Milagro	40%	2
Quito	33%	3

2-18. CARGA CONECTADA EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA AL FINAL DEL AÑO DE 1973.

El valor de la carga conectada al final del año de 1973, se obtiene multiplicando el valor de la carga conectada al final de 1963 por el factor 2.9 (1)

CARGA CONECTADA EN 1973 = 520 x 2.9 = 1500 KW

2-19. CARGA CONECTADA PROMEDIO POR CONSUMIDOR EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA AL FINAL DEL AÑO DE 1973.

La carga conectada promedio por habitantes en 1973 es de 94 watts/habitante, y se ha obtenido dividiendo la

---(1). Ver inciso No.2-6.

carga conectada para el número de habitantes de ese año.

Según se calculó en el inciso No,2-8, el promedio de habitantes por vivienda en el año de 1973 será de 4.5

La carga conectada promedio por consumidor tendrá entonces un valor de 422 watts/consumidor.

2-20. DEMANDA MAXIMA PRoMEDIO POR CONSUMIDOR EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA AL FINAL DEL AÑO DE 1973.

Considerando el factor 0.85 para el factor de demanda de la Ciudad de Santa Rosa, según se vió en el inciso No 2-14, la demanda máxima promedio por consumidor al final del año de 1973 será:

DEMANDA MAXIMA = 422 x 0.85 = 358 watts/consum.

2-21. DEMANDA DIVERSIFICADA PROMEDIO A NIVEL DE LOS TRAMS FORMADORES DE DISTRIBUCION AL FINAL DEL AÑO DE 1973.

El factor de coincidencia para el grupo de consumidores a quienes sirve un transformador, se ha estimado en 0.56 para los consumidores de la Ciudad de Santa Rosa.

La demanda máxima promedio por consumidor no tendrá lugar al mismo tiempo por todos y cada uno de los consumidores a quienes sirve un transformador.

Por esta razón, al multiplicar la demanda máxima promedio por consumidor, por el factor de coincidencia, se obtiene la demanda diversificada promedio por consumidor a nivel del transformador.

De acuerdo a esto, cada consumidor de la Ciudad de Santa Rosa estará utilizando a la hora de máxima demanda una potencia promedio de: 358 x 0.56 = 200 watts/consumidor.

CAPITULO 3

RED DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

La nueva red de distribución de energía eléctrica de la Ciudad de Santa Rosa estará diseñada con el objeto de cubrir las necesidades presentes y futuras hasta el final del año de 1973.

El sistema primario de distribución de energía eléctrica será aéreo radial y trifásico de tres conductores, en cable de cobre desnudo "hard drawn" de 97.3% de conductividad.

Este sistema estará soportado por aisladores de alfiler sobre una cruceta y poste de madera, y tendrá un voltaje de 6600 voltios con el objeto de utilizar parte del material existente en la actualidad.

El sistema secundario de distribución de energía eléctrica será aéreo radial y trifásico de cuatro conductores, en cable de cobre desnudo "hard drawn" de 97.3% de conductividad.

Este sistema estará soportado por bastidores (racks) sobre postes de madera, suponiéndose que estará equilibrado con voltajes de 120/208 voltios.

Se ha escogido este sistema, ya que el sistema de

distribución actual en la Ciudad de Santa Rosa, tiene estas características, y brinda la oportunidad de utilizar parte del material existente con un ahorro considerable.

Se ha recomendado utilizar postes de madera en la Ciudad de Santa Rosa, debido al bajo costo que ofrecen, si se compara con los de hormigón centrifugado o los de tubos de acero. Si bien estéticamente lucen mejor estos últimos, son en sí mas caros y el costo de transporte es mucho mayor que los recomendados de madera.

Con el objeto de lograr una mayor durabilidad (factor que debe tenerse en cuenta en los costos), estos postes serán emplamados, tal como se muestra en el gráfico No.3-1. La parte inferior será de Guayacán y la superior de Sota, maderas que se encuentran en abundancia en la zona y cuyo transporte no resulta caro.

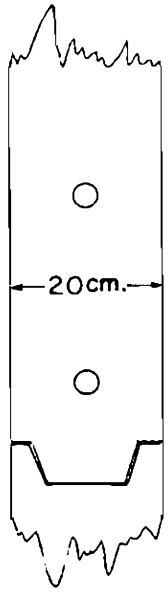
La utilización del "rack" como soporte de los conductores de baja tensión parece ser mejor que utilizar una cruceta con cindo aisladores. Debido a que de esta no deben hacerse las acometidas a las casas, sino que debe utilizarse un "rack" para este objeto, se encarece la obra y se acumula materiales de línea en el poste, lo cual resulta poco estético.

Motivos similares han hecho descartar la posibilidad de fijar aisladores de baja tensión directamente en el poste.

Para la iluminación de las calles de la Ciudad de Santa Rosa, se ha escogido una luminaria similar al tipo HRT 12 de la Philips, con lámpara de vapor de mercurio.

GRAFICO Nº 3-1

Esquema del empalme de los postes de madera.



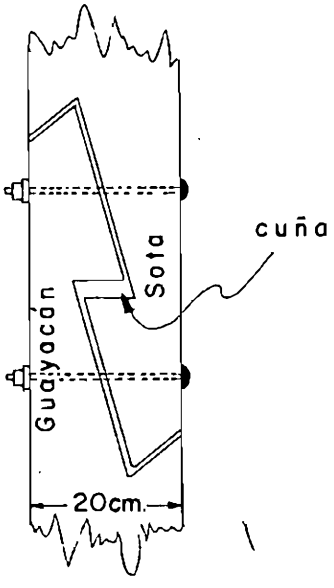
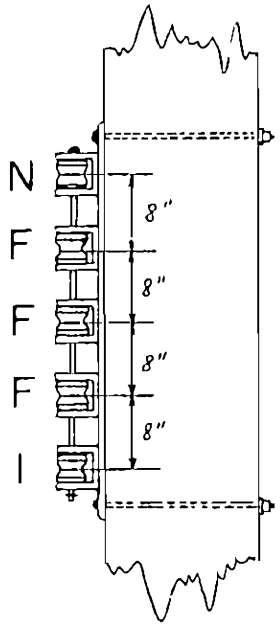


GRAFICO Nº 3-2

Distribución de los conductores de baja tensión en el "rack".



N = neutro

F = fase

I = control del alumbrado público.

3-1. CIRCUITO SECUNDARIO DE DISTRIBUCION.

En el capítulo anterior se hizo un estudio de la demanda de energía eléctrica en la Ciudad de Santa Rosa, llegándose a calcular la carga diversificada promedio por consumidor a nivel de los transformadores de distribución secundaria, al final del año de 1973.

Esta carga diversificada promedio por consumidor de 200 watts, es la que se consideró aplicada en aquellas partes fuera del centro comercial de la Ciudad, estimándose en este sector una carga diversificada promedio de 300 watts por consumidor.

Con el objeto de distribuir uniformemente la carga diversificada promedio por consumidor a lo largo del circuito de distribución secundaria, se concentraron en los postes, las cargas de varios consumidores mas la de una luminaria de cien watts para alumbrado público.

Al hacer esto, se consideró la densidad de población en la Ciudad de Santa Rosa, concentrando en los postes de la sección comercial de la misma, las cargas de cinco consumidores, mientras que en el resto de la Ciudad se concentraron las cargas de cuatro consumidores en cada poste.

En este estudio la separación máxima entre los postes será de 40 metros, y la impedancia de los conductores se calculará teniendo en cuenta la separación de 20.3 cm. que tendrán en el bastidor (rack).

Suponiendo que el sistema estará equilibrado, la caida de voltaje máximo permisible será de 3% del voltaje

de 208 voltios, suponiendose ademas que el conductor operará a una temperatura de 75 C. con viento de 1.4 millas por hora a una frecuencia de 60 ciclos y en atmosfera de 25 °C.

3-2. CALIBRE DE CONDUCTOR EN EL CIRCUITO DE DISTRIBUCION SECUNDARIA.

Para el sistema de distribución secundaria se utilizarán conductores de cobre desnudo "hard drawn" de - 97.3% de conductividad.

Estos conductores irán montados sobre bastidores (racks), pudiendose apreciar en el gráfico No. 3-2. la distribución y separación de los mismos.

Con el objeto de determinar desde el punto de vista económico, cual será el calibre de conductor mas conveniente para el sistema de distribución secundaria de la Ciudad de Santa Rosa, se procederá a proyectar la red de baja tensión utilizando calibres de conductor # 2 AWG y #4 AWG, para despues sacar las conclusiones.

3-3. FORMULA DE LA CAIDA DE TENSION EN LA LINEA DE DISTRIBUCION SECUNDARIA.

Para calcular la caida de tensión en la línea de distribución secundaria, se utilizará la formula aproximada:

$$\text{Caida de tensión} = I\ (R\cos \emptyset + X\operatorname{sen} \emptyset)$$

I = corriente de línea.

Despejando y sustituyendo:

$$I_{900} = \frac{900}{\sqrt{3}\ (208)(0.8)} = 3.13 \text{ amperios}$$

$$I_{1600} = \frac{1600}{\sqrt{3}\ (208)(0.8)} = 5.56 \text{ amperios}$$

3-5. CALCULO DEL VALOR DE LA IMPEDANCIA EQUIVALENTE DE LA LINEA.

Debido a que en el presente estudio se utilizan conductores de calibre # 2 AWG y # 4 AWG, es necesario hallar la impedancia equivalente de cada uno de ellos.

Para el cálculo de la reactancia inductiva de cada conductor es necesario considerar la separación de 20.3 centímetros que tendrán en el bastidor(rack).

3-5-1. IMPEDANCIA EQUIVALENTE DE UN CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO "HARD DRAWN" DE CALIBRE # 4 AWG DE 7 HILOS.

Las características del conductor de cobre desnudo "hard drawn"de 97.3% de conductividad,de calibre #4 AWG de 7 hilos son:

R_a= 1.388 ohm/cond/milla a 25 C. y 60 c/s.

X_a= 0.599 ohm/cond/milla a 18de espac. y 60 c/s.

X_d= -0.0492 ohm/cond/milla a 8" de espac.y 60c/s.

En donde: R= 1.388 ohm/cond/milla

X= 0.551 ohm#cond/milla

La impedancia equivalente de un conductor de cobre desnudo"hard drawn" de 97.3% de conductividad de calibre # 4 AWG de 7 hilos será:

$$(R\cos \emptyset + X\operatorname{sen} \emptyset) = (1.388)(0.8) + (0.551)(0.6)$$
$$= (1.11 + 0.33)$$
$$= 1.44 \text{ ohm/cond/milla}$$

Expresando en metros se tiene:

$$(R\cos \emptyset + X\operatorname{sen} \emptyset) = \frac{1.44}{1610} = 0.000894 \text{ ohm/cond/metro}$$

3-5-2.IMPEDANCIA EQUIVALENTE DE UN CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO"HARD DRAWN" DE CALIBRE # 2AWG DE 7 HILOS.

Las características del conductor de cobre desnudo "hard drawn" de 97.3% de conductividad, de calibre # 2 AWG de 7 hilos son:

R_a= 0.881 ohm/cond/ milla a 25 C. y 60 c/s.
X_a= 0.574 ohm/cond/ milla a 1'de espac. y 60 c/s.
X_d= -0.0492 ohm/cond/milla a 8"de espac. y 60c/s.

En donde: R= 0.881 ohm/cond/milla
X= 0.525 ohm/cond/milla

La impedancia equivalente de un conductor de cobre desnudo "hard drawn" de 97.3% de conductividad de calibre # 2 AWG de 7 hilos será:

$$R\cos \emptyset + X\operatorname{sen} \emptyset) = (0.881)(0.8) + (0.525)(0.6)$$
$$= (0.705 + 0.315)$$
$$= 1.020 \text{ ohm/cond/milla.}$$

Expresando en metros se tiene:

$$(R\cos \emptyset + X\operatorname{sen} \emptyset) = \frac{1.020}{1610} = 0.000634 \text{ ohm/cond/metro}$$

3-6. METODO SEGUIDO PARA CALCULAR LA LONGITUD DE CIRCUITO SECUNDARIO SERVIDO POR UN TRANSFORMADOR.

El método utilizado para determinar la longitud de circuito secundario servido por un transformador ha sido el de Momentos, que se ilustra por medio de un ejemplo.

Sea la línea trifásica de distribución secundaria, representada por una línea en el gráfico No.3-3, con cargas iguales distribuidas a lo largo de su longitud, y T el transformador de Distribución.

Sean A,B,C y D, los extremos de los circuitos de distribución secundaria en los cuales el valor del voltaje no debe ser menor del 97% del voltaje nominal.

La caida de tensión en el extremo de uno de los circuitos viene expresada por:

$$e = \sum \sqrt{3}\ I\ d\ (R\cos \emptyset + X\operatorname{sen} \emptyset)$$

Donde:

I = corriente de carga

d = distancia al punto considerado

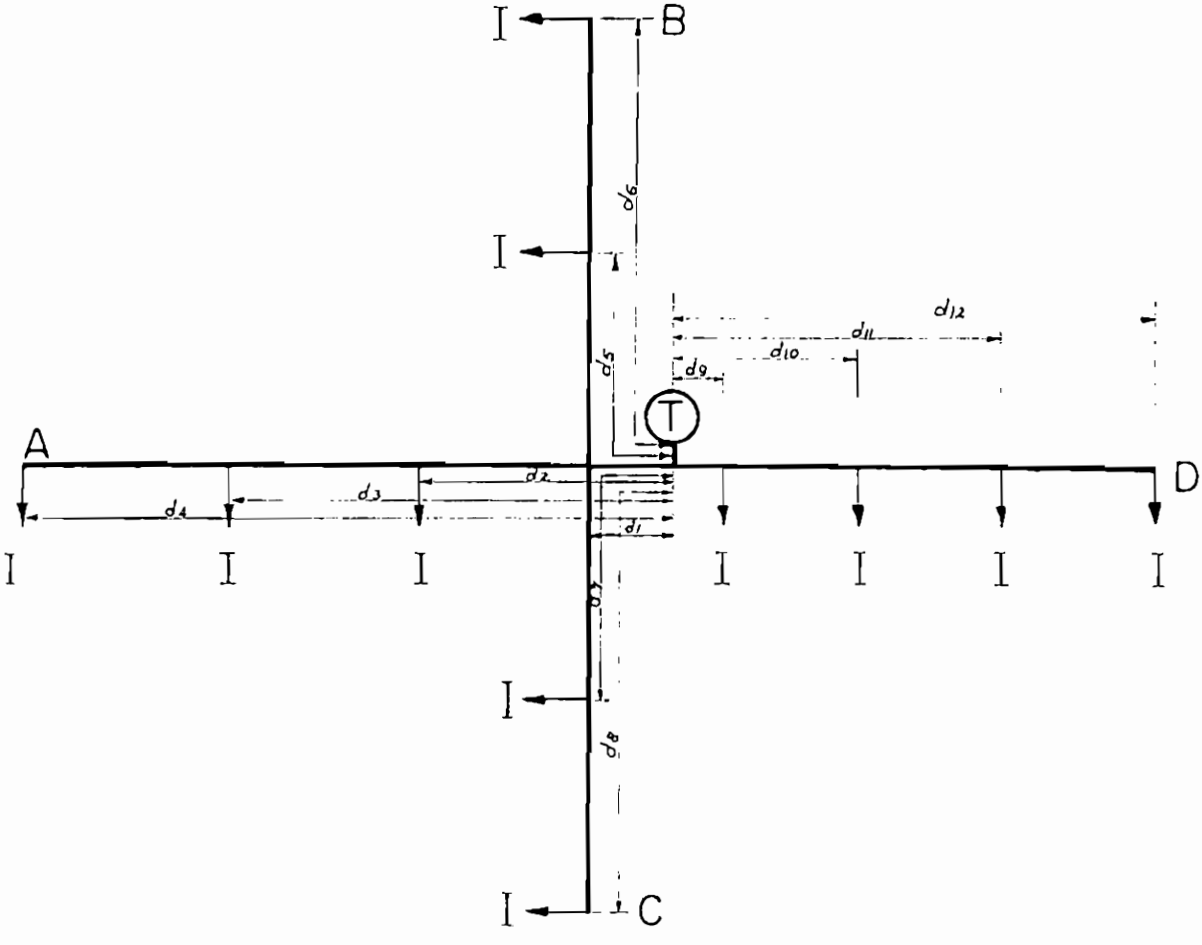
$(R\cos \emptyset + X\operatorname{sen} \emptyset)$ = impedancia equivalente de la línea.

<u>En el extremo A la caida de tensión tendrá un valor de:</u>

$$e = \sqrt{3}\ (4\ I)\ d_1\ (R\cos \emptyset + X\operatorname{sen} \emptyset) +$$
$$\sqrt{3}\ (\ I\ )\ d_2\ (R\cos \emptyset + X\operatorname{sen} \emptyset) +$$

GRAFICO Nº 3-3

Representación de una línea trifásica de distribución para ilustrar el método de momentos en el cálculo de la caída máxima de tensión establecida.



$$\sqrt{3}\ (\ I\ )\ d_3\ (R\cos\ \emptyset + X\text{sen}\ \emptyset) +$$
$$\sqrt{3}\ (\ I\ )\ d_4\ (R\cos\ \emptyset + X\text{sen}\ \emptyset)\ .$$

Sacando factor comun se tiene:

$$e = \left[\sqrt{3}\ I\ (R\cos\ \emptyset + X\text{sen}\ \emptyset)\right]\left[4\ d_1 + d_2 + d_3 + d_4\right]$$

El valor de e, no debe exceder el 3% del valor del voltaje nominal.

<u>En el extremo B la caida de tensión tendrá un valor de:</u>

$$e = \sqrt{3}\ (5I\ )\ d_1\ (R\cos\ \emptyset + X\text{sen}\ \emptyset) +$$
$$\sqrt{3}\ (\ I\ )\ d_5\ (R\cos\ \emptyset + X\text{sen}\ \emptyset) +$$
$$\sqrt{3}\ (\ I\ )\ d_6\ (R\cos\ \emptyset + X\text{sen}\ \emptyset) +$$

Sacando factor comun se tiene:

$$e = \left[\sqrt{3}\ I\ (R\cos\ \emptyset + X\text{sen}\ \emptyset)\right]\left[5\ d_1 + d_5 + d_6\right]$$

El valor de e, no debe exceder el 3% del valor del voltaje nominal.

<u>En el extremo C la caida de tensión tendrá un valor de:</u>

$$e = \sqrt{3}\ (5\ I)\ d_1\ (R\cos\ \emptyset + X\text{sen}\ \emptyset) +$$
$$\sqrt{3}\ (\ I\ )\ d_7\ (R\cos\ \emptyset + X\text{sen}\ \emptyset) +$$
$$\sqrt{3}\ (\ I\ )\ d_8\ (R\cos\ \emptyset + X\text{sen}\ \emptyset) +$$

Sacando factor comun se tiene:

$$e = [\sqrt{3}\ I\ (R\cos\phi + X\operatorname{sen}\phi)][5\ d_1 + d_7 + d_8]$$

El valor de e, no debe exceder el 3% del valor del voltaje nominal.

<u>En el extremo D la caida de tensión tendrá un valor de:</u>

$$\begin{aligned} e = & \sqrt{3}\ (\ I\ )\ d_9\ (R\cos\phi + X\operatorname{sen}\phi) + \\ & \sqrt{3}\ (\ I\ )\ d_{10}\ (R\cos\phi + X\operatorname{sen}\phi) + \\ & \sqrt{3}\ (\ I\ )\ d_{11}\ (R\cos\phi + X\operatorname{sen}\phi) + \\ & \sqrt{3}\ (\ I\ )\ d_{12}\ (R\cos\phi + X\operatorname{sen}\phi)\ . \end{aligned}$$

Sacando factor comun se tiene:

$$e = [\sqrt{3}\ I\ (R\cos\phi + X\operatorname{sen}\phi)][d_9 + d_{10} + d_{11} + d_{12}]$$

El valor de e, no debe exceder el 3%del valor del voltaje nominal.

En ninguno de estos casos el valor de la caida de tensión e, debe exceder del valor de 6.2 voltios, que equivale al 3% del valor del voltaje nominal de 208 voltios de la distribución secundaria.

Despejando y sustituyendo los valores conocidos se obtiene:

$$\frac{e}{\sqrt{3}\ I\ (R\cos\phi + X\operatorname{sen}\phi)} = \sum (\text{No. de cargas concentradas en un punto x distancia al transformador})$$

De donde :

a)- Si se utiliza conductor de cobre desnudo # 4 AWG de 7 hilos, con carga de 900watts en cada poste, se tiene:

$$\sum(\text{No. de cargas concentradas en un punto x distancia al transformador}) = \frac{6.2}{\sqrt{3}(3.13)(0.000894)}$$

$$\sum(\text{No. de cargas concentradas en un punto x distancia al transformador}) \leq 1280$$

b)- Si se utiliza conductor de cobre desnudo # 2 AWG de 7 hilos, con carga de 900 watts en cada poste, se tiene:

$$\sum(\text{No. de cargas concentradas en un punto x distancia al transformador}) = \frac{6.2}{\sqrt{3}(3.13)(0.000634)}$$

$$\sum(\text{No. de cargas concentradas en un punto x distancia al transformador}) \leq 1810$$

c)- Si se utiliza conductor de cobre desnudo # 2 AWG de 7 hilos, con carga de 1600 watts en cada poste, se tiene:

$$\sum(\text{No. de cargas concentradas en un punto x distancia al transformador}) = \frac{6.2}{\sqrt{3}(5.56)(0.000634)}$$

$$\sum(\text{No. de cargas concentradas en un punto x distancia al transformador}) \leq 1017$$

3-7. CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION SECUNDARIA.

Los transformadores de la Ciudad de Santa Rosa serán trifásicos de 6600/208 voltios, e iran colocados en

una plataforma entre dos postes.

Una vez determinada la longitud de los circuitos de distribución secundaria, que estan en función de las cargas a que sirven y del calibre de conductor utilizado, se procede a sumar los valores de las cargas servidas por los circuitos del transformador.

La suma de estas cargas dará el valor de la capacidad que tiene que tener el transformador.

Debido a que no siempre el valor de esta capacidad coincide con la que ofrece el fabricante, debe seleccionarse una capacidad igual o mayor que la determinada.

En este estudio las capacidades de los transformadores de distribución utilizados han sido de:

12 KVA (1)

24 KVA

36 KVA

3-8. CONSIDERACION DEL FACTOR ECONOMICO PARA DETERMINAR EL CALIBRE DE CONDUCTOR PARA LA DISTRIBUCION SECUNDARIA.

En el plano No. 1, se proyectó la red de distribución de baja tensión utilizando calibre #2 AWG de 7 hilos en toda el area de la Ciudad.

En el plano No. 2, se proyectó la red de distribución de baja tensión utilizando calibre # 4 AWG de 7 hi-

——(1). El transformador de 12 KVA, fué el de menor capacidad encontrado en Plaza.

los en aquellas partes fuera del centro comercial de la Ciudad, con excenpción hecha en el circuito del transformador #19.

Este circuito se proyectó con calibre de conductor # 2 AWG de 7 hilos, con el fin de cubrir una mayor longitud del servicio del trnasformador, ya que de haber utilizado un calibre # 4 AWG de 7 hilos, hubiera sido necesario colocar otro circuito con su transformador.

Esto hubiera encarecido el costo de la obra y además, se mantenía a los transformadores con una carga muy por debajo de la menor capacidad de transformador que existe en Plaza.

El centro comercial de la Ciudad de Santa Rosa, que tiene una mayor densidad de población y una carga promedio superior al resto de la Ciudad, se diseñó con calibre de conductor # 2 AWG de 7 hilos.

Para hacer el estudio económico se ha considerado el precio del cobre a razón de US $ 900.00 la tonelada.

<u>Análisis comparativo del costo del sistema de baja tensión-si se utiliza solamente conductor de calibre # 2 AWG de 7 hilos, tal como se muestra en el plano No. 1.</u>

Longitud de conductor
2 AWG de 7 hilos = 127,400 metros

127,400 x S/ 6.00 ----------S/ 764400.00

3 transformadores de
12 KVA a S/ 8,000.00 ----------S/ 24000.oo

12 trandformadores de
24KVA a S/ 10000.00 ----------S/ 120000.00

14 transformadores de
36 KVA a S/ 12000.00 ----------S/ 168000.00

TOTAL---------S/ 1076400.00

Análisis comparativo del costo del sistema de baja tensión si se utiliza conductor de calibre # 4 AWG de 7 hilos y conductor de calibre # 2 AWG de 7 hilos, tal como se muestra en el plano No. 2.

Longitud de conductor
4 AWG de 7 hilos = 105,280 metros

105,280 x S/ 4.00 ----------S/ 421120.00

Longitud de conductor
2 AWG de 7 hilos = 22,120 metros

22,120 x S/ 6.00 ----------S/ 132720.00

4 transformadores de
12 KVA a S/ 8,000.00----------S/ 32000.00

27 transformadores de
24 KVA a S/ 10000.00----------S/ 270000.00

5 transformadores de
36 KVA a S/ 12000.00----------S/ 60000.00

TOTAL--------S/ 915840.00

Como puede apreciarse resulta mas económico utilizar la combinación de conductor de calibre # 4 AWG de 7 hilos y conductor de calibre # 2 AWG de 7 hilos para la red de baja tensión de la Ciudad de Santa Rosa, tal como se muestra en el plano No. 2.

3-9. CIRCUITO PRIMARIO DE DISTRIBUCION.

En la Ciudad de Santa Rosa se instalarán dos circuitos de alimentación primaria que podrán interconectarse de forma tal que uno de ellos pueda llevar la carga de toda la Ciudad si fuera necesario.

El sistema de distribución primario será aéreo radial y trifásico de tres conductores en cable de cobre desnudo "hard drawn" de 97.3% de conductividad y con voltaje de 6600 voltios, ya que de esta forma puede aprovecharse parte del material existente en la actualidad en la Ciudad.

Este sistema estará soportado por aisladores de alfiler, en crucetas de madera y suponiendo que el sistema estará equilibrado, la caida de voltaje máxima permisible será de 2% del voltaje nominal, con el fin de lograr una mejor regulación. Se supone ademas que el conductor operará a una temperatura de 75 C con viento de 1.4 millas por hora a una frecuencia de 60 ciclos y en atmósfera de 25 Centígrados.

3-10. SEPERACION ENTRE LOS CONDUCTORES DEL CIRCUITO PRIMARIO DE DISTRIBUCION USANDO CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO "HARD DRAWN" DE CALIBRE # 6AWG DE 1 HILO.

Para determinar la separación entre los conductores del circuito primario de distribución se calculará la flecha que producirá el conductor de cobre desnudo "hard drawn" de calibre # 6 AWG de 1 hilo en el circui

to primario de distribución, teniendo en cuenta el peso del conductor, la carga que sobre él ejerce el viento y los cambios de temperaturas.

Mas tarde se calculará la separación de los conductores por medio de una fórmula empírica que toma en consideración tanto el voltaje como la máxima flecha producida por los cambios de temperatura y la fuerza del viento.

Cálculo de la Flecha.

Tender el conductor y ajustar la flecha, no es mas que ajustar la longitud del mismo en el vano.

Los cambios de longitud que tienen lugar en el conductor debidos a los alargamientos elásticos o a las dilataciones o contracciones por variaciones de la temperatura, producen efectos similares en la flecha.

Por esta razón, al hacer los ajustes deben satisfacerse dos ecuaciones simultaneas, las cuales se resumen en una ecuación conocida como "Ecuación del cambio de condiciones", que contempla estos fenómenos mecánicos.

Las peores condicionea que puede soportar un conductor en la Ciudad de Santa Rosa, es aquella en que se encuentra sometido a la mas baja temperatura y con la carga producida por el viento.

Se ha supuesto que la máxima velocidad del viento será de 60 millas por hora, y la mas baja temperatura ambiente a que estarán sometidos los conductores será la de 0 grados Centígrados. ?

En estas condiciones según la fórmula de Rankine,

la flecha de un conductor será:

$$d = \frac{S^2 w}{8t}$$

Donde:

d = flecha en el centro del vano.

S = longitud del vano en metro.

w = peso del conductor por unidad de longitud.

t = tensión mecánica.

Ahora bien, el peso de un conductor por unidad de longitud, será la resultante entre el peso propio del conductor y la carga debida al viento, que se aplica en la dirección perpendicular al peso del propio conductor.

Según Buck, para calcular la presión del viento so bre un conductor cilíndrico en un vano, debe emplearse la fórmula:

$$p = 0.0025\ V^2$$

Donde: p = presión del viento en lb por pie cuadrado.

V = velocidad efectiva del viento en millas por hora.

Luego sustituyendo valores:

$$p = 0.0025\ (60)^2$$

$$p = 0.0025\ (3600)$$

$$p = 9 \text{ lb por pie cuadrado.}$$

La carga debida al viento será:

$$w_1 = \frac{p}{12}\ D$$

Donde:

w_1 = carga en libras por pie lineal.

p = presión del viento en libra por pie cuadrado.

D = diametro del conductor en pulgadas.

El conductor cuya flecha quiere determinarse es el de cobre desnudo "hard drawn" de 97.3% de conductividad, de calibre # 6 AWG de 1 hilo, que tiene un peso por milla de 420 lb. y cuyo diametro exterior es de 0.1620 pulgadas.

Luego sustituyendo valores se tiene:

$$w_1 = \frac{9}{12}(0.1620)$$

$$w_1 = 0.1215 \text{ lb. por pie lineal.}$$

$$w_1 = 0.398 \text{ lb. por metro.}$$

El peso propio del conductor en lb. por metro será:

$$w_2 = \frac{420}{1610} = 0.261 \text{ lb. por metro.}$$

La resultante entre el peso propio del conductor y la fuerza que ejerce el viento sobre el mismo, viene expresada por:

$$G_1 = \sqrt{w_1^2 + w_2^2} \text{ lb. por metro.}$$

Sustituyendo valores:

$$G_1 = \sqrt{(0.398)^2 + (0.261)^2}$$

$$G_1 = \sqrt{(0.1583) + (0.068)}$$

$G_1 = 0.475$ lb.por metro.

Luego sustituyendo valores en la fórmula de Rankine, para calcular la flecha se tiene:

$$d = \frac{(40)^2(0.475)}{8 \times 256} = \frac{1600 \times 0.475}{2048}$$

$$d = \frac{760}{2048} = 0.371 \text{ metros.}$$

Cuando el conductor esté bajo las peores condiciones supuestas, la flecha tendrá un valor de 0.371 metros

La tensión mecánica que soportará en estas condiciones será de 256 lb., que equivale a utilizar el valor del esfuerzo de rotura del conductor, con un factor de seguridad de 5.

La ecuación del cambio de condición para el cobre "hard drawn" tiene la forma:

$$t_2^2 \left\{ t_2 + 0.0423 \frac{s^2 m_1^2}{t_1^2} + 0.217(\phi_2 - \phi_1) - t_1 \right\} = 0.0423\, s^2 m_2^2$$

Donde:

S= longitud del vano en metros

t_2= tensión de tendido en Kg./mm^2

t_1= tensión a causa del cambio de condiciones en Kg./mm^2.

ϕ_2= temperatura en el momento de tensar en grados centígrados.

ϕ_1= temperatura al cambio de condiciones en grados centígrados.

m_2= coeficiente de la resultante del peso propio del conductor y del

viento, sobre el peso propio del conductor.

m_1 = coeficiente de la resultante del peso propio del conductor y del viento, sobre el peso propio del del conductor al cambio de condiciones.

En este estudio, al aplicar la ecuación del cambio de condiciones suponiendo que el conductor se va a tensar a la máxima temperatura ambiente de la zona, sólo se pretende dar un ejemplo de como calcular la tensión de tendido a cualquier temperatura ambiente y con una velocidad del aire conocida.

Al hacerse esto, debe tenerse en cuenta la mínima temperatura a que estará sometido el conductor y por consecuencia, la máxima tensión que soportará en ese momento, suponiendo además la máxima carga del viento.

En la Ciudad de Santa Rosa, que tiene una temperatura promedio de 25 grados Centígrados, se supone que la máxima temperatura ambiente será de 40 grados Centígrados. En estas condiciones de temperatura ambiente y con viento de 20 millas por hora, se desea determinar la tensión a que debe someterse el conductor, para que en las peores condiciones estimadas (0 grados Centígrados y viento de 60 millas por hora), su tensión de tendido no exceda el valor de 256 lb. o 116 Kg.

Al emplear un conductor de calibre # 6 AWG de 1 hilo, que tiene una sección de 13.3 mm^2, la máxima tensión a aplicar será de 8.73 Kg/mm^2.

El coeficiente m_2 de la ecuación del cambio de condiciones, viene expresado por:

$$m_2 = \frac{G_2}{w_2}$$

Donde: G_2= valor de la resultante entre el peso propio del conductor y la carga del viento al momento de tensar.

w_2= peso propio del conductor.

Segun Buck, la presión del viento de 20 millas por hora sobre el conductor, tendrá un valor de:

$$p = 0.0025\ V^2$$

$$p = 0.0025\ (20)^2$$

$$p = 0.0025 \times 400$$

$$p = 1 \text{ libra por pié cuadrado.}$$

La carga debida al viento será:

$$w_1 = \frac{p}{12}\ D$$

$$w_1 = \frac{1}{12}\ (0.1620)$$

$$w_1 = 0.0135 \text{ lb por pie}$$

$$w_1 = 0.0443 \text{ lb por metro}$$

Luego:

$$G_2 = \sqrt{w_1^2 + w_2^2}$$

$$G_2 = \sqrt{(0.0443)^2 + (0.261)^2}$$

$$G_2 = 0.264 \text{ lb por metro.}$$

De donde:

$$m_2 = \frac{0.264}{0.261} = 1.01$$

El coeficiente m_1 de la ecuación del cambio de condiciones tendrá un valor de:

$$m_1 = \frac{G_1}{w_2} = \frac{0.475}{0.261} = 1.82$$

Sustituyendo valores en la fórmula del cambio de condiciones:

$$t_2^2 \left\{ t_2 + \frac{0.0423(40)^2(1.82)^2}{(8.73)^2} + 0.217(40 - 0) - 8.73 \right\} = 0.0423(40)^2(1.01)^2.$$

$$t_2^2 \left\{ t_2 + 2.76 + 8.68 - 8.73 \right\} = 69$$

$$t_2^2 \left\{ t_2 + 2.71 \right\} = 69$$

Por tanteo:

$$t_2 = 3.38 \ \ Kg/mm^2 .$$

Esto equivale a aplicar al conductor una tensión de:

$$3.38 \times 13.3 = 45.00 \ Kg = 101 \text{ libras.}$$

La flecha que debe tener el conductor al ser tensado en estas condiciones de viento y temperatura, será segun Rankine:

$$d = \frac{S^2 w}{8t}$$

$$d = \frac{(40)^2(0.264)}{8 \times 101}$$

$$d = \frac{1600 \times 0.264}{808}$$

$$d = 0.522 \text{ metros.}$$

Es de esperarse que la máxima temperatura ambiente a que estará sometido el conductor no exceda el valor de 40 grados Centígrados, por lo que la flecha máxima que tendrá el conductor de calibre # 6 AWG de 1 hilo, será de 0.522 metros, en las condiciones dadas.

Cálculo de la separación entre los conductores.

Para calcular la separación entre los conductores del circuito primario se aplica la fórmula empírica si guiente:

$$L = \frac{U}{150} + 0.75\sqrt{d}$$

Donde:

L = distancia entre conductores en metro.

U = tensión en Kilovoltios.

d = flecha en metro.

Sustituyendo valores:

$$L = \frac{6.6}{150} + 0.75\sqrt{0.522}$$

$$L = 0.0440 + 0.75 \times 0.722$$

$$L = 0.0440 + 0.542$$

$$L = 0.586 \text{ metros.}$$

El valor mínimo que debe tener la separación entre los conductores en el sistema primario de distribución será de 0.59 metros, si se emplea conductor de calibre # 6 AWG de 1 hilo.

No obstante esto, y en vista de cálculos que se harán posteriormente empleando conductores de cobre de calibre #4 AWG de 7 hilos, para la distribución primaria, se adoptará una separación de 61 centímetros entre los conductores de alta tensión, los cuales irán colocados en la forma mostrada en el gráfico No.3-4.

Según este gráfico, la distancia media geométrica entre los conductores será:

$$D = \sqrt[3]{61 \times 61 \times 61} = 61 \text{ centímetro.}$$

3-11. CAIDA DE VOLTAJE EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO CON CABLE DE COBRE DESNUDO "HARD DRAWN" DE CALIBRE #6 AWG dE 1 HILO.

La impedancia del conductor de cobre desnudo "hard drawn" de calibre # 6 AWG de 1 hilo es:

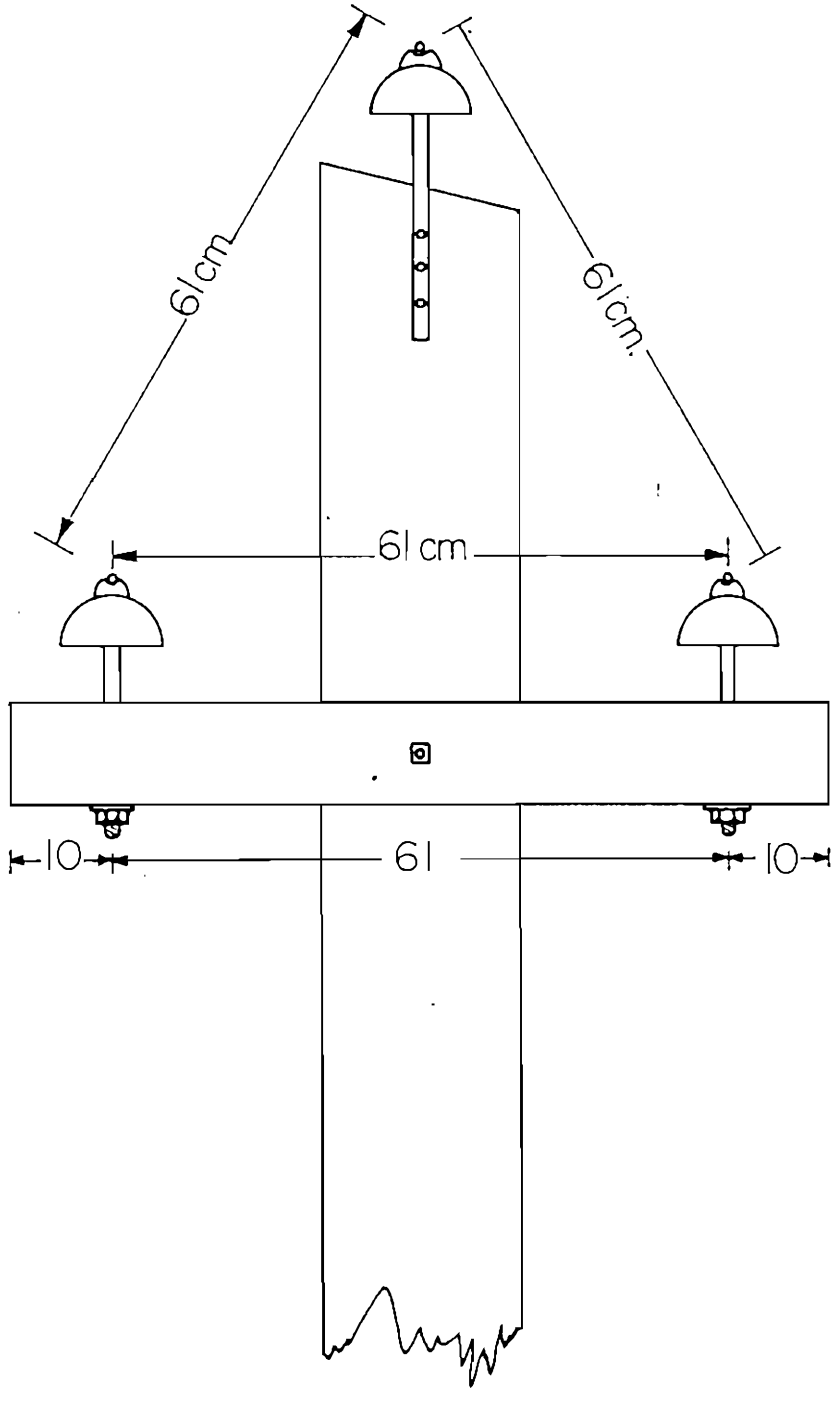
R_a = 2.18 ohm/cond/milla a 25 grados C. y 60 c/s.
X_a = 0.637 ohm/cond/milla a 1' de espaciam.y 60c/s.
X_d = 0.0841 ohm/cond/milla a 2'de espaciam.y 60c/s.

$$R = 2.18 \text{ ohm/cond/milla.}$$
$$X = 0.721 \text{ ohm/cond/milla.}$$
$$\cos\phi = 0.8$$

La impedancia equivalente de la linea tendrá un va-

GRAFICO Nº 3-4

Separación entre los conductores de alta tensión.



lor de:

$$(R \cos \emptyset + X \operatorname{sen} \emptyset) = (2.18 \times 0.8 + 0.721 \times 0.6)$$
$$= 1.743 + 0.433$$
$$= 2.176 \text{ ohm/cond/milla.}$$

Expresando en metros este valor se tiene:

$$(R \cos \emptyset + X \operatorname{sen} \emptyset) = \frac{2.176}{1610} =$$
$$= 0.00135 \text{ ohm/cond/metro.}$$

La corriente de los transformadores viene expresada por:

$$I = \frac{KVA}{\sqrt{3}\ V}$$

Siendo el voltaje de distribución primario de 6600 voltios, y los transformadores de distribución de 12 KVA 24 KVA y 36 KVA, se tiene:

$$I_1 = \frac{12000}{\sqrt{3}\ 6600} = \frac{12000}{11410} = 1.05 \text{ amperios.}$$

$$I_2 = \frac{24000}{11410} = 2.10 \text{ amperios.}$$

$$I_3 = \frac{36000}{11410} = 3.15 \text{ amperios.}$$

Se considerarán dos alimentadores, A y B, capaces de soportar toda la carga de la Ciudad si fuera necesario, tal como se muestra en el plano No. 3. Estos alimentadores podrán interconectarse por medio de un interruptor manual (I), si se desea que uno de ellos, tome toda o parte de la carga del otro en caso de averias o reparaciones.

<u>Cálculo de la caida de tensión del alimentador A suponiendo que lleva toda la carga de la Ciudad. Se permitirá una caida máxima de voltaje de 2% del voltaje de 6600 voltios.</u>

$$e = \Sigma \sqrt{3}\ I\ d\ (R\cos \phi + X\operatorname{sen} \phi) \quad \text{voltios.}$$

Para el conductor de cobre de calibre # 6 AWG de 1 hilo:

$$e = \sqrt{3}\ (R\cos \phi + X\operatorname{sen} \phi)\ \Sigma \left\{ I\ d \right\} \quad \text{voltios.}$$

$$e = \sqrt{3}\ (0.00135)\ \Sigma \left\{ I\ d \right\} \quad \text{voltios.}$$

$$e = 0.00234 \left\{ \begin{array}{l} 3.15 \times 110 + 36.75 \times 300 \\ 3.15 \times 410 + 1.05 \times 530 \\ 210 \times 630 + 3.15 \times 660 \\ 6.30 \times 840 + 18.90 \times 1020 \\ 3.15 \times 1170 \ . \ . \ . \ . \ . \end{array} \right\}$$

3.15 x 110	=	346
36.75 x 300	=	11000
3.15 x 410	=	1290
1.05 x 530	=	556
2.10 x 630	=	1325
3.15 x 660	=	2080
6.30 x 840	=	5300
18.90 x 1020	=	19300
3.15 x 1170	=	3680
		44877

$$e = 0.00234\ (\ 44877\ )\ \text{voltios.}$$

$$e = 105\ \text{voltios.}$$

El alimentador A de cobre desnudo de calibre # 6 AWG de 1 hilo puede soportar perfectamente toda la carga de la Ciudad, si fuera necesario, con una caida menor -

del 2% del voltaje de 6600 voltios.

Cálculo de la caida de tensión del alimentador B suponiendo que lleva toda la carga de la Ciudad. Se permitirá una caida máxima de voltaje de 2% - del voltaje de 6600 voltios.

Para el conductor de cobre de calibre # 6 AWG de 1 hilo:

$$e = 0.00234 \left\{ \begin{array}{l} 3.15 \times 360 + 18.90 \times 510 \\ 6.30 \times 690 + 3.15 \times 870 \\ 2.10 \times 900 + 1.05 \times 1005 \\ 3.15 \times 1135 + 36.75 \times 1245 \\ 3.15 \times 1435 \; . \; . \; . \; . \; . \end{array} \right\}$$

3.15 x 360	=	1132
18.90 x 510	=	9640
6.30 x 690	=	4350
3.15 x 870	=	2740
2.10 x 900	=	1890
1.05 x 1005	=	1055
3.15 x 1135	=	3580
36.75 x 1245	=	45700
3.15 x 1435	=	4520
		74607

$e = 0.00234 \; (\; 74607 \;)$ voltios.

$e = 175$ voltios.

Esta caida de voltaje de 175 voltios es superior al valor del 2% del voltaje de 6600 voltios, que es el máximo que se ha impuesto en este estudio para calcular el alimentador primario.

Ahora se haran los cálculos para determinar si el calibre de conductor de cobre desnudo "hard drawn" # 4 AWG de 7 hilos es capaz de transportar la carga dada - con una caida inferior al 2% del voltaje nominal de -- 6600 voltios.

3-12. SEPARACION ENTRE LOS CONDUCTORES DEL CIRCUITO PRIMARIO DE DISTRIBUCION USANDO CONDUCTOR DE COBRE - DESNUDO "HARD DRAWN" DE CALIBRE # 4 AWG DE 7 HILOS.

Cálculo de la flecha.

Suponiendo que las peores condiciones que soportará un conductor en la Ciudad de Santa Rosa será aquella en que la máxima velocidad del viento sea de 60 millas por hora, y la mas baja temperatura ambiente sea de 0 grados Centígrados, la fórmula de Rankine establece que:

$$d = \frac{S^2 w}{8t}$$

Donde:

d = flecha en el centro del vano.

S = longitud del vano en metros.

w = peso del conductor por unidad de longitud.

t = tensión mecánica.

Ahora bien, el peso de un conductor por unidad de longitud, será la resultante entre el peso propio del conductor y la carga debida al viento, que se aplica en la dirección perpendicular al peso del propio conductor.

Segun Buck para calcular la presión del viento sobre un conductor cilíndrico en un vano, debe aplicarse la fórmula:

$$p = 0.0025\ V^2$$

Donde:

p = presión del viento en lb por pie cuadrado.

V = velocidad del viento en millas por hora.

Luego sustituyendo valores:

$$p = 0.0025\ (60)^2$$

$$p = 0.0025 \times 3600$$

$$p = 9 \text{ libras por pie cuadrado.}$$

La carga debida al viento será;

$$w_1 = \frac{p}{12} D$$

Donde:

w_1 = carga en libra por pie lineal

p = presión del viento en libra por pie cuadrado.

D = diámetro del conductor en pulgadas

El conductor cuya flecha se quiere hallar es el de cobre desnudo "hard drawn" de 97.3% de conductividad de calibre # 4 AWG de 7 hilos, que tiene un peso por milla de 674 libras y cuyo diámetro exterior es de 0.254 pulgadas.

Luego sustituyendo valores se tiene:

$$w_1 = \frac{9}{12}\ (0.254) \text{ lb por pie lineal.}$$

$w_1 = 0.1905$ libra por pie lineal.

$w_1 = 0.624$ libra por metro.

El peso propio del conductor en libra por metro será:

$$w_2 = \frac{674}{1610} = 0.419 \text{ libra por metro.}$$

La resultante entre el peso propio del conductor y la fuerza que ejerce el viento sobre el mismo, viene expresada por:

$$G_1 = \sqrt{w_1^2 + w_2^2} \quad \text{libra por metro.}$$

Sustituyendo valores:

$$G_1 = \sqrt{(0.624)^2 + (0.419)^2}$$

$$G_1 = \sqrt{0.39 + 0.176}$$

$$G_1 = 0.751 \text{ libras por metro.}$$

Luego sustituyendo valores en la fórmula de Rankine para calcular la flecha, se tiene:

$$d = \frac{(40)^2 \ (0.751)}{8 \times 376}$$

$$d = \frac{1600 \times 0.751}{3008}$$

$$d = 0.399 \text{ metros.}$$

Cuando el conductor este bajo las peores condiciones supuestas, la flecha tendrá un valor de 0.399 metros.

La tensión mecánica que soportará en estas condicio nes será de 376 libras, que equivale a utilizar el valor del esfuerzo de rotura del conductor con un factor de se guridad de 5.

La ecuación del cambio de condiciones para el cobre "hard drawn" tiene la forma de:

$$t_2^{\,2} \left\{ t_2 + 0.0423 \frac{S^2 m_1^{\,2}}{t_1^{\,2}} + 0.217 \left(\phi_2 - \phi_1 \right) - t_1 \right\} = 0.423\, S^2\, m_2^{\,2} \,.$$

Donde:

S = longitud del vano en metros.

t_2= tensión de tendido en Kg./mm^2.

t_1= tensión a causa del cambio de condicones en Kg./mm^2.

ϕ_2= temperatura en el momento de tensar en grados centígrados.

ϕ_1= temperatura al cambio de condiciones en grados centígrados.

m_2= coeficiente de la resultante del peso propio del conductor y del viento, sobre el peso propio del conductor.

m_1= coeficiente de la resultante del peso propio del conductor y del viento, sobre el peso propio del conductor al cambio de condiciones.

En este estudio, al aplicar la ecuación del cambio de condiciónes suponiendo que el conductor se va a tensar a la máxima temperatura ambiente de la zona, sólo se pre-

tende dar un ejemplo de como calcular la tensión de ten dido a cualquier temperatura ambiente y con una velocidad del aire conocida.

Al hacerse esto, debe tenerse en cuenta la mínima temperatura a que estará sometido el conductor, y por con secuencia, la máxima tensión mecánica que soportará en ese momento, suponiendo además la máxima carga del viento.

En la Ciudad de Santa Rosa, que tiene una tempera tura promedio de 25 grados Centígrados, se supone que la máxima temperatura ambiente será de 40 grados Centí grados. Esn estas condiciones de temperatura ambiente y con viento de 20 millas por hora, se desea determinar la tensión a que debe someterse el conductor, para que en las peores condiciones estimadas (0 grados Centígra dos y viento de 60 millas por hora), su tensión de ten dido no exceda el valor de 376 libras ó 171 Kilogramos.

Al emplear un conductor de calibre # 4 AWG de 7 hi los, que tiene una sección de 21.15 mm^2, la máxima ten- sión a aplicar será de 8.06 $Kg./mm^2$.

El coeficiente m_2 de la ecuación del cambio de con diciones viene expresado por:

$$m_2 = \frac{G_2}{w_2}$$

Donde:

G_2 = valor dá la resultante entre el peso propio del conductor y la carga del viento al momento de tensar.

w_2 = peso del propio conductor.

Segun Buck, la presión del viento de 20 millas por hora sobre el conductor cilíndrico tendrá un valor de:

$$p = 0.0025\ V^2$$

$$p = 0.0025\ (20)^2$$

$$p = 0.0025 \times 400$$

$$p = 1 \text{ libra por pie cuadrado.}$$

La carga debida al viento será:

$$w_1 = \frac{p}{12}\ D$$

$$w_1 = \frac{1}{12}\ (0.254)$$

$$w_1 = 0.0212 \text{ libra por pie lineal}$$

$$w_1 = 0.0694 \text{ libra por metro.}$$

Luego:

$$G_2 = \sqrt{w_1^{\ 2} + w_2^{\ 2}}$$

$$G_2 = \sqrt{(0.0694)^2 + (0.419)^2}$$

$$G_2 = \sqrt{0.00483 + 0.176}$$

$$G_2 = 0.425 \text{ libra por metro}$$

El coeficiente m_2 tendrá un valor de:

$$m_2 = \frac{G_2}{w_2} = \frac{0.425}{0.419} = 1.015$$

El coeficiente m_1 de la ecuación del bambio de condiciones tendrá un valor de:

$$m_1 = \frac{G_1}{w_2} = \frac{0.751}{0.419} = 1.79$$

Sustituyendo valores en la fórmula del cambio de condiciones:

$$t_2^2 \left\{ t_2 + \frac{0.0423(40)^2(1.71)^2}{(8.06)^2} + 0.217(40 - 0) - 8.06 \right\} = 0.0423\,(40)^2(1.015)^2$$

$$t_2^2 \left\{ t_2 + 3.05 + 8.68 - 8.06 \right\} = 68.6$$

$$t_2^2 \left\{ t_2 + 3.67 \right\} = 68.6$$

Por tanteo:

$$t_2 = 3.18 \text{ Kg./mm}^2.$$

Esto equivale a palicar al conductor una tensión de:

$$3.18 \times 21.15 = 67.1 \text{ Kg.} = 148 \text{ libras.}$$

La flecha que debe tener el conductor al ser tensado en estas condiciones de viento y temperatura, será segun Rankine:

$$d = \frac{S^2\ w}{8\ t}$$

$$d = \frac{(40)^2(0.425)}{8 \times 148}$$

$$d = 0.574 \text{ metros.}$$

Es de esperarse que la máxima temperatura ambiente a que estará sometido el conductor no excederá el valor de 40 grados centígrados, por lo que la flecha máxima que

tendrá el conductor de calibre # 4 AWG de 7 hilos en es tas condiciones, será de 0.552 metros.

Cálculo de la separación entre los conductores.

Para calcular la separación entre los conductores del circuito primario en la Ciudad de Santa Rosa, se aplica la fórmula empírica siguiente:

$$L = \frac{U}{150} + 0.75\sqrt{d}$$

Donde:

L = distancia entre los conductores en metros

U = tensión en Kilovoltios.

d = flecha en metro.

Sustituyehdo valores:

$$L = \frac{6.6}{150} + 0.75\sqrt{0.574}$$

$$L = 0.044 + 0.75 \times 0.757$$

$$L = 0.61 \text{ metro.}$$

El valor mínimo que debe tener la separación entre los conductores será de 0.61 metros

En este estudio la separación entre los conductores del circuito primario se mantendrá en 61 centímetros, para tener uniformidad en las crucetas, tanto aquellas que soportan un conductor de calibre # 6 AWG, como las que llevan uno de calibre # 4 AWG.

3-13. CAIDA DE VOLTAJE EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO CON CABLE DE COBRE DESNUdO "HARD DRAWN" DE CALIBRE # 4 AWG DE 7 HILOS.

La impedancia del conductor de cobre desnudo "hard drawn" de calibre # 4 AWG de 7 hilos es:

R_a= 1.388 ohm/cond/milla a 25 grados C. y 60 c/s.
X_a= 0.599 ohm/cond/milla a 1'de espac. y 60 c/s.
X_d= 0.0841ohm/cond/milla a 2'de espac. y 60 c/s.

$$R = 1.388 \text{ ohm/cond/milla.}$$
$$X = 0.683 \text{ ohm/cond/milla.}$$
$$\cos \phi = 0.8$$

La impedancia equivalente de la línea tendrá un valor de:

$$(R \cos \phi + X \operatorname{sen} \phi) = (1.388 \times 0.8 + 0.683 \times 0.6)$$
$$= 1.11 + 0.41$$
$$= 1.52 \text{ ohm/cond/milla.}$$

Expresando en metros este valor se tiene:

$$(R\cos \phi + X\operatorname{sen} \phi) = \frac{1.52}{1610}$$
$$= 0.000945 \text{ ohm/cond/ metro.}$$

<u>Cálculo de la caida de tensión del alimentador B suponiendo que lleva toda la carga de la Ciudad. Se permitirá una caida máxima de voltaje de 2% del voltaje nominal de 6600voltios.</u>

Para el conductor de cobre de calibre # 4 AWG de siete hilos:

$$e = \sqrt{3}\,(R\cos\phi + X\operatorname{sen}\phi)\,\Sigma\{\,I\,d\,\}\ \text{voltios.}$$

$$e = \sqrt{3}\,(0.000945)\,\{\,74607\,\}\ \text{voltios.}$$

$$e = 122\ \text{voltios.}$$

Esta caida de voltaje es inferior al máximo permisible de 2% del voltaje de 6600 voltios y por tanto este calibre de conductor es capaz de cumplir el requisito fijado.

La caida de tensión a lo largo del alimentador B, con calibre de conductor # 4 AWG de 7 hilos, hasta el ramal suroccidental de la calle Olmedo es de:

$$e = \sqrt{3}\,(0.000945)\,\{\,24387\,\}$$

$$e = 40\ \text{voltios.}$$

La caida de tensión a lo largo del ramal surocciden tal de la calle Olmedo, con calibre de conductor # 6 AWG de 1 hilo es de:

$$e = \sqrt{3}\,(0.00135)\,\{\,11.55 \times 990 + 2.10 \times 820 \quad 2.10 \times 610 + 2.10 \times 560 \quad 14.70 \times 310 + 4.20 \times 160\,\}$$

11.55 x 990 =	11430	
2.10 x 820 =	1720	
2.10 x 610 =	1280	
2.10 x 560 =	1174	
14.70 x 310 =	4560	(continua)

$$4.20 \times 160 = 672$$

$$\text{Sumando:---} \quad 20836$$

$$e = \sqrt{3}\,(0.00135)\left\{ 20836 \right\}$$

$$e = 48.7 \text{ voltios.}$$

La caida de tensión a lo largo del alimentador B, con calibre de conductor # 4 AWG de siete hilos, hasta el ramal suroccidental de la calle Olmedo es de 40 voltios.

Esta caida de tensión sumada a la caida a través del ramal suroccidental de la calle Olmedo(48.7 voltios), dará una caida de tensión de:

$$40.0 + 48.7 = 88.7 \text{ voltios}$$

Este valor de la caida de tensión de 89 voltios, es inferior al valor del 2% del voltaje nominal de 6600 voltios en el sistema de alta tensión.

3-14.- SELECCION DEL CALIBRE DE CONDUCTOR PARA LA RED DE ALTA TENSION Y SEPARACION DE LOS MISMOS.

En este proyecto se adoptará el empleo de conductores de calibre # 4 AWG de 7 hilos en los alimentadores A y B, en tanto que, en los ramales primarios se utilizarán conductores de calibre # 6 AWG de 1 hilo. Todos ellos, iran soportados por aisladores sobre crucetas de madera con una separación de 61 centímetros tal como se mostró en el gráfico No.3-4.-

3-15. RED DE ALUMBRADO PUBLICO.

Clasificación del tráfico de las calles de la Ciudad de Santa Rosa. (1).

Para proyectar una adecuada iluminación, de acuerdo a las recomendaciones prácticas de iluminación de calles y carreteras, debe establecerse una clasificación de las mismas, atendiendo al tráfico de vehículos y peatones que tiene lugar en una hora.

En la Ciudad de Santa Rosa, las calles de Guayas y Colón, tienen un tráfico de vehículos y de peatones clasificado como "ligeros". En las calles comerciales, el tráfico de vehículos es"ligero" al igual que el de peatones. El resto de la Ciudad se caracteriza por muy poco tráfico de vehículos y peatones.

Determinación de la iluminación media atendiendo a la clasificación de las calles.

De acuerdo al cuadro No.3-1, se determina que la sección comercial de la Ciudad y sus calles principales, no debe tener una iluminación media menor de 4.3 lumenes por metro cuadrado, mientras que en el resto de la Ciudad, este valor no debe ser inferior a 2.1 lumenes por metro cuadrado.

---(1). Ver clasificación en el cuadro No. 3-1.

CUADRO No. 3-1.

ILUMINACION MEDIA PARA VIAS URBANAS.

Tráfico de Peatones (1)	Clasificación del tráfico de vehículos			
	Muy Ligero menos de 150	Ligero 150 a 500	Medio 500 a 1200	Intenso mas de 1200
	Lumenes por metro cuadrado.			
Intenso	--	8.6	10.7	13.0
Medio	--	6.5	8.6	10.7
Ligero	2.1	4.3	6.5	8.6

---(1). Tráfico de peatones Intenso: En calles comerciales de primera categoría.

Tráfico de peatones Medio: En calles comerciales secundarias o en calles industriales.

Tráfico de peatones Ligero: En calles residenciales o carreteras abiertas.

Para hacer la clasificación del tráfico de peatones en la Ciudad de Santa Rosa, se han tenido en cuenta las características especiales de dicha Ciudad, en cuanto al comercio y sus costumbres.

Selección del tipo de luminaria.

Para la iluminación de las calles de la Ciudad de Santa Rosa, se ha escogido una luminaria con una curva de distribución de luz similar al tipo II (que define uno de los cinco tipos de luminarias establecidos para el alumbrado público).

Al hacer esta selección se ha tenido en cuenta la recomendación de emplear este tipo de luminaria cuando el ancho de la calle no exceda el valor del factor 1.6 multiplicado por la altura de montaje.

Si en la Ciudad de Santa Rosa el promedio de ancho de calle es de 9 metros, se deduce que la mínima altura a que podría colocarse una luminaria de este tipo sería de 5.60 metros, sin considerar otros factores.

En este estudio, y a manera de ejemplo, para proyectar la iluminación de la Ciudad de Santa Rosa, se escogerá la luminaria HRT 12 de la Philips con lámpara de vapor de mercurio corregido.

Estas luminarias tienen una curva de distribución de luz similar al tipo II de la clasificación de luminarias para alumbrado público.

Las luminarias HRT 12 de la Philips, tienen una pantalla de "die-cast" de una sola pieza, con una tuerca roscada de 3/4" B.S.P. en la parte superior y un tornillo prisionero para la sujeción. Tiene además un reflector de una aleación de aluminio de 10 1/2 " de diametro, resistente a la corrosión y un cristal refractor que se sujeta por medio de unos enganches interiores a

presión. La luminaria es de suspensión vertical y del tipo "abierto", con un aditamento para corregir la posición del foco de la lámpara.

Un brazo de tubería de acero galvanizado de 3/4", une la luminaria con el poste, tal como puede apreciarse en el gráfico No. 3-5, al igual que se aprecian las medidas de la luminaria.

Estas luminarias llevarán lámparas de vapor de mercurio HPL de 125 watts y 5400 lumenes, en aquellas partes de la Ciudad que requieren una mayor iluminación, mientras que el resto de las mismas, llevarán lámparas de vapor de mercurio HPL de 80 watts y 3100 lumenes, apreciándose en el gráfico No. 3-6, el diagrama de isocandelas y el de distribución de luz de las mismas, en la luminaria.

Las lámparas HPL de vapor de mercurio corregido, necesitan un "ballast" para limitar la corriente y elevar la tensión hasta el valor necesario para el arranque.

Con el fin de mejorar el factor de potencia de la combinación, lámpara HPL y "ballast", se utilizará un condensador de 8 y 10 microfaradios en las lámparas de 80 y 125 watts respectivamente.

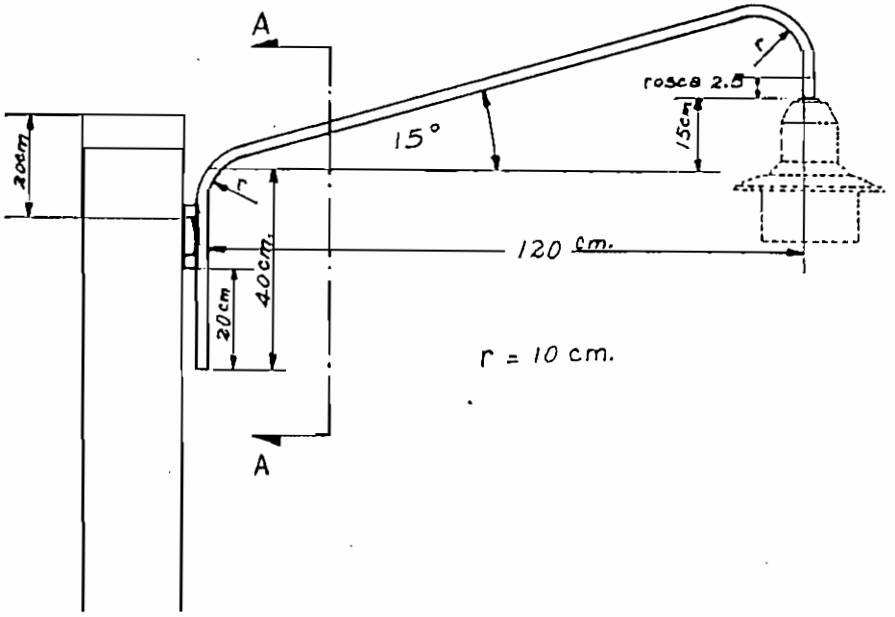
La tensión nominal de las lámparas será de 220 voltios y las características de la combinación se muestran en el cuadro No. 3-2 (1), donde además aparece un esquema de la conexion de las mismas.

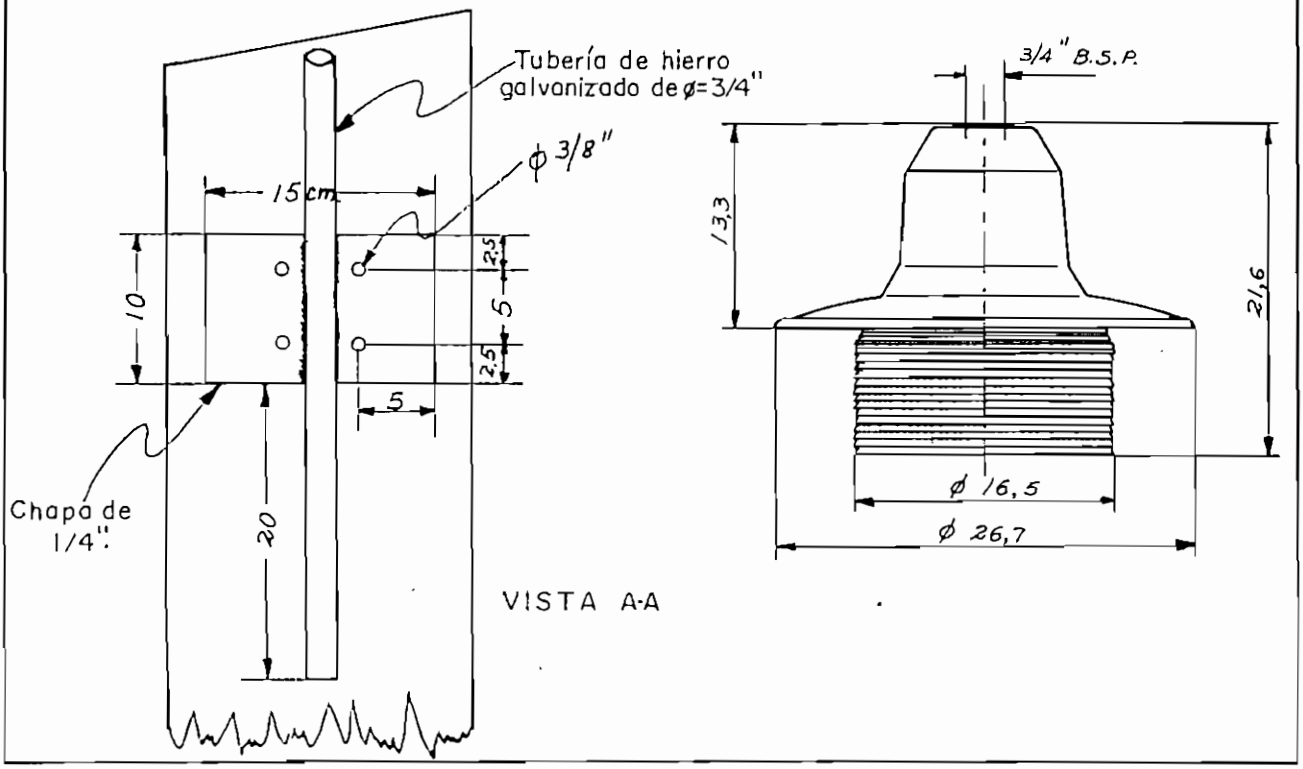
En este estudio se escogió la luminaria HRT 12 de la Philips por ser una de las mas económicas encontradas en Plaza.

---(1). Tomado parcialmente del "Catálogo de lámparas HPL" de la Philips.

GRAFICO Nº 3-5

BRAZO SOPORTE DE LA LUMINARIA





La selección de las lámparas de vapor de mercurio corregido HPL, se debió al alto valor de lumenes por lámpara que ofrecia, con respecto a las lámparas incandescentes de la misma potencia de consumo.

La utilización de lámparas mixtas (de vapor de mercurio y luz incandescentes), fué descartada debido a que si bien el costo unitario por lámparas, era menor que el de las lámparas de vapor de mercurio corregido, la vida de estas últimas compensaba el costo inicial de la lámpara y sus accesorios, y el de mantenimiento.

3-16. CALCULO DE LA ILUMINACION.

Para el presente cálculo se ha tomado un promedio del ancho de las calles de la Ciudad de Santa Rosa, y se ha adoptado una separación entre luminarias, de 40 metros.

,El ancho promedio de las calles es de 9 metros, y el factor de mantenimiento de las luminarias se estima en 0.60 para luminarias abiertas, similares al tipo HRT 12 de la Philips.

El factor de utilización de la luminaria es aproximadamente, de acuerdo al diagrama de isocandela del gráfico No. 3-6 :

Para lámparas de 125 watts y 5400 lumenes:

$$F.U. = 0.64$$

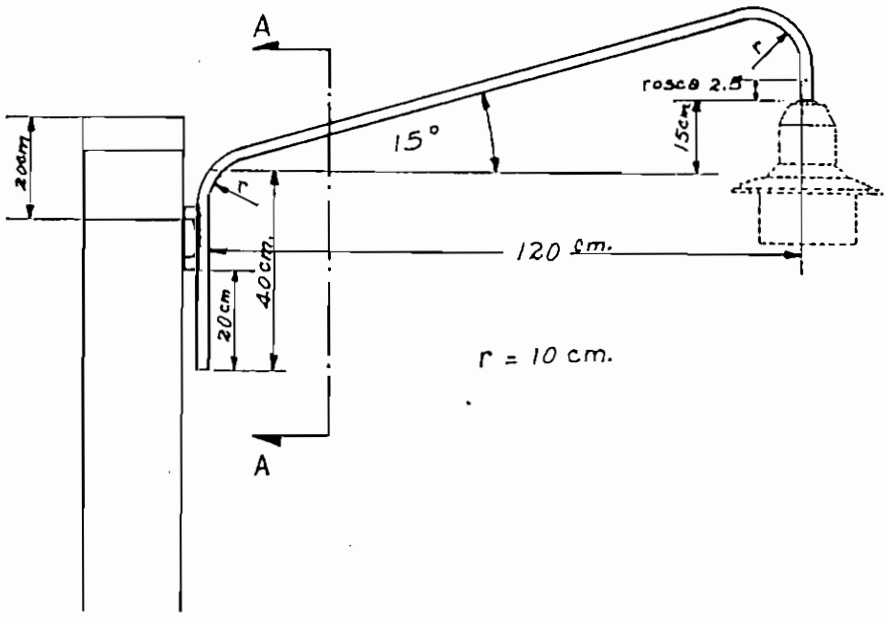
Para lámparas de 80 watts y 3100 lumenes:

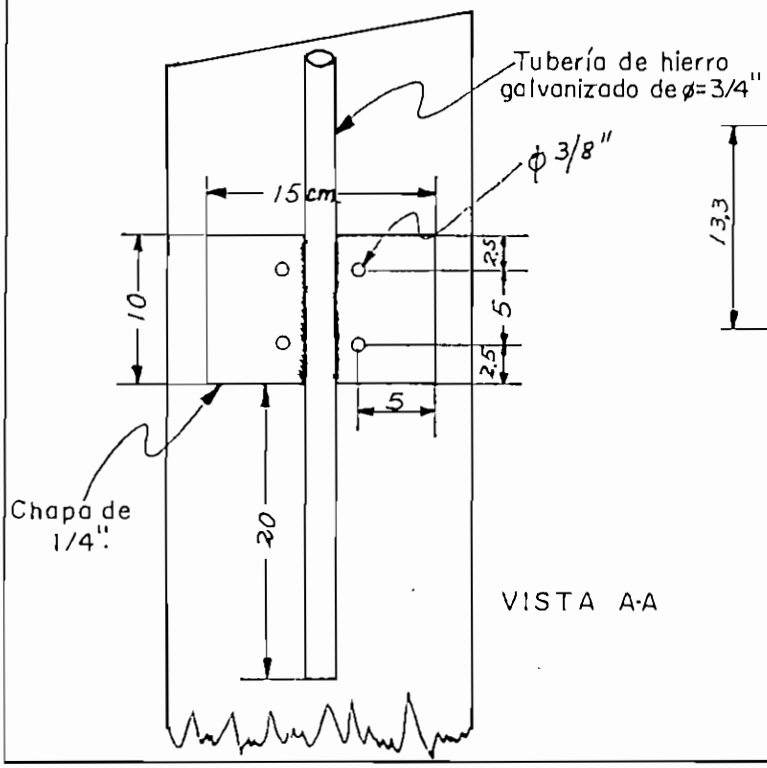
$$F.U. = 0.66$$

La iluminación media en las zonas de lámparas de 125 watts y 5400 lumenes será:

GRAFICO Nº 3-5

BRAZO SOPORTE DE LA LUMINARIA





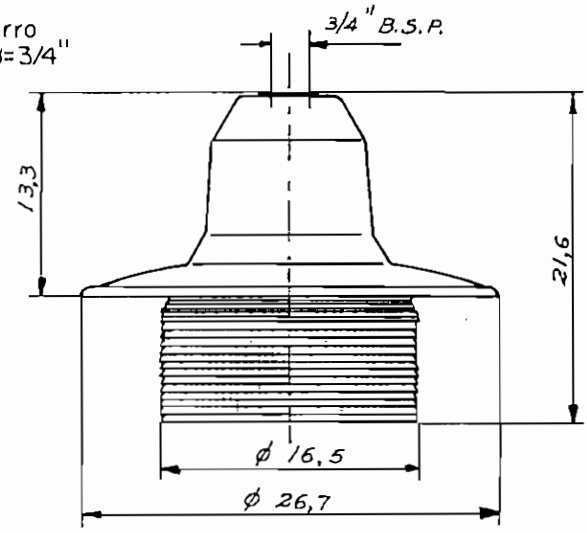
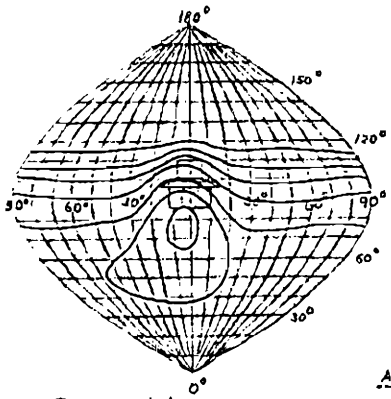
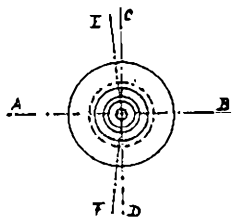


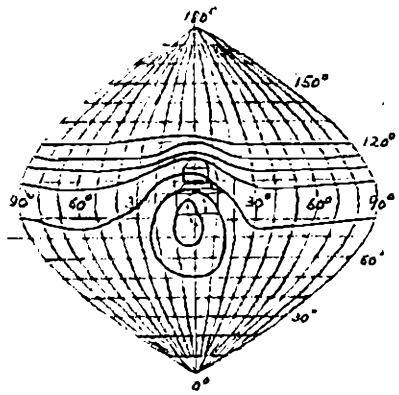
GRAFICO Nº 3-6

Diagramas de isocandelas de la luminaria HRT 12 de la Philips



Con lámpara HPL 80 w.

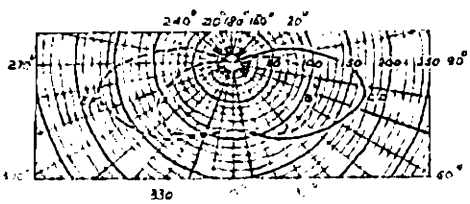




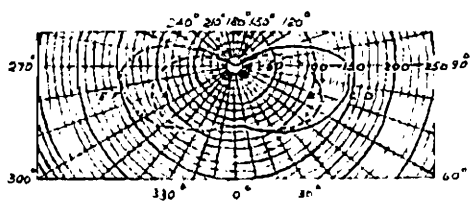
Con lámpara HPL 125 w.

Diagrama de distribución de luz de la luminaria HRT 12 de la Philips

Con lámpara HPL 80w. (1000lm.)



Con lámpara HPL 125 w. (1000 lm.)



CUADRO Nº 3-2

CARACTERISTICAS DE LA COMBINACION LAMPARA HPL, "BALLAST" Y CONDENSADOR.

"BALLASTS" INDUCTIVOS				SIN CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA				CON CORRECCION			
PARA LAMPARAS	TENSION NOMINAL V	TENSION DE CONSUMO V	NUMERO DE CATALOGO	FACTOR DE POTENCIA	CORRIENTE DE ARRANQUE	CORRIENTE DE RED A	PERDIDAS W	CONDENSADOR u F.	FACTOR DE POTENCIA	CORRIENTE DE ARRANQUE	CORRIENTE DE RED A
HPL 80 w	220	210-230	58212 AH/00	0.50	1.25	0.80	9	8	0.90	0.86	0.45
HPL 125 w	220	210-230	58213 AH/00	0.50	1.85	1.15	11	10	0.90	1.15	0.70

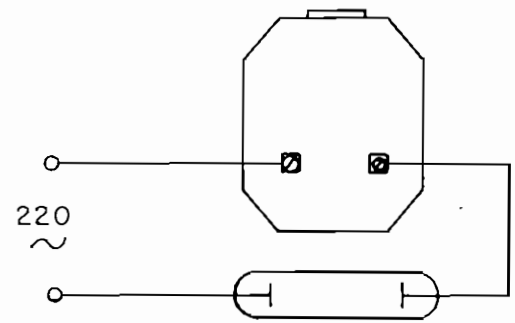


DIAGRAMA DE CONEXION

$$\text{Iluminación media.} = \frac{\text{lumenes por lámparas x F.M. x F.U.}}{\text{ancho de calle x espaciamiento entre luminarias.}}$$

Donde:

F.M. = Factor de Mantenimiento.

F.U. = Factor de Utilización.

Sustituyendo valores:

$$\text{Iluminación media.} = \frac{5400 \times 0.60 \times 0.64}{9 \times 40}$$

$$\text{Iluminación media.} = 5.8 \text{ lumenes por metro cuadrado.}$$

La iluminación media en las zonas de lámparas de 80 watts y 3100 lumenes será:

Sustituyendo valores:

$$\text{Iluminación media.} = \frac{3100 \times 0.60 \times 0.66}{9 \times 40}$$

$$\text{Iluminación media.} = 3.4 \text{ lumenes por metro cuadrado.}$$

Esta iluminación media en las zonas de la Ciudad de Santa Rosa, reune los requisitos exigidos para una buena iluminación, de acuerdo a la clasificación de las calles que toma en cuenta el tráfico de vehículos y de peatones en una hora.

Debido a que la iluminación decrece inversamente con el cuadrado de la distancia, se calculará la iluminación en el punto mas alejado de la luminaria, con el objeto de apreciar el contraste de iluminación entre el plano horizontal de este punto y el que se encuentra situado directamente debajo de la luminaria.

La fórmula a emplear expresa:

$$E = \frac{I \times \cos\emptyset'}{d^2}$$

Donde:

E = iluminación horizontal.

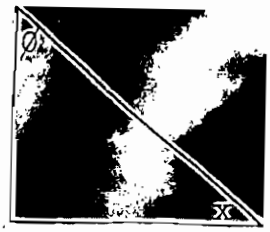
I = intensidad luminosa en dirección al punto considerado.

$\emptyset'$ = ángulo entre la normal a la superficie y la dirección del rayo.

d = distancia en metro al punto considerado desde la luminaria.

Las luminarias en la Ciudad de Santa Rosa iran montadas a una altura de 7.30 metros sobre el pavimento, siguiendo las recomendaciones de la Sociedad de Ingenieros Luminotécnicos, que toma en cuenta los lumenes por lámpara y el tipo de luminaria empleada, para seleccionar la altura de montaje. Con esto, se disminuye el deslumbramiento y se logra una mayor uniformidad en la iluminación.

Debido a que la separación máxima entre las luminarias es de 40 metros, el punto mas alejado que tendrá que cubrir la luminaria estará situado a 20 metros de la base del poste, y la distancia de la luminaria al punto considerado tendrá un valor de:



7.30 m.

20 m.

$$g.\ x = \frac{7.30}{20} = 0.365$$

$$x = 20.08 \text{ grados.}$$

$$\cos \emptyset = \frac{20}{d}$$

$$d = \frac{20}{0.935} = 21.4 \text{ metros.}$$

El valor del ángulo Ø es de 69.92 grados.

Aplicando la fórmula para el cálculo de la intensidad luminosa se tiene que:

a)- Para la luminaria de 125 watts, en el punto situado a 21.4 metros de ella, se tiene:

$$E = \frac{I \times \cos \emptyset}{d^2}$$

Donde:

$I = 142 \times 5.4$ (sacado del diagrama de distribución de luz a 69.92 grados, en el gráfico No. 3-6 .....)

$\cos \emptyset = \cos 69.92 = 0.344$

$d = 21.4$ metros.

Sustituyendo valores:

$$E = \frac{142 \times 5.4 \times 0.34}{458} = 1.576 \text{ lumenes/m}^2$$

b)- Para la luminaria de 125 watts, en el punto situado debajo de ella, se tiene:

$$E = \frac{I \times \cos \emptyset}{d^2}$$

Donde:

$I = 80 \times 5.4$ (sacado del diagrama de distribución de luz a 0 grados, en el gráfico No. 3-6.....)

$\cos \emptyset = \cos 0 = 1$

$d = 7.30$ metros.

Sustituyendo valores:

$$E = \frac{80 \times 5.4 \times 1}{53.29} = 8.1 \text{ lumenes/m}^2$$

c)- Para la luminaria de 80 watts, en el punto situado a 21.4 metros de ella, se tiene:

$$E = \frac{I \times \cos \emptyset}{d^2}$$

Donde:

$I = 170 \times 3.1$ (sacado del diagrama de distribución de luz a 69.92 grados, en el gráfico No. 3-6.....)

$\cos \emptyset = \cos 69.92 = 0.344$

$d = 21.4$ metros.

Sustituyendo valores:

$$E = \frac{170 \times 3.1 \times 0.344}{458} = 0.396 \text{ lumenes/metro}^2$$

d)- Para la luminaria de 80 watts, en el punto situado debajo de ella, se tiene:

$$E = \frac{I \times \cos \emptyset}{d^2}$$

Donde:

$I = 90 \times 3.1$ (sacado del diagrama de distribución de luz a 0 grados, en el gráfico No. 3-6 .....)

$\cos \emptyset = \cos 0 = 1$

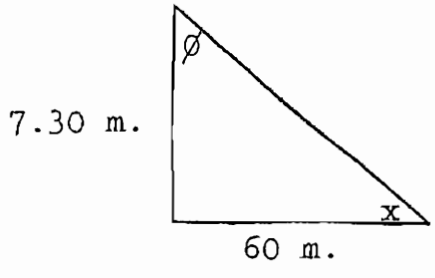
$d = 7.30$ metros.

Sustituyendo valores:

$$E = \frac{90 \times 3.1 \times 1}{53.29} = 5.24 \text{ lumenes } /m^2$$

Si se deseara saber qué iluminación aporta a un punto situado a 20 metros de la base de una luminaria, otra situada a 80 metros, se tendria que:

La distancia (d), desde la luminaria hasta un punto situado a 60 metros de su base sería:



$$\text{tng } x = \frac{7.30}{60} = 0.122$$

$x = 6.95$ grados.

$$\cos x = \frac{60}{d}$$

$$d = \frac{60}{\cos x} = \frac{60}{0.993} \approx 60 \text{ metros.}$$

El valor del ángulo Ø es de 83.05 grados.

Aplicando la fórmula para el cálculo de la iluminación horizontal se tiene:

a)- Para la luminaria de 125 watts en el punto situado a 60 metros de ella, se tiene:

$$E = \frac{I \times \cos \emptyset}{d^2}$$

Donde:

$I = 142 \times 5.4$ (sacado del diagrama de distribución de luz a 83.05 grados, en el gráfico No. 3-6 .....)

$\cos \emptyset = \cos 83.05 = 0.122$

$d = 60$ metros.

Sustituyendo valores:

$$E = \frac{142 \times 5.4 \times 0.122}{3600} = 0.026 \text{ lumenes/m}^2.$$

Por lo que se deduce que una luminaria situada a 80 metros de otra, aporta una iluminación despreciable al punto situado en el centro de la separación de dos luminarias con espaciamientos de 40 metros.

Porcentaje de regularidad del sistema de iluminación.

Con el objeto de determinar el grado de regularidad del sistema de iluminación pública, se divide el valor de la iluminación mínima en la zona, para la iluminación máxima, lo cual se expresa por medio de la fórmula:

$$\text{Regularidad} = \frac{\text{Iluminación mínima.}}{\text{Iluminación máxima.}}$$

La iluminación en cada punto de una zona determinada, viene expresada por la suma de los valores de iluminación producidos por los diferentes focos de luz.

El valor de la regulación en el alumbrado de calles debe procurarse que no sea inferior al 10%.

En el presente estudio, la regularidad en la zona iluminada por lámparas de 5400 lumenes, espaciadas cada 40 metros es:

Segun los valores de iluminación ya calculados sobre el pavimento:

$$\text{Regularidad} = \frac{\text{Iluminación mínima.}}{\text{Iluminación máxima.}}$$

$$\text{Regularidad} = \frac{2\ (\ 0.576\ )}{8.1} = \frac{1.152}{8.1}$$

$$\text{Regularidad} = 0.142 = 14.2\ \%$$

La regularidad en la zona iluminada por lámparas de 3100 lumenes, espaciadas cada 40 metros es:

Segun los valores de iluminación ya calculados sobre el pavimento:

$$\text{Regularidad} = \frac{\text{Iluminación mínima.}}{\text{Iluminación máxima.}}$$

$$\text{Regularidad} = \frac{2\ (\ 0.396\ )}{5.24} = \frac{0.792}{5.24}$$

$$\text{Regularidad} = 0.151 = 15.1\ \%$$

De donde se concluye que las calles de la Ciudad de

Santa Rosa, iluminadas con luminarias del tipo HRT 12 de la Philips con lámparas de vapor de mercurio de 5400 lumenes y de 3100 lumenes en las zonas mencionadas, proporcionan un factor de regularidad superior al 10% al estar separadas 40 metros, todo lo cual indica una buena iluminación.

3-17. CONTROL DE ALUMBRADO PUBLICO.

El sistema de control de alumbrado público se hará por medio de reles de accionamiento en cascada de 220 - voltios como se muestra en el Plano No.4.

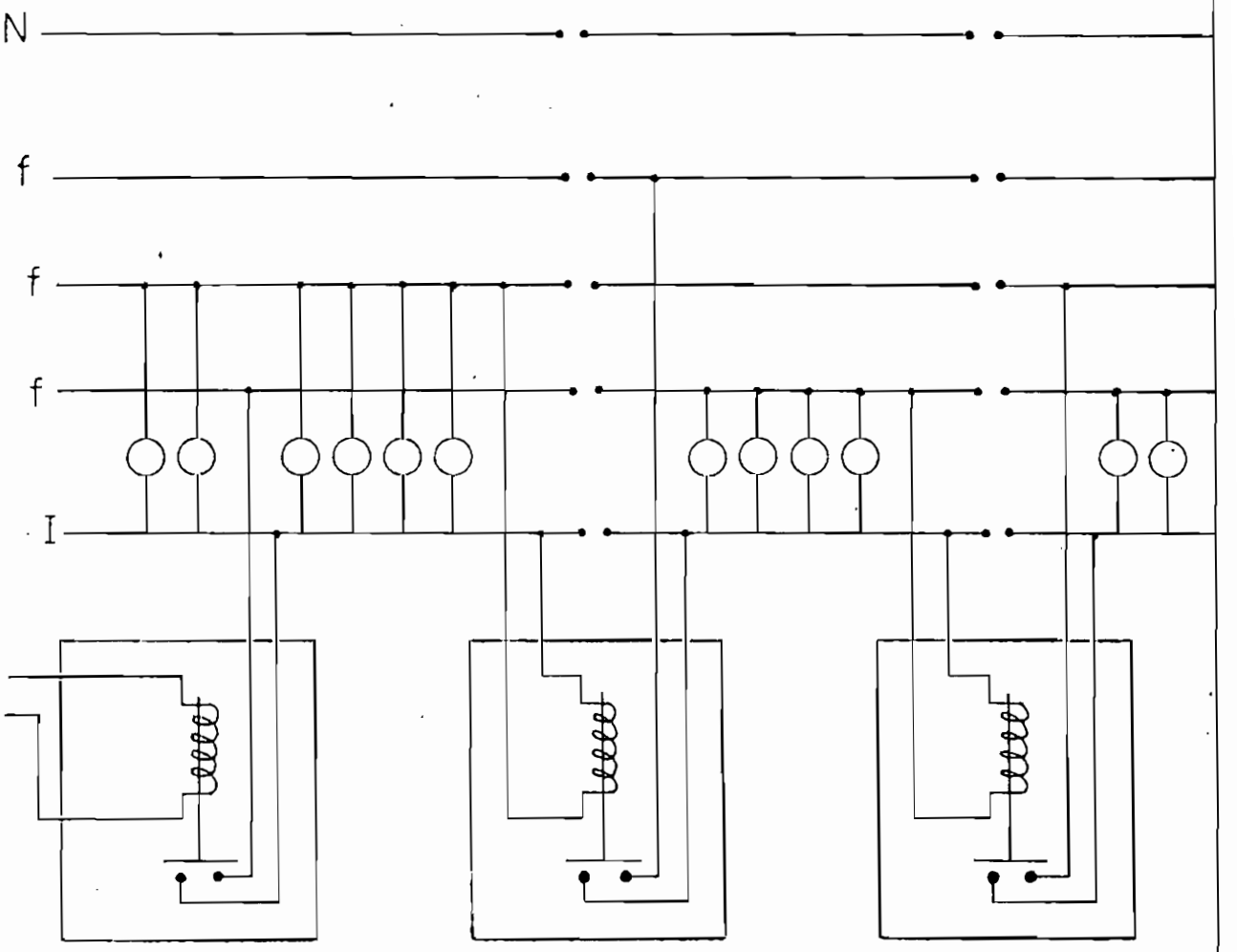
Este sistema de control de alumbrado público es el mas económico y por esta razón se ha adoptado en este proyecto.

A fin de disminuir el inconveniente de que la falla en un transformador haga que se desconectern todos los reles que le siguen en cascada, con el consiguiente apagón, se han colocado en seis zonas de la Ciudad, relojes eléctricos para controlar el encendido y apagado del alumbrado público por la conexion o desconexion de los reles en cascada que accionan.

El diagrama de conexion de los reles se muestra en el gráfico Nº. 3-7, y el cálculo de la corriente que circulará por el conductor de control de alumbrado público, se hará sumando vectorialmente las corrientes que circularán por las otras dos fases, cuyo ángulo de desfasamiento es de 120 grados.

GRAFICO Nº 3-7

RELES DE ACCIONAMIENTO EN CASCADA



Tanto los relojes eléctricos para el control de alumbrado público, como los reles de accionamiento en cascada, serán de 15 amperios de capacidad.(1)

El conductor para el control de alumbrado público será el de cobre desnudo "hard drawn" de 97.3% de conductividad y de calibre #6 AWG de 1 hilo, con el objeto de que pueda soportar con amplio margen, los esfuerzos mecánicos de la línea.

3-18. POTENCIA QUE DEBE SUMINISTRAR LA PLANTA ELECTRICA DE LA CIUDAD DE SANTA ROSA, PARA SATISFACER LA DEMANDA DEL AÑO DE 1973.

La energía eléctrica en la Ciudad de Santa Rosa se servirá a través de dos alimentadores A y B, tal como se estudió anteriormente, los cuales, de acuerdo a los transformadores que sirven, tienen una carga de:

Carga del alimentador A:

3	x	12 kva.	=	36 kva.
16	x	24 kva.	=	384 kva.
1	x	36 kva.	=	36 kva.
				456 kva.

---(1). La capacidad de 15 amperios recomendada en este estudio para los relojes y reles de control de alumbrado público, se ha debido al hecho de que ha sido la menor capacidad encontrada en Plaza para voltajes de 220 voltios. Con excepción de los relojes y reles de 15 amperios de capacidad, que controlan el alumbrado público de los circuitos de los transformadores Nos. 19; 20;21;22; 23;24;26;27;34;35;y 36, los demas pueden ser de 7.5 amperios de capacidad.

Carga del alimentador B:

1	x	12 kva.	=	12 kva.
11	x	24 kva.	=	264 kva.
4	x	36 kva.	=	144 kva.
				420 kva.

Considerando un factor de diversidad de 1.20 entre los transformadores se tiene:

Carga que llevará el alimentador A = 380 kva.

Carga que llevará el alimentador B = 350 kva.

La potencia que debe sumimistrar la Planta Eléctrica de la Ciudad de Santa Rosa para satisfacer esta demanda será de 730 kva.

3-19. NUMERO DE LUMINARIAS A INSTALARSE EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA Y PORCENTAJE DE POTENCIA DEDICADO A ILUMINACION PUBLICA.

El número de luminarias a instalarse en la Ciudad de Santa Rosa es de 853. De estas luminarias, 507 tienen lámpara de vapor de mercurio corregido HPL de 80 watts y 3100 lumenes, mientras que las demas tienen lámpara de vapor de mercurio corregido HPL de 125 watts y 5400 lumenes.

La potencia total de alumbrado público será:

507 lámparas de 80 watts =	40560 watts.
346 lámparas de 125watts =	43250 watts.
Total	83810 watts.

La potencia que debe suministrar la Planta Eléctrica es de:

730 kva. x 0.8 = 584 KW.

La potencia dedicada a iluminación pública es de 83.81 KW.

584 ---------- 100%

83.81 ---------- x%

El porcentaje de potencia dedicado a iluminación de calles es de 14%.

3-20. ANALISIS DEL PORCENTAJE DE POTENCIA DEDICADO A LA ILUMINACION PUBLICA.

Dedicar a iluminación pública el 14% de la potencia que se produce, es al parecer, dedicar un porcentaje excesivamente alto, si se compara con el que dedican en los EE.UU. por ejemplo, a este menester.

En el año de 1961. en los EE.UU. se dedicó a iluminación de calles y carreteras 0.94% de la producción total.(1)

Una explicación del alto porcentaje de potencia dedicado a iluminación pública en la Ciudad de Santa Rosa, comparado con el del pueblo norteamericano, se encuentra en la comparación del consumo de energía eléctrica en cada uno de estos lugares.

---(1). Edison Electric Institute. "Statistical Year Book of the Electric Utility Industry for 1961". Sep 1962 No. 29, Publicación No. 62-24 tabla 19 pagina No.29.-

Sin duda alguna, al diseñar la iluminación públi ca, adoptando normas internacionales, se comprende que el único factor que hace aumentar o disminuir este por centaje, es el consumo total de la energía eléctrica.

3-21. CAPACIDAD DE LA PLANTA ELECTRICA DE LA CIUDAD DE SANTA ROSA PARA SATISFACER LA DEMANDA PROYECTADA PARA EL AÑO DE 1973.

La Planta Eléctrica del Municipio de la Ciudad de Santa Rosa, tendrá que tener una capacidad de 750 kva, para satisfacer la demanda proyectada de energía eléc trica de la Ciudad en el año de 1973.

Según se calculó en el inciso No.2-16, al tiempo de instalar la nueva red de distribución en el año de 1964, se requerirán 206 KW, y la capacidad actual de la Planta podrá ser insrementada en el transcurso de estos años, hasta alcanzar el valor proyectado para el año de 1973.

Debido a que en el momento actual no puede satisfa cerse la demanda con los grupos de generación existentes es necesario comprar un nuevo grupo de generación para - ponerlo en servicio al tiempo de instalar la nueva red - de distribución.

Si se supone que existen los medios económicos su ficientes para aumentar en dos etapas la capacidad actual hasta la proyectada, puede suponerse tambien la adquisi ción de dos grupos de generación de 300 kva, y que el gru po de generación de 55kva existente, puede venderse.

De esta forma, al final del año de 1973 habrá en la Planta Eléctrica del Municipio de la Ciudad de Santa Rosa tres grupos de generación: Uno de 150 kva existente en la actualidad y dos de 300 kva que habrá que comprar, los cuales hacen un total de 750 kva.

Con esta suposición, al tiempo de instalar la nueva red de distribución de energía eléctrica, estarán en funcionamiento el generador de 150 kva y uno de 300 kva, los cuales podrán satisfacer la demanda hasta el final del año de 1967, como puede apreciarse en el gráfico No. 2-2, al tener en cuenta que allí los valores están expresados en KW con un factor de potencia de 0.8 .-

El otro grupo de generación de 300 kva deberá instalarse entonces en el año de 1968, para satisfacer la demanda proyectada hasta el año de 1973.

Los grupos de generación de 300kva y 150 kva que satisfacerán la demanda hasta el final del año de 1967, deben suministrar 230 voltios en conexion Ye, con un factor de potencia de 0.8 a 60 c/s.

Estos grupos de generación deben instalarse en paralelo a una barra común, de donde un transformador trifásico de 450 kva elevará el voltaje hasta 6600 voltios, tal como se estableció anteriormente.

El grupo de generación de 300 kva que se instalará en el año de 1968 deberá suministrar 230 voltios en conexión Ye con un factor de potencia de 0.8 a 60 c/s.

Este grupo de generación elevará su voltaje a través de un transformador trifásico de 300 kva que funcionará en paralelo con el de 450 kva, tal como se muestra

en el gráfico No.3-8, por lo que sus razones de transformación, resistencias equivalentes y reactancias de dispersión, deben ser iguales.

3-22. TIPO DE TRANSFORMADORES Y CONEXION DE LOS MISMOS EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA.

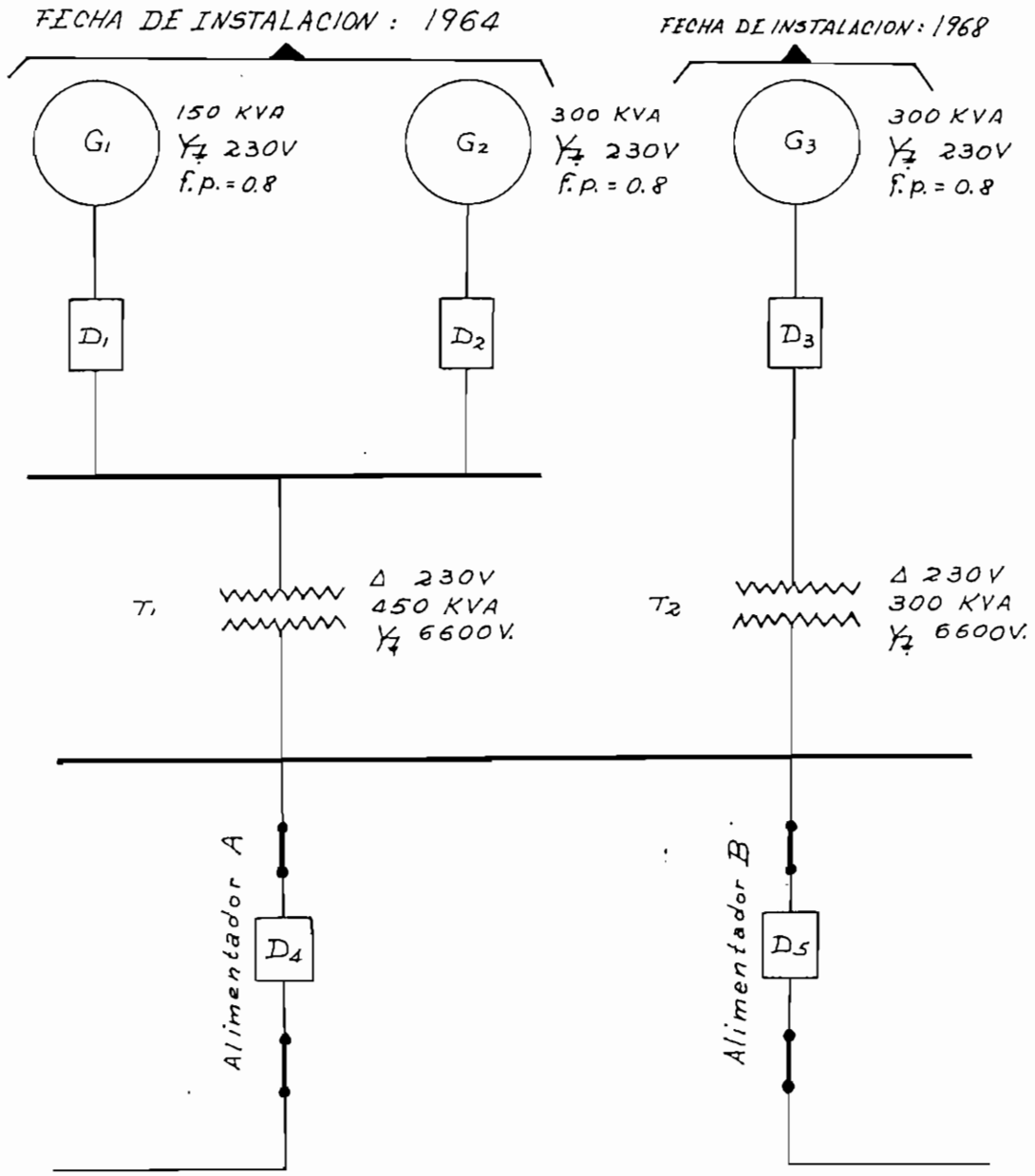
Los transformadores trifásicos que se utilizarán en la Ciudad de Santa Rosa se supone que serán del tipo "nucleo" y por tanto no requerirán la presencia de componentes de tercera armónica en la fuerza magnetomotriz para producir una variación de flujo sinusoidal, y consecuentemente no inducirán voltajes elevados de tercera armónica, lo cual representa una ventaja para el aislamiento de los mismos, conectándose sus bobinas primarias y secundarias en Delta-Ye aterrada, respectivamente.

Dado el tipo supuesto de transformador de elevación, y de acuerdo a la conexión del lado de baja tensión del mismo, un pequeño valor de corriente de tercera armónica circulará por el paso cerrado de la conexión - Delta, eliminando el pequeño desequilibrio de voltaje causado por la pequeña desigualdad en el circuito magnetico de las tres fases.

En el bobinado secundario conectado en Ye aterrado, podrá circular una pequeña corriente de tercera armónica cuya magnitud dependerá de la impedancia a tierra y estará en relación a la impedancia del circuito Delta de alta tensión,.En el sistema de voltajes de línea habrá una pequeñísima componente de tercera armónica que

GRAFICO Nº 3-8

Diagrama unifilar de la conexión de los generadores y transformadores en la planta eléctrica del Municipio de la ciudad de Santa Rosa.



en la práctica podría despreciarse.

Los transformadores trifásicos de distribución secundaria se conectarán en Delta- Ye, con el objeto de sacar cuatro conductores para la distribución secundaria, al tiempo que se logra servir a cargas de cualquier característica. Esto se debe a que cada bobinado primario estará unido directamente a dos terminales de línea trifásica y podrá recibir potencia independientemente de los otros dos bobinados primarios, pudiendo llevar cualquier cantidad de corriente para equilibrar los amperios vuelta debido a la corriente de sus bobinados secundarios, si así fuera necesario.

3-23. SISTEMA DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE.

El objeto de la protección de sobrecorriente en un circuito, es proteger no sólo al circuito sino a los equipos que en él se encuentran, evitando la destrucción de ambos por las corriente de corto circuito.

Los equipos de protección tambien protegen a los consumidores de las interrupciones de servicio causadas por fallas no permanentes en la línea, a la par que limitan el número de consumidores afectados cuando la falla es permanente.

Para lograr esto, suelen colocarse en serie varios de estos equipos de protección de sobrecorriente, con la característica de que no funcionarán bajo condiciones normales de corriente y que el tiempo de operación de cada uno de ellos sea diferente y decreciente progresiva-

mente desde la fuente hasta el extremo mas alejado del circuito.

Existen varios equipos de protección pudiéndose citar entre ellos a los Interruptores "Breakers", Reconectadores "Reclosers", y Fusibles "Cut Out".

A fin de planear el sistema de protección de sobre corriente, es necesario determinar el valor de la corriente normal máxima de carga y el valor de la de corto circuito que circularán por el punto determinado que se desea proteger.

Con el valor de la corriente normal se determina la capacidad nominal del equipo, y con el valor de la corriente de corto circuito se determina la capacidad de interrupción del mismo.

Varios son los métodos utilizados para determinar la magnitud de las corriente de corto circuito, pero en este estudio se empleará el método de las componentes simétricas.

El principio fundamental de las componentes simétricas aplicado a los circuitos trifásicos, es aquel en que un grupo de vectores desequilibrados y asimétricos, puede descomponerse en tres grupos de vectores simétricos.

Dos de los grupos simétricos tienen sus vectores defasados 120 grados entre sí, en tanto que el otro grupo simétrico tiene sus vectores en la misma dirección; todo lo cual puede verse en el capítulo segundo del libro "Transmission and Distribution" de la Westinghouse.

Con el objeto de proteger el circuito primario de

la red de distribución de energía eléctrica de la Ciudad de Santa Rosa, se colocarán a lo largo de sus circuitos primarios, equipos de protección, a los cuales, para reconocerlos se les denominará con las letras D o F seguida de un subindice, tal como se muestra en el gráfico No.3-9.

Las impedancias de los generadores y transformadores de elevación se escogerán de acuerdo a valores promedios, ya que se carece de datos reales.

Se han escogido las impedancias subtransitorias de los grupos de generación con el fin de determinar la magnitud de las corrientes de corto circuito dentro del período de tiempo comprendido entre los primeros ciclos de ocurrir la falla, estimandose en:

$Z_1 = (1.3 + j20)\ \%$

$Z_2 = (1.6 + j20)\%$

$Z_0 = (1.3 + j10)\ \%$

En donde Z_1, Z_2 ,y Z_0, representan el valor de las impedancias de secuencia positiva, negativa y homopolar respectivamente. Estos valores han sido escogidos de acuerdo a los valores que aparecen en la tabla #4 de la pag.189 del libro "Transmission and Distribution" de la Westinghouse, mencionado anteriormente, para generadores de polos salientes con bobinas amortiguadoras. El valor de R_0, en Z_0, se ha tomado de acuerdo a lo expresado en el inciso 16 de la pag.163 del mismo libro en su edición de 1950.

El valor de la impedancia de los transformadores trifásicos de elevación se estima en:

$Z_1 = (0 + j\ 5)\ \%$

$Z_2 = (0 + j\ 5)\ \%$

$Z_0 = (0 + j1.25)\%$

En este caso el valor de la resistencia se ha supuesto cero debida a que es muy pequeña, y para el valor de la reactancia a secuencia homopolar, teniendo en cuenta que debe tener un valor menor que el de la reactancia a secuencia positiva, se estimó en un 25% de esta.

En el gráfico No. 3-9, se muestra el diagrama unifilar de distribución primaria con los grupos de generación y transformación, con sus características y conexiones, así como tambien las longitudes de los tramos de línea, calibres de conductor, potencia que pueden llevar según la interconexión que se haga, espaciamientos equivalentes y localización de los equipos de protección de sobrecorrientes.

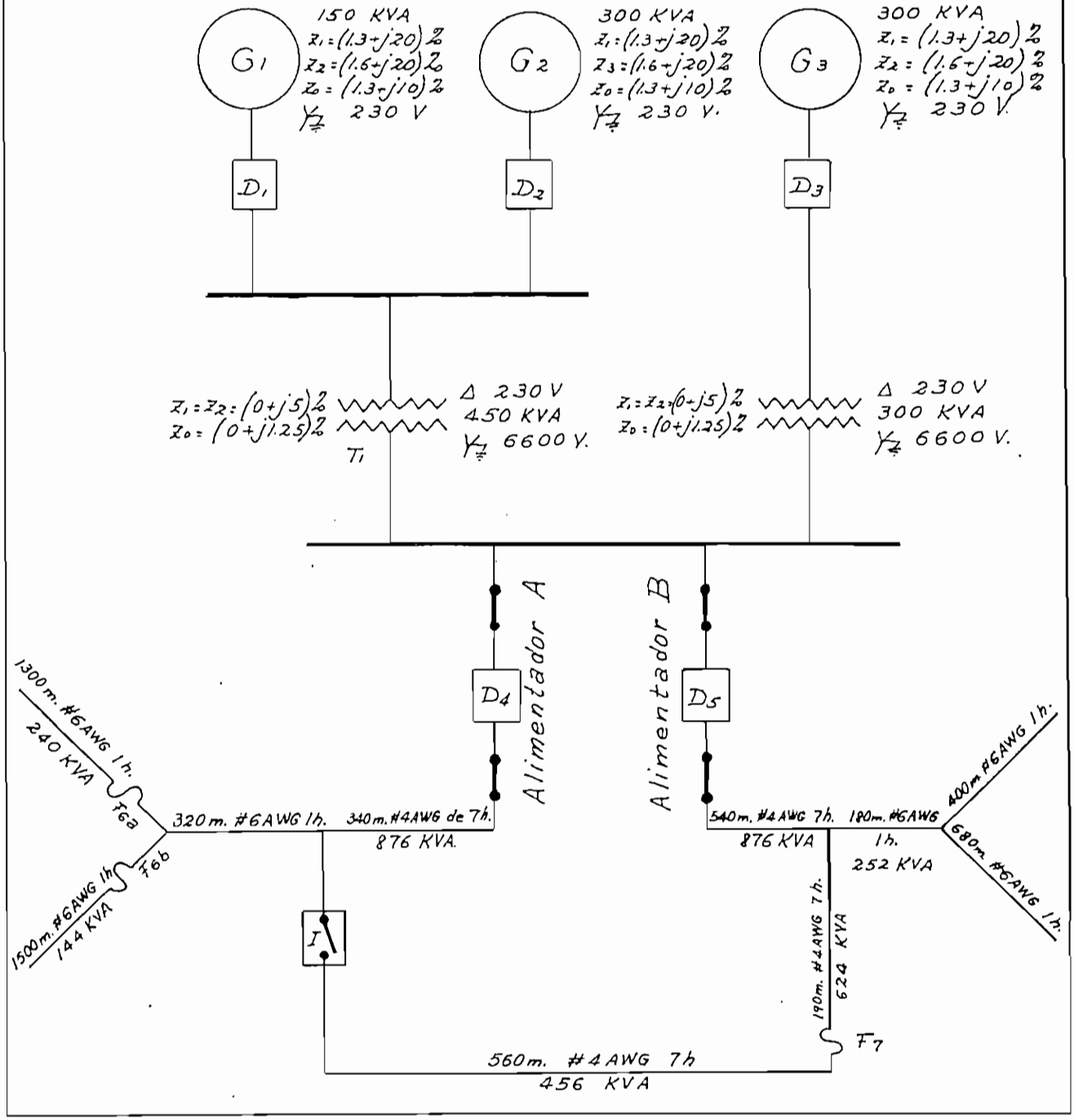
3-23-1. CALCULO DE LAS RESISTENCIAS Y REACTANCIAS EN EL DIAGRAMA UNIFILAR DE DISTRIBUCION PRIMARIA.

Las características del conductor de cobre desnudo "hard drawn" de 97.3% de conductividad, de calibre # 4 AWG de 7 hilos, y con espaciamiento equivalente de dos pies a 25 grados Centígrados, y adoptando un valor promedio de resistividad de la tierra para determinar el valor de X_e, serán:

$R_a = 1.388$ ohm/cond/milla.

GRAFICO Nº 3-9

Diagrama unifilar de la red de distribución primaria de la Ciudad de Santa Rosa, con conductores de cobre desnudo "hard drawn" y con espaciamiento equivalente de 2 pies. Características de los equipos eléctricos, localización de los equipos de protección de sobrecorrientes, y potencia máxima que pueden llevar los conductores según la interconexión que se haga.



R_e= 0.286 ohm/cond/milla.
X_a= 0.599 ohm/cond/milla.
X_d= 0.084 ohm/cond/milla.
X_e= 2.888 ohm/cond/milla.

Pasando las unidades a metro:

R_a= 0.000862 ohm/cond/metro.
R_e= 0.000178 ohm/cond/metro.
X_a= 0.000372 ohm/cond/metro.
X_d= 0.000052 ohm/cond/metro.
X_e= 0.001790 ohm/cond/metro.

Las características del conductor de cobre desnudo "hard drawn" de 97.3% de conductividad, de calibre # 6 AWG de 1 hilo, y con espaciamiento equivalente de dos pies a 25 grados Centígrados, y adoptando un valor promedio de resistividad de la tierra para determinar el valor de X_e, serán:

R_a= 2.180 ohm/cond/milla.
R_e= 0.286 ohm/cond/milla.
X_a= 0.637 ohm/cond/milla.
X_d= 0.084 ohm/cond/milla.
X_e= 2.888 ohm/cond/milla.

Pasando las unidades a metro:

R_a= 0.001353 ohm/cond/metro.
R_e= 0.000178 ohm/cond/metro.
X_a= 0.000396 ohm/cond/metro.
X_d= 0.000052 ohm/cond/metro.
X_e= 0.001790 ohm/cond/metro.

Debido a que en este estudio se empleará el método de las componentes simétricas para hallar los valores de las corrientes de corto circuito, se calcularán primeramente los valores de las impedancias de secuencia positiva, negativa y homopolar de las líneas, las cuales se representarán por Z_1, Z_2, y Z_0 respectivamente. En este caso no se tomará el efecto de la capacidad en la línea, debido a que se considera de una longitud corta.

Conductor #4 AWG de 7 hilos.

$Z_1=Z_2= R_a+j(X_a+X_d)= 0.000862 +j0.000424$ Ohm/cond/me.
$Z_0= R_a+R_e+j(X_a+X_e-2X_d)=0.001040+j0.002058$ ohm/c/me.

Conductor #6 AWG de 1 hilo.

$Z_1=Z_2= R_a+j(X_a+X_d)= 0.001353 +j0.000448$ ohm/cond/me.
$Z_0= R_a+R_e+j(X_a+X_e-2X_d)=0.001531 +j0.002082$ ohm/c/me.

Las fórmulas que representan las leyes de la electricidad pueden aplicarse con las magnitudes conocidas, o con estas referidas a valores p.u.(por unidad). Para poder aplicar las fórmulas en valores p.u., es necesario establecer unas magnitudes básicas a las cuales referir las mencionadas fórmulas. Estas magnitudes básicas suelen ser de potencia y de voltaje, y se escogen arbitrariamente e independientemente una de otra.

En un circuito trifásico como el que se estudia se tiene:

$$I_b= \frac{KVA_b \text{ (tres fases)}}{\sqrt{3}\ KV_b \text{ (fase a fase)}} \quad \text{amperios.} \qquad (A)$$

$$Z_b = \frac{KV_b^2 \text{ (fase a fase)} \times 10^3}{KVA_b \text{(tres fases)}} \quad \text{ohmios.} \qquad (B)$$

Donde:

I_b= corriente de base.

Z_b= impedancia de base.

KVA_b= kilovoltios amperios de base escogidos arbitrariamente.

KV_b= kilovoltios de base del circuito.

Las fórmulas que relacionan los valores p.u.(por unidad) con los ohmicos son:

$$I_{p,u.} = \frac{I}{I_b} \qquad (C)$$

$$Z_{p.u.} = \frac{Z}{Z_b} \qquad (D)$$

$$KV_{p.u.} = \frac{KV}{KV_b} \qquad (E)$$

$$KVA_{p.u.} = \frac{KVA}{KVA_b} \qquad (F)$$

Se sabe que la impedancia de los generadores viene referida al voltaje de salida y a la capacidad del mismo. En los transformadores, la impedancia viene referida a su capacidad y a su voltaje de alta tensión.

Tambien se conoce que la relación entre los valores de las impedancias de un transformador referidos a uno y otro lado del mismo, estan en función directa con el cuadrado de la relación de sus voltajes.

Por estas razones en el análisis de un circuito en el que se encuentran presentes generadores y transformadores, si se desea convertir la impedancia de uno

de ellos expresada en p.u. a la base del otro, debe aplicarse la fórmula siguiente, teniendo en cuenta que la relación de impedancias es inversamente proporcional a los KVA_b de cada uno.

$$Z_{\substack{p.u.\\ base\\ nueva}} = Z_{\substack{p.u.\\ base\\ vieja}} \times \left\{ \frac{KV\ equipo}{KV\ base} \right\}^2 \times \frac{KVA\ base}{KVA\ equipo}$$

En cada uno de los circuitos, tanto el de generación como el de transmisión, se llama voltaje base a aquel que realmente tienen dichos circuitos.

Debido a que en este proyecto el transformador de elevación tiene una relación de voltaje de 230 voltios a 6600 voltios, y que el voltaje del generador es de 230 voltios, no habrá entonces en los circuitos de generación y transmisión otros voltajes que no sean los que aparecen en la placa del transformador.

Por lo tanto:

V_b del circuito de generación.---------- 230 voltios.

V_b del circuito de transmisión.---------- 6600 voltios.

Aplicando las fórmulas (B) y (D), se obtienen los valores de las impedancias de la línea expresadas en p.u./cond/metro, y este resultado si se multiplica por 100, estará entonces expresado en %/cond/metro.

De esta forma se tiene:

Conductor #4 AWG de 7 hilos.

$Z_1 = Z_2 = 0.000695 + j0.000392$ %/cond/metro.
$Z_0 = 0.000717 + j0.00141$ %/cond/metro.

Conductor #6 AWG de 1 hilo.

$Z_1 = Z_2 = 0.000931 + j0.000309$ %/cond/metro.
$Z_0 = 0.001058 + j0.00144$ %/cond/metro.

En el gráfico No.3-10, se muestran los valores de resistencias y reactancias en cada uno de los tramos del diagrama unifilar del circuito primario de distribución, expresados en por ciento, y los valores de las impedancias de los generadores y transformadores expresados tambien en por ciento. Todos estos valores estan referidos a sus respectivas bases de voltajes y a 300 KVA base de potencia.

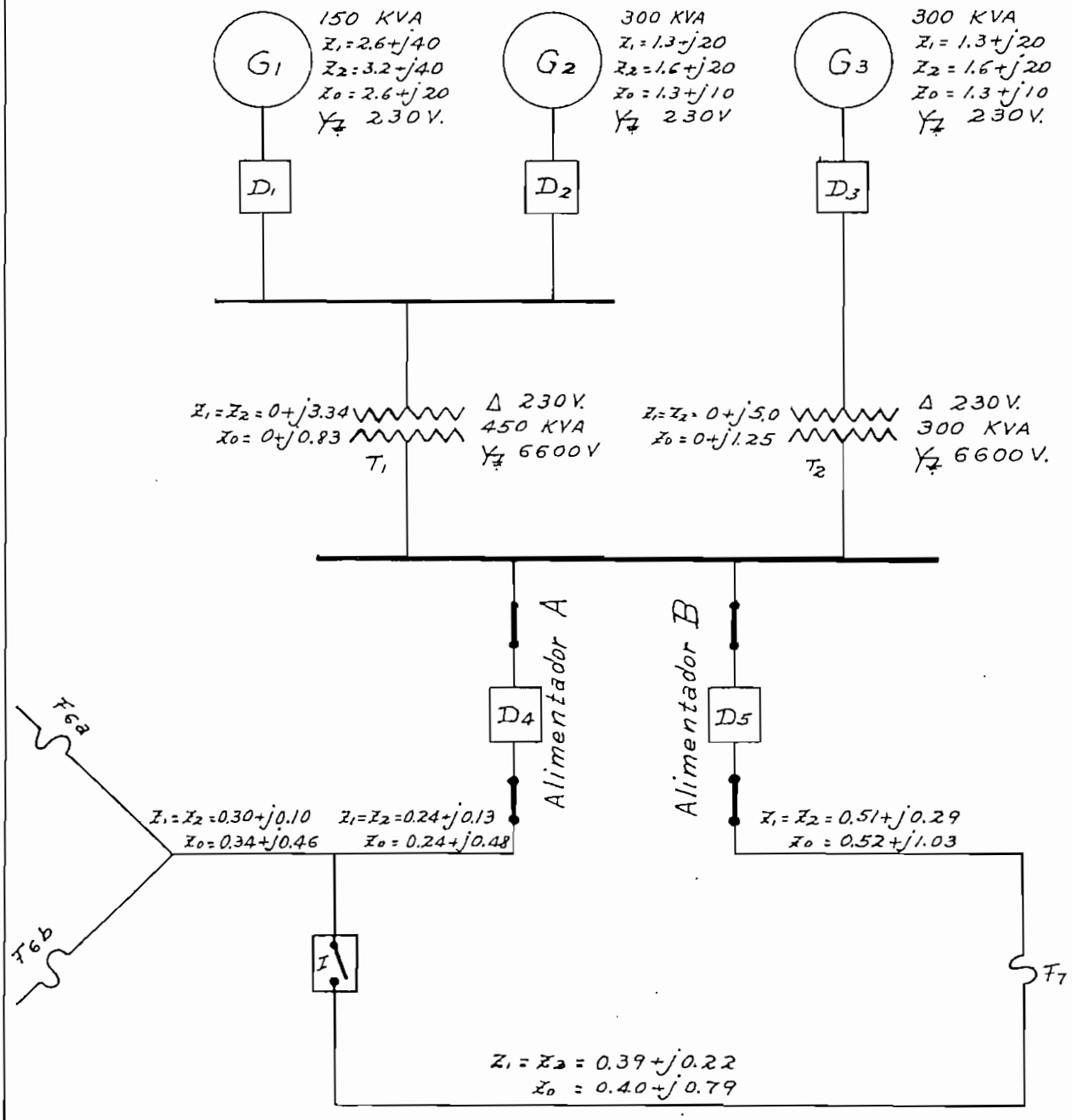
3-23-2.CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO.

Las estadísticas revelan que el 70% de las fallas de corto circuito tienen lugar entre una fase y tierra, 15% ocurre entre dos fases, 5% entre tres fases y 10% entre dos fases y tierra.

Con el fin de determinar la magnitud de las corrientes de corto circuito debidas a cada una de los cuatro casos considerados y que cubren el 100% de las fallas de sobrecorriente, se resumirán en cada caso las condiciones iniciales de las corrientes de corto circuito y se expresarán en una fórmula los valores en

GRAFICO Nº 3-10

Diagrama unifilar con los valores de impedancia referidos a la base de 300 KVA y expresados en por ciento.



p.u. de las corriente de falla en las fases cortocircuitadas, sin considerar sus direcciones y sin demostrar - el proceso que se ha seguido para llegar al resultado, ya que este último puede verse en cualquier libro de texto que trate sobre la materia.(1)

Supóngase la existencia de una línea trifásica en la cual cada una de las fases se reconoce por las letras R, S, y T, en donde:

Z_1= impedancia positiva hasta la falla en % .

Z_2= impedancia negativa hasta la falla en % .

Z_0= impedancia homopolar hasta la falla en %.

I_r= corriente de corto circuito de una fase en p.u.

E = voltaje de fase a fase en p.u.

Falla de la fase R a tierra.

$I_s = 0 \quad I_t = 0 \quad V_r = 0$

$$I_{r_{p.u.}} = \frac{3\ E_{p.u.} \times 100}{Z_1\% + Z_2\% + Z_0\%}$$

Falla de las fases S y T entre sí.

$I_r = 0 \quad I_s = -I_t \quad V_s = V_t$

$$I_{s_{p.u.}} = -I_{t_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ E_{p.u.} \times 100}{Z_1\% + Z_2\%}$$

---(1). "Generation Tramsmission and Utilization of Electrical Power", de A.T. Starr, 4ta edición, Isaac Pitman, pags 230 y sig.
"Introduction to Electriaal Power System" de J. G.Tarboux. Edición revisada, The International Textbook Company. gags 116 y sig.

Falla entre las tres fases R,S y T.

$V_r = V_s = V_t = 0$

$$I_{r_{p.u.}} = I_{s_{p.u.}} = I_{t_{p.u.}} = \frac{E_{p.u.} \times 100}{Z_1 \%}$$

Falla entre las fases S,T y tierra.

$I_r = 0 \quad V_s = V_t = 0 \quad I_s = -I_t$

$$I_{s_{p.u.}} = -I_{t_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\, E_{p.u.} \sqrt{(Z_2^{\,2} + Z_2 Z_0 + Z_0^{\,2})\%} \times 100}{(Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0)\%}$$

3-24. CALCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO.

En la etapa final de este proyecto estarán funcionando en la Planta Eléctrica de la Ciudad de Santa Rosa, tres generadores a los cuales se les ha llamado Generadores G_1, G_2, y G_3.

Al hacer el cálculo de las corriente de corto circuito, debe tenerse en cuenta la posibilidad de que la falla pueda ocurrir cuando esten en funcionamiento uno, dos, o tres generadores.

En estas condiciones deben determinarse los valores de las corrientes de corto circuito cuando esten en funcionamiento los grupos siguientes:

Generadores en funcionamiento	Potencia total
G_1	150 kva.
G_2	300 kva.
G_3	300 kva.

G_1 y G_2 - - - - - - - - - 450 kva.
G_1 y G_3 - - - - - - - - - 450 kva.
G_2 y G_3 - - - - - - - - - 600 kva.
G_1, G_2 y G_3 - - - - - - 750 kva.

No obstante esto, en el presente trabajo, sólo se calcularán las magnitudes de las corrientes de corto circuito que pueden ocurrir en la primera etapa de funcionamiento estimada para este proyecto. Es decir, sólo se calcularán las corrientes de falla cuando esten funcionando los grupos siguientes:

Generadores en funcionamiento	Potencia total
G_1	150 kva.
G_2	300 kva.
G_1 y G_2	450 kva.

Debido a la conexión existente entre los generadores y transformadores de elevación, no existirá la posibilidad del paso de corriente de tercera armónica entre ello, ya que necesitarian un circuito de retorno.

Por esta razón, la impedancia de secuencia homopolar de los generadores, no se tomarán en cuenta para el cálculo de las corrientes de falla que ocurran en el circuito de transmisión, tomándose en cuenta solamente cuando estas ocurran en el circuito de generación.

Los cálculos se efectuarán empleando la regla de cálculo, y los puntos en los cuales se determinarán las magnitudes de las corrientes de corto circuito, serán aquellos que aparecen indicados en el subindice de las letras D o F, que designan a los equipos de protección

de sobrecorriente, tal como se apuntó anteriormente.

Cálculo de las corrientes de corto circuito cuando está en funcionamiento el Generador G_1.

a)- El diagrama unifilar del sistema de distribución primario cuando sólo funciona el Generador G_1, y los Alimentadores A y B se reparten la carga de la Ciudad, se muestra en el gráfico No.3-11.

CORRIENTES DE FALLA EN EL PUNTO1.

Las impedancias hasta el punto 1 tienen un valor de:

$Z_1 = (2.6 + j40)\%$

$Z_2 = (3.2 + j40)\%$

$Z_0 = (2.6 + j20)\%$

Falla de fase a tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{8.4 + j100} = \frac{300}{100.25} = 2.99$$

$$I_b = \frac{KVA_b}{\sqrt{3}\ KV_b} = \frac{300}{\sqrt{3}\ (0.23)} = \frac{300}{0.394} = 754 \text{ amperios.}$$

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 2.99 \times 754 = 2260 \text{ amperios.}$$

Falla entre dos fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{5.8 + j80} = \frac{173}{80.3} = 2.16$$

$I_b = 754$ amperios.

GRAFICO Nº 3-II

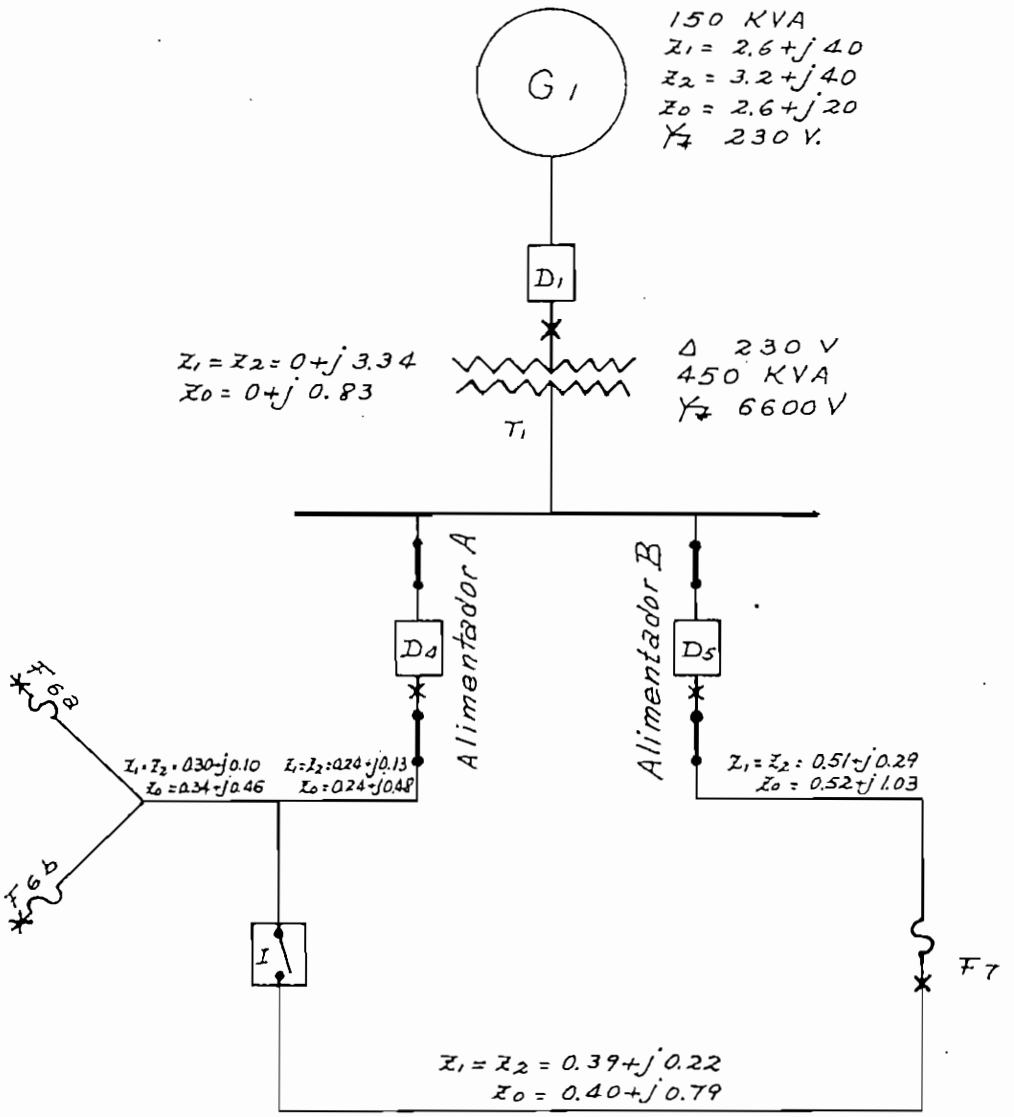


Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito, con los valores de las impedancias expresados en por ciento, la carga de la ciudad repartida entre los alimentadores A y B, y en funcionamiento el generador G1.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 2.16 \times 754 = 1625$ amperios.

Falla entre tres fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{2.6 + j40} = \frac{100}{40.2} = 2.49$$

$I_b = 754$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 2.49 \times 754 = 1875$ amperios.

Falla entre dos fases y tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times \sqrt{-1589.8 + j256 - 791.7 + j168 - 393.3 + \frac{-1591.7 + j232 - 793 + j156 - 791.7 + j104 \times 100}{j168}}}{}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100 \times (53.1)}{3220} = 2.85$$

$I_b = 754$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 2.85 \times 754 = 2150$ amperios.

CORRIENTES DE FALLA EN LOS PUNTOS 4 Y 5.

Las impedancias hasta los puntos 4 y 5 tienen un valor de:

$Z_1 = (2.6 + j43.34)\%$

$Z_2 = (3.2 + j43.34)\%$

$Z_0 = (0 + j0.83)\%$

Falla de fase a tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{5.8 + j87.51} = \frac{300}{87.7} = 3.42$$

$$I_b = \frac{KVA_b}{\sqrt{3}\ KV_b} = \frac{300}{\sqrt{3}\ (6.6)} = \frac{300}{11.4} = 26.3 \text{ amperios.}$$

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 3.42 \times 26.3 = 90.0 \text{ amperios.}$$

<u>Falla entre dos fases.</u>

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{5.8 + j86.68} = \frac{173}{86.6} = 1.99$$

$$I_b = 26.3 \text{ amperios.}$$

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 1.99 \times 26.3 = 52.4 \text{ amperios.}$$

<u>Falla entre tres fases.</u>

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{2.6 + j43.34} = \frac{100}{43.4} = 2.31$$

$$I_b = 26.3 \text{ amperios.}$$

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 2.31 \times 26.3 = 60.7 \text{ amperios.}$$

<u>Falla entre dos fases y tierra.</u>

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ x1x\sqrt{-1869.8+j277-35.95+j2.65-0.69\ x100}}{-1871.7+j251.1-35.95+j2.16-35.95+j2.65}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ x1x100x(43.88)}{1960} = 3.87$$

$$I_b = 26.3 \text{ amperios.}$$

$$I_{F_{p.u.}} \times I_b = I_F = 3.87 \times 26.3 = 102 \text{ amperios.}$$

CORRIENTES DE FALLA EN EL PUNTO 6.

Las impedancias hasta el punto 6 tienen un valor de:

$Z_1 = (3.14 + j43.57)\%$

$Z_2 = (3.74 + j43.57)\%$

$Z_0 = (0.58 + j1.77)\%$

Falla de fase a tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{7.46 + j88.91} = \frac{300}{89.1} = 3.37$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 3.37 \times 26.3 = 88.6$ amperios.

Falla entre dos fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{6.88 + j87.14} = \frac{173}{87.5} = 1.98$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 1.98 \times 26.3 = 52$ amperios.

Falla entre tres fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{3.14 + j43.57} = \frac{100}{43.7} = 2.29$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 2.29 \times 26.3 = 60.2$ amperios.

Falla entre dos fases y tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ x1x\sqrt{-1886+j325-74.83+j31.82-2.79+ -1888.3+j299.8-75.18+j30.8-74.83+ \frac{j2.05\ \ x100}{j31.82}}}{}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ x1x100x(44.6)}{2060} = 3.74$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 3.74 \times 26.3 = 98.4$ amperios.

CORRIENTES DE FALLA EN EL PUNTO 7.

Las impedancias hasta el punto 7 tienen un valor de:

$Z_1 = (3.11 + j43.63)\%$
$Z_2 = (3.71 + j43.63)\%$
$Z_0 = (0.52 + j1.86\ )\%$

<u>Falla de fase a tierra</u>.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{7.34 + j89.12} = \frac{300}{89.5} = 3.35$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 3.35 \times 26.3 = 88.1$ amperios.

<u>Falla entre dos fases</u>.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{6.82 + j87.26} = \frac{173}{87.4} = 1.98$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 1.98 \times 26.3 = 52.1$ amperios.

Falla entre tres fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{3.11 + j43.63} = \frac{100}{43.7} = 2.29$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 2.29 \times 26.3 = 60.2$ amperios.

Falla entre dos fases y tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times \sqrt{-1886.2 + j323.5 - 79.2 + j29.6 - 3.19 + -1888.5 + j297.3 - 79.5 + j28.48 - 79.2 + \frac{j1.93 \times 100}{j29.6}}}{}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100 \times (44.70)}{2075} = 3.73$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 3.73 \times 26.3 = 98$ amperios.

b)- El diagrama unifilar del sistema de distribución primario cuando sólo funciona el Generador G_1, y el Alimentador se reparte toda la carga de la Ciudad, se muestra en el gráfico No.3-12.

CORRIENTES DE FALLA EN EL PUNTO 7.

Las impedancias hasta el punto 7 tienen un valor de:

$Z_1 = (3.23 + j43.69)\%$

$Z_2 = (3.83 + j43.69)\%$

GRAFICO Nº 3-12

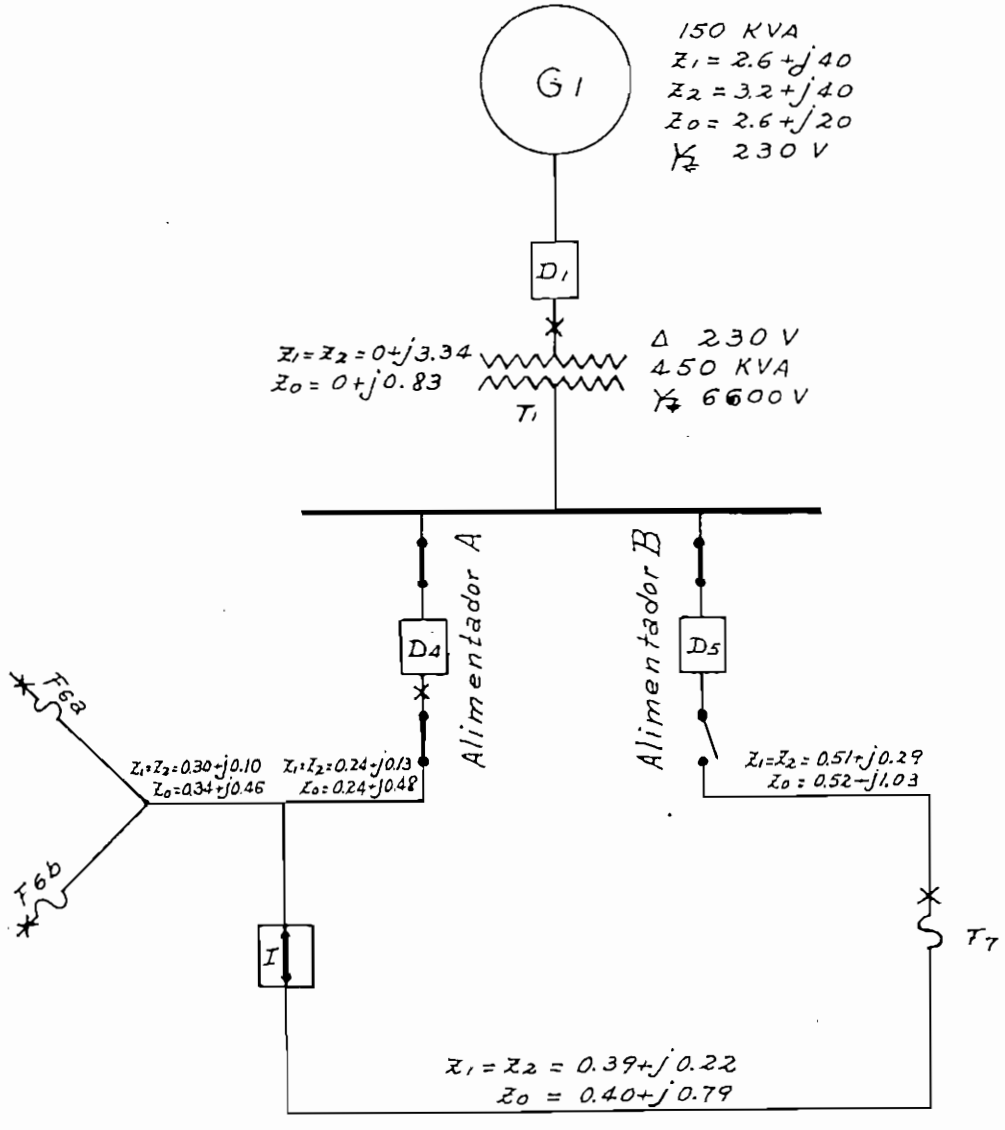


Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresados en por ciento, la carga de toda la ciudad a través del Alimentador A, y en funcionamiento el generador G1.

$Z_0 = (0.64 + j2.10)\%$

Falla de fase a tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{7.70 + j89.48} = \frac{300}{89.7} = 3.34$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 3.34 \times 26.3 = 87.8 \text{ amperios.}$$

Falla entre dos fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{7.06 + j87.38} = \frac{173}{87.5} = 1.98$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 1.98 \times 26.3 = 52 \text{ amperios.}$$

Falla entre tres fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{3.23 + j43.69} = \frac{100}{43.8} = 2.28$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 2.28 \times 26.3 = 60 \text{ amperios.}$$

Falla entre dos fases y tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times \sqrt{-1895.35 + j334.2 - 89.25 + j36 - 3.99 + \frac{j2.69 \times 100}{j36.0}}}{-1897.62 + j308.1 - 89.63 + j34.76 - 89.25 +}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100 \times (44.9)}{2108} = 3.68$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 3.68 \times 26.3 = 96.9$ amperios.

c)- El diagrama unifilar del sistema de distribución primario cuando sólo funciona el Generador G_1, y el Alimentador B se reparte toda la carga de la Ciudad, se muestra en el gráfico No.3-13.

CORRIENTES DE FALLA EN EL PUNTO 6.

Las impedancias hasta el punto 6 tienen un valor de:

$Z_1 = (3.80 + j43.95)\%$

$Z_2 = (4.40 + j43.95)\%$

$Z_0 = (1.26 + j3.11)\%$

Falla de fase a tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{9.46 + j91.01} = \frac{300}{91.5} = 3.28$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 3.28 \times 26.3 = 86.2$ amperios.

Falla entre dos fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{8.20 + j87.90} = \frac{173}{88.1} = 1.96$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 1.96 \times 26.3 = 51.6$ amperios.

Falla entre tres fases.

GRAFICO Nº 3-13

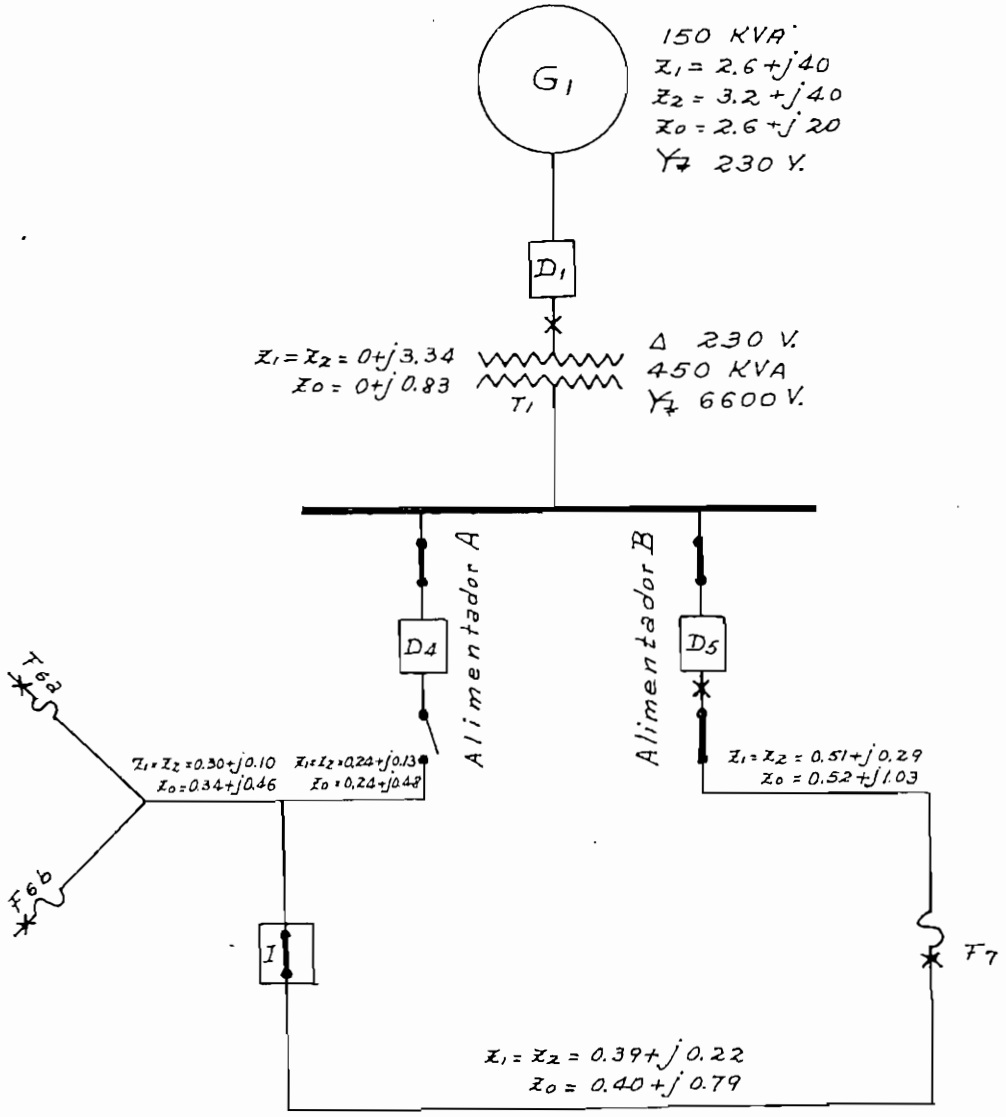


Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresadas en por ciento, la carga de la ciudad a través del Alimentador B y en funcionamiento el generador G1.

GRAFICO Nº 3-14

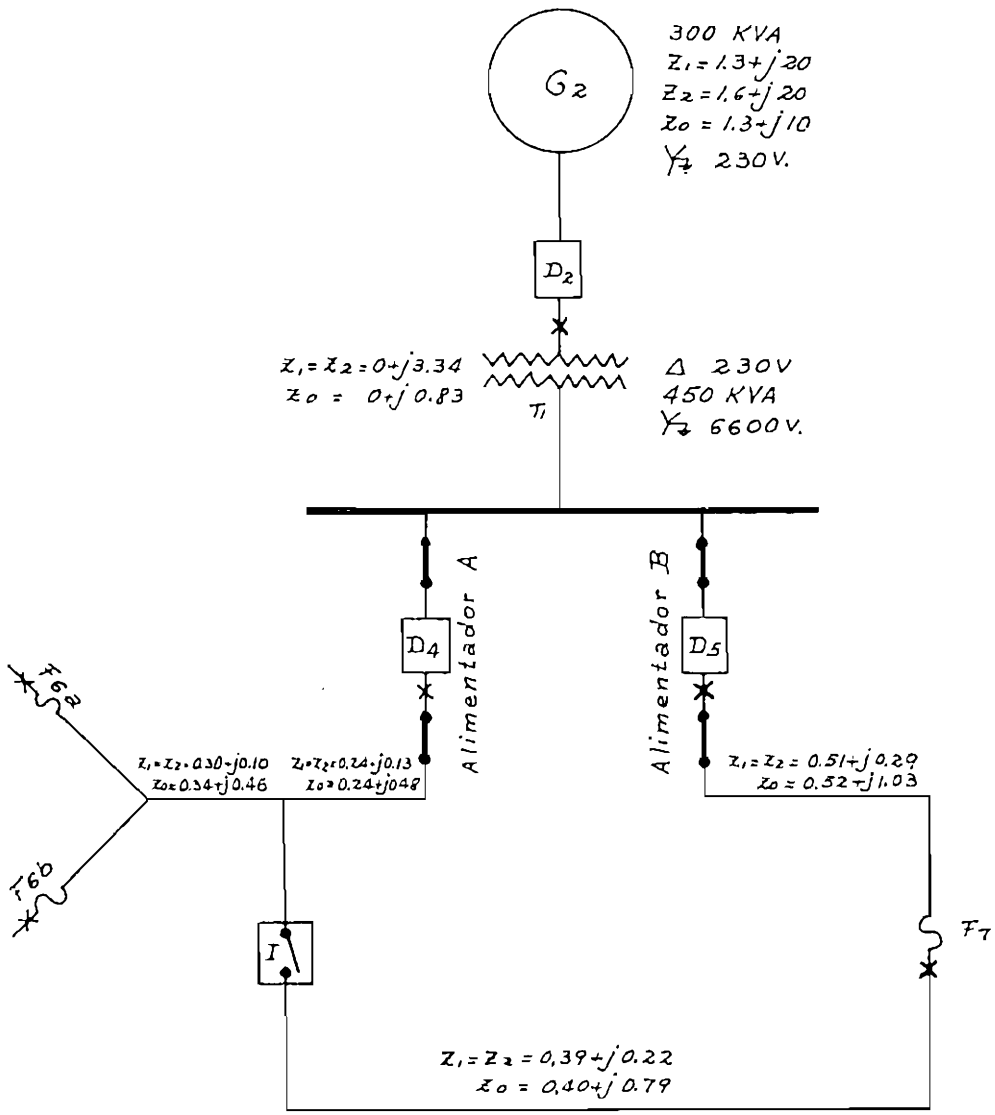


Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito, con los valores de las impedancias expresados en por ciento, la carga de la ciudad repartida entre los Alimentadores A y B, y en funcionamiento el generador G2.

$Z_1 = (1.3 + j20)\%$

$Z_2 = (1.6 + j20)\%$

$Z_0 = (1.3 + j10)\%$

Falla de fase a tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{4.2 + j50} = \frac{300}{50.1} = 5.99$$

$$I_b = \frac{KVA_b}{\sqrt{3}\ KV_b} = \frac{300}{\sqrt{3}\ (0.23)} = \frac{300}{0.394} = 754 \text{ amperios.}$$

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 5.98 \times 754 = 4515 \text{ amperios.}$$

Falla entre dos fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{2.9 + j40} = \frac{173}{40.1} = 4.32$$

$I_b = 754$ amperios.

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 4.32 \times 754 = 3260 \text{ amperios.}$$

Falla entre tres fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{1.3 + j20} = \frac{100}{20.1} = 4.99$$

$I_b = 754$ amperios.

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 4.99 \times 754 = 3760 \text{ amperios.}$$

Falla entre dos fases y tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times \sqrt{-397.4+j64-197.9+j42-98.3+j26} \times 100}{-398+j58-198.3+j39-197.9+j42}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ x1x100x(26.55)}{805} = 5.71$$

$I_b = 754$ amperios.

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 5.71 \times 754 = 4300 \text{ amperios.}$$

CORRIENTES DE FALLA EN LOS PUNTOS 4 Y 5.

Las impedancias hasta los puntos 4 y 5 tienen un valor de:

$Z_1 = (1.3 + j23.34)\%$

$Z_2 = (1.6 + j23.34)\%$

$Z_0 = (\ 0\ + j0.83\ )\%$

<u>Falla de fase a tierra</u>.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{2.9 + j47.51} = \frac{300}{47.6} = 6.30$$

$$I_b = \frac{KVA_b}{\sqrt{3}\ KV_b} = \frac{300}{\sqrt{3}\ (6.6)} = \frac{300}{11.4} = 26.3 \text{ amperios.}$$

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 6.30 \times 26.3 = 166 \text{ amperios.}$$

<u>Falla entre dos fases</u>.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 100}{2.9 + j46.68} = \frac{173}{47.0} = 3.68$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 3.68 \times 26.3 = 96.8 \text{ amperios.}$$

<u>Falla entre tres fases</u>.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{1.3 + j23.34} = \frac{100}{23.4} = 4.28$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 4.28 \times 26.3 = 112.4$ amperios.

Falla entre dos fases y tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times \sqrt{-541.4 + j74.6 - 19.38 + j1.33 - 0.69} \times 100}{-541.92 + j67.73 - 19.38 + j1.08 - 19.38 + j1.3}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100 \times (22.7)}{631} = \frac{4120}{631} = 6.72$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 6.72 \times 26.3 = 177$ amperios.

CORRIENTES DE FALLA EN EL PUNTO 6.

Las impedancias hasta el punto 6 tienen un valor de:

$Z_1 = (1.84 + j23.57)\%$
$Z_2 = (2.14 + j23.57)\%$
$Z_0 = (0.58 + j1.77)\%$

Falla de fase a tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{4.56 + j48.9} = \frac{300}{49} = 6.13$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 6.13 \times 26.3 = 161$ amperios.

Falla entre dos fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ x1\ x\ 100}{3.98 + j47.1} = \frac{173}{47.3} = 3.66$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 3.66 \times 26.3 = 96.2$ amperios.

Falla entre tres fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1\ x\ 100}{1.84 + j23.57} = \frac{100}{23.6} = 4.24$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 4.24 \times 26.3 = 111.5$ amperios.

Falla entre dos fases y tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ x1x\sqrt{-551.62+j100.8-40.36+j17.44-2.80+}}{-551.06+j13.7-40.5+j16.91-40.36+\frac{j2.05\ x100}{j17.44}}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ x1x100x(24.6)}{642} = 6.62$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 6.62 \times 26.3 = 172.5$ amperios.

CORRIENTES DE FALLA EN EL PUNTO 7.

Las impedancias hasta el punto 7 tienen un valor de:

$Z_1 = (1.81 + j23.63)\%$

$Z_2 = (2.11 + j23.63)\%$

$Z_0 = (0.52 + j1.86)\%$

Falla de fase a tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{4.44 + j49.12} = \frac{300}{49.2} = 6.1$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 6.1 \times 26.3 = 160$ amperios.

Falla entre dos fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{3.92 + j47.26} = \frac{173}{47.4} = 3.65$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 3.65 \times 26.3 = 96$ amperios.

Falla entre tres fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{1.81 + j23.63} = \frac{100}{23.7} = 4.22$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 4.22 \times 26.3 = 111$ amperios.

Falla entre dos fases y tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times \sqrt{-555.55 + j99.6 - 42.91 + j16.22 - 3.19 + \frac{-556.18 + j92.8 - 43.6 + j15.66 - 42.91 + j1.94 \times 100}{j16.22}}}{}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100 \times (24.75)}{655} = 6.54$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 6.54 \times 26.3 = 172$ amperios.

c)- El diagrama unifilar del sistema de distribución primario cuando sólo funciona el Generador G_2, y el Alimentador A se reparte toda la carga de la Ciudad, se muestra en el gráfico No.3-15.

CORRIENTES DE FALLA EN EL PUNTO 7.

Las impedancias hasta el punto 7 tienen un valor de:

$Z_1 = (1.93 + j23.69)\%$

$Z_2 = (2.23 + j23.69)\%$

$Z_0 = (0.64 + j2.10)\%$

<u>Falla de fase a tierra.</u>

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{4.80 + j49.5} = \frac{300}{49.7} = 6.04$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 6.04 \times 26.3 = 158$ amperios.

<u>Falla entre dos fases.</u>

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{4.16 + j47.38} = \frac{173}{47.5} = 3.64$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 3.64 \times 26.3 = 95.6$ amperios.

<u>Falla entre tres fases.</u>

GRAFICO Nº 3-15

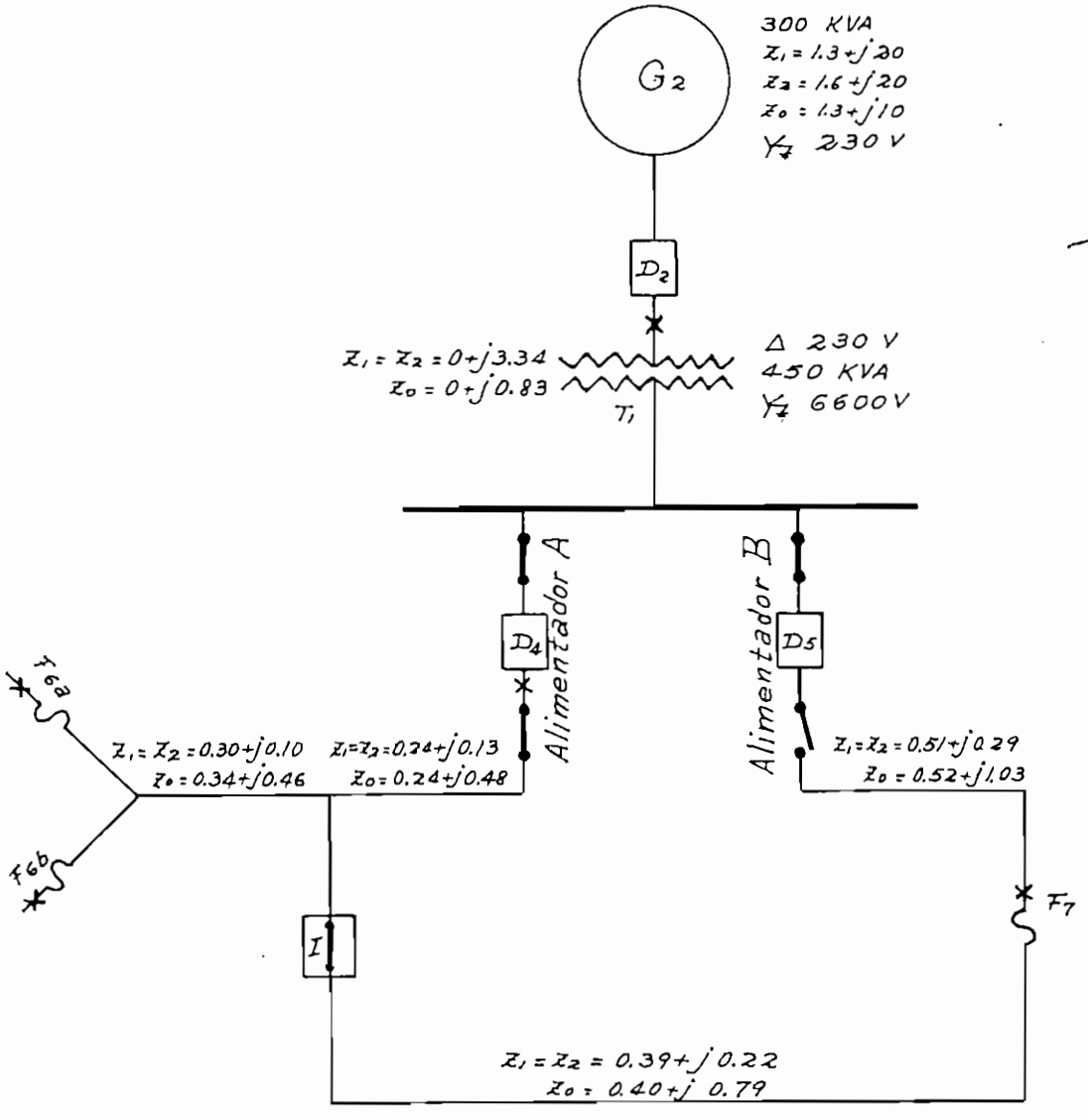


Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresados en por ciento, la carga de toda la ciudad a través del Alimentador A y en funcionamiento el generador G2

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{1.93 + j23.7} = \frac{100}{23.8} = 4.21$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 4.21 \times 26.3 = 111$ amperios.

<u>Falla entre dos fases y tierra.</u>

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times \sqrt{-557.03 + j105.6 - 48.37 + j19.88 - 4 + \frac{-557.7 + j98.5 - 48.56 + j19.25 - 48.37 + j2.69 \times 100}{j19.88}}}{}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100 \times (25.0)}{668} = 6.48$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 6.48 \times 26.3 = 170$ amperios.

c)- El diagrama unifilar del sistema de distribución primario cuando sólo funciona el Generador G_2, y el Alimentador B se reparte toda la carga de la Ciudad, se muestra en el gráfico No.3-16.

CORRIENTES DE FALLA EN EL PUNTO/6.

Las impedancias hasta el punto 6 tienen un valor de:

$Z_1 = (2.50 + j23.95)\%$

$Z_2 = (2.80 + j23.95)\%$

$Z_0 = (1.26 + j3.11)\%$

<u>Falla de fase a tierra.</u>

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{6.56 + j51.01} = \frac{300}{51.4} = 5.84$$

GRAFICO Nº 3-16

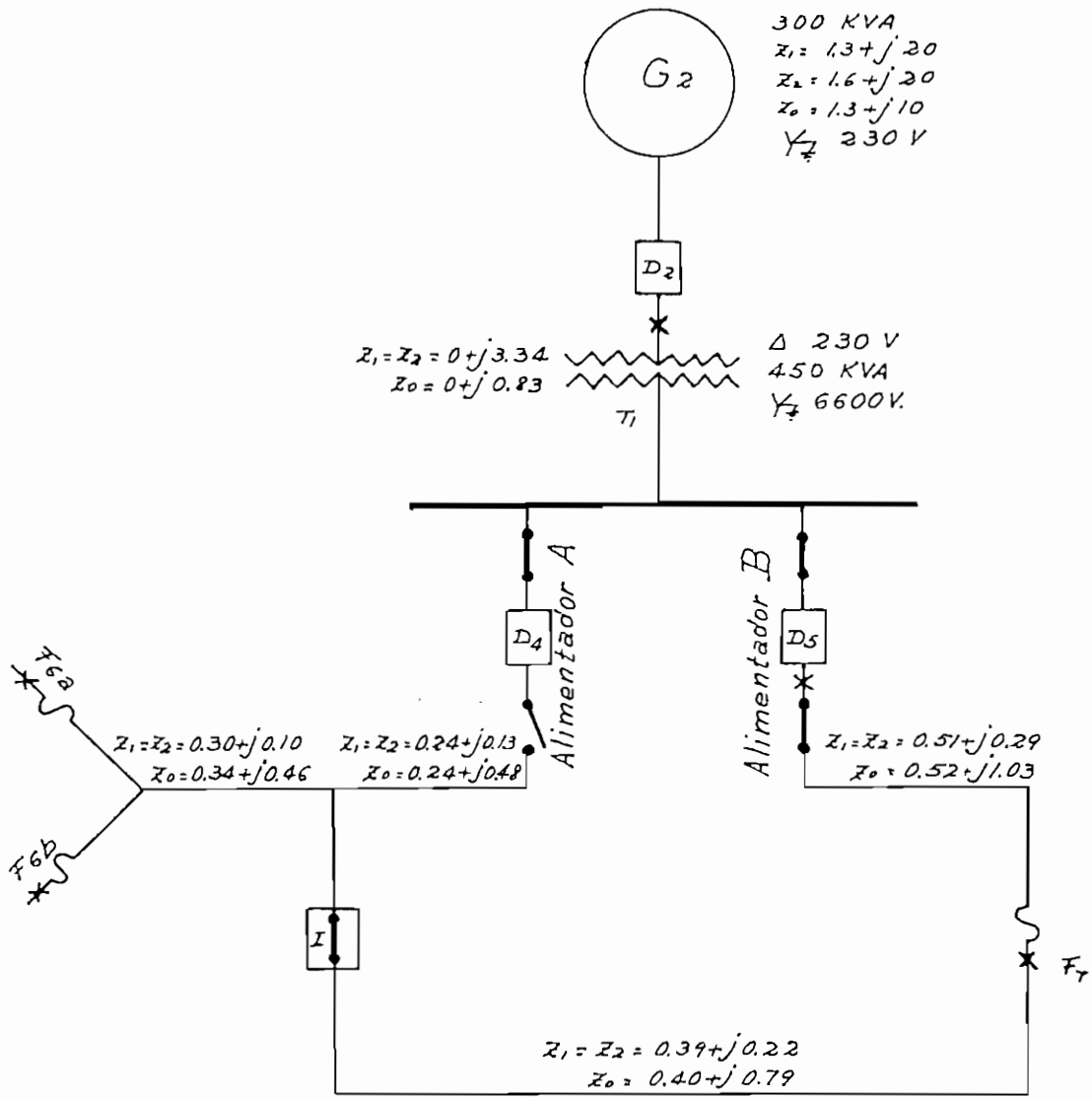


Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresados en por ciento, la carga de toda la ciudad a través del Alimentador B y en funcionamiento el generador G2.

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 5.84 \times 26.3 = 153.5$ amperios.

<u>Falla entre dos fases.</u>

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{5.30 + j47.9} = \frac{173}{48.2} = 3.59$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 3.59 \times 26.3 = 94.5$ amperios.

<u>Falla entre tres fases.</u>

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{2.50 + j23.9} = \frac{100}{24.1} = 4.16$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 4.16 \times 26.3 = 109$ amperios.

<u>Falla entre dos fases y tierra.</u>

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times \sqrt{-566.17 + j134 - 70.87 + j38.90 - 8.11 + \dfrac{-567 + j127 - 71.25 + j39.17 - 70.87 + \dfrac{j7.83 \times 100}{j38.90}}}}{}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100 \times (26.5)}{738} = 6.21$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 6.21 \times 26.3 = 163$ amperios.

Cálculo de las corrientes de corto circuito cuando estan- en funcionamiento los Generadores G_1 y G_2.

a)- El diagrama unifilar del sistema de distribución primario cuando funcionan los Generadores G_1 y G_2, y los Alimentadores A y B se reparten la carga de la Ciudad, se muestra en el gráfico No.3-17.

CORRIENTES DE FALLA EN LOS PUNTOS 1 Y 2.

Las impedancias hasta los puntos 1 y 2 tienen un valor de:

$Z_1 = (7.26 + j11.2)\%$

$Z_2 = (8.34 + j10.4)\%$

$Z_0 = (0.86 + j6.60)\%$

Falla de fase a tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{16.46 + j28.20} = \frac{300}{32.6} = 9.20$$

$$I_b = \frac{KVA_b}{\sqrt{3}\ KV_b} = \frac{300}{\sqrt{3}\ (0.23)} = 754 \text{ amperios.}$$

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 9.20 \times 754 = 6940 \text{ amperios.}$$

Falla entre dos fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{15.60 + j21.6} = \frac{173}{26.6} = 6.51$$

$I_b = 754$ amperios.

GRAFICO Nº 3-17

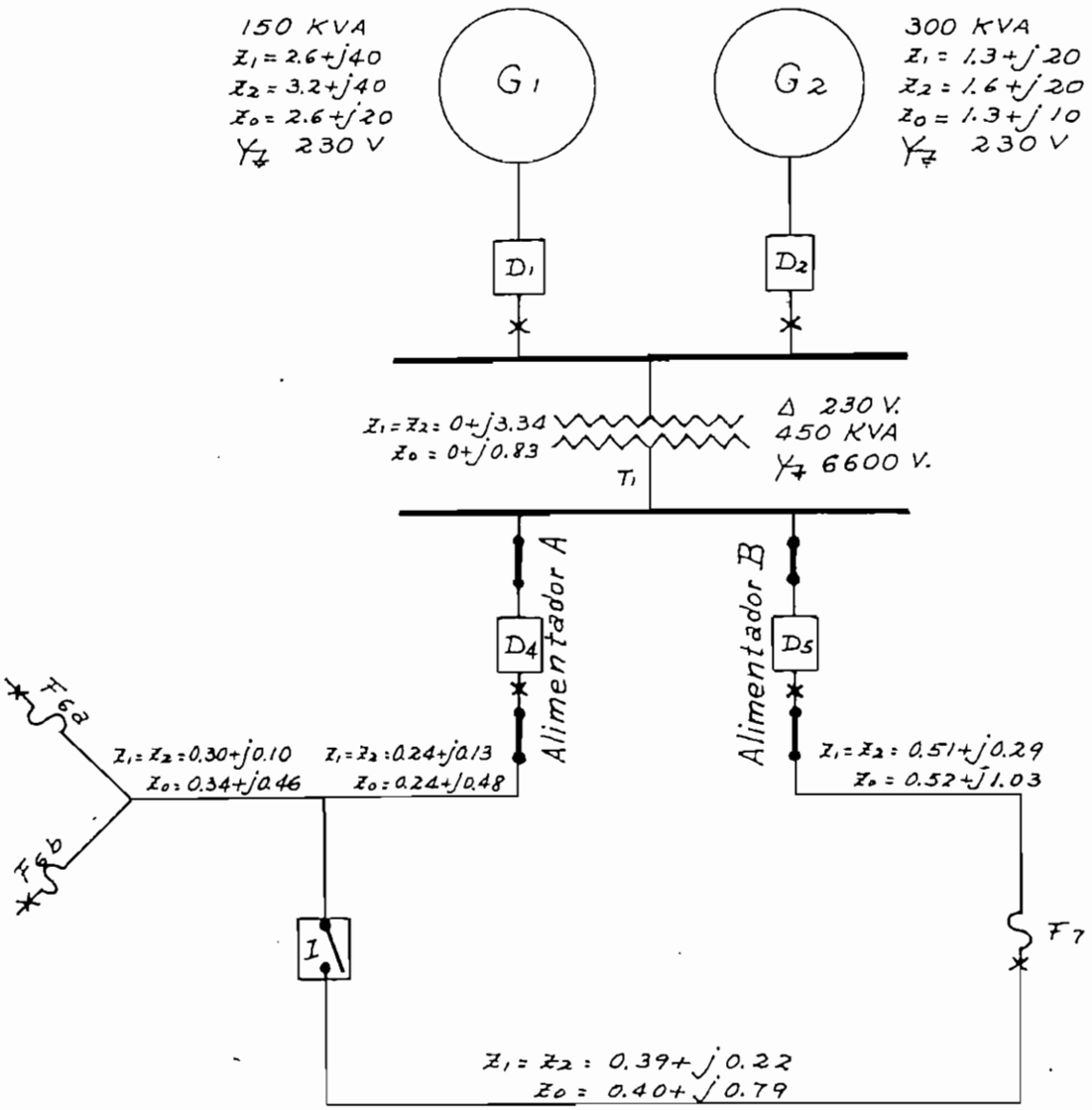


Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresados en por ciento, la carga de la ciudad repartida entre los Alimentadores A y B, y en funcionamiento los generadores G1 y G2.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 6.51 \times 754 = 4910$ amperios.

Falla entre tres fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{7.26 + j11.2} = \frac{100}{13.34} = 7.50$$

$I_b = 754$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 7.50 \times 754 = 5650$ amperios.

Falla entre dos fases y tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times \sqrt{-31.20 + j173.7 - 61.43 + j63.94 - 42.86 + \frac{-56 + j173 - 67.65 + j57.63 - 61.43 + \frac{j11.36 \times 100}{j63.94}}{}}}{}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100 \times (16.85)}{347} = 8.40$$

$I_b = 754$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 8.40 \times 754 = 6330$ amperios.

CORRIENTES DE FALLA EN LOS PUNTOS 4 Y 5.

Las impedancias hasta los puntos 4 y 5 tienen un valor de:

$Z_1 = (7.26 + j14.54)\%$

$Z_2 = (8.34 + j13.74)\%$

$Z_0 = (0 + j0.83)\%$

Falla de fase a tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{15.60 + j29.11} = \frac{300}{33.0} = 9.1$$

$$I_B = \frac{KVA_b}{\sqrt{3}\ KV_b} = \frac{300}{\sqrt{3}\ (6.6)} = 26.3 \text{ amperios.}$$

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 9.1 \times 26.3 = 239 \text{ amperios.}$$

<u>Falla entre dos fases.</u>

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{15.60 + j28.28} = \frac{173}{32.3} = 5.36$$

$$I_b = 26.3 \text{ amperios.}$$

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 5.36 \times 26.3 = 140.6 \text{ amperios.}$$

<u>Falla entre tres fases.</u>

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{7.26 + j14.54} = \frac{100}{16.3} = 6.14$$

$$I_b = 26.3 \text{ amperios.}$$

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 6.14 \times 26.3 = 161 \text{ amperios.}$$

<u>Falla entre dos fases y tierra.</u>

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ x1x\sqrt{-118.50+j229-11.4+j6.92-0.69}\ x100}{-139.30+j220.7-121+j6.03-11.4+j6.92}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ x1x100x(19.1)}{357} = 9.25$$

$$I_b = 26.3 \text{ amperios.}$$

$$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 9.25 \times 26.3 = 243.5 \text{ amperios.}$$

CORRIENTES DE FALLA EN EL PUNTO 6.

Las impedancias hasta el punto 6 tienen un valor de:

$Z_1 = (7.80 + j14.77)\%$

$Z_2 = (8.88 + j13.97)\%$

$Z_0 = (\ 0.58 + j1.77\ )\%$

Falla de fase a tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{17.26 + j30.5} = \frac{300}{34.6} = 8.67$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 8.67 \times 26.3 = 228$ amperios.

m Falla entre dos fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{16.68 + j28.74} = \frac{173}{33.2} = 5.22$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 5.22 \times 26.3 = 137$ amperios.

Falla entre tres fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{7.80 + j14.77} = \frac{100}{16.7} = 5.99$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 5.99 \times 26.3 = 157.5$ amperios.

Falla entre dos fases y tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times \sqrt{-116 + j248 - 19.55 + j23.8 - 2.79 +}}{-136.70 + j224 - 21.58 + j22.36 - 19.55 +}$$

$$\frac{\overline{j2.05}\ x100}{j23.8}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ x1x100x(17.5)}{323} = 9.35$$

I_b= 26.3 amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 9.35 \times 26.3 = 246$ amperios.

CORRIENTES DE FALLA EN EL PUNTO 7.

Las impedancias hasta el punto 7 tienen un valor de:

$Z_1 = (7.77 + j14.83)\%$

$Z_2 = (8.85 + j14.03)\%$

$Z_0 = (0.52 + j1.86\ )\%$

<u>Falla de fase a tierra</u>.

$$I_{F_{p.u.}}' = \frac{3 \times 1 \times 100}{17.14 + j30.72} = \frac{300}{35.05} = 8.55$$

I_b= 26.3 amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 8.55 \times 26.3 = 225$ amperios.

<u>Falla entre dos fases</u>.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{16.62 + j28.86} = \frac{173}{33.2} = 5.20$$

I_b= 26.3 amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 5.20 \times 26.3 = 137$ amperios.

<u>Falla entre tres fases</u>.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{Y1 \times 100}{7.77 + j14.83} = \frac{100}{16.7} = 5.98$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 5.98 \times 26.3 = 157.2$ amperios.

Falla entre dos fases y tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times \sqrt{-118.6 + j248 - 21.5 + j23.73 - 3.18 + j1.94 \times 100}}{-139.2 + j240 - 23.56 + j22.06 - 21.50 + j23.73}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100 \times (17.58)}{340} = 8.95$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 8.95 \times 26.3 = 235.5$ amperios.

b)- El diagrama unifilar del sistema de distribución primario cuando funcionan los Generadores G_1 y G_2, y el Alimentador A se reparte toda la carga de la Ciudad, se muestra en el gráfico No.3-18.

CORRIENTES DE FALLA EN EL PUNTO 7.

Las impedancias hasta el punto 7 tienen un valor de:

$Z_1 = (7.89 + j14.89)\%$

$Z_2 = (8.97 + j14.09)\%$

$Z_0 = (0.64 + j2.10)\%$

Falla de fase a tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{17.50 + j31.08} = \frac{300}{35.6} = 8.42$$

GRAFICO Nº 3-18

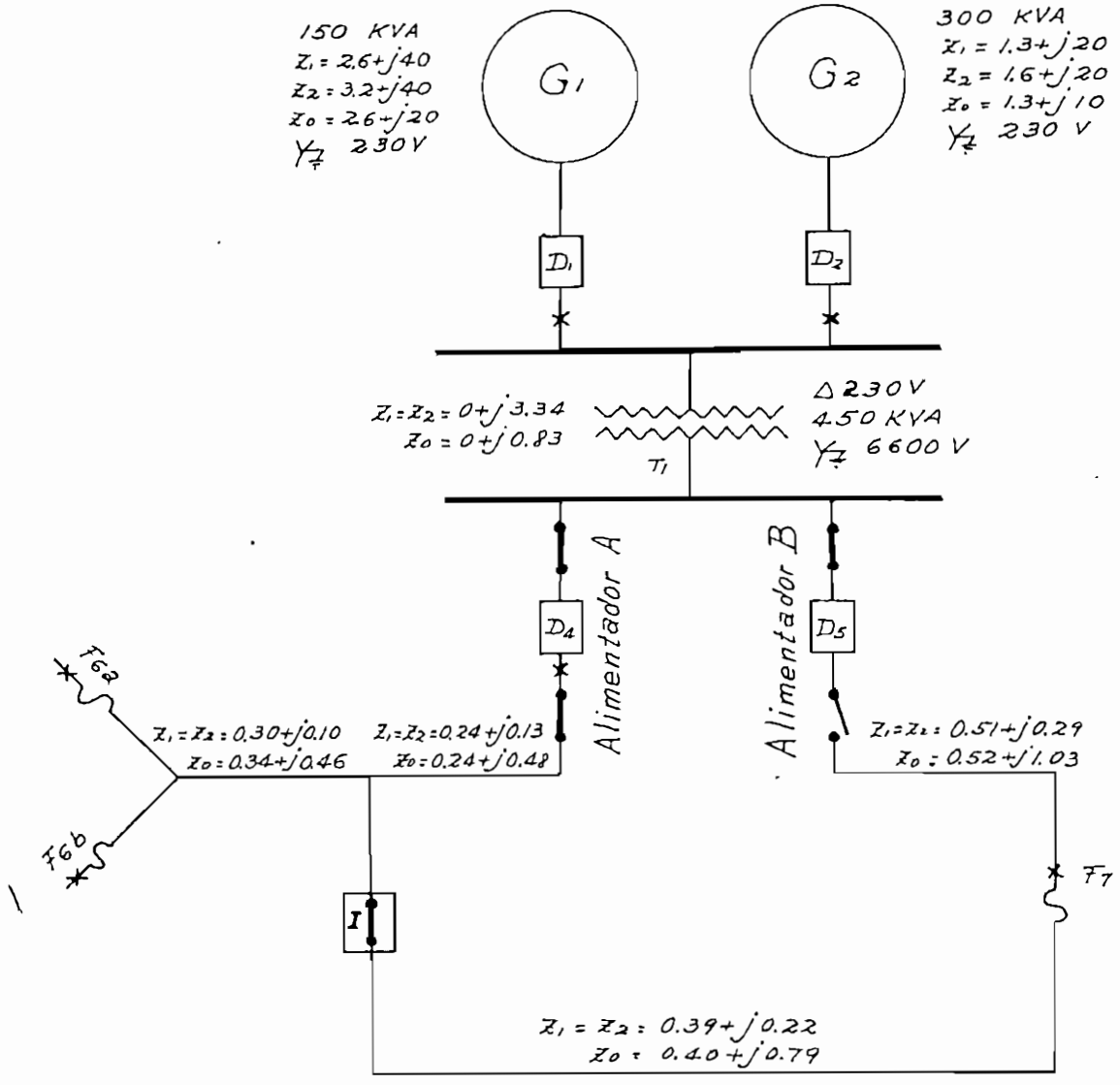


Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresadas en por ciento, la carga de toda la ciudad a traves del Alimentador A y en funcionamiento los generadores G1 y G2.

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 8.42 \times 26.3 = 222$ amperios.

Falla entre dos fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{16.86 + j28.9} = \frac{173}{33.5} = 5.17$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 5.17 \times 26.3 = 136$ amperios.

Falla entre tres fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{7.89 + j14.89} = \frac{100}{16.85} = 5.94$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 5.94 \times 26.3 = 156$ amperios.

Falla entre dos fases y tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times \sqrt{-107.5 + j253 - 23.86 + j27.8 - 4.0 + \frac{-139 + j244.5 - 26.15 + j26.08 - 23.86 + j2.69 \times 100}{j27.8}}}{}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100 \times (17.7)}{353} = 8.68$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 8.68 \times 26.3 = 228$ amperios.

c)- El diagrama unifilar del sistema de distribu

ción primario cuando funcionan los Generadores G_1 y G_2, y el Alimentador B se reparte toda la carga de la Ciudad, se muestra en el gráfico No.3-19.

CORRIENTES DE FALLA EN El PUNTO 6.

Las impedancias hasta el punto 6 tienen un valor de:

$Z_1 = (8.46 + j15.15)\%$

$Z_2 = (9.54 + j14.35)\%$

$Z_0 = (1.26 + j3.11)\%$

Falla de fase a tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{3 \times 1 \times 100}{19.26 + j32.61} = \frac{300}{37.8} = 7.94$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 7.94 \times 26.3 = 209$ amperios.

Falla entre dos fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 100}{18.00 + j29.50} = \frac{173}{34.5} = 5.01$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 5.01 \times 26.3 = 132$ amperios.

Falla entre tres fases.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{1 \times 100}{8.46 + j15.15} = \frac{100}{17.35} = 5.76$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 5.76 \times 26.3 = 151.5$ amperios.

GRAFICO Nº 3-19

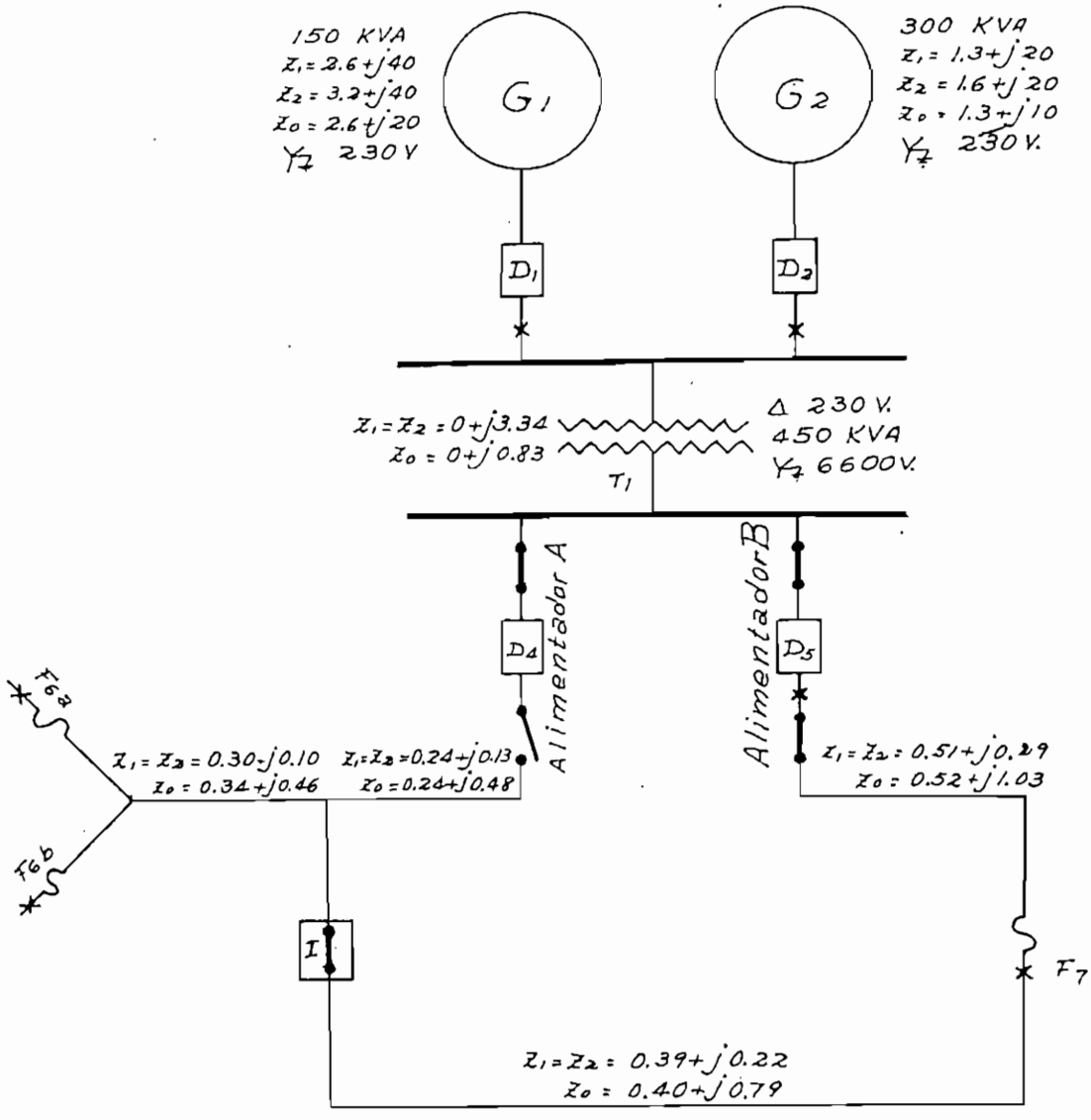


Diagrama unifilar para el cálculo de las corrientes de corto circuito con los valores de las impedancias expresados en por ciento, la carga de toda la ciudad a través del Alimentador B y en funcionamiento los generadores G1 y G2.

Falla entre dos fases y tierra.

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ x1x\sqrt{-115+j274-32.6+j47.7-8.12+ -136.8+j266-36.45+j45.4-32.6+ \frac{j7.82\ x100}{j47.7}}}{}$$

$$I_{F_{p.u.}} = \frac{\sqrt{3}\ x1x100x(19.10)}{414} = 7.98$$

$I_b = 26.3$ amperios.

$I_F = I_{F_{p.u.}} \times I_b = 7.98 \times 26.3 = 210$ amperios.

3-25. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS EQUIPOS DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE.

Con el objeto de planear el sistema de protección de sobrecorriente, es necesario conocer no solo la corriente normal máxima sino tambien las de corto circuito.

En este proyecto se han supuesto tres combinaciones distintas para la operación de los Generadores de la Planta Eléctrica del Municipio de la Ciudad de Santa Rosa en su primera etapa de ampliación.

En cada una de estas combinaciones se ha combinado la distribución de la carga de la Ciudad, haciendo que cada uno de los dos alimentadores A y B, se repartan el total o parte de la carga de la misma.

En estas condiciones y al no ser identicos los circuitos formados, se comprende que las corrientes de corto circuito en un mismo punto, varien al variar no sólo la configuración del circuito, sino tambien los grupos

de Generación que alimentan al corto circuito en un punto.

Con la corriente normal máxima se calculará la capacidad nominal del equipo de protecciém, y con la corriente máxima de corto circuito se seleccionará la máxima capacidad del equipo.

Al producirse una falla, la onda de corriente que circula normalmente por un circuito, se ve aumentada bruzcamente al momento de la misma, al tiempo que se produce una asimetría con respecto al eje de cero corriente.

Esta corriente decrece en función del tiempo, para mantenerse mas tarde en un valor simétrico con respecto al eje de cero corriente.

Esta asimetria dé las corrientes de falla, no siempre tienen la misma magnitud, suponiendo que ocurran en el mismo circuito, debido a que dicha magnitud depende del momento en que haya ocurrido la falla. Así, la mayor asimetría se producirá cuando la onda de voltaje de la corriente normal pase por el eje de cero voltaje, y en ese momento se produzca la falla.

A fin de determinar la corriente de interrupción asimétrica, es necesario multiplicar el valor de la corriente simétrica de corto circuito calculada, por un factor que depende de la relación X/R del circuito.

Al valor menor de la corriente de interrupción causada por el valor mas pequeño de la corriente de corto circuito en un punto se le llamará "corriente de interrupción mínima", en tanto que a la causada por el va

lor mayor de la corriente de corto circuito se le llama rá "corriente de interrupción máxima". No debe confun - dirse el término "corriente de interrupción máxima" con el de "corriente de interrupción momentanea", ya que con este último término quiere designarse al valor mayor de la corriente de corto circuito que un equipo puede sopor tar sin destruirse, lo cual determina su capacidad.

La capacidad de interrupción momentanea de los e- quipos de protección de sobrecorriente que se fabrican en la actualidad, vienen referidos a una onda de corrien te simétrica con fespecto al eje de cero corriente, aun- que son capaces de interrumpir corrientes asimétricas.

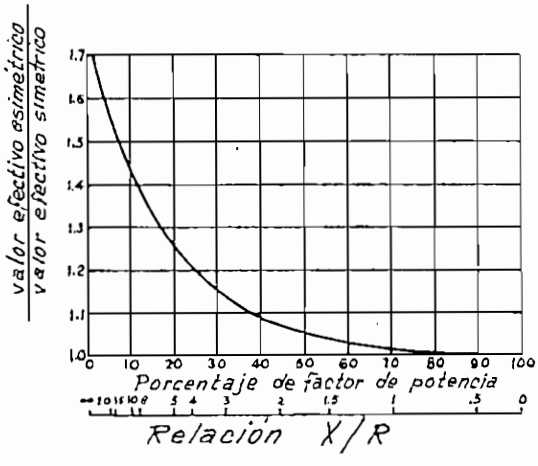
Las corrientes asimétricas asociadas con las simé tricas, dependen del factor de potencia o de la relación X/R del circuito.

En el gráfico No.3-20, se ofrecen las relaciones entre los valores efectivos de las corrientes asimétri cas y los de las corrientes simétricas, de acuerdo al factor de potencia o a la relación X/R del circuito. Tam bien aparece la fórmula para calcular la capacidad simé trica de interrupción a una relación X/R dada, en función de una capacidad simétrica de interrupción básica a una relación X/R básica.

Las relaciones mostradas en el gráfico No.3-20, tambien ofrecen las "factores de multiplicación" que se- rán usados para determinar la corriente de interrupción máxima efectiva asimétrica en el primer medio ciclo que se produce la falla.

GRAFICO Nº 3-20

Relación entre los valores efectivos asimétricos y simétricos de las corrientes de corto circuito en función del factor de potencia o de la Relación X/R del circuito de distribución, según el acuerdo de la Junta de Secciones del Comité de NEMA.



$$\text{capacidad de interrupción simétrica a un valor X/R dado} = \text{Límite Simétrico} \frac{\text{Relación básica X/R}}{\text{Relación de X/R dado}}$$

3-26. RESUMEN DE LOS VALORES DE LAS CORRIENTES MAXIMAS Y MINIMAS DE CORTO CIRCUITO, FACTORES DE MULTI - PLICACION, CORRIENTES ASIMETRICAS DE INTERRUP + - CION, Y CORRIENTE NOMINAL EN CADA UNO DE LOS PUN TOS EN LOS CUALES SE COLOCARAN EQUIPOS DE PROTEC CION DE SOBRECORRIENTE.

Debido a que en este estudio se conoce la rela - ción de X/R de cada uno de los circuitos en los cuales se han hallado las corrientes de falla, se resumirán seguidamente las corrientes máximas y mínimas de corto circuito en los puntos situados junto a los equipos de protección, el factor de multiplicación de acuerdo a la relación X/R del circuito, y la corriente de inte- rrupción asimétrica que se producirá al primer medio ciclo de producirse la falla, así como tambien la co- rriente normal máxima que pasará por cada uno de los puntos mencionados, en la etapa final del proyecto.

En funcionamiento el Generador G_1.

Puntos	Corriente de falla máxima y mínima, en amperios.	Factor de multiplicación de acuerdo a la relación X/R.	Corriente de interrupción máxima y mínima, en amperios.	Corriente normal máxima, en amperios.
1	2250 1625	1.44 1.52	3240 2470	378
4y5	102 52	1.00 1.54	102 80	77
6	98 52	1.00 1.46	98 76	a)21 b)13
7	98 52	1.00 1.50	98 78	55

En funcionamiento el Generador G_2.

Puntos	Corriente de falla máxima y mínima, en amperios.	Factor de multiplicación de acuerdo a la relación X/R.	Corriente de interrupción máxima y mínima, en amperios.	Corriente normal máxima, en amperios.
2	4515 3260	1.49 1.52	6720 4950	756
4y5	177 97	1.00 1.55	177 150	77
6	173 95	1.00 1.41	173 134	a)21 b)13
7	172 96	1.00 1.44	172 138	55

En funcionamiento los Generadores G_1 y G_2.

Puntos	Corriente de falla máxima y mínima, en amperios.	Factor de multiplicación de acuerdo a la relación X/R.	Corriente de interrupción máxima y mínima, en amperios.	Corriente normal máxima, en amperios.
1y2	6940 4910	1.04 1.02	7220 5010	1)378 2)756
4y5	244 141	1.00 1.07	244 151	77
6	246 132	1.00 1.05	246 139	a)21 b)13
7	228 136	1.00 1.06	228 144	55

3-27. SELECCION DE LOS EQUIPOS DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE PARA LA RED DE DISTRIBUCION PRIMARIA DE LA CIUDAD DE SANTA ROSA.

Para el sistema de proteccion de sobrecorriente de la Red de Distribución Primaria de la Ciudad de Santa Rosa, se han escogido los siguientes equipos de protección, los cuales serán identificados por las letras D ó F seguidas de un subindice que indica el punto de localización de los mismos en el circuito.

Equipo de protección F_{6a}.

Para este equipo, que debe llevar una corriente

nominal de 21 amperios, se escogió una lámina fusible de 20 amperios de "rating" tipo L.M. FL3T20 con una - capacidad de 30 amperios, capaz de soportar un voltaje de 6.6 KV y cuyas curvas de tiempo-corriente se - muestran en el gráfico No.3-21.

Equipo de protección F_{6b} .

Para este equipo, que debe llevar una corriente nominal de 13 amperios, se escogió una lámina fusible de 15 amperios de "rating" tipo L.M. FL3T15 con una - capacidad de 23 amperios, capaz de soportar un voltaje de 6.6 KV y cuyas curvas de tiempo-corriente se muestran en el gráfico No.3-21.

Equipo de protección F_7 .

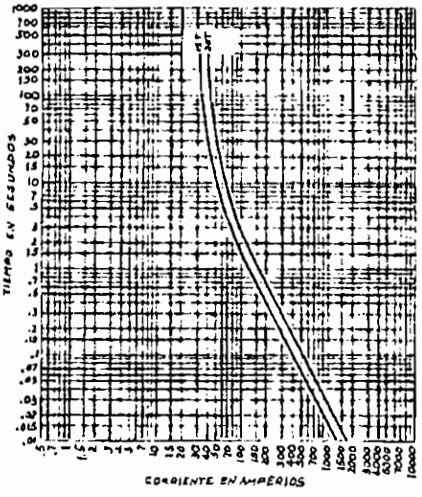
Para este equipo, que debe llevar una corriente nominal de 55 amperios, se escogió una lámina fusible de 40 amperios de "rating" tipo L.M. FL3N40 con una - capacidad de 60 amperios, capaz de soportar un voltaje de 6.6 KV y cuyas curvas de tiempo-corriente se muestran en el gráfico No.3-21.

Equipos de protección D_4 y D_5 .

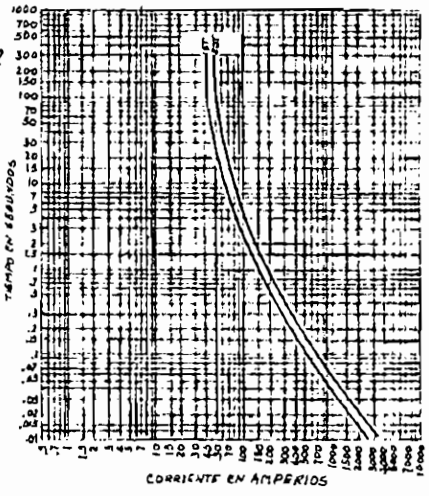
Para estos equipos, que deben llevar una corriente nominal de 77 amperios, se escogieron Reconectadores de Aceite de 70 amperios de "rating" tipo 6H de L.M. - KHA670C22, con una capacidad de interrupción momentánea de 2500 amperios basados en una relación de X/R=10, y con una corriente mínima de interrupción de 140 amperios

GRAFICO Nº 3-21

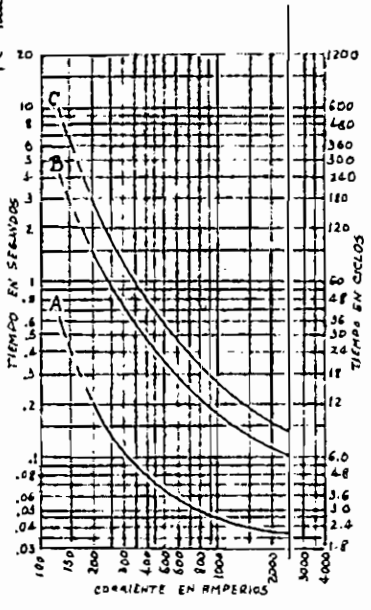
Curvas de tiempo-corriente de los equipos de protección de sobrecorrientes de la Red de Distribución de Alta Tensión.



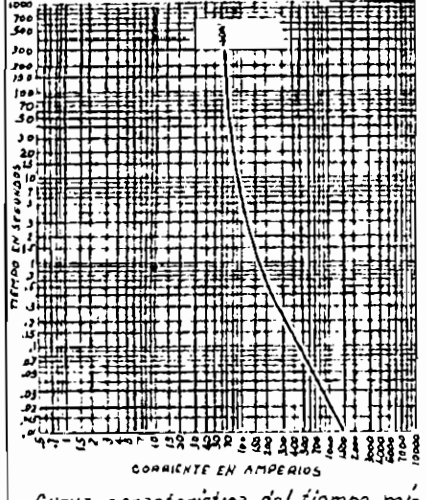
Curva característica del tiempo mínimo de fusión de las láminas fusibles tipo T de distribución.



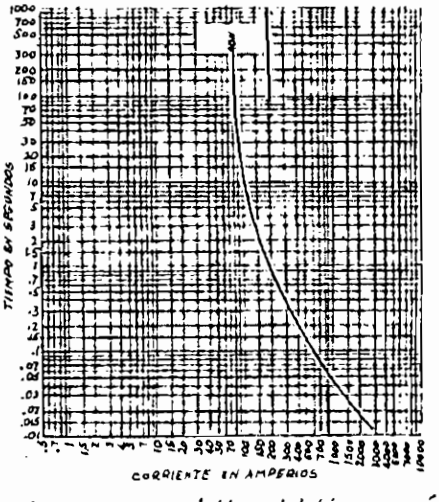
Curva característica del tiempo máximo de despeje de las láminas fusibles tipo T de distribución.



Curva tiempo-corriente del Reconectador tipo 6H de 70 Amperios de "rating".



Curva característica del tiempo mínimo de fusión de las láminas fusibles tipo N de distribución.



Curva característica del tiempo máximo de despeje de las láminas fusibles tipo N de distribución.

capaz de soportar un voltaje de 6.6 KV.

Este Reconectador tiene cuatro operaciones; dos rápidas y dos extra-retardadas. La curva A de tiempo-corriente es para las operaciones rápidas, en tanto que la curva C es para las operaciones extra-retardadas, todo lo cual se aprecia en el gráfico No. 3-21.

Esta selección se ha hecho teniendo en cuenta la ventaje que representa la coordinación de protección de sobrecorriente de los Reconectadores con los Fusibles.

Los Reconectadores suelen tener disparos de apertura del circuito rápidas y lentas, en secuencias de operación prefijadas.

La operación lenta sirve para cuando se presenta una falla permanente, ya que antes de abrirse el circuito del Reconectador en esta operación, deben fundirse los fusibles que protegen al circuito dañado, despejandose la falla y quedando en servicio los demas circuitos servidos por el Reconectador.

Si la falla es transitoria, la operación rápida del Reconectador servirá para abrir el circuito antes de que comience a fundirse el fusible del circuito dañado, impidiendo de esta forma que una falla transitoria cause la fusión del fusible.

En la coordinación de protección de sobrecorriente de Fusibles y Reconectadores, deben cumplirse las reglas siguientes:

a)- Para todos los valores posibles de corriente

de falla en el circuito protegido por una lámina fusible, el mínimo tiempo de fusión del fusible debe ser 1.5 veces mayor que el tiempo de despeje de disparo rápido del Reconectador, asumiendo una secuendia de operación de dos disparos rápidos y dos lentos.

b)- Para todos los valores posibles de corrientes de falla en el circuito protegido por una lámina fusible, el tiempo de despeje del Fusible no debe ser mayor que el tiempo de despeje de disparo lento del Reconectador, cuando se usan dos o mas operaciones lentas.

Debe considerarse que los valores máximos y mínimos de las corrientes de falla que aquí aparecen, tienen lugar en los puntos estudiados y que estos puntos se encuentran junto a los equipos de protección. Sin duda alguna, si estas fallas ocurrieran en el extremo mas alejado de un circuito protegido por un equipo de protección, los valores de las corrientes en esos puntos, serian menores que los hayados junto a dichos equipos de protección.

Esto tiene una particular influencia en la coordinación de los tiempos de fusión para la corriente mínima de interrupción, que en realidad sería menor que la que aquí se ha calculado.

Ahora bien, en el extremo mas alejado del circuito de mayor longitud de este proyecto, y con los grupos de Generación G_1 y G_2 funcionando en paralelo, el valor de la corriente mínima, no es menor que el 3% del valor de la corriente hayada junto al equipo de protección que protege dicho circuito.

Debido a que esta variación no puede apreciarse en los gráficos de las características de tiempo-corriente de los fusibles y reconectadores, no se han determinado, adoptandose que este valor de la corriente mínima en el extremo mas alejado de un circuito, tiene el mismo valor que la corriente mínima calculada junto a los equipos de protección de este proyecto.

En los cuadros No.3-3, No.3-4 y No.3-5, se ofrecen los tiempos de operación de cada uno de los equipos de protección situados en la línea de alta tensión, de acuerdo a los valores de las corrientes de interrupción hayados anteriormente en función de la configuración del circuito y de las Generadores que estan en funcionamiento.

Cuando una falla ocurre en un punto que está separado de la fuente por un fusible y un Reconectador, y la corriente de interrupción de esta es menor que la corrientemínima de interrupción del Reconectador, este no disparará y la falla se despejará en el tiempo de despejo del fusible.

Esto puede observarse en los cuadros mencionados anteriormente, en los cuales, la no operación del Reconectador se representa por medio de un guión en la columna de tiempo de disparo correspondiente al mismo.

Cuando una falla transitoria ocurre en un punto que está separado de la fuente por un Fusible y un Reconectador, y la corriente de interrupción de esta es mayor que la corriente mínima de interrupción del Reconectador, este disparará si el tiempo mímimo de fusión del Fusible es mayor para esa corriente, que el tiempo de

disparo rápido del Reconectador para dicha corriente.

Aquí se comprende la necesidad de que el tiempo mínimo de fusión del fusible sea mayor que el tiempo de disparo rápido del Reconectador, ya que en el caso contrario, se iniciaría la fusión del fusible antes de que el Reconectador disparara abriendo el circuito, con lo cual las ventajas del Reconectador, que en este caso sería evitar que se funda el fusible en una falla transitoria, sería nula.

Cuando una falla permanente ocurre en un punto que está separado de la fuente por un fusible y un Reconectador, y la corriente de interrupción de esta es mayor que la corriente mínima de interrupción del Reconectador, este disparará sus disparos rápidos y antes de que se efectue el disparo lento, debe fundirse el fusible que protege al circuito donde ha ocurrido la falla.

Por esta razón, cuando la falla es permanente, el tiempo máximo de despejo del fusible no debe ser mayor que el tiempo de disparo lento del Reconectador.

De la observación de los cuadros No.3-3, No.3-4, y No.3-5, se aprecia que cuando la carga de la Ciudad se distribuye a través del Alimentador B solamente, (cosa que ocurre en caso de emergencia), no es posible obtener la coordinación de F_6, F_7 y Reconectador D_5, ya que sus tiempos de operación para las corrientes de corto circuito que pueden ocurrir en el circuito protegido por F_6, no cumplen las dos reglas mencionadas anteriormente para poder lograr la coordinación.

CUADRO Nº 3-3

Tiempo de operación de los equipos de protección de sobrecorriente de la linea de distribución primaria, cuando está en funcionamiento el Generador G1 y cuando la carga de toda la Ciudad se reparte a través de los Alimentadores A y B, o a través del Alimentador A solamente

	EQUIPO DE PROTECCION	CORRIENTE DE INTERRUPCION MAXIMA Y MINIMA JUNTO AL EQUIPO DE PROTECCION, EN AMPERIOS	TIEMPO MINIMO DE FUSION DEL EQUIPO DE PROTECCION, EN SEGUNDOS	TIEMPO DE DISPARO RAPIDO DEL RECONECTADOR, EN SEGUNDOS	TIEMPO MAXIMO DE DESPEJE DEL EQUIPO DE PROTECCION, EN SEGUNDOS	TIEMPO DE DISPARO EXTRA RETARDADO DEL RECONECTADOR, EN SEGUNDOS
4 y 5	D4 y D5	102 52		—— ——		—— ——
6	F6a	98 52	2.80 35.00	—— ——	4.80 150.00	—— ——
6	F6b	98 52	1.51 10.00	—— ——	2.80 25.00	—— ——
7	F7	98 52	8.00 ——	—— ——	25.00 ——	—— ——

CUADRO Nº 3-4

Tiempo de operación de los equipos de protección de sobrecorriente de la linea de distribución primaria, cuando está en funcionamiento el Generador G_2 y cuando la carga de toda la Ciudad se reparte a través de los Alimentadores A y B, o a través del Alimentador A solamente.

PUNTO DE FALLA	EQUIPO DE PROTECCION	CORRIENTE DE INTERRUPCION MAXIMA Y MINIMA JUNTO AL EQUIPO DE PROTECCION, EN AMPERIOS	TIEMPO MINIMO DE FUSION DEL EQUIPO DE PROTECCION, EN SEGUNDOS	TIEMPO DE DISPARO RAPIDO DEL RECONECTADOR, EN SEGUNDOS	TIEMPO MAXIMO DE DESPEJE DEL EQUIPO DE PROTECCION, EN SEGUNDOS	TIEMPO DE DISPARO EXTRA RETARDADO DEL RECONECTADOR, EN SEGUNDOS.
4 y 5	D_4 y D_5	177 97		0.26 —		4.60 —
6	F_{6a}	173 95	0.95 3.20	0.27 —	1.40 5.20	4.98 —
6	F_{6b}	173 95	0.55 1.53	0.27 —	0.90 3.00	4.98 —
7	F_7	172 96	0.90 9.00	0.30 —	1.53 35.00	5.00 —

CUADRO Nº 3-5

Tiempo de operación de los equipos de protección de sobrecorriente de la línea de distribución primaria cuando estan en funcionamiento los Generadores G_1 y G_2 y cuando la carga de toda la Ciudad se reparte a través de los Alimentadore A y B, o a través del Alimentador A solamente.

PUNTO DE FALLA	EQUIPO DE PROTECCION	CORRIENTE DE INTERRUPCION MAXIMA Y MINIMA JUNTO AL EQUIPO DE PROTECCION, EN AMPERIOS	TIEMPO MINIMO DE FUSION DEL EQUIPO DE PROTECCION, EN SEGUNDOS	TIEMPO DE DISPARO RAPIDO DEL RECONECTADOR, EN SEGUNDOS	TIEMPO MAXIMO DE DESPEJE DEL EQUIPO DE PROTECCION, EN SEGUNDOS.	TIEMPO DE DISPARO EXTRA RETARDADO DEL RECONECTADOR, EN SEGUNDOS.
4 y 5	D_4 y D_5	244 151		0.150 0.390		2.00 6.00
6	F_{6a}	246 139	0.47 1.25	0.148 ——	0.65 2.00	1.90 ——
6	F_{6b}	246 139	0.30 0.75	0.148 ——	0.45 1.25	1.90 ——
7	F_7	228 144	0.50 1.40	0.16 0.55	0.80 3.00	2.20 8.00

Debe mencionarse que en este proyecto no se ha recomendado ningún equipo de protección para los grupos de generación, ya que no se contempla en el estudio de la Red de Distribución de Energía Eléctrica de la Ciudad de Santa Rosa. No obstante esto, se determinaron las corrientes de falla y la localización de los equipos de protección de sobrecorriente en los puntos 1 y 2, con el objeto de no dejar incompleto el cálculo de las corrientes de corto circuito en la primera etapa de este proyecto.

Fusibles en los transformadores de Distribución.

Los fusibles en el lado primario de un transformador de distribución sirven no solo para proteger a los transformadores de las sobrecorrientes, sino que proporcionan una protección al circuito, aislando de este al transformador en caso de una falla en el mismo.

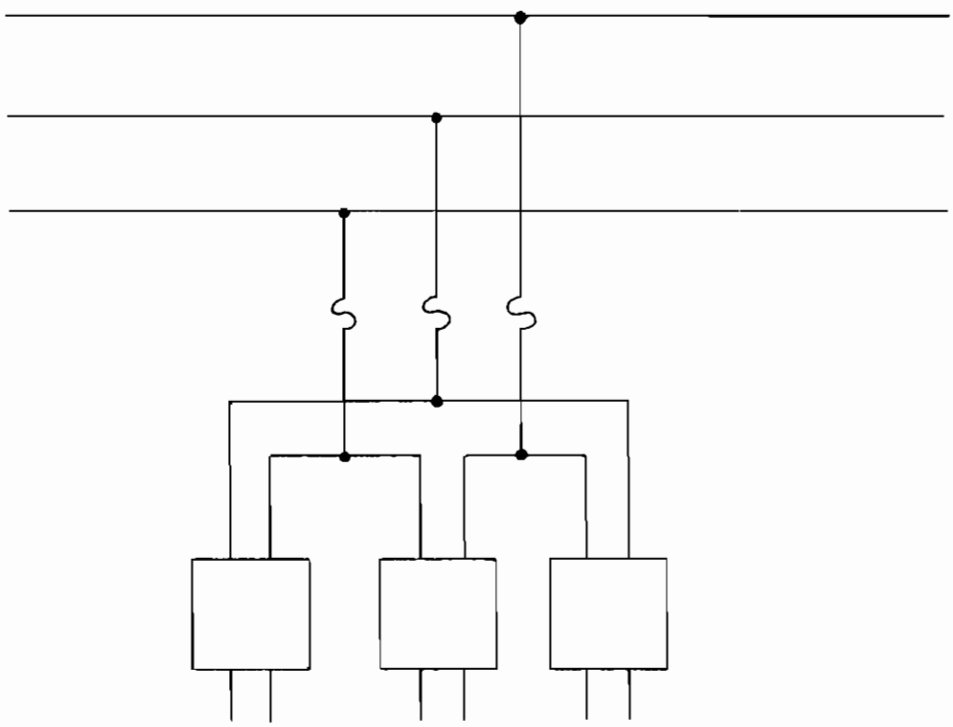
Para seleccionar la capacidad del fusible de protección de sobrecorriente entre el alimentador primario y el transformador, se ha seguido la norma de utilizar una capacidad mucho mayor que la de la corriente de plena carga. En este caso se ha escogido para la capacidad del fusible, unas dos veces el valor de la corriente normal de plena carga.

La conexión del lado primario de los transformadores de distribución de la Ciudad de Santa Rosa es en Delta y a 6.6 KV, y la capacidad de los fusibles de protección se ha escogido atendiendo a estos factores.

El diagrama de conexión de los fusibles en el lado primario de los transformadores de distribución de la

GRAFICO Nº 3-22

Diagrama de conexión de los fusibles en la conexión Delta del lado primario de los transformadores de la Ciudad de Santa Rosa.



Capacidad del transformador	Corriente normal	Lámina fusible Nº de Catálogo
12 KVA	1.05 amp.	L.M. FL3H3
24 KVA	2.10 amp.	L.M. FL3H5
36 KVA	3.15 amp.	L.M. FL3H8

Ciudad de Santa Rosa, se muestra en el gráfico No.3-22, y sus capacidades y números de catálogos se muestra a continuación de dicho gráfico.

3-28. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS EQUIPOS DE PROTECCION DE SOBREVOLTAJE.

Si anteriormente se coordinaron los equipos para hacer una adecuada protección de sobrecorriente, ahora deben coordinarse los equipos de línea para una protección de sobrevoltaje.

Si el aislamiento de un equipo eléctrico cualquiera puede soportar el impulso de una onda de voltaje tal como la representada por la curva A del gráfico No.3-23, se comprende que la única forma de protegerlo contra sobrevoltaje es por medio de un equipo de protección cuyo aislamiento pueda soportar el impulso de una onda de voltaje tal como la representada en la curva B del mencionado gráfico.

De esta forma, si una onda de voltaje superior al valor que puede soportar el aislamiento del equipo protegido contra sobrevoltaje, es aplicada al mismo, antes de perforar el aislamiento de este, perforará el del equipo de protección.

Este es el caso de los pararrayos, que estan diseñados para reducir el frente de onda de una onda de sobrevoltaje causada por un rayo, a un valor tal que pueda ser soportado por el aislamiento del equipo protegido, sin que se perfore este.

GRAFICO Nº 3-23

Curvas para explicar la protección de sobrevoltajes

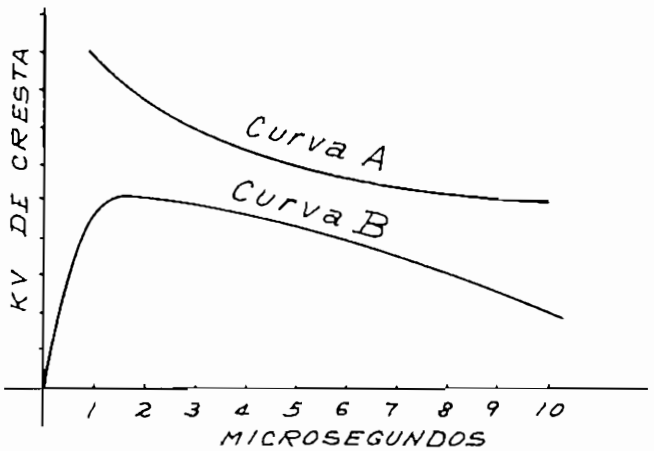
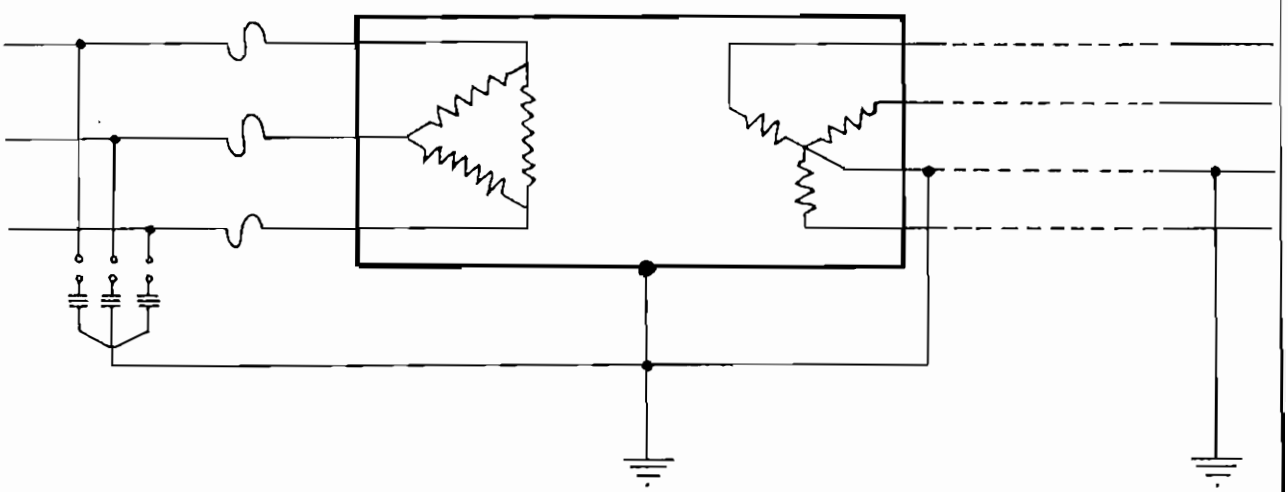


GRAFICO Nº 3-24

Conexión de "tres puntos" para aterramiento de los pararrayos y equipos que protege.



Aquí se comprende la necesidad de establecer unos niveles básicos de aislamiento (BIL) y por esta razón en el año de 1941 el Comité Conjunto de AIEE-EEI-NEMA, adoptaron los niveles básicos de aislamiento en términos de voltajes de referencia y de acuerdo a la definición de que dichos niveles de aislamiento estarian expresados en el impulso de un voltaje de cresta de una onda standard de 1.5x40 microsegundos.

Atendiendo a este concepto, los transformadores de distribución de la Ciudad de Santa Rosa, cuyo voltaje primario es de 6.6KV, deben tener por ejemplo, un BIL de 75KV en tanto que los pararrayos que van a protegerlos contra sobretensiones deben tener una tensión de descarga con un valor menor; por ejemplo 40KV.

La aplicación de los pararrayos para la protección de sobrevoltaje, requiere el conocimiento del voltaje y la conexión del sistema al cual van a instalarse, así como su localización sobre el nivel del mar y los equipos a los cuales van a proteger.

Debido a que cualquier diferencia entre el potencial de tierra del equipo que se quiere proteger y el del pararrayos, contribuye a aumentar la onda de voltaje a la cual se somete el aislamiento cuando cae un rayo, es necesario que el pararrayos se encuentre lo mas cerc posible del equipo al que va a proteger, y que sus sistemas de unión a tierra esten interconectadas y con l menor resistencia posible, prefiriéndose un ohmio o n nos.

La práctica aconseja colocar los pararrayos d

transformador en la parte de "línea" de los fusibles de protección primarios, con el fin de evitar que estos se fundan por una exposición grande de la corriente del rayo, si el pararrayos se colocara en los bornes primarios del transformador de distribución.

La protección a tierra de los equipos y de los pararrayos puede hacerse de varias formas, pero en este proyecto, el aterramiento de los mismos en la Ciudad de Santa Rosa se hará utilizando el sistema de los "tres puntos", por el cual la conexión a tierra del pararrayos, el equipo y el neutro del sistema secundario de distribución, iran interconectados y unidos a tierra, tal como se muestra en el gráfico No.3-24.

Es conveniente aclarar que para emplear el tipo de conexión a tierra mostrado en el gráfico No.3-24, es necesario que el conductor neutro del secundario esté solidamente aterrado.

Por esta razón, ademas del conductor de tierra T_t, deben utilizarse los conductores de tierra T_s situados en los postes mas cercanos al transformador, con el objeto de que si por un desperfecto la resistencia de T_t se hiciera muy grande, la onda de voltaje de descarga del pararrayos pueda descargarse a tierra a través de T_s.

3-29. SELECCION DE LOS EQUIPOS DE PROTECCION DE SOBRE VOLTAJE.

Pararrayos para los transformadores de distribución.

De acuerdo al sistema en el cual estarán instalado(Ye con tres conductores, y neutro solidamente aterrado) y al voltaje de 6.6 KV entre fases, se escogerán pararrayos con las siguientes características:

Voltaje nominal = 9 KV.

Altura de montaje = hasta 6000 pies sobre el mar

Similar al tipo L.M. No.Cat. AV1B9

Pararrayos para el Interruptor I.

De acuerdo al sistema en el cual estarán instalado(Ye con tres conductores, y neutro solidamente aterrado) y al voltaje de 6.6 KV entre fases, se eolocaran dos juegos de pararrayos, uno a cada lado, con las siguientes características:

Voltaje nominal = 9 KV.

Altura de montaje = hasta 6000 pies sobre el mar

Similar al tipo L.M. No.Cat. AV1B9

Pararrayos para los transformadores de elevación.

Los transformadores de elevación llevarán un juego de pararrayos en el lado de la carga, los cuales, de acuerdo a la conexión del sistema (Ye con tres conductores y neutro solidamente aterrado) y al voltaje de 6.6 KV entre fases, deben tener las siguientes características:

Voltaje nominal = 9 KV.

Altura de montaje= hata 6000 pies sobre el mar
Similar al tipo L.M. No.Cat. AV1B9.

Pararrayo para los reconectadores.

Para la protección completa de un Reconectador de Aceite, los pararrayos deben colocarse a ambos lados - del mismo, o sea; un juego hacia el lado de la fuente y otro hacia el lado de la carga.

No obstante esto y debido a que los Reconectadores de la Ciudad de Santa Rosa estarán en la Planta, se colocará solamente un juego en el lado de la carga de los mismos.

Atendiendo al sistema al cual estarán conectados (Ye de tres conductores y neutro solidamente aterrado), y al voltaje de 6.6 KV entre fases, los pararrayos tendran las características siguientes:

Voltaje nominal = 9 KV.
Altura de montaje = hasta 6000 pies sobre el mar
Similar al tipo L.M. No.Cat. AV30B9.

3-30. ALTURA DE LOS POSTES EN LA CIUDAD DE SANTA ROSA.

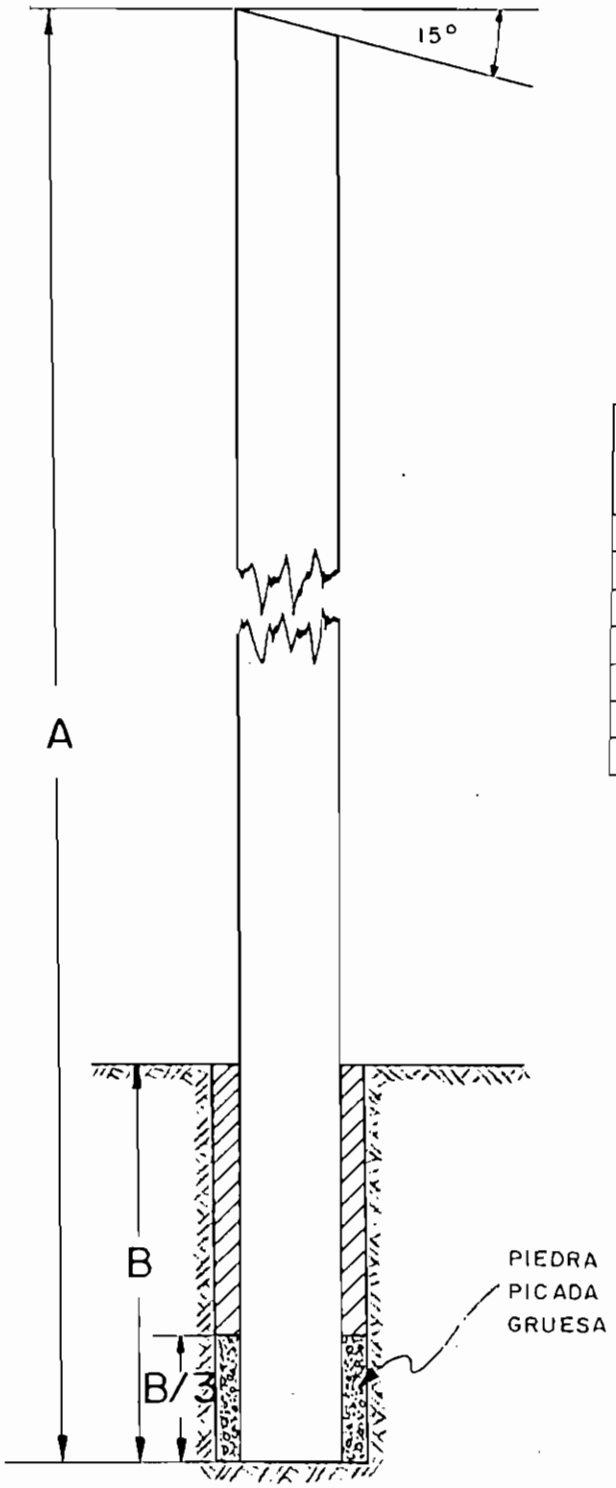
En el cuadro No.3-6 se recomiendan las separaciones mínimas entre los conductores de un sistema eléctrico y el suelo, atendiendo al voltaje y a los sitios que atraviesan los mismos.

En el gráfico No.3-25 se muestran las alturas de los postes y la porción de los mismos que debe ir bajo tierra. Los detalles de construcción se muestran en - los gráficos No.3-26; No.3-27; No.3-28; No.3-29; No.3-30

ALTURA MINIMA DE CONDUCTORES SOBRE LINEAS DE FERROCARRIL, CAMINOS Y CAMPOS ABIERTOS

	Primarios hasta 15000 voltios.	Secundarios desde 0-750 voltios.	Ramales de servicio Baja tensión.
Cruce de líneas de Ferrocarril....	7.50 m.	6.50 m.	6.50 m.
Cruce de calles callejones y caminos.....	6.00 m.	5.50 m.	5.50 m.
Cruce de entrada de garajes y residencias.....	6.00 m.	4.50 m.	4.50 m.
Cruce en lugares accesibles solamente a peatones..	4.50 m.	4.50 m.	4.50 m.
A lo largo de calles en zonas urbanas.....	6.00 m.	5.50 m.	5.50 m.
A lo largo de caminos en zona rural.....	5.50 m.	4.50 m.	4.50 m.
Sobre campos cultivados o no.....	6.00 m.	5.50 m.	5.50 m.

NOTA: Los tensores de ancla pueden considerarse como "Ramales de Servicio"(Baja Tensión) y si no atraviesan calles y caminos, no se exige separación del suelo.



LARGO "A" del poste en metros	PARTE "B" enterrado en metros
9.0	1.5
10.5	1.7
11.0	1.7
12.0	1.8
13.0	2.0
14.0	2.0
15.0	2.2

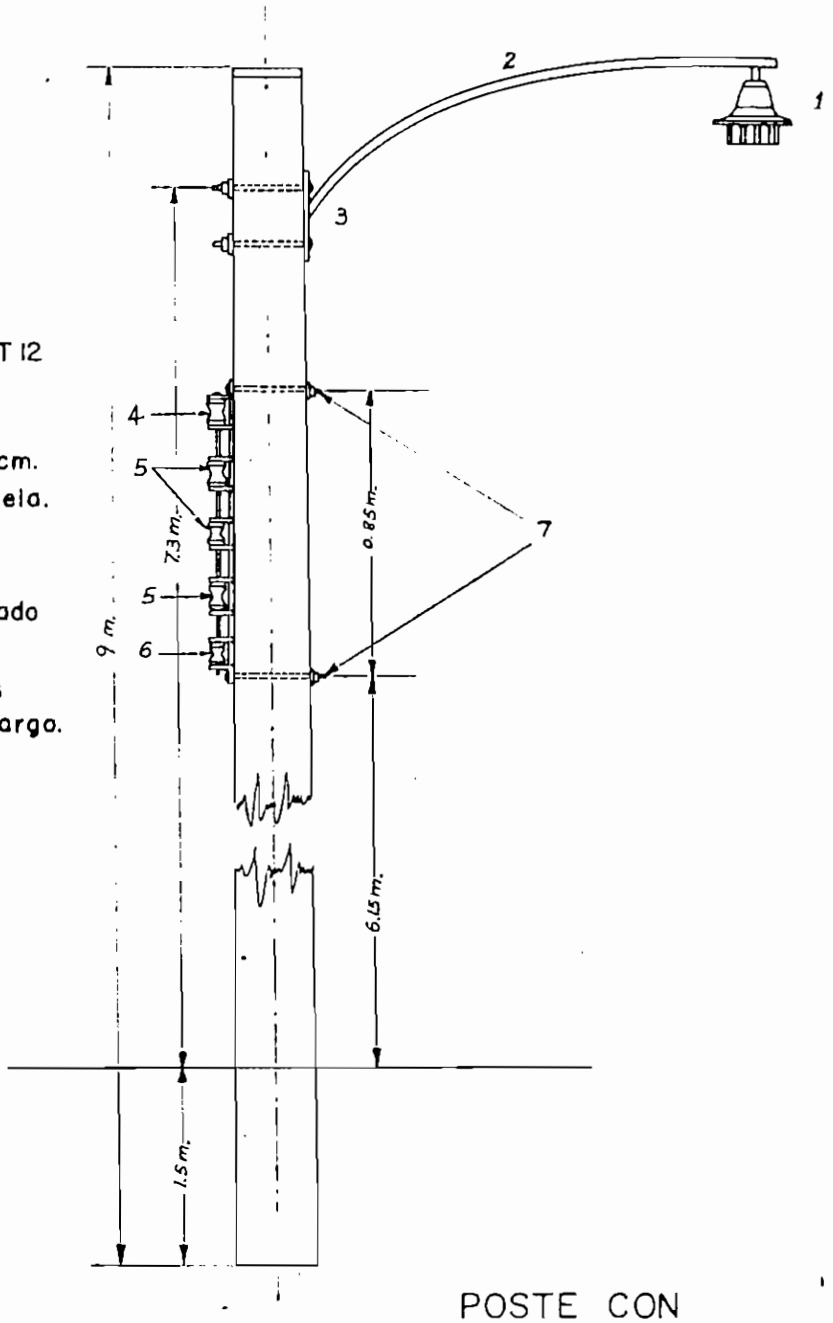
BASE DE POSTE DE MADERA

Base de postes de madera con carga por encima de lo normal (finales de líneas, ángulos grandes, postes de transformadores, etc. Para postes con carga normal (en tangentes, etc) no es necesario piedra picada.

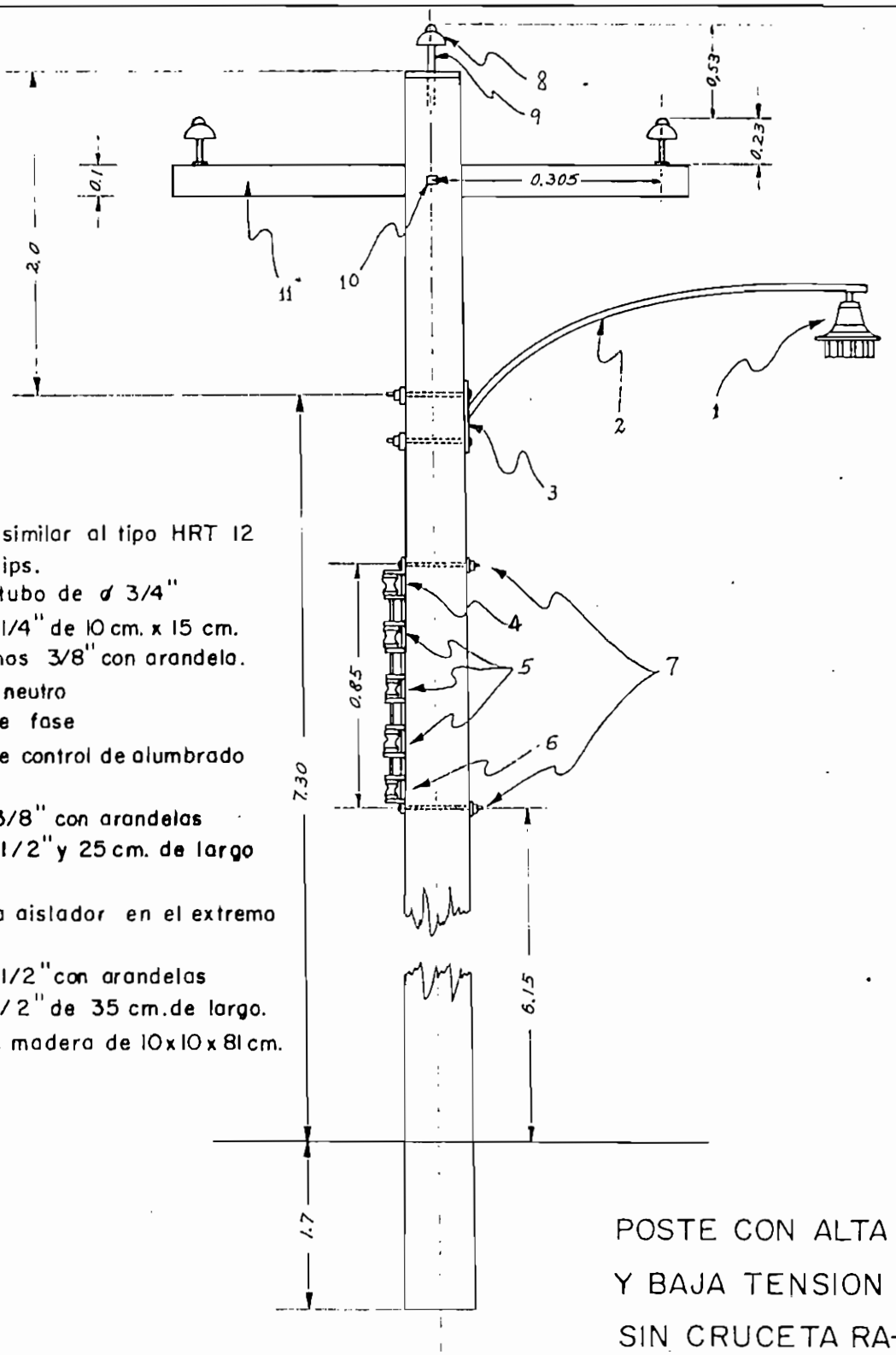
GRAFICO Nº 3-25

GRAFICO Nº 3-26

1 Luminaria similar al tipo HRT 12 de la Philips.
2 Brazo de tubo de ø 3/4"
3 Chapa de 1/4" de 10 cm. x 15 cm. con 2 pernos 3/8" con arandela.
4 Conductor neutro
5 " de fase
6 " de control de alumbrado público.
7 Perno de 3/8" con arandelas 1-1/2" x 1-1/2" y 25 cm. de largo.



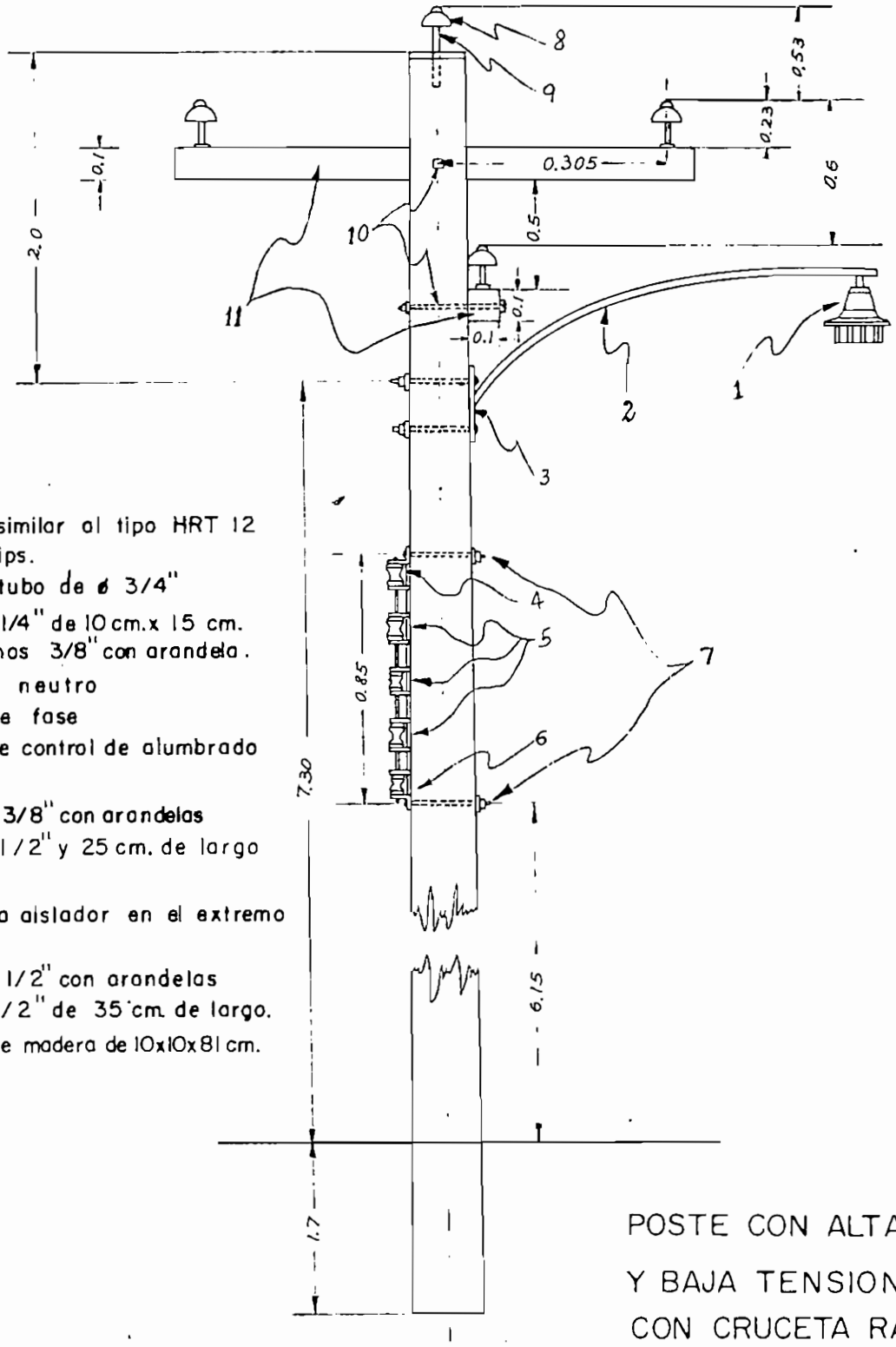
POSTE CON
BAJA TENSION



1 Luminaria similar al tipo HRT 12 de la Philips.
2 Brazo de tubo de ø 3/4"
3 Chapa de 1/4" de 10 cm. x 15 cm. con 2 pernos 3/8" con arandela.
4 Conductor neutro
5 " de fase
6 " de control de alumbrado público.
7 Perno de 3/8" con arandelas 1-1/2" x 1-1/2" y 25 cm. de largo
8 Aisladores
9 Perno para aislador en el extremo del poste.
10 Perno de 1/2" con arandelas 1-1/2" x 1-1/2" de 35 cm. de largo.
11 Cruceta de madera de 10 x 10 x 81 cm.

POSTE CON ALTA Y BAJA TENSION SIN CRUCETA RAMAL

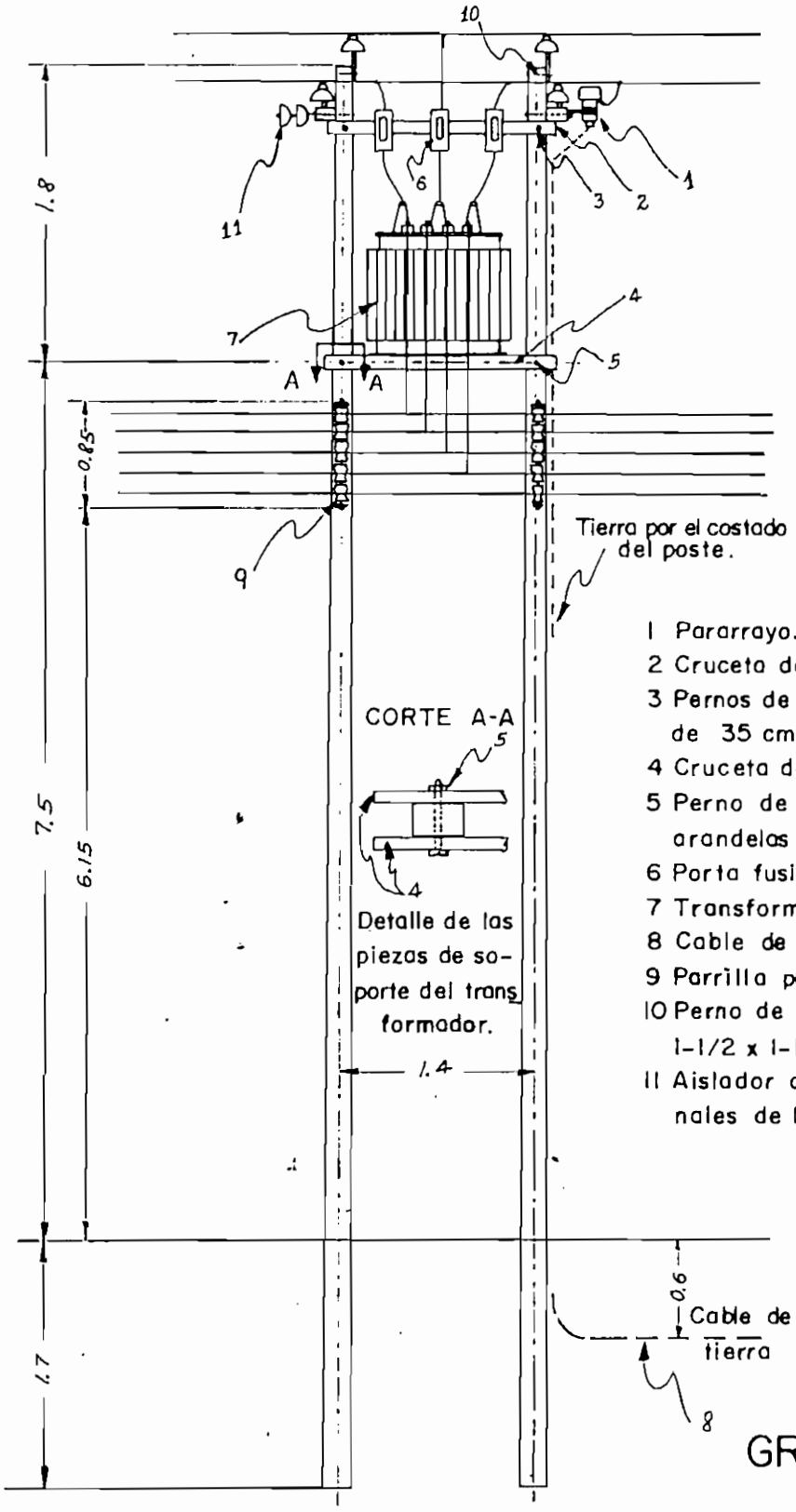
GRAFICO Nº 3-27



1 Luminaria similar al tipo HRT 12 de la Philips.
2 Brazo de tubo de ø 3/4"
3 Chapa de 1/4" de 10 cm.x 15 cm. con 2 pernos 3/8" con arandela.
4 Conductor neutro
5 " de fase
6 " de control de alumbrado público.
7 Perno de 3/8" con arandelas 1-1/2"x 1-1/2" y 25 cm. de largo
8 Aisladores
9 Perno para aislador en el extremo del poste.
10 Perno de 1/2" con arandelas 1-1/2"x 1-1/2" de 35 cm. de largo.
11 Cruceta de madera de 10x10x81 cm.

POSTE CON ALTA Y BAJA TENSION CON CRUCETA RAMAL

GRAFICO Nº 3-28



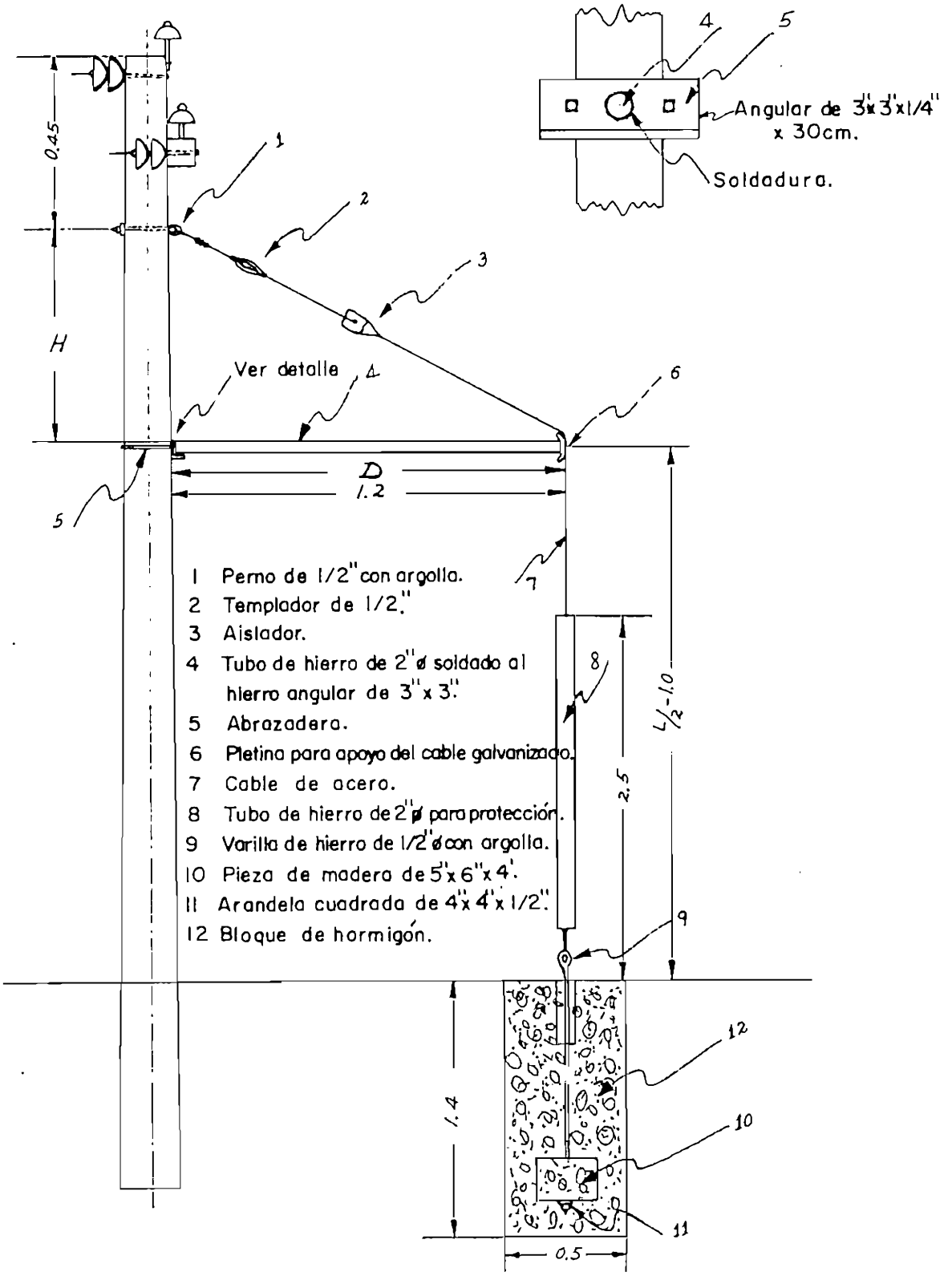
1 Pararrayo.
2 Cruceta de madera de 10x10x 200 cm.
3 Pernos de 1/2" con arandelas 1-1/2"x1-1/2" de 35 cm. de largo.
4 Cruceta de madera de 18 x12 x 200cm.
5 Perno de 5/8" y 50 cm. de longitud con arandelas de 2"x 2".
6 Porta fusibles de alta tensión.
7 Transformador.
8 Cable de 35 mm² para puesta a tierra.
9 Parrilla porta aisladores.
10 Perno de 1/2" y 25 cm. con arandelas 1-1/2 x 1-1/2".
11 Aislador de campana para los terminales de línea.

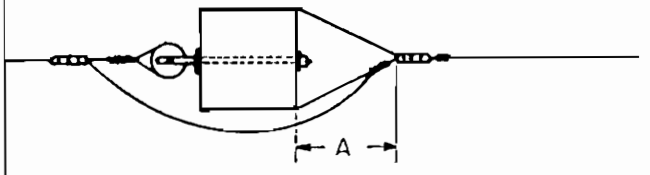
TORRE DE TRANSFORMADOR

GRAFICO Nº 3-29

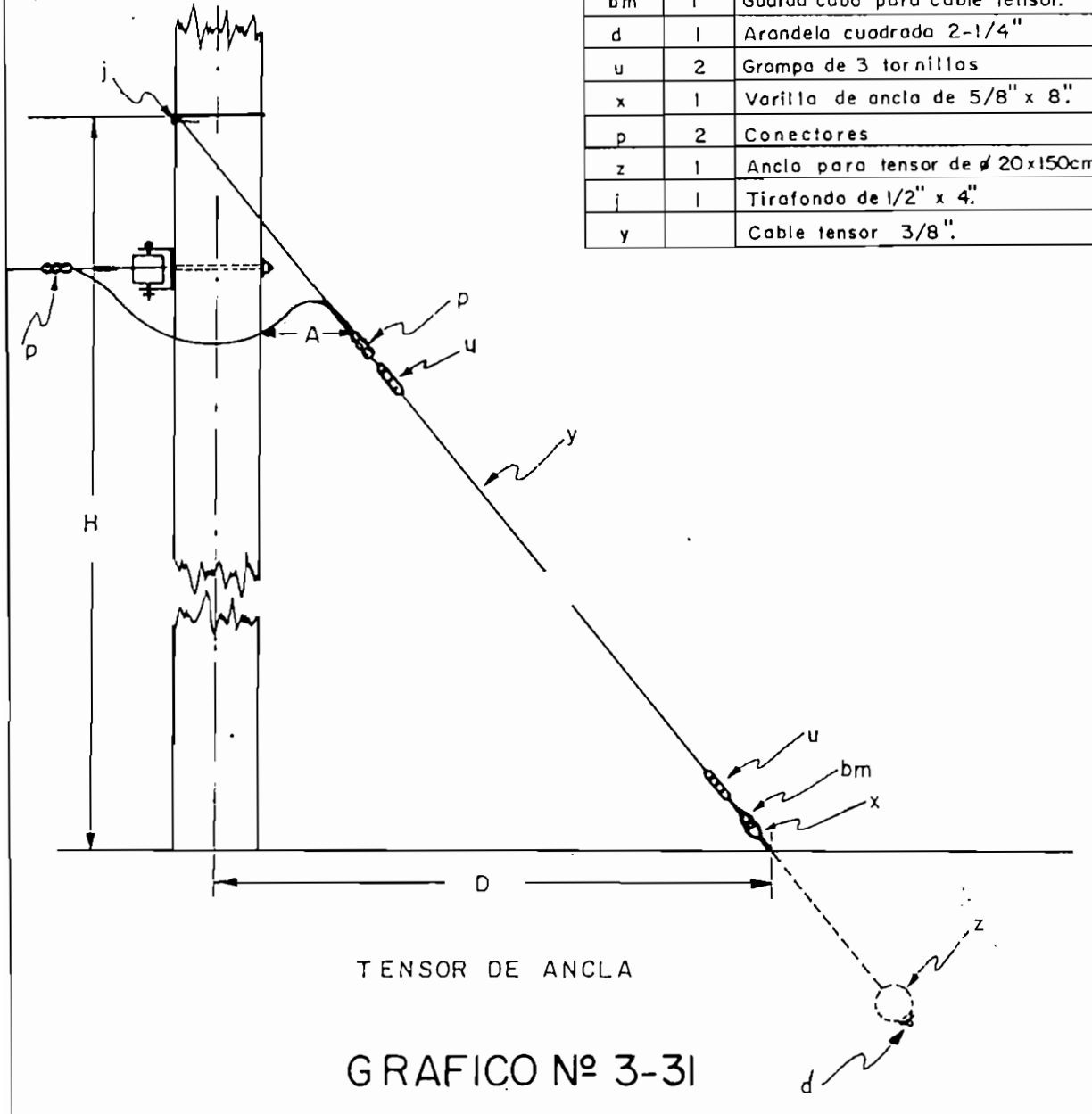
GRAFICO Nº 3-30

TENSOR VERTICAL





Lista de Materiales		
ITEM	CANT.	DESCRIPCION
bm	1	Guarda cabo para cable tensor.
d	1	Arandela cuadrada 2-1/4"
u	2	Grampa de 3 tornillos
x	1	Varilla de ancla de 5/8" x 8".
p	2	Conectores
z	1	Ancla para tensor de ø 20x150cm.
j	1	Tirafondo de 1/2" x 4".
y		Cable tensor 3/8".

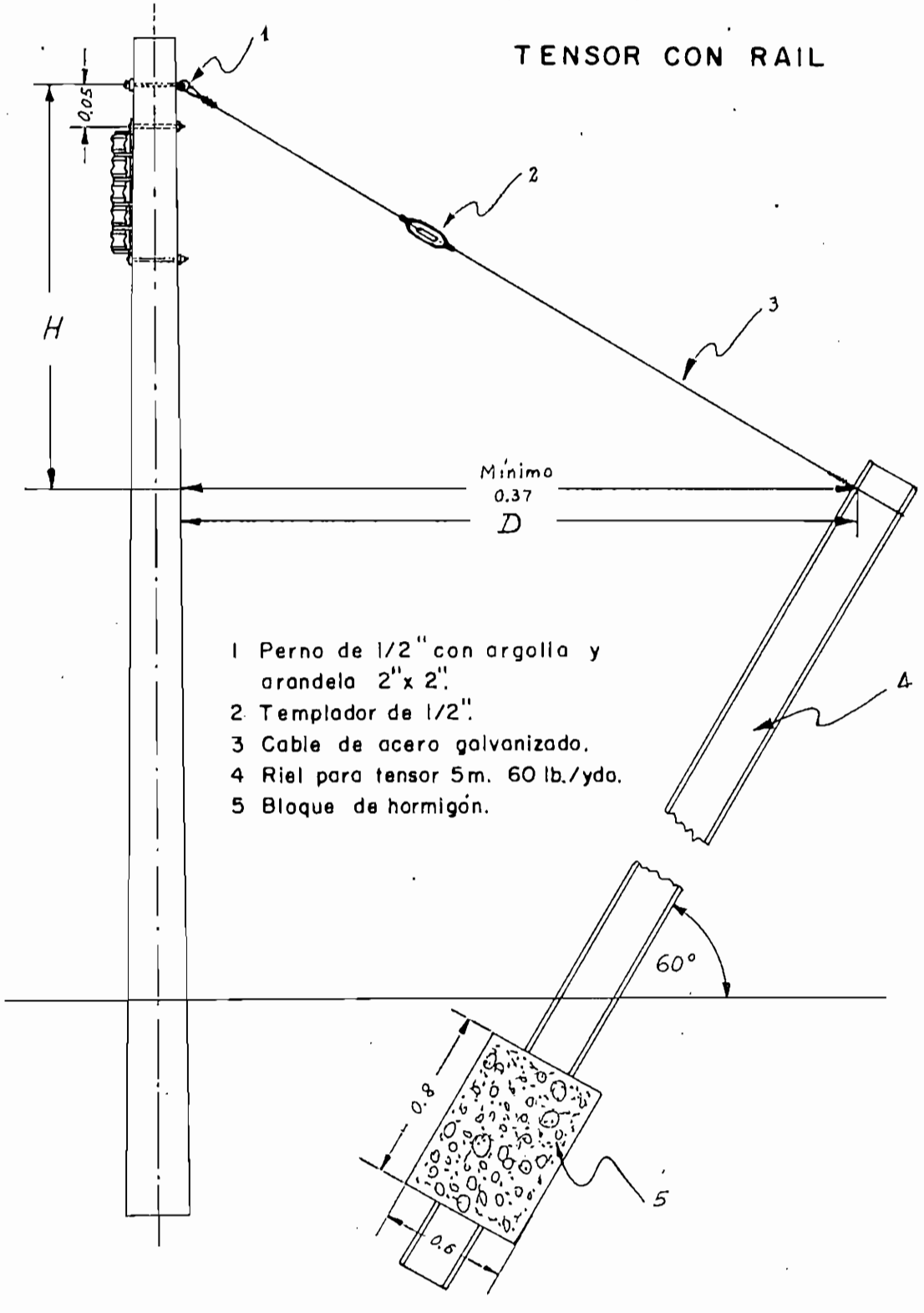


TENSOR DE ANCLA

GRAFICO Nº 3-31

GRAFICO Nº 3-32

TENSOR CON RAIL



1 Perno de 1/2" con argolla y arandela 2"x 2".
2 Templador de 1/2".
3 Cable de acero galvanizado.
4 Riel para tensor 5m. 60 lb./ydo.
5 Bloque de hormigón.

No.3-31 y No.3-32, los cuales son utilizados actualmente por la Empresa Eléctrica de Quito S/A/

Atendiendo a los detalles de construcción mencionados anteriormente, a la porción de los postes que debe estar enterrada, y a las separaciones mínimas entre los conductores y el suelo, se ha determinado que los postes de la Ciudad de Santa Rosa que lleven línea de alta tensión serán de 11 metros de longitud, en tanto que los demas tendrán una longitud de 9 metros.

3-31. CALCULO MECANICO DE LOS APOYOS.

En la Ciudad de Santa Rosa los apoyos de la red de distribución de energía eléctrica serán los postes de madera empalmados. La parte inferior será de Guayacan y la superior de Sota, con una sección de 20 Cm^2 en toda su longitud, como se justificó en la introducción al tercer capítulo de esta obra.

El grado de humedad que contiene un poste de madera hace variar el esfuerzo de rotura de este cuando se quiere romper por flexión.

Debe apuntarse que los postes que se utilizarán en la Ciudad de Santa Rosa, no han sido sometidos a pruebas para determinar el esfuerzo de rotura que tienen cuando se someten a flexión. No obstante esto, se supondrá que el esfuerzo de rotura de los mismos es de 500 Kg/cm^2.

Los esfuerzos que un poste debe resistir no deben producirle deformaciones permanentes, por lo que no debe excederse del límite de elasticidad del mismo.

Con las maderas que se emplearán puede adoptarse un coeficiente de seguridad de 3.5, por lo que la carga de trabajo de los postes de la Ciudad de Santa Rosa será de 143 $Kg./cm^2$.

Debe mencionarse que las fuerzas causadas por la tensión de tendido se neutralizan en los postes de tangentes, mientras que enlos terminales de línea y postes de ángulo, esta fuerza es neutralizada por los tensores o anclas.

Por esta razón en este estudio no se tomarán en cuenta las fuerzas que ocurren en la dirección de los conductores, tomándose en cuenta solamente aquellas que tienen lugar en la dirección perpendicular a los mismos.

3-31-1. CALCULO DEL ESFUERZO A QUE SE SOMETE EL POSTE CUANDO SOBRE EL Y SUS ELEMENTOS SE EJERCE LA PRESION DE UN VIENTO DE 60 MILLAS POR HORA.

Según Buck, la presión que el viento ejerce sobre una superficie cilíndrica viene expresada por:

$$p = 0.0025(v)^2$$

En donde:

v= velocidad del viento en millas por h.

p= presión en libra/pie cuadrado.

En este estudio se ha supuesto que la mayor velocidad del viento en la Ciudad de Santa Rosa será de 60 millas por hora.

Sustituyendo valores en la fórmula de Buck se tiene:

$p = 0.0025\ (60)^2$

$p = 0.0025\ (3600)$

$p = 9$ libras/pie^2.

Como se mencionó anteriormente, los postes de la Ciudad de Santa Rosa tienen una superficie plana con una sección cuadrada de 20 centímetros de lado.

Admitiendo que la presión que se ejerce sobre una superficie cilíndrica está reducida por el factor 0.7, cuando se aplica a superficies planas, se deduce que la presión de 9 libras/pie^2, calculada sobre los conductores, equivale a $9/0.7 = 12.86$ libras/pie^2 si se aplica a una superficie plana.

Expresando las unidades de presión en Kg/m^2 se tiene:

Presión en las superficies cilíndricas = $p_1 = 44$ Kg/m^2

Presión en las superficies planas = $p_2 = 62.7$ Kg/m^2.

En el gráfico No.3-28 se muestra el diagrama de uno de los postes de la Ciudad de Santa Rosa, con líneas de alta y baja tensión y con cruceta ramal, los cuales estan distanciados con vanos de 40 metros unos de otros.

Supóngase que se quiere determinar el esfuerzo a que estará sometido cuando sobre él y sus elementos, se ejerza la presión de un viento de 60 millas por hora.

Supóngase que las líneas de alta tensión son de conductores de cobre desnudo de calibre #4 AWG y que en el "rack" se apoyan cuatro conductores de calibre #2AWG y uno de calibre #6AWG tambien de cobre desnudo.

Todo esto representa suponer al poste de mayor--

carga en la Ciudad, sometido a la peor condición supues ta de velocidad del vient.

En estas condiciones se tiene:

a)- La fuerza del viento sobre la superficie del poste será:

$F_p = S \times p_2$

Donde:

F_p = fuerza sobre el poste, en Kg.

S = sección de ataque del viento en el poste, en m^2.

p_2 = presión en las superficies planas, en $Kg./m^2$.

Sustituyendo valores.

$F_p = (9.30 \times 0.20) \times 62.7$

$F_p = 116.7$ Kg.

b)- La fuerza del viento sobre los conductores será:

$F_c = S \times p_1$

Donde:

F_c = fuerza sobre el conductor, en Kg.

S = sección de ataque del viento en el conductor, en m^2.

p_1 = presión en las superficies cilíndricas, en $Kg./m^2$.

Conductor de cobre desnudo de calibre #2 AWG de 7 hilos:

$F_c = (40 \times 0.00741) \times 44$

$F_c = 13.05$ Kg.

Conductor de cobre desnudo de calibre #4 AWG de 7 hilos.

$F_c = (40 \times 0.00645) \times 44$

$F_c = 11.35$ Kg.

Conductor de cobre desnudo de calibre #6 AWG de 1 hilo.

$F_c = (40 \times 0.00411) \times 44$

$F_c = 7.24$ Kg.

c)- La fuerza del viento sobre un aislador tipo pin con una sección de 255 cm^2 será:

$F_a = S \times p_1$

Donde:

F_a = fuerza sobre el aislador, en Kg.

S = sección de ataque del viento en el aislador, en m^2.

p_1 = presión en las superficies cilindricas, en Kg./m^2.

Sustituyendo valores:

$F_a = 0.0255 \times 44$

$F_a = 1.12$ Kg.

d)- La fuerza del viento sobre la cruceta ramal será:

$F_{cra} = S \times p_2$

Donde:

F_{cra} = fuerza sobre la cruceta ramal en Kg.

S = sección de ataque del viento sobre la cruceta, en m^2.

p_1= presión en las superficies planas, en Kg./m^2.

Sustituyendo valores:

F_{cra}= (0.61 x 0.10) x 62.7

F_{cra}= 3.83 Kg.

e)- La fuerza del viento sobre el costado de la cruceta principal será:

F_{cp}= (0.10 x 0.10) x 62.7

F_{cp}= 0.627 Kg.

Con el fin de hallar el momento flector que cada una de las fuerzas calculadas causa en la seeción de empotramiento del poste, se ha supuesto que tanto las fuerzas que ejerce el viento sobre los conductores, - aisladores y crucetas, se hayan aplicadas en un mismo punto, tal como se indica en el gráfico No.3-33.

De acuerdo al gráfico No.3-33, el momento flector tendrá un valor de:

M= (3 x 11.35 + 3 x 1.12 + 0.627) x 8.77 +
(3 x 1.12 + 3.83) x 8.17 +
(4 x 13.05 + 7.24) x 6.60 + (116.7) x 4.65

M = 1323 Kg-m.

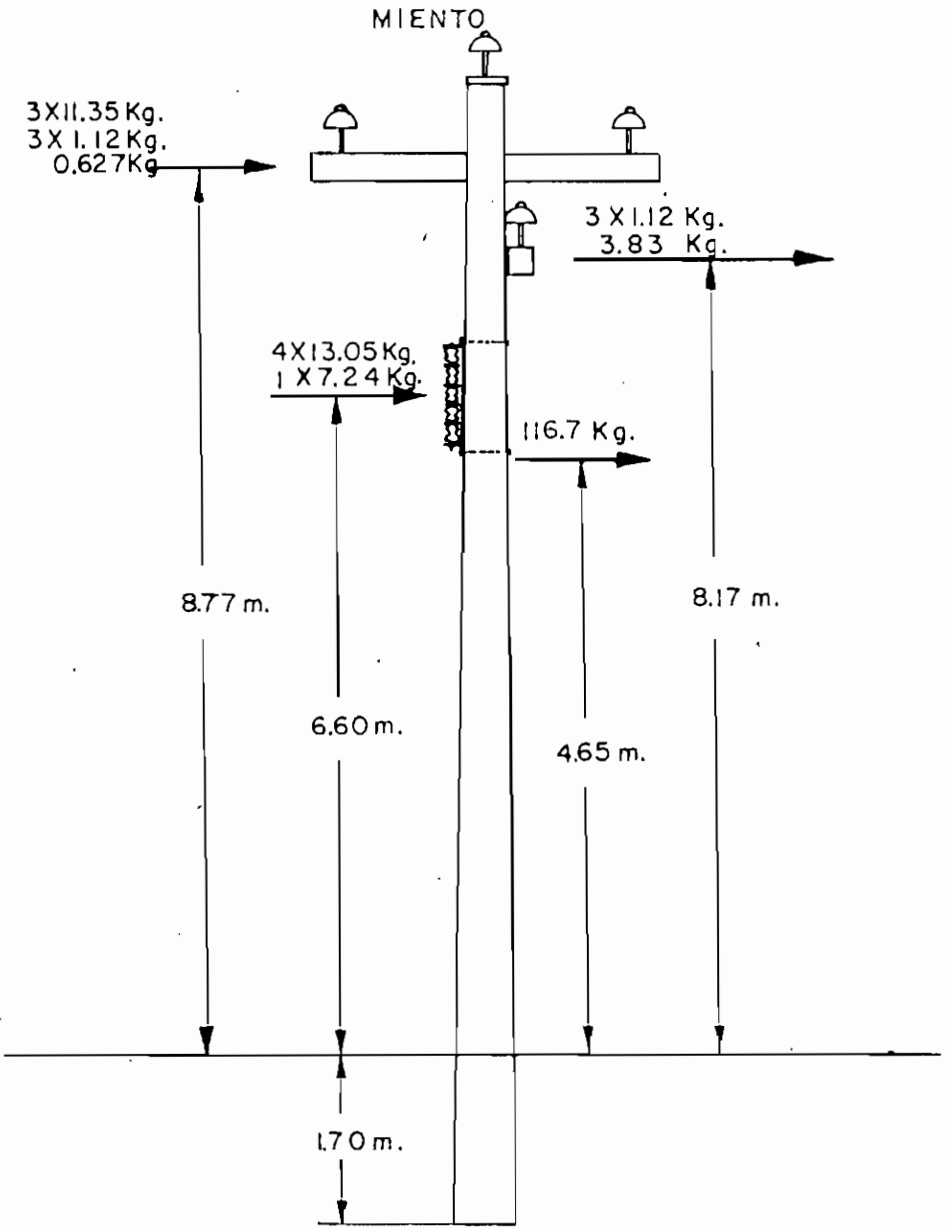
El esfuerzo de trabajo a flexión que corresponde a la sección considerada de empotramiento viene expre sado por la fórmula:

$$R = \frac{M \cdot x_a}{J_{AA}} = \frac{6\ M}{b^3}$$

En donde:

GRAFICO Nº 3-33

LOCALIZACION DE LAS FUERZAS QUE ACTUAN EN UN POSTE CON LINEAS DE ALTA Y BAJA TENSION Y CON CRUCETA RAMAL PARA EL CALCULO DEL MOMENTO FLECTOR EN LA SECCION DE EMPOTRAMIENTO



R = esfuerzo de trabajo a flexión, en Kg/mm^2.

M = momento flector, en Kg-m

b = lado de la sección cuadrada del poste, en cm.

Sustituyendo valores:

$$R = \frac{6 \times 1323}{8000} = 0.991 \ Kg/mm^2.$$

$$R = 99.1 \ Kg/cm^2.$$

Este esfuerzo de trabajo a flexión es inferior al máximo previsto de 143 Kg/mm^2.

3-31-2. CALCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL POSTE PRODUCIDA POR EL PESO DE LOS CONDUCTORES, AISLADORES Y CRUCETAS.

En el poste mostrado en el gráfico No.3-28 y en el cual se han calculado el esfuerzo de trabajo a que estará sometido cuando actua sobre él y sus elementos un viento de 60 millas por hora, se desea determinar ahora el esfuerzo de compresión a que estará sometido, de acuerdo al peso de los conductores que se ha supuesto soporta, crucetas y aisladores.

El peso considerado será:

Conductores:

#2 AWG = 4 x 40 x 0.305 = 48.75 Kg.

#4 AWG = 3 x 40 x 0.190 = 22.80 Kg.

#6 AWG = 1 x 40 x 0.118 = 4.73 Kg.

Crucetas: No. x m^3 x peso en Kg/m^3 = Peso total.

2 x 0.0081 x 640 = 10.04 Kg.

Aisladores:

6 x 3.15 Kg. = 21.00 Kg.

El peso total sobre el poste será:

Peso total= 107.32 Kg.

Supóngase que el poste pueda soportar el triple de este valor, y que para este esfuerzo se calculará la resistencia a la compresión.

La longitud libre del poste es de 930 centímetros y el lado de la sección cuadrada de empotramiento tiene 20 centímetros.

La relación entre ambos valores es de:

$$\frac{930}{20} = 46.5$$

Se supone que el esfuerzo vertical que comprime al poste actua en el extremo superior del mismo.

Si la relación de la longitud libre y el lado de la sección de empotramiento fuera menor de 15, la sección de mayor trabajo sería la de menor área, si el poste no tuviera una sección uniforme a lo largo de toda su longitud.

En los postes empleados en la Ciudad de Santa Rosa, la relación indicada para el poste de mayor carga que existirá en la misma, es superior a la cifra expuesta, por lo que debe efectuarse el cálculo de la resistencia a la compresión teniendo en cuenta la flexión lateral.

La fórmula general de la resistencia a la compresión expresa:

$$R_c = \frac{P}{S} \left\{ 1 + K \frac{l^2 S}{m_2 J_{AA}} \right\}$$

En donde:

P = peso que debe soportar el poste, en Kg.

S = sección sometida a compresión, en mm^2.

K = coeficiente que tiene un valor de:
Para el hierro y el acero = 0.011
Para la madera = 0.020

l = longitud de la pieza sometida a compresión, en m.

m_2= coeficiente que depende del modo en que se fijan los extremos de la pieza comprimida y que tiene un valor de:
Un extremo empotrado y el otro articulado=2
Ambos extremos empotrados= 4
Ambos extremos articulados= 1
Un extremo empotrado y el otro libre= 1/4

J_{AA}=Momento de inercia mínimo de la sección de la pieza, en cm^4.

R_c= coeficiente de trabajo por compresión, en $Kg./mm^2$.

Determinando los valores para sustituir en la fórmula se tiene:

P = 3 x 107.32 Kg. = 322 Kg.

S = 200 x 200 = 40000 mm^2.

K = 0.020

l = 9.30 m.

m_2= 0.25

$$J_{AA}= \frac{b^4}{12} = \frac{20^4}{12} = 13333 \text{ cm}^4$$

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$R_c= \frac{322}{40000} \left\{ 1 + 0.020 \frac{(9.30)^2 40000}{0.25 \times 13333} \right\}$$

$$R_c= 0.00805 \ (21.8)$$

$R_c = 0.1755\ Kg/mm^2 = 17.55\ Kg/cm^2$.

El esfuerzo a la compresión es de 17.55 Kg/cm^2.

Este esfuerzo de compresión debe sumarse con el esfuerzo de trabajo a flexión, hayado anteriormente, dando un total de:

$99.1 + 17.55 = 116.65\ Kg./cm^2$.

Este esfuerzo de trabajo total es inferior al máximo previsto de 143 Kg/cm^2 para no sobrepasar el límite de elasticidad del poste.

De aquí se deduce que los postes que llevan mas de 13 años de instalados en la Ciudad de Santa Rosa, han estado sometidos a esfuerzos de trabajo menores que los calculados en este estudio, ya que no llevan cargas como las que aquí se han supuesto.

De la observación de este resultado, obtenido en el poste de mayor longitud a utilizar en la Ciudad de Santa Rosa, y con la carga mayor que puede llevar, se comprende que cualquier otro poste con menor carga o con menor longitud, podrá soportar los esfuerzos combinados de la acción del viento y del peso propio del poste y sus elementos.

Es conveniente señalar ademas, que los transformadores de distribución iran colocados en una torre tal como se indica en el gráfico No. 3-29, con lo cual, los esfuerzos que se producirán en los apoyos por la adición de este elemento y sus accesorios, estarán repartidos entre los dos postes que forman la torre.

3-32. CALCULO DE LA TENSION MECANICA DE LOS TENSORES.

Para determinar el esfuerzo de los tensores, es necesario determinar primeramente la máxima tensión a que estarán sometidos los conductores en el poste.

La máxima tensión a que estarán sometidos los conductores en la Ciudad de Santa Rosa, en las peores condiciones supuestas, es aquella en que los esfuerzos de rotura de los mismos, se tomaron para el esfuerzo de trabajo con un factor de seguridad de 5.

En el caso del poste del gráfico No.3-28 ya mencionado, se determinará la tensión resultante debida a la tensión de cada uno de los conductores en la dirección longitudinal de las líneas secundarias, suponiendo que este poste fuera el terminal de línea en esa dirección.

En estas condiciones se tiene:

Conductor #2 AWG --- 4 x 610 libras= 2440 libras.
Conductor #4 AWG --- 3 x 376 libras= 1130 libras.
Conductor #6 AWG --- 1 x 256 libras= 256 libras.
Total --------= 3826 libras.

Para determinar la tensión que debe dársele al tensor, debe atenderse a los valores de H y D que se muestran en los gráficos No.3-30; No.3-31 y No.3-32, de acuerdo al tipo de anclaje que sea necesario utilizar.

Si se selecciona los valores H=1 y D=1, la tabla No.12-2 del "Lineman's Handbook", da un factor de 1.41 que debe multiplicarse por la tensión causada por todos los conductores en una dirección, dando como resultado la tensión que debe dársele al tensor para neutralizar

la tensión de dichos conductores.

En el caso estudiado se tiene:

3826 libras x 1.41 = 5400 libras.

Este valor de 5400 libras es la tensión que debe dársele al tensor de acuerdo a los valores escogidos para las distancias D y H.

En los postes de ángulo, el tensor debe neutralizar la tensión resultante causada por la tensión de los conductores segun sus direcciones.

Una vez determinada la magnitud de esta tensión resultante de los conductores, y la dirección en que actua, se procede a calcular la tensión que debe dársele al tensor, de acuerdo a los valores H y D, ya mencionados, para situarlo en la misma dirección de la tensión resultante que se desea neutralizar.

LISTA DE MATERIALES Y COSTO TOTAL ESTIMADO

Cantidad.	Detalle.
643	Poste de madera empalmado de Guayacán y Sota, de 9 m. de longitud, con una sección - cuadrada de 20 cm de lado en toda su longitud.
317	Poste de madera empalmado de Guayacán y Sota, de 11 m. de longirud, con una sección - cuadrada de 20 cm de lado en toda su longitud.
1110	"Racks" con 5 aisladores para la distribución secundaria,- con separación de 8 pulgadas
329	Cruceta de madera dura de 10x10x81 cm, capaz de resis tir la acción de la intempe rie.
36	Cruceta de madera dura de 10x10x200 cm, capaz de resis tir la acción de la intempe rie.
72	Cruceta de madera dura de 18x12x200 cm, capaz de resis tir la acción de la intempe rie.
3950	Pernos de acero galvanizado de 3/8" y 25 cm de largo con arandelas de 1 1/2"x 1 1/2".

Cantidad.	Detalle.
450	Pernos de acero galvanizado de 3/8" y 35 cm de largo con arandelas de 1 1/2"x1 1/2".
80	Pernos de acero galvanizado de 5/8" y 50 cm de largo con arandelas de 2" x2".
550	Aisladores tipo pin de 7.5KV con perno recto para montaje en cruceta.
280	Aisladores tipo pin de 7.5KV con perno recto y accesorios para montaje en el extremo superior del poste.
270	Aisladores tipo campana de 7.5KV con accesorios para montaje en cruceta.
120	Pararrayos de 9KV para operar hasta 6000 pies sobre el nivel del mar. Similar al tipo L.M. No.Cat. AV1B9.
6	Pararrayos de 9KV para operar hasta 6000 pies sobre el nivel del mar, Similar al tipo L.M. No.Cat. AV30B9.
853	Luminarias similares al tipo HRT 12 de la Philips con brazo soporte de tubería de acero galvanizada, similar al tipo que aparece en el gráfico No.3-5.

Cantidad.	Detalle.
507	Lámpara de vapor de mercurio corregido HPL de 80 W con "ballast" y un condensador de 8 microfaradios.
346	Lámpara de vapor de mercurio corregido HPL de 125W con "ballast" y un condensador de 10 microfaradios.
22000	Metros de conductor de cobre desnudo "hard drawn" de 97.3% de conductividad, calibre #2 AWG de 7 hilos.
116000	Metros de conductor de cobre desnudo "hard drawn" de 97.3% de conductividad, calibre #4 AWG de 7 hilos.
55000	Metros de conductor de cobre desnudo "hard drawn" de 97.3% de conductividad, calibre #6 AWG de 1 hilo.
4	Transformador de distribución Potencia= 12 KVA Relación de transformación Delta 6600V/ Ye 208V Corriente nominal= 1.05/33.3a. Impedancia =4% Enfriamiento= OA Ciclos= 60 Fases= 3 Ø Uso = Intemperie. Tipo= Convencional. Temperatura= 55 grados sobre 30 grados C. de temperatura media.

Cantidad.	Detalle.
	Dos derivaciones de +2.5% del voltaje primario y dos de -2.5% del voltaje primario. Indicador de aceite y llave para toma de prueba. Perno y tuerca para puesta a tierra, y accesorios para la elevación y montaje sobre el poste.
27	Transformador de distribución Potencia= 24 KVA Relación de transformación Delta 6600V / Ye 208V Corriente nominal= 2.10/66.6a Impedancia= 4% Enfriamiento= OA Ciclos = 60 Fases= 3 Ø Uso= Intemperie. Tipo= Convencional. Temperatura= 55 grados sobre 30 grados C. de temperatura media. Dos derivaciones de +2.5% del voltaje primario y dos de -2.5% del voltaje primario. Indicador de aceite y llave para toma de prueba. Perno y tuerca para puesta a tierra, y accesorios para la elevación y montaje sobre el poste.
5	Transformador de distribución Potencia = 36 KVA Relación de transformación Delta 6600V / Ye 208V Corriente nominal 3.15/99.9a Impedancia = 4%

Cantidad.	Detalle.
	Enfriamiento = OA Ciclos= 60 Fases= 3 Ø Uso= Intemperie. Tipo= Convencional. Temperatura = 55 grados sobre 30 grados C. de temperatura media. Dos derivaciones de +2.5% del voltaje primario y dos de -2.5% del voltaje primario. Indicador de aceite y llave de toma de prueba. Perno y tuerca para puesta a tierra, y accesorios para la elevación y montaje sobre el poste.
1	Transformador T_1. Potencia= 450 KVA Relación de transformación Delta 230v / Ye 6600V Corriente nominal 1130 a / 39.5 a Impedancia= 5% Enfriamiento =OA Ciclos=60 Fases= 3 Ø Uso= Intemperie. Tipo= Convencional. Temperatura= 55 grados sobre 30 grados C. de temperatura media. Dos derivaciones de +2.5% del voltaje primario y dos de -2.5% del voltaje primario. Indicador de aceite y llave para toma de prueba. Perno y tuerca para puesta a tierra, y accesorios para la instalación en base de hormigón.

Cantidad.	Detalle.
1	Transformador T_2. Potencia =300KVA Relación de transformación Delta 230V / Ye 6600V Corriente nominal 754 a / 26.3 a Resistencia equivalente= Resistencia equivalente de T_1. Reactancia de Dispersión= Reactancia de Dispersión de T_1. Enfriamiento= OA Ciclos = 60 Fases= 3 Ø Uso= Intemperie. Tipo= Convencional. Temperatura= 55 grados sobre 30 grados C.de temperatura media. Dos derivaciones de +2.5% del voltaje primario y dos de -2.5% del voltaje primario Indicador de aceite y llave para toma de prueba. Perno y tuerca para puesta a tierra, y accesorios para la instalación en base de hormigón.
1	Interruptor tripolar de Aceite para una corriente nominal de 40 amperios. Similar al tipo L.M. KVHA.
2	Reconectador para una corriente nominal de 77 amperios. Similar al tipo. L.M. 6H con No. Cat. KHA670C22 con capacidad máxima de interrupción de 2500 amperios y una corriente mínima de interrupción de 140 amp. capaz de soportar 6.6 Kv.

Cantidad.	Detalle.
114	Portafusible en caja de porcelana capaz de soportar un voltaje de 6.6 KV y una corriente nominal de 50 amperios, con corriente máxima de interrupción asimetrica de 2000 amperios. Similar al tipo L/M. FE1B3.
12	Tira fusible similar al tipo L.M. No. Cat. FL3H3.
81	Tira fusible similar al tipo L.M. No. Cat. FL3H5
15	Tira fusible similar al tipo L.M. No. Cat. FL3H8
3	Portafusible en caja de porcelana capaz de soportar un voltaje de 6.6 KV y una corriente nominal de 100 amperios, con corriente máxima de interrupción asimétrica de 4000 amperios. Similar al tipo L.M. FEA1D3
3	Tira fusible del tipo similar al L.M. No Cat. FL3T15
3	Tira fusible similar al tipo L.M. No. Cat. FL3T20.
3	Tira fusible similar al tipo L.M. No. Cat. FL3N40.
3500	Metros de cable de acero galvanizado de Ø 3/8" y 7 hilos, para tensores.

Cantida.	Detalle.
1000	Metros de cable de cobre de calibre #2 AWG para las puesta a tierra.
6	Relojes para el control de alumbrado público de 15 amperios de capacidad y 220 voltios para instalación a la intemperie.
28	Reles de control de alumbrado público de 15 amperios de capacidad y 220 voltios para instalación a la intemperie.
500	Conectores para conductor #4 AWG, tipo universal.
150	Conectores para conductor #2 AWG, tipo universal.
300	Conectores para conductor #6 AWG, tipo universal.

EL COSTO APROXIMADO DE ESTOS MATERIALES SE ESTIMA EN .--- S/ 2'177,435.50

BIBLIOGRAFIA

Aloy Flo. "Manual de Luminotecnia". Editorial Labor. Primera Edición, 1943.

Boast Warren. "Ilumination Engenae ring". Mc Graw Hill. Segunda Edición,1953.

Electricite de France."Code de Bonne Practique d8Eclairage Public et de Signalization Lu mineuse". Abril 1958.

Electric Institute."Statistical Year Book of the Electric Utility Industry for 1961". No 29. Publica ción No.62-24. Septiembre 1962.

General Electric. "Distribution DAte Book". 1957.

INECEL "Censo Nacional de Electrificación de 1962". Quito Ecuador 1963.

Junta Nacional de Planificación y Coordinación Económica."Plan Nacio nal de Electrificación de 1956". Quito Ecuador 1957.

Knowlton Archer E. "Manual Standard del Ingeniero Electricista".Traducción al español de la 8va. Edición Norteamericana, dirigida por Manuel

Gabarró Freixas. Editorial Labor, 1962.

Kurtz Edwin B. "The Lineman's Handbook". Mc Graw Hill. Tercera Edición,1955.

Ministerio de Economia.Dirección General de Estadística y Censos. "Primer Censo Nacional de 1950", Quito Ecuador 1951.

Ministerio de Economia.Dirección General de Estadística y Censos. "Censo Nacional de 1962". Quito Ecuador 1963.

Ministerio de Fomento. Dirección General de Agricultura."Producción Agrícola del Ecuador en el año de 1962. Quito Ecuador 1963.

Ministerio de Obras Públicas. "Boletín de Obras Públicas No. 63-65 años de 1947-1948.

Miquel y Merino. "Algebra Superior" Editorial Cultural. Primera Edición 1953.

Municipio de Santa Rosa. "Libro Matriz del Catastro de Luz Fija del Municipio de la Ciudad de Santa Rosa".

Oficina Permanente de Estadísticas Agropecuarias. "Censo Agropecuario Nacional de 1954" Quito Ecuador, 1956.

Oficina Permanente de Estadísticas Agropecuarias."Resultados de la

Investigación General Agropecuaria
de 1957". Quito Ecuador, 1958.

Pender- Del Mar. "Manual del Inge
niero Electricista". Editorial
Hispano Americana S.A. 1953.

Philips. "Fittings for outdoor
Lighting". 1963.

Philip Kemp. "Electrical Engineering
Theory and Practice". The New Era
Publishing Co. LTD.

Schilling Eugene W."Theory and Appli
cation of Electrical Engineering"
International Textbook Co.

Servicio Cooperativo Interamericano
de Salud Pública. "Encuesta Sanita
ria Nacional de 1961". Quito Ecua
dor , 1962.

Skrotzki. "Electric Transmission
and Distribution". Mc.Graw Hill
Primera Edición. 1954.

Starr A.E. "Applied Electricity"
Sir Isaac Pitman and Sons,LTD.
Primera Edición 1957.

Starr A.T. "Generation, Transmission
and Utilization of Electrical Power"
Sir Isaac Pitman and Sons, LTD.
Cuarta Edición

Tarboux J.G. "Introduction to Elec-
tric Power Systems" The International
Textbook Co. Edición Revisada 1949.

Westinghouse Electric Corporation
"Lighting Handbook" 1959.

Westinghouse Electric Corporation "Electric Transmission and Distribution Reference Book". 1950.

Zoppetti Judeaudencio. "Redes Electricas de Distribución". Editorial Gustavi. 1948.