

Proyecto: Transmisión y Distribución de Cañar

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO EN LA
ESPECIALIZACION DE ELECTROTECNIA DE LA ESCUELA POLITECNICA
NACIONAL**

JAIME TOLEDO B.

Quito, Septiembre de 1.963

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Certifico que este trabajo fue realizado
por el Sr. Jaime Toledo

J. Toledo

quito, Septiembre de 1.963

Indice General

	Página
CAPITULO I	
Generalidades	1
Estado Actual	3
Estadística de Consumo	4
Posibilidades de Incremento	5
CAPITULO II	
Actualización del Plano y de la Red	6
Censo Eléctrico de la Ciudad	7
Determinación de la Potencia Demandada	8
Potencia de Cálculo	10
CAPITULO III	
Línea de Transmisión.- Localización	12
Determinación de la Tensión y del Conductor	12
Influencia del Efecto Corona	19
Línea de Protección	20
Aisladores y Pararrayos	21
CAPITULO IV	
Red de Distribución.- Antecedentes	22
Selección de la Corriente	23
Red de Baja Tensión	23
Análisis Comparativo de los Sistemas Mono- fásicos	23
Cálculo de la sección para el conductor en Corriente Monofásica bifilar	24

Cálculo de la sección del conductor empleado en corriente monofásica trifilar	24
Análisis Comparativo de los Sistemas Trifásicos	25
Cálculo de la sección para un circuito trifásico trifilar	26
Cálculo de la sección para el sistema trifásico tetrafilar	26
Tipo de Red	27
Sistemas de Distribución	29
Protección de la Red	31
Elección de la clase de conductor	32
Localización de las cargas de cálculo	33
Selección del calibre del conductor para la Red de Baja Tensión trifásica Tetrafilar	
Banquedada	34
Selección del calibre para Distribución Monofásica Radial Trifilar	35
Diseño de la Red para Alumbrado Público	38
Cálculo de la Iluminación de calles	39
Comprobación de la Intensidad de Iluminación	39
Cálculo de la Iluminación del Parque	40
Cálculo del conductor para control de Alumbrado Público	41
Determinación de la Potencia de los Transformadores	42

	Página
Diseño de la Red de Distribución Primaria	42
Selección del calibre del Conductor para la Red Primaria	43
Protección de los Transformadores	45
Cálculo de la corriente nominal para el diseño de los fusibles de Alta Tensión	45
Cálculo de la corriente nominal para la selección de los fusibles en el lado de Baja Tensión	45

CAPITULO V

Diseño Mecánico.- Cálculo mecánico de los conductores	47
Cálculo de la Flecha	48
Cálculo de los Postes	50
Comprobación de los Postes de madera e la Flexión	50
Cálculo de la presión del viento sobre los Postes de madera	51
Comprobación de los Postes de madera e la compresión	54
Comprobación de los Postes de hormigón	56
Resistencia e la flexión	56
Cálculo del Momento Flector	58

CAPITULO VI

Lista de materiales principales para la línea de Transmisión del Ceycoeter al Cañar	59
Especificaciones de los materiales de la Red de Distribución de la Ciudad del Cañar.- Red Primaria de Distribución	61
Estaciones de Transformación	62

	Página
Red Secundaria	64
Alumbrado Público	65
Alumbrado del Parque	65
Medidores y Accesorios	66
Herramientas	66

LISTA DE CUADROS DEL PROYECTO

ELECTRIFICACION DEL CANAR

Nº del Cuadro	Descripción
1	Resumen del censo Eléctrico de la Población.
2	Resumen del cálculo de la Potencia demanda actual.
3	Resumen de la comparación de las Tensiones y de los conductores para la línea de Transmisión.
4	Resumen del cálculo de las secciones de los conductores de la Red Banqueada.
5	Capacidad de los conductores a utilizarse en las Redes Radiales.
6	Selección de los conductores de la Red Radial
7	Niveles de Iluminación para escoger el tipo de lámpara para el alumbrado público.
8	Cálculo de la capacidad de conducción de carga de los conductores de posible utilización.
9	Selección del conductor para el hilo piloto del alumbrado público.
10	Resumen del cálculo de las caídas de tensión para los conductores a utilizarse en la Red Primaria de Distribución.
11	Resumen de los cálculos para el tendido de las líneas en transmisión y distribución.-Determinación de la flecha.

CAPITULO I GENERALIDADES

La ciudad de Cañar se encuentra en el Sur del Ecuador en la Provincia del mismo nombre, situada entre las Provincias de Chimborazo al Norte, la del Azuay al Sur, la de Guayas al Occidente y la de Santiago Morona al Oriente.

De acuerdo al Plano Topográfico elaborado por el Instituto Geográfico Militar su posición geográfica es:
a 78° 51' longitud oeste y 2° 33' latitud sur.

Según el Censo de Población y Vivienda realizado en 1.962 el número de habitantes alcanzó a 4.800, que comparado por la cifra estimativa de 1.956 utilizada por la Junta de Planificación de 4.500 nos demuestra un crecimiento demográfico muy pequeño.

Si la cifra de crecimiento es de tal magnitud, sin embargo, se debe anotar que sus pobladores poseen un afán de progreso y de recuperación económica.

Esta recuperación sólo será posible con el desarrollo especialmente de tipo Industrial, que se encuentra iniciado con el establecimiento de las Industrias cercanas como son: Fábrica de Lientas en Cuenca y la Fábrica de cemento en Guapán.

Estas son las razones por las cuales se pensó que necesita una renovación de su sistema de servicio eléctrico dentro de la ciudad para dotar de forma adecuada la energía eléctrica, primordial aspecto en la vida diaria.

De la misma manera como se consideró la necesidad de la renovación del sistema de la red de distribución eléctrica en la ciudad, se debe pensar que la línea que va a proporcionar la Potencia necesaria debe ser renovada.

Para obtener el cambio de la situación actual se ha elaborado el presente proyecto de electrificación de la Población mencionada.

Estado actual.-

La Potencia que se conoce de acuerdo a las indicaciones de la Placa existente en los dos Generadores es de: 60 KVA el uno y de 75 KVA el otro lo que daría 135 KVA equivalente a 108 Kw. utilizando un factor de Potencia de 0,8.

Esta Potencia de valor teórico está sujeta a las pérdidas originadas en la Transmisión y posteriormente en la red de distribución.

Esta deficiencia es de fácil comprobación pues se anota que la caída de tensión desde el transformador de distribución hasta un consumidor llega a valores cercanos al 70 %.

No existen contadores eléctricos de la energía consumida por los abonados lo que permite que aumenten las pérdidas utilizando el contrabando.

En el momento se puede contabilizar una Potencia instalada de 18,4 waticos/habitante que corresponde el cociente de 60 Kw. para 4.800 habitantes.

Entre otras causas del mal servicio se pueden anotar las siguientes: mala repartición de las cargas comprobada en el Transformador existente en las calles 24 de Mayo y Bolívar que no alcanza a un valor cercano a la máxima, situación muy común en los otros tres transformadores existentes; se nota una elección arbitraria de los cables de los conductores, con su correspondiente mala instalación; las acometidas se hallan realizadas sin protección y en la mayoría de los casos con alambres desnudos.

La energía eléctrica es utilizada únicamente para el alumbrado, debido a las malas condiciones anotadas no se puede pensar en una utilización industrial, peor aún

se puede pensar en que se podrá satisfacer las necesidades posteriores.

De acuerdo a datos obtenidas en el Municipio de Cañar se ha podido determinar en forma aproximada la producción anual de energía eléctrica como de 220.000 Kwh.

El Municipio tenía registrados 433 consumidores que demandaban una potencia de 21,7 Kw, en realidad estime que pasaban de los 600 y utilizaban por lo menos 4 veces lo declarado.

Estadística de Consumo.-

El precio de venta es de acuerdo a la potencia instalada en la siguiente forma: \$ 0,05 por cada vatio y 5 sucres por cada receptor.

El alumbrado público y las dependencias municipales se puede decir que consumen alrededor de 80.000 Kwh. estimados de acuerdo al número de lámparas existentes y dando a ellas una potencia media funcionando un promedio de 11 horas diarias.

La cantidad restante de la energía anual producida servirá para servicio particular, si de acuerdo a las condiciones de servicio similares valoramos en s/ 0,25 el Kwh. debería producir una cantidad cercana a 35.000 sucres anuales, pero el Municipio he indicado que por ese concepto alcanza una recaudación de 17.000 sucres deduciéndose de esta manera la pérdida anual.

A esta cantidad de pérdidas debe añadirse los conceptos por depreciación, contabilidad y de recaudación.

Posibilidades de Incremento.-

Expuestos los antecedentes es obvio deducir que se debe emprender el trabajo necesarios, desde luego previos los proyectos necesarios para una renovación que tendría que ser del tipo hidroeléctricas.

Debido a que las posibilidades hidráulicas son aceptables, cree que mejorando las condiciones del canal de aducción actual se podría obtener una potencia en la turbina respectiva que accione al Generador y de esta manera alcanzar una Potencia eléctrica que satisfaga las necesidades posteriores.

A base de esta situación de mejoramiento en el río Coyostor, se puede pensar en la utilización consiguiente para el Servicio de Cañar.

Al tiempo que se elabora este proyecto, desearía mencionar una insinuación al respectivo organismo de control sea seccional o nacional, en el sentido de que se exija fiel cumplimiento de las disposiciones emanadas con miras al buen servicio.

CAPITULO II

Actualización del Plano y de la Red.-

Mediante un recorrido general de la ciudad se fué anotando la verdadera longitud de las cuadras, ancho de las calles y las características más notables, procurando al mismo tiempo una clasificación de los edificios.

De la misma manera se tuvo en cuenta la revisión del actual sistema de Distribución, es decir: la Red de Alta Tensión, Estaciones de Transformación anotando su Potencia respectiva, la Red de Baja Tensión el sistema de alumbrado y las acometidas existentes, todo ello con el objeto de determinar el material existente que podría ser utilizado en el nuevo proyecto.

La Red de Alta Tensión es inservible en lo posterior por el deterioro sufrido por los conductores.

Existen cuatro Transformadores cuyas características son las siguientes:

<u>Ubicación</u>	<u>Potencia</u>	<u>K₁/E₂</u>	<u>fases</u>
Plaza principal	20 KVA	2.500/220	3
Calle 3 de Nvbre.	60 "	"	"
Abdón Calderón y 9 de Octubre	25 "	"	"
24 de Mayo y Bolívar	25 "	"	"

Los conductores que dan el servicio a la ciudad en la Red de Baja Tensión, los que sirven para el alumbrado público y los de las acometidas no podrían tomarse en cuenta por el completo deterioro.

Censo Eléctrico de la ciudad.-

Para el diseño de la Red de Distribución es de fundamental importancia determinar y luego localizar la carga que se va a servir.

Se hace evidente explicar la forma con la cual se procedió para poseer los datos mencionados: en primer lugar se realizó una averiguación detallada de la demanda existente o sea la carga conectada expresada en vatios, correspondientes a los diversos tipos.

Además se tomó en cuenta a los próximos consumidores de acuerdo al plan de incremento de edificios destinados al establecimiento de lugares comerciales y públicos. Cuadro N° 1

Este censo también fué completado con la inclusión de los consumidores industriales y del servicio de alumbrado público.

Para obtener una idea más exacta de estos valores actuales de carga, se procedió a relacionar el tipo de casas y de consumidores con algunos existentes en ciudades similares como Machachi o en el mejor de los casos en Quito.

Seleccionados estos sitios se utilizó el método sencillo de determinación de la carga que utiliza un amperímetro registrador, que consiste en efectuar lecturas en un momento de demanda máxima.

Los datos insertados en el cuadro N°1 revelan la forma descrita en la realización del censo, pero sólo se refiere a una parte.



Determinación de la Potencia demandada.-

Conocida de esta manera las condiciones de demanda actual se debe prever un servicio eficiente para un periodo de 10 a 20 años, en este caso creo que la Red de Distribución se podría diseñar para garantizar el servicio hasta un futuro de 15 años.

La ciudad se ha dividido en dos sectores, procurando reunir a los diversos consumidores en tipos de características similares, ellos son: el centro geográfico de la urbe, cuya carga comercial provoca mayor densidad de carga; y el resto de la ciudad comprende el segundo sector, en el cual, la carga de tipo residencial tiene mayor importancia.

Para situar las potencias de cálculo con el valor futuro dentro del plano topográfico se deben hacer las siguientes consideraciones: el tipo de consumidor residencial es el que tiene la máxima importancia dadas las condiciones de vida, cultura etc. el tipo de consumidor comercial también tiene su importancia en el diseño de la Red; el tipo de consumidor industrial tendría una mínima importancia en la determinación de la carga y el tipo de alumbrado público es de total importancia.

Toda la carga conectada no se va a hacer presente en todo momento del día durante el funcionamiento de la Planta, por este motivo la experiencia nos indica que hay un lapso de tiempo durante el cual la demanda es la máxima requerida para el servicio eléctrico.

Este lapso que normalmente se considera de una hora de duración se ha obtenido en

lugares cuya técnica es más adelantada mediante el empleo de aparatos registradores de carga, pudiendo ser considerado el que dura entre las 6 y 30 y las 7 y 30 de la noche, el mismo que se conoce como de "punta de carga".

Anteriormente se indicó que las cargas que tienen mayor importancia a esta hora son: la Residencial con los diversos tipos, y la de Alumbrado Público ya que a esta hora todas las lámparas estarían encendidas. La carga Comercial tiene su importancia debido a que también los bares, salones y hoteles utilizan al máximo la carga conectada, no así la carga Industrial, pues, habrá terminado la jornada de trabajo.

Dentro de la carga Residencial he tomado en cuenta varios tipos de casas: Cuadro N° 2.

Pero la carga instalada en cada tipo de consumidor no se la utiliza en el momento considerado razón por lo cual existe un factor de demanda que modifique el valor inicial, al mismo tiempo hay que considerar que en un grupo de consumidores de características similares no todos van a poseer la demanda máxima, por lo cual existe un segundo factor llamado de diversidad, que relaciona la suma de las demandas máximas individuales de dos o más cargas y la demanda máxima individual coincidente para un determinado período.

Para cada clase de carga, el valor total de la carga conectada en un determinado consumidor ha sido multiplicado por el factor de demanda y dividido para el factor de diversidad considerado grupos de 10, 20 o 30 clientes, según el caso lo requiera.

Del cuadro N° 2 obtenemos el valor de la potencia actual que vendría a satisfacer las exigencias de los consumidores, ya que con 210 Kw. obtendríamos alrededor de 45 va-

tios por cada habitante.

Dadas las condiciones económicas de la ciudad se ha indicado que el diseño de la Red se hará para un futuro de 15 años.

Para ello se considera que la carga en este lapso va a experimentar un crecimiento gradual debido tanto al crecimiento de población, como a la elevación del nivel de vida, el mismo que en definitiva se traduce en un mayor uso de los utensillos eléctricos.

Este porcentaje de crecimiento de la carga es el que tiene mayor importancia dentro del mismo proyecto, por lo cual constituye una dificultad enunciarlo directamente; en la realidad se han dado casos de que el crecimiento fué de 100 % en el año siguiente, bajando luego hasta un 4 %.

Esta dificultad la podemos solucionar recurriendo a estadísticas de poblaciones similares en cuanto a consumo de energía eléctrica se refiere o en último caso procurando comparas con el crecimiento de la población en los últimos años.

De lo dicho, lo que se utilizó fué la segunda consideración: desde el año 1.956 hasta el año de 1.963 la población fué creciendo con el 3%. De tal manera que al utilizar un factor de crecimiento posterior del 4% estaríamos dentro de la realidad.

Potencia de Cálculo.-

La potencia total de cálculo determinamos de la misma manera que el interés compuesto o sea:

Potencia Futura: potencia actual x factor total de crecimiento.

• 11 •

Potencia necesaria actual: 210 Kw.

factor de crecimiento: 4%

Potencia futura: $210(1 \pm 0,04)^{15}$: 378 Kw

El cálculo se lo hará para una Potencia de 380 Kw.

Teniendo en cuenta un factor de potencia ($\cos \varphi$: 0,85)

equivale a 447 KVA.

Este valor así determinado sirve para el diseño tanto de la Línea de Transmisión como para la Red de Distribución.

CAPITULO III

LINEA DE TRANSMISION

Localización.-

Desde la planta de Generación hasta el Hospital, lugar al que llega la línea actual de transmisión hay una distancia aproximada de 5.000 mts.

Esta línea de Transmisión es de 3 conductores (trifásica) tendida con alambre AWG # 8, sobre postes de riel colocados con un espaciamento de más de 100 mts. más o menos

Los aisladores que soportan estos conductores son o de teléfonos o de baja tensión apoyados en crucetas de hierro.

Se efectuó el levantamiento topográfico para elaborar el plano correspondiente a fin de situar de una manera conveniente a la técnica la línea mencionada.

El Plano N° 1 reúne los datos obtenidos en el campo para el trazo del lugar que tiene mayor posibilidad para el montaje de la línea.

El Plano N° 2 indica el perfil del terreno el mismo que se lo hizo con una escala para la distancia horizontal y otra para la vertical a fin de destacar el desnivel.

Determinación de la Tensión y del Conductor.-

Esto constituye un problema complejo, ya que intervienen una serie de factores como son: la caída de tensión, pérdidas de energía, costos iniciales de instalación, etc.

Para tener una idea de la tensión más indicada con la cual se puede transmitir la potencia a la ciudad aplico aquella fórmula práctica que nos indica que se puede escoger 1 KV por cada Km. de distancia. Esta línea de Transmi-

sión tiene una longitud de 5 Kms, luego se requerirá de 5 Kv de tensión, como existen normas establecidas el uso de tensiones con las cuales se guíen los fabricantes debe acercarse a una tensión normalizada.

La tensión normalizada inmediata es de 6,3 Kv, la misma que sirve como primera para elegirla.

Aplicando la fórmula de Hoffner que dice:

$$V : 100 \sqrt{\text{Km} \times \text{Kw}} : 100 \sqrt{5 \times 350} : 4.350 \text{ voltios}$$

Acercando a la tensión normalizada también se obtendría la de 6.300 voltios.

Se puede obtener otra tensión posible de utilizar si se aplica la fórmula de Still que dice:

$$\text{Kv} : 5,5 \sqrt{\frac{\text{Km}}{1,61} + \frac{\text{Kw}}{100}} : 5,5 \sqrt{\frac{5}{1,61} + \frac{350}{100}}$$

$$\text{Kv} : 14$$

La tensión normalizada que elijo es la europea de 11,2 Kv.

Para obtener el calibre del conductor más económico se puede hacer de una manera matemática aplicando en la fórmula concerniente la Ley de Kelvin que se enuncia del siguiente modo:

$$\frac{aKI^2r}{1.000} : pwxw$$

en esta fórmula:

- c: costo por Kwh de energía perdida
- I: corriente en amperios
- r: resistencia por milla
- p: costo por cada libra de conductor
- w: libras por milla del conductor
- a: porcentaje de interés y depreciación.

En vista de la imposibilidad de disponer de datos exactos

que permitan la utilización directa de la fórmula mencionada, para seleccionar el calibre del conductor y la clase de conductor efectuó algunas consideraciones;

existen diversas clases de conductores que han sido empleados en la construcción de líneas de transmisión, ellos son: cobre estirado en frío con 97,3 % de conductividad, cobre con alma de acero entre hilos de cobre y cables de aluminio reforzados con hilos de acero.

Si bien es cierto que el cable de aluminio reforzado con hilos de acero para una determinada resistencia tiene un valor en peso menor debido a que su peso específico es $2,7 \text{ gr/cm}^3$, comparado con el cobre cuyo peso específico es de $8,9 \text{ gr/cm}^3$, razón por la cual es fácil concluir que el costo en cuanto al precio se refiere de peso es menor.

Sin embargo, por sus mismas características de resistencia en especial a la tracción, determine que al manejarlo se tomen mayores precauciones las mismas que se traducen en la necesidad de requerir mayor tiempo para una operación de tendido y el empleo de personal especializado en el manejo.

Para proceder a la unión de dos conductores, situación que normalmente se presenta es de notar que para este tipo de conductores se emplean elementos especiales con sus correspondientes accesorios.

Por estas razones se añadiría un costo al inicial que representa sólo peso, originando una mayor dificultad económica.

El cobre estirado en frío (H.D) normalmente cableado con 97,3% de conductividad se ha generalizado en nuestro medio tanto por su capacidad de conductibilidad como por la facilidad que presta para el personal encargado de manipu-

larlo durante la operación de tendido.

Como la longitud de la línea es pequeña creo que no cabría una comparación detallada entre el empleo de un conductor de cobre y su equivalente de aluminio, indicando al mismo tiempo que se correría el riesgo de una experimentación en cuanto al tendido con un personal sin preparación.

Estas ligeras consideraciones me han llevado a elegir el conductor de cobre estirado en frío.

Una vez elegido el tipo de conductor más práctico para esa zona a emplearse en la línea de Transmisión, me corresponde seleccionar el calibre del conductor que al combinar con las tensiones normalizadas me represente una mayor economía.

Para esta última decisión la técnica aconseja elaborar un cuadro comparativo completo que a continuación lo describo: Cuadro N° # 3

en la primera fila se han colocado las tensiones posibles de transmisión.

Cada voltaje de transmisión se combina con tres calibres de conductor de acuerdo al empleo de la fórmula:

$$S: \frac{100 \times l \times N}{p \times K^2 \times X \times \cos^2 \phi}$$

(Manual de Instalaciones de la Brown Boveri pag. 52)

l: longitud de un conductor en metros
 N: Potencia
 P: pérdida de potencia en porcentaje
 K: Tensión correspondiente
 X: conductividad
 cos : factor de potencia.

La tercera fila se completa con la corriente máxima que circula durante el máximo transporte de la potencia para cada

tensión: $I: \frac{N}{\sqrt{3} K}$

N: Potencia en vatios
E: tensión en voltios
I: corriente en amperios

La fila 4 nos indica el peso de los tres conductores cada uno con la longitud de 5 Km.

Los valores son los siguientes:

de acuerdo a la tabla N° 34 del Manual Knowlton:

Calibre	AWG	Peso Kg/Km
#	8	74,37
"	6	118,3
"	4	188,0
"	2	299,0
"	0	493,5

La fila 5 comprende la resistencia al paso de la corriente eléctrica y que se obtiene multiplicando el valor de la Tabla N° 34 del Manual Knowlton dado en ohmios/Km por la longitud de cada conductor.

La fila 6 engloba a todas las pérdidas:

La fila 7 expresa las pérdidas de potencia en Kw y que se obtiene aplicando la fórmula:

$$3RI^2 \cdot 10^{-3}$$

Este valor se lo anota en la fila 8.

La fila 9 lleva los valores de pérdidas de potencia en porcentajes o sea la relación entre las pérdidas totales contabilizadas en la fila 8 y la Potencia total que se transmite.

La fila 10 anota las pérdidas de energía durante un año para encontrar este valor se procedió en la siguiente forma: en vista de no disponer de datos ni aproximados peor exactos, utilice una fórmula práctica de uso común y que se la enuncia así:

$$\text{pérdidas anuales (Kwh)} = \frac{3RI^2}{1.000} \times H$$

donde:

H : número de horas equivalentes y que se lo valora:

$$H : F \times 8.760$$

$$F : 0,7F_0^2 \pm 0,3F_0$$

F₀ : factor anual de carga.

Para determinar este factor hay que observar el funcionamiento del sistema diariamente el mismo que nos registraré un diagrama.

Para obviar esta dificultad en razón de no existir esta posibilidad se comparé con otras ciudades procurando acercarse a la realidad de vida de la población, según esto se consideró que durante el día la carga no era uniforme por lo tanto la planta no genera una potencia regular.

Sin embargo se puede pensar que las 20 horas del día trabajaría con el 20% de la carga total y las 4 horas restantes con el 90% de la carga.

De tal manera que el factor **F₀** lo podríamos determinar de la siguiente manera:

$$\frac{4}{24} \cdot 90\% \pm \frac{20}{24} \cdot 20\% : 35,8\%$$

$$F_0 : 36\%$$

$$F : 0,7 \times 0,36^2 \pm 0,3 \times 0,36 : 0,198$$

$$F : 0,2$$

$$H : 0,2 \times 8.760 : 1.652 \text{ horas equivalentes.}$$

Determinado de esta manera el valor de las horas equivalentes efectúo el recambio respectivo para cada tensión y dentro de ella para cada conductor.

La fila 11 comprende a las filas 12 y 13, que anotan la pérdida de tensión en voltios expresados para cada columna y el porcentaje comparado con la tensión de transmisión respectivamente.

La fila 14 es el título de los Costos Iniciales.

La fila 15 es el de los conductores que se obtiene multiplicando el precio unitario que es de 3,50 sueres por cada kg por el número de kgs. representativos a cada calibre de conductor.

Para completar la fila 16 se hizo una averiguación en las casas distribuidoras de transformadores apropiados para tales características.

De igual modo se procedió para totalizar las filas 17, 18, 19 y 20 teniendo en consideración el número apropiado de pararrayos, aisladores y seccionadores.

La fila 21 Totaliza las cantidades de costes iniciales en la línea de transmisión.

La fila 22 es el título del Costo anual del capital invertido y de las pérdidas citadas anteriormente.

Para estimar los intereses expresados en la fila 23 he considerado la situación económica tanto del cantón como de la Provincia misma y creo que de acuerdo a ello se puede adoptar un valor del 6% anual.

La depreciación del capital inicial invertido datos establecidos en anteriores instalaciones llegan a la conclusión de que un valor del 3% anual se acerca a la realidad e base de esto se ha calculado la fila 24.

Para determinar el costo de las pérdidas anuales originadas en el transporte he calculado la potencia generada anualmente de acuerdo a las horas de funcionamiento que se establecieron en la fila 10, deduciendo de ello el precio correspondiente a razón de un valor aproximado a 0,15 sueres el Kwh. Este valor lo adopté comparando con poblaciones similares que llevan algunos años funcionando como Machachi.

Finalmente la fila 26 reúne el total del costo anual. Determinados de esta manera todos los costos que deno-

ten el establecimiento de una Línea de Transmisión se efectúe un estudio comparativo tanto de la parte económica como de las exigencias que la técnica requiere.

De aquí se desprende que el conductor más barato es el # 6 AWG a la tensión de 6.300 voltios, pero las pérdidas de tensión y de potencia son de 4,35 y 9,3% respectivamente, la normalización requiere un máximo de pérdidas del 5%, razón por la cual desechemos este conductor más barato.

El próximo conductor a seleccionarse es el # 4 AWG. a la tensión de 6.300 voltios, el mismo que expresa una caída de tensión de 2,9 y 5,6% de pérdida de potencia.

Esto ocurriría cuando la potencia transportada sea la máxima.

De tal manera como este conductor presenta las condiciones exigidas por la técnica y las normas establecidas, me inclino a adoptarlo para la Línea de Transmisión.

El conductor es el # 4 AWG. de cobre estirado en frío el mismo que transportará la energía al Cañer a la tensión de 6.300 voltios.

Influencia del efecto corona.-

Cuando se hacen evidentes algunos haces luminosos alrededor del conductor provocando un sonido especial, decimos que existe el efecto corona produciéndose ácido nítrico en el ambiente por lo general húmedo.

Esta situación origina la ionización del aire, transformándose en conductor, aumentando por consiguiente el diámetro eficaz, ya que las corrientes se desplazan hacia la superficie en vista de tener menor resistencia eléctrica.

Al aumentar el diámetro eficaz

de según el efecto Joule, también alcanzan valores mayores,

Estos valores tienen su importancia cuando el diámetro pase de 20 mm. según lo encontramos en el libro Centrales y Redes eléctricas de Buchhold y Happoldt, por lo cual estaríamos sin cuidado, o cuando la tensión utilizada en la transmisión alcanza cierto valor llamado voltaje crítico.

Este voltaje crítico habría que somprobar en este caso, para ello utilizo la fórmula experimental de F.W.Peck del libro Hydro-electric Handbook por Creager and Justin: pag. 1.036.

$$E_0 : 107 \frac{17.9b}{459m t} m \log_{10} \left(\frac{2D}{d} \right)$$

Donde:

- E_0 : voltaje crítico, en Kv entre conductores
- b : presión barométrica en pulgadas de mercurio a 32° Fahrenheit
- t : temperatura del aire, en grados Fahrenheit
- m : factor de irregularidad del conductor para este caso 0.85
- d : diámetro del conductor en pulgadas
- D : distancia equivalente entre conductores expresada en pulgadas.

$$E_0 : 107 \frac{17.9 \times 20.5}{827} 0.85 \times 0.254 \times \log_{10} \left(\frac{2 \times 24}{0.254} \right)$$

$$E_0 : 35.4 \text{ Kv}$$

Lo que indica que el efecto corona en nuestro caso no tiene significación.

Línea de protección.-

Las descargas de origen atmosférico son de poca importancia en aquella zona razón por la cual no creo conveniente la utilización.

La longitud es corta y permite una rápida localización de cualquier clase de falla ocasionada por este punto.

Tanto los aisladores que soportan a los conductores como los pararrayos que se instalarán al principio y fin de

la línea se escogió de la manera siguiente.

Aisladores.-

De acuerdo a las necesidades de la línea estos son de retención o de soporte.

Los primeros se utilizarán al iniciar y al terminar su recorrido, esto es en la casa de Máquinas y en el Hospital o sea en la intersección de las calles San Clemente y 24 de Mayo. De la misma manera en el primer cruce con la carretera Panamericana, sitio en el cual termina la pendiente del terreno.

Es decir que el número de aisladores de retención será de 12.

El otro tipo de aisladores o sea de soporte se emplearán en los demás postes.

Las características son las siguientes:

la tensión de ruptura en seco será de 5 veces la tensión nominal y bajo lluvia se indica que aproximadamente equivale a los $\frac{2}{3}$ de la tensión de descarga en seco.

Esto es de 31,5 Kv y de 21 Kv respectivamente. los mismos que van a ser empleados a 3.130 mts. sobre el nivel del mar.

Los pararrayos se instalarán al principio y al final de la línea 3 en cada lado y serán para una tensión de servicio de 6,300 voltios a 60 ciclos y para 3.130 mts. sobre el nivel del mar.

Al insertar los datos finales se ampliaron las características individuales de estos últimos.

CAPITULO IV

RED DE DISTRIBUCION

Antecedentes.-

Para diseñar de una manera correcta una red de servicio urbano o rural se debe considerar según los casos el calentamiento límite, la caída de tensión o la selección desde el punto de vista económico.

En nuestras circunstancias se tomó en cuenta el factor correspondiente a la caída máxima de tensión para el servicio de los consumidores.

Pues hay que considerar que una fluctuación de la tensión de servicio pueden ocasionar una disminución en la vida útil de los aparatos eléctricos.

El tomar como carga un valor determinado de acuerdo a un sinnúmero de clientes es más bien un asunto de experiencia o de intuición adquirida.

En el libro Redes Eléctricas de Zoppetti nos indica que una lámpara incandescente servida con un 5% de tensión mayor a la nominal provoca un descenso de la vida en un 55%, pero si es alimentada con una merma de 5% de la tensión nominal aunque su vida aumenta, en cambio el flujo luminoso decrece un 80% del valor normal.

Otra indicación que se tomó en cuenta fue la anotada en el Libro Transmission and Distribution de la Westinghouse, en el capítulo 20 página 682, la que señala que se obtiene un buen servicio con una caída del 3% en el circuito secundario.

Teniendo en cuenta que la máxima caída de tensión se experimentará cuando la red se halle completamente cargada me inclino a adoptar un valor del 4% de caída.

Selección de la Corriente.-

El tipo de corriente en que se basa este proyecto, viene establecido por las condiciones impuestas por la Transmisión, es decir, corriente alterna de 60 ciclos/segundo.

En la distribución de la corriente alterna debe tenerse en cuenta tres etapas: la Red de Alta tensión, las Estaciones de Transformación y la Red de Baja Tensión.

Red de Baja Tensión.-

De acuerdo a las normas establecidas en Norteamérica y Europa, la tensión de servicio tendría poco límite de elección.

Comparando aún dentro de nuestro medio con redes ya establecidas, me decidí por escoger la tensión de 210/121 en el caso de ser trifásica, y de 120/ 240 en el caso de ser monofásica.

A la vez el sistema de distribución trifásica según las conexiones utilizadas puede ser de tres o de cuatro conductores, llamándolo tri o tetrafilar respectivamente.

De la misma manera el tipo de conexión monofásica puede ser de dos o de tres conductores, esto es, bi o trifilar.

Análisis comparativo de los Sistemas Monofásicos.-

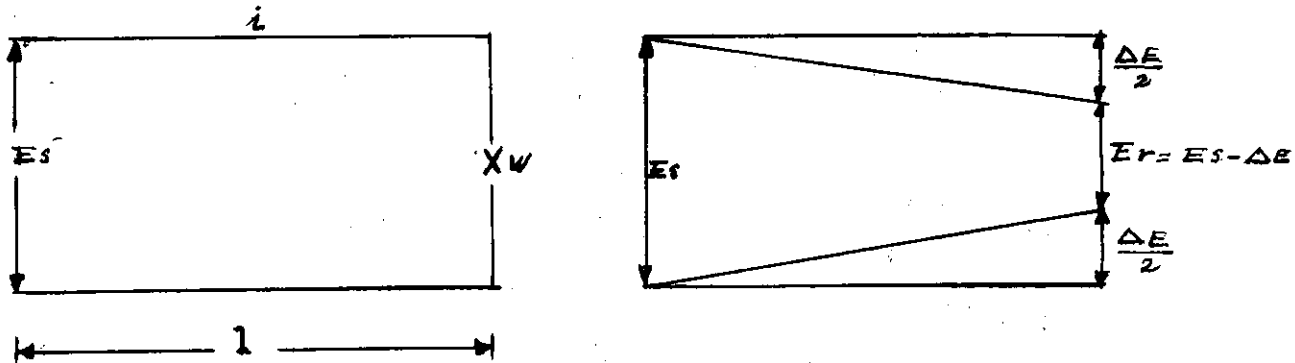
Se supone que en ambos casos se sirve un determinado sector cuya carga sea uniforme y colocada al final.

El único factor que determina la conveniencia de uno o de otro en definitiva es el precio del conductor y a su vez el peso del conductor es di-

rectamente proporcional a la sección requerida para una determinada caída de tensión .

Cálculo de la sección para el conductor en corriente monofásica bifilar.-

Utilizo un diagrama de la carga servida así como el de las tensiones con su respectiva caída.



- E_s : tensión de salida .
- E_r : tensión de recepción
- R : resistencia del conductor, en ohmios
- x : coeficiente de conductibilidad.
- l : longitud de cada conductor
- E : caída de tensión total.

Según esto:

$$\frac{\Delta E}{2} : i \cdot R \cdot \cos \varphi$$

$$R : \frac{l}{x \cdot s_1}$$

$$\Delta E : 2 \cdot i \cdot \frac{l}{x \cdot s_1} \cos \varphi$$

$$s_1 : \frac{2 \cdot i \cdot l \cdot \cos \varphi}{x \cdot \Delta E}$$

Cálculo de la sección del conductor empleado en corriente monofásica trifilar.-

$$R : \frac{1/2,1}{x.S_2}$$

$$S_2 : \frac{1,1.\cos\varphi}{x.2.\Delta E}$$

Este sistema a más de los conductores que llevan la mitad de la corriente utilizan un conductor neutro, el mismo que llevaría corriente si las cargas no fueran equilibradas. En la práctica, indica el libro Redes Eléctricas se aconseja tener una seguridad del 60%.

De tal manera que nuestro sistema monofásico trifilar utiliza dos conductores extremos y un conductor neutro.

La sección total de conductores vendrá a ser la suma de ellos: $S_2 \pm S_2 \pm 0,6S_2 = 2,6S_2$

Comparando las secciones de ambos casos se tiene:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{\frac{211\cos\varphi}{x.\Delta E}}{\frac{1,1.\cos\varphi}{x.2.\Delta E}}$$

$$S_2 : \frac{S_1}{4}$$

$$\frac{\text{Sistema trifilar}}{\text{Sistema bifilar}} : \frac{2,6S_2}{2S_1} : \frac{0,65S_1}{2S_1} : 0,325$$

Concluyendo que al empear el sistema monofásico trifilar hay un ahorro del 67,5%.

Utilizando este sistema se puede disponer de dos clases de tensiones lo que le da flexibilidad al mismo.

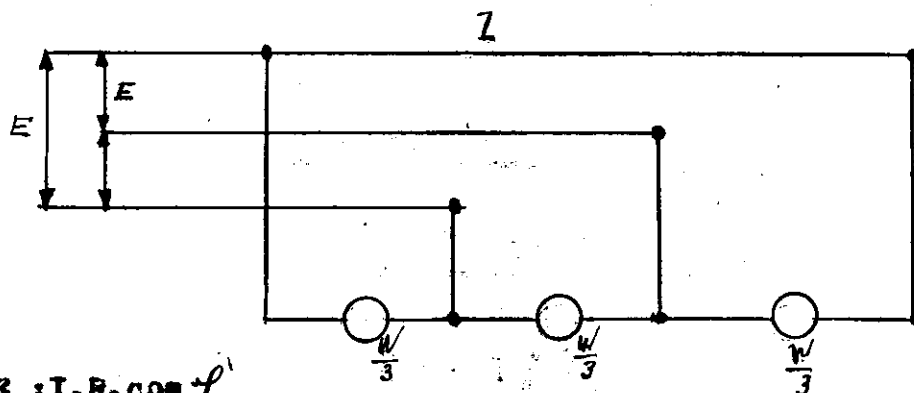
Análisis comparativo de los sistemas trifásicos.-

Dentro de este mismo tipo de conexión el factor que determina la ventaja de uno u otro, es esencialmente el precio del conductor, el mismo que es directamente proporcional al peso y este a su vez a la sección.

001506
001502

Se supone que la longitud a la que se alimenta una carga determinada permanece constante, la caída de tensión es la misma se pueden hacer las siguientes consideraciones.

Cálculo de la sección para un circuito trifilar.-



$$\Delta E : I \cdot R \cdot \cos \varphi$$

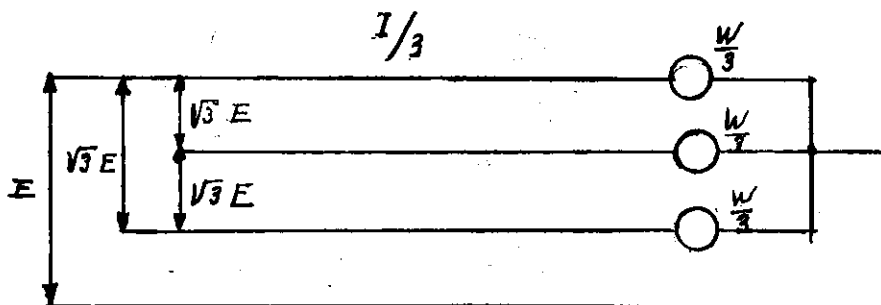
$$I : \frac{W}{E\sqrt{3}}$$

luego:

$$\Delta E : \frac{W}{E\sqrt{3}} \cdot \frac{l}{x} \cdot \cos \varphi$$

$$x_3 : \frac{W \cdot l \cdot \cos \varphi}{S \cdot E \cdot \Delta E}$$

Cálculo de la sección para el sistema tetrefilar.-



$$\Delta E : \frac{W}{3E} \cdot \frac{l}{x} \cdot \cos \varphi$$

$$x_4 : \frac{W \cdot l \cdot \cos \varphi}{3E \cdot x \cdot \Delta E}$$

El sistema trifilar utiliza una sección total del conductor igual a tres veces la sección de cálculo o sea $3s_3$.

El sistema tetrafilar utiliza una cantidad de conductor igual a la suma de las secciones de los tres conductores y el neutro. Para determinar el valor de la sección del neutro habría que pensar que las probabilidades de desequilibrio aumentan, por tanto aconsejo el libro de Centrales y Redes de Buchhold, un valor cercano al 80% del requerido para una fase.

La sección total es de $3,8 s_4$

De la comparación de las secciones individuales de ambos casos se obtiene una relación igual a:

$$\frac{s_3}{s_4} = \frac{\frac{W \cdot l \cdot \cos \phi}{E \cdot 3 \cdot X \cdot \Delta E}}{\frac{W \cdot l \cdot \cos \phi}{3 \cdot E \cdot \Delta E \cdot X}}$$

$$s_4 = \frac{s_3}{3} = 0,58 s_3$$

$$\frac{\text{Sistema trifilar}}{\text{Sistema tetrafilar}} = \frac{3 s_3}{3,8 s_4} = \frac{3 s_3}{3,8 \cdot 0,58 s_3} = 1,36$$

Concluyendo que el sistema tetrafilar necesita menos cantidad de conductor en igualdad de circunstancias, provocando un ahorro del 36%.

Tipo de Red.-

Considerando la densidad de carga, el posible calibre del conductor, la disponibilidad económica del Municipio, me decido por el tipo de red Aéreo.

Del análisis anterior el sistema trifásico tetrafilar es de mejores características, teniendo una aplicación inmediata evidente en las zonas donde el valor

de la carga es de consideración, es decir una zona de servicio mixto, o sea para servicio residencial, comercial, alumbrado público y fuerza motriz.

Si pensamos que se desea alimentar una carga situada a una determinada distancia, es obvio deducir que al utilizar un sistema trifásico tetrafilar, en lugar de un monofásico trifilar, el conductor tiene que ser de una sección menor, puesto que la mencionada carga se puede repartir entre las tres fases y el neutro.

Esto indica que se debe utilizar para el control de la ciudad que se encuentra comprendido entre las calles Guayaquil, Pichincha, 3 de Noviembre, Colón y Calderón, el sistema trifásico tetrafilar más un conductor que controle el alumbrado público.

Para el servicio de los sectores restantes se utilizará el sistema monofásico trifilar, ya que la demanda se reduce a servicio de alumbrado doméstico, utensilios de pequeña magnitud y cuando más pequeños motores de hasta 1 H.P. de acuerdo al Manual Knowlton.

En este segundo caso la red secundaria de Distribución utilizará: dos conductores para las fases, uno para el neutro y un cuarto conductor para el control del alumbrado público.

En caso de aparecer posteriormente un consumidor cuya demanda requiera mayores valores que los asignados o de características diferentes a las existentes, se prevé la posibilidad de servirlo por medio de una línea directa de Alta Tensión y por medio del respectivo trans-

formador entregar la potencia requerida.

Dispuesta la elección del sistema de acuerdo al número de conductores conviene analizarse de acuerdo a la configuración de las redes.

Sistemas de Distribución.-

Una Red de Distribución indican los autores que tratan este tema debe constituir una fuente segura de suministro a los clientes procurando que en presencia de una falla, generalmente de cortocircuito, salgan del servicio un número de abonados.

Aunque no se comparan los diferentes sistemas, sin embargo, la utilización de una Red malla en el secundario, conocida como Banquesada, es la aconsejada.

El Manual Knowlton en la pag. 1.699 indica que se justifica económicamente el uso de la red Banquesada cuando la carga llega a partir de los 125Kw por manzana de casas. Pero posteriormente señala que muchas Empresas Americanas de Electricidad han probado este sistema con óptimos resultados. Estas razones de orden práctico, deciden escoger tal distribución en el sector central anteriormente mencionado.

Las ventajas de este sistema son:

Disminución del centelleo de las lámparas provocado por las corrientes de arranque de los motores;

Para alimentar una carga actúan varios transformadores al mismo tiempo;

Al incrementarse el consumo actual permite acomodar el sistema con ligero costo de las instalaciones.

La forma de conectar en paralelo los secundarios de los transformadores puede ser de tres maneras: en línea, en anillo o en mallas.

La tercera forma de conexión es la que ofrece mejores ventajas como son:

La capacidad de los transformadores se reduce ya que al aumentar la zona de alimentación, crece el número de clientes y en consecuencia la diversidad de cargas, ocasionando que el área de los conductores se reduzcan.

si al principio el número de estaciones es relativamente pequeño, existe la posibilidad de acoplar otros transformadores en los nudos libres cuando la carga aumentare,

eleva rápidamente las corrientes de corto-circuito porque al producirse una falla a ella acuden todos los transformadores, con lo que se consigue un despegue inmediato

permite construir líneas de sección más reducida, permitiendo una economía en la utilización del material.

Como desventajas especiales se tiene que en el caso de originarse una falla la zona afectada alcanza mayores dimensiones.

Por esta razón la protección requiere de mayores cuidados.

Para los otros sectores de la ciudad se analizó el tipo de carga predominante, al explicar el tipo de red de acuerdo a la conexión se anotó que no requiere mayores cuidados por lo que se decidió escoger el tipo de Red Radial Simple.

Como desventajas se tiene que :

el ocurrir una falla se produce la interrupción del

servicio a todos los consumidores abastecidos por él

Pero, ya que el tamaño de la ciudad es pequeño, las cargas que van a ser servidas son de pequeña magnitud, el uso de este sistema es adecuado.

Protección.-

Con el objeto de procurar que los lugares afectados por interrupción del servicio al presentarse una falla, se debe procurar que la zona mencionada se reduzca de dimensiones, utilizando una selección apropiada.

Para estos casos se aplican diferentes métodos: ya sea utilizando Protectores de Red en la Baja Tensión o colocando en dispositivos especiales los fusibles tanto de Baja Tensión como para Alta Tensión.

Los Interruptores automáticos de aire provistos de relés de malla se conocen con el nombre de Protectores de Red. Hay diversos tipos de construcción, pero el proceso de funcionamiento es el mismo para todos. Desconecta automáticamente cuando la malla inicia un envío de corriente al transformador y conecta cuando la falla ha desaparecido.

Esto en realidad ofrece una seguridad de funcionamiento de proporciones, ya que evita la interrupción del servicio en presencia de las fallas en baja tensión que generalmente son transitorias.

En la misma que aumenta la seguridad el costo es apreciable, lo que influiría en el presupuesto global del proyecto, esta razón y dadas las condiciones de exigencias del medio considerado, no permiten el que se emplee este tipo de protección.

Otra forma de protección que se emplea es la de utilizar fusibles tanto en el lado primario, como en el lado secundario como lo indica el Manual Knowlton pag. 1.697.

La avería hacia un transformador se detecta por el accionamiento de los fusibles correspondientes.

La utilización de los fusibles hace que no se pueda aprovechar en gran escala la capacidad de sobrecarga que poseen los transformadores. En vista de que se funde con sobre-corrientes aunque sean momentáneas.

Si bien es cierto que esta forma de protección no da la suficiente garantía en la presencia de corto-circuitos de alta impedancia, sin embargo se lo emplea tanto por la facilidad de las instalaciones como por la economía en el presupuesto.

Hay que indicar que hay una evidente necesidad de efectuar inspecciones periódicas en la carga de cada uno de los transformadores, a fin de irlos aplicando medidas correctivas en la distribución de la carga.

Elección de la clase de conductor.-

Se conoce que un conductor eléctrico es una sustancia material que permite el paso de una corriente eléctrica cuando está sometido a una diferencia de potencial.

De las observaciones experimentales comunicadas a nosotros se deduce que los materiales que permiten un desprendimiento de un mayor número de electrones son: el cobre, plata, acero, aluminio en especial.

Las posibilidades de fabricación y la existencia en la naturaleza han determinado que el uso de estos materiales se reduzca un poco, generalizando el empleo del cobre y del aluminio.

Para poblaciones de un mayor número de habitantes creo que cabría efectuar un análisis comparativo de la conveniencia económica e igualdad de condiciones mecánicas y eléctricas.

Dada la enorme facilidad de manipulación que presta el cobre con respecto al aluminio, determina que la instalación requiera de menor personal, que se traduce en economía tanto de capital como de tiempo.

Por esta razón se escoge el cobre como substancia conductora, en forma de cables aislados para interperie, para ser empleados en las redes de distribución.

Localización de las cargas de edificio.-

Se procedió de acuerdo a los pasos que se enuncian a continuación:

- a) en el plano de la población se ubicó el valor de las cargas según el tipo de consumidor y teniendo ya en cuenta a los factores de demanda y de diversidad;
- b) se señaló el posible sitio de ubicación de los postes, procurando adaptarse a las exigencias de la estética dentro de la configuración de la ciudad;
- c) finalmente se trasladaron las cargas al poste más cercano, reduciendo de vatios a KVA, en todo caso utilizando un $\cos \phi$: 0,85 y posteriormente multiplicando este valor por el factor 1,8 que corresponde a un 4% de crecimiento anual durante un período de 15 años.

Selección del calibre del conductor para la Red de Baja Tensión Trifásica Tetrafilar (Banqueada).-

El método empleado para la determinación de la sección del conductor adecuado es el de Corte indicado en el Libro Centrales y Redes por Buchhold y Happelát pag. 407.

En el se indican los pasos a emplearse:

- a) configuración de la red mallada uniendo los puntos de consumo,
- b) elección de los puntos de alimentación y consiguientemente de los puntos en los cuales se supone la existencia del potencial más bajo,
- c) efectuar los cortes de la Red en tantos lugares como sean necesarios,
- d) comprobar que para una caída de tensión determinada las secciones de los conductores en los puntos de corte sean aproximadas, y
- e) aproximar las secciones de los conductores a calibres ya establecidos por los códigos respectivos.

En definitiva el punto esencial es el ordenar el valor de caída de tensión normalmente dado en porcentaje de la tensión nominal de servicio.

El libro Transmission and Distribution de la Westinghouse en la pag. 682 nos dice que para un óptimo servicio en la red secundaria de distribución se debe adoptar un 3% de caída de tensión. Esto en realidad ocurriría cuando la red se ha llegado a saturar, de tal manera

que de acuerdo al medio al cual nos referimos se puede extenderse en el valor indicado hasta un 4% de caída de tensión.

En el peor de los casos la pérdida de tensión tendría un valor de: $\Delta E : 210 \times 0,04 : 8,4$ voltios.

El proceso que se utilizó para calcular la sección del conductor, cuyos resultados se encuentran recopilados en el cuadro N° 4, fué el siguiente:

- a) determinación de un centro virtual de consumo y la longitud hasta él, en el cual se suponen concentradas todas las cargas distribuidas a lo largo de cada ramal;

$$lv: \frac{\sum P \cdot l}{P_T}$$

- b) cálculo de la sección a base del valor expresado de caída de tensión.
- c) con esta sección se comprobó la caída de tensión parcial en cada nudo.
- d) las secciones así comprobadas fueron substituidas al elaborar el plano respectivo por las secciones comerciales más cercanas generalmente por exceso.

Selección del calibre para la Distribución Monofásica Radial Trifilar.-

Para la selección del calibre del conductor apropiado para servir a los clientes mediante este tipo de red en los demás sectores se procedió en la siguiente forma:

- a) se elaboró un cuadro que reúne las características de los conductores más generalizados en el uso de

CUADRO N° 4

TRAMO	LONGITUD VERTICAL	SECCIÓN mm ²
T ₂ -C-D	106	24.4
T ₂ -I-H-D	79	25.4
T ₅ -K-T ₂	110	23
T ₅ -R-Q	118	18
T ₅ -M-P-Q	107	25.8
T ₅ -N-I	46.8	23.8
T ₆ -O-N-I	79.6	16.7
T ₆ -H-D	65.3	18
T ₆ -F-E-D	72	8.76
T ₆ -F-P	81.5	9.78

redes dentro de nuestro país similar a este ejemplo:

Conductor cableado de cobre AWG # 2

De la Tabla 1 del Capítulo de las características aéreas de las líneas pag. 49 del Libro Transmission and Distribution se deduce:

$$R : 0,5491 \text{ ohmios/Km}$$

$$X_a : 0,3567 \quad " \quad "$$

La distancia entre conductores en la red secundaria viene dada por el tipo de soporte que se le emplee, pero en nuestro caso esto ya se halla normalizado y nos dan :

8 pulgadas.

$$\cos \phi : 0,9$$

$$\text{sen } \phi : 0,436$$

esto de acuerdo a las características de servicio que va a prestar la red dentro de la población.

para la caída de tensión hemos adoptado un valor del 4% o sea: $\Delta E : 0,04 \times 240 \text{ voltios} : 9,6 \text{ voltios.}$

La reactancia del conductor influye directamente aumentando la resistencia que en corriente alterna viene dada por la impedancia. En nuestro caso este valor lo llamamos:

$$X_d : - 0,0306 \text{ ohmios/Km}$$

valor deducido de la tabla N° 6 pag. 54 del Libro Transmission and Distribution.

Luego, la Reactancia inductiva total se la calcula

$$X : X_a \pm X_d$$

$$X : 0,3567 - 0,0306 : 0,3261 \text{ ohmios/Km}$$

Para el cálculo de la Impedancia (Z) se emplea:

$$Z : R \cdot \cos \phi \pm X \cdot \text{sen } \phi$$

$$Z : 0,5491 \cdot 0,9 \pm 0,3261 \cdot 0,436$$

$$Z : 0,634 \text{ ohmios/Km}$$

Finalmente :

se calcula un factor constante para cada conductor.

Este factor constante puede ser Amperios-metros o KVA-metros.

Me decido por el segundo factor:

La caída de tensión en el sistema considerado se determina como anteriormente se explicó estos es:

$$\Delta E : 2 . i . Z . L$$

de donde :

$$L : \frac{\Delta E}{2 . i . Z}$$

$$\Delta E : 9,6 \text{ voltios}$$

$$Z : 0,634 \text{ ohmios/Km}$$

$$i : \frac{1 \text{ KVA}}{240 \text{ voltios}} : \frac{1.000 \text{ v.e.}}{240 \text{ v.}} : 4,16 \text{ amp.}$$

$$L : \frac{9,6 \text{ voltios}}{2 . 4,16 \text{ amp.} . 0,634 \text{ ohmios/Km}} : 1.840 \text{ mts}$$

Es decir que este conductor es capaz de llevar un momento de carga igual a 1.840 KVA-mts.

De la misma manera se procedió para los otros conductores utilizados y permitidos por las normas.

Estos datos se encuentran en el cuadro N° 5.

Se procedió a comparar los demás sectores de la población a fin de determinar los demás ramales y dentro de cada ramal el momento de carga resultante a base de lo cual se podía escoger el calibre de conductor más apropiado.

Estos datos comparados se encuentran recopilados en la tabla del cuadro N° 6.

Consta del nombre del ramal, los KVA-mts de cada ramal y el calibre normalizado del conductor apropiado.

CUADRO N° 5

<i>CALIBRE CONDUCTOR AWG.</i>	<i>R OHMIOS/KM.</i>	<i>X_a OHMIOS/KM.</i>	<i>X_d OHMIOS/KM.</i>	<i>Z OHMIOS/KM.</i>	<i>KVA - mts</i>
# 2	0,5481	0,3567	- 0,0306	0,634	1840
# 4	0,8626	0,3723	- 0,0306	0,926	1250
# 6	1,3735	0,3903	- 0,0306	1,392	830

CUADRO Nº 6

TRANSFORMADOR Nº	POTENCIA KVA	RAMAL	KVA - mts.	CALIBRE CONDUCTOR AWG.
1	25	a	610	6
		b	1234	4
		c	850	6
2	25	a	438	6
		b	620	6
3	25	a	230	6
		b	560	6
		c	640	6
4	25	a	180	8
		b	350	6
		c	620	6
		d	530	6
5	25	a	815	6
		b	480	6
		c	1150	4
		d	380	6
6	25	a	492	6
		b	460	6
		c	615	6
7	25	a	522	6
		b	671	6
8	25	a	595	6
		b	795	6
		c	1104	4
9	25	a	430	6
		b	828	6
		c	368	6
		d	310	6
10	10	a	615	6
		b	812	6
11	10	a	435	6
		b	671	6

Estos datos reunidos en el cuadro citado anteriormente sirvieron para elaborar el plano eléctrico de la Red Secundaria de Distribución.

Diseño de la Red para Alumbrado Público.-

Este servicio requiere un análisis comparativo dado las ventajas que nos presentan los distintos tipos de alumbrado.

En nuestro caso pasaremos por alto dadas las condiciones de vida del lugar que no requiere un servicio de mayor exigencia, por tanto lo podemos, elegir en base a la facilidad de instalación y a la posibilidad de intercambiabilidad dada la existencia en el mercado.

Por ello seleccionamos el tipo de iluminación incandescente.

El control del alumbrado público se diseña automáticamente en circuitos separados los que están comandados por interruptores horarios y contactores que reciben la señal proveniente de estos interruptores.

En todo momento se pensó en los niveles de iluminación recomendados en el Manual de la Westinghouse, ellos son: # 3 Lux para tráfico medio,

1 Lux para tráfico escaso.

Estos son los tipos que se presentarán en esta población.

Para calcular el altura de montaje de las lámparas se aplico la fórmula que relaciona, la distancia entre dos lámparas consecutivas y el altura medio de los postes.

$$h = \frac{50}{10} = 5mts.$$

Cálculo de la Iluminación.-

Procedo según lo señala el Manual de Iluminación de Aloy Flo:

- 1) el nivel de iluminación de 3 Lux se aplica para las calles que rodean al parque y la calle que es la continuación de la Carretera Panamericana,
- 2) las demás calles se las diseña para un nivel de iluminación de 1 Lux,
- 3) los puntos de luz irán colocados en los postes respectivos
- 4) se usarán focos encerrados en pantallas de vidrio en el centro de la población y en las afueras bombillos con pantallas semicirculares.

Comprobación de la Intensidad de Iluminación.-

Existe una fórmula para la regulación de la intensidad de iluminación expresada en la forma siguiente:

$$I = \frac{\eta \phi}{S}$$

donde:

- ϕ : flujo luminoso, en lúmenes
- η : rendimiento lumínico : 0,3
- S : superficie iluminada, en metros cuadrados

Para las calles principales cuyo ancho es de 5 mts. el utilizar lámparas de 200 vatios se obtendría un nivel de iluminación del valor:

Las lámparas de Tungsteno en atmósfera de gas dan una intensidad de 1,28 bujías/vatio, luego como el flujo luminoso se lo calcula por: $4 \cdot \pi \cdot I$ se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Flujo luminoso} &: 4 \cdot 3,14 \cdot 1,28 \text{ bujías/vatio} \\ &: 16,01 \text{ lúmenes/vatio} \cdot 200 \text{ vatios} \\ &: 3.200 \text{ lúmenes.} \end{aligned}$$

superficie iluminada; largo x ancho

40 mts . 5mts.: 200 m²

La iluminación valdrá:

$$I: \frac{0.3 \cdot 3.200}{200}, 4,8 \text{ Lux}$$

El libro *The lighting of Streets* nos indica que para una ciudad cuya población oscile entre 5.000 y 20.000 habitantes, para calles de tráfico mediano, se necesita de 2.500 a 5.000 lúmenes por poste, siendo el altura de montaje de 4,20 a 5,40 mts. y la separación entre postes de 35 a 75 metros.

Estas normas encierran en una forma acertada los valores obtenidos por los cálculos anteriores.

En la misma forma como se procedió a calcular el nivel de iluminación al utilizar una lámpara de 200 vatios, se desarrolló para los otros casos tanto de lámparas como de tipos de calles. Cuadro N^o 7.

Cálculo de iluminación del Parque

Para la iluminación del parque utilice las indicaciones del manual de Aloy Flo:

El parque es de 40 mts. de ancho por 60 mts. de largo se puede utilizar postes ornamentales con una altura de montaje de la lámpara de 4 mts.

El nivel de iluminación será de 5 lux.

De acuerdo a las dimensiones anteriores se pueden aprovechar 10 aparatos (tabla 43).

El método se denomina de flujo luminoso y aplica:

$$\phi = \frac{E \cdot S \cdot F}{d \cdot n \cdot u}$$

Donde:

- ϕ : flujo luminoso en lúmenes
- E : iluminación en Lux
- S : superficie en m²

CUADRO N° 7

POTENCIA DE LA LÁMPARA W.	FLUJO LUMINOSO Lumenes	ANCHO DE CALLES mts.	ILUMINACIÓN Lux.
100	1600	5	2.4
		8	1.5
		10	1.2
200	3200	5	4.8
		8	3
		10	2.35
300	4800	5	7.2
		8	4.5
		10	3.6

- r : factor de la superficie a iluminarse 0,5
- d : factor de depreciación lumínico de acuerdo al ambiente 0,65
- n : número de aparatos
- u : factor de utilización de la tabla 44 de un índice del local clase C, con este índice y para aparatos de globo difusor en la tabla 21 de 0,42

Reemplazando estos valores en la fórmula se tiene:

$$\Phi = \frac{5 \cdot 2.400 \cdot 0,5}{0,65 \cdot 10 \cdot 0,42} = 2.150 \text{ lúmenes}$$

Una lámpara de 2.150 lúmenes corresponde a una cuya tensión de servicio es de 110 voltios a 125 voltios y cuya potencia corresponde a 150 vatios.

Cálculo del conductor para control del Alumbrado Público.-

Para seleccionar el calibre del conductor apropiado utilizo el método de la caída de tensión como si se tratase de un sistema de distribución radial simple.

Se elabora una tabla que nos indique los KVA-mts. hasta los que puede conducir un conductor en la forma del siguiente ejemplo:

$$\Delta E : 2 \cdot i \cdot r \cdot \cos \varphi \cdot L$$

$$I : \frac{\Delta E}{2 \cdot r \cdot \cos \varphi}$$

$$\Delta E : 0,05 \cdot 121 = 6 \text{ voltios}$$

la corriente para 1 Kw. es:

$$i : \frac{1.000}{121} = 8,25 \text{ amp.}$$

r : resistencia de cada conductor en este caso para conductor AWG # 6 : 1,3735 ohmios/km

$$\cos \varphi : 1$$

$$\frac{6 \text{ voltios} \cdot 103 \text{ mts.}}{2 \cdot 8,25 \text{ amp} \cdot 1,3735 \text{ ohmios}}$$

1: 2.650 Kw-mts

De la misma manera se efectuaron los cálculos para los conductores # 8 y # 10 AWG elaborando un cuadro N° 8.

Para cada ramal proveniente del control principal de alumbrado necesitase un conductor, se han realizado los cálculos pertinentes a fin de seleccionar en cada caso el conductor. Esto se halla resumido en la tabla del cuadro N° 9. Y sirvió para el diseño del sistema de alumbrado público.

Determinación de la Potencia de los Transformadores.-

Como se conoce la carga que va a ser alimentada por cada transformador, tanto del sistema secundario como de la red de alumbrado público sumadas ambas nos daría la Potencia individual de cada transformador.

Se ha tenido en cuenta que se debe aprovechar la capacidad de sobrecarga de los mismos por un período pequeño. Tal situación es factible puesto que los fabricantes dan un margen de sobrecarga de 120 % sin que por ello sufra un menoscabo la vida del Transformador.

Así por ejemplo para servir una zona que requiere una potencia de 30 kva puede ser servido por un transformador de una potencia nominal de 25 KVA.

Los detalles sobre las características van en el cuadro de especificaciones.

Diseño de la Red de Distribución Primaria.-

Considerada la carga total y analizadas las condiciones de funcionamiento me inclino a escoger el sistema

CUADRO N° 8

<i>CALIBRE DEL CONDUCTOR AWG.</i>	<i>R. OHMIOS</i>	<i>Kw - mts.</i>
<i># 6</i>	<i>1,3735</i>	<i>2650</i>
<i># 8</i>	<i>2,103</i>	<i>1730</i>
<i># 10</i>	<i>3,34</i>	<i>1084</i>

CUADRO N° 9

RELOJ N°	RAMAL	KW-mts.
1	a	130
	b	252
	c	276
2	a	110
	b	148
	c	235
3	a	248
	b	195
	c	285
4	a	185
	b	360
	c	272
5	a	120
	b	135
	c	220
6	a	148
	b	120
	c	300
7	a	80
	b	76
	c	95
8	a	125
	b	105
	c	145
9	a	225
	b	160
	c	300
10	a	90
	b	225
11	a	75
	b	125
	c	140

radial simple.

Selección del calibre del conductor.-

Para ello utilice el método de caída de tensión.

Aceptando la indicación del Libre Transmision end Distribution en lo pag. 682 sobre el valor de la caída de tensión entre el primero y el último transformador como de 2% estaríamos garantizando un óptimo servicio.

Pero como esto ocurriría con el devenir de los años cuando la red esté completamente cargada, se podría pensar en un valor del 3% de caída de tensión, esto es,

$$E : 0,03 \cdot 6.300 \text{ voltios} ; 18,9 \text{ voltios.}$$

Este cálculo de la caída de tensión lo hago de una manera inversa o sea comprobando que para un determinado conductor el porcentaje de caída de tensión no se exceda del valor considerado.

Calcule la caída de tensión por tramos: mediante la fórmula:

$$E_c : \frac{Kw \cdot Km \cdot \text{valor obtenido para cada conductor}}{0,01 \cdot E}$$

$$E : 6.300 \text{ voltios}$$

Para obtener el valor de recoplazo en la fórmula se procede de la manera siguiente:

se determina la caída de tensión para los siguientes valores:

$$P : 1 \text{ Kw}$$

$$l : 1 \text{ Km}$$

$$E : 100 \text{ voltios}$$

$$d : \text{distancia equivalente en la separación de los conductores; } 0,6 \text{ mts.}$$

$$\cos \varphi : 0,85$$

$$\sin \varphi : 0,528$$

La caída de tensión se calcula con la siguiente fórmula:

$$E_n : \sqrt{(E_r \cdot \cos \varphi + I \cdot R)^2 + (E_r \cdot \sin \varphi + I \cdot X)^2}$$

Ejemplo con el conductor AWG # 24

$$I : \frac{1.000}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 0,85} : 6,8 \text{ amp.}$$

$$E_n : \sqrt{(57,735 \cdot 0,8526,8 \cdot 0,8626)^2 + (57,375 \cdot 0,526,8 \cdot 0,59)^2}$$

$$E_r : \text{Tensión al neutro o sea: } \frac{100}{\sqrt{3}} : 57,735$$

$$E_n : 66,1 \text{ voltios}$$

$$E_{\text{neutro}} : 66,1 - 57,735 : 7,365 \text{ voltios}$$

E_v (valor para reemplazar en la fórmula)

$$E_v : \sqrt{3} \cdot 7,365 : 12,74 \text{ voltios}$$

De la misma manera se efectúan los cálculos para los conductores AWG # 6 y AWG # 8

Obteniendo para el primero:

$$E_v : 19,3 \text{ voltios.}$$

Y para el AWG # 8

$$E_v : 30 \text{ voltios}$$

El cálculo de la caída de tensión por tramos se halla reunido en el cuadro N° 10.

En el último tramo o sea cercano al primer transformador se verifica el valor de la densidad de la corriente para comprobar si se encuentra dentro de los límites establecidos.

$$I : \frac{447}{\sqrt{3} \cdot 6,3} : 42 \text{ Amp}$$

Comparando con la Tabla N° 34 del Manual Knowlton

CUADRO N° 10

TRAMO	CAIDA DE TENSION	CONDUCTOR AWG.
T ₁₁ - §	0.2	# 6
§ - h	0.81	# 6
h - i	1.2	# 6
i - j	1.5	# 6
j - k	0.7	# 4
k - l	1.6	# 4
l - m	0.95	# 4
m - n	5.3	# 4
n - o	5.5	# 4
o - T ₁	3.9	# 4

se deduce que no hay riesgo al utilizar ya sea el conductor AWC # 4 o el AWC # 6 o el AWC # 8, según los casos, puesto que admiten una corriente de valor mayor que el calculado.

protección de los Transformadores.-

El transformador es un elemento esencial en el funcionamiento de la Distribución de la energía eléctrica.

Esta razón nos indica que en comparación con los otros elementos, resulta de mayor costo, por lo cual se debe pensar en la protección adecuada.

Utilizamos en primer lugar los fusibles de Alta Tensión, luego los fusibles de Baja Tensión.

Los fusibles de Alta Tensión (cut - outs) se desconectan en presencia de una falla de alta impedancia en la Red secundaria o de falla en el mismo transformador.

Los fusibles de Baja Tensión son cuchillas de seguridad que poseen un mango aislado para su manipulación

Cálculo de la Corriente nominal para el diseño de los fusibles de Alta Tensión.†

$$I : \frac{60\text{KVA}}{\sqrt{3} \cdot 6,3} : 5,5 \text{ amp}$$

$$I : \frac{25 \text{ KVA}}{6,3 \text{ KV}} : 3,98 \text{ amp.}$$

Cálculo de la corriente nominal para el diseño de los fusibles en el lado de Baja Tensión.-

$$I : \frac{60 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,22 \text{ KV}} : 157 \text{ amp.}$$

$$I : \frac{25 \text{ KVA}}{0,24 \text{ KV}} : 104 \text{ amp.}$$

De la misma manera se efectúan los cálculos para los

fusibles de los otros transformadores.

Un tercer elemento de protección de los transformadores suele ser el pararrayos, el mismo que lo resguarda de los daños ocasionados por las descargas atmosféricas repentinas.

Al dar la lista de los materiales se indicará el tipo de pararrayos a utilizarse.

CAPITULO V

DISEÑO MECÁNICO

Cálculo Mecánico de los Conductores.-

Cuando un conductor se halla suspendido entre dos soportes se produce una tensión compuesta dada por el peso propio del conductor y por las cargas adicionales ya sean éstas constantes o transitorias.

Al producirse esta tensión que se traduce en un esfuerzo mecánico del conductor puede ocasionar una destrucción de su propia constitución.

Esta razón lleva a determinar las peores circunstancias a las que va a trabajar el conductor a fin de procurar darle una inclinación adecuada para un vano y temperatura dadas.

El asunto se traduce en calcular la flecha correspondiente de acuerdo al vano y a las condiciones climáticas como son: la presencia de vientos y de temperaturas.

Según las normas Americanas expresadas en el Manual Knowlton la carga que más se aproxima a las condiciones climáticas de nuestro sector son las que corresponden a una temperatura mínima de -1.1°C y una presión del viento de $4,4 \text{ pondios/cm}^2$ que equivale a una velocidad del viento de 97 Km/hora .

En primer lugar nos preocupamos del conductor utilizado en la línea de

Transmisión que es el que va a trabajar en condiciones atmosféricas muy desventajosas en comparación con los demás conductores.

Cálculo de la Flecha.-

Conductor AWG # 4

sección : 21,15 mm² ; s

diámetro : 5,19 mm ; d

peso del conductor: 0,188 Kp/m

tensión de rotura : 839 Kp

Velocidad del viento : 100 Km/h

coeficiente de seguridad : 5

Del Libro Starkstrom Freileitungen en la pag. 11 obtengo la fórmula para calcular el valor de la tensión mecánica en función de la temperatura esta es:

$$t = \frac{G_0 x^2}{240 p^2} - \frac{\alpha}{\epsilon} - \frac{G_0 x^2}{240 p_0^2} \pm \frac{\alpha}{\epsilon} p_0 \pm t_0$$

donde:

- G₀ : peso del conductor en Kp/m
- α : coeficiente de dilatación térmica (1,7 · 10⁻⁵)
- x : longitud del vano en m
- α : coeficiente de elasticidad (0,77 · 10⁻⁶)
- G₀ : G₀ ± G_w resultante final en Kp/m
- t₀ : temperatura mínima en °C
- p₀ : tensión máxima admisible en Kp/cm²
- p : tensión correspondiente a cualquier temperatura
- t : temperatura final.

Calculamos los valores parciales para reemplazarlos en la fórmula antedicha.

Componente del peso originada por el viento:

$$G_w : 4,71 \cdot v^2 \cdot d \cdot 10^{-6}$$

$$: 4,71 \cdot 100^2 \cdot 5,19 \cdot 10^{-6} : 0,244 \text{ Kp/m}$$

$$G_0 : 0,188^2 \pm 0,244^2$$

$$: 0,307 \text{ Kp/m}$$

Determino la tensión máxima admisible:

$$D_0 : \frac{\text{tensión de rotura}}{\text{coeficiente de seguridad}}$$

$$P_{01} : \frac{895 \text{ Kp}}{S = 0,211 \text{ cm}^2} = 1.420 \text{ kp/cm}^2$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$t : \frac{0,188 \cdot x^2 \cdot 10^5}{24,1 \cdot 1,7 \cdot p^2} - \frac{0,77 \cdot 10^{-6}}{1,7 \cdot 10^5} p - \frac{0,307 \cdot x^2 \cdot 10^5}{24,1 \cdot 1,7 \cdot 1420^2} \pm \frac{0,77 \cdot 10^{-6}}{1,7 \cdot 10^{-5}} 1420 \pm 0$$

$$t : \frac{465 \cdot x^2}{p^2} - \frac{p}{22,1} - 0,37 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 \pm 64,2$$

Mediante el reemplazo de valores de p calculamos los correspondientes de t, obteniendo algunos de ellos que nos permiten dibujar un cuadro N° 11 para un vano determinado.

Teniendo en cuenta ahora a los apoyos calculamos la flecha con la siguiente fórmula:

$$f : \frac{x^2 \cdot G_0}{8 \cdot S \cdot p}$$

para un vano de 50 mts por ejemplo tendríamos:

$$f : \frac{50^2 \cdot 0,188}{8 \cdot 0,21 \cdot p} : \frac{230}{p} \text{ (mts)}$$

$$f : \frac{23000}{p} \text{ (cm)}$$

Para un vano conocido se puede dibujar en un cuadro N° 11 las relaciones entre la temperatura y la flecha a través de la correspondiente tensión.

Estos datos resumidos nos sirven para el tendido de la línea de transmisión a una temperatura ambiente durante el proceso de montaje.

Cálculo de los Postes.-

Generalmente un poste está sujeto a la fatiga provocada por cargas verticales y horizontales.

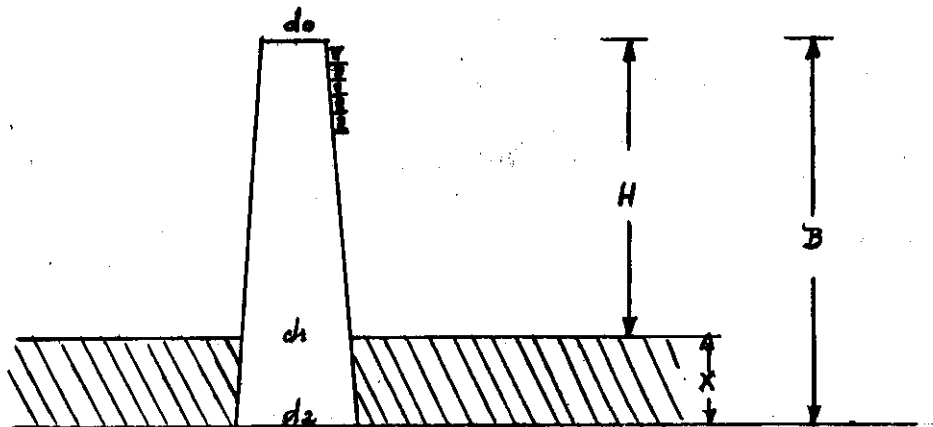
Las verticales se deben al peso de los conductores, transformadores, y equipo en general.

Las horizontales son producidas por la tensión desequilibrada de los conductores, acción proveniente del viento y en el peor de los casos por rotura de los conductores.

Por tanto un poste de servicio eléctrico debe prever las condiciones más desfavorables, a fin de garantizar su estabilidad.

Comprobación de los postes de madera a la flexión.-

La comprobación se haría para el caso más desfavorable:



Este sería para los que pudieran ser utilizados en la Distribución:

Este poste llevaría:

3 conductores # 2 AWG

1 conductor # 6 AWG

1 conductor # 8 AWG

Supongamos una longitud del vano de 45 mts.

El diámetro del poste en la punta : d_0 : 20 cms

conicidad : 0,7 cm/m

el diámetro del empotramiento será: d_1

d_1 : $20 \pm 0,7 \cdot 7,8$: 25 cm.

diámetro en la base:

d_2 : $20 \pm 0,7 \cdot 9$: 26,3 cms.

Cálculo de la presión del viento sobre el poste:-

Habría que encontrar el momento flector, es decir, el producto de la fuerza que ejerce el viento por la distancia al centro de aplicación de dicha fuerza.

M_1 : $F_1 \cdot x$

M_1 : momento flector en Kpm

F_1 : presión total ejercida por el viento sobre el poste en Kp.

x : distancia al punto de aplicación de dicha fuerza

F_1 : $k \cdot A \cdot W_v$

k : coeficiente de reducción para superficies cilíndricas expuestas al viento 0,7

A : área del poste expuesta al viento m^2

W_v : presión del viento en la zona : 125 kp/ m^2

Para calcular el área del poste expuesta al viento se debe considerar como si se tratase de un trapecio rectangular, o sea:

$$A = \frac{d_0 + d_1}{2} \cdot H$$

$$A = \frac{0,20 + 0,25}{2} \cdot 7,8 : 1,6 \text{ m}^2$$

El punto de aplicación de una presión total sobre una área trapezoidal se calcula así:

$$z : \frac{B - K}{3} \cdot \frac{d_1 + 2d_0}{d_1 + d_0}$$

$$z : \frac{7,8}{3} \cdot \frac{25 + 2 \cdot 20}{25 + 20}$$

$$z : 3,46 \text{ m}$$

Luego :

$$F_1 : 0,7 \cdot 125 \text{ kp/m}^2 \cdot 1,6 \text{ m}^2 : 140 \text{ kp}$$

Por tanto el Momento flector será:

$$M_1 : 140 \text{ kp} \cdot 3,46 \text{ m} : 480 \text{ kpm}$$

En segundo lugar se calcula el momento flector provocado por el esfuerzo del viento en los conductores:

$$M_2 : F_2 \cdot y$$

$$F_2 : n \cdot A_1 \cdot k \cdot W_v$$

n : número de conductores

$$k : 0,7$$

A₁ : área de cada conductor

para cada conductor se debe tener en cuenta el área que presenta al viento.

$$A_1 : L \cdot d : 45 \text{ m} \cdot 0,007 \text{ m} : 0,31 \text{ m}^2$$

$$F_2 : 5 \cdot 0,31 \text{ m}^2 \cdot 0,7 \cdot 125 \text{ kp/m}^2 : 81 \text{ kp.}$$

$$F_3 : 0,24 \text{ m}^2 \cdot 0,7 \cdot 125 \text{ kp/m}^2 : 21 \text{ kp}$$

$$F_4 : 0,146 \text{ m}^2 \cdot 0,7 \cdot 125 \text{ kp/m}^2 : 12,7 \text{ kp}$$

Luego el esfuerzo total de los conductores es :

$$F_0 : F_2 + F_3 + F_4 : 114,7 \text{ kp}$$

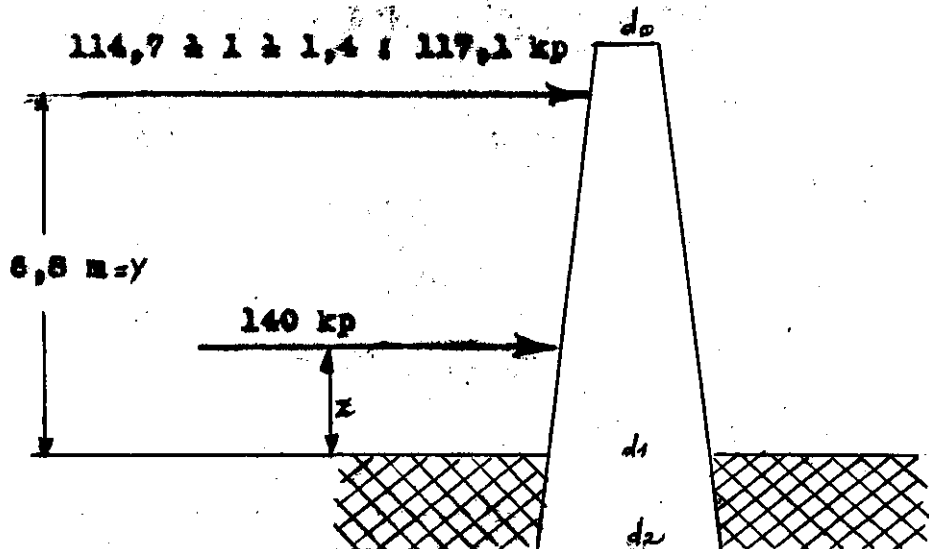
El esfuerzo efectuado sobre los aisladores será :

$$F_a : n \cdot A_{av} \cdot W_v \cdot k$$

$$F_a : 5 \cdot 0,0032 \text{ m}^2 \cdot 125 \text{ kp/m}^2 \cdot 0,7 : 1,4 \text{ kp}$$

El esfuerzo sobre el soporte de los aisladores será según Zepetti : 1 kp.

El diagrama de esfuerzos es el siguiente



El coeficiente de trabajo del poste de madera a la flexión se calcula con la fórmula :

$$R = \frac{10 M}{d_1^3}$$

R : coeficiente de trabajo en kp/mm^2

M : momento flector en kpm

d_1 : diámetro del poste en el empotramiento.

M : $M_1 \pm M_2$

M : $480 \text{ kpm} \pm 117,1 \text{ kp} \cdot 6,8 \text{ m} = 1.270 \text{ kpm}$

$$R = \frac{10 \cdot 1.270}{25^3} = 0,85 \text{ kp/mm}^2 \quad ; \quad 84 \text{ kp/cm}^2$$

Como el coeficiente de trabajo de la madera es de 150 kp/cm^2 la elección de los postes de madera de estas dimensiones son aceptables.

Es verdad que no se han considerado los casos de la combinación de la alta tensión con la baja tensión en cuyo caso aumentará el coeficiente. Por esta razón y atendiendo a los requerimientos de seguridad para este clase de servicio se utilizarán los postes de hormigón

centrifugado, cuyo uso se ha generalizado.

Aunque los postes de madera diseñados soportan bien los esfuerzos de flexión, sería conveniente analizar su comportamiento en la compresión.

Comprobación de los postes al someterlos a compresión.-

Zappetti en su libro nos da una fórmula con la cual se puede comprobar la fatiga de los postes sometidos a compresión. Esta es:

$$R_c = \frac{P}{S} \left(1 + K \frac{L^2}{m_2 \cdot I} \right)$$

donde:

- R_c : coeficiente de trabajo a la compresión
- L : longitud de la pieza sometida a la compresión en mts.
- S : sección de la pieza en mm^2
- I : momento de inercia mínimo de la pieza en cm^4
- K : coeficiente 0,02 para la madera
- m_2 : coeficiente que depende del modo de fijación de los extremos de la pieza sometida a compresión y vale 1/4 cuando el un lado se encuentra libre y el otro empotrado.

Se supone antes de todo que el esfuerzo vertical se sitúa en la punta.

La sección más peligrosa es la del empotramiento cuyo diámetro vale 25 cm.

$$\frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi 25^2}{4} : 49000 \text{ mm}^2$$

El momento de inercia correspondiente a esta pieza es $\frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi 25^4}{64} : 19800 \text{ cm}^4$

L : 7,2 m

P : peso de los conductores :

$$3 \cdot 45 \cdot 41 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} : 49,2 \text{ kp}$$

$$1 \cdot 45 \cdot 13 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} : 5,2 \text{ kp}$$

$$1 \cdot 45 \cdot 8,37 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} : 3,5 \text{ kp}$$

57,9 kp

peso de crucetas 6 kp

63,9 kp

aplizando un factor de seguridad de 3 se tiene:

$$63,9 \cdot 3 : 191,7 \text{ kp}$$

$$R_c : \frac{191,7}{48000} \left(1 \pm 0,02 \frac{7,2^2}{1/4 \cdot 19300} \right)$$

$$R_c : 0,7 \text{ kp/cm}^2$$

El esfuerzo total será la suma de ambos o sea :

$$84 \text{ kp/cm}^2 \pm 0,7 \text{ kp/cm}^2 : 84,7 \text{ kp/cm}^2$$

Con esto queda demostrado que los postes de madera cumplen las exigencias de la técnica.

Sería conveniente tratar a la madera ya sea con inyecciones de cobre o con baños de alquitrán para prevenir contra su inmediato deterioro.

El Manual Knowlton indica que teniendo buen cuidado en la selección de la madera y tratándolos conveniente se han utilizado por más de 20 años.

Para las líneas de transmisión se utilizará postes de madera de las características anotadas.

En sitios en los cuales el cambio de dirección es pronunciada se emplearán postes de hormigón centrifugado.

Comprobación de los postes de Hormigón.-

En este estudio no se incluye la construcción de un tipo determinado de postes, por esta razón lo que se hará la justificación del uso de los postes de hormigón existentes en el mercado.

Resistencia a la Flexión.-

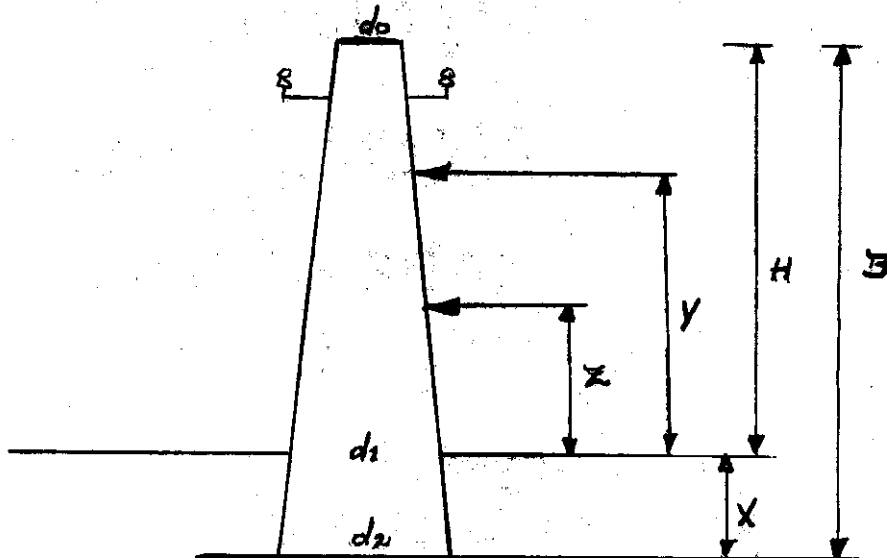
Los postes de hormigón que disponemos tienen 13 cm. de diámetro en la punta y una conicidad de 1,5 cm/m.

La fórmula que nos da el valor del coeficiente de trabajo a la flexión es:

$$R = \frac{10 \cdot d_2 \cdot M}{d_2^4 - d_1^4}$$

d_2 : diámetro en la base

d_1 : diámetro en el empotramiento



d_1 : 13 cm ± 1,5cm/m · 7,54 m : 24,3 cm

d_2 : 13 cm ± 1,5cm/m · 9,14 m : 26,7 cm.

Cálculo del momento flector.-

M_t : $M_1 \pm M_2$

M_1 : momento provocado por el viento en el poste

M_2 : momento provocado por el viento sobre los conductores.

$$M_1 : F_1 \cdot z$$

$$F_1 : k.A.W_v$$

Area del poste:

$$A : \frac{15 \text{ a } 24,3}{2 \cdot 100} \cdot 7,54 : 1,33 \text{ m}^2$$

$$F_1 : 0,7 \cdot 1,33 \text{ m}^2 \cdot 125 \text{ kp/m}^2 : 121 \text{ kp.}$$

La superficie que soporta la presión total es un trapecio se tiene:

$$z : \frac{B - X}{3} \cdot \frac{d_1 \text{ a } 2d_2}{d_1 \text{ a } d_2}$$

$$z : \frac{7,54}{3} \cdot \frac{24,3 \text{ a } 2 \cdot 15}{24,3 \text{ a } 15} : 3,38 \text{ m}$$

$$M_2 : F_2 \cdot y$$

Esfuerzo de los conductores en el peor de los casos:

Alta tensión:

$$F_p : 3 \cdot 45 \cdot 0,005189 \cdot 125 \cdot 0,7 : 57,5 \text{ kp}$$

Baja tensión

$$F_b : 3 \cdot 45 \cdot 0,0062 \cdot 125 \cdot 0,7 : 90 \text{ "}$$

Alumbrado

$$F_l : 1 \cdot 45 \cdot 0,003264 \cdot 125 \cdot 0,7 : 22,8 \text{ "}$$

Neutro

$$F_n : : 13,7$$

esfuerzo sobre los aisladores 1,4

esfuerzos sobre los soportes de los conductores 2 "

215,9 kp.

El momento flecto es igual a :

$$M_t : 121 \text{ kp. } 3,38 \text{ m a } 215,9 \text{ kp. } 5,8 \text{ m}$$

$$M_t : 2007 \text{ kpm}$$

$$\frac{10 \cdot 24,3 \cdot 2007}{24,3^2 - 15^2} : 1,54 \text{ kp/mm}^2$$

La Resistencia en los postes de hormigón alcanza un

valor de 5000 kp/cm²

En las estaciones de transformación sean éstas monofásicas o trifásicas se emplearán postes de hormigón con los detalles e indicaciones de los planos concernientes.

Los postes de la línea de Transmisión que denoten cambios de dirección utilizarán el sistema de enclajes por medio de varilla introducida en el suelo, el correspondiente tensor y los editamentos necesarios que se indicaran al señalar la lista de materiales/

LISTA DE MATERIALES PARA LA LINEA DE TRANSMISION DEL CO-
YOCTOR)- (CAÑAR

Pos.	Cantidad	Detalle
1	10	Postes de hormigón centrifugado de una sola pieza, de 9,14 m. de longitud, 13 cm. de diámetro en la punta, 1,5 cm/m de conicidad y para 300 libras de resistencia en la punta
2	60	Postes de madera, de 10 m. de longitud, 19 cm. de diámetro en la punta, 1,25 cm. de diámetro en la base, para una carga de 150 kp en la punta.
3	17	Km. de cable de cobre desnudo, de 97,3 % de conductibilidad, calibre # 4 AWG.
4	200	Aisladores de porcelana para una tensión nominal de 10 KV, y de tensión de descarga superficial en medio húmedo de 22 Kv (tipo PIN), con agujero roscado de 1 pulgada de diámetro.
5	200	Pernos rectos de acero galvanizado de 3/8 " de diámetro, roscas de plomo, para soportar los aisladores tipo PIN, cada uno provisto de tuercas y contratuerces.
6	24	Aisladores de porcelana, de tipo RETENCION para una tensión de servicio de 6,5 KV y tensión de descarga en húmedo de 22 KV, con sus respectivos accesorios para la fijación en cruzeta de acero en la parte superior y para sujetar al conductor en la parte inferior
7	1	Km de cable de acero galvanizado de 3/8 " de diámetro, para ser empleado en los anclajes de los postes
8	20	Pernos con oreja para ser utilizados en anclajes.
9	20	Templadores con oreja y gancho en sus extremos
10	20	Aisladores de retención.
11	40	Grapas de unión para el cable de anclaje de 3/8 "
12	40	Manguitos de unión para el cable de la pos.

Pos.	Cantidad	Detalle
13	40	Argollas escañaladas para los extremos
14	20	Barras de anclaje, con oreja y tuercas
15	1	Km. de alambre de cobre desnudo recoo <u>l</u> do para amarre, calibre # 10 AWG
16	1400	Libras de perfil de hierro U de 3" x 1/4"
17	70	Abrezaderas de hierro de 5/8" de di <u>ame</u> tro de 40 cm. de longitud, cada uno con 4 tuercas y 4 arandelas
18	40	Libras de pletina de acero de 1/8" x 1"

ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES DE LA RED DE DISTRIBUCION DE LA CIUDAD DE CARAR

Pos. Cantidad Detalle

Red Primaria de Distribución

19	32	Postes de hormigón centrifugado de 10 m de altura, 14 cm. de diámetro en la punta para una carga de rotura de 500 kp, similar al tipo B-7
20	6	Postes de hormigón centrifugado de 11,5m de altura, 14 cm. de diámetro en la punta, para una carga de rotura de 500 kp en la punta, similar al tipo A-2
21	720	Libras de perfil de hierro U de 3" x 1/4"
22	120	Aisladores de porcelana (tipo PIN) con agujero roscados de 1" de diámetro, para roscados de 1" de diámetro, para una tensión nominal de 6,3 KV
23	120	Pernos rectos de acero galvanizado de 5/8" de diámetro, rosca de plomo, para soporte de los aisladores de la posición 4, cada uno con tuercas y contratuerca.
24	8	Km. de cable de cobre desnudo # 6 AWG
25	1	Km. de cable de cobre desnudo # 8 AWG
26	0,4	Km. de cable de acero galvanizado, de 3/8" de diámetro, para anclajes.
27	10	Pernos de oreja para anclajes
28	10	Templadores con oreja y gancho
29	20	Grapas de unión para asegurar el cable de los anclajes.
30	20	Manguitos de unión para el mismo cable
31	20	Argollas acanaladas para utilizar en los extremos de los anclajes.
32	20	Barra de anclaje, con oreja en un extremo y tuercas el otro para introducir en el suelo
33	1	Km. de alambre de cobre desnudo recocido # 10 AWG, para amarre.

Pos.	Cantidad	Descripción
34	40	Abrazaderas de hierro de 5/8" de diámetro 40 cm de longitud, cada una con 4 tuercas y 4 arandelas.
35	1	Seccionador de cuernos, tripolar, 10 KV, 100 amperios nominales, para instalación a la interperie, con todos los accesorios para el accionamiento manual.

Estaciones de Transformación

36	3	Transformadores de distribución, trifásico, en baño de aceite, de una potencia de 60 KVA, 6300/6000/5700 a 210/121 voltios, 60 ciclos, lado de alta tensión conectado en estrella, con conmutador para variar el voltaje en los valores mencionados, lado de baja tensión, conectado en zig-zag con neutro sacado afuera, grupo de conexión C-3, en ejecución normalizada para un montaje a la interperie, con indicador del nivel de aceite, incluyendo la carga normal de aceite.
37	9	Transformadores monofásicos para funcionamiento a la interperie en baño de aceite autotemperado de 25 KVA, 6300 a 240/120 voltios, con derivaciones adicionales para poder variar la tensión en pasos de 2,5 y 5 % en más y en menos por medio de un conmutador accionable desde el exterior de 60 ciclos, con aumento de temperatura hasta 50°C del ambiente, equipado con indicador de nivel de aceite, llave para toma de pruebas, perno y tuercas para puesta a tierra, ganchos para elevación, carga completa de aceite, para funcionamiento a 3.200 mts de altura sobre el nivel del mar.
38	2	Transformadores de distribución como los de la Pos. 37, pero de 10 KVA de potencia.
39	2	Transformadores de distribución como los de la Pos. 37, pero de 5 KVA de potencia.
40	3	Estructuras completas para las estaciones de transformación, según lo indica el plano respectivo a estación trifásica
41	37	Fusibles desconectadores, tipo indicador, 7500 voltios, 50 amperios nominales, con los aditamentos necesarios para fijación

Pos.	Cantidad	Descripción
		en crucetas.
42	30	Tiras fusibles de 15 amperios para los fusibles de la Pos. 41
43	40	Tiras fusibles de 5 amperios para los fusibles de la Pos.41.
44	3	Pértigas aisladas, de 3 mts. de longitud para el manejo de los fusibles de la Pos. 41
45	37	Pararrayos de alto poder de absorción para 6300 voltios, 60 ciclos, ajustados para un funcionamiento a 3,200 m. sobre el nivel del mar.
46	9	Portafusibles para baja tensión, para 160 amperios nominales, con los respectivos fusibles y tiras fusibles, provistos de perno de 1/2" de diámetro, rodela y tuercas para sujeción en crucetas, similares a ABS.
47	18	Portafusibles como los de la Pos. 46 pero para 100 amperios nominales.
48	4	Portafusibles como los de la Pos. 46 pero para 45 amperios nominales.
49	4	Portafusibles como los de la Pos. 46 pero para 25 amperios nominales.
50	9	Tiras fusibles de 160 amperios, de repuesto, para los fusibles Pos.46
51	18	Tiras fusibles, para 100 amperios, para los fusibles Pos. 47, repuesto
52	8	Tiras fusibles, para 45 amperios, para repuesto de los fusibles Pos. 48
53	8	Tiras fusibles, para 25 Amperios, de repuesto para los fusibles Pos. 49.
54	100	Aisladores portaneutro para sujeción del neutro en la cruceta de los portafusibles de Baja tensión con su respectiva tuercas y arandela similar a : DW6R1; Cat. L.M.

Pos.	Cantidad	Descripción
<u>Líneas Secundarias</u>		
55	4	Km. de cable de cobre # 2 AWG, aislado para intemperie.
56	6,5	Km de cable de cobre # 4 AWG, aislado para intemperie.
57	11	Km. de cable de cobre # 6 AWG, aislado para intemperie.
58	7	Km. de cable de cobre # 8 AWG, aislado para intemperie
59	2	Km. de conductor semiduro cableado, aislado para intemperie # 10 AWG.
60	150	Pies de amigo (secondary racks) de acero galvanizado cada uno con cinco aisladores de porcelana para baja tensión con una distancia de los conductores de 8".
61	250	Pies de amigo (secondary racks) de acero galvanizado con cuatro aisladores de porcelana cada uno, para baja tensión con una distancia de 8" entre conductores.
62	42	Abrazaderas completas con sus respectivos pernos, para la fijación de los pies de amigo de las Pos. 60 y 61 en postes de hormigón 15 cm. de diámetro.
63	1	Km. de cable de acero galvanizado de 1/4" de diámetro, para anclaje de postes.
64	25	Anclajes para postes completos, cada uno con perno con argolla, templador dos grapas y varilla de acero galvanizado de 5/8"
65	100	Bornes de empalme para conductores de cobre de los calibres # 0 hasta # 4 AWG.
66	100	Bornes de empalme, para conductores de bre de los calibres # 4 hasta # 8 AWG.

Pos.	Cantidad	Descripción
67	400	Postes de madera de eucalipto de 9 mts. de longitud, de 18 cms. en la punta y 24 cms. en la base.
<u>Alumbrado Público</u>		
68	4	Interruptores horarios, de cuerda eléctrica, con reserva mecánica para cuatro días, contacto tripolar de una capacidad de 30 amperios, y los respectivos elementos fusibles.
69	8	Interruptores horarios, de cuerda eléctrica, con reserva mecánica para cuatro días 240/120 voltios, tensión monofásica, para una capacidad de 15 amperios.
70	12	Reflectores para alumbrado público, cerrados, para focos de hasta 500 vatios, completos, con brazo, fusible unipolar y accesorios necesarios para la fijación en postes o en paredes.
71	150	Armaduras metálicas para focos de hasta 200 vatios, cada una, con pantalla de protección, brazo de acero tubular y demás accesorios para la fijación.
72	20	Focos esmerilados de 300 vatios, para 121 voltios.
73	30	Focos esmerilados, como los de la Pos. 71 pero de 200 vatios.
74	120	Focos, como los de la Pos. 71, pero de 100 vatios.
75	5	Km. de alambre de cobre, aislado para la intemperie # 10 AWG.
<u>Alumbrado del Parque</u>		
76	10	Postes ornamentales completos, cada uno con dos lámparas, conexiones interiores, y demás accesorios.
77	20	Focos esmerilados de 100 vatios para 121 voltios.
78	120	Mts. de cable blindado, trifilar, para utilización subterránea, de 3 x 10 mm ²
79	700	Mts. de alambre de cobre aislado # 14 AWG. para conexión de las lámparas.

Pos. Cantidad Descripción

Medidores y accesorios

80	500	Medidores de Kwh. para corriente alterna monofásica, 121 voltios, 60 ciclos, 10 amperios, en ejecución normalizada con tapa metálica, tapa cubrebornes prolongada y dispositivo de lectura a tambor.
81	10	Medidores de Kwh. para corriente alterna trifásica, con carga desequilibrada sin neutro, 220 voltios entre fases, 60 ciclos, 20 amperios nominales, con posibilidad de sobrecargar hasta 300% en ejecución normalizada, tapa metálica, tapa cubrebornes prolongada y dispositivo de lectura a tambor.
82	800	Mts. de cable BX o similar con dos conductores del calibre 10 AWG cada uno.
83	500	Elementos fusibles unipolares, con neutro, para las entradas a las casas 20 amperios, con tapa metálica sellada.
84	10	Elementos fusibles tripolares, sin neutro, para las conexiones industriales, 3 x 60 amperios, con tapa metálica sellada.
85	1.500	Mts de alambre de cobre aislado para la intemperie del calibre # 10 AWG, para líneas de las acometidas.

Herramientas

86	5	Tecles, cada uno de una capacidad de hasta 400 Kp, de dos poleas, para templar alambres y cables, con su respectivo cabo de manila.
87	6	Templadores de uñas, para cable aislado de los calibres # 0 hasta # 6 AWG.
88	3	Templadores de uñas, para cable aislado de los calibres # 6 hasta # 10 AWG.
89	3	Templadores de uñas, para alambre desnudo de los calibres # 6 hasta # 8 AWG.

Pos.	Cantidad	Descripción
90	5	Equipos de herramientas para electricistas, cada uno con un par de tropezadoras, para postes de madera, un sistema de seguridad, un par de guantes de caucho, etc.
91	1	Equipo de herramientas para el taller incluyendo yunque, taladro eléctrico con soporte para uso sobre el banco, una antenalla de banco, fragua, sierra para metal, y demás.
92	5	Multímetros de pinzas, con escalas de 0 a 600 voltios y de 0 a 500 amperios, con estuche y cables de conexión.
93	1	Inductor a manivela (para medir resistencias de aislamiento) con estuche de cuero.

LISTA DE PLANOS DE LA ELECTRIFICACION DE EL CAÑAR

NUMERO	DESCRIPCION
1	Levantamiento Topográfico para la Línea de Transmisión.
2	Perfil longitudinal de la Línea de Transmisión
3	Distribución de las cargas para la Red Bancada.
4	Red Primaria de Distribución.
5	Red secundaria de Distribución.
6	Red de Alumbrado Público.
7	Estaciones monofásicas de Transformación.
8	Estaciones trifásicas de Transformación
9	Postes de la Línea de Transmisión.
10	Postes de anclaje.
11	Postes de Alta y Baja Tensión.
12	Sistema de anclaje.

BIBLIOGRAFIA

- Manual del Ingeniero Electricista
Singer
1.944
- Manual Standar del Ingeniero Eléctrico
Archer E Knowlton
Editorial Labor, 1.956
- Electric Transmission and Distribution
Westinghouse
Westinghouse Electric Corporation, 1.950
- Electric Transmission and Distribution
Skretzki B.O.A.
McGraw - Hill, 1.954
- Redes Eléctricas
Zoppetti G.
Gustavo Gil, 1.958
- Manual para Instalaciones Eléctricas de Alumbrado
y Fuerza Motriz
A. E. G.
Allgemeinen Elektrizitäts
Handbuch für Schaltenlagen
Brown Boveri Company, 1.956
- Tables Taquimétricas
W. Jordan
El Ateneo, 1.955
- Manual de Iluminación
Westinghouse Electric Corporation, 1.959

Estaciones Transformadoras y de Distribución

Zoppetti G.

Gustavi Gil, 1.955

Hydroelectric Handbook

Crenger and Justin

John Wiley and Sons, 1.950

Centrales y Redes Eléctricas

Th. Buchhold - H. Happoldt

Editorial Labor, 1.959

Manual de Instalaciones Eléctricas

A. G. Abbot y G. L. Smith

Editorial Reverté, 1.959

Starkstrom Freileitungen

Osnabrücker Kupfer und Drahtwerk

Osnabrück, 1.954

Manuel de Luminotecnia

Aley Flo

Editorial Labor, 1.943

Estática Apuntes de clase

Ing. Gale Pezmaño

Transmisión y Distribución

Ing. Vicente Jácome

Apuntes de clase, 1.956

Distribución, Apuntes de clase

Ing. Honorato Placencia

Electricidad Práctica Aplicada

Coyne

Utaha, 1953

El Ingeniero Westinghouse

Número 4, 1.950

Número 2, 1.954

Número 3, 1.959