

PROYECTO DE LA LINEA DE TRANSMISION
PARA LA CIUDAD DE LOJA

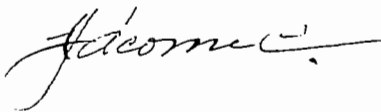
TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO EN LA
ESPECIALIZACION DE ELECTROTECNIA, DE LA ESCUELA POLITECNICA
NACIONAL

JAI ME O VELASQUEZ TERAN

Quito, Agosto de 1.956

TESIS DIRIGIDA POR:

ING. VICENTE JACOME.

APROBO: 

MIEMBROS DEL TRIBUNAL.

En el presente trabajo que no lleva otra finalidad que poner en antecedentes a los Sres. Miembros del Tribunal Examinador, se expondrán, antes de entrar a tratar del análisis de la línea de Transmisión, las características generales del proyecto, así como las propiedades generales de los materiales a usarse, manera de obtenerlos y resistencia mecánica de los mismos; esto, con el fin de conocer de antemano cuáles nos prestarían mejor servicio brindándonos más economía y seguridad.

Justificación de las características generales del proyecto.-

La central hidroeléctrica que abastecerá de energía para satisfacer las necesidades presentes y futuras de la ciudad de Loja tendrá la capacidad final de 2.400 Kws., constando de 4 grupos accionados por turbinas Pelton, siendo cada grupo de 600 Kw.

El caudal necesario para abastecer esta planta se ha tomado del río San Francisco y de la Quebrada San Ramón.

La primera etapa ha sido diseñada para 600 Kw sirviéndose de las aguas de la Quebrada San Ramón.

Justificación.- Los datos sobre la población de la ciudad de Loja proporcionados por la Oficina de Censos, son:

<u>AÑO</u>	<u>POBLACION</u>
1952	21.618

<u>AÑO</u>	<u>POBLACION</u>
1953	22.356
1954	23.079
1955	23.919
1956	24.766

Haciendo un análisis del crecimiento de población se tiene que éste aumenta el 3 o/o por año, teniendo un factor de crecimiento de 1,03.

Con un análisis para años futuros, para después de 5, 10, 15, 20 años a partir de 1956.

Se tiene:

AÑO	CALCULO	POBLACION
1956	- -	24.766
1961	24.766 (1,03) ⁵	28.750
1966	24.766 (1,03) ¹⁰	33.400
1971	24.766 (1,03) ¹⁵	38.600
1976	24.766 (1,03) ²⁰	44.950

El consumo eléctrico actual de la ciudad de Loja se limita únicamente a iluminación y en reducida parte a utencillos eléctricos de uso doméstico; siendo actualmente la industria nula. Por lo tanto para tales objetos y con el fin de efectuar un balance de necesidades de la población asigno 20 waticos por habitante, teniendo en esta forma:

Consumo necesario presente $N = 495 \text{ Kw.}$

Instalándose la primera etapa de 600 Kw en servicio, se llenan todas las necesidades presentes, quedando aún una reserva de aproximadamente 100 Kw. para consumo en alguna industria a crearse; por lo cual queda justificado el montaje de esta primera etapa.

Para después de 5 años, la población ha crecido, el estado económico actual puede haber mejorado y el nivel de vida de la población puede llegar a ser más alto, lo cual se traduce en una mayor demanda de energía de la población; en vista de esto asigno a cada habitante 30 wattios, teniendo para esa fecha necesidad de consumo necesario después de 5 años $N = 860 \text{ Kw.}$

Lo cual si se ha creado hasta entonces algunas industrias, se hace necesario el montaje del segundo grupo, pudiendo estas necesidades crecer en menor tiempo según el crecimiento industrial.

Para después de 10 años, se asigna una carga de 40 W por habitante, necesitando:

Consumo necesario después de 10 años $N = 1,340 \text{ Kw.}$

Siendo necesario los 3 grupos y aún, según las necesidades todos los 4 grupos.

Para dentro de 15 años asigno 50 wattios por habitante con una necesidad de:

Consumo necesario de 15 años $N = 1.930 \text{ Kw.}$

Lo cual ya implica el montaje de la capacidad total, por lo que se

prevee que para esta época la ciudad estará ya incrementada de la pequeña industria y aún la industria de gran consumo ya ha tomado plaza en dicha ciudad.

Siendo la capacidad máxima que se puede obtener de estos ríos de 3.000 K.V.A. (2.400 Kw. con factor de potencia 80 o/o). La línea de transmisión será proyectada para toda la capacidad de la planta que es 2.400 Kw. como potencia final.

CAPITULO PRIMERO

MATERIALES CONDUCTORES

Se llama conductor eléctrico a toda sustancia o material que permite el paso continuo de una corriente eléctrica, cuando está sometido a una diferencia de potencial eléctrico. Cuanto mayor es la densidad de corriente para una diferencia de potencial determinada, tanto más eficiente es el conductor. Los metales son los mejores conductores, siendo los mejores el cobre y el aluminio en las aplicaciones de la electrotécnica.

Propiedades de los Conductores.- Los circuitos eléctricos poseen, en general, 4 propiedades eléctricas fundamentales: Resistencia, inductancia, capacidad y resistencia de aislamiento. La capacidad y la resistencia de aislamiento dependen, por una parte, de las dimensiones exteriores de los conductores y de las distancias que los separan entre sí y de las distancias a otros cuerpos conductores y, por otra parte dependen de las propiedades dieléctricas de los materiales usados en el aislamiento. La inductancia es función del campo magnético producido por la corriente que circula por un conductor; en este campo pueden distinguirse 2 partes: una completamente externa al conductor y otra completamente interna. La resistencia es una propiedad del conductor mismo. Ambas, la resistencia y la inductan-

cia interna de los conductores, cambian de valor cuando la corriente varía muy rápidamente, como en el caso de corrientes alternas de alta frecuencia; estos cambios producen el llamado efecto pelicular.

Tipos de Conductores.- En general, un conductor se compone de un hilo o alambre de material de material conductor o de una serie de alambres, cableados, y se emplea ya sea desnudo, ya sea aislado. Normalmente los conductores son de cobre; pero para aplicaciones que requieren tensiones mecánicas elevadas, como las líneas aéreas de transmisión, pueden ser utilizado bronce, acero y varios otros compuestos.

Propiedades de los Metales.-

Peso específico y densidad.- Peso específico es el peso de la unidad de volumen y densidad es la masa de la unidad de volumen, en general el valor se refiere a la temperatura de 20°C.

Densidad del Cobre.- La densidad del cobre puro laminado, forjado o estirado, y después recocido es de 8,89. Las muestras de cobre de alta conductibilidad tienen densidades que varían entre 8,87 y 8,91, y a veces de 8,83 a 8,94.

La Densidad normal internacional, 8,89 a 20°C correspondiente al peso de 8,89 gr/cm³ o sea 8,890 kgs/met³.

Densidad del Alambre Copperweld.- Es un promedio entre la densidad del del cobre y la del acero, puede tomarse un valor de 8,15 gr/cm³ a 20°C.

0,0037.

Coefficiente de T_0 del Aluminio a 20°C y 60,97 o/o de Conductividad es 0,00403.

Coefficiente de T_0 del hierro puro.- A 20°C es 0,0064.

Coefficiente de dilatación lineal de los Metales puros.- En los límites normales de uso industrial puede aplicarse la fórmula.

$$L_2 = L_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$$

Coefficiente de dilatación de los Conductores.

Cobre	16,92 x 10 ⁶	Por α
Copperweld	12,96 x 10 ⁶	Por α
Aluminio	23 x 10 ⁶	"
Hierro puro	12,1 x 10 ⁶	"

Obtención del cobre.- El cobre es uno de los elementos más extendidos en la naturaleza, y se encuentra diseminado por todas las rocas primitivas y por los aluviones procedentes de su disgregación. El cobre se encuentra en forma de sulfuros: el más importante es la *calcopirita*; los demás sulfuros, como la *calcocina*, la *covelina* y la *bornita* tienen menor contenido de cobre.

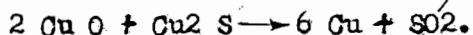
Cobre electrolítico.- El cobre electrolítico o cobre puro se obtiene electrolíticamente, y este procedimiento electroquímico se llama *refinado del cobre*. Un electrodo de cobre puro hace de catodo, y un electrodo de cobre impuro sirve de ánodo; el cobre electrolítico se depo-

sita sobre el cátodo.

Elaboración del cobre. - El material finamente molido se somete a separación hidráulica luego a flotación y se obtiene un concentrado de mineral en forma de un polvo fino; este se debe tostar, para esto necesitamos un horno especial de tostación, el mismo que es semejante a una mesa redonda dividida en sectores y de poca profundidad, con tamises al fondo, el mismo que está en movimiento lento; allí se efectúan los siguientes pasos: mediante una tubería de gas combustible se dirigen llamas sobre el mineral y por encima, pasan por una campana recolectora para hacer la succión de las llamas que penetran al interior del mineral, allí resulta el encendido de este mineral que es la calcopirita ($Cu Fe S_3$), pierde su azufre por tostación y en la campana recolectora conducen los gases de tostación concentrado por una Tubería a la fábrica de $H_2 SO_4$, y por otro sector se recolecta el SO_2 diluido y luego se descarga el material tostado. Este sistema permite un control exacto de la tostación.

A este material tostado se añade arena y se va al horno de llamas, horno de hogar que trabaja con carbón. Tiene un hogar de fundición a unos $1.2000C$, aquí se obtienen 2 capas fundidas, una capa de escorias ferruginosas y una capa de sulfuros. El hierro tiene poca afinidad por el azufre y entra en la arena formando una especie de vidrio ferruginoso. En la metalurgia al producto obtenido ($Cu S$) se le llama piedra de cobre que contiene del 40o/o al 60o/o de cobre metálico, esta misma le pasamos al agua, se obtienen gránulos, los mismos que se muelen,

hasta obtener piedra de Cu molida que pasa a una segunda tostación para eliminar otra cantidad de azufre y después de ésta se pasa a un segundo horno de fundición con arena, que es idéntico al primero, en donde se forman 2 capas: una de escorias ferruginosas y una capa de sulfuros, pero la operación no es la misma, sino que en el segundo horno se aplican palos verdes que se empujan en las masas fundidas produciendo 2 efectos, fuerte producción de gases que sirven para eliminar el azufre y como segunda consecuencia reducción del cobre y nuevamente se obtiene escorias y otro producto llamado cobre negro que tiene 90% de cobre. El cobre negro en forma líquida se introduce en un convertidor que se lo pone a 1.200°C y se sopla con aire, se produce SO₂ bien concentrado y se obtiene por tostación reacción el cobre.



y se llega a un producto que presenta hasta el 98% de pureza y que es el cobre rojo, el mismo que se usa para la elaboración de los conductores eléctricos de cobre duro.

Propiedades Mecánicas. - El cobre es un metal extraordinariamente dúctil y maleable, lo mismo en frío que en caliente; estas cualidades aumentan con la pureza del metal.

La resistencia a la tracción depende considerablemente del trabajo mecánico previo.

El límite de elasticidad sólo es apreciable con el metal batido; su valor es en este caso igual aproximadamente a la mitad de la resis-

cia a la tracción y pierde con el recocido una cantidad casi igual, en valor absoluto.

Límite de Elasticidad y Tenacidad.- Sus valores van en marcha con la dureza del cobre.- Existe cierta relación entre la carga de rotura del cobre y su conductibilidad eléctrica, que es tanto más grande cuanto más bajo es el límite de rotura, como se ve en el cuadro siguiente:

Conductividad relativa o/o	Carga de rotura Kg x mm ²
100	26,5
99,5	31
99	35
98,5	40
98	64

Módulo de Elasticidad.- Este módulo varía entre los límites siguientes:

Hilos de cobre normal 5.000 a 12.000 Kg/mm²

Hilos de cobre batiolo 9.000 a 13.000 "

Obtención del Aluminio.- El aluminio es un metal que se extrae de la bauxita, óxido de aluminio que contiene alumina, sílice, óxido de hierro, óxido de titanio y agua.

La Bauxita roja es la única que se emplea para la fabricación económica del aluminio.

La obtención del aluminio, por los procedimientos actuales, se efectúa de 2 modos:

1o) Obtención del aluminio a partir de la Bauxita.

2o) Obtención del aluminio a partir de la alúmina.

Obtención a partir de la bauxita.- El sistema es el de Bayer, que comprende 6 operaciones:

a) Pulverización de la bauxita.

b) Tratamiento por una legía de sosa cáustica en caliente.

c) Separación, por filtración, del líquido claro (solución de aluminato de sosa) de las impurezas.

d) Descomposición del aluminato de sosa, con formación de hidrato de alúmina y de un aluminato de sosa más pobre en aluminio.

e) Separación por filtración, del aluminio precipitado en la solución de aluminato de sosa.

f) Calcinación del hidrato de aluminio.

Obtención a partir de la alúmina.- Este sistema consiste en la reducción por la corriente eléctrica de una mezcla fundida de alúmina anhidra y de criolita; el calor necesario para la fusión de esta mezcla es proporcionado por la misma corriente de reducción.

La operación se verifica a la T_0 variable entre 920o y 1.000oC, según el contenido del baño de alúmina; la T_0 de fusión del aluminio es, en cambio, de más de 2.000oC.

Se efectúa la reducción en unas cubetas, compuestas de un boatidor

o armazón de metal, forrado interiormente con una capa de carbón conglomerado; esta armazón metálica va unida a uno de los conductores de la corriente (cátodo); el ánodo está formado por uno o varios electrodos de carbón, sumergidos en el baño.

Las cubetas para esta electrolisis continúa se colocan en serie y son atravesadas por una corriente que varía entre 10.000 y 30.000 amperes, se cargan varias veces al día con alúmina y, a intervalos más largos, con criolita. El gasto de energía es de unos 25 Kw. h. por kilo gramos de aluminio obtenido.

Propiedades físicas:

Densidad a 20°C	2,7	
Coefficiente de dilatación lineal por °C	23×10^6	
Resistividad eléctrica a 20°C	2,78	cm ² / ?
Coefficiente de temperatura a 20°C	0,004	
Propiedades Mecánicas	Laminado recocido	Laminado Templado
Carga de rotura (Kg/mm ²)	7-10	16-20
Límite de elasticidad (Kg/mm ²)	3-4	14-18
Modulo de elasticidad (Kg/mm ²)	6.700	6.700

Propiedades eléctricas.-

La resistividad es el 60,96 o/o de la conductividad del Cu.

Un conductor de cobre de sección unidad puede ser sustituido por un conductor de aluminio de 1,6 de sección.

Los Aislantes en los Transportes de Energía.- Los materiales corriente-
mente empleados para el ais-
lamiento de los circuitos eléctricos de alta tensión son: el aire, las ma-
terias cerámicas, los aceites de petróleo refinados y diversos compuestos
fibrosos ya fraguados. Todos estos materiales, cuidadosamente refinados
y protegidos, poseen propiedades aislantes notables a condición de que
se mantenga su estado inicial. Desgraciadamente, estas propiedades expe-
rimentan serias alteraciones inherentes a las modificaciones sufridas
durante su proceso de fabricación, en su transporte, en su instalación
y, finalmente, en su funcionamiento.

Las características esenciales que hay que exigir en el empleo de
los aislantes en alta tensión son: la conductividad y la rigidez dieléct-
rica, correspondiendo esta al factor de seguridad de la instalación. La
conductividad corresponde por su parte, a la capacidad del aislante para
resistir una pérdida lenta de electricidad y debe mantenerse por debajo
de un límite para evitar el calentamiento interno y una disminución de
la rigidez.

Aislamiento por Aire.- El funcionamiento de líneas aéreas de alta tensión
sólo es posible gracias a la conductividad extre-
madamente pequeña del aire. Pero, a causa de un fenómeno de ionización
por choque entre los electrones libres sometidos a un campo elevado de
conductividad aumenta, y de modo especial inmediatamente alrededor de
los conductores es donde la ionización es más intensa. Cuando ésta es lo
bastante elevada, da lugar al fenómeno de la descarga en Corona. La co-

rona aumenta la conductibilidad y limita las propiedades aislantes del aire.

Aislamiento por Porcelana.- Los aisladores que se usan en las líneas de alta tensión deben tener grandes propiedades aislantes combinadas con una gran resistencia mecánica y una flexibilidad suficiente.

Los aisladores de porcelana, en forma de cadena, presentan fugas eléctricas completamente despreciables, y su rotura de origen eléctrico es desconocida, salvo en el caso de grietas o de otras imperfecciones que apenas se producen en servicio sino después de largos períodos de temperatura y de humedad extremas. La cadena de aisladores constituye, sin embargo, un punto débil a causa de su vulnerabilidad a las sobretensiones de origen atmosférico. En caso de rayo directo, la descarga se verifica bajo la forma de un arco que rodea a la cadena. Para obtener un aislamiento suficiente, se aumenta el número de elementos, pero la longitud de la cadena y los gastos de montaje resultan prohibitivos.

Para reducir los efectos de la descarga a muy alta tensión, se colocan en los extremos de la cadena unos dispositivos (cuernos metálicos) destinados a derivar la descarga y a hacer pasar el arco al aire, lejos de la porcelana.

Hierro-El hierro se encuentra en estado nativo en un gran número de minerales.

A) Minerales oxidados:

a) Magnetita: de estructura cúbica, se caracteriza este mineral por tener

fractura conoidea, brillo ligeramente metálico, matiz negro, casi azulado y a veces pardo rojizo, cuando contiene un poco de titanio. Su densidad oscila entre 4,9 y 5,3.

b) Hematita.- De estructura rombóidica, con brillo metálico característico. Las superficies bruñidas son de color gris acero, y las superficies rugosas, de tono rojo de sangre. La Hematita es opaca en general, pero en láminas muy finas es transparente. A veces contiene magnetita; es infusible a la llama y se transforma en magnetita.

c) Sesquióxidos de hierro ferromagnético: el más conocido es la magnetita, cuyo magnetismo debe achacarse a la presencia de magnetita.

d) Sesquióxidos de hierro hidratados: se conocen con el nombre de goethita y lepidocrocita.

B) Minerales Sulfurados.-

a) Pirrotina: de estructura exagonal, fractura desigual, tiene destellos metálicos de color amarillo bronce rojizo, oscureciéndose al aire. Es opaca y magnética en estado natural.

b) Pirita: de estructura cúbica, fractura irregular, brillo metálico de color amarillo latón, frecuentemente irizado. Es opaca, su densidad oscila entre 4,8 y 5,2 y es excelente conductora de la electricidad.

c) Marcasita: Tiene la misma composición que la pirita, pero de diferente estructura.

Propiedades físicas en general.- El hierro posee simetría cúbica: el examen micrográfico de un trozo de metal puro pone de manifiesto un con-

glomerado de granos irregulares.

El hierro es un cuerpo polimorfo y han sido determinados sus temperaturas de transformación. Según Osmond, hay 3 variedades de hierro, llamadas α, β, γ . Curie descubrió una cuarta forma, denominada δ .

La transformación reversible $\alpha-\beta$ tiene lugar a 770°C y corresponde a una modificación magnética sin cambio de fase; la transformación $\beta-\gamma$ se efectúa a 900 C y la $\gamma-\delta$ a 1.410°C, ambas con cambio de fase.

En realidad el hierro no presenta más que 2 formas alotrópicas, de estructuras diferentes; la variedad α estable a la temperatura ordinaria e imantable, y la variedad γ , cuyas propiedades se confunden con las del hierro β .

El hierro γ es un disolvente del carburo de hierro y de otros carburos.

Densidad .- La densidad varía con la clase y la pureza del hierro;

Hierro electrolítico fundido	7,87
Hierro Armco fundido y laminado	7,9
Hierro γ	8 a 8,1.

Hierro Armco, se llama así a un hierro refinado en el horno Siemens Martin básico, con ley de 99,84 de pureza. El contenido de impurezas de los aceros extradulces ordinarios es 5 o 6 veces más elevado.

Coefficiente de dilatación.- Varía poco entre la temperatura ordinaria y la de la transformación $\alpha-\gamma$ y tiene aproximadamente el valor $15 \cdot 10^{-6}$

En cambio, el coeficiente de dilatación varía considerablemente desde el uso absoluto hasta la temperatura ordinaria; se han obtenido los si-

siguientes valores

$1,5 \times 10^{-6}$	a	225°C
$3,8 \times 10^{-6}$	a	200°C

El coeficiente de dilatación del hierro γ es más grande que el α .

Propiedades Mecánicas.-

Resistencia a la Tracción.- La curva de la siguiente figura N°1 indica las variaciones de la carga de una muestra de hierro en función de alargamiento. En esta curva se distinguen 6 partes:

OA: tensión proporcional al estiramiento; el punto A corresponde al límite de elasticidad perfecta;

AB: después de suprimida la carga, subsiste un alargamiento residual

BC; caída de la carga;

CD: resbalamiento o deslizamiento de la carga.

DE: gran alargamiento; en E la resistencia a la tracción es máxima y después disminuye hasta la rotura, en F.

El alargamiento en la rotura, así como la resistencia a la tracción, varían considerablemente con la temperatura. Hacia 300°C, la resistencia pasa por un máximo, mientras que el alargamiento es mínimo. Cerca de esta temperatura, el hierro se encuentra en las peores condiciones para el trabajo mecánico. El tamaño de los granos y su deformación desempeñan un papel importante. El recocido destruye los efectos del trabajo mecánico en frío.

En la fig. No. 2 se ven las variaciones de la resistencia a la tracción,

de la dureza y del alargamiento, en función de la reducción de espesor de una placa por laminación.

Dureza.- El hierro muy puro es relativamente blando, y esta propiedad se aprovecha para emplearlo en ciertos casos en lugar del cobre.

La dureza Brinell oscila entre diversos valores, según el experimentador.

Hierro electrolítico 66 a 83

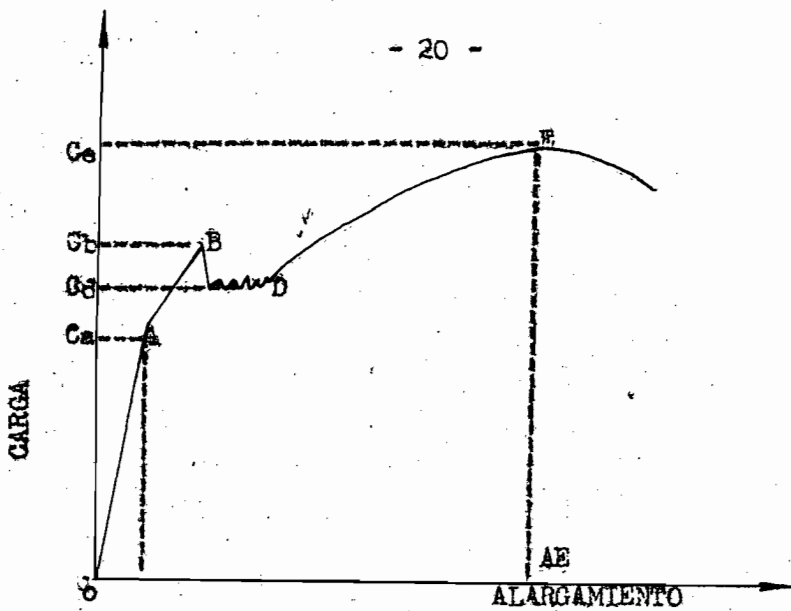
Hierro Armco 65 a 100

Acero dulce 142

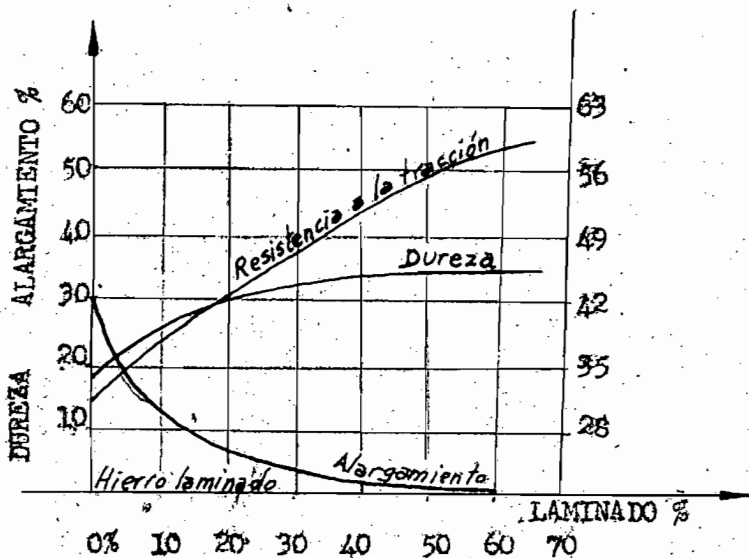
La dureza varía con el grosor de los granos y con el temple: las impurezas la modifican profundamente.

El cálculo de la rotura se hace con factores de seguridad, por lo general este factor es 3:

Si el σ de rotura es 3.600 kg/cm²; el σ admisible de trabajo será de $\sigma_{ad} = 1.200$ kg/cm²



VARIACION DE LA CARGA EN FUNCION DEL ALARGAMIENTO
SOBRE UNA MUESTRA DE HIERRO. -- Fig. 1.-



VARIACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UNA PLACA
DE HIERRO LAMINADO EN FUNCION DE LA REDUCCION DEL
ESPESOR.-

.-Fig. 2

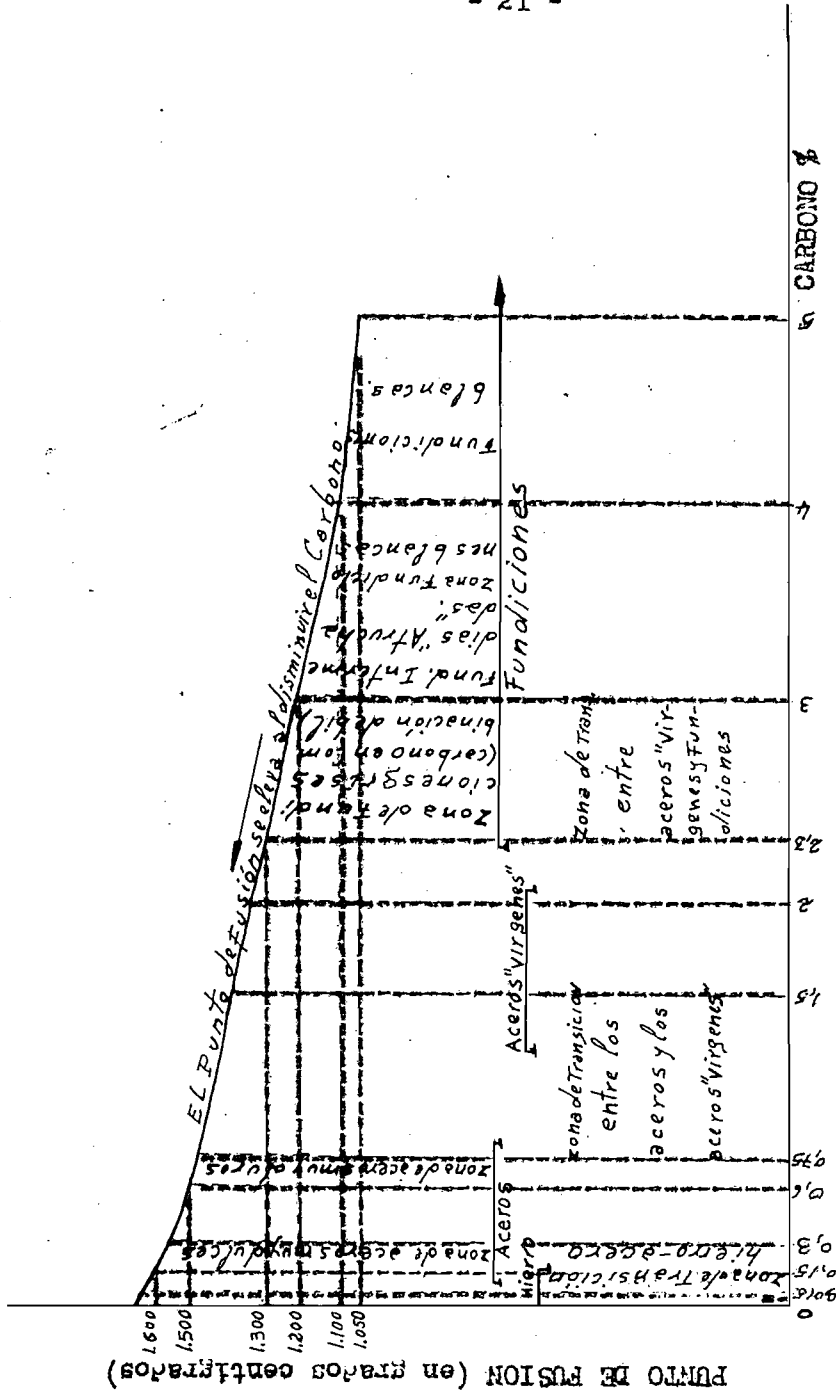


Fig. 3 - DIAGRAMA DE CLASIFICACION DE LA FUNDICION Y DEL ACERO

Clasificación de las fundiciones y Aceros según su contenido de Carbono.-

La figura 3 representa esquemáticamente esta clasificación. Las fundiciones contienen por término medio del 3 al 4o/o de carbono y algunas aún más. Como se ve en la figura, la combinación hierro carbono es tanto más fusible cuanto mayor es la proporción en que entra el carbono.

Cuando se rebaja el porcentaje de carbono contenido en la fundición hasta un 2o/o aproximadamente, se llega a una zona de transición. Siguiendo la disminución de carbono se tiene las fundiciones aceradas que dan un metal muy frágil, prácticamente sin uso apenas; su contenido en carbono es de 1,5 al 2o/o. Entre el 1,5 y el 0,75o/o de carbono se encuentra una segunda zona de transición a partir de la cual comienzan los aceros propiamente dichos.

Aceros Colados.- Las 2 clases más empleadas son:

Aceros al Niquel: Carbono 0,25o/o; níquel 3o/o, con

Resistencia media a la rotura 5.600 Kg/cm²

Alargamiento medio 25o/o

Aceros al Niquel-Cromo: Carbono, 0,25o/o; níquel 2o/o; cromo 1o/o; con

Resistencia media a la rotura 6.600 Kg/cm²

Alargamiento medio 20o/o.

Los colados de acero especial se someten actualmente a un tratamiento de normalización hacia los 900oC, seguido de una ^{ene}regeneración por calentamiento a temperatura superior al punto crítico, y de un enfriamiento al aire: la primera operación da homogeneidad, y la segunda da finura a la granulación.

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS CONDUCTORES.- ESTAS CARACTERISTICAS LAS EXPRESAMOS EN LAS TABLAS SIGUIENTES:

Tabla No. 1

Características de Cables de Cobre duro de 97,3o/o de Conductividad

Dimensiones del Conductor				Intensidad Máxima Amperes	Resistencia Ω / Km cond.
No.	Sección mm ²	No. Hilos	Diám. mm		
0000	107,22	7	13,26	484	0,1883
000	85,03	7	11,78	416	0,2374
00	67,43	7	10,51	359	0,2989
0	53,47	7	9,35	309	0,3772
1	42,48	7	8,33	266	0,4754
2	33,63	7	7,42	230	0,5990
3	26,67	7	6,6	198	0,7581
4	21,15	7	5,89	171	0,9507

Tabla No. 2

Características del cable de aluminio con refuerzo o alma de acero				
Dimensión del conductor		Número de Hilos		Diámetro exterior mm
No. del conductor	Sección mm ²	Aluminio	Acero	
0 0 0 0	107,2	6	1	14,3

TABLA Nº 2

CARACTERÍSTICAS DEL CABLE DE ALUMINIO CON REFUERZO C ALMA DE ACERO

Dimencion del conductor		Número de hilos		Diámetro mm	Intensidad max. Amper	Pa en %km	Conc. de Cobre equiv.	
Nº del conductor	Sección mm ²	Aluminio	acero				Nº	Sección
0000	107,2	6	1	14,3	340	0,3679	00	67,5
000	85	6	1	14,3	303	0,4498	0	53,5
00	67,5	6	1	11,35	266	0,5561	1	42,4
0	53,5	6	1	10,11	233	0,696	2	33,5
1	42,4	6	1	9,2	199	0,8575	3	26,7
2	33,6	6	1	8,3	179	0,0501	4	21,1
3	26,7	6	1	7,14	157	1,2863	5	16,8
4	21,1	6	1	6,35	135	1,5970	6	13,3

CAPITULO SEGUNDO

La Transmisión sirve para hacer un transporte de la energía desde el Lugar de producción al centro de consumo.

Por la selección de la maquinaria que servirá a esta instalación se tiene que esta línea será del tipo trifásico, 60 c/s, potencia 2.400 kw, Distancia 15 Kmts. $\text{Coef.} = 0,8$.

La instalación se ha proyectado para servicio inmediato de 600 Kw y para el futuro con 2.400 Kw. La línea de transmisión se la calculará para la potencia futura del servicio.

CARACTERISTICAS GENERALES DE DISEÑO.- Una línea de Transmisión y su diseño se basan en la selección de los conductores y accesorios, de manera de obtener un conjunto tal que permita transportar la cantidad de energía que se requiere, con un costo promedial mínimo durante toda la vida de la línea.

El diseño eléctrico de la línea de Transmisión se repartirá en los siguientes capítulos.

- 1o) Selección del voltaje
- 2o) Calibre del conductor y tipo del mismo.
- 3o) Caída de tensión. Regulación.
- 4o) Pérdidas (potencia y energía)
- 5o) Pérdidas por efecto corona.
- 6o) Control del voltaje.
- 7o) Sistemas de protección.

00146

8c) Pararrayos

10) Conexión a tierra del neutro.

SELECCION DEL VOLTAJE.-

La Selección de la tensión es el tema propio del proyecto, y es un aspecto netamente económico, la elección se hará mediante presupuestos comparativos, mediante una serie de aspectos que incluyen la totalidad de equipos.

Para más o menos poder escoger las secciones más económicas, aplico la fórmula empírica $E = 150 \sqrt{N} \sqrt[3]{L}$

N = Potencia en kilovatios.

L = Longitud de Transmisión.

Reemplazando valores tenemos:

$$E = 150 \sqrt{2.400} \sqrt[3]{16} = 18.600 \text{ Volt.}$$

Se tomará muy en cuenta la estandarización para en cualquier momento en caso de falla de la línea se pueda tener intercambio de equipo del mantenimiento de la línea, por lo tanto tomaremos para nuestros presupuestos 3 tensiones estandarizadas que son:

13,2 Kv 22 Kv 33 Kv.

El conductor más Económico.- Se lo determinará por tanteo sobre varias secciones, y su cálculo irá paralelo con el de la Tensión más económica, se elegirá aquel para el cual resulte mínima la suma del costo anual de las pérdidas de energía y de las cargas financieras anuales.

En el presente trabajo se hará un estudio comparativo, entre el servicio de la línea con conductores de cobre y aluminio reforzado con acero, cuyas características de ambos he detallado anteriormente. Para más o menos escoger los conductores que nos permitirán seleccionar los más económicos usaremos la fórmula:

$$S = \frac{100 \rho N.L.}{P_p \times E^2 \cos^2 \phi}$$

la misma que viene dada en función del porcentaje de pérdidas, admisible en la línea.

S = Sección del conductor en mm.

ρ = resistividad del conductor.

N = Potencia de la línea en Kw.

P_p = pérdida de potencia, máxima admisible, en o/o.

E = Tensión de Trabajo de la línea en voltios.

Tomaré 3 secciones para cada tensión y cada clase de conductor (3 para cobre y 3 para aluminio), los mismos que, correspondiendo a las 3 tensiones admitidas darán lugar a 18 proyectos o sea a presupuestos que nos llevarán a comparar y seleccionar el calibre y tensión más económica.

Selección de la Sección del Conductor.-

Para conductor de cobre.-

$$\text{Con } 13,2 \text{ Kv} \quad S = \frac{100 \times 2.400 \times 16 \times 1.000}{6 \times 13.200^2 \times 0,64 \times 57} = 100,0 \text{ mm}^2$$

Para esta tensión escogemos sólo 2 calibres que son:

No.	Sección mm ²
0000	107,22
000	85,03

$$\text{Con 22 Kv} \quad S = \frac{100 \times 2.400 \times 1.000 \times 15.000}{4 \times 22^2 \times 10^6 \times 0,64 \times 57} = 57 \text{ mm}^2$$

Con lo que se puede escoger los 3 calibres siguientes:

Conductor No.	Sección (mm ²)
0 0	67,43
0	53,47
1	42,48

$$\text{Con 33 Kv} \quad S = \frac{100 \times 2.400.000 \times 15.000}{4 \times 33^2 \times 10^6 \times 0,64 \times 57} = 276 \text{ mm}^2$$

que podríamos escoger los calibres siguientes

Conductor No.	Sección mm ²
1	42,48
2	33,63
3	26,67

Para conductor de Aluminio reforzado con Acero:

$$\text{Con 13,2 kv} \quad S = \frac{100 \times 24.000.000 \times 15.000}{6 \times 13,2^2 \times 10^6 \times 0,64 \times 34,6} = 15^6 \text{ mm}^2;$$

Esto nos impone que, por ser los calibres demasiado gruesos habrá que usar 2 circuitos, lo que, a primera vista se ve que no es nada económico porque los aisladores son más, las estructuras son más fuertes y todos los equipos de protección se duplican encareciendo enormemente

la obra, por tanto para nuestro breve proyecto no usaremos cables de aluminio con tensión de 13,2 Kv.

$$\text{Con 22 Kv: } S = \frac{3.840 \times 10^8}{0 \times 22^2 \times 10^6 \times 0,64 \times 34,6} = 100 \text{ mm}^2$$

escogemos los calibres siguientes:

<u>Conductor No.</u>	<u>Sección mm²</u>
0 0 0 0	107,2
0 0 0	85
0 0	67,5

$$\text{Con 33 Kv } S = \frac{3,840 \times 10^8}{0 \times 33^2 \times 10^6 \times 0,64 \times 34,6} = 67 \text{ mm}^2$$

Escogemos los calibres siguientes:

<u>Conductor No.</u>	<u>Sección mm²</u>
0 0 0	85
0 0	67,5
0	53,5

Escogidas estas secciones de los conductores cuyas características las tenemos expresadas en las Tablas 1 y 2, podemos efectuar nuestro cálculo de las características eléctricas en cada uno de los casos.

Resumen de las diversas secciones material y tensiones a usar.

<u>Tensión Kv.</u>	<u>Material Conductor</u>	<u>Conductor No.</u>	<u>Sección mm²</u>
13,2		0 0 0 0	107,22
	Cobre	0 0 0	85
	aluminio	- - - - -	- - - - -

Tensión Kv	Material Conductor	Conductor No.	Sección mm ²
22	COBRE	0 0	67,43
		0	53,5
		1	42,48
	Aluminio	0 0 0 0	107,2
		0 0 0	85
		0 0	67,5
33	Cobre	1	42,48
		2	33,63
		3	26,67
	Aluminio	0 0 0	85
		0 0	67,5
		0	53,5

Tabla 3

Para poder calcular la Inductancia de la línea, admitimos una separación mínima de 1,2 mt (4 pies) para 13,2 y 22 Kv. , 1,5 mts (5 pies) para 33 Kv.

Resistencia de los conductores.-

Para conductores de cobre; tenemos en la tabla No. 1 los valores por unidad de longitud (Ω / Km), los mismos que debemos multiplicar por 3 y por la longitud total, de la línea para tener la resistencia total .

Para los calculos se usa generalmente R de un conductor. La potencia perdida total es $P = 3 I^2 R$.

Conductor No.	Resistencia Ω /Km	Resistencia total Ω
0 0 0 0	0,1883	9,0
0 0 0	0,2374	11,4
0 0	0,2989	14,3
0	0,3772	18,0
1	0,4754	22,6
2	0,599	28,6
3	0,7581	36

Para conductores de aluminio.- Los valores de la resistencia por unidad de longitud para este conductor los tomamos de la tabla 2 para la resistencia total se multiplica por 3 y por la longitud total de la línea de Transmisión.-

Conductor No.	Resistencia Ω /Km.	Resistencia total Ω
0 0 0 0	0,3679	17,5
0 0 0	0,4498	21,4
0 0	0,5561	26,6
0	0,696	33,4

Cálculo de la reactancia de la línea.- Todo conductor recorrido por una corriente alterna se encuentra sometido a la influencia de su propio campo magnético, que produce

en el conductor una f.e.m., llamada de autoinducción. Su valor, según las leyes del electromagnetismo depende del coeficiente de autoinducción L , el que a su vez es función del diámetro de la línea (d')

Como, además, la línea se compone de 3 conductores, los campos magnéticos engendrados por cada uno de ellos influyen sobre los conductores próximos. Las f.e.m. que así se producen se llaman f.e.m. de inducción mutua. El coeficiente de inducción mutua depende de la distancia entre conductores (a).

Estos 2 fenómenos de inducción que se presentan simultáneamente se componen dando un coeficiente de inducción de servicio que se designa por L_s . Para obtener la inductancia total se multiplica este valor por la longitud, dando lugar a una inductancia L_t . A causa de la disposición asimétrica de los conductores resultando lo que da lugar a distintas caídas de tensión en los 3 conductores, provocando así un desequilibrio en la tensión. Para evitar esto, se transpondrán los 3 conductores, en la forma que lo indica el gráfico No. 4, es decir se los está sujetando a una rotación en tal forma, que cada conductor ocupe una de las 3 posiciones en cada período de transposición, los mismos que por ser el perfil sumamente escarpado no serán de igual longitud, y se efectuará las transposiciones en los puntos que luego se indique. En este punto de transposición, como se analizarán después se pondrá un poste de amarre de los conductores.

La reactancia de la línea es igual a la pulsación multiplicada

por la reactancia o sea $X = 2\pi fl$. Para su cálculo aplicamos la siguiente fórmula.

$$X = (2\pi fl 0,46 \lg \frac{2,57 a}{d}) 10^{-3}$$

X = reactancia de la línea

f = frecuencia de la línea (60 c/s)

l = Longitud de la línea en mts.

a = distancia entre conductores en ctm.

d = diámetro del conductor en ctm.

Reemplazamos los valores en los diferentes calibres a usarse en

Para conductor de cobre

Para 13,2 y 22 Kv; se admite una separación de 1,2 mts, el diámetro lo tomamos de la tabla N° 1.

Para 4/0

$$X = 2\pi \times 60 \times 16 \times 0,46 \lg \frac{2,57 \times 120}{1,326}) 10^{-3} = 2,7751 \lg \frac{308}{1,326} = 6,6 \Omega$$

Para 3/0

$$X = 2,775 \lg \frac{308}{1,178} = 6,72 \Omega$$

Para 2/0

$$X = 2,775 \lg \frac{308}{1,05} = 6,85 \Omega$$

Para 1/0

$$X = 2,775 \lg \frac{308}{0,935} = 7 \Omega$$

Para 1

$$X = 2,775 \lg \frac{308}{0,83} = 7,15 \Omega$$

Para tensión de 33 kv

Para N° 1

$$X = 2,775 \lg \frac{2,57 \times 150}{0,833} = 2,775 \lg \frac{385}{0,833} = 7,4 \Omega$$

Para N° 2

$$X = 2,775 \lg \frac{385}{0,742} = 7,51 \Omega$$

Para N° 3

$$X = 2,775 \lg \frac{385}{0,66} = 7,7 \Omega$$

CON CONDUCTOR DE ALUMINIO

El diámetro lo tomamos de la tabla N° 2

Tensión de 22 kv

Para N° 4/0

$$X = 2,775 \lg \frac{308}{1,43} = 6,46 \Omega$$

Para N° 3/0

$$X = 2,775 \lg \frac{308}{1,28} = 6,6 \Omega$$

Para N° 2/0

$$X = 2,775 \lg \frac{308}{1,135} = 6,78 \Omega$$

Con tensión de 33 kv

Para 3/0

$$X = 2,775 \lg \frac{385}{1,275} = 6,9 \Omega$$

Para 2/0

$$X = 2,775 \lg \frac{385}{1,135} = 7,05 \Omega$$

para 1/0

$$X = 2,775 \lg \frac{385}{1,01} = 7,2 \Omega$$

Para tener facilidad al efectuar los cálculos posteriores, agrupamos en una tabla los valores obtenidos:

Tensión kV	Clase de conductor	Numero del conduc-	Seccion mm ²	Resistencia Por conductor	Reactancia Por conduc- tor	Tb. No.4
13,2	Cobre	0000	107,22	3	6,6	
		000	85	3,71	6,72	
22	Cobre	00	67,43	4,76	6,85	
		0	53,5	6	7	
		1	42,48	7,54	7,15	
	Aluminio	0000	107,22	5,83	7,4	
		000	86	7,2	7,51	
		00	67,5	8,86	7,7	
33	Cobre	1	42,48	7,54	6,46	
		2	33,63	9,53	6,6	
		3	26,67	12	6,78	
	Aluminio	000	85	7,1	6,9	
		00	67,5	8,86	7,05	
		0	53,5	11,1	7,2	

Con estos datos obtenidos podemos calcular la caída de ten-

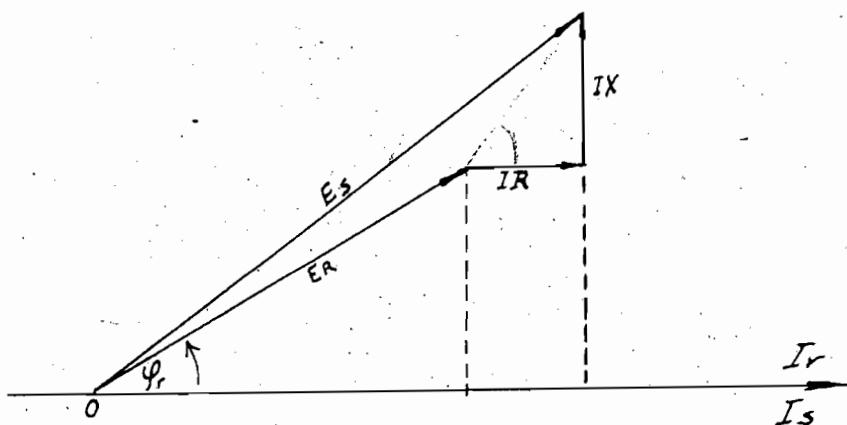
sión.

CALCULO DE LA CAIDA DE TENSION.-

Debido a la resistencia óhmica que ofrece la línea se efectúa una caída de tensión y, debido a la reactancia que se encuentra en cuadratura con la corriente se efectúa otra caída de tensión, dando lugar a una caída de tensión que es igual a la diferencia del voltaje a la salida de la estación de transformación y la tensión de llegada a la subestación.

Si la tensión de llegada se desea que sea, 13,2722 o 33 Kv, la tensión de salida será mayor, además, debido a la reactancia varía también el factor de potencia ϕ . teniendo (ϕ_r = recepción: ϕ_s = salida).

Esto lo explicamos mejor en el gráfico No. 5 siguiente



- E_s = tensión de salida,
- E_r = tensión de recepción
- R = Resistencia de la línea
- X = Reactancia de la línea

$$\varphi_r = \varphi \text{ reseñión (Cos } \varphi_r = 0,8 \text{)}$$

$\varphi_s = \varphi$ de salida.

I = Corriente de la línea

Para calcular la tensión de salida nos valemos de la fig 5.

en la que se ha representado por vectores las tensiones, y por geometría se tiene que :

$$E_{sn} = (E_{rn} \cos \varphi_r + IR)^2 + (E_{rn} \text{sen } \varphi_r + IX)^2$$

$$\text{Calculamos para } E_r = 13,2 \text{ kv: } E_{rn} = 13,2 / \sqrt{3} = 7,62 \text{ kv}$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,8 \quad \text{Sen } \varphi = 0,6$$

$$I = \frac{2.400}{\sqrt{3} \times 13,2 \times 0,8} = 132 \text{ Amp.}$$

Conductor N° 4/0

$$E_{sn}^2 = (7.620 \times 0,8 + 132 \times 3)^2 + (7.620 \times 0,6 + 132 \times 6,5)^2$$

$$E_{sn}^2 = (6.096 + 396)^2 + (4.572 + 860)^2$$

$$E_{sn}^2 = 71,5 \times 10^6 \quad E_{sn} = 8.400 \text{ volt.}$$

$$\Delta E_n = 8.400 - 7.620 = 780 \text{ volt.} = 10,2 \%$$

Conductor N° 3/0

$$E_{sn}^2 = (6.096 + 132 \times 3,8)^2 + (4.572 + 132 \times 6,72)^2$$

$$E_{sn}^2 = (6.096 + 501,6)^2 + (4.572 + 890)^2$$

$$E_{sn}^2 = 71,7 \times 10^6 \quad E_{sn} = 8.500 \text{ volt.}$$

$$\Delta E_n = 8.500 - 7.620 = 880 \text{ volt.} = 11,5 \%$$

$$\text{Calculamos para } E_r = 22 \text{ kv; } E_{rn} = 22 / \sqrt{3} = 12,75 \text{ kv}$$

$$I = \frac{2.400}{\sqrt{3} \times 22 \times 0,8} = 79 \text{ Amp.}$$

Para cobre

Conductor N° 2/0

$$E_{sn}^2 = (12.750 \times 0,8 + 79 \times 3,76)^2 + (12.750 \times 0,6 + 79 \times 6,85)^2$$

$$E_{sn}^2 = (10.200 + 296)^2 + (7.650 + 540)^2$$

$$E_{sn}^2 = 176 \times 10^6 \quad E_{sn} = 13,3 \times 10^3 \text{ volt.}$$

$$\Delta E_n = 13.300 - 12.750 = 550 \text{ volt.} = 4,3 \%$$

Conductor N° 1/0

$$E_{sn}^2 = (10.200 + 79 \times 6,06)^2 + (7.650 + 79 \times 7)^2$$

$$E_{sn}^2 = (10.200 + 475)^2 + (7.650 + 553)^2$$

$$E_{sn}^2 = 181 \times 10^6 \quad E_{sn} = 13.420 \text{ volt.}$$

$$\Delta E_n = 13.420 - 12.750 = 670 \text{ volt.} = 5,25 \%$$

Conductor N° 1

$$E_{sn}^2 = (10.200 + 79 \times 7,54)^2 + (7.650 + 79 \times 7,15)^2$$

$$E_{sn}^2 = (10.200 + 595)^2 + (7.650 + 565)^2$$

$$E_{sn}^2 = 183 \times 10^6 \quad E_{sn} = 13.500 \text{ volt.}$$

$$\Delta E_n = 13.500 - 12.750 = 750 \text{ volt.} = 5,9\%$$

PARA CONDUCTOR DE ALUMINIO

Conductor N° 4/0

$$E_{sn}^2 = (10.200 + 79 \times 5,84)^2 + (7.650 + 79 \times 6,46)^2$$

$$E_{sn}^2 = (10.200 + 460)^2 + (7.650 + 508)^2$$

$$E_{sn}^2 = 180 \times 10^6 \quad E_{sn} = 13.400 \text{ volt.}$$

$$\Delta E_n = 13.400 - 12.750 = 650 \text{ volt} = 5,1 \%$$

Conductor N° 3/0

$$E_{sn}^2 = (10.200 + 79 \times 7,1)^2 + (7.650 + 79 \times 6,6)^2$$

$$E_{sn}^2 = (10.200 + 560)^2 + (7.650 + 520)^2$$

$$E_{sn}^2 = 181 \times 10^6 \qquad E_{sn} = 13.450 \text{ volt.}$$

$$\Delta E_n = 13.450 - 12.750 = 700 \text{ volt} = 5,5\%$$

Conductor N° 2/0

$$E_{sn}^2 = (10.200 + 79 \times 9,54)^2 + (7.650 + 79 \times 6,78)^2$$

$$E_{sn}^2 = (10.200 + 752)^2 + (7.650 + 535)^2$$

$$E_{sn} = 184 \times 10 \qquad E_{sn} = 13.600 \text{ volt.}$$

$$\Delta E_n = 13.600 - 12.750 = 850 \text{ volt} = 6,68 \%$$

Calculamos para 33 kv. $E_{rn} = 33 / \sqrt{3} = 19,1 \text{ kv.}$

Para conductor de cobre

$$I = \frac{2.400}{\sqrt{3} \times 33 \times 0,8} = 45,6 \text{ Amp.}$$

Conductor N° 1

$$E_{sn}^2 = (19.100 \times 0,8 + 45,6 \times 7,54)^2 + (19.100 \times 0,6 + 45,6 \times 7,4)^2$$

$$E_{sn}^2 = (15.120 + 345)^2 + (11.420 + 338)^2$$

$$E_{sn}^2 = 377 \times 10^6 \qquad E_{sn} = 19.400 \text{ volt.}$$

$$\Delta E_n = 19.400 - 19.100 = 300 \text{ volt.} = 1,57 \%$$

Conductor N° 2

$$E_{sn}^2 = (15.120 + 45,6 \times 9,54)^2 + (11.420 + 45,6 \times 7,51)^2$$

$$E_{sn}^2 = (15.120 + 436)^2 + (11.420 + 344)^2$$

$$E_{sn}^2 = 379 \times 10^6 \quad E_{sn} = 19.450 \text{ volt.}$$

$$\Delta E_n = 19.450 - 19.100 = 350 \text{ volt} = 1,83 \%$$

Conductor N° 3

$$E_{sn}^2 = (15.120 + 45,6 \times 12,1)^2 + (11.420 + 45,6 \times 7,7)^2$$

$$E_{sn}^2 = (15.120 + 555)^2 + (11.420 + 352)^2$$

$$E_{sn}^2 = 386 \times 10^6 \quad E_{sn} = 19.600 \text{ volt.}$$

$$\Delta E_n = 19.600 - 19.100 = 500 \text{ volt} = 2,63 \%$$

PARA CONDUCTOR DE ALUMINIO

Conductor N° 3/0

$$E_{sn}^2 = (15.120 + 45,6 \times 7,1)^2 + (11.420 + 45,6 \times 6,9)^2$$

$$E_{sn}^2 = (15.120 + 325)^2 + (11.420 + 316)^2$$

$$E_{sn}^2 = 377 \times 10^6 \quad E_{sn} = 19.400 \text{ volt}$$

$$\Delta E_n = 19.400 - 19.100 = 300 \text{ volt} = 1,57 \%$$

Conductor N° 2/0

$$E_{sn}^2 = (15.120 + 45,6 \times 8,84)^2 + (11.420 + 45,6 \times 7,05)^2$$

$$E_{sn}^2 = (15.120 + 405)^2 + (11.420 + 322)^2$$

$$E_{sn}^2 = 380 \times 10^6 \quad E_{sn} = 19.460 \text{ vol}$$

$$\Delta E_n = 19.460 - 19.100 = 360 \text{ vol} = 1,89\%$$

Conductor N° 1/0

$$E_{sn}^2 = (15.120 + 45,6 \times 11,1)^2 + (11.420 + 45,6 \times 7,2)^2$$

$$E_{sn}^2 = (15.120 + 510)^2 + (11.420 + 329)^2$$

$$E_{sn}^2 = 384 \times 10^6 \quad E_{sn} = 19.600 \text{ volt.}$$

$$\Delta E_n = 19.600 - 19.100 = 500 \text{ volt} = 2,63 \%$$

PERDIDAS DE POTENCIA.-

La pérdida de potencia se debe ; 1o) A la resistencia de los conductores, los mismos que, cuando circula una corriente I, sufren un calentamiento el mismo que, por la ley de Joule se traduce en una pérdida de potencia que se la puede calcular con la fórmula $P = \frac{I^2 R}{2}$. 2o) Pérdidas de potencia debido al efecto corona. Cuando un conductor colocado en un gas, en este caso los conductores de las líneas eléctricas colocadas en el aire, adquieren un potencial suficientemente elevado y se producen pérdidas de corriente y de energía a través del aire. En las líneas este efecto es visible en la obscuridad, apreciándose como los conductores quedan rodeados por un halo luminoso azulado que los envuelve y cuya sección transversal es circular, designándose por ello a dicho fenómeno "Efecto Corona".

Las pérdidas de potencia se podrían calcular directamente con la fórmula

$$P_p = \frac{100 \rho N L}{S \cdot E^2 \cos^2 \phi}$$

Siendo conocidos todos los valores sería fácil encontrar el porcentaje de pérdida, el mismo que va a encontrarse al rededor del 60/o. porque a base de este valor escogimos el conductor. Pero, como se dispone de la resistencia e intensidad tomo ese camino para el cálculo.

CALCULO DE LAS PERDIDAS DE POTENCIA.-

1o, Debido al calentamiento de los conductores.

Tensión de Servicio 13,2 KV; $I = 13,2$ Amp.

Para conductor de cobre

Conductor No. $\frac{4}{0}$
2 2

$$P = I \times R = 132 \times 9,6 = 17.424 \times 9,6 = 168 \text{ Kw.}$$

Conductor No. $\frac{3}{0}$

$$P = 17,424 \times 12,21 = 212 \text{ Kw.}$$

Tensión de Servicio 22 KV:

2.400

$$I = \frac{2.400}{\sqrt{3} \times 22 \times 0,8} = 79 \text{ Amp.}$$

Para conductor de Cobre:

Conductor No. $\frac{2}{0}$

$$P = I \cdot R = 79^2 \times 15,2 = 6,241 \times 15,2 = 96 \text{ Kw.}$$

Conductor No. 0

$$P = 6.241 \times 19,2 = 120 \text{ Kw.}$$

Conductor No. 1

$$P = 6.241 \times 24 = 150 \text{ Kw.}$$

Para conductor de aluminio.

Conductor No. $\frac{4}{0}$

$$P = 6.241 \times 18,5 = 115 \text{ Kw.}$$

Conductor No. $\frac{3}{0}$

$$P = 6.241 \times 22,4 = 140 \text{ Kw.}$$

Conductor $\frac{2}{0}$

$$P = 6.241 \times 28,6 = 179 \text{ Kw.}$$

Tensión de servicio 33 Kv.

Para conductor de Cobre.

$$I = \frac{2.400}{\sqrt{3} \times 33 \times 0,8} = 45,6 \text{ Amp.}$$

Conductor No. 1

$$P = I^2 \cdot R = 45,6^2 \times 24 = 2.079,4 \times 24 = 50 \text{ Kw.}$$

Conductor No. 2

$$P = 2079,4 \times 30,50 = 63,5 \text{ Kw.}$$

Conductor No. 3

$$P = 2079,4 \times 38,4 = 80 \text{ Kw.}$$

Para conductor de aluminio.

Conductor No. 3/o

$$P = 2.079,4 \times 22,4 = 46,6 \text{ Kw.}$$

Conductor No. 2/o

$$P = 2.079,4 \times 28 = 58 \text{ Kw.}$$

Conductor No. 1/o

$$P = 2.079,4 \times 35,4 = 74 \text{ kw.}$$

2o) Pérdidas por efecto corona.-

La predeterminación de estas pérdidas es muy incierta, dado que depende en gran parte del estado de la superficie de los conductores y de las condiciones del tiempo.

Para un cálculo de máxima se utiliza la siguiente fórmula empírica de Peck.

$$P_c = \frac{f + 25}{244 - \pi \delta} \sqrt{\frac{r}{a}} \cdot (E - E_0) \times 10^{-5} \frac{\text{KW}}{\text{K de conductor.}}$$

en la cual:

- δ = Densidad relativa del aire.
F = frecuencia de la línea (60 c/s)
r = radio del conductor en cms.
a = separación de los conductores en cms.
E = Tensión funcionamiento de la línea en KV.
E_o = Tensión crítica del efecto corona (esta tensión en mal tiempo se reduce al 80o/o).

Cálculo de la densidad relativa del aire.- La densidad relativa del aire se la calcula con la siguiente fórmula:

$$\delta = \frac{0,392 b}{273 + t}$$

- b = altura barométrica del lugar en mm de mercurio
t = temperatura de funcionamiento.

Como la altitud sobre el nivel del mar varía, tomo 2 valores :

1o) Con 2.000 mt sobre el nivel del mar y 2o) con 2.900 mt.

Para la temperatura tenemos una variación de 0^o a 25^o, podemos tomar una temperatura media de 20o:

Para encontrar la altura barométrica teniendo la altitud aplico la fórmula de Babinety Laplace

$$L = 18.400 \lg. H/h.$$

L = Altura del lugar en mts.

H = altura barométrica del nivel del mar 76 cms.

h = altura barométrica buscada.

Para L = 2.000 mts.

$$2.000 = 18.400 \lg. 76 /h.$$

$$1/9,2 = \lg 76/h:$$

$$10^{1/9,2} = 76/h.$$

$$h = 76 / 10^{\frac{1}{9,2}} = 59 \text{ cms.}$$

$$\text{Para } L = 2.900$$

$$h = 76 / 10^{0,158} = 53 \text{ cms.}$$

$$\text{Para } L = 2.000$$

$$\int = \frac{0,392 \times 590}{273 + 20} = 0,785$$

$$\text{Para } L = 2.900 \int = \frac{0,392 \times 530}{273 + 20} = 0,705$$

Cálculo de la tensión crítica del efecto corona.-

$$E_0 = 48,5 \text{ m d.r. } \lg. a/v \text{ (Kv)}$$

m = factor de superficie del conductor

$$\text{Para hilos lisos y pulidos } m = 1$$

$$\text{Para hilos comunes } m = 0,95$$

$$1) E_0 = 48,5 \times 0,95 \times 0,785 \times v \lg. a/v = 37,2 v \lg. a/v$$

$$2) E_0 = 48,5 \times 0,95 \times 0,705 \times v \lg. a/v = 32,5 v \lg. a/v.$$

Para 13,2 kv. de servicio, la tensión crítica de efecto corona es grande, por lo tanto no hay efecto corona.

$$\text{Conductor 2/o : } 1) E_0 = 36,2 \times 0,525 \lg. 120/0,525 = 42,5 \text{ Kv}$$

$$2) E_0 = (32,2 \times 0,5 \cdot 25 \times \lg 120/0,525) - 16.0 \times 2,36 = 37,8 \text{ Kv.}$$

Comprobemos para No. 1/o

$$1) E_0 = 36,5 \times 0,47 \lg 120/0,47 = 17,3 \times 2.408 = 41,6 \text{ Kv}$$

$$2) E_0 = 32,5 \times 0,47 \lg. 120/0.47 = 15,2 \times 2.408 = 36,7 \text{ KV.}$$

Comprobemos para No. 1

$$1) E_0 = 36,5 \times 0,41 \lg. 120/0,41 = 15 \times 2,466 = 36,8 \text{ KV.}$$

$$2) E_0 = 32,5 \times 0,41 \lg. 120/0,41 = 13,3 \times 2,466 = 32,6 \text{ KV.}$$

Analizando estas tensiones críticas vemos que son mayores que las tensiones en servicio por lo tanto la diferencia E_{E_0} será negativa, lo que nos indica que no existe efecto corona, para esta tensión.

Si comprobamos con la tensión de 33 KV, tenemos que, si bien el radio de los conductores disminuye, la separación entre conductores aumenta de 1,2 a 1,5 mts. por lo tanto ni a estas tensiones puede encontrarse la tensión crítica bajo la tensión nominal de servicio, por lo tanto no tenemos efecto corona en ninguno de los lugares de funcionamiento de la línea.

PERDIDAS DE POTENCIA EN TANTO POR CIENTO:

Tensión 13,2 KV:

Conductor No. 4/o

$$P = 168 \times 100/2.400 = 7 \text{ o/o}$$

Conductor No. 3/o

$$P = 212 \times 100/2.400 = 8,8 \text{ o/o}$$

Tensión 22 KV.

Cobre:

Conductor No. 2/o

$$P = 96 \times 100 / 2.400 = 4,0 \text{ o/o}$$

Conductor 1/o

$$P = 120 \times 100 / 2.400 = 5 \text{ o/o}$$

Conductor No. 1

$$p = 150 \times 100 / 2.400 = 6,25 \text{ o/o}$$

Aluminio:

Conductor No. 4/c

$$p = 115 \times 100 / 2.400 = 4,8 \text{ o/o}$$

Conductor No. 3/c

$$p = 140 \times 100 / 2400 = 5,85 \text{ o/o}$$

Conductor No. 2/o

$$p = 179 \times 100 / 2.400 = 7,45 \text{ o/o}$$

Tensión 33 KV.

Cobre - Conductor No. 1

$$p = 50 \times 100 / 2.400 = 2,08 \text{ o/o}$$

Conductor No. 2

$$p = 63,5 \times 100 / 2.400 = 2,64 \text{ c/o}$$

Conductor No. 3

$$p = 80 \times 100 / 2.400 = 3,33 \text{ c/o}$$

Aluminio: Conductor No. 3/o

$$p = 46,6 \times 100 / 2.400 = 1,94 \text{ o/o}$$

Conductor No. 2/o

$$p = 58 \times 100 / 2.400 = 2,42 \text{ o/o}$$

Conductor No. 1/o.

$$p = 74 \times 100 / 2.400 = 3,08 \text{ o/o}$$

PERDIDAS DE ENERGIA.-

Para poder calcular las pérdidas de energía hay que disponer del diagrama de carga de la central, sea éste semanal, o estacional por

medio del cual se podía calcular el factor de carga F_c que no es otra cosa que la relación de la carga media a la carga máxima.

Debido a que no se conoce la curva de carga, se procederá a efectuar este cálculo aproximado, conforme al método proporcionado por algunos autores y que es el siguiente. Se supone que la línea trabajará durante las 24 horas del día repartidas en la siguiente forma:

5 horas	con	100 o/o de carga
19 horas	con	25o/o de carga.

Como la energía se mide en kilovatios horas; la pérdida de energía será igual a la pérdida de potencia por horas.

$$E = I^2 \cdot R \cdot \text{horas.}$$

CALCULO DE LAS PERDIDAS DE ENERGIA.-

Para tensión de 13,2 KV.

$$\text{Para } 100\text{o/o de carga} \quad I_1 = 132 \text{ A.} \quad I_1^2 = 17.424.$$

$$\text{Para } 25\text{o/o de carga.} \quad I_2 = 33 \text{ A} \quad I_2^2 = 1.089$$

Conductor No. 4/o :

$$E_1 = I_1^2 \cdot R \times 365 \times 5 = 17.424 \times 1.825 \times 9,6 = 31.810 \times 9,6 = 306.000 \text{ Kw h.}$$

$$E_2 = I_2^2 \cdot R \times 365 \times 19 = 1.089 \times 6.935 \times 9,6 = 7.550 \times 9,6 = 72.500 \text{ Kwh.}$$

$$E_{\text{total}} = 378.500 \text{ Kwh}$$

Conductor 3/o

$$E_1 = 31.810 \times 12,2 = 390.000 \text{ Kwh.}$$

$$E_2 = 7.550 \times 12,2 = 92,500 \text{ Kwh.}$$

$$E_{\text{total}} = 482.500 \text{ Kwh.}$$

PARA TENSION DE 22 KV.

Para 100 o/o de carga $I_1 = 79 \text{ A}$ $I_1^2 = 0.241.$

Para 25o/o de carga $I_2 = 19,75 \text{ A.}$ $I_2^2 = 390$

CON CONDUCTOR DE COBRE.-

Conductor No. 2/o

$E_1 = 6.241 \times 1.825 \times R = 11.390 \times 15,2 = 173.000 \text{ Kwh.}$

$E_2 = 390 \times 6.935 \times R = 2.705 \times 15,2 = 41.250 \text{ Kwh.}$

Erotal: $= 214.250 \text{ kwh.}$

Conductor No. 0

$E_1 = 11,390 \times 19,2 = 217.500 \text{ kwh.}$

$E_2 = 2.705 \times 19,2 = 52.000 \text{ Kwh.}$

Erotal $= 269.500 \text{ Kwh.}$

Conductor No. 1

$E_1 = 11.390 \times 24 = 272.600 \text{ kwh.}$

$E_2 = 2.705 \times 24 = 65.000 \text{ Kwh.}$

Erotal $= 337.600 \text{ Kwh.}$

CON CONDUCTOR DE ALUMINIO.-

Conductor No. 4/o

$E_1 = 11.390 \times 18,5 = 210.000 \text{ Kwh.}$

$E_2 = 2.705 \times 18,5 = 50.000 \text{ Kwh.}$

Erotal $= 260.000 \text{ Kwh.}$

Conductor No. 3/o

$E_1 = 11.390 \times 22,4 = 255.000 \text{ Kwh.}$

$$E^2 = 2.705 \times 22,4 = 61.000 \text{ Kwh.}$$

$$\text{Etotal} = 316.000 \text{ Kwh.}$$

Conductor 2/o

$$E1 = 11.390 \times 28,6 = 325.000 \text{ Kwh.}$$

$$E2 = 2.705 \times 28,6 = 77.500 \text{ Kwh.}$$

$$\text{Etotal} = 402.500 \text{ Kwh.}$$

PARA TENSION DE 33 KV.

$$\text{Para } 100 \text{ o/o de carga} \quad I_1 = 45,6 \text{ A} \quad I_1^2 = 2079,4$$

$$\text{Para } 25 \text{ o/o de carga} \quad I_2 = 11,4 \text{ A} \quad I_2^2 = 130.$$

CON CONDUCTOR DE COBRE.-

Conductor No. 1

$$E1 = 2.079,4 \times 1825 \times R = 3.825 \times 24 = 92.000 \text{ Kwh.}$$

$$E2 = 130 \times 6.935 \times R = 910 \times 24 = 21.900 \text{ Kwh.}$$

$$\text{Etotal} = 113.900 \text{ Kwh.}$$

Conductor No. 2

$$E1 = 3825 \times 30,5 = 116.500 \text{ Kwh.}$$

$$E2 = 910 \times 30,5 = 27.750 \text{ Kwh.}$$

$$\text{Etotal:} = 144.250 \text{ Kwh.}$$

Conductor No. 3

$$E1 = 3.825 \times 38,4 = 146.500 \text{ Kwh.}$$

$$E2 = 910 \times 38,4 = 34.900 \text{ Kwh.}$$

$$\text{Etotal} = 181.400 \text{ Kwh.}$$

CON CONDUCTOR DE ALUMINIO.-

Conductor No. 3/o

$$E1 = 3.825 \times 22,4 = 86.000 \text{ Kwh.}$$

$$E2 = 910 \times 22,4 = 20.400 \text{ kwh.}$$

$$\text{Etotal} = 106.400 \text{ Kwh.}$$

Conductor No. 2/o

$$E1 = 3.825 \times 28 = 107.000 \text{ Kwh.}$$

$$E2 = 910 \times 23 = 25.500 \text{ Kwh.}$$

$$\text{Etotal} = 132.500 \text{ Kwh.}$$

Conductor No. 0

$$E1 = 3.825 \times 35,4 = 135.500 \text{ Kwh.}$$

$$E2 = 910 \times 35,4 = 32.200 \text{ kwh.}$$

$$\text{Etotal} = 167.700 \text{ Kwh.}$$

Comprobación de la pérdida de energía por medio del factor de carga

Dado que la ciudad de Loja a la cual va a servir la instalación no tiene mucha demanda de energía para motores o en general para industria, por vía de comprobación, aceptamos un factor de carga de 0,42 . Este factor de carga nos ayuda a calcular las horas de servicio equivalentes de la planta.

FACTOR DE MULTIPLICACION F

$$F = 0.7 (fe)^2 + 0.3 fe.$$

Horas totales en un año h = 8.760 :

Horas de funcionamiento h eq:

$$H \text{ eq} = 8.760 \times F.$$

Pérdidas de Energía: $E_{\text{rotal}} = I^2_{\text{max}} \times R \times \text{heq.}$

Cálculo de las pérdidas de energía

$$F = 0,7 (0,42)^2 + 0,3 \times 0,42 = 0,112 + 0,12 = 0,252$$

$$\text{Heq} = 8.760 \times 0,252 = 2208$$

Para la tensión de 13,2 KV.

$$I = 132 \text{ A.} \quad I^2 = 17.424$$

Conductor No. 4/o:

$$E_{\text{rotal}} = 17.424 \times 9,6 \times 2.208 = 372.000 \text{ Kwh.}$$

Para 22 Kv.

$$I = 79 \text{ . } I^2 = 6.241.$$

Conductor No. 2/o

$$E_{\text{rotal}} = 6.241 \times 15,2 \times 2.208 = 213.000 \text{ Kw.h.}$$

Para 33 KV:

$$I = 45,6 \text{ A.} \quad I^2 = 2079,4$$

Conductor No. 1

$$E_{\text{rotal}} = 2079,4 \times 24 \times 2208 = 111.000 \text{ Kwh.}$$

Esta comprobación que la hemos efectuado sólo para un calibre en cada tensión nos indica que los valores tomados para la pérdida de energía tienen una buena aproximación, por lo cual sin mayor error se puede considerarlos para el cálculo de costos.

Efectuando una evaluación del kilowatio hora a \$/ 0.30 , se tiene que la pérdida de energía representa en dinero la cantidad fijada en la Tabla No. 5 (Tabla de pérdidas).

CALCULO DEL PESO TOTAL DE LOS CONDUCTORES.-

El peso por unidad de longitud (kgs. /mts) lo obtenemos de la tabla No. 21 del II tomo del manual Nowlton.

Los mismos que multiplicados por la longitud total o sea 16 kmt. nos dará el peso total de 1 hilo y esto por 3 tenemos el peso total del circuito.

Material	Calibre	Peso kgs. /Kmt	Peso total Kgs.
C O- BRE	0000	973	49.620
	000	771	39.310
	00	612	31.210
	0	485	24.735
	1	385	19.635
	2	305	15.560
	3	240	12.240
ALU - MINIO	0000	612	31.210
	000	485	24.735
	00	385	19.635
	0	305	15.560

En la siguiente tabla No. 5 resumimos las pérdidas totales de Tensión, potencia, energía y su costo; peso total, para cada calibre en su tensión correspondiente.

TENSION KV	CALIBRE	PESO TOTAL EN KILOGRAMOS	PERDIDAS TENSION		PERDIDAS POTENCIA		PERDIDAS DE ENERGIA POR AÑO KILOWAT/HORAS	COSTO DE LA ENERGIA PERDIDA \$/
			VOLTIOS	%	KILOWAT/	%		
13,2	4/0	49.620	1.350	10,2	168	7	378.500	113.550
	3/0	39.310	1.520	11,5	212	8,8	482.500	145.000
22	2/0	31.210	950	4,3	96	4	214.250	64.200
	1/0	24.735	1.160	5,25	120	5	269.500	80.800
33	1	19.635	1.300	5,9	150	6,25	337.600	101.000
	4/0	31.210	1.125	5,1	115	4,8	260.000	78.000
ALUMINIO	3/0	24.735	1.215	5,5	140	5,85	316.000	95.000
	2/0	19.635	1.470	6,68	179	7,45	402.500	120.000
COBRE	1	19.635	520	1,57	50	2,08	113.900	39.500
	2	15.560	610	1,83	63,5	2,64	144.250	43.300
33	3	12.240	870	2,63	80	3,33	181.400	54.200
	3/0	24.735	520	1,57	46,6	1,94	106.400	32.000
ALUMINIO	2/0	19.635	625	1,89	58	2,42	132.500	39.000
	1/0	15.560	870	2,63	74	3,1	167.700	50.100

Para poder entrar al cálculo económico que determinará la sección y tensión económicas, tenemos necesidad de conocer el número de aisladores y torres de retención y soporte; para lo cual se efectúa el cálculo del vano y se hace la distribución, que en este caso todavía será sólo aproximada pudiendo variar cuando se haga el estudio mecánico de la línea, cuestión que se tratará en el próximo capítulo.

VANO CRITICO.- Para la determinación de este vano crítico, aplicamos la siguiente fórmula

$$L_c = \frac{T}{d} \frac{\sqrt{24 \alpha (\theta_1 - \theta_2)}}{\sqrt{V_1^2 - V_2^2}} \times 10^3 \text{ (mts)}$$

en la que:

L_c = vano crítico

T = La tensión del conductor, prácticamente constante, de un extremo a otro de un mismo vano expresada en kgs.

d = diámetro del conductor, en mm.

α = coeficiente de dilatación lineal, o alargamiento del conductor por mt. y por grado centígrado de aumento de temperatura.

θ_1 , y θ_2 = Las temperaturas en diversos estados en grados centígrados

V_1 , y V_2^2 = Esfuerzo del viento sobre el conductor, referido a la unidad de superficie de sección longitudinal, en kgs /m²

Generalmente se adoptan las temperaturas siguientes:

Región de clima caluroso - Mínima 15°, Media = 30°, Máxima = 50°.

Región de clima medio - Mínima 8° Media = 20° Máxima = 40°

Región de clima frío - Mínima 0° Media = 15° Máxima = 35°

Para nuestro caso tomamos el tercero correspondiente al clima de montañas con lo que tendríamos las siguientes temperaturas.

Mínima = 0° Media = 15° Máxima = 35°

Valores que sirven para reemplazar en la fórmula.

La presión del viento será la siguiente:

Según la apreciación hecha de la velocidad en el terreno donde se instalará la línea y reducida esta a presión sobre los conductores alcanza el valor de 130 Kg/mt² actuando en sentido perpendicular a la línea y aplicando un coeficiente de reducción de 0,7 por tratarse de conductores circulares se tiene 130 x 0,7 = 91 Kg/mt².

Para la temperatura durante el invierno tomo una presión del viento de 0 Kg/mt²

Con estos valores se puede calcular el vano crítico.

$$L_c = \frac{T}{d} \sqrt{\frac{24 \alpha (\theta_1 - \theta_2)}{V_1^2 - V_2^2}} \times 10^3$$

Como no es sino una aproximación lo que se calcula en este capítulo

Para el cobre tomamos el que mayor tensión ofrece, o sea el 4/0

d = 13,2 mm.

T = 4,152 Kgs. coeficiente de seguridad 2,5: T = 1.660 Kgs.

$$L_c = \frac{1.660}{13,2} \sqrt{\frac{24 \times 16,92 \times 35}{91^2}} = 125 \times 1,2 = 151 \text{ mts.}$$

El vano medio escogido para la determinación de torres y aisladores en un número pero no definitivo es de 150 mts.

Número de torres = $16.000 / 150 = 114$ torres.

Si aceptamos que vayan torres de amarre cada 3 Kmts. podemos decir que vamos a tener 6 torres de amarre, las torres de deflexión que también son torres de amarre llevarán aisladores de retención, estas son en número de 16. Esto nos determina el número de aisladores de soporte y de retención.

Número de aisladores de soporte = $92 \times 3 = 276$

Para las torres de amarre se pondrá aisladores de cadena (los cuales se tratará posteriormente) los mismos que irán compuestos de 2, 3, 4, o campanas, según la tensión de que se trate. Por lo general se pone 1 para 13,2 kv, 2 para 22 kv, 3 para 33 kv. aumentando uno para postes de ángulo y retención.

Para 13,2 kv.	12 por torre	Total = 264 (2 por cadena)
Para 22 kv.	18 por torre	Total = 396 (3 por cadena)
Para 33 kv.	24 por torre	Total = 528 (4 por cadena)

CALCULO DE COSTOS.-

Este lo dividimos en dos partes: la una que considera el costo inicial de la obra y el otro el costo del capital.

1º) COSTO INICIAL DE LA OBRA

Para esto hago una lista de precios de los materiales empleados, los mismos que luego irán resumidos en una tabla. Estos valores han sido extraídos de un catálogo proporcionado por la casa Westinghouse.

TRANSFORMADORES: 60 c/s ; 3 fases; 2.400 /13.200

2.500 K.VA \$ 14.400 cada uno: son \$ 28.800

TRANSFORMADORES 60c/s, 3 fases, 2.400/22.000

2.500 KVA; a \$ 14.800 cada uno son 29.600

TRANSFORMADORES 60 c/s, 3 fases, 2400/33.000

2.500 K.V.A. a \$ 15.300 son 30.600

Interruptores automáticos, en baño de aceite

para altas tensiones

Para 13,2 KVA. 2.550

Para 22 KV 5.000

Para 33 KV 9.200

Seccionados tripolar de potencia tipo de cuernos,

con contacto a tierra, con sistema de accionamiento.

to.

Para 13,2 KV \$ 257.50

Para 22 KV 304,15

Para 33 KV 374,28

CONDUCTORES.- Para el precio

de los conductores de cobre sacados del Diario El Comercio el mismo que

es a \$ 817,3 la tonelada.

Para calibre 4/o peso 49,62 Tn \$ 40.550.00

Para calibre 3/o peso 39,31 Tn 32.000.00

Para calibre 2/o peso 31,21 Tn 25.450.00

Para calibre 1/o peso 24.735 Tn 20.250.00

Para calibre 1 peso	19.635 Tn	\$ 16.000.00
Para calibre 2 peso	15.56 Tn	12.650.00
Para calibre 3 peso	12.24 Tn	10.000.00

Conductor de Aluminio con alma de
acero.

Calibre 4/o precio \$ 344,47 por kilómetro	\$ 17.500.00
Calibre 3/o precio \$ 272,02 por kilómetro	13.800.00
Calibre 2/o precio \$ 218,68 por kilómetro	11.700.00
Calibre 1/o precio \$ 176,19 por kilómetro	8.980.00

PARARRAYOS, ajustados para la altura,
por juego de 3 unidades.

Para 13,2 KV, cada juego - \$	\$ 238.00
Para 22 KV cada juego \$	310.00
Para 33 KV. cada juego \$	450.00

Aisladores, tipo PIN, normados de soporte

Para 13,2 KV, precio \$ 2,8 c/u	\$ 772,00
Para 22 KV precio \$ 3,6 c/u	1.995,00
Para 33 KV precio \$ 4,4 c/u	1.220,00

Aisladores de retención

Para 13,2 KV precio \$ 6 c/u	\$ 1.580,00
Para 22 KV precio \$ 9 c/u	3.560,00
Para 33 KV precio \$ 12 c/u	6.200,00

Todos estos valores agrupamos en una sola tabla No. 6

VOLTAGE	CALIBRE	TRANSFORMADORES	SECCIONALES	CONJUNTO RES	PARARRAYOS	AISLADORES SOPORTE	AISLADORES RETENCION	TOTAL
		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
13,2	4/0	28.800,00	257,10	40.550,00	238,00	772,00	1.580,00	72.977,10
	3/0			32.000,00				63.627,10
22	2/0			25.450,00		995,00		60.219,15
	1/0	29.600,00	304,15	20.250,00	310,00		3.560,00	55.019,15
	1			16.000,00				60.769,15
33	4/0			17.500,00				62.269,15
	3/0	29.600,00	304,15	13.800,00	310,00	1.995,00	3.560,00	48.569,15
	2/0			11.700,00				46.869,15
33	1			16.000,00				54.944,28
	2	30.600,00	374,28	12.650,00	450,00	1.220,00	6.300,00	51.594,28
	3			10.000,00				48.944,28
33	3/0			13.800,00				52.744,28
	2/0	30.600,00	374,28	11.700,00	450,00	1.220,00	6.300,00	49.644,28
	1/0			8.980,00				47.924,28

2º) COSTO DE CAPITAL .- Este incluye el interes y la depreciación del equipo sobre los costos iniciales de operación además a estos se suman los precios de los Kilowattios hora perdidos.

Aceptando un interes del 9% anual, tenemos este valor referido a cada caso y se encuentra demostrado en la tabla Nº 7.

Para la depreciación tomamos el sistema lineal, que se denomina tambien depreciación directa, es decir aquel método que devenga el precio de la instalación cada año una fracción correspondiente a la relación de dividir el precio total de la obra para el número de años que se aprecie esta instalación va a servir en perfecto estado. Tomamos para el presente caso, el que la instalación va ha ser pagada en 40 años de servicio. Según esto se tiene que para cada año la depreciación correspondiente para cada calibre y tensión es:

Voltaje de servicio 13,2 kv. Conductor de cobre.

Conductor Nº 4/0 = $72.197,1/40 = 1.805$ dólares

Conductor Nº 3/0 = $63.647,1/40 = 1.590$ "

Voltaje de servicio 22 kv. Conductor de cobre.

Conductor Nº 2/0 = $60.219,15/40 = 1.507$ dólares

Conductor Nº 1/0 = $55.019,15/40 = 1.375$ "

Conductor Nº 1 = $50.769,15/40 = 1.269$ "

CONDUCTORES DE ALUMINIO

Conductor Nº 4/0 = $52.269,15/40 = 1.307$ dólares

Conductor Nº 3/0 = $48.569,15/40 = 1.214$ dólares

Conductor Nº 2/0 = $46.469,15/40 = 1.162$ "

Voltaje de servicio 33 kv. Conductor de cobre

Conductor Nº 1 = $54.944,15/40 = 1.374$ dólares

Conductor Nº 2 = $51.594,15/40 = 1.290$ "

Conductor Nº 3 = $48.944,15/40 = 1.224$ "

CONDUCTOR DE ALUMINIO

Conductor Nº 3/0 = $52.744,28/40 = 1.319$ dólares

Conductor Nº 2/0 = $49.644,28/40 = 1.241$ "

Conductor Nº 1/0 = $47.924,28/40 = 1.198$ "

En la tabla Nº 7 de la página siguiente se resumen todos estos valores así como sus totales respectivos que darán la oportunidad de comparar cuales de los calibres anteriores se encuentran en mejores condiciones para ser escogidos y de estos cual resulta el mas económico para nuestro proyecto.

El precio que sale de multiplicar los Kilowatios-hora por \$10,30 nos da un valor en sucres para poderlos sumar con las demas cantidades los reducimos a dólares, para los cual se toma a \$15,00 el precio de cada dolar.

TABLA Nº 7

COSTOS DE CAPITAL

Tensión Material	CONDUCTOR	INTERES \$	DEPRECIACION \$	VALOR DE LAS PERDIDAS DE ENERGIA \$	TOTAL \$
12, 2kv COBRE	4/0	6.500,00	1.805	7.580,00	15.885,00
	3/0	5.700,00	1.590,00	9.690,00	16.980,00
22kv COBRE	2/0	5.420,00	1.507,00	4.290,00	11.217,00
	1/0	4.950,00	1.375,00	5.390,00	11.715,00
	1	4.550,00	1.269,00	6.750,00	12.569,00
ALUMINIO	4/0	4.720,00	1.307,00	5.200,00	11.227,00
	3/0	4.350,00	1.214,00	6.320,00	11.284,00
	2/0	4.150,00	1.162,00	8.000,00	13.312,00
33kv COBRE	1	4.900,00	1.374,00	7.600,00	13.874,00
	2	4.600,00	1.290,00	9.620,00	15.310,00
	3	4.350,00	1.224,00	12.100,00	17.674,00
ALUMINIO	3/0	4.700,00	1.319,00	7.100,00	13.119,00
	2/0	4.440,00	1.241,00	8.900,00	14.581,00
	1/0	4.350,00	1.198,00	11.150,00	16.698,00

Analizando los totales de la tabla No. 7, vemos que los que menos gastos de operación representan son los siguientes:

22 KV : conductor 2/o (cobre)	11,217,00
22 KV conductor 3/o (Aluminio).....	11,284,00
22 KV Conductor 4/o (Aluminio).....	11,227,00

Por lo tanto, el mejor, en vista de este análisis económico es el conductor 2/o de cobre duro.

La tensión de servicio, la más económica es 22 Kv. De estos 3 conductores, el 2/o es el que mayores gastos de instalación requiere, pero siendo esta diferencia pequeña con respecto al 1/o, y encontrándose la caída de tensión dentro de los límites admisibles, es este el conductor que se tomará para la instalación:

Conductor No. 2/o Tensión 22 KV.

Características de este conductor 2/o: De cobre duro,

(Estirado en frío)

Galga AwG	Sección mm ²	Diámetro mm	No. de Hilos	Tensión de rotura Kgs.	Peso en Kgs. Por Kmt.
2/o	67,4	10,5	7	2.668	612

AISLAMIENTO DE LAS LINEAS.-

Condiciones requeridas.- El funcionamiento de una línea de transporte depende en gran escala de su aislamiento. En buena práctica se requiere que la tensión del arco en seco de los aisladores completos sea de 3 a 5 veces la tensión nominal de funcionamiento, y

que la tensión de la línea de fuerza sea aproximadamente el doble de

de la menor distancia entre puntos con tensión en el aire. Las modernas orientaciones tienden hacia los límites superiores, especialmente cuando se trata de tensiones muy elevadas.

Los aisladores no sólo deben tener resistencia mecánica suficiente para soportar con amplio margen las cargas, sino que deben ser contruidos de manera que puedan resistir condiciones mecánicas muy severas, descargas atmosféricas y arcos alimentados por la corriente de servicio, sin dejar caer al conductor. La producción de arcos por contorno del aislador debe ser evitada en todos los casos, con la sola excepción del rayo cualesquiera que sean las condiciones de humedad, temperatura a lluvia y con la cantidad ^{de polvo} que habitualmente se acumula hasta ser limpiada por las lluvias.

Sobre los materiales aislantes se habló ya anteriormente.

AISLADORES.- Diseño- El proyecto de aislador debe ser objeto de un estudio cuidadoso por la parte de su fabricante, debe tener en cuenta que un aislador formado por varias partes es, en realidad, un grupo de condensadores en serie, pues el cemento debe considerarse como conductor. Con el fin de que la tensión aplicada a cada elemento sea una fracción proporcionada de la tensión total, las capacitancias de cada elemento deben ajustarse, variando la superficie de las juntas de cemento. La distribución uniforme de la tensión evita perforaciones y arcos en cascada al producirse el contornamiento. De acuerdo con una ley fundamental de electrostática, las superficies de las porcelanas de un aislador ideal deben ser o normales o paralelas a las líneas de fuerza electrostá-

ticas, con la máxima tensión de arco por contorno del aislador. Si la forma del aislador no se aviene a esta ley, existirán porciones de aire sometidas a tensiones excesivas, originándose efecto corona.

Sin embargo, esta forma ideal debe coordinarse con la forma de fijación a su apoyo, debiendo conseguirse suficiente longitud de las líneas de fugas, características óptimas bajo lluvia y sólidas uniones mecánicas. Las superficies de porcelana deben limpiarse con facilidad por la acción de las lluvias y ser accesibles a un lavado normal cuando sea necesario. Es condición eléctrica fundamental que en caso de producirse el contorneamiento del aislador por un arco, no quede formado en su superficie un camino conductor; además debe existir un amplio margen de seguridad en la tensión de perforación. Esta condición debe cumplirse hasta donde sea posible, cualquiera que sea la onda de sobretensión, sea o no de origen atmosférico, a cualquier frecuencia y en todas las circunstancias climatológicas y debería mantenerse incluso después de la destrucción de las partes más frágiles del aislador.

En la actualidad se considera unánimemente que la causa de la casi totalidad de los arcos por contorno de aisladores puede atribuirse a condiciones anormales debidas a descargas atmosféricas. Estos fenómenos se estudian en los laboratorios sometiendo los aisladores a choques o impulsos de tensión, por medio del llamado "generador de rayos". Se ha demostrado que la tensión del arco de una cadena de aisladores, o de una distancia explosiva, es considerablemente más elevada con descargas atmosféricas que a la frecuencia nor-

mal a 60c/s.

AISLADORES DE SOPORTE, O AISLADORES RIGIDOS.-

Estos aisladores se construyen para tensiones de arco hasta 200 KV a 60 c/s.- Los aisladores se suministran bien sea con una rosca formada en la porcelana o con un casquillo de zinc o acero galvanizado, cementado dentro el agujero para el soporte. El casquillo metálico se usa generalmente para soporte metálico y la rosca de porcelana para soportes de madera. Para desconectores y para soporte de barras se construyen aisladores rígidos con caperuzas metálicas y soportes cementados a la porcelana y provistos de agujeros para fijación. Estas unidades se proyectan de modo que sea posible, acoplarlas entre sí, formando compuestas del número de elementos necesarios para la tensión del servicio.

Selección del Aislador.- Debe ser capaz de soportar la tensión da-

da por la fórmula $15 + 3 E \text{ KV}$;

E = Tensión entre fases en kilovoltios.

$$15 + 3 \times 22 = 81 \text{ KV.}$$

La tensión del arco bajo lluvia es los $2/3$ de la correspondiente al arco en seco o sea:

$$2/3 \times 81 = 54 \text{ KV.}$$

Por lo tanto un aislador de una sola pieza es suficiente para soportar esta tensión.

Las características del aislador las obtenemos de la ta-

Tabla No. 8

bla x, del libro Zoppetti, reproduzco 4 renglones de la tabla. redes de distribución cuyo autor es

E.Nominal	E.Crítica		Tensión de perforación	Coeficiente de Seguridad Eléctrica.			Coeficiente de seguridad electromecánica	Coeficiente de seguridad mecánica.
	Característica del Aislador			En seco	Lluvia	Perforación		
10.000	50.000	32.000	75.000	5	3,1	7,5		
15.000	63.000	42.000	94.500	4,2	2,8	6,3	2,5	3
20.000	82.000	53.000	123.000	4,1	2,6	6.1		
30.000	110.000	74.000	165.000	3,7	2,5	5,5		

Según esto se tiene que el aislador será: De porcelana, de soporte vertical, tipo pin - con agujero roscado de 1-3/8". Voltaje de ruptura en seco: 110.000 voltios, bajo lluvia 74.000 volt; coeficiente de seguridad eléctrica; en seco 3,7; bajo lluvia 2,5; a la perforación 5,5. Coeficiente de seguridad electromecánica 2,5; Coeficiente de seguridad mecánica 3; resistencia mecánica 3.000 lbs. - Un pequeño croquis del aislador a usar lo tenemos en el gráfico No. 6

AISLADORES DE TENSION O AMARRE.- Un conjunto de aisladores de suspensión dispuestas al extremo o final de una línea, en una estructura, se denomina aislador de amarre o de tensión . Estos aisladores deben soportar el pleno es-

fuerzo de tracción y han de ser calculados con un amplio factor de seguridad para el máximo esfuerzo. Estos aisladores los usaremos en los soportes del principio y final de línea y en los soportes de anclaje intermedio, soportes de cambio de dirección: Serán de porcelana, tipo retención; voltaje de ruptura 110 KV. en seco y 74 KV bajo lluvia, tracción de ruptura 12.500 lbs (5.700 Kgs.) Gráfico No. 6

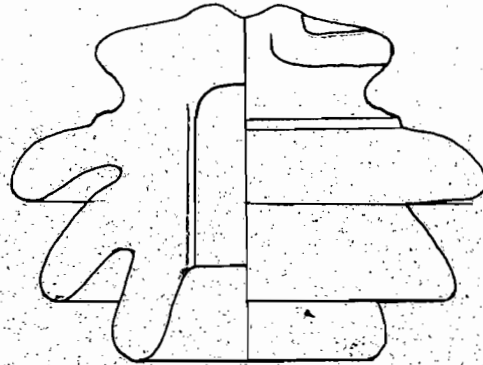
ACCESORIOS PARA LOS AISLADORES.- Pines rectos de hierro galvanizado para los aisladores de soporte vertical; altura sobre el hombro 325 mm altura bajo el hombro 135 mm, con rosca de plomo de 1-3/8" de diámetro y 1" de diámetro de la rosca inferior, para corneta de hierro perfilado. Resistencia mínima de trabajo a la tracción en la punta 660 lbs.

Para los aisladores de amarre un juego de accesorios de sujeción, de hierro galvanizado.

PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS:

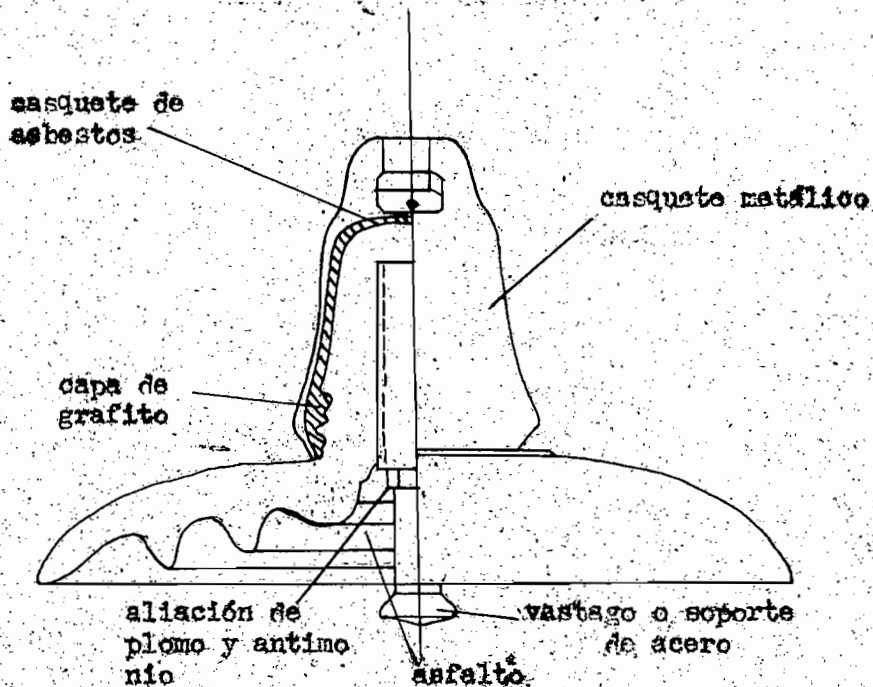
Sistemas de Protección.- Los 3 métodos actualmente en uso para proteger los sistemas de transmisión contra las interrupciones debidas a descargas atmosféricas son: 1o) Conductores aéreos de tierra; 2o) Tubos de expulsión; 3o) Aprovechar el aislamiento de la madera. Se persiguen 2 objetivos:

- 1o) Protección contra largas interrupciones, como son las originadas por la destrucción de crucetas, postes o aisladores;
- 2o) Reducción del número de interrupciones momentáneas causadas por



AISLADOR RIGIDO DE SOPORTE

Figura 6.-



AISLADOR DE RETENCION O AMARRE

descargas atmosféricas. Ambos objetivos no son siempre compatibles, de modo que en algunos casos la protección contra daños debe realizarse a expensas del número de interrupciones y viceversa. El sistema de protección debe ser examinado teniendo en cuenta su costo y las necesidades del servicio.

Respecto a la naturaleza de los disturbios debidos a descargas atmosféricas, y después de una serie de observaciones y experimentos, se ha llegado a las importantes conclusiones siguientes: 1o) Todas las interrupciones en líneas de alta tensión son debidas a descargas o rayos directos sobre la línea o las estructuras. 2o) El rayo no es una onda oscilante, sino unidireccional de gran diversidad de formas, aunque generalmente presente un frente recto o encarpado y una "cola" en disminución más lenta. 3o). El 70o/o o más de las descargas que alcanzan un conductor son de un potencial de 2.000 kV o más.

CONDUCTORES AEREOS A TIERRA.- La protección conseguida con los conductores aéreos de tierra ha sido objeto de controversias; pero hoy día se está de acuerdo en que, para que la protección con cables de tierra sea efectiva, es necesario que estos cables apantallen a todos los conductores de la línea, que la resistencia de puesta de tierra sea baja, que el aislamiento sea relativamente elevado y que, en general, la distancia entre los cables de tierra y los de línea debe ser tal que uniendo con una línea el conductor de protección con los extremos de las

líneas de energía el ángulo no debe ser mayor de 30°. Este conductor de protección irá situado en la parte más alta de la torre. Como complemento de la protección de la línea de transmisión se ha consultado proveer a cada una de las torres de la correspondiente puesta a tierra.

El cable será de acero, de 1/4" de diámetro, calidad High Strength (alta resistencia) 4.750 lbs, de carga mínima de rotura, 7 hilos, extragalvanizado.

La conexión del neutro a tierra tiene por objeto disminuir las tensiones con las que va a trabajar la línea. Cuando hay alguna descarga atmosférica que cae sobre el cable de protección, ésta es lanzada hacia tierra por medio de esta conexión. Además disminuye la aislación de uno de los bushings del transformador que va a trabajar, en decir se ha hecho economía del diseño del conjunto.

PARARRAYOS.- La aplicación de pararrayos en sistemas con el neutro conectado a tierra es algo más difícil que en los sistemas con neutro aislado. Los pararrayos normales que figuran catalogados por sus constructores para uso en sistemas con el neutro directamente unido a tierra, tienen señalada una tensión nominal eficaz máxima (tensión de ruptura) del 80% de la tensión eficaz máxima entre fases del sistema. Esta tensión no debería ser rebasada en caso de tensiones anormales ocasionadas por la pérdida de la carga o por sobrevelocidad de los genera-

dores. Los defectos a tierra en determinadas condiciones, pueden ocasionar tensiones excesivas para los pararrayos. En las tensiones de transmisión más bajas, los sistemas llamados "de neutro directamente unido a tierra" pueden experimentar sobre tensiones en caso de defectos a tierra si las tomas de tierra son de resistencia elevada. Así mismo, los pararrayos conectados en los extremos de líneas largas donde los transformadores de final de línea no tienen el neutro unido a tierra del lado de alta tensión, pueden estar sometidos a sobretensiones en caso de contactos a tierra. Estas sobretensiones son función de los componentes positiva, negativa y homopolar de la impedancia. Los pararrayos se pondrán 2 juegos, el uno a la salida de la estación de transformación y el otro a la entrada a la subestación.

Para terminar este diseño eléctrico o sea el primer capítulo de este trabajo, hagamos una comparación entre ~~SISTEMAS~~ DE NEUTRO AISLADO Y DE NEUTRO CONECTADO A TIERRA.-

Los sistemas con el neutro aislado están libres de interrupciones en caso de tierra en un conductor, pero están frecuentemente sujetos a fallos y daños en el equipo al producirse arcos oscilantes a tierra. En un sistema de neutro aislado, si ocasionalmente se rompía un conductor, los 2 trozos caían a tierra y el servicio podía continuar, pero esto sólo era posible con intensidades pequeñas, con el aumento de las intensida-

des y el aumento del peligro para el público, esto pasó a ser uno de los mayores inconvenientes del sistema de neutro aislado. A medida que los sistemas de transmisión aumentaron su extensión y las tensiones fueron más elevadas, desaparecieron en su mayor parte las ventajas del sistema de neutro aislado. Neutro unido a tierra.- Se denominan sistemas de neutro unido a tierra (directamente conectado a tierra) aquellos en que los neutros de todos los bancos de transformadores, que alimentan el sistema de transmisión y los neutros de alta tensión de todos los bancos receptores están directamente conectados a las tierras de baja resistencia de las estaciones. Esto permite emplear transformadores con aislamiento escalonado y un sólo aislador a travésador en el lado de alta tensión de los transformadores monofásicos, lo que proporciona una reducción en su costo. Una posible desventaja es que las intensidades en caso de cortocircuito a tierra pueden ser excesivas, haciendo necesario emplear interruptores de mayor capacidad de la que sería necesaria para cortocircuitos trifásicos. Los problemas de coordinación inductiva también pueden ser más difíciles. Las circunstancias a tener en cuenta relacionadas con la conexión del neutro a tierra, van siendo más conocidas, y ahora se considera que la conexión directa del neutro a tierra no es siempre la mejor solución, y que este asunto debe ser objeto de un estudio de equilibrio entre los componentes positiva, negativa y homopolar de las

impedancias del sistema, para obtener los resultados más convenientes. Los neutros pueden dejarse aislados si los arrollamientos tienen pleno aislamiento en toda su longitud; los transformadores con aislamiento reducido en el lado del neutro, no deben funcionar con el neutro aislado.

C A P I T U L O T E R C E R O

CALCULO MECANICO DE LA LINEA.-

Consideraciones Generales.- La topografía completamente accidentada del terreno por donde se extenderá necesariamente la línea de transmisión, ha obligado a realizar el proyecto con una variedad considerable de luces (distancias entre torres). Se ha tratado en lo posible de aprovechar estas condiciones topográficas empleando grandes luces para salvar las continuas e importantes depresiones. Sin embargo el mismo terreno ha obligado en muchos casos a recurrir a luces reducidas para evitar estructuras de soporte que, por su altura, tendrían un costo exagerado. Este es el caso de grandes depresiones con colinas escarpadas adyacentes.

Realizado en esta forma el estudio se ha llegado a establecer 91 torres, con una luz media de 171 mts.

Para atravesar la quebrada llamada de "las Lunas" se ha proyectado una luz extraordinaria de 746 mts. como la más convenientes desde el punto de vista económico y práctico, empleando torres fuertes del tipo denominado "anclaje intermedio" en cada uno de los extremos de esta luz. La solución de dividir esta gran luz en luces menores implicaba mayor número de torres, una de las cuales debía ser necesariamente del tipo reforzado, y una enorme dificultad en el terreno para su instalación. (a, b, c)

CARGAS EN LOS CONDUCTORES- El proyecto de un vano consiste en determinar la flecha que debe dejarse al tender los conductores, de modo que los vientos fuertes y las bajas de temperaturas aún cuando se mantengan durante varios días, ^{no} se sometan a los conductores a esfuerzos superiores a su límite elástico, causen un alargamiento permanente considerable, o produzcan la rotura por fatiga como consecuencia de vibraciones continuas.

El peso propio del conductor actúa verticalmente; la carga debida al viento se supone que obra horizontalmente, formando ángulo recto con el vano; la resultante es la suma vectorial. Bajo los esfuerzos horizontal y vertical, el conductor se balancea, colocándose en un plano inclinado que forma con la vertical el mismo ángulo que la resultante. La flecha resultante se mide en este plano inclinado.

Presión máxima del viento 130 Kg/m²

La superficie del conductor expuesta a la acción del viento se la calcula con la fórmula.

$$A = l d / 1000$$

l = longitud del vano en mts

d = diámetro del conductor en mm.

ESTRUCTURAS DE SOPORTE.- Las estructuras de soporte de los conductores estarán constituidas por torres de hierro perfilado. La topografía accidentada del terreno

por donde se extenderá la línea de transmisión, no permite el empleo, en forma más económica, de postes tubulares metálicos. Las torres llevarán 6 conductores: el conductor de protección, los 3 conductores de corriente y los 2 conductores de línea telefónica.

La disposición general de las diferentes partes de las torres se halla indicada en los dibujos de los planos 4, 5 y 6

TIPOS DE TORRES.- La seguridad y estabilidad de una línea de transmisión depende principalmente de las diversas hipótesis de cargas adicionales que se introducen para el diseño de las torres, cuestión ésta que tiene relación con la cantidad de dinero que se trate de gastar y la clase de servicio que se desee obtener. Líneas de transmisión de primera clase suponen a todas sus torres sujetas a refuerzos adicionales; variando únicamente la magnitud de ellos según la localización de las mismas: aquellas localizadas en alineación recta y que no son del tipo de anclaje intermedio, son calculadas, por ejemplo, para resistir los esfuerzos adicionales provenientes de un 33o/o de conductores rotos; las de igual localización, pero de anclaje intermedio, como también las de ángulo o deflexión, para soportar los esfuerzos extras provenientes de un 66o/o de conductores rotos, etc. Los tensores para absorber parte de los esfuerzos no son permitidos en estas líneas. Todo esto conduce, como es natural, al diseño de estructuras de gran resistencia mecánica y por lo mismo de alto costo. En el pro-

yecto estudiado, se ha procurado conciliar en cierto grado de seguridad y estabilidad de la línea con un mínimo costo; así se ha llegado a establecer los 4 tipos de torres, que se describen detalladamente en el capítulo correspondiente, al cálculo de estructuras.

NUMERO DE CIRCUITOS.- La línea de transmisión ha sido proyectada con un sólo circuito, es decir, con 3 conductores para la conducción de la corriente trifásica.

Las líneas de transmisión de doble circuito tienen la ventaja de que en caso de rotura de uno, dos o tres conductores de un mismo circuito, que no comprometen el resto de conductores, se puede transmitir toda la potencia por el circuito sano; el 2o. circuito constituye, pues, una reserva que eleva notablemente el costo de la línea por los mayores esfuerzos a que están sometidas las estructuras de soporte y por la duplicación de material conductor y aislante.

DISPOSICION DE LOS CONDUCTORES DE CORRIENTE.-

Los conductores de corriente serán instalados en disposición triangular. Por razones de economía, para luces de cierta magnitud, no se mantiene el triángulo de lados iguales que reduce la resistencia inductiva adicional; por esta razón, se ha previsto cruzar los conductores de corriente en 3 diferentes torres (números 15, 52 y 72). Los accesorios que se requieren para realizar dichos cruces son de un valor bajo con respecto al costo de la torre respectiva.

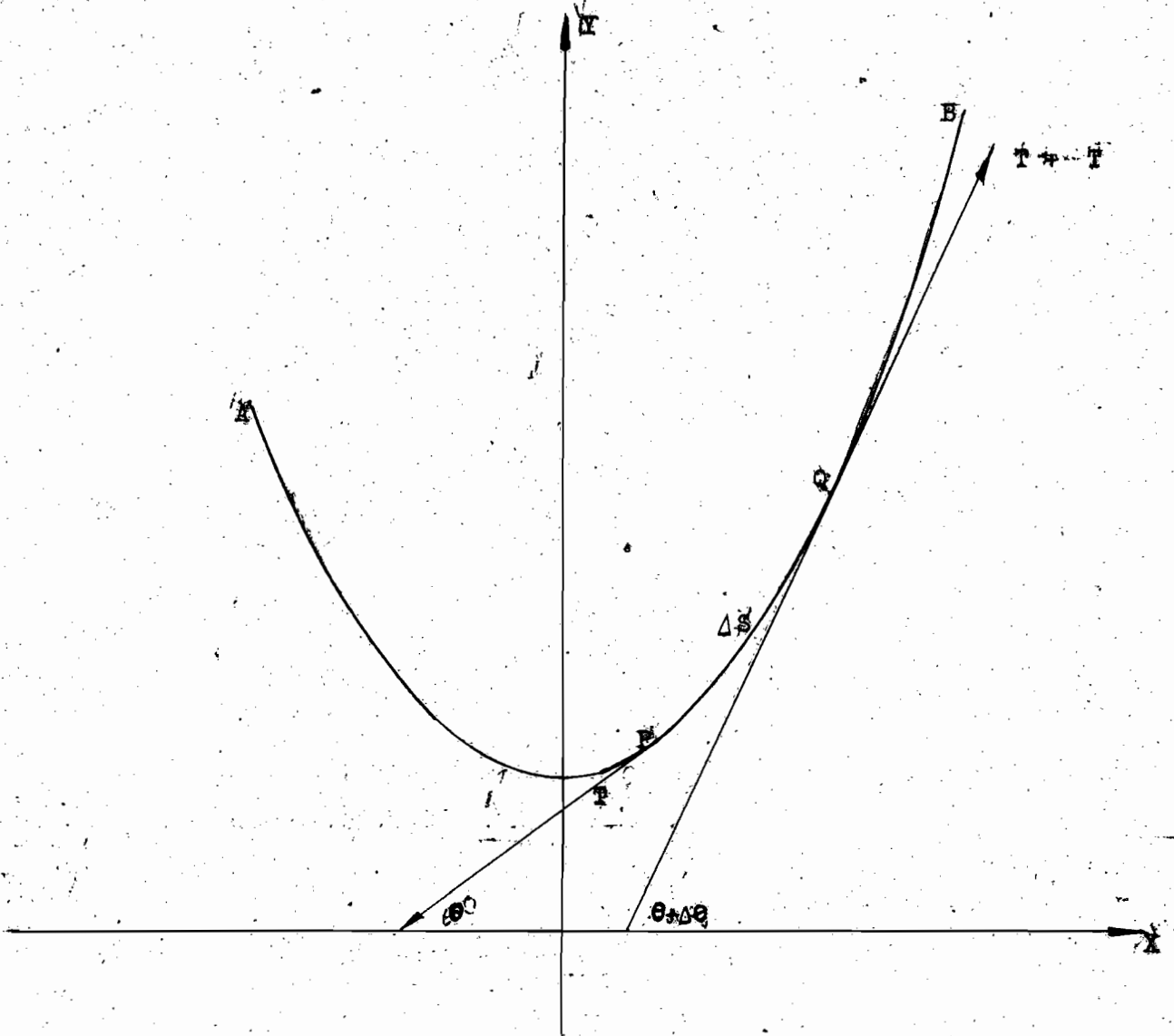
CONDUCTOR DE PROTECCION.- Para disminuir los efectos de las sobretensiones atmosféricas se ha previsto el conductor de protección, instalado en el extremo superior de las torres en una estructura adicional. La disposición triangular de los conductores de corriente permite que esta estructura sea de poca altura y de diseño sencillo, especialmente en las torres planas y cuadradas livianas.

Como complemento de la protección de la línea de transmisión se ha consultado proveer a cada una de las torres de la correspondiente puesta a tierra.

Una vez determinadas estas condiciones, efectuamos el emplazamiento de las estructuras, para lo cual tenemos necesidad de los plantillas que es esencial tanto para la corrección del dibujo como para la economía. Para lo cual se efectúa el cálculo de la curva respectiva.

CALCULO DE LA CATENARIA.- Consideramos al conductor uniformemente flexible bajo la acción de su propio peso.

Sea el cable flexible suspendido por 2 puntos A y B (fig. 7) el cual se indica con ω el peso por unidad de longitud (kg/mt). Considerando las fuerzas que actúan sobre el elemento de cable ΔS , sea T la tensión en el punto P del cable y $T + \Delta T$ la tensión en Q. puesto que el cable está en equilibrio, las componentes horizontal y vertical de las fuerzas deben equilibrarse.



CURVA DE LA CATENARIA

Determinación de su ecuación Fig. 7.-

Iguando estos componentes resulta el sistema de dos ecuaciones:

$$T \cos \theta = (T + \Delta T) \cos (\theta + \Delta \theta) \quad (1)$$

$$T \operatorname{sen} \theta = (T + \Delta T) \operatorname{sen} (\theta + \Delta \theta) - \omega \Delta s. \quad (2)$$

Dividiendo la 2da. de estas ecuaciones por la primera se tiene.

$$\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg} (\theta + \Delta \theta) - \frac{\omega \Delta s}{(T + \Delta T) \cos (\theta + \Delta \theta)} \quad (3)$$

Pero como la longitud s en (1) es arbitraria, resulta que la componente horizontal de la tensión en cualquier punto del cable es una constante; designándolo con T_0 y substituyendo ese valor en el 2do. miembro de (3) se obtiene:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} (\theta + \Delta \theta) - \operatorname{tg} \theta &= \frac{\omega \Delta s}{T_0} \\ \frac{\operatorname{tg} (\theta + \Delta \theta) - \operatorname{tg} \theta}{\Delta \theta} &= \frac{\omega}{T_0} \cdot \frac{\Delta s}{\Delta \theta} \end{aligned} \quad (4)$$

El 1er. miembro de la ecuación (4) es la relación incremental y su límite para $\Delta \theta$ tendiendo a cero es la derivada de $\operatorname{tg} \theta$. Por consiguiente, pasando al límite

$$\operatorname{Sec}^2 \theta = \frac{\omega}{T_0} \cdot \frac{ds}{d\theta} \quad (5)$$

Donde T_0 es la tensión en el punto más bajo del cable. Puesto

que $\frac{ds}{d\theta} = \frac{ds/dx}{d\theta/dx}$; recordando que $\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \theta$ (por función tg) (en trigonometría)

donde: $\frac{ds}{dx} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$ (por función secante de trigonometría)

$$\theta = \operatorname{arctg} (dy/dx)$$

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2y/dx^2}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$$

Y como $\sec^2 \theta = 1 + (dy/dx)^2$ resulta, por sustitución en (5) que la ecuación diferencial de la curva que forma el cable es:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{w}{T_0} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \quad (6)$$

Si se reemplaza $dy/dx = u$ se tiene

$$\frac{du}{dx} = \frac{w}{T_0} \sqrt{1 + u^2}$$

separando variables se tiene:

$$\frac{du}{\sqrt{1+u^2}} = \frac{w}{T_0} \cdot dx \quad \text{integrando se tiene:}$$

$$\ln(u + \sqrt{1+u^2}) = \frac{w}{T_0} x + C_1$$

volviendo a reemplazar su valor y en forma exponencial:

$$\frac{dy}{dx} + \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = e^{+(\frac{w}{T_0} x + C_1)}$$

Esta ecuación diferencial puede ser resuelta, a su vez, mediante el siguiente artificio: tomándola recíproca de (7) se

$$\text{tiene: } \frac{1}{\frac{dy}{dx} + \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} = e^{-(\frac{w}{T_0} x + C_1)}$$

Racionalizando el denominador da

$$-\frac{dy}{dx} + \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = e^{-(\frac{w}{T_0} x + C_1)}$$

Restando la (8) de la (7) se tiene

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{2} \left[e^{\frac{w}{T_0} x + C_1} - e^{-(\frac{w}{T_0} x + C_1)} \right]$$

Integrando se obtiene:

$$y = \frac{T_0}{2w} \left[e^{\frac{w}{T_0} x + C_1} + e^{-(\frac{w}{T_0} x + C_1)} \right] + C_2$$

Las constantes C1 y C2 pueden determinarse por la condición que la curva pasa por los puntos A y B, cuyas coordenadas se suponen conocidas.

Si se eligen las constantes C1 y C2 iguales a cero resulta

que el punto más bajo de la curva es el punto $(0, T_0/w)$ y la ecuación de la curva toma la forma.

$$y = \frac{T_0}{w} \left[e^{\frac{w}{T_0}x} + e^{-\left(\frac{w}{T_0}x\right)} \right]$$

Haciendo $T_0/w = a$, ordenada del punto de mínima. Se tiene:

$$y = \frac{a}{2} \left[e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}} \right] = a \cosh \frac{x}{a}$$

Esta curva recibe el nombre de catenaria y es la que forma un conductor suspendido en 2 puntos.

Para su representación analicémosla:

El 1er. punto conocido de esta curva, por hipótesis anterior es $(0, a)$ punto de mínima.

Centro y eje de Simetría - El eje de las y , es un eje de simetría cuando para 2 valores de x iguales y de signo contrario se obtiene el mismo valor de y , la condición se expresa $f(x) = f(-x)$

$$Y = a \cosh \left(\frac{x}{a} \right)$$

Reemplazando a por $-x$:

$$Y = a \cosh \left(-x/a \right) = a \cosh \left(x/a \right)$$

por lo que se tiene que el eje de las y es un eje de simetría.

Y podemos determinar al mismo tiempo que el origen no es un centro de simetría:

Con estos datos se puede ya determinar la figura en un sistema de cartesianas que serán las plantillas que servirá para determinar la altura de torres su distancia entre sí y al suelo:

Para tal objeto dibujamos la curva por puntos

Sabiendo que la tensión máxima del conductor es $T = 2.668$ Kgs. y

aceptando un factor de seguridad de 2,5 se tiene :

$$T_0 = 2.668 / 2,5 = 1.060 \text{ Kgs.}$$

Peso del conductor $W = 0,612$ Kgs/mt.

$$a = \frac{1.060}{0,612} = 1.740.$$

La ecuación quedaría

$$Y = 1.740 \cosh \frac{X}{1.740}$$

$\pm X$	$1 - \cosh(x/a)$	$Y - a$
50	0,0419	71,3
100	0,167	284,6
150	0,381	648
200	0,68	1.158
250	1,07	1.816
350	2,11	3.586
50	0,0103	102,6
100	0,02058	412
150	0,0309	927
200	0,0416	1.666
250	0,0526	2.630
350	0,076	5.300

Tabla Nº 9

Pero este valor de la tensión máxima de trabajo del material esta dado por las tablas cuando el conductor está trabajando a 5°C, y la carga es la debida al peso del conductor. Con estos datos se obtienen los puntos del cuadro adjunto. Cuando tenemos la máxima temperatura, la flecha aumenta y la tensión disminuye (esto se explicará en las próximas páginas.) Por lo tanto aplico la fórmula del cambio de condiciones para encontrar esta nueva tensión la misma que, admitiendo una temperatura máxima de 50° bajo el sol y una temperatura inicial de tendido de 5°C, alcanza el valor de $T = 750$ Kgs.

$$a = \frac{750}{0,612} = 1.220$$

$$Y = 1.220 \cosh \frac{X}{1.220}$$

Las ordenadas son magnitudes medidas en cmst.

En cambio las abscisas son medidas en mts.

El punto (0,0) u origen del sistema de coordenadas, para el dibujo de la plantilla lo tomo, como el punto de mínima de la curva o sea el punto (0,a). A base de estos valores obtengo el gráfico de la figura 8. el mismo que se incluirá en tre los planos, y que servirá para su comprobación.

LOCALIZACION DE LAS TORRES EN EL POLIGONO Y EN EL PERFIL.-

Disponiendo del perfil definitivo por donde se tendrá la línea de transmisión, y de las plantillas de la catenaria a 50 sin viento y a 50° ^{temperatura máxima al sol} sin viento como lo indica el gráfico No. 8 (Carga y flecha máxima), se señala la ubicación de las torres con el trazado respectivo de la catenaria, conservando siempre la mínima distancia al suelo de 6 cms. admitiendo al mismo tiempo como longitud de simentación 2 mts. (El trazado de la catenaria corresponde a los conductores telefónicos que tienen las mismas flechas que los conductores de corriente). Se indica la numeración respectiva de las torres y el tipo de las mismas y la distancia horizontal de cada una de las luces. Lo indicado se puede ver en el plano No. 2 en las fojas de la 3 a la 10.

En los dibujos del plano No. 1 hojas 1 y 2 correspondientes a la poligonal para la línea de transmisión, se ha indicado la localización definitiva de las torres, señalando la numeración co

rrespondiente, la absisa que le corresponde al eje de la torre en esta poligonal cuyo 0-00 se encuentra en la subestación de la ciudad de Loja.

EFFECTOS DE LAS PROPIEDADES ELASTICAS DEL CONDUCTOR.-

Todo conductor es elástico; cuando se le aplica tensión a un conductor (alambre), como en el caso cuando se lo tiende de entre 2 soportes, el conductor se estira, si la tensión se aumenta, el estiramiento (alargamiento causado por la tensión) también aumenta. Cuando un conductor reposa sin tensión sobre el suelo, listo para su tendido, su longitud puede ser en ese momento menor que la distancia entre soportes pero debido a su elasticidad, el conductor cuando tendido puede estirarse suficientemente para permitirle alcanzar entre las 2 soportes.

EFFECTO DEL CAMBIO DE PESO SOBRE EL ALAMBRE.- Con diferentes cantidades de peso sobre un alambre, el estiramiento o alargamiento y la tensión del alambre cambiarán. Por ejemplo, la adición de peso al alambre aumentará su longitud y también, su flecha y tensión. Pero en cuanto la flecha del alambre aumenta, hay una tendencia a reducir a limitar su tensión. Esta tendencia, por lo tanto, se opone al incremento de la tensión que habría causado la adición de peso. En cierto punto habrá un balanceamiento entre estos 2 efectos y el alambre colgará según una curva catenaria definida.

EFECTOS DEL CAMBIO DE TEMPERATURA DEL ALAMBRE.- Un cambio en

la temperatura de un alambre también aumenta su longitud.

Si se cambia la temperatura mientras el alambre está sin tensión (Tensión cero), y el alambre se halla completamente libre para cambiar su longitud, es obvio que la tensión permanece en cero.

Por otro lado, cuando el alambre está sometido a esfuerzos (cuando está suspendido y en tensión), y ocurre un cambio de temperatura, el cambio de longitud está afectado por ambos factores, cambio de temperatura y características elásticas del alambre. Si varía la temperatura, la longitud se altera, la cual a su vez cambia la flecha y afecta el alargamiento elástico. Estos cambios ocurren simultáneamente, pero los cálculos, teniendo en cuenta todos estos factores al mismo tiempo, serían complicados.

Por eso, cuando se hacen cálculos para cambios de temperatura la alteración de la longitud del alambre causada por la variación de temperatura, debería ser añadida o sustraída de la "Longitud sin estirarse" del alambre, esto es mientras la tensión del alambre es cero.

VIBRACION.- Se han producido roturas de conductores bajo tensiones muy por debajo de los máximos esfuerzos admitidos, a causa de la fatiga admitida por rápidas vibraciones verticales del conductor (de 15 hasta tal vez 100 períodos por segundo) ocasionadas por vientos constantes, no turbulentos, soplando sobre la línea. La mayor parte de los hilos de tierra, de ace-

ro, y alambres telefónicos están sometidos a una ligera y aparentemente inofensiva vibración de esta clase. La vibración es producida por remolinos o solamente del conductor, que oscilan entre la parte superior y la inferior a intervalos regulares, según el diámetro del conductor y la velocidad del viento. Por esta causa, están especialmente expuestos a vibraciones los conductores ligeros de gran diámetro. El conductor tiene un período propio de vibración que depende de la relación entre la tensión y el peso, y si la frecuencia de la oscilación de los remolinos coinciden con la propia del conductor, se produce la vibración. Por esta causa, los conductores cuya frecuencia natural o relación entre tensión y peso, es elevada, tienden a adquirir vibraciones peligrosas. Además de la frecuencia propia fundamental un conductor puede vibrar en muchas armónicas o múltiplos de la frecuencia fundamental. Para evitar esto se usa el amortiguador Stockbridge que es un dispositivo para amortiguar en toda la longitud del vano.

Los conductores de la línea telefónica serán tendidos con la misma flecha de los conductores de corriente. En cambio el conductor de protección se deberá tender con una tensión 200/o mayor, es decir sólo con el 800/o de flechas de aquellos conductores. Esto tiene por objeto dar mayor estabilidad a la línea de transmisión y asegurar las distancias mínimas en las lices grandes cuando se presenten las condiciones desfavorables previstas.

En todo caso, el conductor de protección tendrá una tensión máxima del 50o/o o del 40o/o de su carga de ruptura, según la zona de vientos de que se trata.

El tendido propiamente dicho de los conductores se deberá realizar desde una torre terminal hasta la torre de anclaje intermedia inmediata, o entre 2 torres de anclaje intermedias. Los conductores deberán tenderse con la misma tensión a lo largo de un tramo; dicha tensión está indicada en los cuadros respectivos, según la temperatura del montaje. En las diferentes luces del tramo respectivo, se podrá controlar la tensión de tendido mediante las flechas correspondientes.

Se tendrá en cuenta las pendientes transversales especialmente en la zona cercana a la casa de máquinas en que por lo menos debe quedar una distancia de 4 mts. entre el conductor más cercano y el Talud.

FORMULAS A USAR.-

Para el cálculo analítico se partirá de la ecuación base de la curva que forma el conductor que es la catenaria:

$$Y = \frac{a}{2} (e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}}) = a \cosh \frac{x}{a}$$

Rectificación de la curva.- Para sacar la longitud del conductor rectificamos la curva: $y' = \text{Sen h } \frac{x}{a}$; $Y'^2 = \text{sen h}^2 \frac{x}{a}$;

$$ds = \sqrt{1 + \sinh^2 \frac{x}{a}} = \cosh \frac{x}{a}$$

$$S = 2 \int_0^{L/2} \cosh \frac{x}{a} dx = 2a \sinh \frac{x}{a} \Big|_0^{L/2} = 2a \sinh \frac{L}{2a}$$

Para no trabajar con funciones hiperbólicas, sino con valores naturales desarrollo en Serie la función

$$S = 2a \sinh L/2a = 2a \left[\frac{L}{2a} + \frac{1}{6} \left(\frac{L}{2a} \right)^3 + \frac{1}{120} \left(\frac{L}{2a} \right)^5 + \dots \right]$$

El valor de (L/2a) es un decimal muy pequeño, y al encontrarse elevado a potencias se hace infinitamente pequeño, por lo tanto es una serie convergente cuyo límite vale cero.

Se puede tomar para el cálculo únicamente los 2 primeros términos, con lo cual el error que se comete casi no tiene valor.

$$\text{El error cometido es: } E = \frac{1}{120} \left(\frac{L}{2a} \right)^6 = \frac{1}{120} \left(\frac{L}{3.480} \right)^6$$

Para un vano exagerado de 1.000 mts.

$$E = \frac{1}{120} \left(\frac{1.000}{3.480} \right)^6 = \frac{1}{18.000} \approx 0$$

Luego la longitud de la curva vale:

$$S = L + \frac{L^3}{24 a^2} \quad \text{y tomándole en función de la flecha, se tiene}$$

$$S = L + \frac{8}{3} \frac{f^2}{L}$$

ángulo que forma la tensión con la curva en el 4. apoyo (θ)

$$\text{Tg } \theta = 4 f/L.$$

Ecuación del cambio de condiciones: Para la aplicación práctica,

esta ecuación se la ha reducido, dando los valores a algunos coeficientes: quedando para el

$$\text{Cobre: } t_2^2 \left[t_2 + 0,0423 \frac{L^2 m_1^2}{t_1^2} + 0,217 (\theta_2 - \theta_1) - t_1 \right] = 0,0423 L^2 m^2$$

en la que:)

L = vano del conductor en metros.

t₂ = tensión específica inicial en Kg /mm²

t₁ = tensión específica (kg/mm²) a que está sometido el conductor por causa del cambio de condiciones.

θ₂ = Temperatura en grados C. al cambiar de condiciones.

θ₁ = Temperatura en grados C. en el momento del tensado.

m = Coeficiente de Sobrecarga en el conductor durante el tendido

m₁ = Coef. de sobrecarga en el conductor al cambiar de condiciones.

Longitud del conductor sin esfuerzos.

$$L_u = \frac{L}{1 + \frac{T}{21240.000}}$$

Cambio de longitud por la variación de temperatura:

$$L + = l_u (1 + 0,0000169 \theta)$$

Para el cálculo de la flecha tomaremos los factores de multiplicación dados por las tablas de Martin, los mismos que han sido deducidos de la ecuación de la catenaria.

CALCULO DE LAS FLECHAS;

Se considerará un vano base de 50mts. y una variación de 5 mts.

hasta los 100 y de 10 mts. de incremento de aquí en adelante.

La temperatura mínima es 0°C. pudiendo variar hasta 25°C por lo cual se tomará incrementos de temperatura de 5° en 5°.

La presión máxima del viento se toma 130 kg. /m², con un factor de disminución de 0,7 por ser conductores circulares, quedando. p = 130 x 0.7 = 91 Kg. /m²:

La superficie del conductor expuesta a la acción del viento es (A).

$$A = L \times d / 1.000 = 1 \times 10,5 / 1.000 = 0,0105 \text{ mts.}^2$$

$$\text{Presión del viento } p = 91 \times 0,0105 = 0,95 \text{ kgs.}$$

Coefficiente de sobrecarga cuando existe viento: m,

$$m = \frac{\sqrt{0,612^2 + 0,95^2}}{0,612} = \frac{1,03}{0,612} = 1,72$$

DESARROLLO DEL CALCULO DE LAS FLECHAS.

Carga máxima de trabajo 40o/o de la carga de rotura :

$$1/a = \frac{w}{T} = \frac{1}{1.740} = 0,000575$$

Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha en 5°c	VANO	L/a	Factor de FLECHA	Flecha
50	0,0284	0,003563	17,815	100	0,057	0,0071284	71,29
55	0,0316	0,003938	21,66	110	0,063	0,0078796	86,7
60	0,0345	0,004313	25,88	120	0,069	0,008631	103,6
65	0,0373	0,004685	30,46	130	0,0745	0,009382	121,96
70	0,0401	0,005001	35,	140	0,0802	0,010009	140,2
75	0,043	0,0053765	40,34	150	0,086	0,0107616	161,4
80	0,046	0,0057518	46	160	0,092	0,011514	184,3
85	0,0488	0,006126	52,07	170	0,0975	0,01222	207,7
90	0,0518	0,006502	60,5	180	0,103	0,012895	232,2
95	0,0545	0,0068154	64,75	190	0,109	0,01365	259,4

Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha 5°C	vano	L/a	Factor de flecha	Flecha 5°C
200	0,114	0,014277	284,6	350	0,2	0,02515	880,3
210	0,121	0,01516	318,36	360	0,207	0,02604	937,5
220	0,126	0,015787	347,4	370	0,213	0,02680	991,6
230	0,132	0,016542	380,4	380	0,218	0,02744	1042,7
240	0,138	0,017298	415,2	390	0,224	0,02821	1100,3
250	0,144	0,018055	451,5	400	0,23	0,02896	1158,4
260	0,149	0,018686	485,4	410	0,235	0,02962	1224,4
270	0,155	0,019443	594,8	420	0,241	0,03038	1,276
280	0,160	0,020075	562,2	430	0,246	0,03103	1,334,3
290	0,166	0,020834	604,4	440	0,253	0,03193	1,405
300	0,172	0,021594	648	450	0,258	0,03257	1,465,7
310	0,178	0,02236	693,2	460	0,264	0,03334	1,533,7
320	0,183	0,02312	739,8	470	0,27	0,03412	1.603,6
330	0,19	0,02388	788	480	0,275	0,03476	1.668,5
340	0,195	0,02451	833,4	490	0,281	0,03554	1.741,5
				500	0,287	0,03632	1816
				700	0,401	0,05123	3.580,1
				720	0,414	0,05311	3.824
				740	0,425	0,05460	4.040
				760	0,436	0,0561	4263,6
				770	0,441	0,05678	

CAMBIO DE CONDICIONES.-

$$t_2^2 \left[t_2 + 0,0423 \frac{L \cdot m^2}{t_2} + 0,217 (\theta_2 - \theta_1) - t_1 \right] = 0,0423 L^2 m^2$$

Si no tomamos en cuenta la acción del viento:

$$t_2 = \frac{2.668}{2,5 \times 67,43} = 15,8 \text{ kgs.}$$

$$m_1 = m - 1$$

$$15,8^2 \left[15,8 + 0,0423 \frac{L}{t_2} + 0,217 (\theta_2 - \theta_1) - t_1 \right] = 0,0423 L^2$$

Resumiendo aún más la ecuación para los $(\theta_2 - \theta_1)$ desde 0° hasta

25°, incrementando de 5° en 5° C:

$$000 \quad 0,0423 \cdot \frac{L2}{t,2} - t, = 0,00017 L2 - 16,885$$

$$1000 \quad 0,0423 \cdot \frac{L2}{t,2} - t, = 0,00017 L2 - 14,72$$

$$1500 \quad 0,0423 \cdot \frac{L2}{t,2} - t, = 0,00017 L2 - 13,63$$

$$2000 \quad 0,0423 \cdot \frac{L2}{t,2} - t, = 0,00017 L2 - 12,54$$

$$2500 = 0,0423 \cdot \frac{L2}{t,2} - t, = 0,00017 L2 - 11,46$$

Reemplazando los valores respectivos tengamos para 000:

$$0,0423 \times \frac{502}{t,2} - t, = 0,00017 \times 50^2 - 16,885 ; \quad t, = 16,8$$

$$0,0423 \times \frac{55^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 55^2 - 16,885 ; \quad t, = 16,75$$

$$0,0423 \times \frac{60^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 60^2 - 16,885 ; \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{65^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 65^2 - 16,885 ; \quad t, = 16,68$$

$$0,0423 \times \frac{70^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 70^2 - 16,885 ; \quad t, = 16,65$$

$$0,0423 \times \frac{75^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 75^2 - 16,885 ; \quad t, = 16,62$$

$$0,0423 \times \frac{80^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 80^2 - 16,885 ; \quad t, = 16,6$$

$$0,0423 \times \frac{85^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 85^2 - 16,885 ; \quad t, = 16,55$$

$$0,0423 \times \frac{90^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 90^2 - 16,885 ; \quad t, = 16,5$$

$$0,0423 \times \frac{95^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 95^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,023 \times \frac{100^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 100^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{110^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 110^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{120^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 120^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{130^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 130^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{140^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 140^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{150^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 150^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{150^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 160^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{170^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 170^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{180^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 180^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{190^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 190^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{200^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 200^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{210^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 210^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{220^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 220^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{230^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 230^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{240^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 240^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{250^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 250^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{260^2}{t_{,2}} - t_{,2} = 0,00017 \times 260^2 - 16,885 \quad t_{,2} = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{270^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 270^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{280^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 280^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{290^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 290^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{300^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 300^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{310^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 310^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{320^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 320^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{330^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 330^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{340^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 340^2 - 16,885 \quad t, = 16,68$$

$$0,0423 \times \frac{350^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 350^2 - 16,885 \quad t, = 16,75$$

$$0,0423 \times \frac{360^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 360^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{370^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 370^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{380^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 380^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{390^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 390^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{400^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 400^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{410^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 410^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{420^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 420^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$$0,0423 \times \frac{430^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 430^2 - 16,885 \quad t, = 16,7$$

$0,0423 \times \frac{440^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 430^2 - 16,885$	$t, = 16,7$
$0,0423 \times \frac{450^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 440^2 - 16,885$	$t, = 16,7$
$0,0423 \times \frac{460^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 450^2 - 16,885$	$t, = 16,7$
$0,0423 \times \frac{460^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 460^2 - 16,885$	$t, = 16,7$
$0,0423 \times \frac{470^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 470^2 - 16,885$	$t, = 16,7$
$0,0423 \times \frac{480^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 480^2 - 16,885$	$t, = 16,7$
$0,0423 \times \frac{490^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 490^2 - 16,885$	$t, = 16,7$
$0,0423 \times \frac{500^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 590^2 - 16,885$	$t, = 16,7$
$0,0423 \times \frac{700^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 700^2 - 16,885$	$t, = 16$
$0,0423 \times \frac{720^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 720^2 - 16,885$	$t, = 16$
$0,0423 \times \frac{740^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 740^2 - 16,885$	$t, = 16$
$0,0423 \times \frac{760^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 760^2 - 16,885$	$t, = 16$
$0,0423 \times \frac{770^2}{t,2} - t, = 0,00017 \times 770^2 - 16,885$	$t, = 16$

Por el análisis anterior se puede ver que para menor temperatura la tensión aumenta, y con cualquier vano que se tome la tensión aumenta en la misma cantidad. Sólo para los vanos desde 700 mts. de luz la tensión es sólo un poco menor por lo tanto

la flecha es mayor. En vista de este análisis para los demás puntos se tomará un vano medio que fué ya expresado al iniciar este proyecto, con el cual se efectuará el cambio de tensiones.

FLECHAS PARA ESTA NUEVA TENSION.-

$$\frac{L. w}{T} = L \times \frac{0,612}{16,8 \times 67,43} = 0,00054 L.$$

$$\frac{L. w}{T} = L \times \frac{0,612}{16 \times 67,43} = 0,00057 L$$

VANO	W	FACTOR DE FLECHA	FLECHA CMT.	VANO	L/s	FACTOR DE FLECHA	FLECHA
50	0,027	0,0033754	16,88	230	0,124	0,01554	357,4
55	0,0296	0,003751	20,63	240	0,13	0,0163	391
60	0,0324	0,004001	24	250	0,135	0,01692	423
65	0,0351	0,004376	28,45	260	0,14	0,01755	456
70	0,0378	0,00475	33,25	270	0,146	0,01831	494,4
75	0,0405	0,005063	38,3	280	0,151	0,01894	530
80	0,0432	0,005377	43	290	0,156	0,01957	567,5
85	0,046	0,005752	48,9	300	0,162	0,02032	609,6
90	0,0485	0,006064	54,6	310	0,167	0,021	651
95	0,0512	0,006378	60,6	320	0,173	0,02172	695
100	0,054	0,006753	67,53	330	0,179	0,02236	737,9
110	0,0592	0,007379	81,2	340	0,183	0,023	782
120	0,065	0,00813	97,6	350	0,188	0,02362	827
130	0,07	0,008756	114,8	360	0,194	0,0244	878,4

Vano	Lla	Factor de flecha	Flecha 0° cm	Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha
140	0,0755	0,009445	132,2	870	0,2	0,02515	930,6
150	0,081	0,01014	152,1	380	0,205	0,0258	980
160	0,086	0,01070	172,2	390	0,21	0,02642	1028
170	0,092	0,01151	195,7	400	0,216	0,02719	108,8
180	0,097	0,01214	218,5	410	0,221	0,02782	1140,6
190	0,103	0,01289	246	420	0,227	0,0286	1.201
200	0,108	0,01352	270,4	430	0,233	0,0294	1.264
210	0,1135	0,01421	298,4	440	0,238	0,03	1320
220	0,119	0,01491	323	450	0,243	0,03064	1379
460	0,249	0,03141	1445				
470	0,254	0,03205	1500				
480	0,26	0,03283	1576				
490	0,265	0,03347	1640				
500	0,27	0,03425	1713				
700	0,405	0,0519	3.033				
720	0,416	0,0534	3.845				
740	0,43	0,0553	4.092				
760	0,44	0,05664	4.305				
770	0,445	0,05733	4.414.				

CALCULO DE LA FLECHA A 50G con viento:

Tensión con viento:

$$15,3^2 \left[15,3 + 0,0423 \frac{L^2 m^2}{t^2} - t, \right] = 0,0423 t^2$$

$$\frac{2.134}{t_1^2} - t_1 = - 10,8$$

$$t_1 = 17,6 \quad \text{Kg/mm}^2.$$

$$L \cdot \frac{n}{T} = \frac{1.030}{1.185} = 0,00087 \text{ L}$$

Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha 50. con viento	Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha 50. con viento
50	0,0435	0,005438	27,2	310	0,27	0,03412	1057,7
55	0,0476	0,00594	32,6	320	0,273	0,0352	1126,4
60	0,058	0,006503	39	330	0,286	0,0362	1.195
65	0,0565	0,007065	46	340	0,295	0,0374	1.272
70	0,061	0,00763	53,4	350	0,304	0,03853	1.348,0
75	0,065	0,00813	61	360	0,312	0,03957	1.424,5
80	0,0695	0,00867	71,4	370	0,321	0,04075	1.508
85	0,074	0,00926	78,7	380	0,33	0,042	1.596
90	0,078	0,009759	87,8	390	0,338	0,043	1.677
95	0,083	0,01039	98,7	400	0,347	0,0442	1.768
100	0,087	0,01089	109,	410	0,355	0,04522	1.854
110	0,096	0,01202	132,2	420	0,365	0,04655	1.955
120	0,104	0,01302	156.2	430	0,374	0,0478	2.055
130	0,113	0,01415	184	440	0,381	0,04868	2.142
140	0,122	0,01528	214	450	0,39	0,05	2.250
150	0,13	0,0163	244,5	460	0,4	0,05122	2.356
160	0,139	0,01742	278,7	470	0,408	0,0523	2.458
170	0,148	0,01856	315,5	480	0,416	0,0534	2.563
180	0,156	0,0196	353	490	0,425	0,0546	2.675

Vano	L/a	Factor de flecha	flecha 50 con viento	Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha 50. con viento
190	0,165	0,02071	393,5	500	0,435	0,056	2.800
200	0,174	0,02185	437	700	0,608	0,0806	5.642
210	0,183	0,023	483	720	0,625	0,08316	5.987
220	0,192	0,02413	531	740	0,641	0,0856	6.334
230	0,204	0,026	598	760	0,66	0,08852	6.727
240	0,213	0,0268	643	770	0,67	0,09	6.930
250	0,22	0,0277	692,5				
260	0,226	0,02846	740				
270	0,235	0,03	810				
280	0,243	0,031	868				
290	0,252	0,0318	122				
300	0,26	0,033	990				

CALCULO DE LA FLECHA A 100C con viento.-

La fórmula aplicable para 100 C es :

$$0,0423 \cdot M, \frac{L^2}{t,^2} - t, = 0,00017 L^2 - 14,72$$

Tomando el vano medio de 171 mt., para el cálculo de t, se tiene:

$$\frac{2.134,6}{t,^2} - t, = -9,75 \quad t, = 17$$

Al aumentar la temperatura aumenta la flecha y por ende disminuye la tensión.

$$L \cdot \frac{\pi}{T} = L \cdot \frac{1,03}{1.146,3} = 0,0009 L.$$

Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 100 C con viento	Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 100C con viento
50	0,045	0,005627	28,14	290	0,26	0,03283	952
55	0,0495	0,00618	34	300	0,27	0,03412	1024
60	0,054	0,006753	40,52	310	0,28	0,03541	1098
65	0,0582	0,007254	47.1	320	0,288	0,03645	1166
70	0,063	0,008	56	330	0,297	0,03762	1241,5
75	0,0675	0,00844	64,3	340	0,305	0,03866	1314
80	0,072	0,009007	72	350	0,315	0,04	1400
85	0,076	0,00951	81	360	0,324	0,04114	1481
90	0,0812	0,01014	92	370	0,333	0,04232	1565
95	0,085	0,01064	101	380	0,342	0,04351	1653
100	0,09	0,01126	113	390	0,35	0,04456	1738
110	0,0985	0,01232	135,5	400	0,36	0,04588	1835
120	0,108	0,01352	162	410	0,369	0,04708	1931
130	0,116	0,01454	189	420	0,378	0,04828	2028
140	0,126	0,01579	221	430	0,388	0,04961	2133
150	0,135	0,017	255	440	0,395	0,05055	2223
160	0,144	0,01806	289	450	0,405	0,052	2340
170	0,152	0,0191	325	460	0,414	0,05311	2443
180	0,162	0,02033	366	470	0,423	0,05433	2553,5
190	0,17	0,02134	405,5	480	0,432	0,056	2683
200	0,18	0,02261	452	490	0,44	0,05665	2776

Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 100 C con viento	Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 1000 con viento
210	0,188	0,02362	496	500	0,45	0,05733	2.866,5
220	0,197	0,0248	546	700	0,63	0,08392	5.974
230	0,206	0,026	598	720	0,649	0,08682	6.251
240	0,215	0,02706	649	740	0,668	0,0898	6.645
250	0,224	0,02821	705	760	0,685	0,09247	7.028
260	0,233	0,02936	763	770	0,692	0,094	7.238
270	0,242	0,03051	824				
280	0,25	0,03154	883				

CALCULO DE LA FLECHA A 1500 CON VIENTO.-

La fórmula para 1500 es

$$0,0423 \text{ m} \cdot \frac{L^2}{t,^2} - t, = 0,00017 L^2 - 13,63$$

$$\frac{2.134,6}{t,^2} - t, = - 8,66 \quad t, = 16,4$$

$$L \cdot \frac{r}{T} = L \times \frac{1,03}{1.110} = 0,00093$$

Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 150 con viento	Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha 150 con viento
50	0,0465	0,005314	27,00	230	0,26	0,03233	919
55	0,051	0,006377	35,00	290	0,27	0,03412	919

Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 150 con viento	Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha 150 con viento
60	0,0559	0,007	42,00	300	0,28	0,03540	1062
65	0,0605	0,007505	49,00	310	0,289	0,03656	1134
70	0,065	0,00813	57,00	320	0,297	0,03762	1204
75	0,07	0,008750	64,00	330	0,300	0,03879	1280
80	0,0745	0,00932	75,00	340	0,316	0,04	1360
85	0,079	0,009884	84,00	350	0,325	0,0413	1446
90	0,084	0,01051	95,00	360	0,335	0,04258	1533
95	0,088	0,01101	103,00	370	0,344	0,04377	1619
100	0,093	0,01164	116,00	380	0,354	0,0451	1714
110	0,102	0,01277	140,50	390	0,364	0,04641	1810
120	0,112	0,01403	168,00	400	0,373	0,04761	1904
130	0,121	0,01516	197,00	410	0,381	0,0487	1997
140	0,13	0,0163	228,00	420	0,39	0,05	2100
150	0,1395	0,01742	261,00	430	0,4	0,05122	2202
160	0,149	0,0187	299,00	440	0,41	0,0526	2314
170	0,158	0,01982	337	450	0,42	0,054	2430
180	0,168	0,0211	379,8	460	0,428	0,055	2530
190	0,176	0,0221	420	470	0,438	0,0564	2651
200	0,186	0,0234	468	480	0,445	0,05733	2752
210	0,190	0,02464	517,4	490	0,455	0,059	2891
220	0,205	0,0258	567,0	500	0,465	0,06	3000
230	0,214	0,02693	619	700	0,65	0,087	6090

Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 15° con viento	Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 15° con viento
240	0,223	0,0281	674	720	0,670	0,09	6.330
250	0,233	0,02936	734	740	0,690	0,09323	6.899
260	0,242	0,03051	793	760	0,71	0,09643	7.329
270	0,25	0,03154	852	770	0,715	0,09724	7.437.

CALCULO DE LA FLECHA A 20° C CON VIENTO.-

La fórmula para 20° C es

$$0,0423 \cdot m \cdot \frac{L^2}{2} - t, = 0,00017 L^2 - 12,54$$

$$\frac{2 \cdot 134,0}{2} - t, = - 7,57 \quad t, = 15,95$$

$$L \cdot \frac{w}{T} = L \times \frac{1,03}{1075,5} = 0,00096 \cdot L$$

Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha 20° con viento	Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 20° con viento
50	0,042	0,00002	30	160	0,154	0,01932	309
55	0,053	0,00033	38,5	170	0,163	0,02045	347,6
60	0,0575	0,00033	43,3	180	0,172	0,0216	389
65	0,061	0,00054	50,4	190	0,182	0,0227	435
70	0,065	0,00075	58,7	200	0,191	0,0239	483

Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 20' C con viento	Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 20' C con viento
75	0,072	0,009007	67,6	210	0,201	0,02527	531
80	0,077	0,009633	77	220	0,211	0,02655	584
85	0,0816	0,0 1019	86,6	230	0,22	0,0277	637
90	0,0862	0,0 1077	97	240	0,23	0,29	696
95	0,091	0,0 11391	108	250	0,24	0,03026	756,6
100	0,096	0,0 1202	120	260	0,25	0,03154	820
110	0,106	0,0 1327	146	270	0,259	0,0327	883
120	0,115	0,0 144	173	280	0,269	0,034	952
130	0,124	0,0 1553	202	290	0,278	0,0352	1021
140	0,134	0,0 1679	235	300	0,287	0,03632	1089
150	0,144	0,0 1805	270,7	310	0,297	0,03762	1166
320	0,306	0,03869	1238	430	0,413	0,053	2279
330	0,316	0,0401	1323	440	0,422	0,05419	2384
340	0,326	0,04140	1.403	450	0,431	0,05542	2494
350	0,335	0,0426	1491	460	0,44	0,05665	2606
360	0,345	0,044	1584	470	0,45	0,05891	2769
370	0,355	0,04522	1673	480	0,46	0,0594	2851
380	0,365	0,04655	1769	490	0,47	0,06077	2978
390	0,375	0,0479	1868	500	0,48	0,06216	3108
400	0,384	0,0491	1964	700	0,67	0,0901	6307
410	0,394	0,05042	2067	720	0,69	0,09323	6723
420	0,403	0,05163	2168	740	0,71	0,09643	7136
				760	0,73	0,09969	7577

CALCULO DE LA FLECHA A 25°C CON VIENTO

La fórmula para 25° es

$$0,0423 \frac{w, L^2}{2} - t, = 0,00017 L^2 - 11,40$$

$$t,$$

$$\frac{2.134,0}{2} - t, = - 0,49 \quad t, = 15,4$$

$$t,$$

$$L \cdot \frac{w}{F} = Lx \frac{1,03}{1,038} = L \cdot 0,000995 \approx 0,001 L$$

Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 25°C con viento	Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 25°C con viento
50	0,05	0,00252	31,20	290	0,29	0,03071	1064
55	0,055	0,00288	37,34	300	0,3	0,038	1140
60	0,06	0,0075	42	310	0,31	0,03931	1.218
65	0,065	0,00313	53	320	0,32	0,04062	1299
70	0,070	0,00376	61,3	330	0,33	0,04193	1333
75	0,075	0,00938	70,4	340	0,34	0,04324	1469
80	0,080	0,01001	80	350	0,35	0,04456	1558
85	0,085	0,01064	90,4	360	0,36	0,0459	1656
90	0,090	0,01126	101	370	0,37	0,04721	1746
95	0,095	0,01189	113	380	0,38	0,04854	1843
100	0,1	0,01252	125	390	0,39	0,05	1950
110	0,11	0,01377	151,5	400	0,4	0,05122	2049
120	0,12	0,01503	180,4	410	0,41	0,05257	2153

Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 25 C. con viento	Vano	L/a	Factor de flecha	Flecha a 25 C. con viento
130	0,13	0,0163	212	420	0,42	0,054	2.268
140	0,14	0,01755	240	430	0,43	0,0553	2.373
150	0,15	0,01881	262	440	0,44	0,05665	2.493
160	0,16	0,02008	321,3	450	0,45	0,05392	2.650
170	0,17	0,02134	363	460	0,46	0,0594	2.912
180	0,18	0,02261	407	470	0,47	0,06077	2.353
190	0,19	0,02388	454	480	0,48	0,0622	2.980
200	0,2	0,02515	503	490	0,49	0,06350	3.110
210	0,21	0,02642	555	500	0,50	0,065	3.250
220	0,22	0,0277	609	700	0,7	0,09432	6.630
230	0,23	0,02898	667	720	0,72	0,09805	7.063
240	0,24	0,03026	726	740	0,74	0,1013	7.490
250	0,25	0,03154	788	760	0,76	0,1047	7.957
260	0,26	0,03283	853	770	0,77	0,1064	8.193
270	0,27	0,03412	921				
280	0,28	0,03541	991				

El conductor de protección a tierra que fué antes explicado su uso y determinado su material se tendrá en cuenta el 30% de las flechas de los conductores de corriente: las flechas y tensiones para este conductor quedará determinadas en la tabla que a este conductor se refiere.

TABLAS DE TENDIDO.- En estas se hace una recopilación de todas las flechas calculadas a su diferente temperatura y para cada vano. Para vanos que no se encuentran en la siguiente tabla se podrá hacer alguna interpolación fácil, rápida y determinar la flecha que a éste corresponda.

Tabla de flechas para el tendido de la línea (cobre Hard drawn No. 2/o-)
 7 hilos
 Temperatura mínima 0oC. (Tabla No. 10)
 Vientos 150 kg/m²
 Carga máxima de trabajo: 40o/o de la carga de rotura:
FLECHAS EN Cmt.

LUE mts	0oT=1.080 sin viento	TEMPERATURAS Y TENSIONES DE TENDIDO CORRESPONDIENTES					
		5o.		10oT=1.140,3	15oT=1110	20oT=1075,5	25oT=1030
		1.00o= T sin viento	1.185= T con viento				
50	16,88	17,315	27,2	27,22	27,2	30	31,20
55	20,0	21,7	32,0	34	35	38,5	38
60	24	25,9	39	40,5	42	43,3	46
65	27,5	30,5	46	47,1	49	50,4	53
70	33,0	35	53,4	56	57	58,6	61
75	38,3	40,3	61	64,3	64	67,6	70
80	43	46	71,4	72	75	77	80

LUZ mts	TEMPERATURAS Y TENSIONES DE TENDIDO CORRESPONDIENTE						
	000 1.030	50.		1000 T=	1500	2000	2500
	sin viento	1.000 = T sin viento	1.185 T con viento	1.140,3	1.110 = T	T = 1075,5	T = 1038
85	49	52	79	81	84	86,6	90
90	55	60,5	83	92	95	97	101
95	61	64,8	99	101	105	108	113
100	68	71,3	109	113	116	120	125
110	81	87	132	136	141	146	152
120	98	103,6	156	162	168	173	180
130	115	122	184	189	197	202	212
140	132	140	214	221	228	235	246
150	152	161	245	255	261	271	282
160	172	184	279	289	299	309	321
170	196	238	316	325	337	348	363
180	219	232	353	366	380	389	407
190	246	259	394	406	420	435	454
200	270	284,6	437	452	468	483	503
210	298	318,4	483	496	417	531	555
220	328	347	531	546	568	584	609
230	357	380	598	598	619	637	667
240	391	415	643	649	674	696	726
250	423	452	693	705	734	757	788
260	455,	435,4	740	763	793	820	853
270	494	525	810	824	852	883	921

Luz mts.	TEMPERATURA Y TENSIONES DE TENDIDO CORRESPONDIENTES							
	0°C = 1.000		5°C		10°C	15°C	20°C	25°C
	sin viento	1.000 = T sin viento	1.185 = T con viento	1.140,37 = 1110	1500 = 1110	1075,5 = 1038		
280	530	562	363	883	919	952	991	
290	563	604	922	952	989	1021	1064	
300	610	643	990	1024	1062	1089	1140	
310	651	693	1058	1098	1134	1166	1213	
320	695	740	1126	1166	1204	1238	1299	
330	733	783	1195	1242	1280	1323	1383	
340	782	833	1272	1314	1360	1408	1469	
350	827	880	1349	1400	1440	1491	1558	
360	878	933	1425	1431	1533	1584	1656	
370	931	992	1508	1505	1619	1673	1746	
380	980	1043	1596	1653	1714	1769	1843	
390	1028	1100	1677	1733	1810	1868	1950	
400	1083	1158	1768	1835	1904	1964	2049	
410	1141	1224	1854	1931	1997	2067	2153	
420	1201	1270	1955	2023	2100	2168	2263	
430	1264	1334	2055	2133	2202	2279	2378	
440	1320	1405	2142	2223	2314	2384	2493	
450	1379	1466	2250	2340	2430	2494	2650	
460	1445	1534	2356	2443	2530	2606	2762	
470	1506	1604	2453	2554	2651	2769	2858	
480	1576	1669	2563	2638	2752	2851	2936	
490	1640	1742	2675	2770	2891	2973	3116	

LUZ mts.	TEMPERATURAS Y TENSIONES DE TENDIDO CORRESPONDIENTES						
	1000	500		1000	150	200	250
	sin viento.	sin viento	con viento	con viento	1.110	1.075	1.038
500	1.713	1.816	2.800	2.867	3.000	3.106	3.250
700	3.633	3.536	5.642	5.374	6.090	6.307	6.636
720	3.845	3.824	5.987	6.251	6.330	6.723	7.063
740	4.092	4.040	6.334	6.645	6.900	7.130	7.496
760	4.305	4.264	6.727	7.028	7.329	7.577	7.957
770	4.414	4.372	6.930	7.238	7.487	7.803	8.193

TABLA DE FLECHAS PARA EL TENDIDO DE LA LINEA DEL CONDUCTOR DE PROTECCION CON PUESTA A TIERRA.-

Este conductor tendrá las siguientes características:

Cable de acero de 1/4" de diámetro (S = 22,7) calidad High Strangth 4.750 lbs. (2.160 kgs.) de carga mínima de rotura, 7 hilos extragalvanizado.

Temperatura mínima 0°C

Vientos 130 Kg. /m².

CARGA DE TRABAJO: Para su determinación, se puede partir simplemente de la fórmula, que indica la flecha haciendo uso de la parábola

$$f = \frac{w \cdot l^2}{8T}$$

Si la f indica la flecha del conductor de cobre y T la tensión del mismo.

Como para este conductor de acero, las flechas son el 000/o de

las flechas de los conductores de cobre, se multiplica ambos miembros por 0.8 quedando

$$0.8 f_1 = 0.8 \frac{w L^2}{8T} = \frac{w_1 L^2}{8 (1.25 T_1)}; T_1 = 1.25 \frac{w_2}{w_1} = 0.37 T_1$$

Lo que indica que: si la flecha es el 80/o, la tensión vale el 37 o/o de la de los conductores de cobre. Así se puede determinar la tensión de este conductor partiendo directamente de la tensión del conductor de cobre.

Tabla 11

LUZ mts	TEMPERATURAS Y TENSIONES PARA EL TENDIDO CORRESPONDIENTES						
	0o	5o.		10o	15o	20o	25o
	T = 400 sin viento	T = 395 sin viento	T = 440 con viento	T = 425	T = 410	T = 395	T = 384
50	13,5	14,22	21,7	21,70	21,70	24	24,8
55	16,5	17,40	26,1	27,20	28	28,4	30,5
60	19,2	20,70	31,2	32,40	33,60	34,5	36
65	22,8	24,50	36,9	37,60	39,20	40,5	42,5
70	26,6	28,00	42,6	45,00	45,60	47,	49,
75	30,6	32,20	49,0	51,30	51,40	54	56
80	34,5	36,80	57,0	58,00	60,00	62	64
85	39,2	41,50	63,0	65,00	67,00	69	72
90	44,0	48,80	70,0	74,00	76	78	81
95	49,0	52,0	79,0	81,00	84	87	91
100	54,5	57,00	87,0	91,00	93	96	100
110	65,0	70,00	106,0	109,00	113	117	122
120	79,0	83,00	125,0	130,00	134	138	144

Tabla No. 11

LUZ mts	TEMPERATURAS Y TENSIONES PARA EL TENDIDO CORRESPONDIENTES						
	0o	5o.		10o	15o	20	25o
	T ₋ 1.350 sin vien- to	T ₋ 1.330 sin vien- to	T ₋ 1.480 con vien- to	T ₋ 1.435	T ₋ 1385	T ₋ 1.340	T ₋ 1295
130	92,0	98,0	147,0	151,00	158	162	169
140	106,0	112,00	172,0	177,00	183	188	197
150	122,0	129,00	196,0	205,00	209	217	226
160	138,0	148,00	214,0	231,00	239	247	256
170	157,0	167,00	253,0	260,00	270	278	290
180	175,0	186,00	282,0	294,00	304	310	325
190	196,0	207,00	314,0	326	336	348	364
200	216,0	228,00	350,0	362	375	386	402
210	239,0	254,00	336,0	397	415	425	445
220	264,0	277,00	425,0	436	455	467	485
230	287,0	305,00	476,0	477	494	510	535
240	314,0	336,00	513,0	518	540	555	580
250	338,0	362,00	555,0	565	588	605	630
260	365,0	383,00	592,0	610	636	656	683
270	395,0	420,00	650,0	660	682	708	740
280	425,0	450,00	697,0	709	732	762	795
290	455,0	484,00	748,0	762	790	820	852
300	488,0	518,00	790,0	820	850	870	910
310	521,0	558,00	845,0	878	908	935	970
320	555,0	591,00	900,0	935	965	990	1040

TABLA No. 11

LUZ mts	TEMPERATURAS Y TENSIONES PARA EL TENDIDO CORRESPONDIENTES						
	0° T= 1.350 sin vien- to	5° T= 1330 sin vien- to T= 1480 con vien- to		10° T=1.435	15° T=1.385	20° T=1.340	25° T=1.295
330	590,0	630	955,	992	1025	1065	1100
340	630,0	663.	1020	1050	1090	1130	1175
350	660,0	705	1080	1120	1155	1190	1245
360	700,0	750	1142	1190	1225	1270	1320
370	745,0	795	1215	12,55	1290	1340	1400
380	785,0	838	1275	1320	1370	1420	1480
390	820,0	880	1340	1390	1450	1500	1560
400	870,0	925	1420	1470	1530	1580	1635
410	915,0	980	1480	1540	1595	1645	1725
420	962,0	1020	1560	1620	1680	1735	1815
430	1015,0	1070,	1650	1700	1760	1825	1900
440	1060,0	1125	1715	1770	1840	1905	1990
450	1100,0	1175	1800	1870	1940	1990	2130
460	1160,0	1225	1830	1950	2030	2085	2220
470	1210,0	1280	1960	2050	2135	2200	2300
480	1260	1340	2050	2150	2200	2280	2390
490	1315,0	1400,	2140	2220	2310	2380	2490
500	1370,0	1450	2240	2300	2400	2480	2600
700	2900,0	1450	2240	2300	2400	2480	2600
720	3070,0		4520	4700	4850	5060	5320

TABLA No. 11

LUZ mts	TEMPERATURAS Y TENSIONES PARA EL TENDIDO CORRESPONDIENTES						
	3o	5o		10o	15o	20	25o
	T= 1350 sin viento	T= 1330 sin viento	T= 1480 con viento	1435	1.385	1340	1.295
740	3260		5050	5320	5520	5700	5990
760	3450		5390	5640	5870	6100	6380
770	3540		5550	5800	5990	6250	6550

DISTANCIA ENTRE CONDUCTORES.- El espacio entre los conductores de una línea debe ser tanto mayor cuanto mayor sea la tensión y el vano. Los contactos entre conductores pueden provenir de:

Oscilaciones de los conductores con frecuencias ligeramente diferentes bajo la acción de un viento lateral intermitente.

Movimiento absolutamente irregulares causados por un viento longitudinal que sopla en ráfagas.

Para determinar la misma distancia entre los conductores cuando son del mismo material tenemos la siguiente fórmula empírica.

$$d = 0,75 \cdot \sqrt{f} + \frac{E}{180} \quad (\text{mts})$$

f- flecha del conductor en mts. a máxima temperatura.

E- Tensión en KV.

d- Separación de los conductores en mts.

Aproximadamente, al iniciar el estudio eléctrico de la línea y para poder calcular el efecto inductivo entre los conductores, se

había admitido una distancia mínima de 1,2 mts. Esta distancia será rectificadada por el cálculo que a continuación se haga, sin introducir mucho error en el cálculo que de la inducción de la línea se hizo. La distancia entre conductores se calculará para el caso más peligroso o sea el de máxima flecha, lo cual sucede a 250 y con viento. Se efectuará un análisis de distancias cada 50 mts. de incremento de vano para de éstas escoger una distancia más o menos normal para los vanos no muy largos y otra distancia para los vanos largos. Esta distancia nos servirá para determinar la longitud de la cruzeta en la torre.

$$d = 0,75 \sqrt{f} + 22/180 = 0,122 + 0,75 \sqrt{f}$$

LUF	CALCULO DE DISTANCIA:	DISTANCIA
50	0,122 + 0,75 $\sqrt{0,3126}$	0,538
100	0,122 + 0,75 $\sqrt{1,25}$	0,952
150	0,122 + 0,75 $\sqrt{2,82}$	1,332
200	0,122 + 0,75 $\sqrt{5,03}$	1,692
250	0,122 + 0,75 $\sqrt{7,88}$	2,322
300	0,122 + 0,75 $\sqrt{11,4}$	2,62
350	0,122 + 0,75 $\sqrt{15,58}$	3,04
400	0,122 + 0,75 $\sqrt{20,49}$	3,5
450	0,122 + 0,75 $\sqrt{26,5}$	4,07
500	0,122 + 0,75 $\sqrt{32,5}$	4,37
700	0,122 + 0,75 $\sqrt{66,33}$	6,22
770	0,122 + 0,75 $\sqrt{61,93}$	6,762

Tabla No. 12

*

Como las flechas son diferentes y la distancia se encuentra en función de la flecha, éstas también son diferentes. El escoger la longitud para cada caso sería para determinar cada torre; pero se normalizan estas distancias tomando para un intervalo de tramos y según el ángulo de deflexión.

Basándonos en lo dicho tomamos las siguientes distancias que en algunas torres pueden variar:

Hasta 150 mts de luz se admite 1,50 mts

de 150 hasta 350 mts de luz la separación entre dos conductores opuestos es 3 mts y la distancia vertical entre los 2 conductores del mismo lado es 1,80 m

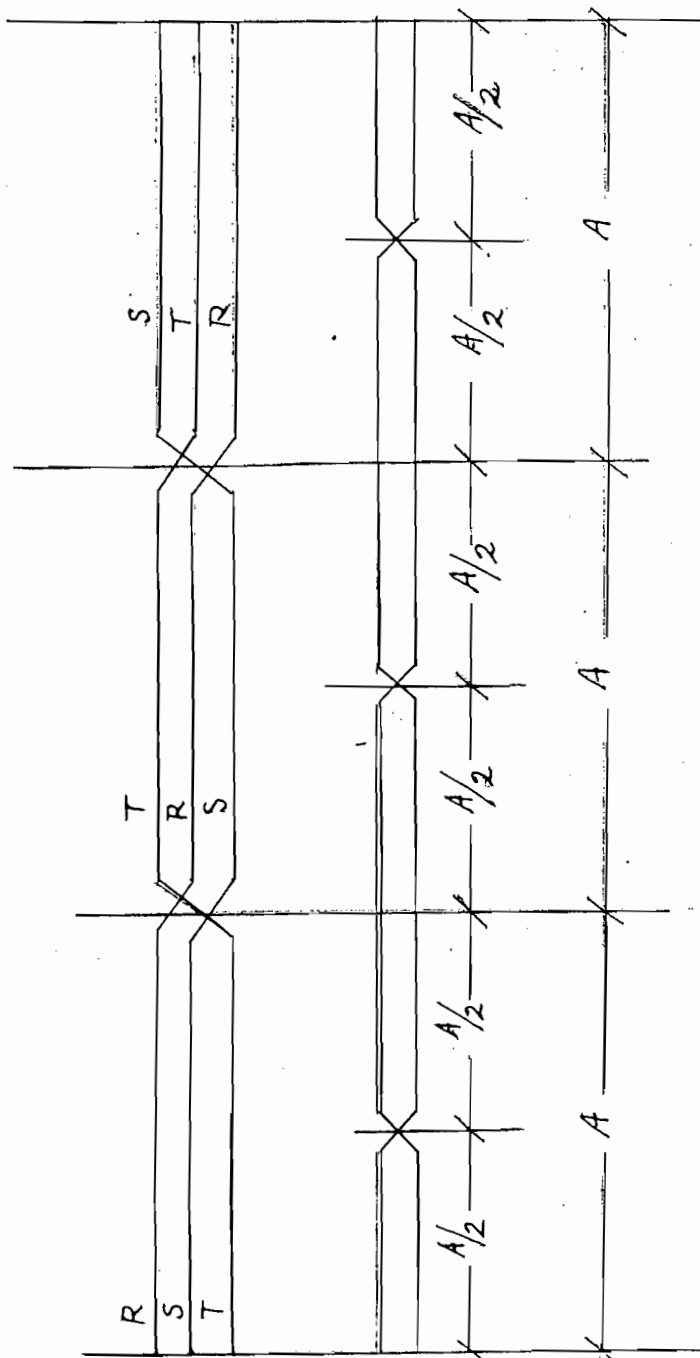
De 350 mts hasta 500 mts. la distancia es 4 mts. la separación vertical 1,80 m

De 500 mts. en adelante la separación podemos admitirle de 6,50 mts.

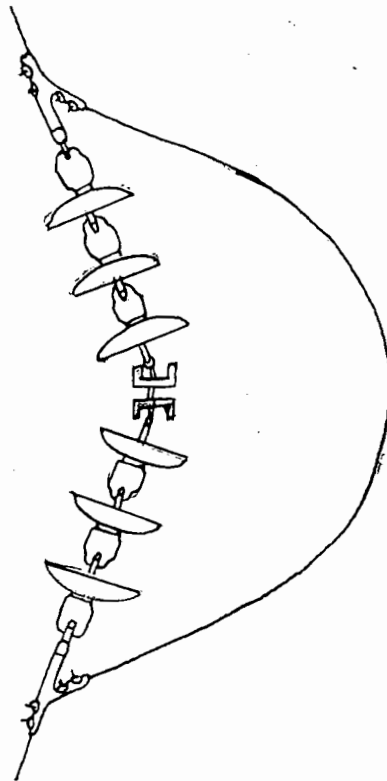
Las distancias en las torres de ángulo pueden ser varias dependiendo del ángulo de deflexión que formen. Variando o incrementándose su distancia de 0,30 m por cada 10° de ángulo. Los mayores ángulos de deflexión se realizan en las torres 34 y 36 pero como su distancia es decir los vanos contiguos no son muy largos se puede admitir una separación de 3 mts. entre conductores opuestos y 1,80 mts entre dos conductores del mismo lado.

TRANSPOSICION DE CONDUCTORES. - El objeto de esta transposición fue indicada antes, por lo tanto se determinará su situación y forma de enlace.

La variación de la posición en la línea de transporte se efectuará interrumpiendo la línea en las torres N° 16-52-75, a las cuales les corresponde una abscisa 2+703⁴⁵ - 9+826³⁴ - 13+070, respectivamente, medida desde el punto 0+00 que se encuentra en la ciudad de Loja. Como la torre debe llevar doble aislador de amarre se unirán los conductores por medio de puentes conforme lo indica la figura N° 4.



CRUCE DE LAS CONDUCTORES TELEFONICOS EN CORRESPONDENCIA DON LOS DE FUERZA.



LAZO DE UNION DEL CONDUCTOR EN LA TORRE DE AMARRE Y CRUCE DE LOS CONDUCTORES.

CAPITULO CUARTO

L I N E A T E L E F O N I C A

La línea de comunicación enlazará la central productora con la subestación de distribución y se efectuará por una línea telefónica, con teléfono ordinario, circuito de dos hilos conductores. Con el objeto de economizar los gastos de establecimiento se aprovecharán los mismos apoyos de alta tensión, montando en ellos los conductores telefónicos, los mismos que irán paralelos a los de energía y a una distancia mínima de 1,5 mts. del conductor mas bajo de energía; esta distancia la tomamos de las normas que existen para este caso y evitar en lo posible los efectos de inducción, para esto se efectuará el cambio mutuo de posición de los conductores de la línea de comunicación (transposición) coordinadamente con la transposición de la línea eléctrica. La longitud de los tramos transpuestos y por tanto los puntos de cruce o transposición no son arbitrarios. Para que el resultado sea satisfactorio, esto es para lograr el equilibrio desde el punto de vista electrostático y la paridad de inducción en los dos conductores desde el punto de vista electromagnético en cada ciclo de transposición de la línea eléctrica debe tratar de lograrse la neutralización en los conductores de comunicación tanto de las tensiones como de las corrientes inducidas.

La transposición en la línea telefónica puede verse en el gráfico N°4 que corresponden a los sitios de cruce correspondientes a las torres N° 4-7-9-15-18-20-23-26-30-32-37-41-45-48-51-52-54-57-58-60-61-63-68-69-71-74-75-77-80-82-85-88.

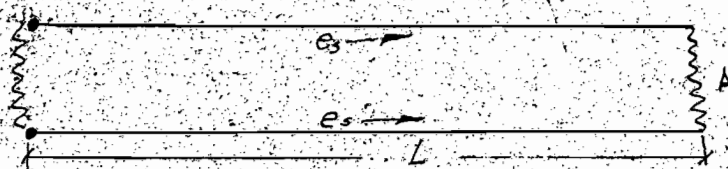
En dichos conductores que se encuentran sometidos al campo alter--

activa creado por la línea de transporte, se induce también una tensión alternativa. Si ésta fuese igual en los 2 hilos por la línea y los aparatos no circularía ninguna corriente perjudicial, en el supuesto de que fuese bueno el aislamiento de la instalación con respecto a tierra; pero si las tensiones inducidas fuesen desiguales aparecería una corriente de equilibrio que podría averiar los aparatos o hacer difícil o imposible la comunicación.

Para disminuir el efecto inductivo es preciso que los conductores conserven en la medida de lo posible la misma separación con la línea de fuerza, por lo cual estos conductores telefónicos serán tendidos con la misma flecha de los conductores de energía. Debido a las causas citadas es preciso tomar ciertas medidas, para que los aparatos telefónicos no sufran averías frecuentes y exista la necesaria seguridad para el personal encargado de su manejo.

Si en un tramo de línea telefónica como el de la fig. 9 -
güente:

Fig. No. 9



se inducen en los 2 conductores fuerzas electromotrices iguales e_s , por estar dirigidas en el mismo sentido, en el circuito A del receptor telefónico no ocurre nada anormal; pero si dichas fuerzas electromotrices fueran distintas, la diferencia entre ellas daría origen a una corriente a través del circuito A que perturbaría la corriente de por sí débil del aparato telefónico, e impedi-

diría entenderse a las 2 estaciones puestas al habla.

PROTECCION.- Es necesario que la línea telefónica tenga buen aislamiento con respecto a tierra. Se instalarán bobinas de drenaje conectados en paralelo entre los conductores del teléfono, con ellas y a través de la pequeña reactancia de la bobina a 60c/s, se desvían a tierra las tensiones inducidas en la línea telefónica por la influencia de la alta tensión. Estas bobinas presentan una reducida impedancia a las corrientes inducidas, que pasan fácilmente a tierra, pero en cambio ofrecen una gran resistencia a las corrientes telefónicas cuya frecuencia es más elevada. Las líneas telefónicas que van montadas sobre los mismos postes que las de transporte, pueden conducir grandes cantidades de energía cuando por rotura de los aisladores o de los conductores, la línea de alta tensión se ponga en contacto directo con la telefónica. Igual efecto se puede observar cuando ocurran anomalías en la línea eléctrica como roturas de conductores o tierras indebidas, o transitoriamente en el momento de accionar los seccionadores o interruptores. Por si esto llegase a ocurrir y para evitar la destrucción de los aparatos conectados con la línea y el peligro a las personas que deben utilizar el teléfono es necesario instalar el aparato de protección indicado en el plano N°3, ya que la bobina de drenaje no tendrá eficacia en este caso por no poder desviar a tierra las tensiones que aparecerían en la línea. Es preciso por lo tanto, derivar a tierra esta energía perjudicial y para ello se coloca en la entrada de la línea telefónica y después del separador y un pararrayos de chispas que funciona con una tensión de 1.000 o más voltios. A continuación de los limitadores de tensión f, e, el 2º es de 2 placas

tálicas separadas con arandela de mica y el segundo de vacío. Ambos comienzan a funcionar entre 300 y 600 v. y tienen por objeto anular las cargas y equilibrar las tensiones residuales entre ambos conductores.

Completa la instalación de alto voltaje un transformador de protección d, calculado para responder ampliamente a las cantidades de energía, relativamente pequeñas que exijan las transmisiones de las llamadas y las de conversación, pero a causa de la pronta saturación del ancho de plancha de hierro no puede suministrar una potencia apreciable en la parte de la baja tensión aún con elevadas tensiones en el primario de dicho transformador.

La protección del teléfono se realiza finalmente por medio de fusibles finos C de 0,3 amperios y descargadores sensibles de vacío b.

CIRCUITO DEL TELEFONO.- El aparato telefónico será del tipo de batería local, de magneto y en conexión para antisonido local colocado en una pequeña cabina aislada del resto de la sala con puerta de vidrio. Se colocará un foco luminoso de manera que el aviso de llamada se avisado por encenderse este foco. Este circuito puede verse en el gráfico del plano No. 3. Este teléfono comprende un micrófono, una pila de alimentación, una bobina de inducción, un receptor, una pila de llamada, un magneto, una campanilla y una horquilla conmutadora.

UNIDADES DE TRANSMISION.- Estas unidades permiten expresar la

relación de las potencias aparentes o reales, de las tensiones o de las corrientes en los sistemas de transmisión. Como el oído humano distingue 2 sonidos de intensidad diferente cuando su relación alcanza a cierto valor, se utilizan unidades logarítmicas, el Neper y el desibel.

El número de Nepers que mide el rendimiento de un sistema o de un circuito está dado por el logaritmo natural de la relación de las tensiones o corrientes a la entrada y a la salida del sistema

$$N_1 = \ln \frac{U_1}{U_2} = 1/2 \ln \frac{P_1}{P_2}$$

CONSTANTES DEL CIRCUITO TELEFÓNICO.- El circuito telefónico aéreo posee 4 características que se denominan convencionalmente "Constantes primarias" y que son:

- R - Resistencia
- L - Autoinductancia o coeficiente de autoinducción.
- G - Conductancia.
- C - Capacidad.

CONDUCTORES.- Para el circuito telefónico, se toma por lo general un conductor de buena resistencia mecánica copperweld y No. 8 o No. 10. En vista de los vanos largos en que debe ser tendida la línea, se acepta que este conductor sea No. 8 o sea de:

diámetro 3,26 mm

Sección..... π8,366 mm²

La frecuencia normalizada para circuitos telefónicos es 1.000 c/s empleándose también la de 800 c/s, para nuestro trabajo tomaremos la primera. Se admite una separación media entre conductores de 45 cm.

Por la tabla de conductores de Copperweld podemos obtener el valor de una o de todas las constantes .

CALCULO DE LAS CONSTANTES DEL CIRCUITO TELEFONICO.

Resistencia Ω / anillo / milla.....22,5

Resistencia Ω / anillo / Km14,0

La inductancia se la puede calcular con la fórmula

$$L = 0,001481 \lg(45 / 0,326) + 0,00016 = 0,00333 \text{ H/milla}$$

$$L = 0,00207 \text{ H / Km}$$

La conductancia no es constante en la línea aérea, depende del ambiente porque, la aislación es diferente en cada caso; pero se acepta un valor aproximado de $G = 3,24 \mu / \text{milla} = 2,4 \mu / \text{Kmt.}$

La capacidad se la calcula con la fórmula :

$$C = \frac{0,01941 \cdot 10^{-6}}{\lg(45/0,32)} = 0,0091 \mu\text{F} / \text{milla}$$

$$C = 0,00565 \mu\text{F} / \text{Kmt.}$$

Estas constantes son por unidad de longitud, como indica su dimensión.

Las constantes del circuito para toda la longitud de la línea serán las calculadas multiplicadas por los 16 kilómetros de longitud total de la línea (aproximando a números redondos).

CALIBRE	SECCION mm ²	DIAMETRO mm	R Ω	L(H)	G	C, F
8	8,366	3,26	224	0,0333	32	0,091

IMPEDANCIA CARACTERISTICA DE UNA LINEA. - Es la impedancia que se obtendría midiéndola desde los terminales de entrada en una línea que tuviera las mismas características por unidad de longitud, y fuese de longitud infinita.

La impedancia característica de una línea, con las constantes de L henrys por unidad de longitud y R Ohmios por unidad de longitud, distribuidas en serie, y con las constantes de C farad y G Ohmios por unidad de longitud distribuidas en derivación es:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{14 + j6,280 \cdot 0,00207}{2 \cdot 10^{-6} + j6,280 \cdot 0,00565 \cdot 10^{-6}}}$$

$$Z_0 = 10^3 \sqrt{\frac{14 + j113}{2 + j35,4}}$$

Pongamos esta igualdad en la forma polar:

$$Z_0 = 10^3 \cdot \frac{\sqrt{19,1 / 43^\circ}}{\sqrt{35,5 / 80^\circ}} = 10^3 \sqrt{0,54 / -37^\circ}$$

Para extraer la raíz cuadrada de este vector se tiene que:

El módulo de la raíz es igual a la raíz del módulo y el argumento de la raíz es igual al argumento dividido para 2.

$$Z_0 = 10^3 \cdot 0,735 \angle -18^\circ 30'$$

$$Z_0 = 735 \angle -18^\circ 30'$$

CONSTANTE DE PROPAGACION.- La constante de propagación define la relación de las corrientes o de las tensiones en los 2 extremos de una línea. Las tensiones o corrientes experimentan una atenuación de la amplitud y una modificación de fase. La constante de propagación es, pues, una magnitud vectorial que se designa por γ , y que está dada por la fórmula:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L) (G + j\omega C)}$$

Reemplazando valores tenemos:

$$\gamma = \sqrt{(14 + j 6.280 \times 0,00207) (2 + j 6.280 \times 0,00565)} \times 10^{-3} \times 16$$

$$\gamma = \sqrt{(19 \angle 43^\circ 30') (35,5 \angle 80^\circ)} \times 10^{-3} \times 16$$

$$\gamma = 26 \angle 61^\circ 45' \times 10^{-3} \times 16$$

Poniéndole en forma trigonométrica:

$$\gamma = 26(\cos 61^\circ 45' + j \sin 61^\circ 45') 10^{-3} \times 16$$

$$\gamma = 0,416 (0,525 + j 0,89) = 0,218 + j 0,36$$

CONSTANTE DE ATENUACION Y CONSTANTE DE LONGITUD DE ONDA

La constante de propagación es una magnitud compleja se descompone en una parte real y una imaginaria que se designa generalmente con las letras griegas

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

de donde $\alpha = 0,218$ Nepers y $\beta = 0,367$ radianes.

A este valor α es lo que se le denomina la constante de atenuación de la línea, y se lo mide en Nepers.

El valor β es lo que se le denomina constante de fase o de longitud de onda en radianes por unidad de longitud.

Para una comunicación telefónica existe el siguiente cuadro que nos indica la calidad de la comunicación según los cálculos efectuados arriba.

ATENUACION		CALIDAD DE LA AUDICION.
N	. dB	
0-1	0-8,686	EXELENTE
2	17,372	MUY BUENA
3	26,058	BUENA
4	34,744	DEFICIENTE
5	43,33	MALA

TABLA N° 13

Según esto nuestro circuito telefónico es de comunicación excelente.

Las corrientes a la entrada y a la salida de una línea de longitud L están en la relación

$$\frac{I_e}{I_s} = e^{\gamma L} = e^{\alpha L} \cdot e^{j\beta L}$$

La cantidad de $e^{\alpha L}$ representa la relación de los módulos de las corrientes a la entrada y a la salida de la línea y vale:

$$e^{0,218} = 1,244$$

La cantidad $e^{j\beta L}$ es un vector de módulo 1 y ángulo βL en consecuen-

βL representa en radianes la rotación del ángulo de la corriente para una línea de longitud L ;

VELOCIDAD DE PROPAGACION.- Como la fase de la corriente varía en el ángulo βL a lo largo de la línea, dos puntos en los que la corriente y la tensión están en fase, están separados por una longitud tal que

$$\beta L = 2\pi \quad \text{o sea. } L = 2\pi / \beta.$$

Si se aplica al origen de la línea una tensión al tiempo cero, esta misma tensión se encontrará por primera vez en fase en otro punto de la línea separado del origen por una distancia L luego del tiempo T ; la velocidad de propagación es pues:

$$V = \frac{L}{T} = \frac{2\pi}{\beta T} = \frac{2\pi f}{\beta} = \frac{\omega}{\beta}$$

La velocidad de propagación es la relación entre la pulsación y la constante de fase. Reemplazando valores se tiene:

$$V = \frac{6.280}{0.363} = 17.298 \text{ Km/sg.}$$

La frecuencia se la mide en ciclos por segundo, luego el período T viene medido en fracciones de segundos. Como la longitud está medida en kilómetros; la velocidad se la medirá en kilómetros por sg.

FLECHAS Y TENSIONES DE TENDIDO.- Las flechas con las cuales se tenderán estos conductores es la misma que las calculadas para los conductores de energía, desde luego que el gráfico de la catenaria dibujado en las hojas de la 1 a la 8a. plano No. 2 correspondientes al perfil de la línea de transmisión.

Solo quedaría por determinar la tensión de servicio de estos conductores, para lo cual, tomo los principales características mecánicas de este conductor escogido.

CONDUCTOR No. 8 COPPERWELD. GALGA A.W.G.: conductividad 30 o/o

SECCION mm ²	DIAMETRO mm	PESO DEL CONDUCTOR Ks/kmt	CARGA DE ROTURA MINIMA kgs.
8,4	3,26	08,17	823

Sección del conductor expuesta al viento:

$$A = 1 \times 0,00326 \text{ mt}^2:$$

$$\text{Presión del viento: } p = 0,00326 \times 91 \text{ kg} = 0,3 \text{ kgs.}$$

$$\text{Carga sin viento } w = 0,06817 \text{ kg/mt.}$$

$$\text{Carga con viento } w = \frac{0,068172 + 0,3}{2} = 0,37 \text{ kgs. /mt.}$$

Tomemos la flecha correspondiente al vano de 170 mts. y a base de estos determinamos las tensiones a las diferentes temperaturas y con carga:

Flecha a 0°C: (sin viento)

$$\text{Correspondiente al conductor será: } = 196 \text{ cms.}:$$

La flecha es el resultado de multiplicar el factor de flecha por el vano. Siguiendo el camino contrario, el factor de flecha será;

$$\text{Factor de flecha} = \frac{\text{flecha}}{\text{vano}} = \frac{196}{171} = 0,01151$$

$$\frac{Lw}{T} = 0,092$$

$$T = \frac{L \cdot w}{0,092} = \frac{170 \times 0,06817}{0,092}$$

$$T = 127 \text{ kps.}$$

$$\text{Factor de Seguridad: } F = 823/127 = 6,5$$

Flecha a 500 (Sin viento)

$$\text{Flecha } = 207,7 \text{ cms.}$$

$$\text{Factor de flecha } = 0,01222$$

$$\frac{L.v.}{T} = 0,0975$$

T

$$T = \frac{170 \times 0,00817}{0,0975} = 120 \text{ kps.}$$

$$\text{Factor de seguridad } = 823/120 = 6,85$$

Flecha a 500 (con viento)

$$\text{Flecha } = 315,5 \text{ cmt.}$$

$$\text{Factor de flecha } = 0,01856$$

$$\frac{L.v.}{T} = 0,148:$$

T

$$T = \frac{170 \times 0,37}{0,148}$$

$$T = 418 \text{ kps.}$$

$$\text{Factor de seguridad } F = 823/418 = 1,98$$

Flecha a 1000 (con viento)

$$\text{Flecha } = 325 \text{ cmt.}$$

$$\text{Factor de flecha } = 0,0191$$

$$\frac{L.v.}{T} = 0,152$$

T

$$T = \frac{170 \times 0,37}{0,152} = 412 \text{ Kps.}$$

$$\text{Factor de seguridad } F = 2.$$

Flecha a 1500 (con viento)

$$\text{Flecha } = 337 \text{ cmt.}$$

$$\text{Factor de flecha } = 0,01982.$$

$$\frac{L.W.}{T} = 0,158$$

$$T = 395 \text{ Kgs.}$$

$$\text{Factor de seguridad } F = 2,08$$

Flecha a 200G (con viento)

$$\text{Flecha} = 348 \text{ cm.}$$

$$\text{Factor de flecha} = 0,02045$$

$$\frac{L.W.}{T} = 0,163$$

$$T = 384 \text{ kgs.}$$

$$\text{Factor de seguridad } F = 2,15$$

Flecha a 250G (con viento)

$$\text{Flecha} = 363 \text{ cm.}$$

$$\text{Factor de flecha} = 0,2134$$

$$\frac{L.W.}{T} = 0,17$$

$$T = 370 \text{ Kss.}$$

$$\text{Factor de seguridad: } F = 2,24$$

TABLA DE TENDIDO.-

Esta tabla se refiere unicamente a las tensiones, ya que las flechas están ya especificadas

TENSIONES. en KGS.				TABLA No. 14		
00G sin vien- to	50G sin viente	50G con vien- to	100G con viento	150G	200G	250G
127	120	418	412	395	384	370

AISLADORES.- Conservando el mismo principio que, cuando se pro-

yectaban los aisladores para los conductores de fuerza, se dijo se selecciona estos aisladores, siendo estos más pequeños y de menor resistencia mecánica que los de retención o soporte. Por lo tanto este aislador será:

Aislador de porcelana de soporte vertical, tipo pin, con agujero roscado de $3/4$ " de diámetro, altura aproximada 90 mm. diámetro máximo aproximado 90 mm., resistencia mecánica mínima 2.500 lbs.

C A P I T U L O Q U I N T O

DISEÑO ESTRUCTURAL.-

Determinación del tipo de soporte.

Clasificación de los soportes de acuerdo con el uso a que están destinados.- Los soportes sirven para la suspensión de los conductores, así como también para separar estos de la tierra. Para que la línea sea estable, una parte de los soportes debe poseer una construcción más fuerte que la de los demás, tiene que ser capaz de resistir y mantener en orden la línea, por ejemplo cuando: los conductores se rompen, es decir que los postes de construcción fuerte, deben soportar esfuerzos tales, que los soportes de construcción normal no están garantizados a soportar, y talvez algunos de ellos de construcción menos fuerte se caen. Estos soportes de construcción extrafuerte son denominados "Soportes de amarre", mientras que los soportes que sirven solamente para la suspensión son denominados "Postes de suspensión" o de lineamiento"

Claro está que no solamente la construcción misma de los postes de amarre debe ser más fuerte que la de los postes de soporte sino que esta observación se refiere también a los fundamentos respectivos.

Los soportes de ángulo que en general es una torre de amarre solamente varía en la forma del esfuerzo (situación del esfuerzo)

Estudiado el perfil del terreno, y efectuada la situación definitiva de los soportes, se vé que: por la desuniformidad continua del terreno, los vanos han sido desiguales, dando lugar a un gran número de luces, por lo cual los soportes están sometidos a un esfuerzo mayor que el que fuera si el terreno fuera uniforme y por ende los vanos. Analizando la duración que necesitamos para esta línea, se ha proyectado utilizar torres de estructura de acero.

Las estructuras de soporte de los conductores estarán constituidas por torres de hierro perfilado. Las torres llevarán 6 conductores: el conductor de protección, los 3 conductores de corriente y los 2 conductores de la línea telefónica.

TIPOS DE TORRES.- La seguridad y estabilidad de una línea de transmisión depende principalmente de las diversas hipótesis de carga adicionales que se introducen para el diseño de las torres, cuestión ésta que tiene relación con la cantidad de dinero que se trate de gastar y la clase de servicio que se desee obtener. Líneas de transmisión de primera clase suponer a todas sus torres sujetas a refuerzos adicionales, variando únicamente la magnitud de ellos según la localización de las mismas: aquellas localizadas en alineación recta y que son del tipo de anclaje intermedio son calculadas, por ejemplo, para resistir los esfuerzos adicionales provenientes de un 33o/o de conductores rotos; las de igual localización, pero de anclaje intermedio, como también las de ángulo o deflexión, para soportar los esfuerzos extras provenientes de un

500/o de conductores rotos, etc. Para estabilidad de la línea usaremos los siguientes tipos de torres.

1o) Torres de tangente o alineación recta, sujetas sólo a los esfuerzos o cargas normales, es decir con la hipótesis de ningún conductor roto. Bajo esta condición todas estas torres podrían ser estructuras planas, calculadas sólo para resistir las cargas transversales, pero debido a la topografía del terreno se pondrán torres cuadradas del tipo liviano.

Según la numeración que lleva el perfil y la planta tenemos que las torres que pertenecen a este tipo son las de los números: -2-3-4-5-6-7-8-12-13-18-23-25-26-27-30-31-33-35-36-38-39-40-41-42-43-44-45-46-49-50-51-53-55-56-57-58-59-60-62-63-64-65-66-69-70-73-77-78-79-80-81-87-89-90

2o) Torres de deflección, sujetas asimismo, sólo a las cargas normales. Las del pequeño ángulo de deflección son consideradas del tipo de tangente.

Estas torres serán en general cuadradas livianas, pues los esfuerzos longitudinales se han igualado a los transversales. En nuestro proyecto pertenecen a los números:

9-14-16-19-21-22-24-31-34-36-37-47-61-69-72-82-83-84-85-86-88.

Las mismas que forman el siguiente ángulo de deflección.

Tabla No. 15

Tabla No. 15

No.	Angulo	No.	Angulo
9	D 6° 13'	37	I 1° 57'
14	I 23° 30'	41	I 2° 17'
16	D 8° 40'	64	D 14° 25'
19	I 20° 50'	69	D 18° 18'
21	I 17° 30'	72	I 14° 52'
22	D 21° 0'	82	
24	D 15° 20'	83	I 23° 8'
31		84	D 32° 15'
34	I 39° 0'	86	D 8° 13'
36	I 30° 50'	88	I 6° 45'

30.) Torres de anclaje intermedio, sujetos, además de las cargas normales, a esfuerzos provenientes de cualquier conductor roto. En esta segunda condición que es eventual, se permite que el material trabaje hasta el límite elástico. Estas torres se han localizado aproximadamente cada kilómetro y medio, haciendo coincidir en lo posible con torres de ángulo u torres de huco grandes que de hecho están solicitadas por cargas de alguna magnitud. Constituyen pues, los puntos importantes de la línea de transmisión: los daños causados en los conductores de la misma quedan limitados, en sus efectos al tramo comprendido entre estas 2 torres.

En el presente proyecto, las torres de amarre que no coinciden con las de ángulo son los que corresponden a los Nos. 8-10-11-17-15-47-48-52-54-63-64-75.

Las mismas que se podría justificar en la siguiente forma

- 10 y 11 por tener cruce de carretera y luz grande
- 17- y 19 por encontrarse en un punto bien alto del perfil.
- 28 y 29 La luz es grande, hay 2 puntos de paso de la carretera

ra de Zamora. (La 28 ya es torre de ángulo)

47 y 48 Luz grande, desnivel grande y se encuentra sobre la línea que sigue la carretera a Zamora.

53 y 54 Están cruzando con una luz de 500 mts. la quebrada navidad.

67 y 68 Luz grande para pasar la quebrada de las Lomas.

40.- Torres de anclaje terminal que están sujetas, en carga normal, a la tracción unilateral de los conductores; se permite asimismo que el material trabaje hasta el límite elástico. Corresponden a los números 1 y 91.

Todas las torres estarán diseñadas y construidas en tal forma que el material, en condiciones de carga, trabaje con un factor de seguridad de 2,5 con respecto a la carga mínima de ruptura.

ESFUERZOS A QUE SE HALLAN SOMETIDAS LAS ESTRUCTURAS.-

El dimensionamiento de las estructuras y de sus fundamentos debe ser tal, que ellos soporten con suficiente seguridad, todas los esfuerzos mecánicos que los ataquen. Estos esfuerzos mecánicos provienen de distintas causas, entonces el cálculo debe basarse sobre la suma de los esfuerzos que pueden atacar a la estructura simultáneamente. Estos se dividen en los casos siguientes:

a) Peso propio de las estructuras, inclusive traviesas, aisladores, conductores.

b) Esfuerzo causado por el viento sobre todas las partes mencionadas antes.

c) Carga de tracción máxima que ocurre en los conductores en el lugar en que son sujetados, siendo esta carga de tracción igual a la tensión máxima por la sección del conductor (Tensión total del conductor).

d) Esfuerzo que proviene de la resistencia de los fundamentos

Los esfuerzos indicados pueden ser divididos en 3 grupos: Esfuerzos que provocan una compresión vertical sobre la estructura. Esfuerzos que provocan un momento de flexión en la estructura, y, en esfuerzos que provocan un momento de torsión en la estructura.

Tensiones admisibles para postes de hierro en Celocia (Acero dulce siems-Martin)

Tabla No. 16

PARA ESFUERZOS DE	PARA LA LINEA INTACTA KG/CM ²	PARA LA ROTURA DE LOS CONDUCTORES KG/cm ²
Tracción, compresión y flexión	1.600	2.000
Tracción de bolones de tornillos trabajados	1.200	1.500
Tracción de bolones de tornillos no trabajados (crudos)	900	1.100
Certadura de remache y del bolón de tornillo, puesto en el agujero	1.280	1.600

Módulo de elasticidad $E = 2.100.000 \text{ Kg./cm}^2$

Sumamente importante es averiguar cuáles de los esfuerzos que hemos mencionado anteriormente accionan simultáneamente sobre las estructuras y a esta determinación, o mejor dicho, admisión, debe relacionarse el dimensionamiento de la estructura. Las torres de amarre y ángulo, son acometidos simultáneamente por los tres esfuerzos : a, b, c, para éstos esfuerzos atacan por distintas direcciones.

Para las estructuras de soporte, en cambio, no hay que tomar una carga de tracción máxima, indicada en c, porque estas estructuras están sólo en sentido rectilíneo, de modo que las cargas de tracción de los 2 vanos contiguos se anulan porque son de la misma magnitud en ambos sentidos.

Estas estructuras deben poseer una mayor resistencia mecánica en sentido perpendicular que en sentido de la línea.

EL MOMENTO DE FLEXION TOTAL Y LA CARGA T AL TOPE DEL POSTE.-

Distinguiamos los siguientes momentos de flexión que seccionan sobre la estructura:

- 1o) Los momentos provocados por las cargas de tracción en los cables (conductores y cables de tierra)
- 2o) Momento provocado por el ataque del viento sobre la estructura, admitido que este empuje ataca a la estructura a su media altura sobre el suelo.

La suma de estos momentos da el momento de flexión total. Di-

vidido el momento de flexión total por la altura del poste, recibimos la carga T al tope.

La altura del poste es a contar a partir de la "sección crítica", además del momento de flexión total, el poste tiene que soportar un empuje vertical, proveniente de los pesos del poste, de sus traviesas, de los aisladores y de los conductores de un vano con sus cargas adicionales. Sigue que la determinación de las dimensiones del poste debe basarse sobre el momento de la flexión total.

El cálculo demostrativo se efectuará luego:

DETERMINACION DE LA ALTURA DE LA ESTRUCTURA.-

Para la determinación de la altura de la estructura es decisiva la flecha máxima. La distancia mínima entre el suelo y el punto más inferior de los conductores es de 6 mts. Para efectuar un estudio demostrativo se efectuará el cálculo de una torre de cada tipo o sea: 1) Amarre, 2) ángulo, 3) Soporte.

CALCULO DE LAS TORRES.-

Las torres a calcularse son las Nos. 32, 67 - 13; correspondientes al perfil y por ende a la planta de la línea de transmisión.

DETERMINACION DE SU ALTURA.-

Poste de amarre.- La altura la tomamos del perfil en la que se

ha dibujado la catenaria correspondiente a los conductores telefónicos. Esta altura es de 7 mts.

Altura a cables telefónicos	7 mts.
separación de telefónico al conductor de energía	1,5
Separación vertical de los 2 conductores del mismo lado	1,60 mts.
Altura del cabezal	1,2 mts.

11,30

Longitud de empotramiento 1/7 de la altura

1,50

ALTURA TOTAL

12,80

Tomamos como altura definitiva

13,00 mts.

TORRE DE ANGULO.- No. 34

Altura a conductores telefónicos;

7,50 mts.

Separación cond telefónico al de energía.

1,50

Separación vertical entre 2 conductores del mismo lado

1,80 mts.

Altura del cabezal

1,20

Longitud del empotramiento: 1/7 de la altura

2,00

ALTURA TOTAL

14,00 mts.

TORRE DE SOPORTE No. 13

Altura a conductores telefónicos.

7 mts.

Separación del conduc. telef.al de ener.

1,5

Separación vertical entre los 2 conductores del mismo lado

1,8 mts.

Altura del cabezal

1,2

11,5 mts.

11,5

Longitud del empotramien-
to es 1/7 de la altura to-
tal del poste.

1,5 mts.
- - - - -

ALTURA TOTAL 13,00 mts.

H = 13 mts.

CALCULO DE LA TORRE DE AMARRE

Esta torre será la que sirve de extremo para el peso de la quebrada de las lunas con una luz de 746 mts. (resulta mas económico que 3 torres intermedias a, b, c, por lo cual se toma todo el tramo hasta la 67 como una sola luz, por lo tanto ésta es la que está sometida al mayor esfuerzo.

Las fuerzas que actúan sobre esta estructura son:

Peso de los 3 conductores de corriente:

Peso del cable de acero de conexión a tierra.

Peso de los conductores telefónicos.

Peso propio más peso de las traviezas y aisladores y crucetas.

Esfuerzos de los conductores al lado opuesto de la rotura de los conductores.

Esfuerzos debidos al viento.

Para la determinación de muchos de estos esfuerzos, es necesario hacer un breve anteproyecto el mismo que comprobado dará lugar al proyecto definitivo de la torre.

Luego hay que encontrar la tensión aplicada a la punta de la

torre y hacer la repartición entre los montantes y las traviezas.

Para el anteproyecto tomo como si la torre fuera cuadrada, en su base y en su punta, teniendo la forma de una pirámide para darle mayor estabilidad.

A la cabeza de la torre tomo un lado de 45 cms. que corresponden a torres de este tipo, para soportes, un esfuerzo de 3.000 a 4.000 kgs. y aun un poco más.

Como conicidad para gran estabilidad y obtener una buena esbeltez de la estructura se puede admitir 5 cms. por metro de torre. Con lo que se obtiene en la base un lado de:

$$45 + 2 (12 \times 5) = 165 \text{ cms.}$$

Pudiendo tomar 1,7 mt. (lado del cuadrado)

La estructura será de doble travesaño diagonal.

La acción del viento sea en la mitad de la altura del poste.

Para determinar el peso del conductor rectificaremos la curva

$$S = L + \frac{L^3}{24 a^3} ; L = 746 \text{ mts.}$$

$$a = \frac{1.038}{1,03} = 1.005$$

$$S = 746 + \left(\frac{746}{1.005} \right)^3 \times \frac{1}{24} = 746 + 0,0175 = 746,0175 \text{ mt.}$$

Siendo el aumento tan pequeño se puede decir que la longitud es igual al vano.

Peso de los conductores.

$$P_1 = \frac{3}{2} \times 746 \times 1,03 = 1.150 \text{ kgs.}$$

Tomamos hierro de lades iguales de 120 mm x 120 m x 12 mm.

que tiene las siguientes características:

Sección = 2.256 mm² Peso Kg/m = 17,6; Momento resistente en cm³.

29 (x-x) 47,2 (u-u).

Para los travesaños tomamos hierro de 40 x 40 x 5 : Características . Sección 378 mm²; peso lineal 3 kg./m.

Según el plano No. 4; se puede determinar de antemano el peso de la estructura.

Peso de los montantes:

$$12 \times 4 \times 17,6 = 1.850 \text{ kgs.}$$

Peso de los travesaños:

$$16,2 \times 2 \times 4 \times 3 = 390 \text{ kgs.}$$

Peso de traviesas = 200 kgs.

PESO TOTAL. 1.440 kgs.

Esfuerzo del viento: superficie expuesta s = 0,12 x 24 + 32,4 x 0,04 = 4,18

presión del viento a 6 mts. de alto .p = 2 x 130 x 4,18 = 543 x 2 = 1.086Kgs.

Peso del conductor de tierra.-

$$1/2(746 \times 0,18) = 670 \text{ kgs.}$$

Carga máxima de un conductor de cobre = 1.185 kgs.

Carga máxima del conductor de acero = 1.480 ,gs.

El cálculo se efectuará para el caso de un servicio defectuoso (rotura de conductores), se contará con los 2/3 del empuje provocado por la rotura de los conductores del un lado.

DETERMINACION DE LOS MOMENTOS DE FLEXION.-

Momento de flexión del cable de tierra.

$$M = 1.480 \times 9,8 = 14,500 \text{ kgmts.}$$

Momento de flexión de los conductores:

$$M = 1.185 (8,6 + 7,8 + 7) = 27.600 \text{ kgmts.}$$

Momento proveniente de la
carga de tracción 42.100 kgmts.

$$\text{Tomando los: } 2/3 \times 42.100 = 28.100 \text{ kgmts.}$$

Momento debido al viento

$$1.086 \times 4,5 = 4.516 \text{ kgmts.}$$

$$\text{MOMENTO TOTAL DE FLEXION} = 32.616 \text{ Kgmts.}$$

DETERMINACION DEL EMPUJE VERTICAL.-

Peso propio de la torre y
accesorios. 1.440 kgs.

Peso de los 4 cables con-
carga adicional 1.820 kgs.

PESO TOTAL 3.260 kgs.

Empuje por montante

$$P_v = \frac{3.260}{4} = 815 \text{ kgs.}$$

COMPROBACION DEL ESFUERZO EN LOS MONTANTES EN LA SECCION CRITICA.-

El momento de flexión total produce en los montantes una carga que vamos a denominar Pm.

La distancia entre los montantes al 1/3 de la altura sobre el suelo es

$$d = 1,2 \text{ mt.}$$

Aplicando a la ecuación de la igualdad de los montantes se

pene :

$$2 P_m \times 1,2 = \text{Momento flexión} = 32,615 \text{ Kmt.}$$

$$P_m = \frac{32,615}{2,4} = 13,600 \text{ kps.}$$

Esta carga significa, una carga de tracción al lado al que los conductores son rotos, y una carga de compresión al lado que los conductores son intactos. Pero, no solamente esta carga afecta a los momentos, sino también al empuje vertical, proveniente por el peso propio del poste, traviesas, aisladores y conductores más su carga adicional. Esta carga que vamos a denominar P_v . tenemos que sumar a la carga P_m . para los 2 montantes en que P_m es una carga de compresión y no reducir de la carga P_m . para los 2 montantes en que P_m es una carga de tracción, pues P_v , siendo un esfuerzo de gravedad, es en ambos casos positivo. Del cálculo se tuvo que

$$P_v = 815 \text{ kps.}$$

Las cargas resultantes en los montantes son:

$$P_{\text{max compresión}} = 13.600 + 815 = 14.415 \text{ kps.}$$

$$P_{\text{max tracción}} = 13.600 - 815 = 12.785 \text{ kps.}$$

Para juzgar si los ángulos escogidos pueden soportar con suficiente seguridad las cargas determinadas arriba, es preciso determinar las tensiones de compresión y de tracción que ocurren en ellos, y de comparar el cálculo respectivo con las tensiones admisibles.

Para los esfuerzos de tracción es preciso contar con la sec-

ción debilitada por los agujeros del remache.

$$\text{Sección debilitada} = 23,0 \times 0,85 = 19,5 \text{ cm}^2;$$

Postes de esta altura de 12 mt. son sometidos a un cierto "riesgo de doblamiento". Por esto hay que examinar el montante también a este respecto.

A la carga Pmax de compresión hay que multiplicarla por el factor de doblamiento que en nuestro caso vale 1,3. Encontramos entonces las tensiones siguientes.

$$\text{Tensión tracción} = \frac{12,785}{19,5} = 650 \text{ kgs. /cm}^2;$$

Tensión de compresión, tomando en cuenta el riesgo de doblamiento

$$\frac{14.415 \times 1,3}{23} = 820 \text{ kg/cm}^2.$$

Para este caso según la tabla 16 vemos que estamos sobredimensionadas. Pero si tomamos en cuenta que el vano del ~~lado~~ ~~lado~~ es grande en tanto que el del otro lado es muy pequeño en comparación, que la torre siempre está siendo accionada solo del un lado, siendo pequeño el esfuerzo del otro lado se tiene.

Momento proveniente de la carga de tracción 42.100 kmt.

Momento debido al viento 4.516 "

MOMENTO DE FLEXION TOTAL 46.616 kmt.

Aplicando la ecuación de la igualdad de momentos.

$$P_m = \frac{46.616}{2,4} = 19.600 \text{ kg.}$$

$$P_v = 315 \text{ kg.}$$

$$P_{\max} \text{ compresión} = 19.600 + 815 = 20.415$$

$$P_{\max} \text{ tracción} = 19.600 - 815 = 18.785$$

$$\text{Tensión Tracción} = \frac{18.785}{19.5} = 960 \text{ kg. /m}^2$$

$$\text{Tensión, compresión} = \frac{20.415 \times 1.3}{23} = 1.160$$

Como en el momento de arrancarse un conductor, la torre sufre un esfuerzo violento que hace vibrar a ésta pudiendo ceder bajo este impulso violento y según la tabla 16 se vé que las dimensiones tomadas para esta torre, son las reales, quedando con hierro de 100 x 100 x 12. para los montantes y con la misma esbeltez.

Respecto de las traviesas, hay que mencionar lo siguiente:

Las traviesas de los postes de amarre tienen que ser calculadas tomando en cuenta todas las cargas horizontales, proviniedo de una rotura de todos los cables atados en un vano a la traviesa, y además las cargas verticales, provenientes del piso de los conductores más carga adicional, del peso de los aisladores, del peso de la traviesa misma y además un peso de la traviesa misma que se llama la carga de montaje que se admite el peso de un hombre 75 kgs. Para la traviesa del poste de suspensión el cálculo es el mismo con la única diferencia que como carga horizontal se tiene que admitir solamente la mitad de la carga admitida para el poste de amarre.

Como carga horizontal actúa la tracción de un conductor o sea 1.185 kgs.

Como carga vertical actúa, el peso del conductor 383 kgs.
peso de 7 aislador, 4 kgs. peso propio de la traviesa que admiti-
mos como de 50 kgs. y el peso de 75 kgs. de 1 hombre.

$$F_v = 75 + 50 + 4 + 383 \text{ kgs.} = 512 \text{ kgs.}$$

$$P_n = 1.185 \text{ kgs.} + 383 \times \sin 6$$

O podemos considerar como 30° con respecto al poste

$$P_h = 1.185 + 383 \times 0,5 = 1.376,5 \text{ kgs.}$$

Según esto dimensionamos la traviesa con una buena seguridad,
la proyectamos como lo indica el plano No. 4.- Con lo cual tene-
mos perfiles de: 40 x 42 x 5 mm:

$$\text{Sección } 378 \text{ mm}^2 \times 3,3 \text{ cm}^2$$

Con lo cual tengo:

$$\text{tensión a tracción} = \frac{1.376,5}{3,8} \times 1,3 = 472 \text{ kgs.}$$

$$\text{tensión de compresión} = \frac{512 \times 1,3}{3,8} = 254 \text{ kgs.}$$

Lo que indica que se podría tomar aún de menores dimensiones, pero
debido a que las normas no permiten hierros más débiles podemos
dejar estas como definitivas.

CALCULO DE LA TORRE DE ANGULO.

La torre escogida para este trabajo es la No. 32 que es la
que mayor ángulo de deflexión tiene; siendo este ángulo de de-
flexión igual a 38°40'. y su ángulo interno en este punto: ángu-
lo interno = 141°20' que es el ángulo que forman las fuerzas ejer-
cidas por los 2 conductores.

Las longitudes de varios vecinos son:

Vano 34-33 = 120 mts.

Vano 34-35 = 110 mts.

Altura libre de la torre 12 mts.

Haciendo uso de todo lo dicho en el cálculo de la torre anterior tenemos:

Dimensiones de Anteproyecto:

Hierros ángulo para montantes 70 x 70 x 8 mm.

Sección = 1056 mm² = 10,56 m²; peso = 8,3 kgs./m.

Hierros para travesaños; 45x45x 6 mm: Sección = 504 mm²: Peso = 4,0 kg/m. La estructura será de travesaño sencillo, y este proyecto se puede ver en el plano No. 5

La forma en que irá situada la torre en ese ángulo se puede ver en el diagrama de la fig. 10.

Determinación del piso propio.-

Peso de los montantes = 14 x 4 x 8,3 = 465 kgs.

Peso travesaños = 4 x 14,8 x 4 = 2.237 kgs.

Peso de traviesas 100 kgs.

PESO PROPIO: 2.792 kgs.

Superficie expuesta a la acción del viento S.

S = 14 x 0,07 x 4 + 14,8 x 0,025 x 2 = 5,3 mts. 2

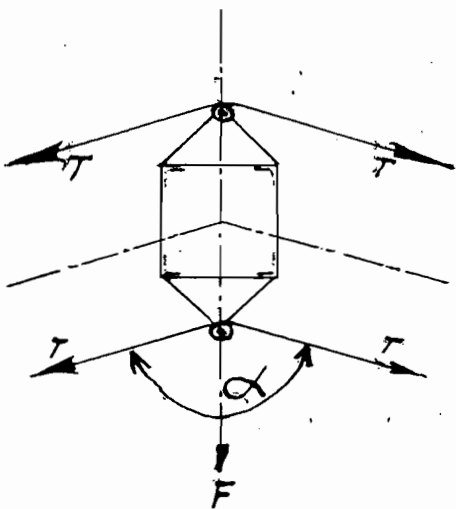
Superficie traviesas 1 mts²

Superficie total 6,3 mts.2

Presión del viento P = 130 x 6,3 kg. = 820 kgs.

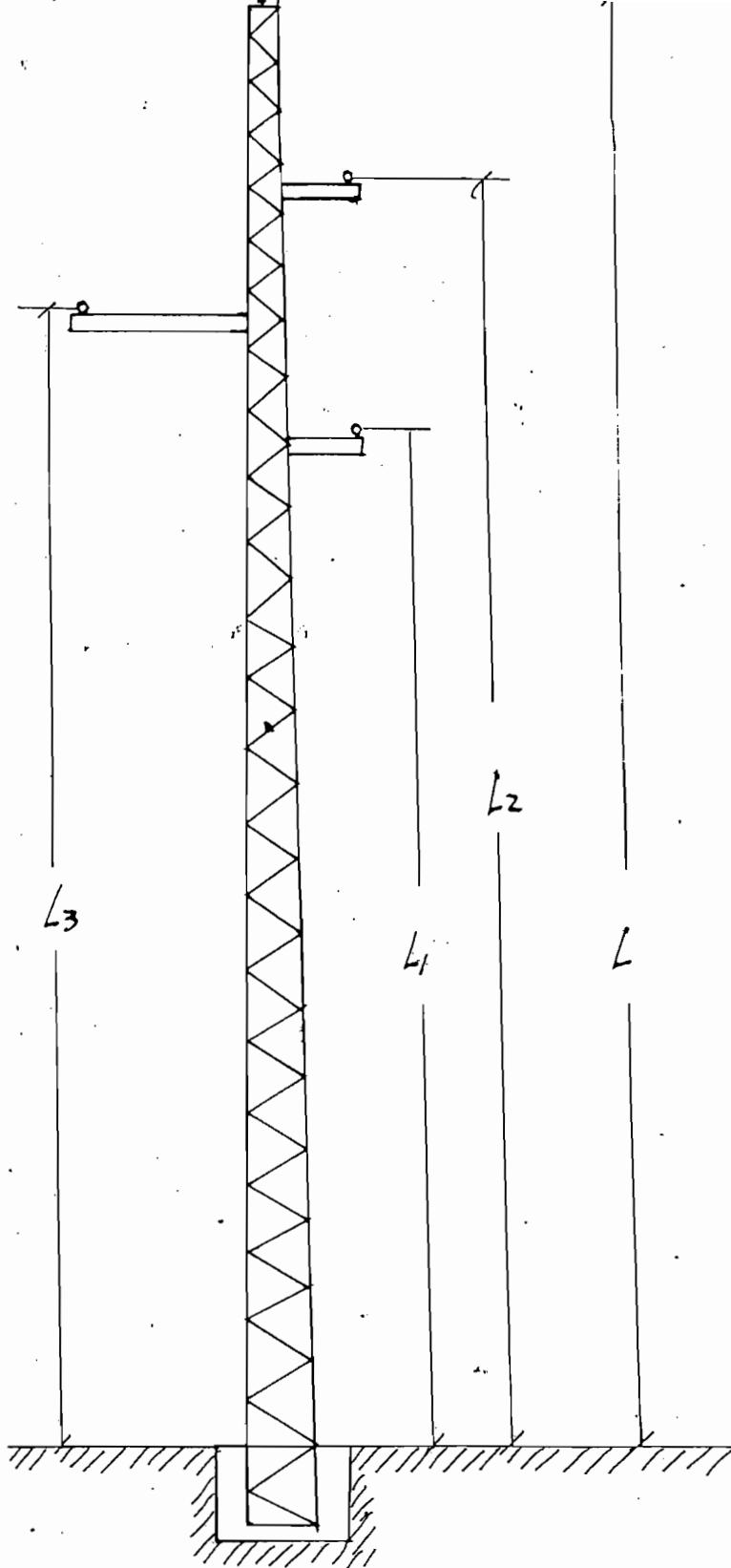
Esta presión actúa a 6 mts. sobre el nivel del suelo.

Peso de los conductores en el lado 34-33.



FORMA DE SITUAR LA TORRE
DE ANGULO

Fig. 10



BRAZOS DE PALANCA DE LAS TENCIONES PARA
OBTENER LOS MOMENTOS

$$p = 3 \times 120 \times 1,03 = 372 \text{ Kgs.}$$

Peso del conductor a tierra.

$$p = 1 \times 120 \times 0,18 = \underline{21,6 \text{ kgs.}}$$

PESO AL VANO 32-31 393,6 kgs.

Peso de los conductores en el vano 34-35:

$$p = 3 \times 110 \times 1,03 = 340 \text{ kgs.}$$

Peso del conductor a tierra

$$= \underline{19,8 \text{ ''}}$$

$$\text{Peso al vano 34-35.} = 359,8 \text{ kgs.}$$

$$\text{Peso de los aisladores} = \underline{14 \text{ kgs.}}$$

PESO TOTAL DE ACCION 767.4 kgs.

Si esta estructura la hacemos en forma de pirámide, la base superior tomamos de 30 cms. Conicidad c ent por metro. Lado de la base inferior será: $30 + 2 (12 \times 3) = 102 \text{ cms.}$

Lado en la altura de 4 mts. $30 + 2 (8 \times 3) = 78 \text{ cms.}$ (Sección crítica).

Carga máxima de 1 conductor de cobre 1185 kgs.

Carga máxima del conductor de acero 1.480 kgs.

DETERMINACION DE LOS MOMENTOS DE FLEXION:

Momento de flexión del cable de tierra:

$$M = 1.480 \times 12 = 17.800 \text{ kgmt.}$$

Momento de flexión de los conductores.

$$M = 1.185 (10,8 + 9,9 + 9) = \underline{35.200 \text{ kgmt.}}$$

Momento proveniente de la carga.

de tracción 53.000 kgm.

Este es a cada lado como forman un ángulo de $141^{\circ}20'$. Sacamos la resultante de los momentos aplicando la fórmula :

$$MR = F, \sqrt{2(1-\cos \theta)}$$

= ángulo de deflexión

$$MR = 53.000 \sqrt{2(1-\cos 38^{\circ}40')} = 0,66 \times 53.000 = 35.000 \text{ kgmt.}$$

$$\text{Momento debido al viento} = 820 \times 6 = 4.920 \text{ "}$$

$$\text{Momento total deflexión} \qquad \qquad \qquad 39.920 \text{ kgs.}$$

DETERMINACION DEL EMPUJE VERTICAL.-

$$\text{Peso propio de la torre} \qquad \qquad 792 \text{ kgs.}$$

$$\text{Peso de los conductores} \qquad \qquad \underline{767,4}$$

$$\text{PESO TOTAL} \qquad \qquad \qquad 1.559,4 \text{ kgs.}$$

Empuje por montante

$$P_v = \frac{1.559,4}{4} = 390 \text{ kgs.}$$

COMPROBACION DEL ESFUERZO EN LOS MONTANTES EN LA SECCION CRITICA

El momento de flexión total produce en los montantes la carga P_m

$$2 \times P_m \times 0,78 = 39.920 \text{ kgmt.}$$

$$P_m = \frac{39.920}{1,56} = 25.500 \text{ kgs.}$$

Cargas resultantes en los montantes:

$$P_{\text{max}} \text{ compresión} = 25.500 + 390 = 25.890 \text{ kgs.}$$

$$P_{\text{max}} \text{ tracción} = 25.500 - 390 = 25.110 \text{ kgs.}$$

$$\text{Sección debilitada del hierro: } S = 10,56 \times 0,95 = 10 \text{ cm}^2:$$

$$\text{Factor contra riesgo de doblamiento} \qquad \qquad \qquad 1,25:$$

$$\text{Tensión tracción} = \frac{25.110}{10} = 2.511$$

$$\text{Tensión compresión} = \frac{39.920}{10.56} = 3.780 \text{ kgs.}$$

Analizando con la tabla 16 se puede ver que el trabajo del hierro va a ser mayor que el coeficiente de trabajo admisible, por lo tanto, fortaleceremos nuestra torre 1o) dando mayor ganancia, es decir en vez de 3 cms. por metro tomamos 4 cms. por metro, con lo cual tengo.

$$\text{para la base} = 30 + 2 (12 \times 4) = 116 \approx 120 \text{ cms.}$$

$$\text{Para la sección crítica} = 30 + 2 (9 \times 4) = 102 \text{ cms.}$$

2o) Cambiamos el hierro perfilado en tal forma que tenga la misma sección expuesta a la acción del viento y en lugar de 8 de espesor sean 9, teniendo hierro de 70 x 70 x 9 m. Sección = 11,8 cm.2, con lo cual el peso propio aumenta de 8,3 a 9,1 es decir 0,8 por metro, o sea

$$\text{Peso de los montantes } 14 \times 4 \times 9,1 = 510 \text{ kgs.}$$

$$\text{Peso de los travesaños} \quad \quad \quad 237 \text{ "}$$

$$\text{Peso de las traviesas} \quad \quad \quad \frac{100 \text{ "}}{847 \text{ kgs.}}$$

DETERMINACION DEL EMPUJE VERTICAL

$$\text{Peso propio de los conductores} \quad \quad \quad 767,4 \text{ "}$$

$$\text{Peso propio de la torre} \quad \quad \quad \frac{847 \text{ kgs.}}{\quad}$$

$$\text{PESO TOTAL} \quad \quad \quad 1.514,4$$

Empuje por montante

$$P_v = \frac{1.614,4}{4} = 404 \text{ kgs.}$$

Momento de flexión es el mismo anterior o sea 39.920 kcm.

$$2 \times P_m \times 1,02 = 39.920$$

$$P_m = \frac{39.920}{2.04} = 19.500 \text{ kgs.}$$

Cargas resultantes en los montantes

$$P_{\text{max}} \text{ compresión} = 19.500 + 404 = 19.904 \text{ kgs.}$$

$$P_{\text{max}} \text{ tracción} = 19.500 - 404 = 19.096 \text{ kgs.}$$

$$\text{Sección debilitada del Hierro } s = 11,8 \times 0,9 = 10,62 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Factor con travieso de doblamiento} = 1,20$$

$$\text{Tensión de tracción} = \frac{19.096}{10,62} = 1.780 \text{ kgs.}$$

$$\text{Tensión compresión} = \frac{19.904}{11,8} = 1.680 \text{ kgs.}$$

Tensión a compresión tomando en cuenta el riesgo de doblamiento.

$$T = \frac{19.904}{11,8} \times 1,2 = 2020 \text{ kgs.}$$

Vemos que esto es el perfil definitivo de nuestra torre por cuau-

to con este se llega al coeficiente de trabajo del material.

Este coeficiente de trabajo del material tienen un factor de seguridad de 23 lo cual dice que en el peor de los casos al duplicarse la presión éste material no cede por rotura.

TRAVIEZAS (CRUCETAS).- Se tomarán de 2 dimensiones; siempre tendiendo a dar el menor peso, facilidad de montaje de la torre y tendiendo a conservar la distancia prescrita entre los conductores.

Por lo tanto al un lado de la línea en el que van los 2 conductores los las crucetas las hacemos cortas y en tal forma que presenten el mínimo momento de flexión, y tan fuertes, capaz de soportar toda la carga que a ella se asigne.

Estas tienen las siguientes medidas: 80 cm.s de estructura en voladizo, siendo armadas con hierro de $80 \times 45 \times 6$: Sección $= 11 \text{ cm}^2$. Su proyecto se puede apreciar en el plano No. 5.

A la compresión: el momento a que se encuentra sometido es:

$$M = 0.8 (\text{Peso conductor} + \text{peso propio} + \text{peso adicional}) = 0.8 P.$$

$$P = 767,4 + 50 + 75 = 892,4 \text{ kgs.}$$

$$M = 0,8 \times 892,4 = 720 \text{ kgmts.}$$

Vemos que a la compresión el esfuerzo es tan pequeño que todo el peso que acciona sobre la cruceta, es menor que el coeficiente de trabajo del material.

Comprobación a la tracción.- El peor de los casos o sea el más desfavorable se realiza cuando se ha roto el conductor del un lado y queda sólo sometida a la tracción del otro lado, tomando en cuenta esto, el esfuerzo de tracción será: 1.185 kgs. actuando en una sección de 11 cm^2 tenemos tensión $1.185 / 11 = 105 \text{ kg. / cm}^2$: lo que indica que está trabajando con un alto grado de seguridad.

La otra cruceta la del medio que sostiene al otro conductor tiene su brazo en baladizo de 1,75 mts. lo cual fatiga un poco más al material pero se conserva en un grado muy por debajo del admisible.

CALCULO DE UNA TORRE DE SOPORTE.-

La torre a calcularse es la No. 13

Longitud de los vanos contiguos 13-12 = 320 mt. 13-14 = 200 m

Altura libre de la torre 11,5 mts.

Haciendo uso del mismo proceso anterior se tiene:

Dimensiones de Anteproyecto.-

Hierros ángulo para montantes = 70 x 70 x 8 mm.

Sección = 10,56 cm² Peso = 8,3 kg/m.

Hierros para travesaños 45 x 45 x 6 mm.

Sección 5,04 cm²: Peso = 4 kg./m.

La estructura será de travesaño sencillo, como se puede ver en el plano No. 6.

DETERMINACION DEL PESO PROPIO

Peso de los montantes más peso de travesaños 792 kgs.

Superficie expuesta a la acción del viento 6,3 mt.²

Presión del viento $P = 130 \times 6,3 \text{ kg.} =$ 820 kgs.

Esta presión actúa a 5,5 mt. sobre el nivel del suelo.

Peso de los conductores:

$P = 3/2 (320 + 200) 1,03 =$ 810 kgs.

Peso del conductor de tierra

$P = (0,18 \times 520 \times 1/2) =$ 46,6 kgs.

Peso total de acción 856,6 kgs.

Base superior 30 cm. de lado. Conicidad 3 cm. por metro

Base inferior $30 + 2 (11,5 \times 3) =$ 99 cm / cm de lado

Base crítica $30 + (7 \times 3) =$ 72 cm. = 0,72 mts.

Carga máxima de 1 conductor de cobre 1.185 kgs.

Carga máxima del conductor de acero 1.450 kgs. Esta carga no se la toma en cuenta por cuanto actuando la tensión a ambos lados del poste, se anulan.

En trabajo normal, para la línea en perfecto estado, la tracción no actúa pero sí se toma en cuenta el 1/3 de los conductores rotos, ya existe una tensión que debe contrarrestar la torre, a más del esfuerzo del viento que siempre existe.

DETERMINACION DEL MOMENTO DE FLEXION.-

Momento de flexión debido a los conductores.

$$M = 1.185 (10,3 + 9,4 + 8,5) = 33.400 \text{ kgmt.}$$

Como se toma en cuenta sólo el 1/3 de los conductores rotos se tiene que el momento real es: $M = 1/3 \ 33.400 = 11.133 \text{ kgmt.}$

Momento proveniente de la acción del viento.

$$M = 820 \times 5,5 = \underline{4.500 \text{ kgmt.}}$$

Momento total de acción 15.633 kgmt.

DETERMINACION DEL EMPUJE VERTICAL.-

Peso propio de la torre 792 kgs.

Peso de los conductores 856.6 "

PESO TOTAL 1.648,6

Empuje por montante

$$P_v = \frac{1.648,6}{4} = 413 \text{ kgs.}$$

COMPROBACION DEL ESFUERZO EN LOS MONTANTES EN LA SECCION CRITICA.-

El momento de flexión total produce en los montantes la car-

ga Pm.

$$P_m = \frac{15.633}{2 \times 0.7} = 11.200 \text{ kgs.}$$

Cargas resultantes en los montantes:

$$P_{mx} \text{ compresión} = 11.200 + 413 = 11.613 \text{ kgs.}$$

$$P_{mx} \text{ tracción} = 11.200 - 413 = 10.787 \text{ kgs.}$$

$$\text{Sección debilitada del hierro S} = 0.9 \times 10.50 = 9.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{factor contra riesgo de doblamiento} = 1,25$$

$$\text{Tensión tracción} = \frac{10.787}{9,5} = 1.130 \text{ kgs.}$$

$$\text{Tensión compresión} = \frac{11.613}{10,50} = 1.100 \text{ kgs.}$$

$$\text{Tensión compresión con factor de doblamiento} = \frac{11.613}{10,50} \times 1,25 = 1.380 \text{ kgs.}$$

Por este análisis vemos que el hierro escogido puede soportar con suficiente grado de seguridad los esfuerzos que actúan sobre la estructura.

CRUCETAS.- Debido a las flechas que son grandes en estos 2 vanos adyacentes el uno de 300 mts. y el otro de 200 mts. la separación entre conductores debe ser grande, alcanzando como antes se especificó 3 mts. entre conductores y 1.8 como distancia vertical entre ellos.

Las fuerzas que actúan sobre esta cruceta son el peso de cada

conductor o sea. P,	=	270	kgs.
Peso de 1 aislador	4	"	
carga adicional	75	"	
Peso propio apreciado en	50	"	
		399	kgs.

Esta es la fuerza aplicada al extremo de la cruceta considerada como una estructura envaladizo, siendo la longitud de esta de 1,3 mts. de valadizo.

Momento a que está sometida la cruceta:

$$M = 1,3 \times 399 = 519 \text{ kgmt.s}$$

I

El momento resistente, aceptando un coeficiente de trabajo de 2.000 kgs. σ se tiene

$$W = \frac{M}{\sigma} = \frac{51900 \text{ kgs. cm.}}{2.000 \text{ kgs. cm}^2} = 25,9 \text{ cm}^3$$

Usamos hierro \square el más próximo a esta dimensión, el mismo que tiene las siguientes características.

80 x 45 x 6 mm. Sección = 11 cm²; w = 27 cm³

Estas medidas vienen representadas en los cortes correspondientes a su respectivo plano.

Este cálculo corresponde a la cruceta de mayor brazo, por consiguiente a lo efectuada por un mayor momento. Las otras 2 tendrán las mismas medidas de hierros, pero su longitud será la correspondiente a los cortes representados en el plano de la torre de soporte.

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA Y DETERMINACION DE LOS ESFUERZOS DE CADA ELEMENTO.

Las riostras pueden tener diversa inclinación; cuanto mayor sea ésta, menor número de riostras (travesaños) entrarán en la

estructura, pero también será mayor su longitud, y para evitar la flexión lateral, habrá que darles más sección con lo cual se aumentaría el peso de hierro necesario.

En la misma forma, si se disminuye el número de reostras, la distancia del riostrado será mayor, por lo que también habrá necesidad de emplear mayores secciones

Tomando en cuenta esto y haciendo un equilibrio, una vez obtenida la estructura de los montantes según el cálculo anterior se ha verificado los proyectos de las torres indicadas en los planos Nos. 4,5,6 correspondientes al diseño de cada una de las torres.

Los montantes han sido ya calculados, determinada su esfuerzo, sección y coeficiente de trabajo aceptado el factor de seguridad de 2,8 para trabajo permanente, nos queda por determinar los esfuerzos de las reostras (travesaños) y comprobar si las secciones admitidas antes se encuentran en los límites de seguridad. Para este objeto se resolverá por medio del método gráfico de "Cremona", o método de las figuras recíprocas, el cual da resultados con un buen grado de aproximación.

Se representará la estructura del poste por las líneas ejes de sus elementos marcando la fuerza resultante y su situación. (Se puede ver en el plano No. 7).

Para la resolución, sino coincide la resultante con ningún vértice de la estructura se trazará una reostra ficticia y con

ayuda de ella construiremos la figura recíproca correspondiente a escala como lo demuestran el plano No. 7.

TORRE DE AMARRE.-

El esfuerzo total a la punta de nuestro poste será:

Momento total de flexión: 32.616 kgmt.

Altura de la estructura $L = 10,8$

Esfuerzo $F = 32.616 : 10,8 = 3.020 \text{ kg.}$

Lo situamos en la punta del poste.

Según esto obtenemos los siguientes valores para las recstras

Nos.	kgs.
1	4.500
2	3.700
3	2.900
4	2.400
5	2.350
6	2.000
7	1.800
8	1.500
9	1.350
10	1.200

El montante en su parte más crítica que es la base esta sometido a 17.000 kgs. disponiendo de una sección de 22,6 cm.s 2, se tiene:

$$\sigma = \frac{17.000}{22,6} = 750 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Lo que tenemos suficiente seguridad, pudiendo a media altura cambiar la sección poniendo un perfil L de menores dimensiones.

Los valores de las recstras 1' hasta 10' son los mismos que los indicados anteriormente, por tanto: en nuestro anteproyecto escogimos recstras de 40 x 40 x 5 como únicas para

toda la estructura, para facilidad del montaje.. Comprobemos si nos encontramos con estas dentro de los límites de trabajo:

$$\text{No. 1: } \sigma = \frac{4.500}{3.78} = 1.190 \frac{\text{Kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{No. 2: } \sigma = \frac{3.700}{3.78} = 980 \frac{\text{Kg.}}{\text{cm}^2}$$

Las demás tienen un coeficiente de trabajo menor por tanto se vé que hay seguridad; además este coeficiente de trabajo admite el aumento de una carga que es la debida a la acción del viento y en el peor de los casos va a trabajar con un coeficiente menor al admisible que es de 2.000 kg/cm². La estructura se ha calculado para doble reostra en vista de que se trata de una torre de amarre en que ambos lados de los conductores tienen las mismas posibilidades de romperse y es necesario la doble reostra

Comprobación al pandeo. - Para esta comprobación tenemos que determinar el coeficiente de esbeltez mecánica. λ

$$\lambda = \frac{\text{longitud libre de la pieza}}{\text{radio de inercia}} = \frac{l}{r}$$

Radio de inercia para 22,6 cm²: $r = 3 \text{ cm.}$

Radio de inercia para 3,78 cm²: $r = 1,2 \text{ cm.}$

Por medio de este coeficiente λ se obtiene un coeficiente w . al que hay que multiplicar el coeficiente de trabajo para comprobar que se encuentre inferior al coeficiente admisible. Este valor de w . se obtiene de la tabla 17.

Valores del Coeficiente para tener en cuenta el pandeo: TABLA 17

λ	w	λ	w	λ	w	λ	w
10	1.01	80	1.59	150	5,32	220	11.44

λ	w	λ	w	λ	w	λ	w
20	1,02	90	1,38	160	6,04	230	12,49
30	1,05	100	2,36	170	6,33	240	13,8
40	1,1	110	2,86	180	7,65	250	14,75
50	1,17	120	3,41	190	8,53		
60	1,26	130	4	200	9,45		
70	1,39	140	4,64	210	10,42		

Constantes :

a) $\lambda = \frac{0,50}{3} = 26 : w = 1,038;$

$\sigma_{Admisible} = \frac{2.000}{1,038} = 1.940 \text{ Kg/cm}^2$ (no hay pandeo)

b) $\lambda = \frac{100}{3} = 53,3 : w = 1,172;$

$\sigma_{Admis} = \frac{2.000}{1,172} = 1710 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} : \sigma_{Trab.} = \frac{0.450}{22,0} = 2,05 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

c) $\lambda = \frac{160}{3} = 53,3 : w = 1,172$

$\sigma_{Admis.} = \frac{2.000}{1,172} = 1.710 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{Trab.} = \frac{8.500}{22,6} = 375 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

d) $\lambda = \frac{1,55}{3} = 52 : w = 1,172$

$\sigma_{Admis.} = \frac{2.000}{1,172} = 1.710 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} : \sigma_{Trab.} = \frac{10.150}{22,0} = 450 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

e) $\lambda = \frac{190}{3} = 63,5 : w = 1,3$

$\sigma_{Admis.} = \frac{2.000}{1,300} = 1.540 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} : \sigma_{Trab.} = \frac{11.300}{22,0} = 520 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

f) $\lambda = \frac{210}{3} = 70 : w = 1,39.$

$\sigma_{Admis.} = \frac{2.000}{1,39} = 1.440 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{Trab.} = \frac{13.300}{22,0} = 590 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

$$g) \quad \lambda = \frac{235}{3} = 78; \quad w = 1,45:$$

$$\sigma_{\text{Admis}} = \frac{2.000}{1,45} = 1,380 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{trab}} = \frac{14.600}{22,6} = 650 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$h) \quad \lambda = \frac{240}{3} = 80; \quad w = 1,59$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,59} = 1.260 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{trab.}} = \frac{15.000}{22,6} = 670 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$i) \quad \lambda = \frac{240}{3} = 80; \quad w = 1,59$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,59} = 1.260 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{trb.}} = \frac{16.400}{22,6} = 730 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$j) \quad \lambda = \frac{240}{3} = 80; \quad w = 1,59$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,59} = 1.260 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{trab.}} = \frac{17.100}{22,6} = 760 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

Con lo que se tiene completa seguridad contra el pandeo, admitiendo un coeficiente contra la torsión.

Reostros.

$$\text{No. 1:)} \quad \lambda = \frac{95}{1,2} = 79; \quad w = 1,59$$

$$\sigma_{\text{Admisible}}: \frac{2.000}{1,59} = 1,260 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}; \quad \sigma_{\text{Trab.}} \frac{4.500}{3,8} = 1.180 \frac{\text{kgs.}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{No. 2)} \quad \lambda = \frac{100}{1,2} = 83 \quad w = 1,67$$

$$\sigma_{\text{Admisible}} = \frac{2.000}{1,67} = 1.200 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{\text{Trabajo}} = \frac{3.700}{3,8} = 980 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{No. 10)} \quad \lambda = \frac{200}{1,2} = 168 \quad w = 6,67$$

$$\sigma_{\text{Admisible}}: \frac{2.000}{6,67} = 300 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}; \quad \sigma_{\text{Trabajo}} = \frac{1.200}{3,8} = 310 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

Las reostras no sufren pandeo en ningún momento, por lo tanto nuestra torre queda diseñada como está ya indicado en el plano 4. La reostra No. 10 tiene trabajo = 310 , lo que indica que rebaja el coeficiente de seguridad un poquito , prestando siempre seguridad.

TORRE DE ANGULO.-

Para esta torre seguimos el mismo proceso que en la torre de amarre, teniendo en cuenta los esfuerzos; será el tipo de reostra sencilla, su cálculo gráfico indicado en el plano No. 7

Momento total a que está sometido: $M = 39.920$

Longitud libre de la torre $L = 10,80$ (Sin cabezal)

Esfuerzo a la punta $F = \frac{39.920}{10,80} = 3.680$ 3.700 kgs.

Perfiles de :

Montantes: $= 70.70.2$ $\gamma = 2,1$ $S = 11,8$

Traviesas (reostras) $= 45 \times 45.6$: $\gamma = 1,3$ $S = 5,04$

Por el gráfico queda determinado el esfuerzo de cada una de las reostras.

Reostra	Fuerza	Reostra	Fuerza
1	5.800	9	2.200
2	5.400	10	1.900
3	4.100	11	1.800
4	3.900	12	1.500
5	3.400	13	1.500

Reostra	Fuerza	Reostra	Fuerza
6	3.900	14	1.200
7	2.900	15	1.100
8	2.300	16	1.000

Comprobación de las reostras:

$$1) \sigma_{\text{Trabajo}} = \frac{5.800}{5,04} = 1.150 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$2) \sigma_{\text{Trab}} = \frac{5.400}{5.04} = 1070 \frac{\text{Kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$3) \sigma_{\text{Trab}} = \frac{4.100}{5.04} = 810 \text{ "}$$

$$4) \sigma_{\text{trab}} = \frac{3.900}{5.04} = 770 \text{ "}$$

Así se vé que todas las demás tienen un coeficiente de trabajo inferior al mínimo admisible, por tanto hay seguridad en el trabajo.

Comprobación al pandeo.-

Reostras números

$$1) \lambda = \frac{55}{1,3} = 42: \quad w = 1,11.$$

$$\sigma_{\text{Admisible}} = \frac{2.000}{1,11} = 1.800 \quad \sigma_{\text{trab.}} = 1.150$$

$$2) \lambda = \frac{60}{1,3} = 46: \quad w = 1,114$$

$$\sigma_{\text{Admisible}} = \frac{2.000}{1,14} = 1.750 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2} : \sigma_{\text{Trab.}} = 1070 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

En ninguna de las reostras habrá pandeo ni flexión.

MONTANTES.-

Por el examen hecho al cálculo gráfico, vemos que: si bien antes nos daba para compresión una buena seguridad, vemos aquí que la base de la torre necesita ser de mayor dimensión, en vista de lo cual, cambiamos el perfil de la base hasta el punto d y f desde el cual se conserva el mismo perfil anterior.

El perfil para la parte inferior de la torre es:

100 x 100 x 12 mm. Sección = 22,6 cm²: Peso = 17,6 kg/cm: 5-3 cms.

Esta división es apreciable claramente en el plano No. 5.

Con esta nueva sección determino el esfuerzo de trabajo en cada

Tramo:

$$a) \lambda = \frac{45}{2,1} = 21,4 \quad w = 1,023:$$

$$\sigma_{\text{Adm.}} = \frac{2.000}{1,023} = 1.960 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{4.500}{11,8} = 380 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$b) \lambda = \frac{90}{2,1} = 42,5: \quad w = 1,12:$$

$$\sigma_{\text{Adm.}} = \frac{2.000}{1,12} = 1.780 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{9.000}{11,8} = 760 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$c) \lambda = \frac{90}{2,1} = 42,5: \quad w = 1,12$$

$$\sigma_{\text{Adm.}} = \frac{2.000}{1,12} = 1.780 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{12.000}{11,8} = 1.020 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$d) \lambda = \frac{90}{2,1} = 42,5: \quad w = 1,12.$$

$$\sigma_{\text{Adm.}} = \frac{2.000}{1,12} = 1.780: \quad \sigma_{\text{Trab.}} = \frac{15.000}{11,8} = 1.270 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$e) \lambda = \frac{100}{2,1} = 4,7 \quad w = 1.149$$

$$\sigma_{\text{Adms.}} = \frac{2.000}{1.149} = 1.740; \quad \sigma_{\text{Trab.}} = \frac{17.600}{11,8} = 1.480 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

f) $\lambda = \frac{125}{3} = 42 \quad w = 1,12$

$$\sigma_{\text{Adms.}} = \frac{2.000}{1,12} = 1.780 \quad \sigma_{\text{trab}} = \frac{20.800}{22,6} = 920 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

g) $\lambda = \frac{150}{3} = 50 \quad w = 1,17.$

$$\sigma_{\text{Adms.}} = \frac{2.000}{1,17} = 1.700; \quad \sigma_{\text{trab}} = \frac{23.100}{22,6} = 1020 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

h) $\lambda = \frac{140}{3} = 47; \quad w = 1,15$

$$\sigma_{\text{Adms.}} = \frac{2.000}{1,15} = 1.740; \quad \sigma_{\text{Trab}} = \frac{24.700}{22,6} = 1090 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

i) $\lambda = \frac{135}{3} = 45 \quad w = 1.135$

$$\sigma_{\text{Adms.}} = \frac{2.000}{1.135} = 1.760 \quad \sigma_{\text{Trab.}} = \frac{26.500}{22,6} = 1.180 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

j) $\lambda = \frac{135}{3} = 45; \quad w = 1.135.$

$$\sigma_{\text{Adms.}} = \frac{2.000}{1.135} = 1.760; \quad \sigma_{\text{Trab.}} = \frac{27.600}{22,6} = 1.220 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

k) $\lambda = \frac{140}{3} = 47; \quad w = 1,15$

$$\sigma_{\text{Adms.}} = \frac{2.000}{1,15} = 1.740 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{29.000}{22,6} = 1.280 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

l) $\lambda = \frac{140}{3} = 47; \quad w = 1,15$

$$\sigma_{\text{Adms.}} = \frac{2.000}{1,15} = 1.740 \quad \sigma_{\text{Trab.}} = \frac{29.800}{22,6} = 1.320 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

m) $\lambda = \frac{140}{3} = 47; \quad w = 1,15$

$$\sigma_{Adm} = 1.740:$$

$$\sigma_{trab.} = \frac{30.700}{22.6} = 1.360 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$N) \lambda = \frac{40}{3} = 47$$

$$w = 1,15$$

$$\sigma_{Admis.} = 1.740$$

$$\sigma_{trab.} = \frac{3.600}{22.6} = 1.400 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$O) \lambda = \frac{40}{3} = 47$$

$$w = 1.15.$$

$$\sigma_{Admi} = 1.740:$$

$$\sigma_{trab.} = \frac{32.000}{22.6} = 1.420 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$P) \lambda = 47 \quad w = 1.15$$

$$\sigma_{Admi.} = 1.740$$

$$\sigma_{trab.} = \frac{32.700}{22.6} = 1.460 \frac{\text{kgs.}}{\text{cm}^2}$$

Al admitir estos perfiles de hierro en la estructura se deja un coeficiente aún mayor de seguridad, para que en el peor de los casos sean contrarrestados los esfuerzos de compresión, tracción, pandeo, flexión y torsión, admitiendo además para el futuro una disminución de sección por la corrosión.

TORRE DE SOPORTE.

Para el anteproyecto de los montantes se ha tomado hierro de:

70 x 70 x 8 mm.

Sección = 10,56 mm²; $\lambda = 2,1$

Recostres (travesaños)

45x45. 6 mm: Sección = 5.04 mm² $\lambda = 1,3$

El cálculo gráfico se efectuará como los anteriores.

Momento total de acción $M = 15.633 \text{ kgs. mts.}$

Altura libre de la torre $L = 10,3 \text{ m (sin el cabezal).}$

Esfuerzo a la punta: $F = \frac{15.633}{10,3} = 1.520 \text{ kgs.}$

Con este esfuerzo construimos la cremona del que se obtiene:

Mostra	Esfuerzo kgs.	Mostra	Esfuerzo kgs.
1	2.750	9	1.900
2	2.600	10	1.700
3	2.250	11	1.600
4	2.250	12	1.300
5	2.500	13	1.250
6	2.150	14	1.200
7	2.200	15	1.200
8	1.950	16	1.200

Por lo que se puede apreciar en el cuadro anterior, el esfuerzo es muy pequeño en relación al perfil escogido, por tanto para esta torre se tomará únicamente mostras de 30 x 30 x 4 con
 Sección = 2.24 cm². Peso = 1,8 kgs/m. r = 0.9

Comprobación con pandeos

Mostra No.

$$1) \lambda = \frac{55}{0.9} = 61; \quad w = 1.26$$

$$\sigma_{\text{adm.}} = \frac{2.000}{1.26} = 1.580; \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{2.750}{2.24} = 1.220 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$2) \lambda = \frac{60}{0.9} = 66; \quad w = 1.32$$

$$\sigma_{\text{adm.}} = \frac{2.000}{1.32} = 1.520; \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{2.600}{2.24} = 1.160 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$3) \lambda = \frac{55}{0.9} = 61; \quad w = 1.26$$

$$\sigma_{\text{adm.}} = \frac{2.000}{1.26} = 1.580; \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{2.250}{2.24} = 1.000 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

Todas las demás roostras trabajarán con menor coeficiente que va a ser siempre menor que el admisible.

Al contrario de lo que sucede con las roostras, a primera vista, analizando el plano No. 7 se tiene que desde el punto K, en la unión de la roostra 9 y 10 para abajo, la base es insuficiente con este perfil, por lo que para la base tomo hierro de 90 x 90 x 10.

$$\text{Sección} = 17 \text{ cms.}^2; \text{ peso} = 13,3 \text{ kgs./m.} = 2,7$$

Con este nuevo perfil analizamos las secciones y los coeficientes de trabajo

MONTANTES:

$$a) \lambda = \frac{45}{2,1} = 21,5 \quad w = 1,04$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,04} = 1.920 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{2.200}{10,56} = 208 \text{ kgs./cm}^2$$

$$b) \lambda = \frac{90}{2,1} = 43 \quad w = 1,12$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,12} = 1.780 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{4.400}{10,56} = 520 \text{ kgs/cm}^2.$$

$$c) \lambda = \frac{90}{2,1} = 43 \quad w = 1,12$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,12} = 1.780 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{6.200}{10,56} = 585 \text{ kg./cm}^2.$$

$$d) \lambda = \frac{140}{2,1} = 67 \quad w = 1,34$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,34} = 1.520 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{8.000}{10,56} = 755 \text{ kg./cm}^2.$$

$$e) \lambda = \frac{160}{2,1} = 76 \quad w = 1,4$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,4} = 1.420 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{10.100}{10,56} = 960 \text{ kg./cm}^2.$$

$$f) \lambda = \frac{160}{2,1} = 76 \quad w = 1,4$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,4} = 1.420 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{11.700}{10,56} = 1.150 \text{ kg/cm}^2.$$

$$g) \lambda = \frac{160}{2,1} = 76 \quad w = 1,4$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,4} = 1.420 \quad \sigma_{\text{Trab.}} = \frac{13.800}{10,56} = 1.300 \text{ kg/cm}^2.$$

$$h) \lambda = \frac{140}{2,1} = 67 \quad w = 1,34$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,34} = 1.520 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{15.400}{10,56} = 1.440 \text{ kg/cm}^2.$$

$$i) \lambda = \frac{140}{2,1} = 67 \quad w = 1,34$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,35} = 1.520 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{16.900}{10,56} = 1.580 \text{ kg/cm}^2$$

$$j) \lambda = \frac{140}{2,7} = 52 \quad w = 1,18$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,18} = 1.690 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{18.300}{17} = 1.080 \text{ kg/cm}^2.$$

$$k) \lambda = \frac{155}{2,7} = 58 \quad w = 1,24$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,24} = 1.610 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{19.500}{17} = 1.150 \text{ kg/cm}^2$$

$$l) \lambda = \frac{155}{2,7} = 58 \quad w = 1,24$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,24} = 1.610 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{20.500}{17} = 1.200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

$$m) \lambda = \frac{140}{2,7} = 52 \quad w = 1,18$$

$$\sigma_{\text{Admis.}} = \frac{2.000}{1,18} = 1.690 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{21.500}{17} = 1.260 \text{ kg/cm}^2.$$

$$n) \lambda = \frac{140}{2,7} = 52 \quad w = 1,18$$

$$\sigma_{\text{Adminis.}} = \frac{2.000}{1.18} = 1.690 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{22.400}{17} = 1.320 \text{ kg./m}^2.$$

o) $\lambda = \frac{140}{2,7} = 52: \quad w = 1,18$

$$\sigma_{\text{Adminis.}} = 1.690 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{23.100}{17} = 1.360 \text{ kg./cm}^2$$

p) $\lambda = \frac{140}{2,7} = 52 \quad w = 1,18$

$$\sigma_{\text{Adminis.}} = 1.690 \quad \sigma_{\text{trab.}} = \frac{24.000}{17} = 1.420 \text{ kg./m}^2.$$

Con estas medidas se tiene perfecta seguridad para el funcionamiento de nuestra torre cuyo diseño se demuestra en el plano No. 6.

FUNDACIONES

El poste metálico se colocará en el terreno por medio de un macizo de hormigón de masa. El macizo de hormigón sobresale del nivel de terreno unos 20 cms. y termina en forma de pirámide, enlucándose la parte vista con mortero de aumento, para facilitar el escurrido de las aguas de lluvia. Las dimensiones de estas fundaciones se las determinará seguidamente.

En algunos reglamentos relativos a las líneas aéreas, se prescribe que esta clase, de fundaciones deben poder resistir por su propio peso el momento de vuelco a que se halla sometido el poste y debido a las fuerzas que sobre él actúan.

En estas condiciones y según la fig. No. 11, siendo P el peso del macizo y del poste, y considerando que O es el punto de giro de la fundación, debe verificarse que:

$$F.l < P.k, \quad P > \frac{F.L}{k}$$

Esta prescripción es vigorosa, siendo lógico también tener en cuenta el "esfuerzo del terreno sobre el macizo" que impide a este el movimiento de giro. En efecto, las caras de la fundación, por el tiro producido por la fuerza F, sufren una compresión, y ésta conjuntamente con el peso del macizo, contribuyen a evitar que llegue a volcarse.

La presión máxima que ha de soportar el terreno puede calcularse con la fórmula 2

$$H = \frac{6 \left(H + \frac{F.H}{2} - P.k \right)}{a.R.}$$

Siendo:

- M = El momento de flexión calculado.
F = la fuerza determinada a la punta del poste
H = La longitud de cimentación
P = El peso del macizo más el peso del poste
k = Brazo de palanca de la fuerza P.
a = Ancho del macizo.
R = Reacción del terreno.

CALCULO DE LAS FUNDACIONES

FUNDACION PARA LA TORRE DE AMARRE.-

Profundidad de fundación H = 2 mts.

Lado de la base inferior 1,7 mts.

Dejando 30 cms. de recubrimiento se tiene que el lado del cubo de cimentación va a ser de 2 mts., con un volumen de 8 m³ Como este bloque es de hormigón ciclopeo, o sea hormigón simple, el peso específico lo tomamos

2.200 kg. /m³.

Peso del bloque 2.400 x 8 = 19.200 kg.

Peso de la estructura de hierro más peso de los conductores 3.260 kgs.

Peso P = 22.460 kgs.

brazo de palanca de este peso P 1 mts.

Momento de la fuerza P = 22.460 x 1 = 22.460 kgmts.

Momento de flexión total que acciona sobre el punto o de volcamiento debido a la fuerza F. M = 32.610 kgs.

Como se puede ver, no se cumple la condición lo que dice que

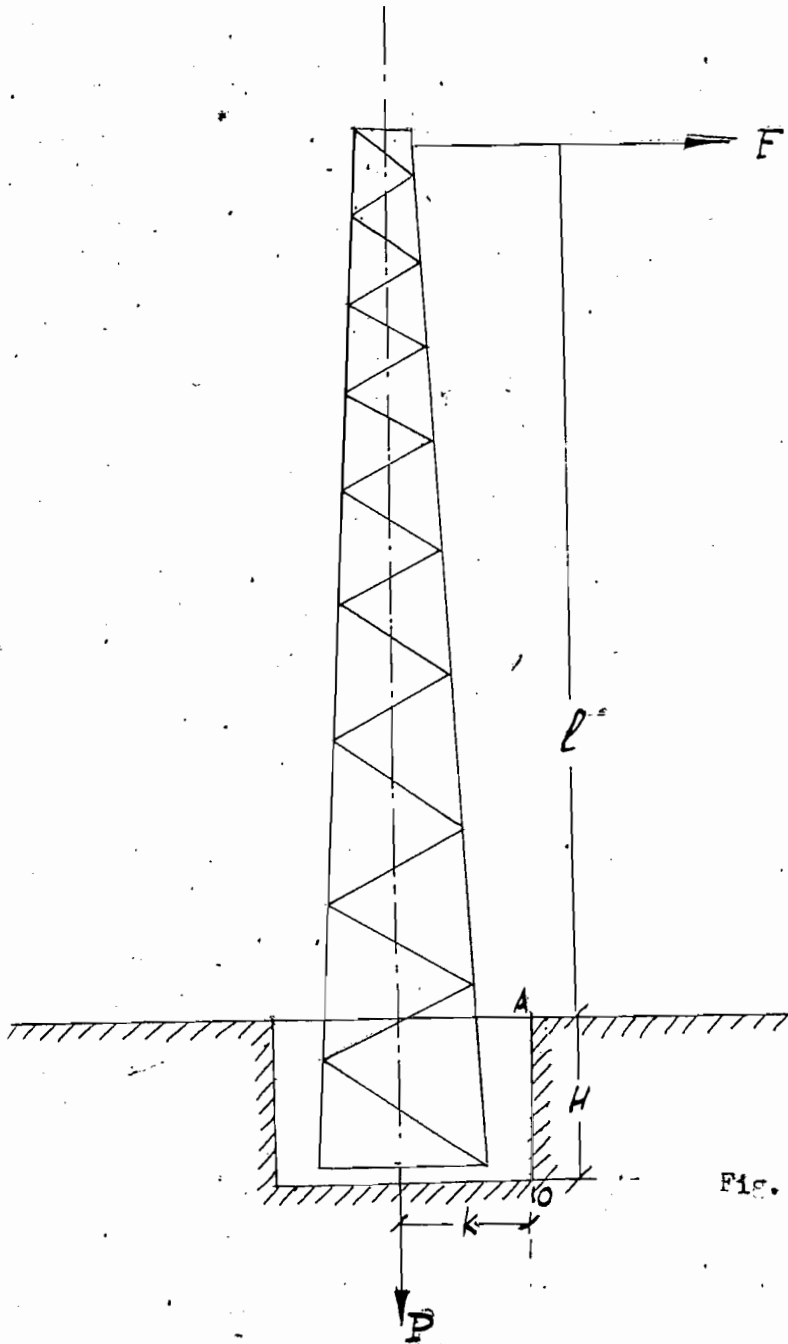


Fig. 11

ESFUERZOS QUE ACTUAN SOBRE EL BLOQUE DE FUNDACION

dice que el peso del bloque es insuficiente. Por lo cual se toma otras medidas. $2.5 \times 2 \times 2$

Volumen = 10 mts.3.

Peso = $2.400 \times 10 = 24.000$ kgs.

Peso de la estructura más
peso de los conductores 3.260

Peso P = 27.260 kgs.

Momento debido a la fuerza P

$M = 1,25 \times 27.260 = 34.000$ kgs.

F x l P x k reemplazando valores:

32.616 34.000

Con lo que, en las peores condiciones de rotura de 2 de los conductores el bloque presenta perfecta estabilidad.

2da. Condición.- Grado de reacción del terreno.-

La fuerza F a la punta es igual al momento calculado dividido para la altura total.

$F = 32.616 : 13 = 2.500$ kgs.

aplicando la fórmula de H2 y despejando R que es lo que nos interesa conocer tenemos.

$$R = \frac{6(l_1 + 2 \frac{F.H.}{a \times H^2} - P.k)}{2 \times 4} = \frac{6(32.616 + \frac{2.500 \times 2}{2} - 34.000)}{2 \times 4}$$

$$R = \frac{835 \text{ Kg.}}{m^2} = \frac{0,0835 \text{ Kg.}}{cm^2}$$

Lo que implica que el grado de reacción del terreno es nulo, con estas medidas, ya que el coeficiente de trabajo de un terreno flojo es

de 1 kps./cm² y en este caso es 12 veces menos.

Si se acepta que el bloque de fundación tenga las primitivas medidas de 2 x 2 x 2 mts., con un momento total de $M_p = 22.400$ kps., siendo el momento de volcamiento de 32.010, parte del momento será absorbido por el terreno trabajando en esta forma con el coeficiente

R:

$$R = \frac{0(32.010 + \frac{2.500 \times 2}{2} - 22.400)}{3} = 1.500 \frac{\text{kps.}}{\text{m}^2} = 0,150 \text{ k.}/\text{cm}^2$$

lo que indica que con un grado de reacción pequeño del terreno se puede contrarrestar el volcamiento en el peor de los casos con un bloque de 2 x 2 x 2. mts.

FUNDACIÓN PARA LA TORRE DE ANGULO.-

Profundidad de la fundación 2 mts.

Lado de la base inferior 120 cms.

La fundación se podría tomar de 1.5 x 1.5 x 2 mts. con un volumen de 4,5 mts.³: peso = 2.400 x 4,5 = 10.800 kps.

Peso de acción total 1.014.4 "

Peso total F = 12.414.4 kps.

Momento debido a la fuerza F

$$M_p = 12,414,4 \times 0,75 = 9.350 \text{ kps.mts.}$$

Momento de flexión total que actúa sobre el punto de volcamiento debida a la fuerza F; $M_f = 39.920$ kpsmts, poniendo la desigualdad que es la condición de seguridad

$$F.l < P. h.$$

$$39.920 < 9.350 + f.$$

Por lo que se vé, ésto no sucede, y para que ésto suceda, la parte que falta o sea f es la correspondiente a la reacción del terreno. Por lo tanto, es la segunda comprobación la que justificará si es o no estas medidas del bloque las reales admitidas.

2o) Comprobación.-

La fuerza F a la punta será:

$$F = 39.920 : 12 = 3.320 \text{ kgs.}$$

Reemplazando valores en la fórmula de R tenemos.

$$R = \frac{0 (39.920 + \frac{3.320 \times 2}{2} - 9.350)}{1,5 \times 4} = \frac{33.290 \text{ kg.}}{\text{m}^2} = \frac{3.329 \text{ kg.}}{\text{cm}^2}.$$

Lo cual nos dice que el bloque de fundación es insuficiente. Tomamos para un nuevo proyecto 1,5 x 1,5 x 2 mts.

$$\text{Volumen} = 0,43 \text{ mts.}^3. \text{ Peso} = 2.400 \times 0,43 = 15.552 \text{ kgs.}$$

Peso de la torre y de los conductores

$$\underline{1.514,4 \text{ "}}$$

Peso total P =

$$17.100,4$$

$$\text{Momento debido a P. } Mp = 17.100,4 \times 0,9 = 15.449,3$$

Lo cual no cumple la 1ra. condición, por lo que el terreno aporta con parte del esfuerzo.

$$2a. \text{ Condición: } \frac{3.320 \times 2}{15 \times 4} = \frac{15.449,3}{2} \approx 2,31 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}.$$

Como último proyecto tomemos 1,9 x 1,9 x 2 = 7,22 mts.3:

$$\text{Peso del bloque de fundación P} = 7,22 \times 2.400 = 17.328 \text{ kgs.}$$

Peso de los conductores y de la torre

$$\underline{1.514,4}$$

Peso total. P =

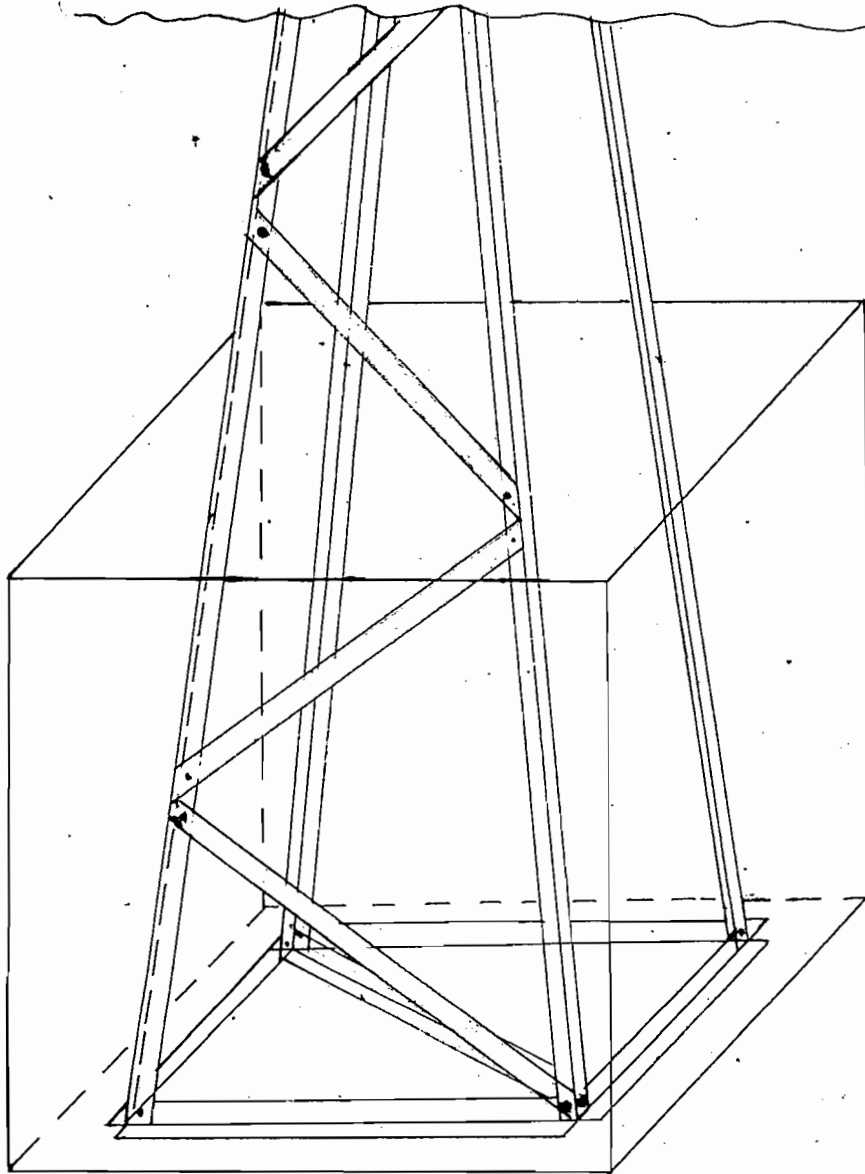
$$18.942,4 \text{ kgs.}$$

Momento debido a este esfuerzo.

$$M = 18.942.4 \times 0,95 = 18.000 \text{ kgs.}$$

2o Comprobación

$$R = \frac{6 (39.920 + \frac{3.320 \times 2}{2} - 18.000)}{1.9 \times 4} = 1,98 \frac{\text{kgs.}}{\text{cms}^2}$$



DEMOSTRACION DE LA FUNDACION DE UNA TORRE / Fig. 12

El coeficiente de trabajo del terreno se puede aceptar

Para terrenos flojos $R = 1. \text{ kg./cm}^2$

Medio consistentes $R = 2-3 \text{ kgs./cm}^2$

Consistente $R = 4 \text{ kg/cm}^2$

Pudiendo llegar en roca hasta 10 a 20 kg./cm^2 .

En el terreno donde se efectuará el montaje de las torres se puede aceptar un factor de trabajo $R = 2 \frac{\text{kg.}}{\text{m}^2}$, el mismo que es más alto que el que estamos calculando brindando un suficiente grado de seguridad.

CALCULO DE LA FUNDACION PARA LA TORRE DE SOPORTE.-

Profundidad de la fundación 2 mts.

Lado de la base inferior

La fundación, se podría tomar de $1,5 \times 1,5 \times 2 \text{ mts.}$ con un volumen de $4,5 \text{ mts.}^3$ correspondiente al peso de 10.500 kgs.

Peso de los conductores y de la torre $1.043.0 \text{ ''}$

PESO TOTAL P = $12.443.0 \text{ kgs.}$

Momento debido a la fuerza P.

$$MP = 12.443.0 \times 0,75 = 9.400 \text{ kgmts.}$$

Momento de flexión total que actúa sobre el punto de volcamiento debida a la fuerza F : $Mf = 15.633 \text{ kgmts.}$

Tenemos que para que este momento sea menor que el bloque el terreno tiene que aportar con un grado de reacción el mismo que se debe encontrar dentro del límite admisible:

La fuerza que actúa a la punta del poste es:

$$P = \frac{15.033}{11,5} = 1.300 \text{ kgs.}$$

$$R = \frac{6(15.033 + \frac{1.303 \times 2}{2} - 9.400)}{1,5 \times 4} = 7.596 \frac{\text{kg.}}{\text{m}^2} = 0,76 \frac{\text{kg.}}{\text{cm}^2}$$

Lo cual demuestra perfecto grado de seguridad, quedando con estas medidas como definitivas, y terminado el trabajo, el cual traerá errores, que pido a los Sres. Miembros del Tribunal disculpar, debido a la falta de experiencias en el campo de la práctica.

Expreso mi gratitud, al Sr. Ing. *Kakabadse* y al Sr. Ing. Jácome, quienes me han ayudado en la elaboración de este trabajo, facilitándome los levantamientos topográficos, los datos necesarios y ayudándome en la elaboración de la presente tesis.

INDICE DE MATERIAS

<u>TITULOS</u>	<u>PAGINAS</u>
Justificación de las características generales del proyecto	1
<u>CAPITULO PRIMERO</u>	
Materiales conductores	5
Propiedades de los conductores	5
Tipos de conductores	6
Propiedades de los metales	6
Peso específico y densidad	6
Conductividad	7
Obtención del cobre	8
Elaboración del cobre	9
Propiedades mecánicas	10
Obtención del aluminio	11
Propiedades físicas y mecánicas	13
Los aislantes en los transportes de energía	14
El hierro	15
Propiedades mecánicas	18
<u>CAPITULO SEGUNDO</u>	
Diseño eléctrico de la línea	25
Selección del voltaje	26
Selección de la sección del conductor	27
Resistencia de los conductores	30
Cálculo de la reactancia de la línea	31
Cálculo de la caída de tensión	36
Perdidas de potencia	41
Perdidas por efecto Corona	43

<u>TITULOS</u>	<u>PAGINAS</u>
Cálculo de la altura barométrica en mm de Hg.	44
Cálculo de tensión crítica del efecto corona.	45
Pérdidas de potencia en %	46
Pérdidas de energía. . . l l	47
Comprobación de la pérdida de energía por medio del factor carga . .	51
Cálculo del peso total de los conductores l . .	52
Vano crítico ñ	55
Cálculo del costo inicial de la obra	57
Cálculo del costo del capital	61
Aislamiento de las líneas	65
Aisladores - Diseño	66
Selección del aislador	68
Accesorios para los aisladores	70
Protección contra descargas atmosféricas	70
Sistemas de neutro aislado y de neutro conectado a tierra.	74
<u>CAPITULO TERCERO</u>	
Cálculo mecánico de la línea-Generalidades	77
Cargas en los conductores ñ	78
Estructuras de soporte	78
Tipos de torres ñ	79
Número de circuitos ñ	80
Conductor de protección ñ	81
Cálculo de la catenaria	81
Localización de las torres en el polígono y en el perfil.	87
Efectos de las propiedades elásticas del conductor. ñ	88
Efecto del cambio de peso sobre el alambre	88

<u>T I T U L O S</u>	<u>PAGINAS</u>
Efecto del cambio de temperatura del alambre	89
Vibración	89
Fórmulas a usar en el cálculo	91
Cálculo de las flechas	93
Flecha a 5°C sin viento	94
Flecha a 0°C sin viento	100
Flecha a 5°C con viento	101
Flecha a 10°C con viento	108
Flecha a 15°C con viento	108
Flecha a 20°C con viento	107
Flecha a 25°C con viento	108

CAPITULO CUARTO

Línea telefónica	122
Protección telefónica	124
Unidades de transmisión	125
Constantes del circuito telefónico	126
Impedancia característica	128
Constante de propagación	129
Constante de atenuación	129
Velocidad de propagación	131
Flechas y tensiones de tendido	131

CAPITULO QUINTO

Diseño estructural	136
Tipos de torres	137
Esfuerzos a que se hallan sometidas las estructuras	140
Momento de flección-Carga al tope del poste	142
Cálculo de la altura de la estructura	143
Cálculo de la torre de amarre (montantes)	145

<u>TITULOS</u>	<u>PAGINAS</u>
Cálculo de la torre de ángulo	152
Cálculo de la torre de soporte . ñ	159
Diseño de la estructura y de terminación de los esfuerzos de cada elemento	162
Torre de amarre	164
Torre de ángulo l ñ	167
Torre de soporte	171
Fundaciones	176
Fundación para la torre de amarre ñ	177
Fundación para la torre de ángulo	180
Fundación para la torre de soporte	183
Indice de materias	185

I N D I C E D E G R A F I C O S

Variación de la carga en función del alargamiento sobre una muestra de hierro Fig. 1	20
Variación de las propiedades mecánicas de una placa de hierro laminado en función de la reducción de espesor Fig. 2...	20
Diagrama de la clasificación de la fundición y acero Fig.3....	21
Grafico de tensiones ñ Fig. 5	36
Aislador rígido de soporte y aislador de amarre. Fig 6....	71
Curva catenaria Fig. 7	82
Plantillas para el tendido(adjunto a planos) Fig. 8	
Cruce de los conductores telefónicos en correspondencia de los conductores de fuerza ñ ñ.. Fig 4	121
Dirección de las F.E.M inducidas en un tramo Fig. 9	123
Brazos de palanca de las tensiones Fig.10	153
Esfuerzos que actúan sobre el bloque de fundación..... Fig 11....	178
Demostración de la fundación de una torre Fig 12	182

INDICE DE TABLAS

<u>TITULO</u>	<u>PAGINAS</u>
Características de cables de cobre duro de 97.3%...Tab. 1	23
Características del cable de aluminio con refuerzo o alma de acero. Tab. 2	24
Resumen de las diversas secciones, material y tensiones a usar en el proyecto Tab. 3	29
Resumen de las características de los conductores a usar en el proyecto Tab. 4	35
Resumen de las pérdidas para cada calibre y tensión Tab. 5	54
Costos iniciales de instalación Tab. 6	60
Costos de Capital Tab. 7	64
Características de los aisladores Tab. 8	69
Datos para el dibujo de las plantillas Tab. 9	86
Tabla de tendido del conductor de cobre. Tab. 10	111
Tabla de tendido para el conductor de protección Tab. 11	114
Distancia entre conductores Tab. 12	118
Calidad de la audición Tab. 13	130
Tensiones de tendido Tab. 14	134
Angulos de deflección Tab. 15	139
Tensiones admisibles para torres de hierro en selocía. Tab. 16	141
Valores del coeficiente λ para el pandeo Tab. 17	165

BIBLIOGRAFIA

TITULO DE LA OBRA

AUTOR

- Redes eléctricas de distribución Ed.-1.948 Gaudencio Zoppetti
- Lineas de Transmisión .Edición II - 1.950 Sheca
- Manual Standard del Ing.Electricista tomo I-II A.F.Knowlton
Edición 8º año - 1.953
- Enciclopedia práctica de electricidad
- Quillet Tomo I Edición I - 1.952..... Henri Desbares
- Manual práctico de electricidad Edición I año 1.948... Singer
- Escuela del Técnico electricista Tomo X
- Cálculos electricos de grandes lineas de
transmisión Edición I - 1.953..... Dalla Verde
- Manual Hütte Tomo II Edición II. Español 1.950.. Academia Hütte
- Matemática superior para ingenieros y
fisicos .Edición II - 1.949..... Ivan Sokolnicoff
- Fisica Tomo II Edición IV - 1.948..... Eligio Peruca
- Poligrafiado de redes eléctricas A.Mendizabal
- Curso de ElectrotécniaIng.V.Jácome
- Tablas de flechasJames S.Martin
- Materiales electrotecnicos modernos.....René Laurent