

621.3192

6934

976

PROYECTO DE LA LINEA DE TRANSMISION

GUAYLLABAMBA - QUITO



TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO

EN LA ESPECIALIZACION DE ELECTROTECNIA DE LA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

---

F. MARCELO GUERRA BARONA

Quito, Marzo de 1.957

TESIS DIRIGIDA POR :

  
ING. VICENTE JACOME

APROBO : \_\_\_\_\_

A MIS PADRES CON TODO CARIÑO

## INTRODUCCION.-

La Energía Eléctrica, es un factor indispensable para el desenvolvimiento de un pueblo, como se ha demostrado a través del tiempo en los países cultos y progresistas.

Desde la antigüedad han habido hombres dedicados a estudiar las diferentes clases de fenómenos, algunos de los cuales eran producidos por la electricidad y que por su carencia de conocimientos no pudieron culminar sus investigaciones. Más tarde, en los siglos XVII - XVIII comenzaron a estudiar detenidamente los fenómenos producidos por la electricidad y a partir de este momento ha ido en un constante desarrollo la investigación hasta llegar a nuestros días, en donde se tiene un basto conocimiento de lo que es la electricidad y de los fenómenos que produce, extensándose su utilización a todo el campo industrial y al consumo de luz de la población. Por su gran demanda ha sido necesario buscar fuentes de producción que se sujeten a las exigencias de la industria moderna. Para esta producción se utilizan variedad de máquinas como son los motores de combustión interna, motores hidráulicos, turbinas de vapor y últimamente las centrales atómicas que están en período de experimentación en la que se han obtenido resultados magníficos y que posiblemente reemplazarán a todas las otras fuentes de producción.

## JUSTIFICACION.-

En el Ecuador, la energía que se produce para el con

sumo de todas las necesidades de la población es bastante reducida, lo que dificulta el desarrollo industrial y económico del país. En el problema particular de Quito, la necesidad de disponer de nuevas fuentes de producción de energía es urgente, porque no alcanza a satisfacer la demanda necesaria para el consumo de luz, con mayor razón no podrá segregarse parte de la energía para el consumo de pequeñas industrias, por lo que sus propietarios se ven en la obligación de adquirir grupos auxiliares para satisfacer la demanda; este inconveniente hace que el producto de fabricación aumente en su costo por la adquisición de la maquinaria y su mantenimiento afectando como consecuencia al consumidor y a la vez impidiendo el desarrollo normal de la industria y con ello del país.

En la actualidad, la Empresa Eléctrica Quito, se encuentra empeñada en solucionar este problema para lo cual se halla realizando los estudios necesarios para cumplir su cometido. Como trabajos inmediatos ha pensado en la instalación de grupos Diésel y el transporte de energía de la planta de Machachi, solucionando la falta de energía en forma provisional; luego en una segunda etapa va a construir la Planta de Cunucyacu y la de Guayllabamba.

Estas centrales hidráulicas se ubican en lugares distantes a las fuentes de consumo, lo que hace necesario la construcción de una línea de Transmisión para el transporte de energía.

El contenido de la Tesis que se desarrolla a continuación será el estudio de la Línea de Transmisión de la Central de Guayllabamba a Quito con una longitud de 23 kilómetros aproximadamente, transmitiéndose una potencia de 6.000 kilowatts. Este estudio tratará el aspecto económico para seleccionar en la mejor forma los conductores y demás accesorios, con el objeto de que la línea sea la más económica y en su funcionamiento la más segura.

DISEÑO ELECTRICO



SELECCION DEL VOLTAJE.-

La primera parte que debe tratarse al calcular una Línea de Transmisión, es la selección del voltaje y la del conductor. Es la parte más importante en el diseño de la Línea de Transmisión, porque de estos dos factores se deriva el comportamiento de la Línea y parte del financiamiento de la compañía propietaria. Siendo factor importante para el diseño de la Línea de Transmisión la selección del voltaje, existen a este respecto, fórmulas que nos guían en la solución de este problema. A continuación voy a mencionar algunas de las fórmulas comunmente usadas, y son:

Primera.- "La tensión más económica que se debe escoger, es la de un kilovoltio por cada milla de extensión de la Línea". Como la Línea de Transmisión de Guayllabamba a Quito es de una longitud de 22,8 kilómetros, la tensión a escogerse sería de 14.250 voltios. Esta fórmula es usada en los Estados Unidos.

Segunda.- En Europa es utilizada la siguiente fórmula:

$$E_0 = 5.500 \times \sqrt{\frac{L}{1,61} + \frac{3P}{100}}$$

en donde:  $E_0$  - tensión más económica para la Línea.

$L$  - longitud de la Línea en kilómetros.

$3P$  - potencia total a transmitirse en kilowatios.

Reemplazando valores para el presente caso, se obtiene que la tensión aconsejada es de 25.500 voltios. ( fórmula obtenida del Libro de Morrillo y Farfán ).

Tercera.- Además de estas dos fórmulas, se puede mencionar una tercera, representada por la siguiente fórmula, obtenida de la

Enciclopedia Quillet:

$$U = 150 \sqrt[3]{P} \cdot \sqrt[3]{D}$$

en donde: U - tensión económica.

P - potencia a transmitirse.

D - longitud de la Línea.

Reemplazando los valores correspondientes, se llega a obtener que la tensión más económica es de 33.200 voltios.

Las fórmulas antes mencionadas, sirven únicamente de guía, pues son deducidas de la experiencia y aplicables solamente a Líneas de Transmisión de gran longitud, tomando como tales a Líneas cuya longitud pasa de los 60 kilómetros.

El método más generalizado y más práctico que se utiliza para la selección del voltaje y del conductor, es aquel que se basa solamente por el aspecto económico. El procedimiento que se sigue en este sistema, es el de escoger varias tensiones, como también varios calibres de los conductores, haciendo determinados cálculos para cada una de las tensiones con todos los calibres que se ha fijado. Intervienen en este cálculo todos los factores que hacen variar el costo de la Línea, prescindiendo de algunos conceptos que se supone fijos, como son estudios, montaje, etc. Se incluye también el costo de los kilowatios-hora perdidos en la Línea, factor que es decisivo para la selección del conductor.

Con todos estos valores, se obtiene el costo anual correspondiente para cada conductor. Este costo incluye, el interés del capital invertido en la realización de la obra, más un

porcentaje por la depreciación de la misma, y el costo de los ki  
lowatios-hora perdidos anualmente. Todos estos valores, nos dan  
una cuota anual determinada; se deberá escoger la tensión y el  
conductor que menos costo anual produzca.

Para iniciar el cálculo se empieza fijando varias ten-  
siones, para luego seleccionar una de ellas. En el presente caso  
me fijo la tensión de 44 kilovoltios, porque cálculos anteriores  
efectuados en la Empresa Eléctrica Quito, ya han seleccionado  
dicha tensión como la más conveniente, y además el objetivo prin-  
cipal de este estudio es la comparación entre dos tipos de conduc-  
tores, el de cobre y el de Aluminio reforzado con acero, y para  
hacer esta comparación, no es de importancia la tensión que se  
haya seleccionado, porque ambos conductores tienen las mismas ba-  
ses de comparación.

Las bases de comparación para los dos conductores son:  
de tener igual tensión los dos conductores como base eléctrica,  
y la resistencia del poste como base mecánica.

Por las consideraciones expuestas, comenzaré a desarró-  
llar los diferentes puntos en los cuales se ha subdividido la te-  
sis.

#### SELECCION DEL CONDUCTOR.-

La selección del conductor se hará, basándose en el as  
pecto económico. Para esto se tomarán seis calibres de conducto-  
res de cada tipo, y con ellos calcularemos:

- a.- El peso y el costo de cada uno de ellos.
- b.- La energía perdida en el año en cada conductor.

c.- La cuota anual para cubrir el interés y depreciación de cada uno de los conductores.

d.- El costo del kilowatio-hora, a base de 17'000.000 de sucres. costo total de la obra, que incluye la construcción del canal y obras adicionales, casa de máquinas y línea de transmisión. ( El valor de los 17'000.000 de sucres, es un dato obtenido de cálculos efectuados anteriormente en la Empresa Eléctrica Quito).

Los calibres de los conductores que se han escogido son los siguientes:

Para conductores de Cobre, número de galga A.W.G.

# 2 - 7 hilos - diámetro 7,42 milímetros.

# 1 - 7 hilos - diámetro 8,33 milímetros.

#1/0- 7 hilos - diámetro 9,35 milímetros.

#2/0- 7 hilos - diámetro 10,51 milímetros.

#3/0- 7 hilos - diámetro 11,78 milímetros.

#4/0- 7 hilos - diámetro 13,26 milímetros.

Para conductores de Aluminio Reforzado con Acero.

# 1/0 AWG - 6 hilos de aluminio - 1 de acero  
diámetro 10,11 milímetros.

# 2/0 AWG - 6 hilos de aluminio - 1 de acero  
diámetro 11,35 milímetros.

# 3/0 AWG - 6 hilos de aluminio - 1 de acero  
diámetro 12,75 milímetros.

# 4/0 AWG - 6 hilos de aluminio - 1 de acero  
diámetro 14,30 milímetros

# 266.800 milésimas circulares - 26 hilos de aluminio-

7 hilos de acero - diámetro 16,31 milímetros.

# 336.400 milésimas circulares - 30 hilos de aluminio-

7 hilos de acero - diámetro 18,82 milímetros.

( Para explicar el procedimiento a seguirse, se harán los cálculos respectivos a un solo tipo de conductor. Tomaremos por ejemplo el # 1/0 AWG de cobre ).

Peso y costo del conductor.- El peso de los tres conductores calibre 1/0 AWG de cobre es:

$$P = 3 \text{ cond.} \times 22,8 \text{ Km.} \times 485 \frac{\text{Kgr.}}{\text{Km.}}$$

$$P = 33.155 \text{ Kgrs.}$$

Con el peso obtengo el costo del conductor. Para el caso que estamos desarrollando, el conductor calibre 1/0 AWG de cobre tiene un costo de 1.123 dólares por tonelada, haciéndose una rebaja de 114 dólares si la compra **excede** de 30 toneladas, de 75 dólares si pasa de 20 toneladas, etc. Como el peso de los conductores **exceden** de 30 toneladas se tomarán en cuenta las rebajas para el cálculo del costo. Para los conductores de Aluminio Reforzado con Acero ( ACSR ), el precio por tonelada es de 1.050 dólares hasta el # 1 y de 1.020 dólares desde el # 1/0 en adelante. ( Los precios son obtenidos de la "Industria South American Trading Co. - HAHN & Cia. ). El tipo de cambio para esta clase de materiales de importación es de 16,40 sucres por dólar. No se puede tener un precio estable y constante en la cotización del cobre y del aluminio reforzado con acero ( ACSR ), por la variación constante de los precios de los conductores eléctricos en el mercado mundial. El tipo de cambio oficial del dólar, es de 16,15 - sucres, a esto hay que aumentar un porcentaje del 10 % aproxima-

damente, por concepto de transporte y seguro, ( Como los Municipios son propietarios de las empresas eléctricas, ~~tiener~~ liberación de derechos ). En estas condiciones, el valor a que llega el dólar para que el material importado este en Quito, es de 16,40 precio obtenido en la Empresa Eléctrica Quito.

El costo de los tres conductores de cobre, calibre 1/0 AWG es :

$$\text{Costo} = 33,155 \text{ tone.} \times 16,40 \times 1.009 \frac{\text{dólares}}{\text{tonel.}}$$

$$\text{Costo} = 548,636 \text{ sucres.}$$

Pérdida de Energía.- Para calcular las pérdidas de energía durante un año, se aplican cualquiera de los varios métodos que existen. Aplicaré el método en el cual interviene el factor de carga. El valor actual del factor de carga anual de la ciudad de Quito es de 64 %. Si se aumenta la producción de energía, el factor de carga disminuirá. Como no se puede calcular el factor de carga, suponemos que en el futuro tendrá un valor del 58 %.

La pérdida de energía viene dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Kwh} = I^2 \times 3R \times h \times F$$

Los símbolos representan:

Kwh - kilowattios-hora que se pierden en los tres conductores de la línea durante el año.

I - Corriente que circula por la línea. Con la tensión de 44 kilovoltios y una potencia de 6.000 kilowattios, la corriente será igual a:

$$I = \frac{\text{KW}}{\sqrt{3} \times E \times \cos \phi}$$

Reemplazando valores:

$$I = \frac{6.000 \text{ Kw}}{1,73 \times 44 \text{ Kv} \times 0,8} = 98,5 \text{ Amperios}$$

Como no se puede determinar con anterioridad el factor de potencia de la carga, supongo que éste sea de 0,8.

R - Resistencia de uno de los conductores de la línea y es de 7,85 ohmios.

F - Factor de multiplicación y que se debe calcular. Con este objeto utilizo la siguiente fórmula empírica en la que interviene el factor de carga.

$$F = 0,7 \times fc^2 + 0,3 \times fc$$

fc es el factor de carga y que tiene un valor de 58 %.

Reemplazando valores obtengo:

$$F = 0,7 \times 0,58^2 + 0,3 \times 0,58$$

$$F = 0,41$$

Los valores obtenidos, reemplazamos en la fórmula correspondiente de las pérdidas de energía, y tenemos:

$$\text{Kwh} = 98,5^2 \times 3 \times 7,85 \times 8.760 \times 0,41$$

$$\text{Kwh} = 820.813$$

( 8.760 corresponde al número de horas de funcionamiento de la central, equivalente a un año ).

Interés y depreciación.- Los valores adoptados para el interés y la depreciación son aproximados, tomando relación con valores generalmente usados. Para el interés se adopta el 8 % anual; para escoger este valor se ha tomado en cuenta, que los préstamos que pueden hacer en el país tienen un interés un poco más altos, pero por ser éste un préstamo a largo plazo, puede disminuir el interés.

La depreciación, es un porcentaje que varía de acuerdo a la calidad de la obra a construirse. Para fijarnos este porcentaje, nos basamos en el estudio hecho por el autor Alfred H. Lovell en su libro " Generating Stations ", en donde tiene un cálculo detallado de la depreciación de una Línea de Transmisión , dándole como resultado un lapso de tiempo para la depreciación de 38 años. Para la Línea de Transmisión en estudio, adoptamos 40 años como tiempo de depreciación.

La depreciación anual directa para el presente caso, será de 2,5 %. Como costos iniciales tengo los intereses del capital y la depreciación, que suman el 10,5 %.

Siguiendo el cálculo con el conductor 1/0 AWG de cobre, tenemos que el interés y la depreciación será el 10,5 % del costo del mismo. El conductor tiene un valor de 548.636 sucres, el costo anual será de 57.608 sucres.

Costo del Kilowatio-hora.- La central hidroeléctrica de Guayllabamba, va a tener un costo de diecisiete millones de sucres ; de este valor se debe obtener el precio del kilowatio-hora producido. Si son 6.000 kilowatios de potencia que produce la central, multiplicaremos por el número de horas de funcionamiento de la planta y por el factor de carga, obteniendo los kilowatios hora generados, y son:

$$\text{Kwh} = 6.000 \text{ KW} \times 8.760 \text{ horas} \times 0,58$$

$$\text{Kwh} = 27'200.000$$

Esta energía producida durante el año, y vendida al consumidor, tiene que cubrir el costo del interés y depreciación de toda la obra. Me fijo el porcentaje de depreciación de toda



la planta en 2,5 % anual, considerando que la obra hidráulica es de corta longitud y no tendrá influencia en el tiempo de depreciación. Si los porcentajes anuales son del 10,5 %, el valor a cubrirse será el 10,5 % de los 17'000.000 de sucres que cuesta toda la central y que corresponde al valor de 1'785.000 sucres. A esto se debe agregar los sueldos de empleados que suponemos sea de un millón de sucres y los gastos de mantenimiento que pueden llegar a 100.000 sucres; sumando todas estas cantidades obtenemos el costo anual que es de 2'885.000 sucres, y dividiendo este resultado para los kilowattios-hora antes calculados se conocerá el valor de cada kilowattio-hora. En efecto:

$$\frac{\text{Costo anual}}{\text{KWh}} = \frac{2'885.000}{27'200.000} = 10,6 \text{ centavos/ KWh}$$

Con el valor encontrado, conoceremos el costo de los kilowattios-hora perdidos en los diferentes conductores.

En el conductor de cobre calibre 1/0 AWG, se pierden 820,813 KWh que multiplicados por 10,6 centavos se tiene el costo de los kilowattios-hora perdidos.

$$\text{KWh} = 820.813 \times 10,6 = 87.006 \text{ sucres.}$$

Todos los cálculos que se han hecho con el conductor calibre 1/0 AWG de cobre, se hacen con todos los conductores de cobre y aluminio reforzado con acero. Todos estos cálculos se han agrupado en el siguiente cuadro, en el que constan: la tensión de línea, la intensidad, el número del conductor, el peso, la resistencia y los costos en sucres de los tres conductores de la Línea. Además se indica los HWh perdidos y los costos anuales de cada uno de ellos.

En el cuadro anterior podemos ver, que los conductores que menos costo anual tiene, son: el calibre 2/0 AWG de cobre con 139.594 sucres, y el calibre 4/0 AWG de aluminio reforzado con acero ( ACSR ), con 122.052 sucres.

Con los conductores seleccionados, seguiré haciendo los cálculos eléctricos y mecánicos correspondientes, para luego seleccionar los diferentes materiales y accesorios necesarios para el montaje de la Línea de Transmisión para cada uno de ellos.

#### CAIDA DE TENSION.-

Al diseñar una Línea de Transmisión, se debe tener en cuenta que la caída de tensión en los conductores no pase de los límites aceptables; se considera como límite de caída de tensión el de 6 % .

En general, esta caída de tensión no es de mucha importancia, porque se puede regular la tensión a la salida y a la llegada de la Línea, por medio de los transformadores, obteniendo la tensión prevista para la red de distribución. Los transformadores tienen una derivación en el bobinado, que sirven para hacer las regulaciones de la tensión ( generalmente del  $\pm 5\%$  ).

Para el conductor de cobre, # 2/0 AWG, la caída de tensión en porcentaje de la tensión de salida, es de 4,87 %, que corresponde a una caída de tensión de 1.300 voltios. Para el conductor de aluminio con acero reforzado, tiene un porcentaje de 5,22 %, que corresponde a 1.400 voltios de caída de tensión.

Estos resultados son obtenidos por la siguiente fórmula:

$$E_f = \sqrt{(E'f \times \cos + I \times R)^2 + (E'f \times \text{sen} + I \times X)^2}$$

## CUADROS DE COSTOS

POTENCIA KW	TENSION KV	INTER- SIDAD A	Nº AVG	RESISTENCIA DE LOS 3 CONDUCTORES	PESO KG	PERDIDAS ANUA- LES DE ENERGIA KWH	C O S T O S (en pesos)			COSTO ANUAL
							CONDUCTOR	HTD / Y DEPEN- 10,5 %	KWH	
<u>C O B R E</u>										
6.000	44	98,5	2	37,41	20,862	1'500,340	358,390	37,542	137,838	175,484
			1	29,85	26,534	1'035,025	450,987	47,352	100,500	156,952
			1/0	23,55	33,155	820,813	548,855	37,608	37,006	144,614
			2/0	18,69	41,828	631,304	692,154	72,676	66,312	139,594
			3/0	14,85	52,741	516,994	872,758	91,637	54,801	146,458
			4/0	11,78	66,504	410,633	1'100,485	115,550	43,527	159,177
<u>A G S R</u>										
6.000	44	98,5	1/0	37,60	14,814	1'298,960	249,052	26,046	137,690	166,738
			2/0	29,85	18,689	1'040,273	312,037	32,858	110,526	145,337
			3/0	23,77	23,576	828,375	394,763	41,450	27,808	129,256
			4/0	18,39	29,735	659,240	497,994	52,279	60,773	122,058
			236	14,85	40,846	517,726	689,942	72,444	54,879	127,525
			336	11,80	53,474	411,225	895,990	94,016	43,590	137,338

Los símbolos de la fórmula representan:

$E_f$  - tensión de fase a neutro a la salida de la central.

$E'_f$  - tensión de fase a neutro al fin de la línea.

- ángulo de desfasaje de la carga.

$I$  - corriente en la línea.

$R$  - resistencia ohmica

$X$  - reactancia

Reemplazamos los valores correspondientes del conductor de cobre, # 2/0 AWG.

$$E_f = \sqrt{(25.400 \times 0,8 + 98,5 \times 6,8)^2 + (25.400 \times 0,6 + 98,5 \times 10,65)^2}$$

$E_f = 26.700$  voltios.

Diferencia entre  $E_f$  y  $E'_f$  es igual a 1.300 voltios, que es la caída de tensión. En igual forma se ha obtenido el valor de 1.400 voltios de caída de tensión para el conductor de aluminio.

#### PERDIDAS DE POTENCIA.-

Los valores encontrados de la caída de tensión son satisfactorios. Las pérdidas de potencia, tienen aproximadamente los mismos valores que la caída de tensión, y posiblemente menores.

Se calcula el porcentaje de pérdida de potencia, haciendo una sencilla relación entre la pérdida de potencia debido a su resistencia ohmica, y la potencia transmitida en cada conductor. Para el conductor de cobre, la pérdida en una sola línea es de 65,9 kilowatios, que con relación a la potencia transmitida de este conductor, dá un porcentaje de pérdida de 3,3 %. Para el conductor de ACSR, la pérdida de potencia es de 81,4 kilowatios, dando un porcentaje de pérdida de 4,07 %.

Como se puede apreciar, los valores obtenidos están dentro de los límites aceptables.

PERDIDAS POR EFECTO CORONA.-

Las pérdidas por efecto corona, es un factor muy importante en el funcionamiento de la línea, y va aumentando esta importancia mientras mayor sea el voltaje que se emplea para la transmisión de una potencia. El efecto corona se presenta, porque el potencial del conductor sobrepasa la rigidez dieléctrica del aire, se manifiesta por una luminiscencia al rededor del conductor. Esta tensión que empieza a producir pérdidas por efecto corona es propia para cada conductor y varía esta tensión de acuerdo a las siguientes características: la densidad que tiene el aire en el sitio en donde se construye la línea; la superficie del conductor, que por este motivo se usan valores que fluctúan entre uno y 0,8, así por ejemplo en cables de varios hilos trenzados el factor es de 0,8, en conductores nuevos, subiendo a 0,87 para conductores usados, ( valores superiores a éstos se tienen, cuando la superficie del conductor es lisa o pulida y constituidos por un solo hilo); además el radio del conductor y la distancia equivalente entre ellos, influye en el valor de la tensión crítica del efecto corona.

La gradiente disruptiva del aire es constante para cualquier clase de conductor y material, y es de 21,1 KV por centímetro. Calculamos para cada uno de los conductores las tensiones del efecto corona por medio de la siguiente fórmula:

$$E_0 = 48,5 \times m \times d \times r \times \log \frac{D}{r} \quad (KV)$$

en donde:  $E_0$  - tensión crítica del efecto corona con respecto al neutro.

$m$  - factor de superficie, que es igual a 0,8.

$d$  - densidad relativa del aire a una altura de 2.900 metros sobre el nivel del mar.

$r$  - radio del conductor.

$D$  - distancia equivalente. Con 44 KV he tomado un valor aproximado de 1.820 milímetros.

El valor de 48,5 se ha obtenido de la multiplicación del valor de la gradiente disruptiva del aire (21.1), por la constante 2,50 para transformar el logaritmo neperiano de la fórmula en logaritmo decimal.

Las tensiones obtenidas son las siguientes:

Conductor de Cobre		Conductor de ACSR	
# 2	- 28,4 KV	# 1/0	- 36.0 KV
1	- 31.2 "	2/0	- 40,6 "
1/0	- 36.0 "	3/0	- 44.6 "
2/0	- 38.1 "	4/0	- 49.2 "
3/0	- 41.7 "	266 mcm	- 54,5 "
4/0	- 46.2 "	336 mcm	- 61.5 "

Estos valores corresponden a las tensiones críticas de los conductores entre fase y neutro.

Para calcular las pérdidas de potencia, utilizo la fórmula contenida en el libro de A.Dalla Verde "Cálculos Eléctricos".

y es:

$$P_c = 244 \times \frac{f + 25}{d} \sqrt{\frac{r}{D}} \times (E - E_0) \times 10^{-5} \text{ KW/Km.cond.}$$

en la cual:  $P_c$  - pérdidas de potencia en kilowatios por kilómetro y por conductor.

$f$  - frecuencia de la línea en ciclos por segundo.

$d$  -- densidad del aire.

$r$  - radio del conductor.

$D$  - distancia equivalente entre conductores.

$E$  - Tensión de la línea de fase a neutro. ( 25.4 KV).

$E_0$  - Tensión crítica del efecto corona.


Reemplazando valores, vemos que la diferencia entre la tensión de fase de la línea y la tensión crítica del efecto corona calculada para cada conductor, nos dá un valor negativo, lo que quiere decir que bajo las **condiciones** impuestas, no vamos a tener pérdidas de potencia por el efecto corona.

#### AISLAMIENTO DE LA LINEA. -

El estudio del aislamiento de la línea es una parte importante del cual depende el funcionamiento de ésta. Este estudio converge a clasificar el aislador más adecuado y seguro para que la línea no interumpa su servicio.

Anteriormente las líneas de transporte fallaban porque los aisladores no cumplían los requisitos necesarios de protección, pero en la actualidad los fabricantes se han preocupado por mejorar la técnica de construcción obteniendo como resultado aisladores de muy buena calidad.

Hay varios materiales con los cuales se **fabrican** diferentes tipos de aisladores, usando en las Líneas de Transmisión los fabricados con porcelana. Estos están constituidos por arcilla, sílice y feldespatos, que cocidos debidamente dan una alta resistencia mecánica y buena aislación.



Mecanicamente el aislador debe reunir ciertas condiciones, como son las de soportar los esfuerzos de tracción y compresión a que se hallan sometidos. Los cambios de temperatura no afecta el trabajo del aislador, porque el coeficiente de dilatación es bastante bajo. Los esfuerzos que soportan los aisladores son: 490 a 635 Kg/cm<sup>2</sup> a la tracción y 2.800 a 4.200 Kg/cm<sup>2</sup> a la compresión, valores con los cuales no se hace trabajar al aislador, pues se usa coeficientes de seguridad bastante altos siendo la razón, el desconocimiento del límite de elasticidad del material.

En la superficie del aislador hay un barniz especial que tiene las mismas características de la porcelana, con lo que se impermeabiliza la superficie protegiéndolo contra el deterioro que produce el ambiente.

En los aisladores tipo pin, existen piezas adicionales que sirven para el acoplamiento con los otros elementos. Los aisladores van sujetos al poste de la línea, por medio de pernos especiales que pueden ser de madera o de hierro; en el interior del aislador existe una rosca en la misma porcelana utilizándose para su fijación pernos de madera, al usar pernos de hierro, en el interior del aislador se coloca un casquillo roscado de zing, hierro galvanizado o bronce en el cual se sujeta el perno.

En una línea con postes de madera, se considera que ésta equivale eléctricamente a una torre de hierro cuando se lleva una línea de protección, por el hecho de que se baja por el poste la conexión a tierra. Se debe considerar también que



el aislamiento de porcelana es aumentado por la cruceta de madera en una proporción que es: 60 centímetros de cruceta equivale a un disco de retención.

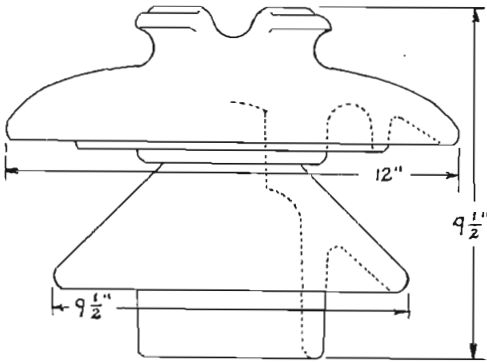
Los aisladores tipo pín se construyen de varias piezas ensamblando luego unas con otras. Con este método se evitan las dificultades de construcción de piezas grandes, que en ella las fallas son más comunes, pudiendo probar cada una de ellas antes de unir las. Con el aislador construido de un solo bloque, se tiene un riesgo constante al aplicar tensiones muy altas en caso de falla del aislador, y esto dió origen a que se usen esta clase de aisladores solo hasta 66 kilovoltios.

Por la forma del aislador y las irregularidades interiores que tiene, alarga el recorrido de las corrientes de fuga haciendo más pequeñas las pérdidas por este motivo. Además es protección para evitar los arcos de contorneo, porque el polvo depositado en él o el agua, pueden formar un camino para el arco, lo que impide estas irregularidades.

En la Línea de Transmisión de Guallabamba a Quito, se van a usar aisladores tipo pín, que tienen las características mecánicas y constructivas antes anotadas. Además deberá llevar en su rosca interior un casquillo de bronce o zing, para usar pines de hierro.

Según el catálogo Line Material, el aislador para 44 kilovoltios es el que corresponde al catálogo No. NP2T7 contenido en el boletín DL8 - página 8. La selección del aislador se ha obtenido, por medio de la tabla de selección de aisladores ti

po pín para diferentes voltajes, contenido en el mismo boletín - DL8 - página 21. Las especificaciones del aislador detallamos a continuación junto con el dibujo del mismo. ( Fig 1 )



Esfuerzo de tracción 3.000 lbs.

Diámetro de la rosca 1 3/8'

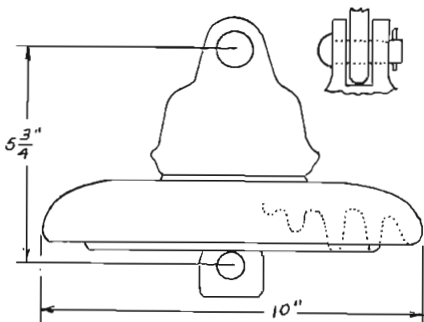
Descarga de contorno en seco 140 KV.

Descarga de contorno bajo lluvia 95 KV.

Altura máxima del pín 10' .

Fig 1.- Aislador No. NP2T7

Los aisladores de retención son construidos del mismo material que los aisladores tipo pín. En la tabla de guía seleccionamos el aislador y el número de unidades necesarias para la tensión de 44 KV. El aislador escogido corresponde al catálogo No. NS2A2 contenido en el boletín DL8-Pág.11. ( Fig. 2 ). El número de unidades de la cadena es de ~~tres~~<sup>4</sup>. El empalme de los aisladores es del tipo de horquilla, escogiéndose éste por considerarlo más seguro. Sus características mencionamos a continuación.



Esfuerzo de tracción 15,000 lbr,

Descarga de contorno en seco 80 KV.

Descarga de contorno bajo lluvia 50 KV.

Fig 2.- Aislador No. NS2A2 .

SISTEMAS DE PROTECCION. -

Para proteger una línea contra descargas atmosféricas, existen varios sistemas que se escogen de acuerdo al sitio y la importancia de la obra. Entre los principales y más comunmente usados estan, la línea de protección y el sistema de tubos explosores. La línea de protección ha sido objeto de fuertes discusiones sobre si en realidad es una buena protección, llegando se a la conclusión de que este sistema es el más efectivo. Para que esta protección sea en realidad efectiva, debe reunir ciertas condiciones como son, el valor de la resistencia del suelo, distancia de la línea a los conductores de fuerza, etc.

Para proyectar una línea de protección, debe tomarse la aislación de la línea con respecto a los conductores de fuerza, distancia entre estos en el centro del vano y el valor de la resistencia a tierra. Los cálculos que se hacen de estas líneas son aproximados, basándose en la experiencia de individuos que han obtenido conclusiones y construido ábacos, facilitando el estudio de estas líneas. Cuando se lleva una línea de protección en la línea de transmisión, es recomendado por varios autores el formar un ángulo mínimo de  $20^{\circ}$  entre la vertical y la dirección formada entre la línea de protección y el conductor de fuerza más exterior. Practicamente se usa un ángulo de  $30^{\circ}$ .

Por medio de los ábacos se obtiene la distancia en el centro del vano entre la línea de protección y el conductor más próximo, teniendo como datos de referencia la longitud del vano y la descarga del rayo más desfavorable. Con la tensión del ra-

yo y la resistencia de tierra se puede obtener el número de aisladores necesarios para un vano determinado. En este caso podemos variar la resistencia de tierra, obteniendo resultados cercanos a nuestras exigencias.

Se puede variar la resistencia del suelo, por medio de los conductores de contrapeso o contraantena. Se denominan así a los conductores que van enterrados en el suelo, desde el pie del poste hasta una cierta longitud siguiendo la dirección de la línea. Hay fórmulas complicadas para calcular la longitud del contrapeso, comprobando en la práctica los resultados. Este método no se usa, pero si es conveniente determinar la resistencia del suelo por medio de un puente de Wheatstone. Haciendo variar la longitud del conductor enterrado podemos obtener diferentes resistencias del suelo, y adoptar la más conveniente. En terrenos de elevada resistencia se ponen los contrapesos de torre a torre, y si es necesario disminuir más la resistencia se ponen dos o más líneas en paralelo o ramificaciones radiales.

El otro sistema de protección de una Línea de Transmisión, son los TUBOS EXPLOSORES. Estos dispositivos son usados para protección de aisladores y para que las descargas atmosféricas tengan un camino a travez de éste. Estas constituidos por dos conecciones, un al cable de fuerza y la otra a tierra, terminando éstas en dos puntas o antenas, manteniendose a una distancia conveniente, para que el arco producido por la descarga atmosférica salte antes de producir un arco de contorno en el aislador. Este sistema de protección es conveniente cuando la línea de transmisión está constituida solamente por vanos largos.

La Línea de Transmisión en estudio, se construirá con

postes de madera, que por su pequeña resistencia al esfuerzo del viento no tendrá un vano mayor de cien metros. En el presente caso no es conveniente el uso de tubos explosores, porque el aislador que se protege tiene un costo menor que su protección. Es más adecuado usar la Línea de Protección porque es más económico y tiene mayores ventajas que el sistema de tubos explosores.

Los datos que necesitamos para el diseño de la Línea de Protección como son la magnitud de las descargas atmosféricas y la resistencia del suelo, no podemos disponer por falta de mediciones. Nos basaremos en las construcciones ya realizadas, suponiéndolas como de iguales características.

La línea de protección se asegura al poste por medio de una grapa espacial de acero, de construcción nacional ( de - talle en el Plano N° 0 ). Es conveniente usar esta grapa en vez de los perno con el aislador por ser más económico.

La conexión de la línea de protección a tierra lo haremos por medio de una cinta de acero galvanizado, que se fijará en los mismos pernos con los cuales se asegura la grapa al poste, además cada 50 centímetros se fija la cinta al poste por medio de clavos hasta unos 60 centímetros bajo el suelo, luego la cinta se tiende en una longitud de 35 metros tomando la misma dirección de la Línea de Transmisión. Las conexiones de la línea de protección a tierra se harán cada 180 metros como máximo.

Para la selección del cable de la línea de protección haremos la siguiente consideración: el cable de acero galvanizado que se utilizará en la línea de protección debe tener menor flecha y mayor esfuerzo de rotura que el cable de alta tensión. En el diseño mecánico bajo estas condiciones se hará la selección

del cable más adecuado.

D I S E Ñ O M E C A N I C O

Leh DISEÑO MECANICO.-

El diseño mecánico de la línea, consiste en ir determinando los esfuerzos a que están sometidos los postes y los conductores, de tal manera que éstos no trabajen con esfuerzos superiores a los convenientes.

Este estudio lo divido en dos partes principales: la tendra por objeto obtener el vano más conveniente para cada conductor; y la segunda será la comprobación de los esfuerzos producidos por los conductores sobre las estructuras.

Para determinar el vano más conveniente, se debe primero localizar la situación de los conductores en el poste. La falta de Códigos Técnicos en el Ecuador, nos obliga a guiarnos en normas establecidas en otros países, que se justificarán en el país en el que rigen, pero no tendrán toda su validez al aplicar lo en otro país. Basándose en las normas establecidas en los diferentes países, obtendremos valores adecuados a nuestras exigencias.

En primer lugar determinaré la distancia de la línea de teléfonos al suelo. Se considera a ésta como línea de alta tensión, porque por algún accidente las líneas de fuerza pueden caer sobre las líneas telefónicas, guardándose por esta razón las seguridades necesarias que requiere la alta tensión. Para determinar la distancia al suelo de la línea telefónica, se dispone de una tabla publicada por el Código Eléctrico Nacional de los Estados Unidos, contenida en el libro de Edwin B. Kurtz titulado " The Lineman's Handbook" referente a distancias de los conducto

res de alta tensión al suelo, especificando 5,40 metros para tensiones de 44 kilovoltios en lugares accesibles solamente a peatones. Fijo en 5,00 metros la distancia del conductor de teléfonos al suelo, porque la zona que atravieza la línea es despoblada, transitada solamente por campesinos que para llegar a topar el cable telefónico deben disponer de una varilla de metal suficientemente larga, además la distancia que fija el código es exclusivamente para los conductores de fuerza de alta tensión. Fijándome la distancia al suelo de 5,00 metros no disminuyo la seguridad del peatón, pero sí aumento una fuerte economía en la construcción de la línea.

Para localizar los conductores de fuerza, primero debemos determinar la distancia equivalente entre ellos. Esta distancia equivalente se toma de acuerdo a la tensión de régimen de éstos, en caso de tratarse de vanos cortos y de aisladores tipo pín; cuando se tienen vanos largos es necesario considerar que se producen oscilaciones y vibraciones que adquieren la mayor intensidad en el centro del vano, produciéndose movimientos de vaivén que hace que los conductores se encuentren muy cercanos, poniendo en peligro la seguridad de la línea. En estos casos, para evitar el peligro anteriormente citado se colocan pesos distribuidos a lo largo del vano.

En el presente caso, la línea de transmisión de Guayllabamba a Quito se construirá en postes de madera que por sus características mecánicas no permiten vanos largos; se aplicará se aplicará la fórmula respectiva para el presente caso para determinar la distancia equivalente entre los conductores.



Para encontrar esta distancia se aplica la siguiente fórmula:

$$d = 15,2 \text{ cm} + 3,8 \text{ cm} \times \text{KV}$$

Reemplazando los valores para la tensión de 44 KV obtengo para d el valor de 1,83 m. Como en la práctica no se puede poner distancias exactas, utilizaré para los cálculos la distancia equivalente de 1,80 metros.

La disposición de los conductores en el poste, se debe rá hacer según el tipo de estructura y el número de conductores que se coloquen. Los conductores necesarios para esta línea son: uno de la línea de protección, tres conductores de fuerza y dos conductores telefónicos. La línea de protección irá colocada en la parte superior del poste, luego debajo de la anterior vienen las líneas de fuerza distribuidas en forma triangular y por último las líneas telefónicas. La disposición y las respectivas distancias se detallan en el plano N° 1.

Con la disposición de los conductores de fuerza, debemos establecer las distancias correspondientes entre éste y la línea de protección y la de teléfonos. Como digimos anteriormente, la distancia entre la línea de protección y la de fuerza se obtiene guardando un ángulo de 30° entre la vertical y el conductor de fuerza más exterior. Haciendo los cálculos trigonométricos correspondientes obtengo que la distancia de los conductores de fuerza al centro del poste es de 78 centímetros, y la distancia vertical de la línea de protección al conductor más alto de fuerza es de 1,35 metros que para los demás cálculos a-

proximo a 1.40 metros.

La distancia entre el conductor de fuerza más bajo y la línea de teléfonos se obtiene de las normas italianas, que para este caso se fija el valor de 2,50 metros. ( distancia fijada por el Código Italiano para tensiones mayores de 30 kilovoltios, contenida en el libro del Ingeniero Alvo Polettini ).

En esta forma, quedan determinadas las distancias entre los conductores en el poste. Luego fijaré la longitud del poste, aumentando a las distancias ya encontradas el valor de la flecha. Como son dos conductores en estudio, buscaremos los valores correspondientes a cada uno de ellos.

El cálculo de la flecha lo realizo en las condiciones más desventajosas para ésta. En primer lugar se debe tomar en cuenta el factor temperatura, que es decisivo para la determinación de la magnitud de la flecha máxima, ya que según ésta se fijará la altura mínima del poste. El factor de seguridad comunmente usado para el cálculo de la resistencia mecánica a la que estará sujeta el conductor, es el de dos. Tomando el esfuerzo de rotura del conductor y dividiendo para el factor de seguridad obtengo la tensión máxima del conductor. La tensión de tendido obtenida es elevada y el valor de la flecha es pequeño; lo que debemos buscar es la tensión del conductor a una temperatura la máxima registrada en la zona por donde atravieza la línea y con este dato encontrar la flecha máxima. Por carecer de datos, supongo que la temperatura máxima del ambiente por donde pasa la línea es de 50° centígrados.

Para calcular la tensión mecánica a la que está sometido el conductor a la temperatura de 50° centígrados, tenemos que aplicar la ecuación de cambio de condiciones, mediante el cual obtenemos los esfuerzos para la condición ya anotada. El procedimiento a seguirse se ha tomado del libro de Morillo y Farfán titulado "Curso de Eléctrotecnia" III Tomo.

En la aplicación de esta ecuación intervienen características propias de cada conductor; al tratarse del conductor de cobre no existe ninguna dificultad para el cálculo, en cambio para el conductor de aluminio reforzado con acero (ACSR), se deben conocer primero sus características, ya que se trata de un cable formado por dos materiales. Para este conductor se busca el coeficiente virtual de dilatación que es el valor que se empleará en la fórmula.

Para encontrar la tensión a la que está sometido el conductor a la temperatura máxima, se empleará la siguiente fórmula:

$$T^2 \times (T + A) = B$$

Los valores correspondientes de A y B, vienen dados por las siguientes fórmulas:

$$A = d \times (\theta - \theta_h) \times \frac{S}{E} = T_m + \frac{a^2 \times P^2 \times S}{24 \times T_m^2 \times E}$$

$$B = \frac{a^2 \times P^2 \times S}{24 \times E}$$

En las fórmulas anteriores, los símbolos tienen los siguientes significados:

T - tensión del conductor a la temperatura  $\theta_h$

- $T_m$  - tensión máxima del conductor ~~en el momento de la rotura~~.
- $\theta$  - mínima temperatura del conductor.
- $\theta_h$  - temperatura máxima que se considera.
- $d$  - coeficiente de dilatación lineal.
- $S$  - sección del conductor.
- $E$  - alargamiento elástico por unidad de longitud.
- $a$  - longitud del conductor que se considera.
- $Ph$  - es la carga uniformemente repartida por unidad de longitud, considerando para la obtención de este valor que la temperatura del conductor es de  $50^{\circ}\text{C}$ . Suponemos que en estas condiciones no habrá influencia del viento sobre el conductor. El único valor que se toma en cuenta para este caso es el peso del conductor.
- $P$  - Es la carga uniformemente repartida por unidad de longitud ~~en el momento de la rotura~~. Este valor está compuesto de dos factores, que son; el esfuerzo del viento sobre el conductor que actúa en dirección horizontal, que para el cálculo se toma el viento más fuerte registrado y que es de 90 kilómetros por hora, y el peso del conductor que actúa en sentido vertical. Con la suma de estas dos fuerzas obtenemos el valor de  $P$ .

Conductor de Cobre.- Como dije anteriormente, para este conductor bastará reemplazar los valores correspondientes y que a continuación anotamos:

$T_m$  - 1.350 Kg. ( la mitad de la carga de rotura ).

$$\theta = 0^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_h = 50^{\circ}\text{C}$$

$$d = 16 \times 10^{-6} \text{ m}/^{\circ}\text{C}$$

$$E = 100 \times 10^{-6} \text{ Kg/mm}^2$$

$$S = 67 \text{ mm}^2$$

$$a = 100 \text{ mtrs.}$$

Ph = 0,612 Kg/mtrs. ( se toma solamente el peso del conductor ).

$$P = 0,728 \text{ Kg/mtr.}$$

Para la obtención de P se ha realizado el siguiente cálculo:

La presión del viento sobre una superficie cilíndrica se encuentra por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{presión} = 0,000471 \times v^2$$

en donde: V es la velocidad del viento en kilómetros por hora.

Reemplazando el valor de la velocidad máxima que es de 90 Km/hora, se llega al siguiente resultado:

$$\text{presión} = 3,82 \text{ gr/cm}^2$$

Para encontrar la presión del viento por unidad de longitud, multiplicaremos el valor encontrado por el diámetro del conductor. Efectuada la multiplicación llegamos al siguiente valor:

$$q = 3,82 \text{ grs/cm}^2 \times 1.051 \text{ cm.} = 4,02 \text{ grs/cm}$$

$$q = 0,402 \text{ Kgs/mtr.}$$

El peso del conductor por unidad de longitud es de - 0,612 Kgs/mtr. El valor de P obtenemos por la suma de estos dos vectores.

$$P = \sqrt{p^2 + q^2} = \sqrt{0,612^2 + 0,402^2}$$

$$P = 0,728 \text{ Kgr/mtr.}$$

Reemplazando los valores correspondientes en la fórmula de A y de B deducimos sus valores. Así :

$$A = - 760$$

$$B = 144 \times 10^6$$

Estos valores se reemplazan en la ecuación de cambio de condiciones obteniendo el siguiente resultado:

$$T^2 \times ( T - 760 ) = 144 \times 10^6$$

$$T = 920 \text{ Kg.}$$

Conductor de Aluminio reforzado con acero.- Para encontrar la tensión mecánica a 50°C de este conductor, se debe calcular primero el módulo de elasticidad y el coeficiente virtual de dilatación. Se deben encontrar estos dos valores, porque el cable esta formado por dos clases de materiales cuyas constantes son distintas, expresando el coeficiente virtual de dilatación la constante para el conjunto. El procedimiento a seguirse en la obtención de este valor, es el que se encuentra en el "Manual Standar del Ingeniero Electricista" por A.E. Knowlton II Tomo.

Se debe tomar en cuenta para el cálculo, el módulo de elasticidad del aluminio y el acero, como también las respectivas secciones de estos dos elementos. Los valores de las secciones reducimos a tantos por uno y con éstos aplicaremos la fórmula. La sección de aluminio es de 107,2 milímetros cuadrados y la de acero es de 17,9 milímetros cuadrados; tomando los tantos por uno de estas secciones se tiene que el aluminio equivale a 0,857 y para el acero el valor del tanto por uno es de 0,143. Para encontrar el módulo de elasticidad del conjunto, sumamos el producto de los módulos por las secciones respectivas en tantos por uno. Los resultados son los siguientes:

Módulo de elasticidad del ACSR = 7.030 Kg/mm<sup>2</sup>

Módulo de elasticidad del acero = 20.400 Kg/mm<sup>2</sup>

Eas = módulo de elasticidad del conjunto

Eas = 20.400 x 0,143 + 7.030 x 0,857

Eas = 8.942 Kg/mm<sup>2</sup>

Luego obtenemos el coeficiente virtual de dilatación de la siguiente manera:

$$\Theta_{as} = \Theta_a \times \frac{E_a \times H_a}{E_{as}} + \Theta_s \times \frac{E_s \times H_s}{E_{as}}$$

en donde:  $\Theta_{as}$  - módulo de elasticidad de aluminio-acero.

$\Theta_a$  - módulo de elasticidad del aluminio. =  $23 \times 10^{-6}$

$H_a$  - sección en tanto por uno del aluminio.

$\Theta_s$  - módulo de elasticidad del acero. =  $1,5 \times 10^{-6}$

$H_s$  - sección en tanto por uno del acero.

Reemplazando valores obtenemos:

$\Theta_{as} = 19,25 \times 10^{-6}$  (igual a  $\underline{d}$  en las fórmulas anteriores)

Un dato necesario para nuestro caso es el alargamiento del material que es de  $118 \times 10^{-6}$  Kg/mm<sup>2</sup>.

Los valores correspondientes al conductor de ACSR son:

$T_m$  - 1.907 Kg. (la mitad de la carga de rotura).

$\Theta$  - 0°C

$\Theta_h$  - 50°C

$d$  -  $19,25 \times 10^{-6}$

$E$  -  $118 \times 10^{-6}$

$S$  - 125,1 mm<sup>2</sup>

$a$  - 100 mtrs.

$Ph$  - 0,4346 Kg/mtr. ( peso del conductor).

$P$  - 0,698 Kg/mtr.

Para obtener el valor de  $P$  se han tomado los siguientes datos:

peso del conductor = 0,4346 Kg/mtr.

presión del viento sobre el conductor = 0,622 Kg/mtr.

Reemplazando valores en las ecuaciones de A y B tenemos:

$$A = -834$$

$$B = 216 \times 10^6$$

La tensión del conductor a la temperatura de 50°C. se obtiene reemplazando los valores encontrados en la ecuación respectiva. En efecto:

$$T^2 \times (T - 834) = 216 \times 10^6$$

$$T = 1.036 \text{ Kg.}$$

#### CALCULO DE LA FLECHA.-

Quando se llegue a determinar la magnitud de la flecha, se determina también la altura del apoyo para cada conductor. En las especificaciones anteriores se tiene que la distancia mínima de la línea de teléfonos al suelo es de 5 metros, tomada esta distancia desde el centro del vano; por consiguiente el apoyo de la línea de teléfonos estará a una altura de 5 metros más el valor de la flecha; la diferencia de altura entre los postes de los dos tipos de conductores será dada asimismo por el valor de la flecha, única magnitud en que difieren.

El cálculo de la flecha se hace para una temperatura de 50°C sin tomar en cuenta la presión del viento que lo consideramos despreciable. Las tensiones a esta temperatura se ha encontrado ya para los dos conductores, obteniéndose con estos valores la flecha. El factor que influye en la determinación de ésta, es la fuerza que actúa sobre el conductor, que en estas



condiciones es solamente el peso de él, porque la influencia del viento a una temperatura elevada es muy pequeña y lo consideramos nula.

La curva que forma la flecha es una catenaria, pero tratándose de vanos cortos, se obtiene la necesaria aproximación si se le considera como una parábola. El valor de la flecha calculándole por el método de la parábola es el siguiente:

$$F = \frac{w \cdot x \cdot a^2}{8 \cdot x \cdot H}$$

en donde: F - valor de la flecha

w - peso que actúa sobre el conductor.

H - tensión del conductor a 50°C.

a - longitud del vano considerado.

Reemplazando en la fórmula los valores correspondientes a cada conductor, tenemos:

Para conductor de cobre.

$$F = \frac{0,612 \cdot x \cdot 100^2}{8 \cdot x \cdot 920} = 0,836 \text{ mtr.}$$

Para conductor de ACSR.

$$F = \frac{0,4346 \cdot x \cdot 100^2}{8 \cdot x \cdot 1.036} = 0,525 \text{ mtr.}$$

De los valores anteriores podemos obtener las flechas para un vano de 1.000 metros, en efecto, la flecha para el conductor de cobre es de 83,6 metros y para el ACSR es de 52,5 metros. Hacemos el dibujo de la plantilla de flechas, ( Planos - N° 2 y N° 3 ) para ir comprobando que en cada vano la distancia del conductor más bajo al suelo, se mantenga dentro del correspondiente límite. (El dibujo de la parábola se ha efectuado determinando cada uno de sus puntos gráficamente).

### DETERMINACION DEL VANO.-

Siendo el objetivo de esta tesis el hacer una comparación entre los dos conductores que se estudian, tenemos necesariamente que realizar ésta, de acuerdo a una base común para ambos. Esta condición es la resistencia al esfuerzo del viento de los postes de madera.

Para los postes de alineación o de tangente realizo el cálculo de la resistencia de éstos, solo al esfuerzo producido por un viento de 90 kilómetros por hora que es su valor máximo. En primer lugar determinaremos el momento máximo que puede resistir la sección del poste de madera; las dimensiones que generalmente se toman para este apoyo son: de 30 centímetros de diámetro en la base a ras del suelo y 20 centímetros de diámetro en la parte superior. Como no existe un estudio sobre la resistencia de la madera de eucalipto que es la utilizada en las líneas de transmisión, me impongo un factor de seguridad superior a los usados en cálculos similares en los Estados Unidos, en donde tienen datos exactos sobre las resistencias de varios tipos de madera. Creo que con un factor mínimo de seguridad de seis, estaría dentro de un límite aceptable para el cálculo. Si tomamos como carga de rotura el valor de 500 Kgr/cm<sup>2</sup>, la carga de trabajo que no se puede sobrepasar por ningún concepto será de 83,5 Kgr/cm<sup>2</sup>. Adopto para los cálculos 80 kgr/cm<sup>2</sup> que equivale a un factor de seguridad de 6,25.

Por medio de la fórmula respectiva, calculamos el momento máximo que resiste el poste. Así:

$$M = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$M = \frac{3,14 \times 30^3 \text{ cm}^3}{32} \times 80 \text{ Kgr/cm}^2$$

$$M = 2.120 \text{ Kgmtr.}$$

El momento encontrado no se debe sobrepasar con ninguno de los dos tipos de conductores.

Para encontrar el vano adecuado, efectuaremos el cálculo por tanteos, hasta que el esfuerzo producido por el viento sobre los conductores nos de un momento en la base del poste no mayor del momento antes calculado. La fuerza producida por el viento será mayor o menor, según sea mayor o menor la longitud del vano. No se debe tomar en cuenta el aumento de longitud debido a la flecha en vanos cortos, porque este aumento es despreciable, como veremos luego.

Calculo de la flecha para el viento máximo.- En el cálculo de ésta intervienen el peso del conductor y la presión debida al viento. La suma de estas dos fuerzas, producen la flecha. Los cálculos correspondientes a cada conductor, indicamos a continuación.

Para el conductor de cobre.

$$\text{el valor de } w = \sqrt{p^2 + q^2}$$

$$p - \text{peso del conductor} = 0,612 \text{ Kg/mtr.}$$

$$q - \text{presión del viento} = 0,402 \text{ Kg/mtr.}$$

reemplazando tenemos:

$$w = 0,73 \text{ Kg/mtr.}$$

Según el Código Nacional de Seguridad de los Estados U-

nidos, se debe sumar una constante a la resultante de los esfuerzos vertical y horizontal, en el sentido de la resultante. Cuando se tienen solamente cargas ligeras, el valor de la constante que se debe agregar vale 0,074 kilogramos por metro lineal. El valor de  $w$  sube a 0,804 Kg/mtr. ( La constante se ha obtenido del Manual Knowlton II Tomo ). Reemplazando valores en la fórmula de la flecha, obtengo este valor.

$$F = \frac{0,804}{8} \times \frac{100^2}{1.350} = 0,749 \text{ mtr.}$$

Para el conductor de Aluminio reforzado con acero, se sigue el mismo procedimiento de cálculo, con los siguientes valores:

$$p = 0,4346 \text{ Kg/mtr.}$$

$$q = 0,5463 \text{ Kg/mtr.}$$

$$w = 0,70 + 0,074 = 0,774 \text{ Kg/mtr.}$$

$$F = \frac{0,774}{8} \times \frac{100^2}{1.907} = 0,507$$

Con el valor de la flecha de los dos conductores, podemos calcular la longitud real del conductor. Se obtienen los siguientes valores de las fórmulas correspondientes: la longitud real del conductor en un vano de 100 metros es de 100,0147 metros, y para el aluminio reforzado con acero, para la misma longitud del vano, la longitud real es de 100,0068 metros.

Como dijimos anteriormente el aumento de longitud es despreciable, utilizando para cálculos posteriores la longitud del vano.

Para la selección del vano, se ha calculado los momen-

tos producidos por los esfuerzos en diferentes longitudes de vanos. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Longitud del vano	Momentos de	
	Cobre	ACSR
100 metros	2370 Kgmtrs.	2791 Kgmtrs.
90 "	2195 "	
85 "	<u>2082</u> "	
80 "		2.324 "
75 "		2.200 "
70 "		<u>2.084</u> "

Los vanos de 85 y 70 metros, son los seleccionados para los conductores de cobre y aluminio respectivamente.

El método que se ha seguido para el cálculo de los momentos es el siguiente:

El cálculo de la flecha se efectúa para las condiciones más desfavorables, porque de esta magnitud depende la altura del poste y por consiguiente el momento producido por la fuerza.

Para el conductor de cobre, el valor de la flecha es:

$$F = \frac{0,612 \times 85^2}{8 \times 920} = 0,60 \text{ mtrs.}$$

Para el conductor de ACSR.

$$F = \frac{0,4346 \times 70^2}{8 \times 1,036} = 0,256 \text{ mtrs.}$$

Con estos resultados obtenemos las distancias correspondientes de cada uno de los conductores a la base del poste, y son los siguientes:

	<u>Cobre</u>	<u>ACSR</u>
Línea de teléfono	5,60 mtrs.	5,26 mtrs.
1° conductor de fuerza	8,10 "	7,76 "
2° conductor de fuerza	9,00 "	8,66 "
3° conductor de fuerza	9,90 "	9,56 "
línea de protección	11,30 "	10,96 "

Presión del viento sobre los conductores.-

Para la línea telefónica se pone un conductor de 1/4" que corresponde a 6,35 mm de diámetro, tipo Copperweld. La presión del viento sobre los dos conductores es:

$$P = 2 \times 0,00635 \text{ m.} \times 38,2 \text{ Kg/m}^2 \times 85 \text{ m.} = 41,2 \text{ Kg.}$$

Para la línea de protección se usa un cable de acero - galvanizado Siemens Martin de 3/8" - 7 hilos para la línea de cobre, y de 7/16" - 7 hilos para la línea de ACSR. Se han escogido estos cables, para que la flecha que tiene cada uno de ellos sea menor de la que tienen los conductores de fuerza, guardándose mayor distancia en el centro del vano. Por el método de la parábola indicado anteriormente para el cálculo de la flecha de los conductores de fuerza, se han obtenido los siguientes valores:

Para el cable 3/8" S.M. - 7 hilos.

Flecha = 35 centímetros. (Vano de 85 m.).

Para el cable 7/16" S.M. - 7 hilos.

Flecha = 18 centímetros. (Vano de 70 m.).

La presión del viento sobre los cables es:

presión. ( 3/8" ) = 0,00914 m. x 38,2 Kg/m<sup>2</sup> x 85 m.

presión ( 3/8" ) = 29,6 Kgr.

presión ( 7/16" ) = 0,01104 m. x 38,2 Kg/m<sup>2</sup> x 70 m.

presión ( 7/16" ) = 29,6 Kgr.

La presión del viento sobre los conductores de fuerza

es:

Para conductor de cobre.

P = 0,01051 m. 38,2 Kg/m<sup>2</sup> x 85 m. = 34 Kgr.

Para conductor de ACSR.

P = 0,0143 m. x 38,2 Kg/m<sup>2</sup> x 70 m. = 38,3 Kgr.

Con los valores obtenidos se puede calcular los respectivos momentos para cada una de las líneas.

Para conductor de cobre.

Para conductor de ACSR.

5,60 m. x 41,2 Kg = 230 Kgm      5,26 m. x 34      Kg. = 180 Kgm.

8,10 m    x 34            = 275 "            7,76 m x 38,3            = 298 "

9,00 m    x 34            = 306 "            8,66 m x 38,3            = 332 "

9,90 m    x 34            = 336 "            9,56 m x 38,3            = 367 "

11,30 m    x 29,6            = 335 "            10,96 m x 29,6            = 327 "

Momento total . . . 1.472 Kgm.

1.504 Kgm.

A estos valores añadimos el momento que produce el viento sobre el poste, y es igual a:

Sección del poste para línea de cobre.

S =  $\frac{0,30 + 0,20}{2}$  mtr. x 11,30 m. = 2,83 m<sup>2</sup>

Presión = 2,83 m<sup>2</sup> x 38,2 Kg/m<sup>2</sup> = 108 Kgr.

Esta fuerza se aplica en la mitad de la altura del poste, y cuya distancia es de 5,65 mtr.

Momento = 108 Kg. x 5,65 mtr. = 610 Kgm.

El momento total que debe resistir el poste será:

$$Mt = 1.472 + 610 = 2.082 \text{ Kgmtrs.}$$

Los valores obtenidos para el conductor de ACSR, son:

$$\text{Sección del poste} - 2,75 \text{ m}^2$$

$$\text{Presión del viento} - 105 \text{ Kg.}$$

$$\text{Momento} - 580 \text{ Kgm.}$$

$$\text{Momento total} - 2.084 \text{ Kgm.}$$

Observando estos resultados vemos que estamos dentro de los límites fijados. El factor de seguridad con el cual esta trabajando el poste es de 6,36 , para ambos casos.

Con la longitud del vano ya determinado, podemos diseñar la cruceta sobre la cual se asientan los aisladores. El momento que debe soportar la cruceta, es el producido por el peso del conductor.

Para el conductor de **cobre**.

$$\text{Peso} = 0,612 \text{ Kg/m} \times 85 \text{ m.} = 52 \text{ Kg.}$$

$$\text{Momento} = 52 \text{ Kg.} \times 0,70 \text{ m.} = 36,4 \text{ Kgmtr.}$$

Con una fatiga de 80 Kg/cm<sup>2</sup>, calculamos la sección de madera que se necesita para la cruceta.

$$\text{Momento resistente} = \frac{B \times D^2}{6}$$

**Adoptamos** la sección cuadrada, o sea:  $B = D$ .

Por la siguiente fórmula, calculamos el lado del cuadrado:

$$D^3 = \frac{6 \times \text{momento}}{\text{fatiga}} = \frac{6 \times 36,4 \text{ Kgmtrs}}{80 \text{ Kg/cm}^2} = 273 \text{ cm}^3$$

$$D = 6,52 \text{ cm} - \text{aproximo a } 7 \text{ cm.}$$



A estas dimensiones aumento dos centímetros para dar cabida al perno de la abrazadera quedando cada lado de la cruceta de 9 centímetros.

Un cálculo análogo se efectúa para el conductor de aluminio reforzado con acero, obteniendo los siguientes resultados:

Peso del conductor = 30,6 Kg.

Momento = 21,4 Krmtrs.

Lado de la cruceta = 5,45 cm.

Por el perno de la abrazadera dejamos esta distancia en 8 centímetros.

Por la seguridad de la línea, se hace forzoso poner un pie de amigo en cada una de las crucetas. Será de hierro platina de 1/4"

#### LOCALIZACION DE LA LINEA.-

Una vez determinado el vano, se puede localizar los postes de la línea de acuerdo al perfil longitudinal.

Como el objetivo principal de este estudio es la comparación de los dos tipos de línea, me parece innecesario adjuntar el trazado de la línea en toda su longitud, haciendo únicamente la localización de los apoyos en cuatro kilómetros aproximadamente, longitud con la cual creo tener la base suficiente para la comparación.

Según la topografía del terreno, ubico los postes, ( Planos N° 4 y N° 5 ), procurando en lo posible que las distancias entre ellos sean iguales. Con la ayuda de la plan-

tilla de flechas, compruebo en cada uno de los vanos que la distancia al suelo del conductor más bajo, se mantenga dentro de los límites adoptados anteriormente.

Efectuado este trabajo, obtengo que en la longitud con siderada de 3.830 metros son necesarios 52 postes para la línea de cobre, y 59 para la de aluminio reforzado con acero. Se obser va que en el tramo del perfil considerado existen dos cambios de dirección y dos vanos largos, por lo cual se hace necesario la colocación de estructuras especiales. Además se debe colocar torres de anclaje a una distancia de por lo menos dos kilómetros.

A continuación, efectúo para cada una de estas estructuras los cálculos correspondientes para determinar los esfuerzos a que estarán sometidas, y poder realizar el correspondiente diseño.

#### ESTUDIO DEL VANO LARGO.-

El cálculo principal para las estructuras a emplearse en los vanos largos, es la comprobación de los esfuerzos producidos por la presión del viento.

En el perfil existe un vano de 200 metros. Esta distancia no es la longitud que se utiliza para el cálculo, ya que la que influye sobre el apoyo es la semisuma de los vanos adyacentes, siendo la más desfavorable la longitud de 134 metros. Para este objeto, se ha escogido la estructura en H. Se escoge esta estructura para evitar que los conductores a lo largo del vano estén uno encima de otro, forma que es inconveniente. La

disposición de los conductores adoptada en esta estructura es la siguiente: para la línea de protección irá un conductor sobre una cruceta de hierro ángulo, a una distancia conveniente para la protección de la línea; los conductores de fuerza irán todos a la misma altura, manteniendo entre sí las distancias establecidas; los conductores de teléfonos se colocarán solamente en un poste, siguiendo la misma disposición de todo el trayecto.

Los esfuerzos que se transmiten a la estructura por la presión del viento son:

Para línea de Cobre.

línea de protección	-	48,8	Kg.
línea de fuerza	-	163	Kg.
línea de teléfonos	-	65	Kg.

Para línea de ACSR.

Línea de protección	-	65,5	Kg.
línea de fuerza	-	220	Kg.
línea de teléfonos	-	65	Kg.

Para encontrar los momentos necesitamos determinar la altura de la estructura. La flecha del conductor de cobre para una vano de 200 metros, es de 3,32 m. Este valor se debe sumar a la distancia del conductor más bajo a tierra. Igual consideración para el conductor ACSR, que tiene una flecha de 2,17 metros. Se utiliza el vano largo, para pasar la línea sobre depresiones considerables del terreno; por su configuración permiten utilizar estructuras de menor altura de las que se necesitarían en terreno plano. Aprovechando la configuración del terreno, podemos se-

guir manteniendo la misma altura de los postes de tangente para estas estructuras, sin salirnos de las condiciones ya fijadas. La disposición de los conductores señalamos en la siguiente forma: la línea de protección necesita una distancia de tres metros a los conductores de fuerza, para poder proteger satisfactoriamente la línea; los conductores de fuerza van colocados en líneas horizontal sobre una cruceta de hierro U; y la línea de teléfonos quedará a 2,50 metros debajo de los conductores de fuerza. ( el detalle en el plano N° 7 ). Utilizamos la misma estructura para los dos tipos de línea.

Los momentos producidos son los siguientes:

Para la línea de Cobre;

Momento por la línea de teléfono	= 65 Kg. x 5,50 m.	= 358 Kgm.
Momento por la línea de fuerza	= 163 Kg. x 8,00 m.	= 1.300 Kgm.
Momento por la línea de protección	= 48,8 Kg x 11,00 m.	= <u>538 Kgm.</u>
Momento total		2.196 Kgm.

Para la línea de ACSR.

Momento por la línea de teléfono	= 65 Kg x 5,50 m	= 358 Kgm.
Momento por la línea de fuerza	= 220 Kg x 8,00 m	= 1.760 Kgm.
Momento por la línea de protección	= 65 Kg x 11,00 m	= <u>720 Kgm.</u>
Momento total		2.838 Kgm.

Aumentamos los respectivos valores de los momentos producidos por el viento sobre la estructura, quedando este valor de 3.356 Kgmtrs. para la línea de cobre y 3.998 Kgmtrs. para la línea de ACSR.

A continuación calculamos la resistencia de la torre,

para comprobar si la estructura puede soportar el momento calculado. En primer lugar indicaremos la distancia entre los postes de la base, que son los que tienen que resistir el momento. Los conductores de fuerza están situados al mismo nivel, con una distancia entre ellos de 1,80 metros. Para equilibrar los esfuerzos de los conductores que se transmiten a la base de la estructura, mantenemos una equidistancia entre los postes y los conductores, fijandose por esta razón una distancia de 1,80 m. entre los dos postes.

Para conocer el momento que puede soportar la estructura, buscamos primeramente el momento de inercia de ella.

$$M.I. = \left( \frac{x d^4}{64} + \frac{x d^2}{4} x l^2 \right) x 2$$

Reemplazando valores tenemos:

$$M.I. = \left( \frac{3,14 x 30^4}{64} + \frac{3,14 x 30^2}{4} x 90^2 \right) x 2$$

$$M.I. = 576 x 10^4 x 2 \text{ cm}^4$$

$$M.I. = 1.152 x 10^4 \text{ cm}^4$$

$$M = \frac{M.I. x \sigma}{v} = \frac{1.152 x 10^4 \text{ cm}^4 x 80 \text{ K/cm}^2}{90 \text{ cm}}$$

$$M = 102.000 \text{ Kgmtrs.}$$

La resistencia de la torre a la presión del viento, está muy por encima de lo que realmente necesita. No es conveniente hacer un cambio en las distancias que se han impuesto ya, porque la disposición de los conductores en la estructura se presta para emplear esta torre como anclaje en la línea. Efectuaremos los cálculos necesarios para que con ayuda de tensores, nos sirva como torre de anclaje.

TORRE DE ANCLAJE.-

En el cálculo de una torre de anclaje, se debe suponer que todos los conductores que están formando la línea se hallen rotos. Los esfuerzos que producen los conductores van en el sentido longitudinal de la línea. Determinamos los momentos producidos por los conductores sobre la estructura.

Para la línea de Cobre.

Línea telefónica	-	2	x	1.350 Kg	x	5,50 mtr	=	14.900 Kgm.
Línea de fuerza	-	3	x	1.350 Kg	x	8,00 mtr.	=	32.400 Kgm
Línea de protección-	-	1	x	1.580 Kg	x	11,00 mtr	=	<u>17.400 Kgm</u>
				Momento total				64.700 Kgm.

Para línea de ACSR.

Línea de teléfonos	-	2	x	1.910 Kg	x	5,50 mtr	=	21.000 Kgm
Línea de fuerza	-	3	x	1.910 Kg	x	8,00 mtr	=	45.800 Kgm
Línea de protección	-	1	x	2.120 Kg	x	11,00 mtr	=	<u>23.200 Kgm</u>
				Momento total				90.000 Kgm

La estructura en sí no puede soportar un momento tan grande, lo que hace necesario el uso de tensores que absorverán todo el momento producido, porque la estructura en la forma en que se ha diseñado presenta la resistensia de dos postes solamente. Los tensores deber ir junto a los conductores de la línea de protección y también debajo de la unión de la cruceta de hierro con los postes de madera para los conductores de fuerza.

El tensor se colocará a 45° con respecto a la vertical; en esta forma el esfuerzo trasmitido al tensor es mayor que el

esfuerzo de tendido.

En la línea de cobre el esfuerzo de tendido de la línea de protección es de 1.580 Kg. repartíendose este esfuerzo a los dos tensores respectivos. El esfuerzo transmitido es igual a  $1.580/2 \times \sqrt{2}$  siendo este valor de 1.370 Kg. En los tensores de la línea de fuerza, las tensiones transmitidas a cada uno de ellos, es la semisuma de las tensiones de los tres conductores. Con un cálculo similar al tensor anterior, se obtiene que el esfuerzo transmitido al tensor es de 2.860 kg. En la misma forma se calculan las tensiones transmitidas a los tensores para la línea de aluminio reforzado con acero, llegando a los siguientes resultados: tensión del tensor de la línea de protección = 1.500 Kg y la tensión del tensor de los conductores de fuerza es de 4.800 Kg

Para encontrar las secciones de los tensores, nos basaremos en los valores obtenidos de las tensiones a que están sujetos los tensores, aplicando un coeficiente de seguridad de dos en todos los cálculos. Determinamos el esfuerzo de rotura de los diferentes cables para seleccionar en la tabla correspondiente la sección del tensor más conveniente. El esfuerzo de rotura es igual a la tensión transmitida al tensor, multiplicada por el coeficiente de seguridad; en esta forma se han obtenido los siguientes valores:

Línea de Cobre.

$$2.860 \text{ Kg.} \times 2 = 5.720 \text{ Kg.} \quad \text{tensión de rotura,}$$

$$1.320 \text{ Kg} \times 2 = 2.740 \text{ Kg.} \quad \text{"} \quad \text{"}$$

Se escoge como sección más conveniente para el tensor

de los conductores de fuerza, el cable de 1/2" - 19 hilos - Siemens Martin que tiene una tensión de rotura de 5.761 Kg. Para el tensor de la línea de protección, es suficiente un cable 3/8" - 7 hilos - Siemens Martin con una tensión de rotura de 3.152 Kg.

Para los tensores de la línea de ACSR, se ha escogido las siguientes secciones: cable de 3/4" - 19 hilos - Siemens Martin con una tensión de rotura de 11.884 Kg. necesitandose solamente 9.600 Kg. para los conductores de fuerza; y 3/8" - 7 hilos Siemens Martin con una tensión de rotura de 3.152 Kg necesitando 3.000 Kg. Al hacer la lista de materiales, determinaremos la longitud del cable de cada tensor y sus elementos auxiliares.

En estas condiciones, la parte más débil de la estructura viene a determinarse en la cruceta. Debemos calcularla para que soporte la rotura de los conductores de fuerza. En efecto **el momento** que debe soportar es el producido por los conductores exteriores, multiplicado por la distancia del conductor al apoyo de la cruceta. Para la línea de cobre el momento es:

$$1.350 \text{ Kg} \times 0,90 \text{ m.} = 1.210 \text{ Kgm.}$$

El perfil U número 16, puede resistir un momento de 1.390 Kgm con una fatiga de 1.200 Kg/cm<sup>2</sup> . ( Para el cálculo del momento, los valores característicos del perfil U se ha obtenido de las "tablas de perfiles de acero" contenida en el libro " Manual Teorico-Práctico del Hormigón" de Beton-Kalender).

En la misma forma se efectúa el cálculo para la línea de ACSR, llegando al siguiente resultado: se utiliza el perfil U # 19 que resiste 1.800 Kgm. necesitando 1.720 Kgm.



TORRES DE ANGULO. -

El apoyo a usarse en este caso es simplemente un poste con pie amigo, que va desde la base hasta el conductor más bajo de fuerza, formandose un estructura en A que resiste tensiones bastante grandes, quedando la sección más débil del poste junto al pie amigo. La resistencia de la sección de madera es muy baja con lo que se hace necesario el uso de tensores.

La disposición de los conductores y los tensores, se detallan en el Plano N° 8 como también los accesorios. Se sigue guardando las distancias correspondientes entre conductores, quedando los siguientes valores para el cálculo de los momentos: desde el apoyo del pie amigo en el poste hasta el primer conductor de fuerza, hay una distancia de 20 centímetros; al segundo conductor de fuerza tenemos 2 metros, al tercero es de 3,80 metros y a la línea de protección de 4,80 metros. Se colocan dos tensores, uno en la línea de protección y otro en el segundo conductor de fuerza. En esta disposición tenemos dos secciones desfavorables, una junto al pie amigo y la otra en el punto de apoyo del conductor más alto de fuerza. Hay que determinar hasta que ángulo pueden resistir las secciones desfavorables antes anotadas, para la disposición fijada de los conductores.

La sección de apoyo del conductor mas alto de fuerza, tiene un diámetro de 22 cm. resistiendo un momento de 850 Kgmtr. El momento que debe producir la resultante de la tensión del conductor en el cambio de dirección, no tiene que ser mayor del momento resistente del poste.

El valor de la resultante varía con el ángulo que se forma entre las dos direcciones. Es preferible encontrar primero el valor de la resultante que de un momento de 850 Kgm, y luego el ángulo correspondiente a ésta.

A la disposición de los dos tensores y el conductor más alto de fuerza, se puede considerar para el cálculo como una viga con apoyos simples y con una carga concentrada. Encontramos en primer lugar el valor de las reacciones.

$$R1 = \frac{P \times 1,00}{2,80}$$

$$R2 = \frac{P \times 1,80}{2,80}$$

P - es el valor de la carga aplicada sobre la viga que en nuestro caso equivale a la fuerza resultante.

Para encontrar el momento multiplicamos el valor de la reacción por la distancia del apoyo a la fuerza aplicada. De esta ecuación se conoce el valor del momento que es de 850 Kgm. y obtenemos el valor de la resultante P que es la única incógnita.

$$M = \frac{P \times 1,80}{2,80} \times 1,00 = 850$$

$$P = 1,320 \text{ Kg.}$$

Para encontrar el ángulo entre las fuerzas componentes, aplicamos la siguiente fórmula:

$$P = 2 \times Tm \times \cos \frac{\theta}{2}$$

$$1.320 = 2 \times 1.350 \times \cos \frac{\theta}{2} \quad (\text{Línea de cobre})$$

Tm es el esfuerzo de tendido de los conductores.

$\theta$  es el ángulo de cambio de dirección.

Para  $\theta$  se obtiene el siguiente valor:

$$\theta = 120^\circ$$

En la línea de cobre, en los cambios de dirección se colocarán dos tensores para ángulos comprendidos entre  $120^\circ$  y  $180^\circ$ .

Con el esfuerzo resultante ya obtenido, vemos que el momento sobre la sección del poste junto al pie amigo es muy pequeño. Efectivamente el momento es:

$$M = 1.320 \text{ Kg.} \times 0,20 \text{ m.} = 264 \text{ Kgm.}$$

Este momento si resiste la sección de madera, razón por la cual para el cálculo de la sección del tensor no se tomará en cuenta el esfuerzo de este conductor. El conductor más alto de fuerza esta en la misma condición que el anterior, por que los cálculos que se han efectuado para las secciones, están previstos para que puedan resistir los esfuerzos de los conductores, siempre que el cambio de dirección se mantenga dentro de los límites fijados.

En la estructura, se colocan tensores en cada dirección; el esfuerzo que se trasmite a éste es la tensión de tendido, correspondiendo la sección del cable de los tensores a los calculados en la torre de anclaje para los conductores de fuerza.

Para la línea de AGSR, repetimos los cálculos anteriores reemplazando los valores correspondientes, obteniendo:

$$P = 1.320 \text{ Kg.}$$

$$1.320 = 2 \times 1.910 \text{ Kg} \times \cos \frac{\theta}{2}$$

$$\theta = 140^\circ$$

Los límites para la torre de ángulo en la línea de ACSR están comprendidos entre  $140^{\circ}$  y  $180^{\circ}$ . La sección de los tensores será la misma de los que se usan en la torre de anclaje.

En cualquier cambio de dirección, cuyo ángulo sea menor que los indicados, se hace forzoso colocar otro tensor en el tercer conductor de fuerza. En el trayecto de la línea el ángulo más desfavorable es de  $151^{\circ}$ . Esto nos dice, que la estructura diseñada se puede utilizar a lo largo de la línea en todos los cambios de dirección.

#### TENSOR. -

El tensor debe llevar una protección para la tensión utilizándose para este objeto un aislador especial y de alta resistencia mecánica. Además es necesario disponer de grapas adecuadas para el amarre del cable. El tensor se fijará en el poste con un perno especial, y se lo anclará en el suelo con una varilla sujeta a un bloque de hormigón. El plano N° 9 detalla la construcción del tensor y sus accesorios.

En cada plano se adjunta la lista de materiales que se necesitan en cada estructura, para de éstas obtener la lista total de materiales que se necesitan en el tramo de la línea considerada. Los accesorios son los materiales que se deben seleccionar de acuerdo a las características que se obtengan del catálogo general de Line Material.

### SELECCION DE MATERIALES.-

La selección de materiales se hace de acuerdo a los esfuerzos y características mecánicas de cada uno de los conductores y cables empleados. La selección se ha hecho de los materiales que indica el catálogo general de Line Material de Noviembre de 1.956. Las referencias se harán al número del catálogo, boletín y página correspondientes.

### POSTES DE TANGENTE.-

Aislador tipo pín para 44 KV ( Plano N° 6 - Fig 1 ) ya seleccionado en el capítulo de aislación de la línea.

Perno de acero forjado ( Forged Steel Pins ), catálogo N° 31437 - Boletín DL2 - Página 8. Se ha escogido esta pieza por dos factores: el diámetro interior de la rosca del aislador que es de 1 3/8" y las dimensiones de la cruceta que tiene 9 cm. por lado, siendo suficiente 6 1/2" de longitud en la base del perno. La resistencia mecánica es de 8.320 Kgmtr. estando con bastante seguridad.( Plano N° 6 - Fig 2 ).

### TORRE DE ANCLAJE.-

Una cadena de aisladores de suspensión de tres discos, para 44 KV. ( Plano N° 7 - Fig 2 ). Seleccionados en el capítulo de aislamiento de la línea.

Tuerca con ojo ( Eye Nuts ). Catálogo N° 1739 - Boletín DL3 - Página 4. para la línea de ACSR. ( Plano N° 7 - Fig 1 ). Esta pieza resiste un esfuerzo de 9.100 Kg. El perno con el que se sujeta en el poste es de 5/8".

Tuerca con ojo ( Eye Nuts ). Catálogo N° 1737 - Boletín DL3 - Página 4. para línea de cobre. ( Plano N° 7-Fig 1) Resistencia mecánica 9.100 Kg. El perno con el que se sujeta al poste es de 1/2".

Las grapas que se van a escoger, se seleccionan solamente por el calibre del conductor. Pueden alojar conductores de diferentes diámetros, indicandose los límites en el catálogo. Se han seleccionado las grapas en tal forma, que el diámetro del conductor esté en la mitad de los límites.

Grapa de tracción. ( Strain Clamps ). Catálogo N° WBT5011 - Boletín DL8A - Página 10. ( Plano N° 7 - Fig 3 ) para línea de cobre. Diámetro máximo 17,2 mm y Diámetro mínimo 7,7 mm. Resistencia mecánica 8.200 Kg.

Grapa de perno en U. ( U-Bolts Clamps ), para empalme entre conductores de cobre. Catálogo N° CL9X1-B - Boletín DL3 - Página 22. ( Plano N° 7 - Fig 4 ). Límites: # 1 - # 3/0.

Grapa de tracción. ( Strain Clamps ). Catálogo N° WBT5211 - Boletín DL8A - Página 12. ( Plano N° 7 - Fig 3 ) para línea de ACSR. Límites: de 17,7 mm a 7,7 mm de diámetro. Resistencia mecánica 9.100 Kg.

Grapa de perno U. ( U-Bolts Clamps ). para empalme entre conductores de ACSR. Catálogo N° CL9X7. (Plano N° 7 - Fig 4 ). Límites: # 3/0 - 366 mm. Resistencia mecánica 9.100 Kg

#### TORRE DE ANGULO.-

Una cadena de aisladores de suspensión de tres discos, para 44 KV. ( Plano N° 8 - Fig.2 ). Seleccionado en el

capítulo de aislamiento de la línea.

Perno con ojo, ( Eye Bolts ), de acero galvanizado para la línea de cobre. Catálogo N° 9433-N - Boletín DL3 - Página 18. El esfuerzo que resiste esta pieza a la tracción con una fatiga de 1.200 Kg/cm<sup>2</sup> y una sección de 30 mm<sup>2</sup> es de 2.380 Kg. necesitando solamente 1.300 Kg. La longitud del perno es de 30 cm. ( Plano N° 8 - Fig 1 ).

Perno con ojo, ( Eye Bolts ), de acero galvanizado para la línea de ACSR. Catálogo N° 9441-N - Boletín DL3 - Página 18. En las mismas condiciones anteriores y con 44 mm<sup>2</sup> la resistencia de la pieza es de 3.450 Kg. necesitando 1.900 Kg.

Para la selección de las grapas se tienen las mismas consideraciones mencionadas anteriormente.

Grapa de suspensión, ( Suspension Clamps ), para la línea de cobre. Catálogo N° WBT6261AU - Boletín DL8A - Página 4. ( Plano N° 8 - Fig 3 ). Límites : 15,2 mm a 4,5 mm de diámetro. Resistencia mecánica 8.200 Kg.

Grapa de suspensión, ( Suspension Clamps ). para la línea de protección de la línea de cobre. Catálogo N° WBT6240AU Boletín DL8A - Página 15. ( Plano N° 8 - Fig 3 ). Límites : de 11,6 mm a 3,2 mm de diámetro. Resistencia mecánica 8.200 Kg.

Grapa de suspensión, ( Suspension Clamps ), para la línea de ACSR. Catálogo N° WBT9533U - Boletín DL8A - Página 8. Límites : 21,5 mm a 12,6 mm de diámetro. Resistencia mecánica 9.100 Kg.

Grapa de suspensión, ( Suspension Clamps ), para la

línea de ACSR. Catálogo N° WBT6241AU - Boletín DL8A - Página 15 .( Plano N° 8 - Fig 3 ).Límites : de 15,3 mm a 8,00 mm de diámetro. Resistencia mecánica 9.100 Kg.

TENSORES. -

Aislador de tracción de porcelana, ( Strain Insulator ). Catálogo N° NG3A1 - Boletín DL8 - Página 13. Tiene una resistencia mecánica de 5.500 Kg. La descarga de contorneo en seco es de 30 KV y bajo lluvia de 15 KV. Como protección para la tensión debemos escoger el mismo aislador para ambos tipos de línea. Está diseñado para un cable no mayor de 7/8" de diámetro; el cable más grueso que se usa en los tensores es de 3/4" de diámetro. Escojo este tipo de aislador por facilidad de montaje como por tener mayor aislación

Grapa de tres pernos de acero ( Guy Clamps - Three Bolts ). Catálogo N° 9493A - Boletín DL3 - Página 20. Esta grapa sirve para los tensores de las dos líneas, como también para el empalme de la línea de protección.

Perno con guarda cabo en ángulo. (Single Strand Eye Bolts ). Catálogo N° 205235B514 - Boletín DL3 - Página 19. El perno es de 5/8" de diámetro, resistiendo 6.400 Kg. Con esta pieza se fija el tensor en el poste; el guarda cabo tiene una inclinación en la dirección en el que va hacer colocado el tensor. Es necesario disponer de una rodela rectangular cóncava, ( Square Curved Washer ), para protección del poste y seguridad del tensor. Esta corresponde al número CC5800 del Catálogo Line Material - Boletín DLL - Página 10.



Varilla de anclaje con guarda cabo, ( Single Strand Eye Anchor Rods ). Catálogo N° 340068B26 - Boletín DL3 - Página 26. (Plano N° 9 - Fig 4 ). Resiste un esfuerzo de tracción de 4.600 Kg. con un diámetro de 5/8". En la base se pondrá un bloque de hormigón. ( Anclaje para la línea de cobre).

Varilla de anclaje con guarda cabo, ( Single Strand Eye Anchor Rods ). Catálogo N° 340069B58 - Boletín DL3 - Página 26. Esta se usa en la línea de ACSR. La resistencia mecánica es de 7.300 Kg.

Los accesorios para la línea telefónica he escogido lo que a mi parecer ha sido más conveniente, sin tomar en cuenta las especificaciones que se requieren para la selección de estos accesorios.

Aislador de tensión para bajo voltaje. ( Low Voltage Pin Type Insulator ). Catálogo N° NP9D1 - Boletín DL8 - Página 4.

Braço para aislador de teléfono. ( Telephone Bracket). Catálogo N° 1922 - Boletín DL7 - Página 14

Aislador con horquilla. ( Insulated Clevis). Catálogo N° 1981 - Boletín DL6 - Página 3.

Grapa de perno partido de bronce. ( Bronze Split Bolt). para cable copperweld N° KY2 - Boletín CS1 - Página 4.

COSTO DE LA LINEA DE COBRE EN UNA LONGITUD DE 3.830 METROS.-

Para determinar el número de accesorios que intervienen en los postes de la línea, especificamos las estructuras de soporte y ángulo. En las torres de tangente, se considerará la diferencia del total de torres menos las estructuras.

Torres de soporte o anclaje corresponden a los # 10 - 11 - 19 - 20 - 45-. ( Plano N° 4 ).

Torre de ángulo corresponde a los # 1 - 14 - 33.

Conexiones de la línea de protección a tierra; se hacen en las torres que corresponden a la siguiente numeración: # 1 - 4 - 8 - 10 - 11 - 14 - 16 - 18 - 20 - 22 - 24 - 27 - 30 - 32 - 34 - 36 - 38 - 40 - 42 - 44 - 46 - 49 - 51.

De las diferentes estructuras se ha obtenido los accesorios necesarios para la línea, y que a continuación indicamos con los respectivos costos.

COSTO DE ACCESORIOS.-

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTOS	
		por cien	Total
132	Aisladores de porcelana tipo pín	600,00	792,00
156	Aisladores de porcelana para retención.	357,00	556,92
132	Pernos para el aislador tipo pín	178,39	235,47
98	Aisladores de porcelana tipo pín para teléfonos.	42,48	41,63
98	brazos para el aislador de teléfono	94,48	92,59
30	tuerca con ojo	40,56	12,17
30	grapa de tracción	485,45	145,60
12	perno con ojo	52,29	6,27

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTOS	
		por cien	Total
9	grapas de suspensión para Cu.	240,90	21,68
3	grapas de suspensión para la línea de protección	146,00	4,38
6	aislador con horquilla	64,93	3,90
52	aislador de tracción de porcelana para los tensores	41,07	21,36
52	perno con guarda cabo	64,06	33,31
52	varilla de anclaje con guarda cabo	128,17	66,65
208	grapas de tres pernos de acero	184,66	384,10
4	grapas de tres pernos de acero para los empalmes de la línea de protección considerando que la longitud máxima del cable será de 1.000 metros.	184,66	7,39
4	grapas de perno partido de bronce	48,90	1,96
12	grapas de perno en U	75,10	<u>9,01</u>

COSTO TOTAL DE LOS ACCESORIOS \$ 2.436,39

( Los precios indicados para los accesorios han sido obtenidos del representante de Line Material en Quito; por indicación de esta persona el precio del dollar para estos materiales es de 17,42 sucres/dollar porque los paquetes son voluminosos)

COSTO TOTAL DE LOS ACCESORIOS \$/ 42.441,91

COSTO DE CONDUCTORES Y CABLES.-

11.490	metros de conductor de cobre # 2/0 AWG	S/ 116.267,99
7.660	metros de cable copperweld a las cien libras. ( dolar a 16,40 sucres)	\$ 47,34 21.374,44

4.040	metros de cable de acero galvanizado, calidad (de 3/8") Siemens Martin, que se distribuyen en la si - guiente forma: 3.830 m. para la línea de pro- tección y 210 m para tensores; S/ 2,30/mtr.	S/ 9.292,00
334	metros de cable de acero galvanizado, calidad Siemens Martin de 1/2" para tensores a S/ 8,00 el metro .	2.752,00
1.100	metros de cinta de hierro galvanizado de 1" x 1/8" a S/ 12,50 el metro	<u>13.750,00</u>

COSTO TOTAL DE CONDUCTORES S/163.536,43

COSTO DE LAS ESTRUCTURAS.-

5	Torres de anclaje a S/ 220,00 c/u	S/ 1.100,00
3	Torres de ángulo a S/ 180,00 c/u	540,00
44	Torres de tangente a S/ 240,00 c/u	<u>10.560,00</u>
	COSTO TOTAL DE ESTRUCTURAS	S/ 12.200,00

El montaje de cada una de las estructuras tiene  
un costo de S/ 88,00 c/u. En los 52 postes . . . . S/ 4.576,00

Costo de los accesorios . . . . .	S/ 42.441,91
Costo de los conductores y cables . . . . .	163.536,43
Costo de las estructuras . . . . .	12.200,00
Costo de montaje . . . . .	<u>4.576,00</u>
COSTO DE LA LINEA EN 3.830 METROS	S/ 222.754.34

COSTO DE LA LINEA DE ACSR EN UNA LONGITUD DE 3.830 METROS.-

Como en el caso anterior, especificamos las estructuras. Torres de anclaje corresponden a los # 10 - 11- 20 - 21 - 51. Torres de ángulo corresponde a los # 1 - 14 - 36. ( Plano N° 5 ). La conexión de la línea de protección a tierra se hace en las siguientes torres: # 1 - 4 - 7 - 10 - 11 - 14 - 16 18 - 20 - 22 - 25 - 27 - 30 - 33 - 36 - 39-42 - 45 - 48 - 51 - 54 - 57.

COSTOS DE ACCESORIOS.-

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO	
		por cien	Total
153	aisladores de porcelana tipo pín	600,00	918,00
156	aisladores de porcelana para retensión	357,0	556,92
153	pernos para el aislador tipo pín	178,39	272,94
112	aisladores de porcelana para telé- fono tipo pín.	42,48	47,57
112	brazos para el aislador de teléfono	94,48	105,82
30	tuercas con ojo	40,56	12,17
30	grapasp de tracción	558,00	167,40
12	perno con ojo	89,57	10,75
9	grapa de suspensión para ACSR	309,00	27,81
3	grapa de suspensión para la línea de protección.	178,85	5,37
6	aislador con horquilla	64,93	3,90
52	aislador de tracción de porcelana para los tensores.	41,07	21,36

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO	
		por cien	Total
52	pernos con guarda cabo	64,06	33,31
208	grapas de tres pernos de acero	184,66	384,10
52	varilla de anclaje con guarda cabo	194,28	101,03
4	grapa de tres pernos de acero para empalme de la línea de protección	184,66	7,39
4	grapa de perno parido de bronce	48,90	1,96
12	grapas de perno U	100,60	<u>12,07</u>
COSTO TOTAL DE LOS ACCESORIOS		\$	2.689,87
		S/	<u>46.857,54</u>

COSTO DE CONDUCTORES Y CABLES.-

11.490	metros de cable ACSR # 4/0 AWG	S/	83.639,27
7.660	metros de cable copperweld		21.374,44
3.830	metros de acero galvanizado, calidad Siemens Martin de 7/16," a S/ 2.90/mtr.		11.107,00
334	metros de cable de acero galvanizado Siemens Martin de 3/4" para tensores. a S/ 15,00/mtr.		5.160,00
210	metros de cable de acero galvanizado Siemens Martin de 3/8" para tensores a S/ 2,30/mtr.		483,00
1.100	metros de cinta de hierro galvanizado de 1" x 1/8" a S/ 12,50/mtr.		<u>13.750,00</u>
COSTO TOTAL DE CONDUCTORES		S/	135.510,71

COSTO DE LAS ESTRUCTURAS.-

5	Torres de anclaje a S/ 220,00 c/u	S/	1.100,00
---	-----------------------------------	----	----------

3	Torres de ángulo a	S/ 180 c/u	S/ 540,00
51	Torres de tangente a	S/ 240 c/u	<u>12.240,00</u>
COSTO TOTAL DE LAS ESTRUCTURAS			S/ 13.880,00

(Los precios de las estructuras se han obtenido en la Empresa Eléctrica Quito; además se incluye en este precio la grapa de la línea de protección.)

El montaje en cada una de las estructuras tiene

un costo de S/ 88,00 c/u. En los 59 postes . . . S/ 5.192,00

COSTO DE LOS ACCESORIOS	. . . . .	S/ 46.857,54
COSTO DE LOS CONDUCTORES Y CABLES	. . . . .	135.510,71
COSTO DE LAS ESTRUCTURAS	. . . . .	13.880,00
COSTO DE MONTAJE	. . . . .	<u>5.192,00</u>
COSTO DE LA LINEA EN 3.830 METROS S/ 201.440,25		

De los costos obtenidos de la Línea de Transmisión en una longitud de 3.830 metros, calculamos el costo total de la Línea y que corresponde a los siguientes valores:

- Línea con conductor de Cobre - 1'295.760 sucres
- Línea con conductor de ACSR - 1'176.770 sucres

De los cálculos Eléctricos y mecánicos realizados, podemos deducir que la Línea de Transmisión con conductor de Aluminio reforzado con acero es más ventajosa. Si se llegara a construir la central hidroeléctrica de Guayllabamba, se recomienda usar el conductor de Aluminio reforzado con acero por ser más económico.

## I N D I C E

	Página
INTRODUCCION Y JUSTIFICACION . . . . .	6
SELECCION DEL VOLTAJE / / . . . . .	10
SELECCION DEL CONDUCTOR . . . . .	12
PESO Y COSTO DEL CONDUCTOR . . . . .	14
PERDIDAS DE ENERGIA . . . . .	15
INTERES Y DEPRECIACION / . . . . .	16
AISLAMIENTO DE LA LINEA . . . . .	23
SISTEMAS DE PROTECCION . . . . .	27
DISEÑO MECANICO . . . . .	31
CALCULO DE LA FLECHA . . . . .	40
DETERMINACION DEL VANO . . . . .	42
LOCALIZACION DE LA LINEA . . . . .	49
ESFUERZOS EN LA TORRE DE ANCLAJE . . . . .	54
ESFUERZOS EN LA TORRE DE ANGULO . . . . .	57
TENSOR / / . . . . .	60
SELECCION DE MATERIALES . . . . .	61
COSTOS EN LA LINEA DE COBRE . . . . .	66
COSTOS EN LA LINEA DE ACSR . . . . .	69

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

	Plano N°
DISPOSICION Y DISTANCIAS ENTRE CONDUCTORES	1
TRAMO DEL PERFIL LONGITUDINAL-LINEA DE COBRE	4
PLANTILLA DE FLECHAS PARA CONDUCTOR DE COBRE	2
PLANTILLA DE FLECHAS PARA CONDUCTOR DE ACSR	3



	Plano N°
TRAMO DEL PERFIL LONGITUDINAL - LINEA DE ACSR	5
POSTE DE TANGENTE Y ACCESORIOS	6
TORRE DE SOPORTE Y ACCESORIOS	7
TORRE DE ANGULO Y ACCESORIOS	8
TENSOR Y ACCESORIOS	9
CONEXION DE LA LINEA DE PROTECCION A TIERRA	0

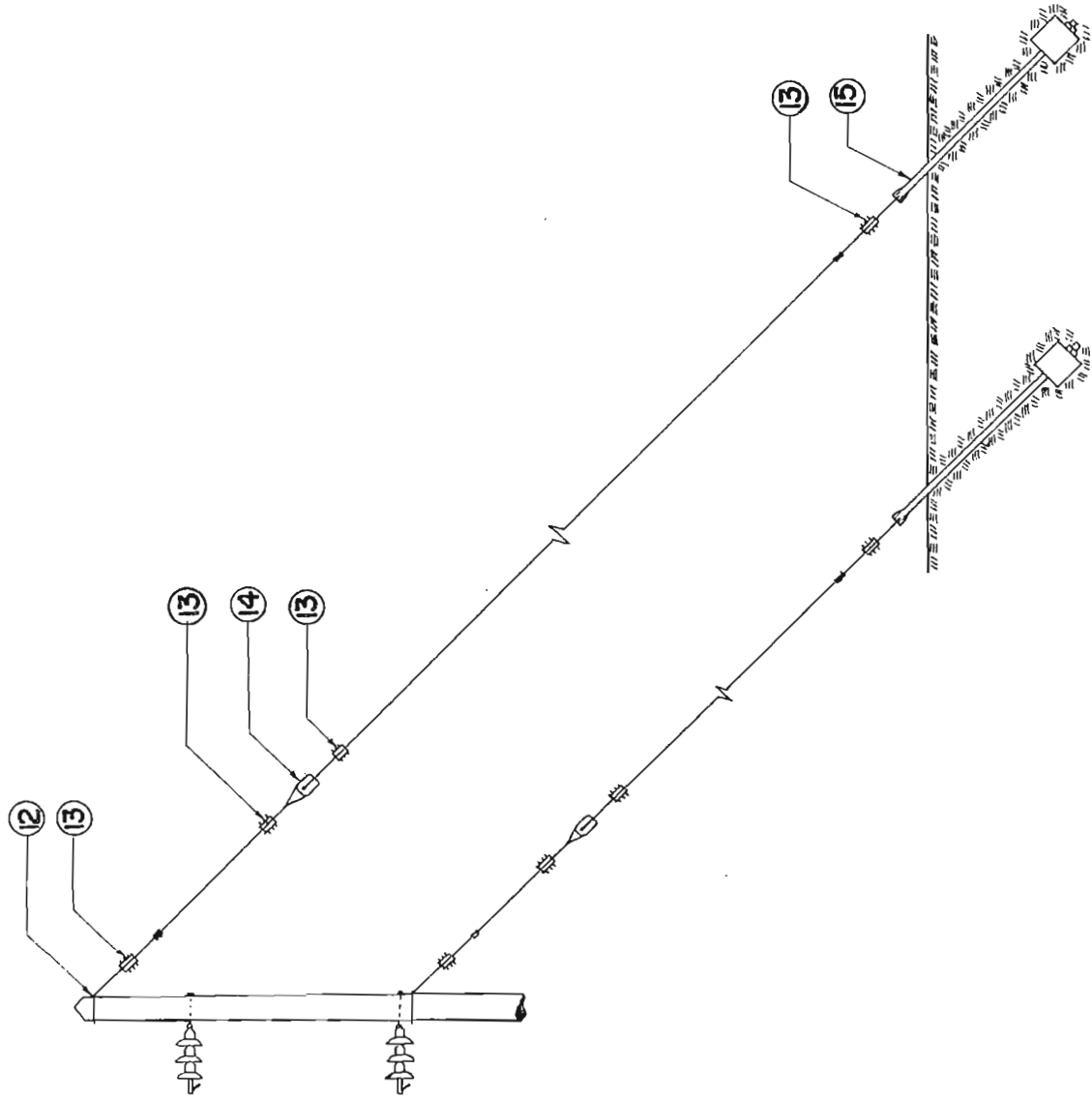
### B I B L I O G R A F I A

<u>Título de la obra</u>	<u>Autor</u>
The Lineman's Handbook . . . . .	Edwin B. Kurt
Manual Standard del Ingeniero Electri- sista - Tomos I - II . . . . .	A. E. Knowlton
Curso de Electrotecnia d . . . . .	Morillo y Farfán
Hydroelectric Handbook . . . . .	Creager ando Justin
Enciclopedia Quillet . . . . .	Henri Desarses
Generating Station . . . . .	Alfred E. Lowell
Cálculos electricos de lineas de Transmision . . . . .	Dalla Verde
Curso de Electrotecnia . . . . .	Ing. V. Jácome

# PLANO N° 9

## LISTA DE MATERIALES

- 1 Aislador de tracción
- 1 Perno con guarda cabo
- 1 Varilla de anclaje
- 4 Grapas de empalme



## ACCESORIOS



Fig. 1

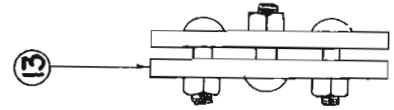


Fig. 2

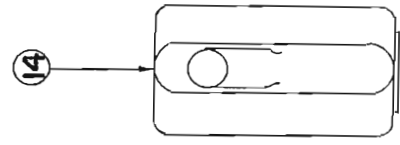


Fig. 3

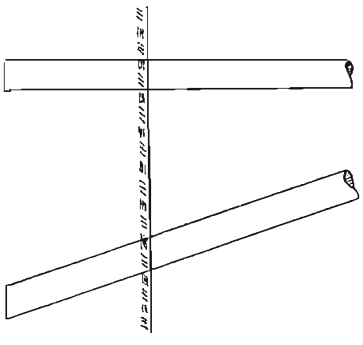
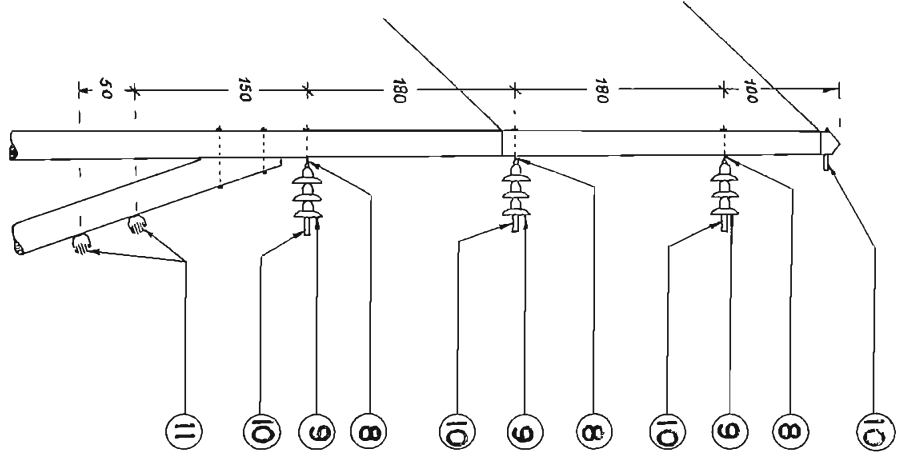
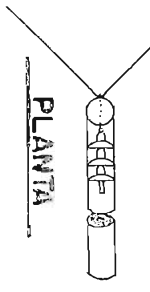


Fig. 4

## DETALLE DEL TENSOR

**LISTA DE MATERIALES**

- 19. Aisladores de disco
- 4 Pernos con ojo
- 5 Grapas de suspensión para conductores de Cu y ACSR
- 1 Grapa de suspensión para la línea de protección
- 2 Aisladores con horquilla
- 4 Tensores



**TORRE DE ANGULO**  
DISPOSICION Y DISTANCIA ENTRE CONDUCTORES

**ACCESORIOS**

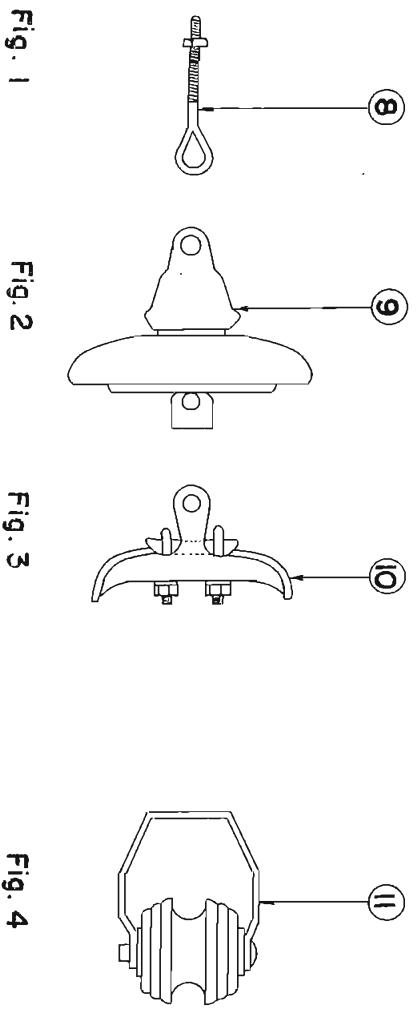


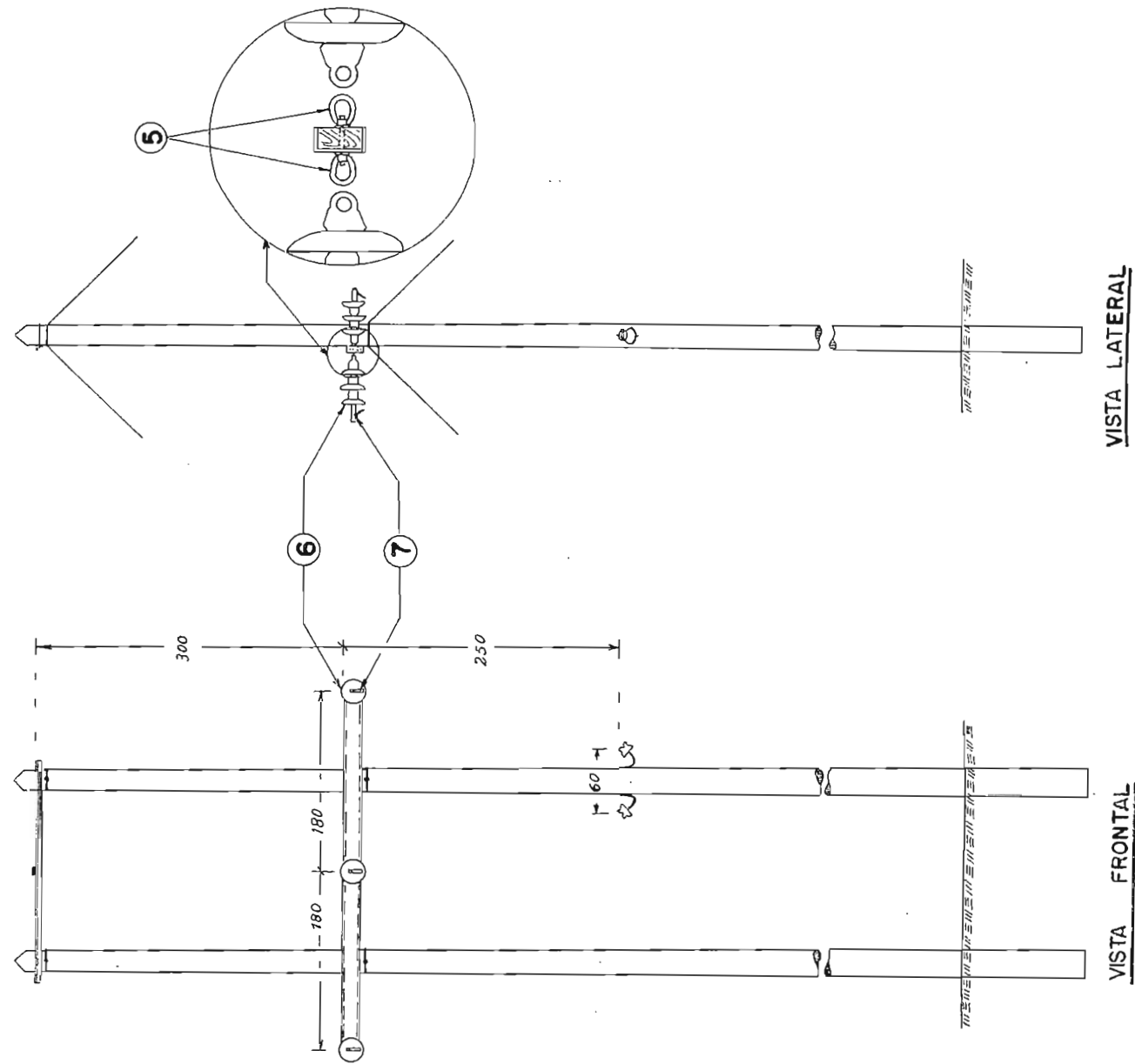
Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

Fig. 4

**PLANO N° 7**



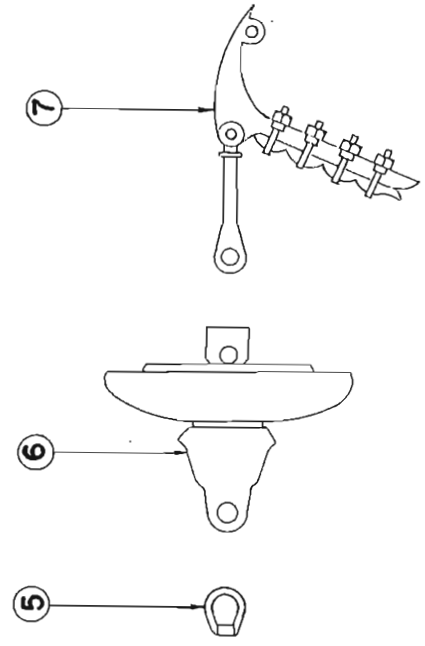
**VISTA FRONTAL**

**VISTA LATERAL**

**LISTA DE MATERIALES**

- 14 Discos de aisladores
- 6 Tuercas con ojo
- 6 Grapas de tracción
- 2 Aisladores de teléfonos
- 2 Brazos para el aislador
- 8 Tensores

**ACCESORIOS**



**Fig. 1      Fig. 2**

**Fig. 3**

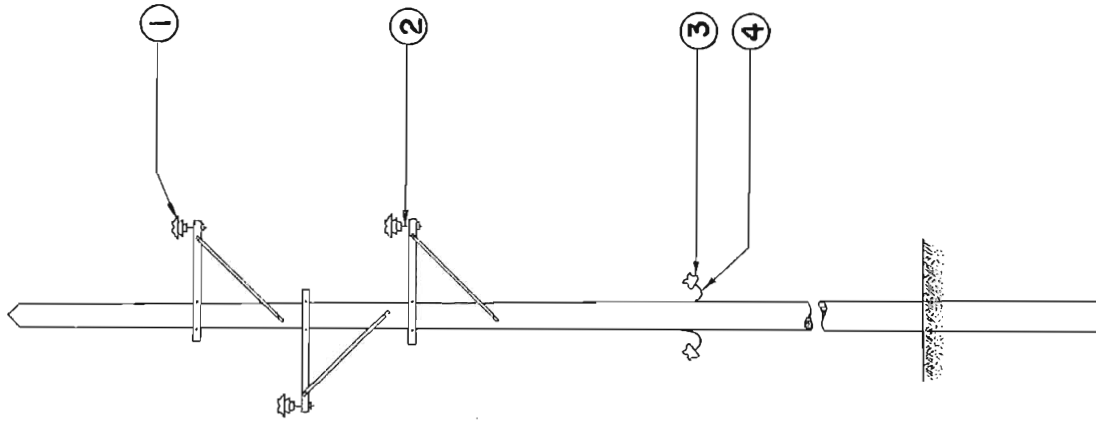
**TORRE DE ANCLAJE**

**DISPOSICION Y DISTANCIA ENTRE CONDUCTORES**

# PLANO Nº 6

## LISTA DE MATERIALES

- 5 Aisladores tipo pín para 44 KV.
- 3 Pernos para el aislador.
- 2 Aisladores de teléfonos
- 2 Brazos para el aislador
- 1 grapa de protección



## POSTE DE TANGENTE

## ACCESORIOS



Fig. 1

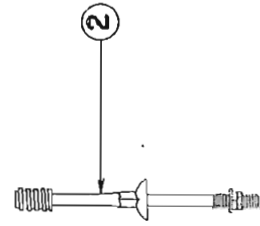


Fig. 2

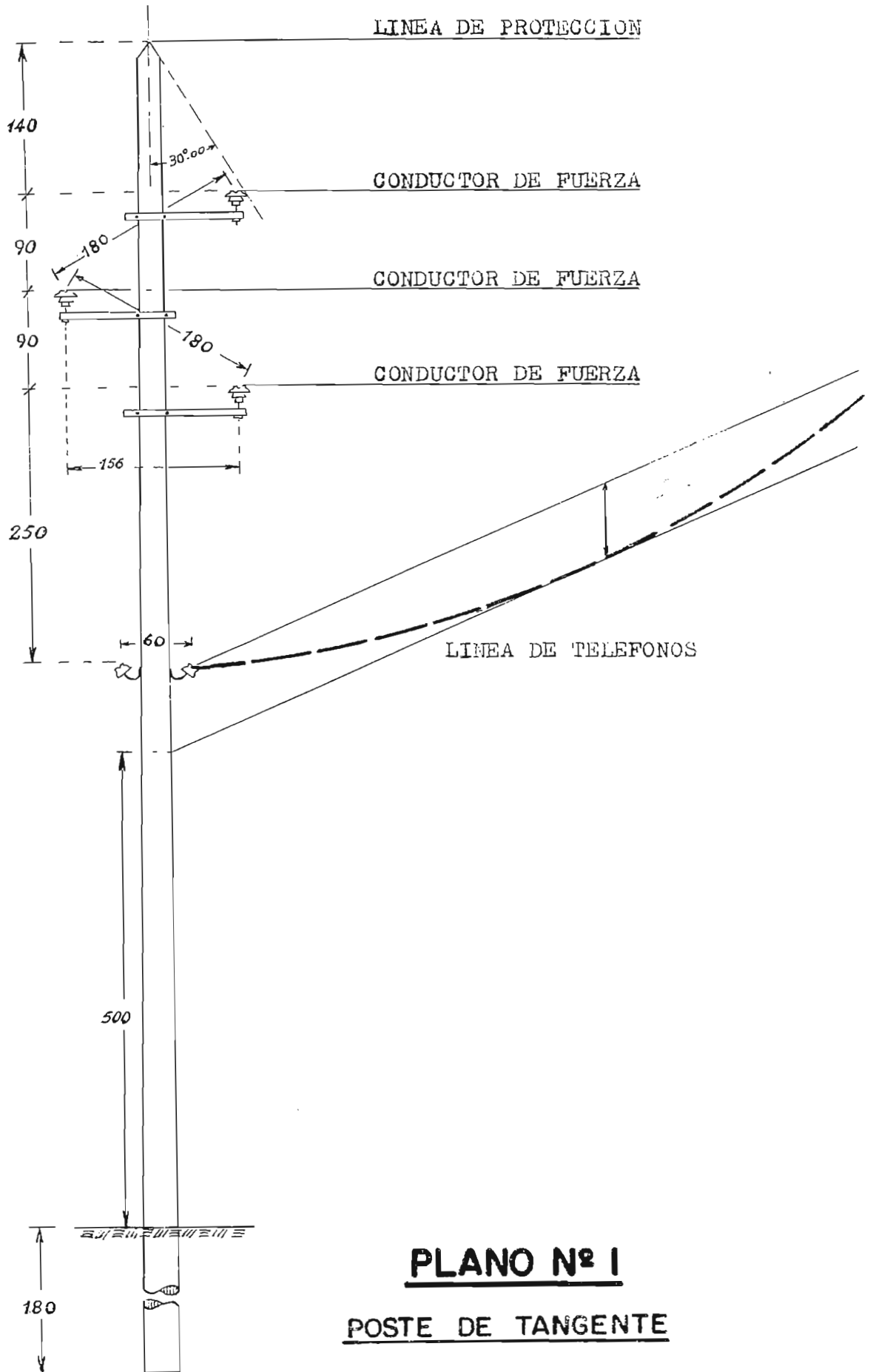


Fig. 3



Fig. 4

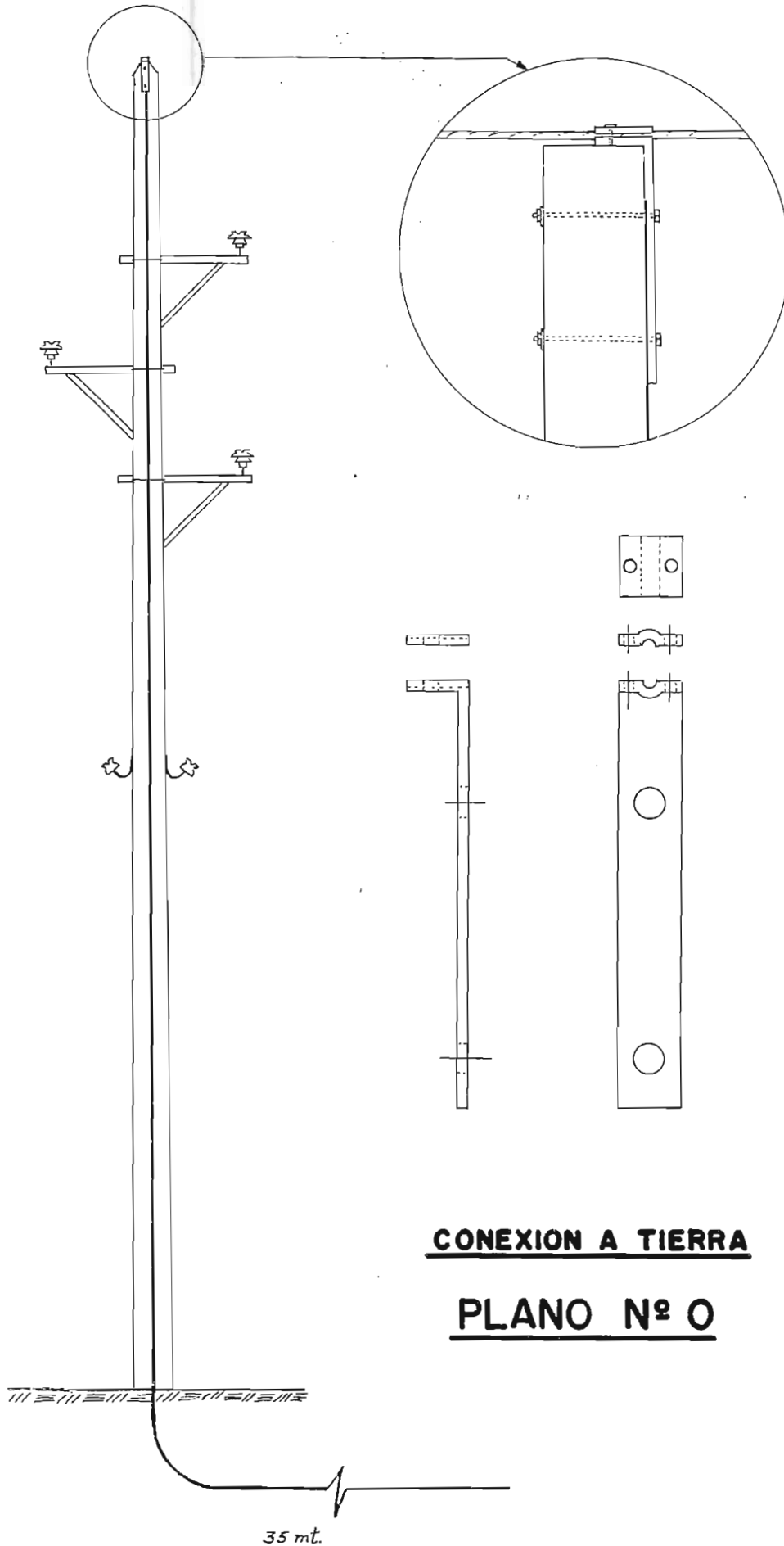
DISTANCIAS Y DISPOSICION ENTRE CONDUCTORES



**PLANO N° 1**

**POSTE DE TANGENTE**

**LINEA DE PROTECCION**



**CONEXION A TIERRA**

**PLANO N° 0**