

INGRESADO A INVENTARIO CON

ORD. No. 2985

**“SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS
ATMOSFERICAS PARA LINEAS DE TRANSMISION
DE 69 KV, EN POSTERIA DE HORMIGON”**

T
621.3191
C146



BIBLIOTECA

TESIS DE GRADO
Para optar al Título de:
Ingeniero en Electricidad

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL**

CESAR A. CALDERON S.

Diciembre 1969



DEDICATORIA

A MI MADRE

Cuya valiosa ayuda y sabios
consejos hicieron realidad
la culminación de mi carrera
profesional.

Homenaje Póstumo



BIBLIOTECA



BIBLIOTECA

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Gustavo Larrea

Ing. Ricardo Delfini


Ing. Alfonso Delfini



BIBLIOTECA

La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta Tesis corresponden exclusivamente al autor.

(Art. sexto del Reglamento de exámenes y Títulos profesionales de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.)



César A. Calderón S.

Guayaquil, Diciembre de 1.969

S U M A R I O

C A P I T U L O I

INTRODUCCION AL TEMA.- Antecedentes e Importancia que justifican el presente estudio .- Características generales de las descargas atmosféricas.

C A P I T U L O II

Protección de las líneas de transmisión contra las descargas directas.- Factores de diseño de la línea.- Consideraciones principales del nivel de aislamiento de la línea contra las descargas atmosféricas para conseguir el funcionamiento deseado.

DISEÑO DE LA LINEA.-

CONDUCTORES DE FASE.- Disposición y separación entre si y respecto a la torre.- Altura.- Flecha.- Efecto Corona.

CABLES DE GUARDA.- Disposición.- Características técnicas recomendadas.- Angulo de protección.- Altura.- Separación con los conductores de fase en la torre y en medio vano.- Flecha.

RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.- Factores que intervienen.- Sistemas de puesta a tierra.- Métodos de reducción.- Factores que limitan su reducción aplicados al presente estudio.

AISLADORES.- Tipos.- Aisladores de suspensión a utilizarse en el presente estudio.- Características electromecánicas e importancia en el nivel de aislamiento de la línea.- Curvas gráficas.

C A P I T U L O III

Diseño y protección de la línea de 69 KV.-



BIBLIOTECA

Probabilidades de fallas en función de los parámetros principales:

Resistencia de puesta a tierra y número de aisladores.

- a).- Para niveles Isokerámicos de 0-20
- b).- Para niveles Isokerámicos de 20-40
- c).- Para niveles Isokerámicos de 40-60

Resumen y curvas gráficas resultantes de las probabilidades de fallas.

C A P I T U L O I V

Análisis comparativo económico Vs. nivel de aislamiento de la línea.-
Conclusiones de orden económico que deben observarse para lograr un
recomendable sistema de protección con el menor costo.

C A P I T U L O V

Conclusiones generales y recomendaciones.- Apéndice.- Cuadros estadísticos.- Tablas.



C A P I T U L O I

INTRODUCCION AL TEMA.- ANTECEDENTES E IMPORTANCIA QUE JUSTIFICAN EL PRESENTE ESTUDIO.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS DESCARGAS ATMOSFERICAS.-

Descubierta la electricidad como una forma de Energía, los Ingenieros y diseñadores desplegaron sus conocimientos en pos de su explotación y utilización dando paso a la moderna INDUSTRIA ELECTRICA, en la cual la transmisión de la Energía Eléctrica constituye un factor primordial si se considera que los mayores centros de utilización de la electricidad como fuente de poder se encuentran por lo general muy apartados de las estaciones generadoras, en especial si estas se basan en el aprovechamiento de la energía potencial hidráulica para el funcionamiento de sus unidades motrices.

El conjunto o medios que sigue la energía eléctrica desde su fuente natural hasta ser convertida en forma útil se denomina SISTEMA DE POTENCIA ELECTRICA, y se divide en 3 partes:

- a) Fuente de energía o Estación Generadora
- b) Líneas de Transmisión
- c) Líneas de Distribución

Nuestro estudio se limita a la parte b, y dentro de ella, específicamente a la manera de proteger las líneas, contra la caída de los rayos a fin de asegurarle un buen funcionamiento.

El transporte de la Energía Eléctrica ha experimentado un desarrollo notable a partir del año 1.890, fecha que se instaló la primera línea monofásica de transmisión desde Willamette a Portland (13 Km. de recorrido) con un voltaje operacional de 3,3 KV. Pronto este voltaje fué incrementado rápidamente y ya en el año 1.935 la American Electric Power Company operaba con una línea trifásica de 345 KV. Actualmente -

compañías europeas y norteamericanas montan líneas en todo el mundo que exceden los 500 KV. La razón de este incremento de voltaje es disminuir el costo del transporte de la energía eléctrica y poder transmitir mayores potencias.

Las fallas en líneas de transmisión se deben principalmente a fenómenos naturales, entre los que anotamos las descargas atmosféricas (el rayo) y la acción del viento que reduce la distancia entre conductores.

El rayo es un fenómeno sujeto a leyes complicadas y no muy conocidas, por lo que, los estudios realizados para garantizar la continuidad de servicio de las líneas, son de carácter experimental sin base analítica que los justifique totalmente.

De manera general una línea puede ser protegida por 2 métodos:

1.- DISPOSITIVOS AUXILIARES.- Comprende los tubos protectores, pararrayos, anillos de protección, etc., estos dispositivos limitan el aumento de tensión o extinguen el arco producido por la caída directa del rayo sobre los conductores de línea. Su elevado costo, problemas de mantenimiento o poca eficacia, restringen su aplicación a un plano secundario.

Son útiles para proteger líneas de bajo voltaje, transformadores sub-estaciones y centrales eléctricas.

2.- METODO DEL CABLE DE GUARDA O DE TIERRA.- Es el más empleado para proteger líneas de alto voltaje, inicialmente se dudaba de su eficacia, pero, las fallas ocurridas se debían a los escasos conocimientos que se tenían en cuanto a su disposición en la torre y en medio vano, dando lugar así, a un pobre apantallamiento de los conductores.

A diferencia de los dispositivos auxiliares, el cable de guarda intercepta la descarga del rayo (sin permitir que toque a los conductores) y envía su corriente a tierra buscando el camino de menor resistencia eléctrica.

Por su relativo bajo costo de instalación y mantenimiento, como por las seguridades que ofrece gracias a la experiencia e investigación-desarrolladas, prevalecen en la protección de líneas que exceden los-500 KV. Pero, también es cierto que, que líneas de elevado voltaje - con mayor nivel de protección, acompañan al cable de guarda los dispositivos auxiliares.

Analizando la importancia del tema con las necesidades de nuestro país, vemos que el Ecuador vive en pleno desarrollo industrial - acompañado por alentadores programas de electrificación, con grandes redes de transmisión y distribución de alto voltaje trazadas en todo el país, ocupando las de 69 KV. un lugar preferencial.

Por las razones técnicas expuestas, el suscrito espera que el presente estudio se encuentre justificado; dadas las necesidades actuales y futuras del país para su industrialización, estas se mantendrán siempre con un índice siempre creciente.

Lamentablemente, por la poca experiencia carecemos de datos estadísticos y tecnológicos de nuestro medio, que nos permitan obtener mejores resultados; cabe citar la inexistencia del mapa Isokeráunico del Ecuador que registre el número de tormentas eléctricas audibles por año, de igual modo, las características eléctricas de los rayos- (intensidad de corriente, voltaje, forma de onda etc.) que se producen con más frecuencia en el país y que determinan los diversos - niveles de aislamiento en la torre, no han sido clasificados.

Debido a esta ausencia de datos, algunos valores se han asumido en base a los correspondientes de otros países o regiones de características similares a las nuestras, o se toman valores promedios, que aplicados a líneas en funcionamiento proporcionan buenos resultados.

Hagamos ahora un ligero análisis del rayo.

Este es un fenómeno natural que obedece a leyes físicas no totalmente conocidas, y de magnitudes difícilmente reproducibles por el hombre en el laboratorio.

A pesar de los muchos estudios e investigaciones sobre el origen y formación de cargas eléctricas en las nubes de carácter tormentoso, que dan lugar a la descarga atmosférica (rayo), no ha sido posible llegar aún, a una conclusión definitiva que explique el fenómeno

Existen algunas teorías que merecen consideración, puesto que, están apoyadas en observaciones experimentales, entre las que destacan las de C.T. Wilson, E.E. Simpson y otras que son una combinación de ellas o que presentan ligeras modificaciones.

Toda tormenta tiene sus características propias, lo que determina que la descarga se realice entre nube y tierra, entre nube y nube o en el interior de la nube. Tenemos descargas múltiples que presentan crestas sucesivas de corriente, lo que hace pensar, que los centros de carga en las nubes tormentosas están distribuidos de manera uniforme.

Se acepta generalmente, la existencia de corrientes de aire y - gotas de agua de diferente tamaño, que por razones explicadas de modos diversos por diferentes investigadores, dan lugar a la formación de cargas eléctricas. Las nubes que dan lugar más fácilmente al origen del rayo, son los llamados NIMBUS o cúmulos, estas se extienden generalmente de 400 a 500 mt. con superficies planas de 5 a 30 Km² -

El conocimiento de la características eléctricas del rayo es de fundamental importancia en lo que se refiere a los métodos de protección de los sistemas eléctricos.

Podemos decir que la técnica de los sistemas de protección se basa en "rayos que han de caer" y cuyos efectos y consecuencias se sa

be sólo por los " rayos que han caído ". Ahora bien, como un concepto importante decimos que, UNA LINEA DE TRANSMISION SE PROTEGE CONTRA DETERMINADOS VALORES MAS PROBABLES DE TENSION, CORRIENTE, NUMERO DE - DESCARGAS, TIEMPO DE DURACION etc. DE UN RAYO, ahora, el límite de - seguridad está restringido por factores de orden económico y práctico pero la realidad dice que no se puede excluir la posibilidad de que - en cualquier momento la línea soporte una descarga atmosférica con ca racterísticas eléctricas distintas a las previstas, ocasionando así, - fallas en la línea, aunque esta posibilidad sea pequeña, esto indica- que, el análisis de sistemas de protección en líneas de transmisión - es PROBABILISTICO, su grado de seguridad es variable, y se ve afectado por el mayor o menor número de descargas atmosféricas para una región determinada.

C A P I T U L O II

PROTECCION DE LAS LINEAS DE TRANSMISION CONTRA DESCARGAS DIRECTAS.- FACTORES DE DISEÑO DE LA LINEA.- CONSIDERACIONES PRINCIPALES DEL NIVEL DE AISLAMIENTO DE LA LINEA CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS PARA CONSEGUIR EL FUNCIONAMIENTO DESEADO.-

En el estudio de los sistemas de protección de una línea, se considera la tensión que origina el rayo entre conductores de línea y tierra por descarga directa y por inducción.

No ha sido posible medir directamente las tensiones inducidas, pero con experiencias obtenidas en los campos creados por las corrientes que atraviesan los pararrayos de las líneas de transmisión ha sido posible obtener valores de tensión inducida, estas rara vez exceden los 500 KV., por lo tanto, la posibilidad de que produzcan fallas en líneas aisladas de 69 KV. son reducidas, sin embargo, es posible que las tensiones inducidas ocasionen fallas en líneas de bajo voltaje por tener estas un bajo nivel de aislamiento.

A partir del año 1.930, el Dr. C.L. Fortescue concluye con su teoría de la descarga directa que los daños más severos en los sistemas de aislamiento son debidos a la acción directa del rayo sobre la línea justificando plenamente el principio de que "protegiendo las líneas contra las descargas directas, quedan protegidas contra las descargas por inducción".

Decíamos en el capítulo I, que una línea puede protegerse ya sea por medio de dispositivos auxiliares o por empleo del cable de guarda, Esta tesis ha seleccionado el 2º sistema para la protección de líneas de transmisión de 69 KV.

Es indudable que este sistema ofrece mayor elasticidad y adaptabilidad para ponerse en práctica en nuestro país, además de las ventajas

técnicas anunciadas en el capítulo anterior.

El voltage operacional de las líneas, prácticamente no influye en el diseño mismo de ellas \bar{E}_l es que se trata de conseguir un rendimiento determinado como en efecto esta es la finalidad, son los parámetros principales o resistencia de puesta a tierra, disposición de conductores y espacio de medio vano, que el Ingeniero de protecciones los hace variar para conseguir un nivel de protección determinado en base a las condiciones técnicas y económicas disponibles.

CABLES DE GUARDA O DE TIERRA

Se colocan por encima de los conductores de línea, de resistencia mecánica suficiente para soportar la descarga del rayo y mandarla a tierra sin perjuicio del buen funcionamiento de la línea.

ESPACIAMIENTO DE LOS CONDUCTORES DE LINEAS CON LA TORRE Y CON TIERRA.-

Esta adecuada distancia debe prevenir los arcos debidos al voltage de operación, a los causados por maniobras de conexión y desconexión de interruptores que excede 2,5 o 3 veces el máximo voltage de operación de línea a neutro e impedir el contacto entre ellos a causa de su oscilación originada por el viento.

ESPACIO DE MEDIO VANO

Es la distancia necesaria que debe existir entre el cable de guarda y los conductores para no permitir que las descargas del rayo que golpean al cable de guarda, produzcan arcos entre este y los conductores. Este factor es de mucha importancia, ya que el espaciamiento de medio vano, si es lo suficientemente grande, elimina la posibilidad de arco en el vano.

Debe considerarse la oscilación de los conductores debido a la acción del viento, al fenómeno vibratorio que origina en estos el desprendimiento de hielo depositado en los mismos, este fenómeno afortunadamente

no se presenta en nuestro medio, pero podemos indicar que vibraciones de gran amplitud muchas veces causan arcos entre conductores y tierra, por eso es que, el espaciamento en medio vano debe ser mayor que el de la torre. Su magnitud es característica para determinados valores de longitud de vanos y voltage de línea a neutro.

RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Es quizá uno de los factores de diseño que más afectan a la línea en cuanto se refiere a su protección contra descargas atmosféricas, - tiene por objeto ofrecer la menor resistencia eléctrica posible entre el cable de guarda, facilitar la más rápida dispersión de la corriente del rayo en el terreno mismo y evitar la formación de fuertes gradientes de potencial que darían lugar a la formación de arcos.

Desde el punto de vista económico, sólo un alto valor de resistencia de puesta a tierra se recomienda disminuirlo para conseguir una mejora considerable en el aislamiento de la línea, en cambio si este valor es pequeño (15 OHMS ó menos) no se justifica tal esfuerzo, ya que la ganancia que se obtiene es mínima en relación a los gastos que exige.

Estos 4 factores de diseño analizados aquí ligeramente, serán a continuación estudiados con detalle y aplicados en el diseño de la línea de 69 KV. objeto de esta tesis.

CONDUCTORES DE FASE.-

DISPOSICION Y SEPARACION ENTRE SI Y RESPECTO A TORRE.-

Los conductores en las torres de una línea de transmisión pueden disponerse en forma horizontal, vertical o combinando estas posiciones.

La disposición de ellos depende de los recursos económicos y de las condiciones locales, en efecto al momento de desarrollar esta tesis, disponíamos de postes de 12,5 mt. de longitud, esta, restada la parte que se entierra, deja un espacio libre de 10 - 11 mts. aproximadamente, el mismo que impide una posible ubicación vertical de conductores y obliga a disponer en un plano horizontal a los conductores de fase y en otro los 2 cables de guarda, como indica la Fig. 1 (Aunque INECEL, ha fabricado postes de 14 mt. de longitud y 1.100 Kilos de resistencia, y la E.E.E. de 16 mt., ambos para líneas de 69 KV).

Si bien es cierto que la estructura H, encarece los costos debido a los anclajes, pero, técnicamente ofrece ventajas de resistencia mecánica, en especial para vanos largos.

La separación horizontal entre conductores y respecto al cable de guarda, debe ser la necesaria para permitir el trabajo manual entre ellos, y de manera fundamental evitar su contacto o su excesivo acercamiento que daría lugar a la formación de arcos.

La acción del viento soplando sobre los conductores, y cuando el hielo acumulado en estos se desprende bruscamente produciendo en ellos un desplazamiento horizontal y vertical ~~de~~ fenómenos que necesariamente hacen aumentar el espaciamiento entre conductores, no se puede llegar tampoco por exceso de seguridad a tomar grandes espacios porque aumentaría el costo de la torre y la reactancia de la línea.

La distancia entre conductores respecto a la tierra es función del voltage operacional 69 KV. a 60 c.p.s. y de los impulsos de voltage por maniobra de interruptores (switching) que generalmente son 2,5- 3 veces el operacional.

No existe una regla o fórmula precisa que determine exactamente la separación que debe mantenerse entre conductores, insistimos en decir que son algunos fenómenos, tanto de carácter atmosférico, como ser vientos, lloviznas; etc. características físicas de los materiales a emplearse en la línea, como peso de los conductores, longitud de cadena de aisladores, tipo de aisladores, longitud de vano, etc. que el ingeniero de proyectos debe considerar en su diseño.

De ahí es que para tomar el espaciamiento horizontal entre conductores, muchas veces se han sacado valores promedios de estas líneas en funcionamiento que tienen un buen rendimiento operacional.

La falta de un método que regule este espaciamiento puede verse en la tabla 1 para líneas de 69 KV. en las que se notará claramente la enorme irregularidad de dicho espacio.

Nosotros, para el cálculo del espaciamiento horizontal S (Fig. 4), seguiremos el siguiente proceso:

CALCULO DE LA DISTANCIA X (Fig. 2)

Cuando se usa aisladores de suspensión para soportar los conductores de una línea (como en el presente caso) la cadena de aisladores oscilará debido a la acción del viento y hará que los conductores se desplacen hacia la estructura de la torre, el ángulo de oscilación así formado es un factor de la tensión de conductores, carga del viento vano horizontal y vertical, temperatura, este desplazamiento debe ser considerado para el espaciamiento horizontal entre conductores.

El máximo ángulo de giro de la cadena de aisladores se da por:

$$\tan \theta = \frac{H \times W_h}{V W_v + \frac{1}{2} W_i} \quad (1)$$

El número de aisladores de suspensión para líneas de 69 KV. generalmente oscila entre 4 y 6 aisladores por cadena; para el diseño físico de nuestra línea tomamos como promedio 5 aisladores de $5 \frac{3}{4} \times 10''$ por cadena. Pero la fuerza aislante de la línea en su punto más débil corresponderá a un mínimo equivalente de 6 aisladores (800 KV.).

La longitud de vano promedio para un voltaje operacional de 69KV se asume 500 pies.

Así, $W_h = \frac{p \cdot D}{12}$ D, en pulgadas.

H = 500 pies Vano horizontal.

V = 500 pies Vano vertical.

$W_i = 58 \text{ lb.}$ (5 aisladores) Peso de cadena de aislad.

v = 60 m.p.h. (para condiciones más desfavorables)

p = 0,0025 v^2 (lb / pie²)

p = 0,0025 $\times 60^2$ lb / pie² = Presión del viento sobre una superficie cilíndrica normal a la dirección del viento y para las condiciones más desfavorables.

La presión del viento es un factor que varía con la velocidad, dirección y temperatura del mismo.

En líneas de transmisión, prácticamente no se emplean conductores de calibre menor al 1 / 0 ACSR; la resistencia mecánica, pérdidas de potencia, efecto corona, caída de voltage, entre otras razones técnicas restringen el uso de conductores de menor calibre, por esto, hemos considerado al conductor 1/0 ACSR, como el de menor calibre para efectos de diseño y cálculo de la línea de 69 KV.

W_h = Carga del viento por pie de conductor. Mínimo, 4 lb/pie.

W_v = Peso por pie del conductor desnudo (sin hielo).

v = Velocidad del viento

Si embargo, como un caso extremo, haremos un cálculo adicional para conductores calibre 2 ACSR, considerando que, en el Ecuador se han instalado líneas con este tipo de conductores.

Resolviendo θ , (fórmula 1) para los conductores 1/0 y 2 tenas -
mos:

$$\begin{aligned}\theta_1 &= 55,2^\circ && \text{para } 1/0 \quad (\text{ ver anexo } 1) \\ \theta_2 &= 57,4^\circ && \text{para } 2 \quad (\text{ ver anexo } 1a)\end{aligned}$$

Ahora el máximo desplazamiento X , a partir de simples relaciones trigonométricas, es:

$$X = 0.65 \text{ mt. } (25,6 "). (\text{ ver anexo } 2)$$

Así mismo:

$$Y = 0,45 \text{ mt.}$$

CALCULO DE LA DISTANCIA C Fig. 4

El medio aislante es una combinación de aisladores, madera y espacio de aire entre conductores y torre. La fuerza aislante de la trayectoria que sigue el arco, se obtiene reduciendo a un número equivalente de aisladores standard ($5 \frac{3}{4} \times 10''$).

De la Fig. 3, calculamos para la curva de tiempo de retardo de $2 \mu\text{seg.}$ (que es el tiempo en el cual el potencial en la torre se reduce considerablemente debido a las ondas reflejadas de las torres adyacentes); se obtiene para 5 aisladores un espacio equivalente de $27''$ ($0,688 \text{ mt.}$)

Este espacio equivalente, multiplicado por un coeficiente de seguridad de 1, 2 (considerando fenómenos no previstos) resulta:

$$C = 1,2 \times 0.688 = 0,825 \text{ mt. } (32,4 \text{ pulg. })$$

Así :

$C = 0,825 \text{ mt.}$ es la distancia mínima que debe existir entre el conductor en su máximo desplazamiento y torre, equivalente a 6 aisla-

dores, con una tensión de arco de 800 KV.

De manera que, la separación horizontal (como primer cálculo) de diseño entre conductores y torre dado por Z, en la Fig. 4 , es:

$$Z = X + C = 0,65 + 0,825 = 1,475 \text{ mt. } (4,83 \text{ pies} = 58 \text{ pulg. })$$

Si la trayectoria de arco es através de la combinación aisladores y madera, el impulso de tensión de arco se da por:

$$KV_{\text{arco}} = KV_{\text{aisladores}} + KV_{\text{madera}} \quad (8)$$

De la Fig. 3, para 5 aisladores tenemos, $KV = 680$

La Fig. 5, determina la fuerza aislante de la madera en serie con la cadena de aisladores.

Para la curva de 2 μ seg. y 4,83 pies de madera, resulta:

$$KV_{\text{madera}} = 580 \text{ KV.}$$

Reemplazando estos valores en (8):

$$KV_{\text{arco}} = 680 + 580 = \underline{1.260 \text{ KV.}} \quad \text{Equivalente a 10 aisladores.}$$

Tenemos además otra posible trayectoria de arco, (recorrido Y') que es la combinación de madera y aire para el máximo desplazamiento de conductores.

El impulso de tensión de arco para esta trayectoria es:

$$KV_{\text{arco}} = KV_{\text{aire}} + KV_{\text{madera}} \quad (8a)$$

$$KV_{\text{aire}} = 470 \text{ KV. } (\text{según Fig. 3, para } Y = 0,45 \text{ mt} = 17,7 \text{ pulg. })$$

$$KV_{\text{madera}} = 280 \text{ KV. } (\text{según Fig. 5, para } C = 0,825 \text{ mt} = 2,7 \text{ pies })$$

Reemplazando en (8a):

$$KV_{\text{arco}} = 470 + 280 = \underline{750 \text{ KV.}} \quad \text{Equivalente a 5,6 aisladores.}$$

Decíamos en la Pag. 11, que la fuerza aislante de la línea en su punto más débil será de 800 KV. correspondiente a 6 aisladores.

De los cálculos hechos, vemos que la trayectoria más débil es la última, con 750 KV. que no satisface la fuerza aislante mínima requerida (800 KV).

Solucionamos la diferencia aumentando la longitud de la madera hasta ajustar el aislamiento previsto.

Así: De (8a) para el nuevo espacio de la madera tenemos :

$$KV_{\text{arco}} = KV_{\text{madera}} + KV_{\text{aire}}$$

$$800 = KV_{\text{madera}} + 470$$

$$KV_{\text{madera}} = 330 \text{ KV, corresponde en la Fig. 5 a } 3,15 \text{ pies}(0,96\text{m})$$

De manera que, el valor final de C, será C = 0,96 mt. ver Fig.4

Ahora bien, al aumentar la longitud de la madera (cruceta), en igual medida lo hará el espacio de aire, por lo tanto, los impulsos de tensión de las trayectorias anteriores, también incrementarán, es tos nuevos valores se resúmen en el Cuadro 1.

CALCULO DE LA DISTANCIA Z

Z = Separación entre conductor y torre.

$$Z = X + C$$

$$Z = 0,65 + 0,96 = 1,61 \text{ (} 5,28 \text{ pies)}$$

CALCULO DE LA DISTANCIA S

S = Separación horizontal entre conductores.

Por simetría:

$$S = 2 Z + P$$

$$P = 17,17 \text{ cm. (ver anexo 3)}$$

$$S = 2 \times 1,61 + 0,1717$$

$$S = 3,39 \text{ mt.}$$

ALTURA DE CONDUCTORES

La altura de los conductores de fase respecto a tierra, no tiene una influencia directa en cuanto a la protección contra descargas atmosféricas se refiere; su estudio se reduce al diseño mecánico, medidas de seguridad, naturaleza del terreno y posibilidades económicas, en efecto, alturas excesivas e innecesarias aumentan el costo de la torre.

En REA¹, se da una tabla con espacios libres verticales entre conductores y tierra para 120° F y cualquier longitud de vano. Ver Tabla 2.

EFFECTO CORONA .- El efecto corona es un fenómeno que debe ser considerado en el diseño de líneas de transmisión, su estudio e importancia fue relegado a segundo plano, pero la necesidad de construir líneas de alto voltage, así como las pérdidas de potencia, interferencias en la radio, estimularon el estudio de este fenómeno.

El efecto corona se origina en la línea, cuando el potencial de un conductor energizado sobrepasa la rigidez dieléctrica del aire que rodea al conductor; se presenta con un ruido silbante y luminiscencia azulada rodeando al conductor, haciéndose más notorio en las rugosidades y prominencias del mismo.

La corona no es mas que la ionización del aire, estimulado con la humedad atmosférica, dando origen a la formación del ozono.

No hay conocimiento completo acerca de la tensión de corona y de sus pérdidas, todas las fórmulas y cálculos que se conocen sólo tienen valores aproximados.

Algunos factores intervienen en el efecto corona y para un voltaje determinado es necesario saber cuales son y como influye en el diseño de la línea.

¹.- Rural electrification administration.-

Así tenemos: diámetro, tipo, y naturaleza de la superficie del conductor, disposición de estos y condiciones atmosféricas.

El material del conductor, según Strigel, no afecta al fenómeno - pero, medidas hechas en áreas industriales donde partículas extrañas - se depositan en la superficie del conductor, indican que la corona se ve seriamente disminuida.

La presencia de niebla, tormentas, afectan enormemente la tensión corona y representa esta muchas veces el 60 % - 65 % de la tensión corona para tiempo bueno.

Entre los investigadores que más han contribuido al estudio de la corona tenemos a Carrol M.M , Rockwell, Petersen Peek, éste último con ensayos hechos en 1.912 ha obtenido buenos resultados.

Según Peek, el gradiente disruptivo del aire g_0 , es constante para cualquier tipo de conductor y frecuencia. A 25° C y 76 cm de presión barométrica alcanza un valor de 21,1 KV / cm. (valor eficaz) o 29,8 KV / cm como valor máximo o de cresta.

El voltaje crítico disruptivo, E_0 , entre fase y neutro, es la tensión a la cual se inician las pérdidas por efecto corona.

E_0 , para buen tiempo se da por :

$$E_0 = g_0 M_0 r \delta \quad 2,303 \lg \frac{S}{r} \quad (9)$$

Las pérdidas P_0 , por efecto corona se dan por :

$$P_0 = \frac{241}{\delta} (r + 25) \sqrt{\frac{r}{S}} (E - E_0)^2 \cdot 10^{-5} \quad \text{KW / Km / conductor} \quad (10)$$

De (9) y (10) observamos que los factores que determinan la corona son: M_0 (naturaleza del conductor) la relación $\frac{S}{r}$ y el radio del conductor.

Para $E_0 = E$, se tiene pérdidas de potencia por corona igual cero.

Ahora E_0 , según (9), se mejora para valores altos de M_0 -
 { corresponde a conductores de superficie cilíndrica y pulimentadas }
 aumentando el radio de los conductores; (por esta razón algunas lí-
 neas emplean conductores cilíndricos huecos), e incrementando la -
 distancia S entre conductores.

Luego, el conductor 1 / 0 ACSR, seleccionado como el de menor-
 diámetro a usarse en líneas de 69 KV, reportará mayores pérdidas por
 corona, pero veamos en que medida lo hace.

E_0 , según fórmula (9), para conductor 1/0, y cableado y
 $S = 3,39$ mt.

$$r = 0,505 \text{ cm.}$$

$$k = 1$$

$$E_0 = 21,1 \times 0,84 \times 0,505 \times 1 \times 2,303 \lg \frac{3,39}{0,505}$$

$$E_0 = 58,4 \text{ KV (entre fase y neutro) Ver anexo 4}$$

$$E = 69 / \sqrt{3} = 40 \text{ KV (entre fase y neutro)}$$

Si los conductores se disponen en un mismo plano, la tensión dis-
 ruptiva para el conductor central es $0,96 E_0$, y para los conductores
 extremos $1,06 E_0$; de manera que, el conductor central de menor ten-
 sión disruptiva ($E_0 = 58,4 \times 0,96 = 56 \text{ KV}$) dará mayores pérdidas-
 por efecto corona.

Para nivelar las pérdidas entre conductores extremos y el cen-
 tral, se trasponen los tres conductores de fase a lo largo de la lí-
 nea.

En tonces para el conductor central :

$$E - E_0 = 40 - 56 = - 16 \text{ KV}$$

Resulta una tensión negativa, esto significa que siendo E_0 ma-
 yor que E , la tensión de fase a neutro no alcanza el valor de la -
 tensión crítica disruptiva a la cual se inician las pérdidas por -
 efecto corona.

Hagamos un estudio similar, para conductores calibre 2 AWG, que es el conductor empleado en algunas líneas de transmisión de 69 KV en el Ecuador.

$$r = 0,4$$

$$E_0 = 21,1 \times 0,84 \times 0,4 \times 1 \times 2,303 \lg \frac{3,39}{0,4}$$

$$E_0 = 47,5 \text{ KV} \quad (\text{entre fase y neutro})$$

$$E - E_0 = 40 - 47,5 = - 7,5 \text{ KV.}$$

Tampoco alcanza la tensión de fase a neutro el valor de la tensión crítica disruptiva.

Concluyendo : NO HABRAN PERDIDAS POR EFECTO CORONA PARA LINEAS DE 69 KV, DE CONDUCTORES CABLEADOS O MACIZOS DE CALIBRE N° 1/0 y 2 AWG - O MAYORES, SEPARADOS 3,39 mt. CON FACTOR DE DENSIDAD DEL AIRE IGUAL A 1., Y CONDICIONES STANDARD DE TEMPERATURA Y PRESION ATMOSFERICA.

Esta tensión negativa en realidad significa un alto factor de seguridad,pués, para tiempo nublado y lluvioso, los valores de E_0 , disminuyen a un 80 % .

CABLE DE GUARDA

Los cables de guarda o conductores de tierra , tienen por objeto - proteger la línea contra los efectos perjudiciales del rayo. Se disponen por encima de los conductores de fase formando un cono de protección para interceptar el rayo y enviar su corriente a tierra através de una resistencia eléctrica, evitando así la formación de arcos peligrosos entre conductores de fase y tierra que ocasionan fallas en la línea .

Cuando se trata de estructuras tipo H , generalmente se disponen dos cables de guarda en forma simétrica.

Físicamente el cable a tierra debe reunir las siguientes características:

- Sección suficiente para soportar las tensiones de carácter mecánico a que se halla sometido y los efectos térmicos del rayo.
- Material no corrosivo, como acero, cobre, acero cobreado, o hierro galvanizado.

Buenos resultados se han obtenido con cables de guarda de características similares a las de conductores de fase.

El espaciamiento de medio vano entre el cable de guarda y conductores de fase, es mayor que el de torre con el fin de prevenir arcos y el contacto entre ellos ocasionados por el viento e incrementos de flecha por variaciones de temperatura.

El cuidado y normas de instalación para el cable de guarda, serán las mismas observadas para los conductores de fase.

CARACTERISTICAS TECNICAS.-

El cable de guarda seleccionado debe reunir las siguientes características técnicas:

- MATERIAL.- Acero galvanizado, trenzado, 7 hilos, ofrece buenas propiedades mecánicas y bajo costo.
- TAMAÑO .- 3 / 8 " (diámetro externo)
- PESO .- 0,273 lb / pie
- AREA .- 0,0792 pulg²
- RESISTENCIA A LA RUPTURA .- 10.800 lb.
- RESISTENCIA ELECTRICA .- 6 ohm / milla.

ANGULO DE PROTECCION

Decíamos que, la función del cable de guarda es interceptar el rayo y evitar que este golpee los conductores de fase. El grado de exposición de estos a la acción del rayo, se determina por el ángulo que forma la vertical pasando por el cable de guarda y torre con una línea que une el cable de guarda con el conductor de fase más lejano, llamado, ángulo de protección.

Este ángulo no obedece a fórmulas ni cálculos matemáticos, se reduce a estudios de laboratorio y a la experiencia de líneas en funcionamiento.

Ángulos de 20° dan óptimos resultados, pero encarece el costo de la torre, por el contrario, líneas con ángulos de 45° han tenido resultados poco satisfactorios.

Pruebas de laboratorio indican que, ángulos de 30° ofrecen un buen apantallamiento de los conductores, a tal punto que se lo puede considerar un ángulo standard de protección, naturalmente que, este puede variar de acuerdo al terreno por donde cruza la línea, si esta se localiza en las faldas de una colina por ejemplo, el ángulo de la pendiente de dicha colina se resta del ángulo de diseño de la línea.

Por esta razón, hemos escogido el ángulo de 30° para la protección de líneas de 69 KV. ver Fig. 4.

SEPARACION CON LOS CONDUCTORES DE FASE EN LA TORRE Y EN MEDIO

VANO.- FLECHA .-

$$\text{EN LA TORRE (} L_t \text{) } \cdot L_t = \frac{1,61}{\tan 30^\circ} = 2,78 \text{ mt. respecto}$$

al plano horizontal de los conductores de fase.

EN MEDIO VANO (L_V) .- Se asume un 10 % mayor que en la torre (por razones indicadas anteriormente).

$$L_V = 2,78 \times 1,10 = 3,058 \text{ mt. (9,3 pies)}$$

FLECHA .- Por seguridad para evitar la fatiga en el cable de guarda debido a la tensión que soporta, se ha considerado una tensión inicial de diseño T , correspondiente al 20 % de la resistencia a la ruptura y a una temperatura de $21^\circ \text{ C (} 70^\circ \text{ F)}$.

$$T = 0,20 \times 10.800 = 2.160 \text{ lb. (960 Kg.)}$$

La flecha inicial f , para esta tensión y vano de 500 pies (152 mt.) se da por la ecuación de la parábola :

$$f = \frac{W L^2}{8 T} \quad (11)$$

donde : $L = 500$ pies
 $W =$ peso del conductor

Reemplazando :

$$f = \frac{0,273 \times 500^2}{8 \times 2.160} = 3,95 \text{ pies (1,2 mt.)}$$

$$\underline{f = 1,2 \text{ mt.}} \quad \text{Flecha inicial del cable de guarda.}$$

Ahora bien, para mantener la separación de medio vano de 3,058 mt. la flecha mínima inicial de los conductores de fase deberá ser 1,478 mt. ver Fig. 6.

Así, la flecha del cable de guarda representa el 81,5 % de la flecha del conductor de fase.

RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

FACTORES QUE INTERVIENEN.- SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.- METODOS DE REDUCCION.- FACTORES QUE LIMITAN SU REDUCCION APLICADOS AL PRESENTE ESTUDIO.-

La resistencia de contacto entre torre y tierra es el que más influye en el aspecto técnico - económico de la protección de la línea - contra las descargas atmosféricas.

Cuando el rayo es interceptado por el cable de guarda, su elevada corriente se descarga a tierra buscando el camino de menor resistencia

Si la resistencia de contacto entre torre y tierra es elevada, - tensiones peligrosas aparecerán entre conductores de línea y torre debido a la caída de potencial en la base de esta. Para evitar la formación de arcos de tensión, es necesario aumentar el número de aisladores en la cadena o disminuir la resistencia de puesta a tierra; esto último se consigue hincando varillas metálicas a tierra o por sistemas de contrapeso, que son cables enterrados paralelamente o en forma radial a la torre. Se logra bajar también la resistencia de puesta a tierra por tratamiento químico del terreno, pero este método es de resultado temporal y poco satisfactorio.

Los dispersores a tierra deben reunir requisitos físicos para que tengan un buen rendimiento, así :

- a.- Soportar los esfuerzos mecánicos a que están sometidos.
- b.- El metal empleado en varillas y contrapesos deben ser resistentes a la corrosión.
- c.- Capacidad para soportar las elevadas temperaturas provocadas por la descarga del rayo; la energía térmica que este desarrolla, de acuerdo a la ley de Joule, es :

$$J = R \int i^2 dt. \quad (12)$$

Donde : J = Energía transformada en calor (expresada en Julios si la corriente es en amperios.)

i = Valor instantáneo de la corriente circulante de descarga

R = Resistencia eléctrica que se opone a la corriente del rayo en su trayectoria a tierra.

De la fórmula (12) la única manera de impedir temperaturas elevadas es por medio de dispersores a tierra de baja resistencia eléctrica.

En experimentos realizados con cables de diferente sección, se ha establecido que para una temperatura máxima soportable de $300^{\circ} C$, conductores de hierro de 25 y 50 mm^2 de sección pueden conducir corrientes de 160 y 600 Kamp. respectivamente.

Así mismo mediciones similares hechas en conductores de cobre para 25 y 50 mm^2 de sección pueden conducir 850 y 3.500 Kamp. en su orden.

Estos valores de corrientes del rayo son absolutamente excepcionales, de manera que, desde el punto de vista térmico, pueden utilizarse varillas de hierro para secciones superiores a los 50 mm^2 .

El valor de la resistencia eléctrica tanto para varillas como para contrapesos, se determina para una frecuencia de 60 c.p.s. pero en el funcionamiento de la línea se considera el valor de la impedancia inicial y varía según la naturaleza del terreno, magnitud del impulso de corriente y características de varillas y contrapesos.

La selección del sistema de puesta a tierra depende de la resistividad y naturaleza del suelo, y del valor de la resistencia de puesta a tierra que se desea obtener.

En la tabla 4, se dan valores de resistividades para varios tipos de materiales.

Los dos sistemas que permiten disminuir la resistencia de contacto entre torre y tierra son : varillas y contrapesos.

VARILLAS DE PUESTA A TIERRA.- (ESTACAS)

Este método se aplica en terrenos de baja y media resistividad, - en las cuales, la resistencia a 60 c.p.s generalmente es mayor que el producto de su resistividad.

En suelos pantanosos y arcillosos es conveniente usar este método

El dimensionado y número de barras depende de la naturaleza del terreno en que se localiza la torre.

La resistencia de las varillas a tierra se determina por :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \frac{4L}{a} - 1 \right] \quad (13)^1$$

Donde :

ρ = Resistividad del suelo en ohm / pie.

L = Longitud de las varillas bajo tierra.

a = Radio de las varillas.

Las curvas de la Fig. 7 , son el resultado de aplicar la fórmula (13) para $\rho = 1.000$ ohm/pie y diferentes diámetros de barras.

Para otras resistividades, las curvas varían en forma proporcional

Nótese la poca influencia que ejerce en la resistencia el diámetro de las varillas, y por el contrario, aquella se determina principalmente por la profundidad de hincado de las mismas, debido a que a mayor profundidad la conductibilidad del terreno mejora.

1.- Ref.- Electrical transmission and distribution
reference book.

Luego, para disminuir la resistencia a tierra, por medio de este sistema, es conveniente incrementar la longitud y el número de barras.

Cuando se dispone 2 o más barras en paralelo, buenos resultados se obtienen aumentando su espaciamiento, pero, a partir de una distancia determinada la resistencia practicamente permanece constante; por esta razón resulta antieconómico tomar espaciamientos exagerados.

La fig. 8, muestra la resistencia conjunta de barras dispuestas en paralelo en función de la resistencia aislada de una barra normal de 10' de longitud y 3/4" de diámetro, generalmente esta barra es la más empleada en este sistema de puesta a tierra. Se observará que a partir aproximadamente de los 30' - 40' de separación la resistencia conjunta disminuye muy poco.

CONTRAPESOS.- Cuando el terreno tiene una resistencia elevada y no es posible obtener una toma de tierra por el método anterior, entonces se emplean los llamados contrapesos.

En estos, la impedancia característica inicial que oscila entre 150 y 200 Ω (para fines prácticos) debe ser mayor que el valor de su resistencia final 60 \cos . para evitar la reflexión de ondas positivas que elevarán el valor de su resistencia.

En el momento de la descarga del Rayo, la resistencia inicial del contrapeso es la impedancia característica inicial, que luego se reduce a la resistencia final, el tiempo que demora esta variación es el necesario para que la primera onda de corriente reflejada, propagándose con una velocidad de 100.000 Km/seg. llegue al contrapeso.

Para un buen funcionamiento de el contrapeso, la impedancia característica inicial y el tiempo de variación deben reducirse ^a un va

lor mínimo posible, esto se logra seccionando la longitud total del alambre, y así, los nuevos valores de la impedancia característica y el tiempo de variación, resultarán divididos por el número de secciones que componen el contrapeso. Por lo tanto para una longitud determinada de alambre conductor, es preferible dividirlo en varias tierras radiales o paralelas en lugar de un continuo y largo conductor; la resistencia final sin embargo, permanece constante, ya que siendo función de la superficie de contacto con el suelo, esta permanece invariable ya que la longitud total del contrapeso es la misma.

La fig. 9, expresa gráficamente el efecto de la longitud y número de alambres del contrapeso sobre la impedancia característica inicial y el tiempo de retardo para que esta se reduzca a su resistencia final, tomando como base una Impedancia Inicial de 150 Ω .

La fig. 10, ilustra los tipos de contrapesos más empleados; los alambres enterrados paralelamente a los conductores de fase ofrecen la ventaja de aumentar el factor de acoplamiento de la línea aproximadamente en un 3%, este es un porcentaje tan pequeño que sólo es considerado como un coeficiente de seguridad.

La resistencia del contrapeso se determina fundamentalmente por la longitud de los alambres conductores y por el espaciamiento entre ellos cuando se compone de 2 o más ramales, este espaciamiento debe ser lo máximo posible para que su influencia sea notoria y por el contrario, poca importancia tiene sobre la resistencia, el diámetro de los alambres y la profundidad de enterramiento, esta será lo necesario para prevenir los robos y daños físicos de los cables.

La resistencia a tierra para un contrapeso formado por un sólo alambre o brazo es:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 2 + \frac{s}{L} - \frac{s^2}{4L^2} \right] \quad (14)^1$$

donde L = longitud del brazo

Si el contrapeso es del tipo estrella de 4 puntas, la resistencia a tierra se da por la fórmula:

$$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left[\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{S} + 2,912 - 1,071 \frac{S}{L} + 0,645 \frac{S^2}{L^2} \right] (15)'$$

donde:

ρ = Resistividad del suelo en Ω/pie

L = longitud de cada brazo

a = radio del alambre

Las figuras 11 y 12, son el resultado de la aplicación numérica de las fórmulas 14 y 15 respectivamente, para una resistividad del suelo de 1.000 Ω/pie ; si otros valores de resistencia son usados, las curvas variarán proporcionalmente.

TIPO DE MATERIAL A EMPLEARSE

En el presente estudio seleccionamos para las barras a tierra, varillas de acero con baño de cobre de 3/4". Para dos o más barras en paralelo se emplearán barras normales de 10' de longitud y 3/4" de diámetro.

Los contrapesos serán de acero galvanizado de 3/8" y características físico - mecánicas similares a las del cable de guarda.

Los diámetros escogidos son los más usados en líneas de transmisión y no teniendo esto mayor influencia en la Resistencia a tierra se justifica tomar valores promedios que no eleven el costo de la torre.

La profundidad de enterramiento de los alambres de contrapeso, varía según la naturaleza del terreno donde se instalen, pero como este factor afecta escasamente la Resistencia del contrapeso, para fines de cálculo tomamos una profundidad promedio de 2 pies, con la seguridad -

de que cualquier modificación de esta no cambiará el cálculo previsto.

Si se emplea contrapeso compuesto de 2 alambres paralelos, se asumirá una separación de 150' pies; así, un gran espaciamento a la vez que disminuye la Resistencia a tierra, representa una economía en el material. Por ejemplo, en la Fig. 13, para 10 Ω y 10 pies de espaciamento, se necesitan 260 pies de alambre; pero si incrementamos el espaciamento a 150' será necesario solo 130' pies de alambre.

En realidad, la aplicación del método apropiado, es un problema que debe ser analizado cuidadosamente por el Ingeniero de proyectos desde el punto de vista económico. Esto lo trataremos con detalle en el capítulo 5 4

AISLADORES

TIPOS.- AISLADORES DE SUSPENSION A UTILIZARSE EN ESTE ESTUDIO :
CARACTERISTICAS ELECTROMECAICAS E IMPORTANCIA EN EL NIVEL DE -
AISLAMIENTO DE LA LINEA.- CURVAS GRAFICAS .-

En el rendimiento de la línea de transmisión, se debe considerar 2 tipos de voltajes anormales que tienden a producir fallas en la línea y son :

a.- VOLTAJE ANORMAL INTERNO .- Originados por abertura o -
cierre de interruptores del
circuito. Este voltaje de carácter transitorio es aproximadamente-
4 veces el valor del voltaje normal de línea a neutro y puede produ-
cir arcos por contorneamiento del aislador, por lo tanto, el aisla-
miento de la línea debe estar diseñado para soportar este sobrevol-
taje.

b.- VOLTAJE ANORMAL EXTERNO .- Se producen por la caída -
del rayo sobre el cable de -
guarda, el mismo que, conduce a tierra su corriente tomando medidas
apropiadas para evitar la formación de arcos por contorneamiento de
la cinta de aisladores. Este sobre voltaje es el que más influye -
en el diseño y selección del nivel de aislamiento de la línea.

Vista la importancia de los aisladores en el funcionamiento de
la línea, vale la pena hacer un ligero estudio de las propiedades -
físicas y diseño de manufactura.

Para obtener una gran resistencia mecánica y eléctrica, así co-
mo la uniformidad y durabilidad de los aisladores, es necesario se-
leccionar la mejor calidad de la porcelana, cemento y accesorios de
fijación, pero aún estos buenos materiales dependen del diseño y ca-
lidad de construcción.

La porcelana debe tener un coeficiente de dilatación lineal de $0,03 \times 10^{-4}$ / Grado centígrado.

Resistencia a la tracción = 8.000 lb/pulg²

Resistencia a la compresión = 50.000 lb/pulg²

Los aisladores se revisten de una película vitrificante, coloreada que ejerce estas funciones principales :

- a.- Incrementa ostensiblemente la resistencia mecánica del aislador.
- b.- La superficie lisa del barnizado resiste las adherencias y facilita el lavado por acción de la lluvia.
- c.- El coeficiente de dilatación lineal debe ser igual al de la porcelana para evitar diferencias de esfuerzos internos que producirían grietas en el aislador.

La corrosión es un fenómeno que ataca con frecuencia a los aisladores cuando estos son mal contruidos o emplean un material de mala calidad, se inicia en las fijaciones del cemento y un pequeño aumento en su volumen produce el agrietamiento de la porcelana.

El diseño del aislador debe reunir los siguientes requisitos:

- a.- Línea de fuga de por lo menos 2 veces la distancia mínima entre puntos con tensión en la torre.
- b.- La superficie y forma del aislador debe ofrecer una distribución uniforme de la tensión y resistencia al arco por contorneamiento.
- c.- La superficie de la capa vitrosa debe facilitar el lavado del aislador ya sea por acción manual o por la lluvia, además de impedir que penetren en los poros de la porcelana la humedad o suciedad que destruyen la rigidez dieléctrica del aislador.
- d.- Facilidad para la fijación del aislador a la cruceta y con otro aislador sin mengua de sus propiedades electromecánicas.

TIPOS DE AISLADORES .- La forma y tamaño de los aisladores depende fundamentalmente del voltaje normal y en segundo lugar de las características de la línea.

De acuerdo a la forma tenemos los siguientes tipos :

a.- AISLADORES DE SOPORTE O ESPIGA .- (PIN - TYPE) .- Fig. 16

Por su fragilidad dieléctrica se emplean en líneas de hasta 66 KV. Nótese los nervios interiores que prolongan la línea de fuga a b . ABC es la línea de arco por contorno bajo lluvia, es exterior y sigue siempre el camino más corto.

Este aislador está compuesto de 3 secciones distintas, unidas por un cemento especial de elevada resistencia mecánica; los faldones correspondientes son de tamaño diferente, siendo más amplio los superiores para facilitar el lavado e impedir en los aisladores.

b.- AISLADORES DE TENSION O DE AMARRE.- Son semejantes a los -

de suspensión, con la diferencia que son más resistentes mecánicamente, se emplean cuando la línea llega a un punto terminal o remate, cuando forma ángulo o en lugares donde la tensión horizontal es grande.

Generalmente se acostumbra aumentar dos unidades de aisladores de suspensión para evitar el deterioro de la cadena por descarga del rayo

c.- AISLADORES TIPO COLUMNA O PEDESTAL .-(LINE POST) Fig. 17.-

Prácticamente son una cadena de aisladores tipo soporte, mejorados en una estructura sólida.

Se emplean de manera especial en líneas de hasta 69 KV. , pero existen también para 138 KV.

Dada su pequeña resistencia mecánica en cantilever, no se usan en vanos largos donde las tensiones laterales son altas debido a la acción del viento y a flechas desiguales en los tramos.

— Ofrece estas ventajas, una gran línea de fuga a b mayor que la distancia de arco en el aire.

— Facilidad en la inspección y mantenimiento.

— Reduce la interferencia de la radio.

— El diseño de sus faldones reduce al mínimo la acumulación de sales y polvos, y si esta ocurre, su superficie permite el lavado natural por acción de la lluvia.

— Estructura más simple (no se requiere de crucetas)

— El costo relativamente bajo, hace que se lo emplee en lugares donde se dispone de pocos recursos económicos.

d) AISLADORES DE SUSPENSION. - Fig. 18.-

Dada su elevada resistencia mecánica y eléctrica, se emplean en líneas de transmisión con tensiones superiores a los 66 KV., se disponen formando cintas o cadenas capaces de soportar grandes tensiones mecánicas por uso de conductores pesados en vanos de gran longitud. El número de aisladores formando la cadena es proporcional a la tensión de trabajo, pero es afectado también por fenómenos físicos de la ruta de la línea, como es la niebla, productos químicos en el aire, etc.

La cinta de aisladores de suspensión ofrece la ventaja de su flexibilidad y no se rompe a causa del balanceo de conductores. En la tabla 5, se nota el amplio grado de variación en el número de aisladores formando una cadena.

La fig. 18 muestra un aislador de suspensión de tipo corriente para líneas en condiciones normales.

A continuación daremos algunas recomendaciones que permiten incrementar el número de aisladores de una cadena:

- a) Incremento de seguridad, en lugares donde se hace difícil la inspección y el mantenimiento.
- b) En regiones de gran altitud donde el valor de la tensión de arco disminuye debido a la menor presión atmosférica.

En altitudes sobre 3.300 pies (1.000 M) el valor de la tensión de arco para condiciones normales será multiplicada por el factor h . $h = 1 + 0,03 \times \frac{H - 3.300}{1.000}$ $H =$ altura en pies del lugar.

- c) En los lugares donde la temperatura excede los 40° C, el valor de la tensión de arco para condiciones normales, debe multiplicarse por el factor t .

$$t = \frac{273 + T}{313} \quad T = \text{Temperatura en } ^\circ\text{C.}$$

313

En los casos b y c deberá entonces aumentarse el número de aisladores para satisfacer estos requerimientos.

- d) Cuando la línea de transmisión pasa por áreas contaminadas (industriales por ejemplo) se depositan sobre la superficie de los aisladores polvo, partículas de sal, o químicas, estas adherencias permiten un camino de menor resistencia a las corrientes de fuga permitiendo la formación de arcos. Lo mismo sucede si la línea atravieza regiones donde es frecuente la niebla. Estos factores externos justifican pues un incremento en el número de aisladores en una cadena. Sin embargo, es más conveniente emplear en estos casos, aisladores diseñados especialmente para esta función. En la fig. 19 se ve un aislador de este tipo. Nótese la línea de fuga a-b aproximadamente un 50% mayor que la de los aisladores de suspensión corrientes de suspensión corrientes de $10 \times 5 \frac{3}{4}$ "

Lavados periódicos en los aisladores de áreas contaminadas de
ben hacerse para reducir las probabilidades de fallas.

Estos son los cuatro tipos de aisladores que más aplicación -
tienen en líneas de transmisión, debemos hacer notar además que -
dentro de cada tipo, existen aisladores con pequeñas variaciones -
en su forma y tamaño.

AISLADORES DE SUSPENSION A UTILIZARSE EN ESTE ESTUDIO:
 CARACTERISTICAS ELECTROMECANICAS E IMPORTANCIA
 EN EL NIVEL DEL AISLAMIENTO DE LA LINEA.-

Habiendo hecho un breve análisis de los tipos de aisladores existentes, estamos en posibilidad de seleccionar con escaso porcentaje de error, el tipo más recomendable para la línea de 69 KV. que nos ocupa.

Seleccionamos aisladores de suspensión de $10'' \times 5 \frac{3''}{4}$ (ver Fig. 21), por las siguientes razones:

- a) Tratándose de un estudio general, (no de una región determinada) los aisladores de suspensión nos permiten aumentar o disminuir el nivel de aislamiento de la línea, aumentando o disminuyendo el número de aisladores en la cadena, de acuerdo a la ruta que atravieza la línea.
- b) Su gran resistencia mecánica y eléctrica, superior en mucho a los otros, permiten emplearlos con elevados coeficientes de seguridad aún en vanos largos y con conductores de grueso calibre.
- c) La experiencia en otras líneas ha demostrado un buen rendimiento, además de la simplicidad en la construcción y montaje.

En una cadena de aisladores de suspensión la distribución del voltaje operacional y para tiempo seco no es uniforme, y se distribuye como indica la Fig. 20. Este desigual gradiente de potencial se explica por la diferente capacitancia entre cada unidad y tierra que determina una desigual corriente capacitiva en serie en cada unidad, de el orden de 1 miliAMP. o menos, de manera que, el gradiente de potencial es función de la capacitancia electrostática de los aisladores.

Cuando la superficie de los aisladores se cubre de adherencias o humedad, surgen corrientes de fuga en su superficie que van de 1 - 100 miliamperios; si esta corriente de fuga es mayor que la corriente capacitiva, el gradiente de potencial por aislador dependerá en primer lugar de la corriente de fuga.

Corrientes de fuga de 10 miliamperios, son comunes en aisladores de suspensión, pero usualmente no presentan peligros de formación de arcos.

Corrientes de fuga de 50 - 100 miliamperios, provocan daños en la línea por formación de arcos, entonces deben lavarse los aisladores para restablecer la fuerte resistencia de la superficie de estos y disminuir así las fuertes corrientes de fuga.

La frecuencia de lavado y mantenimiento de los aisladores Vs. el costo de sobre aislamiento es de carácter económico y debe considerarse cuando la línea siga una ruta de fuerte contaminación.

La fig. 21 grafica el tipo de aislador de suspensión seleccionado, es un aislador tipo Standard en líneas de transmisión de 69 KV. y mayores.

Características eléctricas y mecánicas se dan en las tablas 6 y 7 respectivamente, son valores mínimos sujetos a especificaciones reguladas por NEMA (Asociación Nacional de Constructores Americanos), ASA (Asociación Americana de Normalización), EEI (Instituto Edison de Electricidad).

Las pruebas de mínima tensión de arco, se hicieron con impulsos de onda de 1,5 x 40 useg., ver Fig. 22 de polaridad negativa, ya que la mayoría de las descargas fueron predominantemente de esta polaridad.

Valores mínimos de arcos de polaridad negativa en tiempo húmedo sobre aisladores, fue aproximadamente un 80 % del valor en seco, a

60 c.p.s. pero, para el cálculo de tensiones de arco de una línea, se usa el valor del impulso de polaridad positiva ya que su magnitud es menor que la de polaridad negativa, de manera que, la línea-diseñada así queda protegida de los dos tipos de impulsos.

C A P I T U L O III

DISEÑO Y PROTECCION DE LA LINEA TIPICA DE 69 KV-
PROBABILIDADES DE FALLAS EN FUNCION DE LOS PARA-
METROS PRINCIPALES: RESISTENCIA DE PUESTA A TIE-
RRA Y NUMERO DE AISLADORES.-

- a) Para niveles Isokeraúnicos 0 - 20
- b) Para niveles Isokeraúnicos 20 - 40
- c) Para niveles Isokeraúnicos 40 - 60

Resúmen y curvas gráficas resultantes de probabilidades de fallas.

Las características físicas de la línea de transmisión de 69 KV. y el diseño aproximado para su protección contra las descargas atmosféricas están ya definidas en el capítulo anterior y graficadas en la Fig. 4 y 6.

Ahora bien, para el estudio del rendimiento de la línea se consideran 4 parámetros: Espacio de medio vano, longitud de vano, Resistencia de puesta a tierra y número de aisladores. Los dos primeros tienen magnitudes propias para cada voltage nominal de trabajo, para 69 KV. corresponde 3,058 M (\pm 10 pies) (Ver cálculo de Pag. 21) y 500 pies respectivamente.

Los 2 últimos llamados parámetros principales son los que propiamente determinan el rendimiento de la línea típica de 69 KV., además, el justo equilibrio entre ellos nos permite un económico sistema de protección HASTA QUE PUNTO SE JUSTIFICA ECONOMICAMENTE EL INCREMENTO DEL NIVEL DE AISLAMIENTO DE LA LINEA, YA SEA AUMENTANDO EL NUMERO DE AISLADORES O DISMINUYENDO LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA ? Encontrar este punto - límite es uno de los objetivos de esta tesis, y a el nos dedicaremos exclusivamente en el próximo capítulo.

De las curvas de la Fig. 24 basadas en estudios realizados por Waldorf, se obtiene el probable número de fallas por 100 millas/año y la corriente permisible en la torre y en medio vano.

El trazado de estas curvas se basa en principios o condiciones que es necesario conocerlos para la fiel interpretación de las mismas, Así :

a.- Supone que todos los rayos son interceptados por el cable de guarda y su corriente enviada a tierra.

b.- Asume que todos los arcos de tensión producen fallas en la línea.

Todos los arcos de tensión no producen fallas, sino que es función de la naturaleza y longitud de la trayectoria de arco de la magnitud y forma de onda de la corriente de descarga.

En líneas donde la trayectoria de arco es una combinación de aire, porcelana y madera, el porcentaje de arcos que producen fallas es de 0,35 - 0,50. Tomamos como porcentaje promedio 0,50

c.- Las curvas se basan en un nivel Isokeraúnico de 30.

Para otro nivel Isokeraúnico, las probabilidades de falla varían de manera directa. Por ejemplo, si para un nivel de 30, las curvas señalan 2 probabilidades de fallas por 100 millas/año, una región de nivel 60 tendrá 4 fallas por 100 millas/año.

d.- El cálculo de fallas por descarga en la torre, se basa en factores de acoplamiento que corresponden a 100 pies de altura del cable de guarda y 30 pies de espaciamento entre este y el conductor con mayor voltaje transiente. El conductor con mayor voltaje transiente es el más lejano al cable de guarda, puesto que tiene menor acoplamiento que los más cercanos.

Si la altura del cable de guarda y su distancia con los conductores en la torre es diferente a las indicadas arriba, el número de aisladores a utilizarse por cadena, se multiplica por un factor de corrección y su resultado se aplicará en las curvas de la Fig. 24a, para el cálculo de probabilidades de fallas.

La Fig. 26 da varios factores de corrección para diferentes alturas del cable de guarda y espaciamientos con los conductores en la torre.

Considerando que la altura del cable de guarda varía de acuerdo con la naturaleza del terreno por donde cruza la línea (ver tabla II) asumimos una altura promedio de 10,5 mt. (34,4 pies).

De la Fig. 4 , por simetría tenemos, 3,38 mt. de distancia (11,1 pies) entre el cable de guarda y el conductor más lejano.

Aplicando estos dos valores en la Fig. 26 tenemos un factor de corrección de 1,1

Para condiciones atmosféricas normales, la línea tiene una fuerza aislante mínima de 1.180 KV. (para 4 aisladores) y máxima de 1.420- (para 6 aisladores) equivalentes a 9,3 y 11,3 aisladores respectivamente (ver Cuadro N° 1) que, multiplicados por el factor de corrección 1,1 , obtenemos un equivalente final de 10,2 y 12,4 aisladores para ser aplicados en las curvas de la Fig. 24 a.

e.- Considera que todas las descargas ocurren en la torre o todas en medio vano.

Por este motivo, EL RENDIMIENTO DE LA LINEA ES EL PROMEDIO - DE LAS PROBABILIDADES DE FALLAS EN LA TORRE Y EN EL VANO.

Con estas consideraciones, es posible calcular las fallas en la torre, en el medio vano y el rendimiento de la línea.

PROBABILIDAD DE FALLAS EN MEDIO VANO

Se calcula con las curvas de la Fig. 24 b.

Para los parámetros:

Longitud de vano promedio = 500 pies y

Espacio de medio vano = 9,3 pies

Obtenemos:

Corriente de descarga permisible en medio vano = 85.000 Amperios
que representa el 3 % de las descargas atmosféricas (Ver Fig.32).

Probabilidad de fallas = 1,6 por 100 millas/año.

Tratándose de líneas con aislamiento de madera, sólo el 50 % de los arcos producen fallas.

Así: $1,6 \times 0,5 = 0,8$

Luego:

Probabilidad de fallas = 0,8 por 100 millas/año en medio vano.

PROBABILIDAD DE FALLAS EN LA TORRE

Generalmente el nivel de protección en la torre es menor que el de medio vano, pero, funcionalmente es recomendable que la corriente permisible de torre sea menor que la mitad de la permisible en medio vano, porque, descargas en el vano producirán fallas en la torre.

Luego:

Mínima corriente permisible en la torre = $\frac{85.000}{2} = 42.500$ Amp.,
representa el 14 % de las descargas atmosféricas; de la Fig. 24 a., para conseguir este nivel de aislamiento, la Resistencia de puesta a tierra no debe ser mayor a 85Ω .

Para el cálculo de probabilidad de fallas tenemos una zona de trabajo (sombreada) limitada por la absisa 10,2 y 12,4 aisladores (según literal d) y por la curva correspondiente a 85 ohms.

La corriente permisible y la probabilidad de fallas en la torre - para líneas con 4, 5 y 6 aisladores (equivalente a 10,2 ; 11,3 ; y 12,4 aisladores en su orden) y para diferentes valores de resistencia de pusta a tierra, se dan en la tabla 9.

RENDIMIENTO DE LA LINEA

Según el literal e. , el rendimiento o probabilidad de fallas en la línea, se calcula por el promedio de fallas ocurridas en la torre y en medio vano.

La tabla 10, resume el rendimiento de la línea en función de los datos de la tabla 9, columna B.

El rendimiento obtenido en la tabla 10, columna C, para 4,5 y 6 aisladores se traduce graficamente en las curvas de la Fig. 27.



BIBLIOTECA

ANALISIS COMPARATIVO COSTOS vs. NIVEL DE AISLAMIENTO DE LA LINEA.
CONCLUSIONES DE ORDEN ECONOMICO QUE DEBEN OBSERVARSE PARA LOGRAR -
UN RECOMENDABLE SISTEMA DE PROTECCION CON EL MENOR COSTO.

Diseñada las características físicas de la línea y obtenidas las curvas necesarias que nos permiten calcular el probable número de fallas y el rendimiento de la misma, toca hacer ahora un es tudio económico a partir de estos datos, con el fin de asegurar - un rendimiento satisfactorio con una mínima inversión.

Un determinado nivel de protección se consigue en función de la resistencia de puesta a tierra y del número de aisladores por cadena, pero, este mismo nivel es posible conseguirlo a menor cos to si utilizamos un económico sistema de puesta a tierra.

De las figs. 7 - 13 diseñamos en el Cuadro 3 diferentes valores de resistencia para los sistemas de estacas (varillas) y contrapesos, marcando con una X el sistema más recomendable luego de hacer un paralelo técnico - económico de cada uno de ellos.

Los costos para los sistemas de estacas y contrapesos dados en el Cuadro 3, son tomados en base a los costos unitarios del - Cuadro 2. No se han considerado rubros de carácter general que afectan por igual a los dos métodos, pues, se trata de establecer gastos exclusivos para cada sistema y averiguar cual de ellos demanda menor costo.

Así mismo se ha obviado detalles pequeños que poca influencia tienen en el costo total de la resistencia. Puede observarse que, es el material (ya sean varillas de acero con baño de cobre para las estacas o el cable de acero para los contrapesos) el - que decide fundamentalmente el costo de la resistencia de puesta-

a tierra.

Se notará también que, los sistemas de contrapesos de 1 y 2 alambres, ofrecen los mejores rendimientos económicos. Enterrados a sólo 0,60 mt. facilitan su instalación, mantenimiento y disminuyen el factor de acoplamiento cuando se disponen paralelamente a los conductores de línea. Estas ventajas de carácter económico - y técnico selecciona a los contrapesos como el sistema más ventajoso para la protección de líneas de 69 KV.

El Cuadro 4, totaliza los costos mínimos de aislamiento en la torre para 4, 5, y 6 aisladores por cadena, estos resultados son expresados graficamente en las curvas de la Fig. 28.

El rendimiento económico de la línea contra las descargas atmosféricas se da en la Fig. 29. en cuya absisa se representan los costos mínimos de aislamiento en la torre por concepto de resistencia de puesta a tierra, mas el número de aisladores; y en la ordenada, las fallas de la línea especificadas en la Tabla 10, - columna C.

CONCLUSIONES DE ORDEN TECNICO - ECONOMICO

El factor económico influye decididamente en la selección de los sistemas de puesta a tierra, nivel de aislamiento y en consecuencia en la probabilidad de fallas de la línea, pero también es cierto que, consideraciones técnicas y funcionales sacrifican algunos sures en pro del buen rendimiento de la misma, veamos los puntos más importantes al respecto:

1.- El sistema de contrapesos (especialmente si se compone de 1 y 2 alambres) se prefiere al sistema de estacas o varillas porque garantiza:

- a.- Menor costo.
- b.- Fácil instalación y mantenimiento.
- c.- Mejora el factor de acoplamiento en aproximadamen

un 10 %

d.- Niveles de baja resistencia que no se consiguen hincando varillas normales de 10 pies de longitud.

2.- De la Fig. 28.

a.- Se justifica económicamente disminuir la resistencia de puesta a tierra hasta un nivel de 20 ohms por el poco esfuerzo económico que demanda, por ejemplo, de 100 ohms a 20 ohms (diferencia de 80 ohms.) se invierte sólo \$ 360.²²

b.- No es recomendable bajar la resistencia a niveles menores de 20 ohms, porque los gastos incrementan en forma desproporcionada en relación a la protección que se gana. Así, de 20 ohms a 10 ohms exige un gasto de \$ 528.²² que contrasta negativamente con el literal a.

3.- El diseño de la línea de 69 KV. en función de las disponibilidades económicas, se grafica en las curvas de la Fig. 29. estas nos permiten escoger la magnitud de los parámetros principales, resistencia de puesta a tierra y número de aisladores por cadena para un determinado número de fallas (rendimiento)

Según estas curvas, para un RENDIMIENTO PRE - FIJADO, - LOS COSTOS DE AISLAMIENTO EN LA TORRE SE REDUCEN BAJANDO EL NUMERO DE AISLADORES Y EL VALOR DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA, por ejemplo, para 2 fallas tenemos:

<u>Nº Aisladores</u>	<u>Resistencia</u>	<u>Costos</u>
6	56 ohms.	\$ 920
5	50 "	801
4	44 "	700

De acuerdo a estas curvas, no es recomendable un diseño

de línea con un rendimiento menor a 0,8 , pues resulta oneroso conseguir un rendimiento menor en relación a la pequeña ganancia funcional que se obtiene.

C A P I T U L O V

CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES.- APENDICE.- CUADROS ESTADISTICOS.- TABLAS.-

Para una interpretación más objetiva del método empleado en proteger la línea de 69 KV. contra las descargas atmosféricas, es necesario hacer un breve análisis de las características que rodean al tema - y de la forma como estas influyen en el diseño y cálculo de fallas - de la línea.

Decíamos en los capítulos iniciales que el rayo es un fenómeno imprevisto y no reproducible en el laboratorio; las teorías que explican el proceso de carga y descarga no satisfacen totalmente. Las magnitudes características del rayo, como la intensidad de corriente y voltaje son fundamentales para el nivel de protección de las líneas pero el conocimiento de estas, tiene una serie de dificultades que le da un carácter probabilístico. Así, una línea se diseña para soportar la descarga de un rayo de valores de tensión, corriente y duración determinados, pero no excluye la posibilidad de que esta misma línea tenga que recibir descargas de características distintas a las previstas; por esta razón, es necesario aceptar el concepto de que EL CALCULO DEL NUMERO DE FALLAS EN UNA LINEA DE TRANSMISION, NO ES MATEMATICAMENTE EXACTO SINO PROBABILISTICO.

La intención del autor en el desarrollo de esta tesis, es hacer factible el montaje de líneas de transmisión de 69 KV. en cualquier lugar del Ecuador, empleando los sistemas de protección aquí desarrollados, para lo cual, se deberán aplicar las características físicas geográficas y atmosféricas propias de esa región a los factores de diseño de la línea que se proyecta.

En el cálculo de flechas, altura y separación de conductores hemos asumido valores promedios de acuerdo a la realidad de nuestro me

dio; siendo el Ecuador un país de pequeños contrastes geográficos- cualquier ligera modificación de los valores promedios respecto a- temperatura, viento, carga liviana de conductores, ángulo de 30° - (estos datos nos sirven para el cálculo de flechas, altura y sepa ración de conductores) no afectará el rendimiento previsto de la- línea.

La resistividad del terreno se ha considerado de acuerdo a la naturaleza del mismo, pero creemos que es necesario tener medidas- precisas de ellas en todo el país, porque es precisamente este de- talle el que influirá en gran parte en la ruta de la línea.

No hemos calculado la resistencia mecánica de la torre, sin - embargo, si esta debe ser aumentada, planteamos la alternativa de- emplear torres tipo H con dos brazos en X.

La caída del rayo es un fenómeno eventual, pero es necesario- que la línea se mantenga en buenas condiciones físicas para garan- tizarle un buen funcionamiento en cuanto a su protección se refiere.

El rendimiento de la línea mejora en gran porcentaje con un - buen mantenimiento, así, el lavado periódico de los aisladores y re visiones de la resistencia de puesta a tierra disminuirán la posibi lidad de fallas en la línea.

A N E X O S

ANEXO 1.-

CALCULO DEL ANGULO θ_1 PARA CONDUCTOR N° 1 / 0.

$$W_v = 0,146 \text{ lb/pie}$$

$$D = 0,393 \text{ pulg.}$$

$$W_h = \frac{p}{12} \cdot D = \frac{9 \times 0,393}{12} = 0,295 \text{ lb/pie.}$$

W_i = Peso de cadena de 5 aisladores = 58 lb. reemplazando estos valores en (1) tenemos.

$$\tan \theta = \frac{H \times W_h}{V W_v + \frac{1}{2} W_i} = \frac{500 \times 0,295}{500 \times 0,146 + \frac{1}{2} 58}$$

$$\tan \theta = 1,44 \quad \underline{\theta_1 = 55,2^\circ}$$

0

ANEXO 1 a .-

CALCULO DEL ANGULO θ_2 PARA CONDUCTOR N° 2

$$W_v = 0,915 \text{ lb/pie}$$

$$D = 0,315 \text{ pulg.}$$

$$W_h = \frac{9 \times 0,315}{12} = 0,236 \text{ lb / pie.}$$

W_i = 58 lb para 5 aisladores.

$$\tan \theta = \frac{500 \times 0,236}{500 \times 0,915 + \frac{1}{2} \times 58} = 1,57 \quad \underline{\theta_2 = 57,4^\circ}$$

La diferencia entre θ_1 y θ_2 es tan pequeña que no afecta los valores de la tensión de arco, por esto, para el desplazamiento horizontal X entre conductores, tomamos como valor fijo el que corresponde al conductor N° 1/0.

ANEXO 2.-

CALCULO DE LAS DISTANCIAS \underline{X} y \underline{Y}

$Y' =$ Longitud de la cadena de 5 aisladores tipo $10 \times 5 \frac{3}{4}'' = 0,79$ mt. $= B$

$\theta = 55,2^\circ$

Aplicando la ley del coseno:

$$z^2 = Y'^2 + B^2 - 2Y'B \cos \theta$$

$$z^2 = (0,79)^2 + (0,79)^2 - 2(0,79)^2(0,57)$$

Resolviendo

$$z = 0,73 \text{ mt.}$$

Aplicando la ley del seno para encontrar β tenemos:

$$\frac{B}{\sin \beta} = \frac{z}{\sin \theta}$$

$$\sin \beta = \frac{B \times \sin \theta}{z}$$

$$\sin \beta = \frac{0,79 \times 0,82}{0,73} = 0,888$$

$$\beta = 62,5^\circ$$

$$\alpha = 90^\circ - \beta$$

$$\alpha = 27,5^\circ$$

Luego el desplazamiento horizontal de \underline{X} será:

$$X = z \cos \alpha$$

$$X = 0,73 \times 0,888$$

$$\underline{X = 0,65 \text{ mt.}}$$

Cálculo de \underline{Y} .

$$\delta = 90^\circ - \theta$$

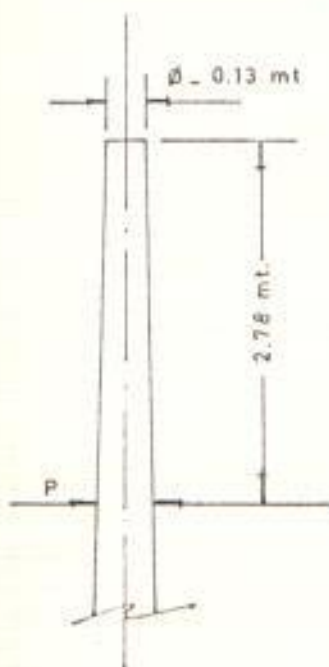
$$\delta = 34,8^\circ$$

$$\sin \delta = \frac{Y}{B} \quad \text{?} \quad Y = B \sin \delta = 0,79 \times 0,57$$

$$\underline{Y = 0,45 \text{ mt.}}$$

CALCULO DE P

Tenemos en el mercado postes de hormigón centrifugado de manufactura nacional y que satisfacen las necesidades técnicas requere



ridas en el diseño de torres tipo H. Calculamos entonces P con las propias medidas de estos postes.

Diámetro superior = 13 cm.
Conicidad = 1,5 cm/mt.

A 2,78 mt, de la cima del poste, está el plano de separación horizontal de conductores de fase y a este nivel P debe ser calculado.

$$P = (1,5 \times 2,78) + 13 = 17,17 \text{ cm.}$$

$$\underline{P = 17,17 \text{ cm.}}$$



BIBLIOTECA

TABLA 1¹
LINEAS DE TRANSMISION DE 69 KV.

LINEAS	ESPACIO EN TRE CONDUCTORES. MT.	CONDUCTOR. CALIBRE.	VANO NORMAL. MT.	VANO MAXIMO. MT.
CENTRAL GEORGIA	3.96	3/0	152	290
CITY OF WINNIPEG.	2.59	278.600	122	335
MANITOBA POWER	2.13	1/0	152	204
PENNA POWER	4.57	4/0	152	457
PENNA PUBLISHING	4.57	4 0	300	760
PENNA WATER.	457	300.000	152	335

1. coyne. electricidad práctica y aplicada. tomo 32, pag. 414

TABLA 2²

MINIMO ESPACIO LIBRE RECOMENDADO EN
PIES SOBRE LA TIERRA O RIELES.

(120°F, SIN VIENTO, FLECHA FINAL PARA CONDUCTOR CON 50%
DE RESISTENCIA DE ROTURA.)

NATURALEZA DEL SUELO.	KV.		
	69	115	138
RIELES	33	35	35
CALLES PUBLICAS Y CARRE- TERAS.	26	28	28
AREA ACCESIBLE SOLO PA- RA PEATONES.	20	22	23
CAMPOS CULTIVADOS.	21	23	24
DISTRITOS CULTIVADOS.	23	25	26

2. REA. tabla 1-II

TABLA 3¹

PRESION BAROMETRICA STANDART CO-
MO UNA FUNCION DE LA ALTURA.

ALTURA PIES	PRESION PULG. DE HG.	ALTURA PIES	PRESION PULG. DE HG.
-1.000	31.02	4.000	25.64
- 500	30.47	5.000	24.89
		6.000	23.98
0	29.92	8.000	22.22
1.000	28.86	10.000	20.58
2.000	27.82	15.000	16.88
3.000	26.81	20.000	13.75

1. electrical transmission and distribution, westinghouse, pag. 56.

2. " " " " " " 580

TABLA 4²

RESISTIVIDAD DEL TERRENO

MATERIAL	Ω -METRO	Ω -PIE	Ω -CMT
AGUA SALADA	0.01 - 1.0	0.0328 - 3.28	1.0 - 100
SUELO PANTANOSO	10 - 100	32.8 - 328	$10^3 - 10^4$
SUELO SECO	10^4	3280	10^5
SUELO ARENOSO	10^8	3.28×10^8	10^{10}
PROMEDIO GENERAL	100	328	10^4

TABLA 5

NUMERO DE AISLADORES DE SUSPEN
SION EN CADENA PARA DIFERENTES -
VOLTAGES.

K V.	AISLADORES / CADENA	
	ESTRUCT. MADERA	ESTRUCT. ACERO.
69	3-8	3-10
110	6-11	5-8
132	8-11	8-12
220	13-20	13-24

TABLA 6

RACTERICAS ELECTRICAS DE AISLADORES DE SUSPENSION.
ORES BASADOS EN PRUEBAS DE ACUERDO A ASA STANDART C.29.1

10 x 5 3/4" TIPO NORMAL

10 x 5 3/4" TIPO NIEBLA.

KV. DE TENSION DE ARCO. 60 C/S		IMPULSO CRITICO KV. 1 1/2 x 40 u. seg.	
SECO	HUMEDO	POSITIVO	NEGATIVO
80	50	125	130
155	90	255	255
215	130	355	345
270	170	440	415
325	215	525	495
380	255	610	585
435	295	695	670
485	335	780	760
540	375	860	845
590	415	945	930

N° DE AISLA-DORES.	KV. DE TENSION DE ARCO. 60 C/S		IMPULSO CRITICO KV. 1 1/2 x 40 u. seg.	
	SECO	HUMEDO	POSITIVO	NEGATIVO
1	100	60	195	180
2	170	105	315	280
3	230	145	410	360
4	285	185	500	430
5	340	225	585	515
6	390	265	665	605
7	445	300	750	690
8	495	340	830	775
9	545	380	910	860
10	595	420	985	945

TABLA 7
 CARACTERISTICAS MECANICAS DE AISLADORES DE SUSPENSION DE 10x5 3/4"

SECCION LONGITUDINAL PULG.	DIAMETRO DISCO DE PORCELANA. PULG.	RESIST. MECANICA. ELECT. COMBINADAS. LBS.	MAXIMA CARGA SOSTENIDA RECOMENDABLE. LB
5 3/4"	10	18.000	9.000

TABLA 8¹
 LONGITUD Y PESO DE CADENA DE AISLADORES DE SUSPENSION DE 10 x 5 3/4"

NE AISLADORES POR CADENA.	LONGITUD DE LA CADENA. CM.	PESO DE LA CADENA. LBS.
1	20.3	18
2	34.9	28
3	49.5	38
4	64.1	48
5	78.7	58
6	93.3	68
7	107.9	78
8	122.5	88
9	137.1	98
10	152.0	108

CUADRO 1.

FUERZA AISLANTE DE LA LINEA, PARA 4 TRAYECTORIAS DE ARCO.

TRAYECTORIA QUE SIGUE EL ARCO	AISLADORES		AIRE		MADERA		TENSION DE ARCO TOTAL	NUMERO EQUIVALENTE DE AISLADORES
	Nº	KV.	LONG. PULG.	KV.	LONG. PIES.	KV.	KV.	
- AIRE - POSICION NORMAL (VERTICAL) DE CONDUCTORES.	—	—	63,4	1.540	—	—	1.540	12,5
- AISLADOR + MADERA - POSICION NORMAL DE CONDUCTORES	4						1.180	9,3
	5	680			5,28	620	1.300	10,3
	6						1.420	11,3
- AIRE - CONDUCTOR EN SU MAXIMO DESPLAZAMIENTO.			37,8	950			950	7,4
- AIRE + MADERA - CONDUCTOR EN SU MAXIMO DESPLAZAMIENTO.			17,7	470	9,15	330	800	6

RESUMIENDO: la fuerza (nivel) aislante de la linea será:

condiciones desfavorables (fuertes vientos): 800 KV.

condiciones atmosféricas normales: 1.300 KV.

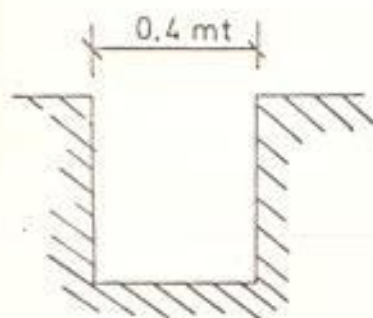
C U A D R O 2

COSTOS UNITARIOS DE MATERIALES E INSTALACION DE DISPERSORES
PARA LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

SISTEMA	MATERIAL	DIAMETRO PULG.	COSTO UNI- TARIO S/.
ESTACA	acero con baño de cobre	3/4	5,30
CONTRAPESO	acero galvanizado	3/8	4,00

POZO PARA LA INSTALACION DE ESTACAS O VARTILLAS

CARACTERISTICAS UNITARIAS.-



COSTOS

Excavación.....	S/ 8,00 / m ³
Relleno	4,00 "
Bonificación .30 %...	2,40 "
TOTAL.....	S/ 14,40 / m ³

Diámetro.....	0,40 mt.
Profundidad	1,00 "
Area	0,126 mt ²
Volumen	0,126 mt ³

Para el pozo tipo UNITARIO tenemos:

$0,126 \text{ mt}^3 \times S/ 14,40 = S/ 1,81$ por metro lineal de profundidad.

= S/ 0,55 por pie lineal de profundidad.

C U A D R O 2 (continuación)

ZANJAS PARA LA INSTALACION DE CONTRAPESOS.

CARACTERISTICAS UNITARIAS.-

Ancho 0,30 mt.

Profundidad 0,60 "

COSTOS (para estas medidas unitarias)

Excavación \$ 3,00 por metro lineal

Relleno 50 % " 1,50 " "

Bonificación 30 % . " 1,00 " "

TOTAL..... \$ 5,50 " "

Para la zanja tipo UNITARIO tenemos :

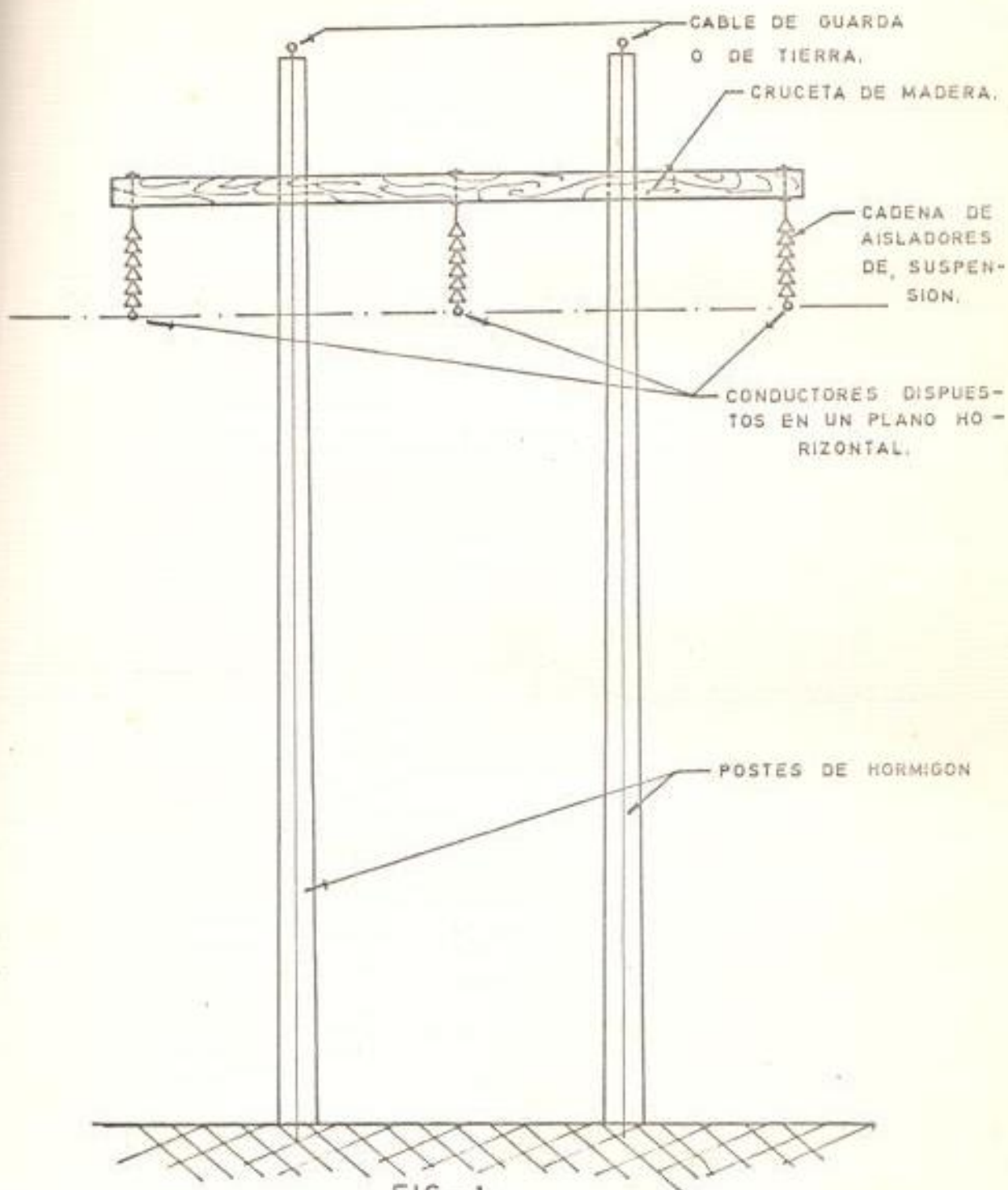
\$ 5,50 por metro lineal; equivalente a :

\$ 1,70 por pie lineal.

AISLADORES DE SUSPENSION DE 10" x 5 3/4" Unidad ... \$ 42,00

NOTA.- Los precios estimados para material de varillas y contrapesos, más aisladores y accesorios son libres de impuestos arancelarios y actualizados a la fecha que se desarrolla esta tesis.

Para los costos de pozos y zanjas, se han considerado valores usuales de nuestro medio, aumentados en un 30 % de bonificación - por concepto de transporte de personal, materiales y varios.



ESTRUCTURA TIPO H CON DISPOSICION
 HORIZONTAL DE CONDUCTORES.

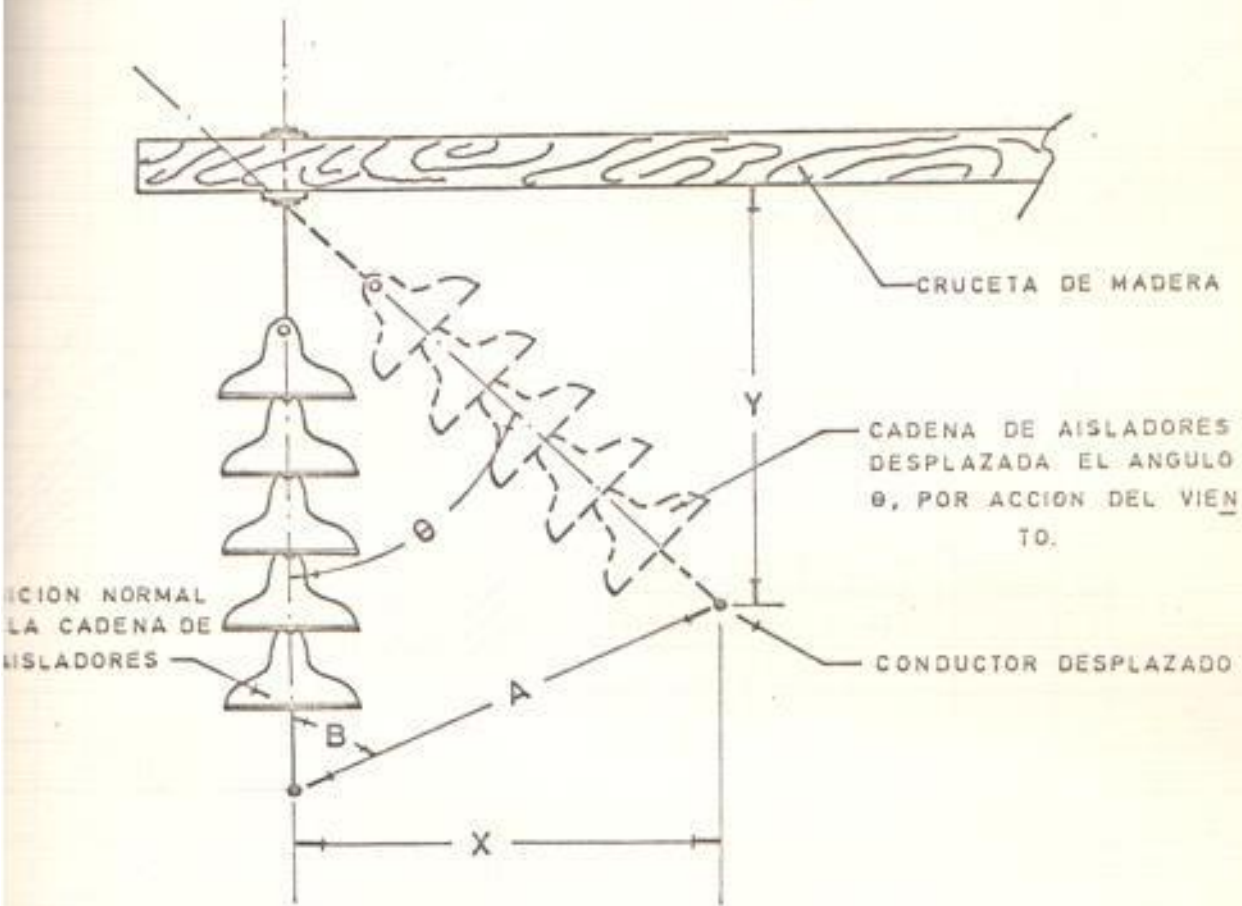


FIG.- 2

ANGULO DE GIRO θ DE LA CADENA DE AISLADORES DE SUSPENSION.

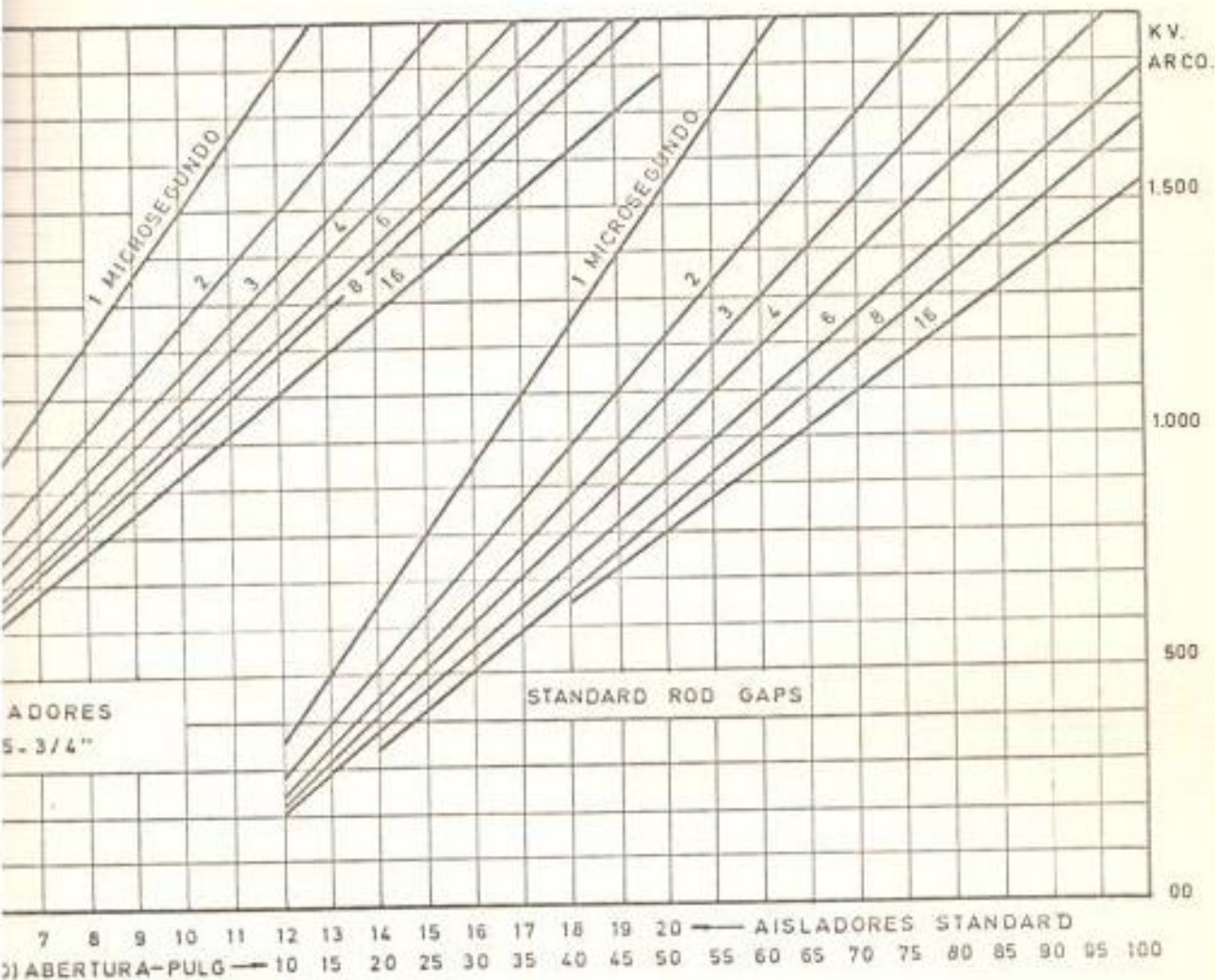


FIG. 31

CARACTERISTICAS DE AISLADORES Y ABERTURAS VALORES
 CORREGIDAS EN ONDAS POSITIVAS DE 1 1/2 x 40 Y CORREGIDAS
 PARA CONDICIONES ATMOSFERICAS STANDARD.

FIG. 5 PAG. 583 WESTINGHOUSE.

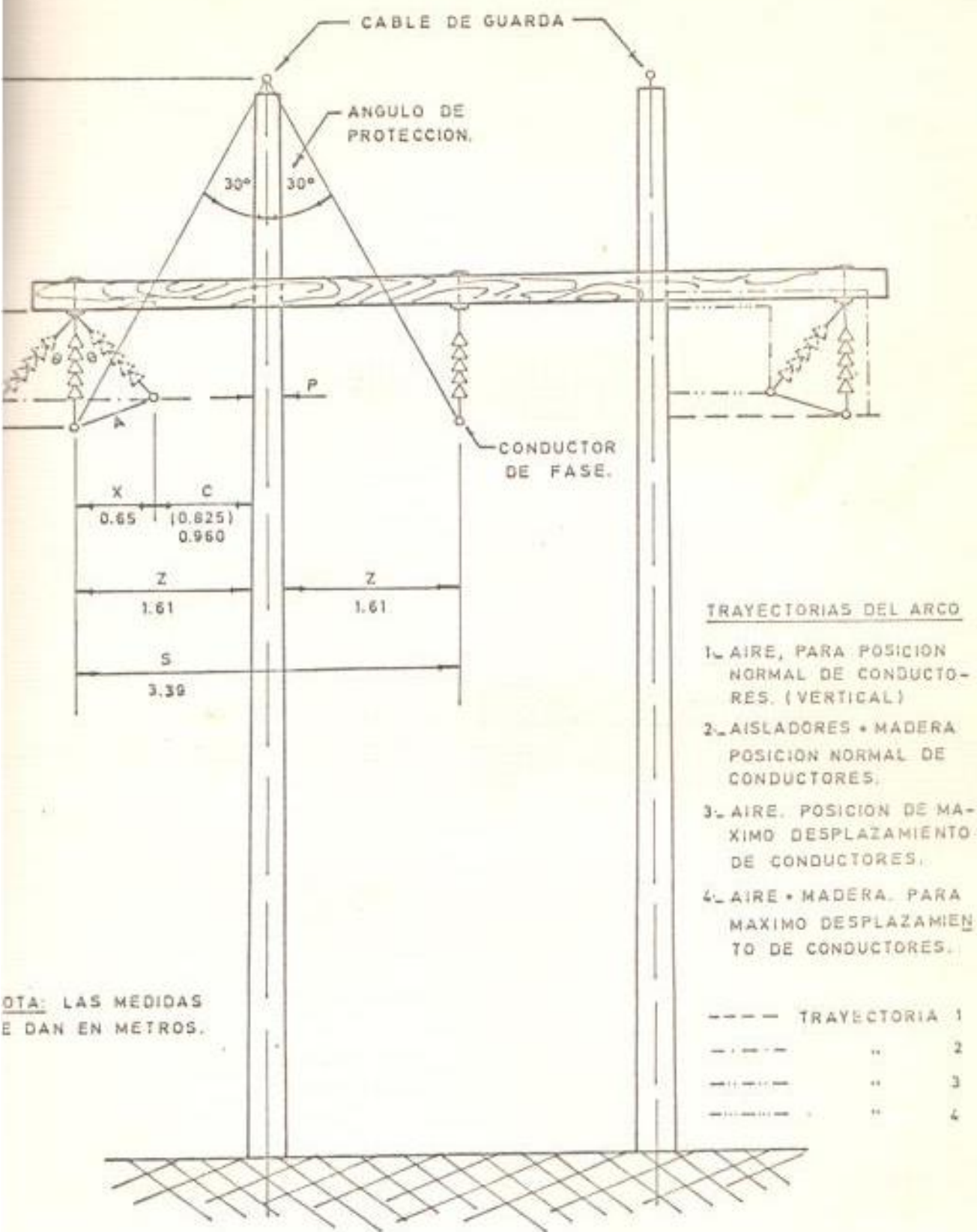


FIG. 4

DISEÑO DE LA TORRE Y DISPOSICION DE CONDUCTORES EN TORRE TIPO H.

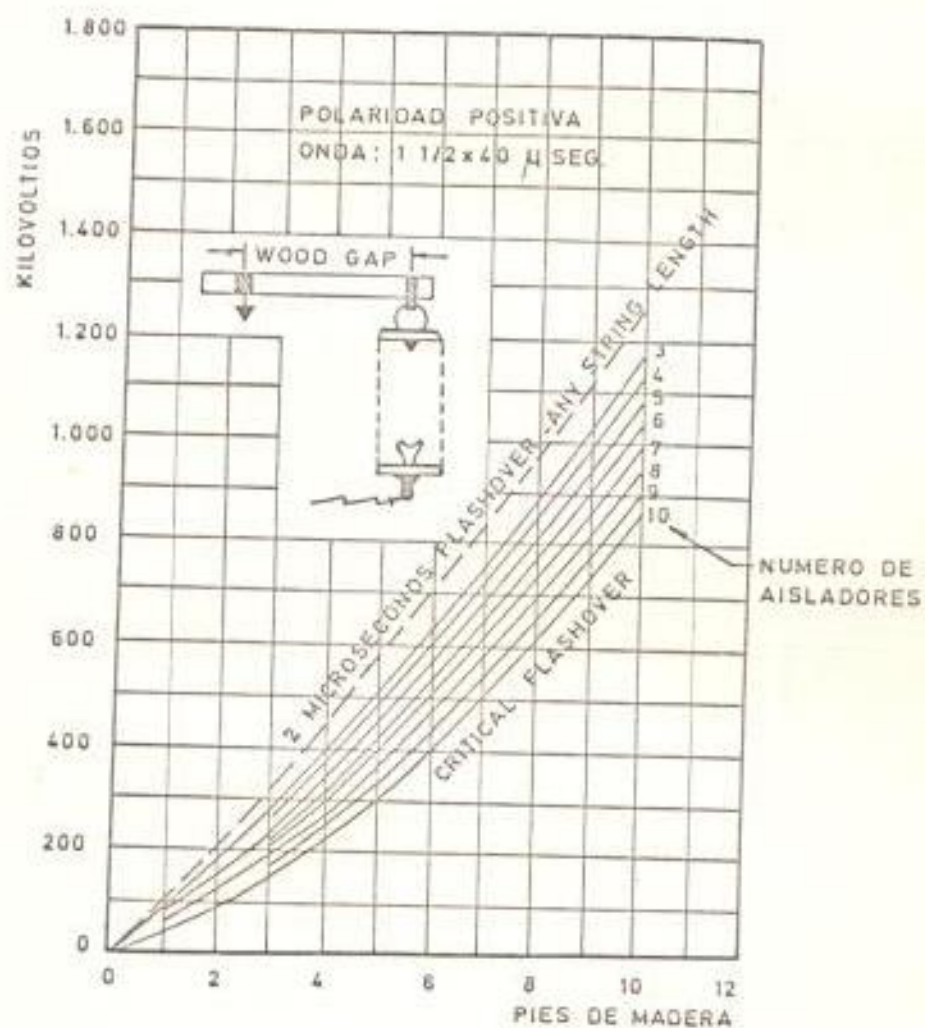


FIG. 51

IMPULSO DE AISLAMIENTO SUMADO A LA CADENA DE AISLADORES DE SUSPENSION PARA CRUCETAS DE MADERA.

1.- FIG. 11 PAG. 586. WESTINGHOUSE.

BIBLIOGRAFIA

- ELECTRICAL TRANSMISSION AND DISTRIBUTION REFERENCE BOOK
Westinghouse
- MANUAL " STANDARD " DEL INGENIERO ELECTRICISTA
A.E. Knowlton
- CENTRALES ELECTRICAS
F.T. Morse
- ELEMENTS OF POWER SYSTEM ANALYSIS
William D. Stevenson Jr.
- REA (Rural Electrification Administration)
- TRANSMISSION LINES AND NETWORKS
Johnson
- PARARRAYOS
R. Casagrande - C. Clerici
- ESTACIONES TRANSFORMADORAS Y DE DISTRIBUCION
Gaudencio Zoppetti

Ingreso Agosto 27/40. Donación hecha por el autor

Hoja 0323

Núm. 2985

Valor \$ 100,00



BIBLIOTECA