

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

NORMAS TECNICAS PARA EL CALCULO Y CONSTRUCCION  
DE LINEAS ELECTRICAS AEREAS

Carlos Andrade Faini

Quito - Ecuador

Octubre 1966

Certifico:

Que el presente trabajo, "Normas Técnicas para el Cálculo y Construcción de Líneas Eléctricas Aéreas" ha sido elaborado por el señor Carlos Andrade Faini.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "H. Placencia", is written over a horizontal line.

Ing. Honorato Placencia  
Consultor de Tesis

Dedicatoria:

A mi esposa Señora Doña Julia González de Andrade y  
a mis hijas Patricia y Cinthia, a quienes tanto debo.

## INDICE DE MATERIAS

	Pág.
<u>Introducción</u> . . . . .	I
A) Ley Básica de Electrificación . . . . .	II
B) Objetivos y Finalidades . . . . .	IV
<u>Reglamentos</u> . . . . .	VII
A) Necesidad de la normalización . . . . .	VIII
B) Disposiciones generales de los reglamentos . . . . .	X
C) Alcance de las normas . . . . .	XII
<u>Generalidades</u> . . . . .	XIV
A) Sistema de transmisión . . . . .	XIV
B) Sistema de distribución . . . . .	XVII
C) Estaciones de transformación . . . . .	XXI
<u>Capítulo 1 : Alcance de las Normas</u> . . . . .	1 - 1
1.1.- Validez . . . . .	1 - 2
1.2.- Contenido . . . . .	1 - 2
1.3.- Ambito de aplicación . . . . .	1 - 2
1.4.- Explicación de los términos . . . . .	1 - 2
<u>Capítulo 2 : Elección de la Tensión</u> . . . . .	2 - 1
2.1.- Sistemas de uso común . . . . .	2 - 2
2.2.- Elección de la tensión . . . . .	2 - 2
2.2.1.- Sistemas de distribución . . . . .	2 - 2
2.2.2.- Sistemas de transmisión . . . . .	2 - 9



2.3.- Categorías de las líneas . . . . .	2 - 14
<u>Capítulo 3 : Conductores</u> . . . . .	3 - 1
3.1.- Naturaleza de los conductores . . . . .	3 - 2
3.2.- Materiales empleados como conductores . . . . .	3 - 3
3.3.- Galgas de los conductores . . . . .	3 - 4
3.3.1.- Mil . . . . .	3 - 5
3.3.2.- Círcular mil . . . . .	3 - 5
3.3.3.- American Wire Gage . . . . .	3 - 5
3.3.4.- Designación de las dimensiones de los conductores . . . . .	3 - 7
3.4.- Conductores de cobre . . . . .	3 - 8
3.4.1.- Hilos de cobre . . . . .	3 - 8
3.4.2.- Cables de cobre . . . . .	3 - 12
3.5.- Conductores de aluminio . . . . .	3 - 16
3.5.1.- Hilos de aluminio . . . . .	3 - 16
3.5.2.- Cables de aluminio . . . . .	3 - 21
3.5.3.- Comparación económica entre aluminio y cobre .	3 - 24
3.6.- Conductores de acero (hierro) . . . . .	3 - 26
3.6.1.- Estadísticas sobre el empleo de hierro y acero en conductores . . . . .	3 - 31
3.7.- Conductores de aluminio-acero . . . . .	3 - 32
3.7.1.- Estadística del empleo del cable de aluminio-acero . . . . .	3 - 34
3.7.2.- Características del cable aluminio-acero . . .	3 - 35

	Pág.
3.7.3.- Comparación económica entre aluminio-acero y cobre . . . . .	3 - 41
3.8.- Conductores de otros tipos . . . . .	3 - 41
3.8.1.- Conductores de aldreya (almelec) . . . . .	3 - 41
3.8.2.- Conductores del multimetal . . . . .	3 - 43
3.8.3.- Conductores huecos . . . . .	3 - 44
<u>Capítulo 4 : Empalmes de conductores</u> . . . . .	4 - 1
4.1.- Conexiones aluminio-cobre . . . . .	4 - 4
4.2.- Acometidas . . . . .	4 - 5
4.3.- Normalización . . . . .	4 - 8
<u>Capítulo 5 : Hipótesis de Sobrecarga para el cálculo mecánico de conductores</u> . . . . .	5 - 1
5.1.- Acciones debidas al viento . . . . .	5 - 2
5.2.- Acciones debidas a las variaciones de temperatura . . . . .	5 - 10
<u>Capítulo 6 : Cable de Protección o de Tierra, o Hilo de Guarda</u> . . . . .	6 - 1
6.1.- Estadística sobre la eficacia del cable de tierra . . . . .	6 - 4
6.2.- Ejemplo práctico para escoger el hilo de guardia . . . . .	6 - 7
6.3.- Sugerencia . . . . .	6 - 9
6.4.- Conclusiones y normalización . . . . .	6 - 10

	Pág.
<u>Capítulo 7 : Toma de Tierra</u> . . . . .	7 - 1
7.1.- Puesta a tierra de los apoyos . . . . .	7 - 3
7.2.- Medida de la resistencia de tierra . . . . .	7 - 6
7.3.- Normalización . . . . .	7 - 8
<u>Capítulo 8 : Distancias Mínimas entre los</u>	
<u>Elementos de la Línea</u> . . . . .	8 - 1
8.1.- Desplazamiento de los conductores . . . . .	8 - 2
8.2.- Distancia a masa . . . . .	8 - 5
8.3.- Distancia entre fases . . . . .	8 - 9
8.4.- Distancia entre conductores e hilos	
de guardia . . . . .	8 - 12
8.5.- Distancia desde los conductores al suelo . . . . .	8 - 16
8.6.- Normas de diferentes países . . . . .	8 - 17
8.7.- Normalización . . . . .	8 - 31
<u>Capítulo 9 : Apoyos</u> . . . . .	9 - 1
9.1.- Clases de apoyos y normalización . . . . .	9 - 2
9.1.1.- Apoyos de madera . . . . .	9 - 3
9.1.2.- Apoyos de hormigón armado . . . . .	9 - 4
9.1.3.- Apoyos de hierro o acero . . . . .	9 - 5
9.2.- Clasificación de los apoyos y normalización . . . . .	9 - 9
<u>Capítulo 10 : Hipótesis para el cálculo de los apo-</u>	
<u>yos y cimentación de los mismos</u> . . . . .	10 - 1

	Pág.
<u>Capítulo 11 : Cruzamientos, Paralelismos, Cercanías</u> . . .	11 - 1
11.1.- Cruzamientos y paralelismos con líneas de Telecomunicación . . . . .	11 - 2
11.1.1.- Transposición de fases . . . . .	11 - 4
11.1.2.- Ejemplo de la tensión inducida en una línea de Telecomunicación . . . . .	11 - 6
11.1.3.- Molestias debidas a los ruidos de fondo . . . . .	11 - 9
11.1.4.- Conclusiones y normalización . . . . .	11 - 12
11.2.- Paralelismos y cruces con carreteras, ferrocarriles, vías fluviales, con otras líneas de transporte de energía eléctrica, etcétera . . . . .	11 - 15
<u>Capítulo 12 : Subestaciones, Estaciones de Transformación y Diversas Instalaciones. Reglamento en Consideración</u> . . . . .	12 - 1
<u>Capítulo 13 : Explotación de las Líneas</u> . . . . .	13 - 1
13.1.- Operación o maniobra . . . . .	13 - 2
13.2.- Jefe de Explotación . . . . .	13 - 2
13.3.- Cuaderno relatorio . . . . .	13 - 3
13.4.- Equipos de personal para emergencias . . . . .	13 - 4
13.5.- Reparaciones o recambios . . . . .	13 - 5
13.6.- Inspección periódica . . . . .	13 - 6
13.7.- Inspección de aisladores . . . . .	13 - 8

<u>Capítulo 14 : Proximidad a Polvorines, Fábricas de Explosivos, Conducciones de Gas y lugares peligrosos</u> . . . .	14 - 1
<u>Capítulo 15 : Aplicación de las Presentes Normas</u> . . . .	15 - 1
15.1.- Comité Consultor de las Normas . . . . .	15 - 2
15.2.- Normalización . . . . .	15 - 4
Bibliografía . . . . .	i
Reglamento para el Cálculo y Construcción de Líneas Eléctricas Aéreas . . . . .	1

## INDICE DE ANEXOS

Pág.

### Capítulo 3

Anexo N° 3.1 A : Galgas para conductores, diámetro y sección de los hilos de cobre . . . . .	3 - 52A
Anexo N° 3.1 : Efecto Corona . . . . .	3 - 53
Anexo N° 3.2 : Vibraciones de los conductores . . . . .	3 - 63

### Capítulo 5

Anexo N° 5.1 : Valores anuales de velocidad del viento, año 1962 . . . . .	5 - 15
Anexo N° 5.2 : Valores anuales de velocidad del viento, año 1963 . . . . .	5 - 18
Anexo N° 5.3 : Valores anuales de velocidad del viento, año 1964 . . . . .	5 - 22
Anexo N° 5.3 A : Red de estaciones meteorológicas de la República del Ecuador . . . . .	5 - 27
Anexo N° 5.3 B : Frecuencia relativa anual % de la dirección del viento en superficie . . . . .	5 - 28
Anexo N° 5.4 : Valores anuales de temperatura, año 1959 . . . . .	5 - 29
Anexo N° 5.5 : Valores anuales de temperatura, año 1964 . . . . .	5 - 31

	Pág.
Anexo N° 5.6 : Valores anuales de temperatura, año 1963 . . . . .	5 - 37
Anexo N° 5.7 : Valores anuales de temperatura, año 1962 . . . . .	5 - 42
Anexo N° 5.8 : Valores anuales de temperatura, año 1961 . . . . .	5 - 45
Anexo N° 5.9 : Valores anuales de temperatura, año 1960 . . . . .	5 - 47

Capítulo 11

Anexo N° 11.1 : Reglamentos de varios países respecto a cruzamientos y paralelismos de lí- neas de Telecomunicación con líneas eléctricas . . . . .	11 - 20
--	---------

## INTRODUCCION

- A) Ley básica de electrificación.
- B) Objetivos y Finalidades.

## REGLAMENTOS

- A) Necesidad de la normalización.
- B) Disposiciones generales de los reglamentos.
- C) Alcance de las Normas.

## GENERALIDADES

- A) Sistema de transmisión.
- B) Sistema de distribución.
- C) Estaciones de transformación.



I N T R O D U C I O NA) LEY BASICA DE ELECTRIFICACION.-

El 31 de Mayo de 1.961 se publicó la Ley Básica de -  
Electrificación, en el Boletín N° 227 del Registro Oficial de la  
República del Ecuador; en esta Ley se declara obra de carácter na-  
cional y de responsabilidad del Gobierno la planificación, ejecu-  
ción y control de la electrificación del País.

La Ley asigna específicamente al Ministerio de Fomen-  
to la obligación de fomentar la electrificación del país; regla--  
mentar el uso y aprovechamiento de los recursos energéticos, in--  
ventariar los recursos hidráulicos para fines de regadío y produ-  
cción de energía; coordinar los esfuerzos públicos y privados de -  
electrificación, para obtener los mejores rendimientos económicos;  
y promover la constitución de empresas públicas, privadas y mixtas  
con fines de electrificación.

Para que el Ministerio de Fomento dé cumplimiento a -  
estas disposiciones se crearon por la misma Ley, la Dirección Ge-  
neral de Recursos Hidráulicos y Electrificación y el Instituto -  
Ecuatoriano de Electrificación.

Entre las atribuciones y deberes de la Dirección Gene-  
ral de Recursos Hidráulicos y Electrificación consta la de Redac-  
tar el Reglamento Nacional de Concesiones para la Generación de -  
Energía Eléctrica y de Fuerza Motriz, el Reglamento para el con--  
trol de Materiales y Equipos Eléctricos, el Reglamento Nacional -

de Técnicos e Instaladores Autorizados, así como también todos -  
aquellos que fueren necesarios para regular las instalaciones --  
eléctricas del país, los que para entrar en vigencia serán aproba-  
dos por el Ministro de Fomento.

Posteriormente, el 20 de Noviembre de 1.964 se publi-  
có en el Boletín N° 378 del Registro Oficial, el decreto N° 2681,  
por el cual se reestructuran los ministerios de Comercio y Banca  
y de Fomento que se denominarán de Industrias y Comercio y de --  
Agricultura y Ganadería, respectivamente, en el Artículo 3°, Nume-  
ral M, se considera como dependencia del Ministerio de Industrias  
y Comercio, a la Dirección de Recursos Energéticos, que será el -  
organismo encargado del cumplimiento de la Ley Básica de Electri-  
ficación en la parte pertinente a la Dirección de Recursos Hidrául-  
licos y Electrificación.

Como puede observarse, la Ley tiene por objeto encau-  
sar de manera definitiva el uso de la electricidad y llenar una -  
necesidad imperiosa pues el Ecuador ha llegado a un grado tal de  
desarrollo que los sistemas y criterios que se han empleado para  
planear y realizar sus obras de electrificación no son ya adecua-  
dos para enfrentar los problemas actuales y las necesidades futu-  
ras. El servicio eléctrico generalmente ha sido responsabilidad -  
de los Municipios, entidades de muy limitados recursos económicos  
que, con grandes sacrificios solo ha podido establecer sistemas -  
eléctricos locales, totalmente antieconómicos e insuficientes en  
la mayor parte de los casos, para afrontar y promover el progreso

industrial y económico del país.

Siendo la electricidad uno de los elementos básicos - de la vida nacional; ya era hora de que se abandone el criterio - localista con el cual se han planeado las obras y de que el Estado se preocupe de prever la disponibilidad permanente de energía eléctrica en cualquier lugar de la República, regulando y reglamentando las condiciones básicas de producción, transmisión, distribución y utilización de energía con la idea de estimular su expansión, mejoramiento y seguridad del personal encargado de la explotación; por lo tanto, creo que este estudio ayudará a llenar - uno de los muchos vacíos que soporta el Ecuador en materia de -- electrificación.

#### B) OBJETIVOS Y FINALIDADES.-

El Objeto general de las "Normas Técnicas", es indicar las disposiciones a adoptarse para evitar o reducir las acciones perjudiciales derivadas del uso de la energía eléctrica. Estas acciones se manifiestan en forma de peligros a que están expuestas las personas e instalaciones y que consisten en choques acústicos a que pueden estar sometidos los operadores y usuarios, choques eléctricos que pueden afectar al personal en contacto con las líneas e instalaciones, y averías e incendios de cables, edificios y otros lugares. Además, dentro del aspecto técnico, tienen como objetivo el unificar los criterios de diseño tendientes a estandarizar el equipo, haciendo posible la intercambiabilidad

de partes con otros sistemas; en suma, aportar orden y método en la planificación y construcción de líneas eléctricas.

Hay que hacer notar también, que el objeto al presentar este informe no es el de discutir los resultados obtenidos en otros países ni de añadir nuevos datos a la cuestión, sino tan sólo dar a conocer a los ingenieros y personas conocedoras de la materia una posible reglamentación que esté de acuerdo con las realidades del país, esperando así aportar una modesta colaboración a la obra común.

Se ofrece estos estudios con los escrúpulos propios del autor que tiene el convencimiento previo de que su obra es in completa. Sé efectivamente, que la presente adolece de deficiencias y que la crítica en un plano, no ya de severidad, sino de simple exigencia, ha de hallar más de un motivo para acusarla de incompleta.

Sin embargo con esta obra no se pretende inventar ni descubrir nada sobre la industria eléctrica, ni al redactarla se ha perseguido otro objeto que realizar una labor útil, tanto a los propietarios de las grandes instalaciones eléctricas como a las empresas y particulares encargados del cálculo y explotación de las mismas, marcando con ello un punto de partida e iniciando un estudio que otros, con más autoridad y competencia podrán completar.

Este trabajo por consiguiente, viene a llenar un va--

cío y, pese a sus lagunas estoy seguro debido a la circunstancia de que hasta el presente nadie en el Ecuador le ha escrito parecido o semejante a él, y precisamente por reunir las condiciones de novedad, ha de rendir un servicio a la industria eléctrica, prestando también utilidad a cuantos se interesen por la misma.

La orientación que he seguido, en esta obra, no se me oculta que es un tanto arbitraria. La división adoptada, no obstante, responde a un objetivo de concisión y claridad que he perseguido con el conocimiento de que era indispensable.

REG L A M E N T O S

Conociendo los trabajos de normas y especificaciones de países de tan diferente estructura económica como son los Estados Unidos de América y los países europeos, se puede seleccionar y aplicar aquellos que más se adaptan a la economía y necesidades de nuestro país.

Con objeto de aclarar este último punto me voy a permitirlo ampliarlo un poco más.

Los trabajos de especificaciones y normas elaboradas por los EE.UU. de Norte América, son en buena parte hechos para un país de amplios recursos técnicos, económicos y científicos, de tal manera que el margen de seguridad que marcan con respecto a los valores mínimos que deben cumplir, es muy sobrado; es decir no cuidan mucho el aspecto económico con tal de lograr un margen amplio de seguridad.

En cambio las normas y especificaciones de los países europeos han sido formuladas en general bajo la base de una economía más limitada y de que no es necesario un margen de seguridad del que nunca va a ser necesario echar mano. Es decir, son normas y especificaciones por y para países que cuidan más su economía.

Ahora bien, ¿por cuál de las dos tendencias debe inclinarse el Ecuador al hacer sus normas?

Indiscutiblemente la respuesta es sólo una. Deberá tomarse en cuenta siempre las dos tendencias y deberá escogerse -

aquella que se adapta mejor a las necesidades de nuestro país, en cada caso particular. Es decir no deberá aplicarse el mismo criterio general para todos los casos sino que cada uno de ellos deberá resolverse según lo requieran las necesidades de materia prima, elaboración, aplicación, seguridad, etc. Este ha sido el pensamiento básico y fundamental del presente estudio.

#### A) NECESIDAD DE LA NORMALIZACION.-

El enorme desarrollo de la electricidad y sus aplicaciones durante el presente siglo, ha hecho necesaria la continua intervención del legislador para regular las relaciones jurídicas que de ellos se derivan y proteger los intereses de todos, garantizándoles. Aquí me limitaré al estudio de los Reglamentos que se han dictado hasta el presente para establecer y mantener instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica.

En todos los países, la reglamentación de las instalaciones y servicios eléctricos es motivo de ininterrumpida labor, debido a las múltiples manifestaciones, modalidades y aplicaciones de que la electricidad es objeto, invadiendo en forma arrolladora todos los órdenes de la vida moderna, desde su aplicación en las múltiples e importantes industrias, hasta los sencillos usos domésticos; desde el campo de la medicina, hasta la regulación del tráfico en las grandes ciudades; desde las fastuosas iluminaciones decorativas y propaganda a base de anuncios luminosos, hasta el simple alumbrado doméstico; desde los procedimientos moder-

nos de radiocomunicaciones, hasta las aplicaciones al cine sonoro y altavoces; así la electricidad lo invade todo y es de suponer - que en lo futuro estas manifestaciones seguirán sucediéndose, requiriendo también una persistente intervención del legislador.

Las naciones más adelantadas han dado ejemplo a la persistente labor de regular los servicios eléctricos siendo dignos de mención las Normas de la "Sociedad de Electrotécnicos Alemanes" "El Código de Electricidad de los Estados Unidos", que comprenden cuantos aspectos técnicos pueden ser objeto de regulación.

Es curioso observar en diversos países la industria eléctrica ha abierto paso a la estandarización de los tipos industriales siguiendo a ella las normas que continuamente vienen estableciéndose en todas las demás industrias, con objeto de aportar orden y método en la construcción, unificar los tipos de los elementos de máquinas y aparatos y asegurar, en fin, el intercambio en la mayor medida posible. La industria eléctrica es, efectivamente, una de las que más han sentido en todos los países la necesidad de normalizar los tipos, desde principios de este siglo, de terminando la creación de la "Comisión Electrotécnica Internacional", cuyo origen fue debido a un acuerdo del "Congreso Eléctrico Internacional" de San Luis (Estados Unidos) en 1.904 y cuya constitución data del 27 de junio de 1.906, sin que se generalizara ni extendiera la normalización en las demás industrias hasta fines de la guerra mundial en 1.918.



## B) DISPOSICIONES DE LOS REGLAMENTOS.-

De una manera general las disposiciones de los Reglamentos ~~velan~~ para que los dispositivos adoptados en las instalaciones, así como las condiciones de su construcción y conservación, estén basados en una unificación de criterios de diseño y de equipo para favorecer la estandarización y la intercambiabilidad de partes entre los diferentes sistemas, limitando por otro lado las interrupciones de servicio a un mínimo, sin descuidar dar un relativo margen de seguridad a las personas y habitantes de las zonas afectadas.

Los materiales y elementos que constituyen las líneas eléctricas son calculados para que en las condiciones de solicitud más desfavorable el coeficiente de trabajo no sea rebasado. Otras veces el coeficiente que se fija es el de seguridad y los cálculos justificativos deben indicarlo. Es decir, se indica la relación entre el esfuerzo correspondiente a la carga de rotura de cada elemento y el mayor esfuerzo de trabajo a que puedan estar sometidos los elementos.

Las acciones a considerar en el cálculo mecánico de conductores y cables de protección son las debidas al peso propio, presión del viento, manguitos de hielo o nieve y a las variaciones de temperatura. En el de los apoyos, las debidas al peso propio, presión de vientos y sollicitaciones de los conductores.

Las antenas de radiocomunicación destinadas al servi-

cio público, líneas telegráficas, teléfonos y de señalización son designadas por la expresión única "líneas de telecomunicación". - Además, se incluye con la designación de conductores a los hilos y cables de la línea sirvan o nó para el transporte de energía.

Si se compara los reglamentos oficiales de cálculos - de líneas eléctricas de distintos países se comprueba cómo las hi pótesis y coeficientes que imponen varían considerablemente. Con la diversidad de datos obtenidos, variedad de países, climas, -- circunstancias locales, etc., etc., nada tiene de extraño que se expongan opiniones tan diversas, e incluso opuestas; no obstante, parece posible unificar en cierto modo las hipótesis, condiciones y coeficientes numéricos de los mismos, que nos servirán de base para nuestro estudio.

De la información conseguida resulta que propietarios y constructores de líneas se basan en la experiencia adquirida im poniéndose en condiciones más desfavorables que las oficiales, pe ro limitándolas en general a las regiones en que son más de temer las sobrecargas del viento, hielo, etc., ya que no es posible -- construir económicamente toda la línea en previsión de tales even tualidades.

Los reglamentos oficiales de los distintos países son bastante estrictos y aunque algunas veces no tienen la fuerza de ley, como sucede con el Código Nacional de Seguridad de los Estados Unidos de América, se exige su cumplimiento en la mayoría de

los Estados para que todas las instalaciones realizadas dentro de sus límites se ajusten a dicho Código. En otros países, en cambio el Reglamento Nacional se aplica a todas las regiones, como sucede en España, México, Alemania, etc.

Además algunas Compañías de Seguros, de fabricación de materiales, etc., tienen sus propios reglamentos que en general son semejantes al reglamento nacional o se basan en él, pero que contienen algunas reglas específicas relacionadas con ciertas clases de trabajos, que son más rígidas que las de dicho reglamento.

C) ALCANCE DE LAS NORMAS.-

Como se comprenderá, en el Ecuador está todo por hacerse en el campo de la normalización de la industria eléctrica y siendo este campo tan amplio, el presente estudio forzosamente se reducirá a los siguientes capítulos o aspectos: líneas de transmisión, líneas aéreas de distribución primarias y secundarias y en cierto aspecto subestaciones de transformación. No cubre por lo tanto los conductores eléctricos y el equipo instalado en edificios particulares o públicos, lo mismo que en otros lugares, como patios, zonas de estacionamiento, minas, buques, vagones ferroviarios, o a las instalaciones o equipos que usan las empresas ferroviarias, eléctricas o de comunicación, de carácter público, en el ejercicio de sus funciones como tales, que están situadas a la intemperie o en edificios ocupados exclusivamente para este fin.

Las recomendaciones de este estudio constituyen una norma mínima. Su cumplimiento y su correcta observación darán por resultado una instalación racionalmente exenta de peligro, pero no necesariamente eficaz o conveniente ya que si se quisieran -- construir líneas en las que todos sus elementos pudiesen resistir en cualquiera circunstancias, se tropezaría con dificultades económicas imposibles de soslayar. No es posible construir económicamente todo el trazado de la línea en previsión de todas las eventualidades, pero afortunadamente, es muy posible a menudo, limitar el refuerzo a trozos relativamente cortos, además de que el buen servicio y los resultados satisfactorios casi siempre requerirán conductores de mayores tamaños, mayor espaciamiento entre conductores, mejores tipos de puntos de apoyos y equipos, que los requisitos mínimos anotados en el presente estudio.

## GENERALIDADES

Para tener una visión de conjunto del tema a tratarse, y para dar idea de la necesidad de la normalización se estudiará separadamente y en forma general a las líneas de transmisión, redes de distribución y subestaciones.

### A) SISTEMA DE TRANSMISION.-

En la mayor parte de los casos, el sistema de transmisión debe ser usado para llevar la energía eléctrica desde las estaciones generadoras hasta una serie de subestaciones las cuales reducen el voltaje a valores confiables para que los circuitos corran a través de las localidades habitadas.

Desde el punto de vista eléctrico, el sistema de transmisión podría considerarse que empieza en el generador, pero para el presente estudio asumiremos que empieza en los terminales de alta tensión de los transformadores que elevan el voltaje desde los valores de generación hasta los de transmisión.

El sistema de transmisión lleva grandes cantidades de energía la que para ser económicamente transportada a grandes distancias es llevada en conductores relativamente delgados a altos voltajes.

El estado actual de los sistemas de transmisión no es sino el resultado del aumento persistente de potencias que deben transmitirse a grandes distancias lo cual ha exigido una elevación gradual de los voltajes de transmisión que en la actualidad

alcanza a 420 KV en Europa, mientras en los Estados Unidos se ha estandarizado la tensión de 220 KV.

Actualmente se está desarrollando la técnica de las - muy altas tensiones y en los EE.UU. se encuentran funcionando unos 3.000 kilómetros de líneas a la tensión de 330 KV y unos 200 kiló metros a la tensión de 345 KV y se ha ensayado con éxito una lí--nea de 500 KV. Los Estados Unidos no se han visto obligados a em- plear hasta ahora las altísimas tensiones de transporte que son - ya frecuentes en otros países, ya que la profusión y disposición de los centros de producción y las distancias hasta los consumido res son relativamente pequeñas. Se han decidido a dar este paso - ya que por una parte, cada día son mayores las potencias de las - centrales térmicas, debido al descenso tan sensible del costo del KW instalado en función del aumento de la potencia de la central y por otra parte al aumento del costo de los derechos de paso que hace preferible la construcción de líneas de mayor tensión con un sólo circuito, que construídas de dos circuitos a las tensiones - que se venían empleando hasta ahora. En México también se va a - instalar una línea a 400 KV que llevará 667.000 KVA a 350 kilóme- tros de longitud aproximadamente desde el proyecto Infiernillo en los Estados de Michoacán y Guerrero hasta ciudad de México.

En nuestro país, donde hasta el momento actual no han sido precisos los transportes de muy grandes cantidades de ener--gía y no son tampoco de consideración las longitudes de las lí --

neas, se ha llegado a la tensión de 46 KV correspondientes a la línea de transmisión Cumbayá - Quito, perteneciente al sistema de la Empresa Eléctrica Quito S.A.

Si nos atenemos a los datos del Primer Censo Nacional de Electrificación realizado por el Departamento de Servicios -- Eléctricos de la Dirección General de Recursos Hidráulicos y Electrificación del Ministerio de Fomento y publicado el 7 de abril - de 1.964, observamos que los voltajes de transmisión varían desde 2.300 voltios hasta 46.000 voltios. Además en la Sierra se han registrado 423 kilómetros de líneas, en el Oriente 12 kilómetros y en la Costa no existen. Esta falta de sistemas de transmisión nos dá la medida del atraso del país y la razón de los bajos niveles de vida actuales.

Inicialmente los sistemas de transmisión en el Ecuador han adoptado las tensiones que más les convenía o les parecía adecuados por lo que se impone una rápida estandarización de los voltajes. Las razones como en los demás casos de estandarización son obvias: equipo más barato, intercambiabilidad de partes con otros sistemas y posibilidad de interconexión. Este último factor es muy importante como los dos primeros; por ejemplo la interconexión de centrales hidráulicas de la Sierra con centrales termoeléctricas en la Costa para compensar la falta de energía hidráulica durante ciertas épocas del año y también para aprovechar la no coincidencia de los estiajes en los ríos de la Sierra. Con --

ello, durante la estación lluviosa se podría generar mucho mayor energía que la que se consumiría en la Sierra, pudiendo el sobrante mandarse a la Costa.

Con las interconexiones de sistemas no sólo se coordina el mantenimiento de servicio sino que se logra intercambios de energía para tener costos mínimos. Los ahorros producidos se pueden repartir entre las empresas participantes.

#### B) SISTEMA DE DISTRIBUCION.-

La diferencia entre los sistemas de transmisión y distribución radica en su función. La función del primero es, como ya lo hemos dicho, transportar grandes potencias a los centros de carga. La función del sistema de distribución es llevar la energía eléctrica desde las subestaciones de subtransmisión y distribución, o desde la planta generadora, cuando no hay transmisión, hasta el suiche de entrada del consumidor.

La energía transmitida al voltaje al cual es usada, es la distribución secundaria, por ejemplo, los voltajes 110 - 120 voltios a los cuales las residencias son servidas o de 440 - 480 voltios a los cuales se alimentan las fábricas, constituyen la distribución secundaria. El conjunto de líneas que dan la alimentación al sistema de distribución secundario, es el llamado sistema de distribución primaria. El enlace entre los sistemas primario y secundario de distribución se realiza mediante los transformadores de distribución.



Los sistemas de distribución pueden ser aéreos o subterráneos. Para densidades de cargas ligeras y medias, el sistema utilizado es generalmente aéreo usando postes y conductores abiertos montados sobre crucetas. Para grandes densidades de carga en las áreas congestionadas de las ciudades, el sistema es generalmente subterráneo usando ductos que corren bajo la superficie de las calles y aceras.

La preferencia entre aéreo y subterráneo depende de un número grande de diversos factores. La comparación de costos económicos (el costo anual de operación) es el factor de mayor influencia. El costo total de un sistema subterráneo puede ser de 5 a 10 veces mayor que el de un sistema aéreo. El costo elevado de un sistema subterráneo podría inevitablemente significar altas tarifas si fuere universalmente requerido, como algunas veces sugiere.

Un conductor aéreo de distribución tiene una considerable y alta capacidad de llevar corriente en comparación con un conductor o cable subterráneo del mismo material e igual área de sección transversal. Por otro lado la reactancia inductiva del cable subterráneo es considerablemente menor que la del conductor aéreo porque el espaciamiento entre conductores es mínimo. Si la capacidad para llevar corriente es el factor de mayor importancia en la preferencia del conductor, entonces el conductor aéreo -- abierto será el favorable. Si la caída de tensión es el factor im

portante, entonces el cable subterráneo podría ser favorable, particularmente a bajos factores de potencia.

En aéreas congestionadas de las ciudades, la densidad de la carga podría llegar a ser tan alta que no se podría suministrar un adecuado servicio por líneas aéreas. Estos factores podrían ser entre muchos otros los siguientes:

- a) Importancia de la continuidad de servicio.
- b) Presencia de muchos conductores en los postes.
- c) Necesidad de grandes transformadores, prácticamente en cada poste.
- d) Dificultades de montaje, operación y mantenimiento adecuados.

Estos factores podrían dictar una preferencia por el sistema subterráneo de distribución. Sin embargo, el punto exacto al cual la distribución subterránea llega a ser más económica varía con los casos individuales. Así anota B. Skrotzki, en su libro "Distribución y Transmisión Eléctrica", en el cual dice: "Con densidades de carga cercanas a 100 KVA por 1.000 pies de longitud de cable, el costo anual comparativo para distribución aérea y subterránea podría ser a favor de ciertos tipos de distribución subterránea. Un sistema subterráneo podría mostrar un costo anual más bajo que un sistema comparativo aéreo, aunque el costo inicial del sistema subterráneo es considerablemente más alto. Esto está influenciado por la vida útil del sistema que es más largo -

que el sistema aéreo. Un sistema aéreo podría tener una vida útil de 25 años, mientras un sistema subterráneo podría tener una vida útil de más de 50 años".

En Quito, por ejemplo, se ha seguido el criterio de -  
construir redes subterráneas en la parte central y comercial de -  
la ciudad, y con líneas aéreas en las zonas exteriores, aunque -  
también se observan canalizaciones subterráneas en algunos ba --  
rrios residenciales; esto debido a la presión de la Municipalidad  
para quitar los postes y conductores de ciertas calles para mejo-  
rar la apariencia. Hay que hacer notar que sería favorable desde  
el punto de vista económico, el cambio del sistema aéreo al subte  
rráneo en las zonas en las cuales las calles y aceras están sien-  
do reparadas y repavimentadas, con lo cual se tendrían costos de  
construcción más baratos y el cambio se realizaría pocos años an-  
tes de que fuera hecho ordinariamente.

Un sistema aéreo es susceptible de daño y las inte --  
rrupciones del servicio se repiten más a menudo debido al viento,  
hielo, nieve, rayos y otras condiciones como las ocasionales inte  
rrupciones debidas a los accidentes de tránsito. Cuando ocurre un  
problema en sistemas subterráneos, el daño es más difícil de loca  
lizar y reparar. Además en un sistema aéreo, los postes, conducto  
res, transformadores, etc., pueden ser fácilmente cambiados para  
un mejor cuidado bajo condiciones de carga, mejor mantenimiento y  
explotación del sistema, mientras que en un sistema subterráneo -

esto es mucho más difícil de realizarlo porque los ductos, transformadores, etc., son puestos en el sitio de instalación de manera permanente.

Algunas veces una combinación de sistema aéreo y subterráneo es deseable. Por ejemplo el primario podría ser subterráneo, mientras los transformadores y secundarios son aéreos. En fin las características eléctricas de un sistema subterráneo son similares a la de un sistema aéreo. La búsqueda final entre aéreo y subterráneo depende de una comparación de los costos anuales, la influencia de factores no económicos, la práctica, experiencia y buen juicio.

Como se observa, es necesaria una pronta normalización del sistema de distribución: postes, aisladores, herrajes, separación entre conductores, crucetas, distancias al suelo, etc. para de esta manera evitar el caos en un mismo sistema y en general en todos los sistemas de distribución del país. Además se favorecería el intercambio de piezas obteniéndose un mejor y más económico mantenimiento y explotación del sistema.

### C) ESTACIONES DE TRANSFORMACION.-

La repartición de la energía eléctrica generada en las centrales de fuerza se verifica por medio de las instalaciones de transformación que pueden alojarse dentro de edificios o disponerse al aire libre.

La reducción de la tensión puede hacerse ventajosa en

varias partes, es decir de un modo escalonado, para las centrales de gran radio de acción. Por ejemplo una central tiene transformadores elevadores a 70.000 voltios, transportando energía a 60 kilómetros; en el extremo de la línea, una estación reduce la tensión a 15.000 voltios y bajo esta tensión se alimenta una región que alcanza 10 Km a la redonda; se reduce después a la tensión ordinaria en los puntos de utilización. Este proceso se realiza mediante las siguientes estaciones:

a) Transformadores sobre postes: la reducción de la tensión para una pequeña potencia, varias lámparas de alumbrado público o alimentación de unas casas cercanas a una línea de alta tensión, se hace de ordinario con un pequeño transformador colocado sobre postes.

b) Caseta de transformación: el transformador sobre postes sólo puede emplearse tratándose de pequeñas potencias, sin embargo haciendo la instalación sobre cuatro postes se puede colocar un transformador de mayor capacidad hasta de unos 100 KVA, pero es más económico y seguro instalar una caseta de transformación.

c) Estación reductora de utilización inmediata: cuando se utiliza una potencia algo importante, sobre todo para fuerza motriz; frecuentemente se recibe la alta tensión, que reduce después para la alimentación directa de los motores.

d) Subestaciones: las subestaciones reciben a gran -

distancia la energía a una tensión elevada y distribuyen la energía a toda su región a una tensión más baja. Ordinariamente para tensiones hasta de 45 KV estas subestaciones se alojan en edificios. Por encima de esta tensión, las separaciones entre conductores y, por consiguiente, la amplitud del edificio, necesitarían ser muy grandes. Como consecuencia de ello, la participación del costo de los edificios en el costo total crecería considerablemente. En tal caso, las instalaciones al aire libre, con las que se ahorra los edificios, resultan ser las más económicas. Claro que los aparatos, al adoptar un tipo constructivo adecuado al aire libre, resultan algo más caros (seguridad contra los elementos atmosféricos) pero esto está sobradamente compensado con la desaparición de los edificios.

En ciertas circunstancias es necesario alojar la instalación de un edificio, incluso cuando se trata de altas tensiones. Este caso se presenta cuando hay que contar con aire muy polvoriento que produce suciedad inadmisibles en los aisladores hasta el punto de poder tenerse descargas superficiales.

Existe también el mismo problema en las proximidades del mar, puesto que el ambiente salino se deposita en los elementos de las subestaciones, disminuyendo considerablemente su eficacia.

C A P I T U L O 1

1.- ALCANCE DE LAS NORMAS

1.1.- Validez.

1.2.- Contenido.

1.3.- Ambito de aplicación.

1.4.- Explicación de los términos.

## C A P I T U L O 1

### 1.- ALCANCE DE LAS NORMAS.-

Para empezar la reglamentación, es necesario limitar el alcance de las normas para evitar ambigüedades, que puedan dar lugar a errores o malas interpretaciones de las mismas; por lo tanto:

ARTICULO 1.- Principio de Validez.- Estas normas entran en vigencia a partir de la fecha de su publicación en el Boletín Oficial del Estado.

ARTICULO 2.- Contenido.- Las disposiciones contenidas en el presente reglamento se refieren a las prescripciones que deben tenerse en cuenta al redactar los proyectos y construir líneas eléctricas, limitándolas exclusivamente a líneas de transmisión y líneas aéreas de distribución primaria y secundaria. Por lo tanto involucra, tanto a las líneas de interconexión entre centrales productoras, como a las de transporte a importantes centros de consumo y a aquellas otras de menor importancia que la vez hacen de distribuidoras locales.

Quedan exceptuadas las líneas para instalaciones al aire libre, en las cuales no se superan los 20 metros entre puntos de apoyo.

ARTICULO 3.- Ambito de Aplicación.- Los preceptos a que se refieren el presente reglamento alcanzan a las instalaciones nuevas o a las ampliaciones de las existentes que se realicen a partir de la fecha de publicación de los mismos en el Boletín Oficial del Estado.

Asimismo alcanzan a las instalaciones existentes en los casos de peligro manifiesto o de notoria posibilidad de graves perturbaciones en otras instalaciones.

La interpretación de los preceptos del presente reglamento, así como la apreciación de los motivos que puedan dar origen a modificaciones en las instalaciones existentes, corresponde a la Dirección General de Recursos Energéticos, del Ministerio de Industrias y Comercio, previo informe del Instituto Ecuatoriano de Electrificación.

ARTICULO 4.- Explicación de los Términos.- En el sentido de estas prescripciones rigen las siguientes definiciones de términos:



a) Línea aérea (Muchas veces se llama línea, solamente): es la totalidad de una instalación para la transmisión de corrientes de gran intensidad, consistente en puntos de apoyo - postes - y sus fundamentos, aisladores, soportes, accesorios, puestas a tierra y accesorios, conductores tendidos sobre el nivel de tierra con accesorios.

b) Conductores: son los alambres y cables desnudos, - aislados o cubiertos, tendidos libremente entre los puntos de apoyo de una línea aérea, indistintamente de estar o no bajo tensión.

Son conductores troncales, las disposiciones de dos o más conductores empleados en lugar de un conductor simple y que guardan en todo su largo una distancia aproximadamente igual.

c) Tensión nominal: es la tensión que se indica para una línea aérea y a la cual se refieren ciertas propiedades de servicio.

d) Resistencia de prueba de los alambres: es la tensión de tracción referida a la sección (inicial) que los conductores de un solo hilo o los alambres empleados para cables, deben soportar durante 1 minuto sin romperse.

e) Carga de prueba de un alambre: es el producto de sección nominal y la resistencia de prueba.

f) Carga nominal de un conductor: es, para los conductores de un solo hilo, la carga de prueba indicada en e); para ca

bles compuestos de alambres individuales de igual material, la suma de las cargas de prueba de los alambres individuales; para cables de acero y de aluminio 0,9 veces la suma de las cargas de prueba de los alambres individuales.

g) Resistencia permanente a la tracción de los conductores: es la tensión de tracción máxima estática que los conductores unifilares o alambres empleados para cable, deben soportar durante un año, sin romperse.

h) Carga permanente de un conductor: es el producto de sección efectiva y la resistencia permanente a la tracción.

i) Tensión máxima a la tracción: es la tensión de tracción en el punto más bajo de la línea de flecha de los conductores sin carga adicional, no se rebasa en ningún caso las hipótesis adoptadas.

k) Tracción máxima de un conductor: es el producto de sección efectiva y tensión máxima de tracción.

l) Sección nominal de un conductor: es la sección efectiva redondeada, que sirve para la designación del conductor con arreglo a las normas.

m) Sección efectiva de un conductor: es su sección verdadera.

n) Flecha de un conductor: es la distancia desde el centro de la línea de enlace entre los dos puntos de suspensión hasta el punto del conductor que se encuentra perpendicularmente

abajo.

o) Vano: es la distancia medida horizontalmente entre dos puntos de apoyo vecinos.

p) Sección de Transposición: es la parte de la línea aérea que se halla entre dos torres de cruce con líneas de Telecomunicación.



## C A P I T U L O 2

### 2.- ELECCION DE LA TENSION

2.1.- Sistemas de uso común.

2.2.- Elección de la tensión.

2.2.-1.- Sistemas de distribución.

2.2.-2.- Sistemas de transmisión.

2.3.- Categorías de las líneas.

## C A P I T U L O 2

### 2.- ELECCION DE LA TENSION.-

#### 2.1.- SISTEMAS DE USO COMUN.-

Actualmente los sistemas de corriente alterna son -- los que generalmente se usan para transportar grandes cantidades de energía; esto se debe más que nada a la simplicidad de la construcción de los generadores de corriente alterna y de los transformadores y también, a que son más económicos que los equipos - convertidores necesarios en las redes de corriente continua.

Prácticamente todos los sistemas de transmisión se - construyen trifásicos y queda el sistema monofásico únicamente pa- ra los ferrocarriles eléctricos, alumbrado, aparatos domésticos, y pequeñas instalaciones de fuerza; el sistema trifásico es simple y permite ahorrar en peso de conductores, aunque si se tiene en cuenta el costo del conjunto del equipo, la distribución rural monofásica resulta ser la más económica.

Los sistemas para llevar grandes potencias a tensio-- nes elevadas en corriente continua fueron usados en Europa hasta el año 1937 pero no han progresado al mismo ritmo que los adelantos en corriente alterna y hoy día, no existen sistemas comerciales de servicio público de alta tensión en corriente continua.

#### 2.2.- ELECCION DE LA TENSION.-

2.2.1.- Sistema de Distribución.- En las redes de baja tensión no

es posible modificar el voltaje de suministro entre límites extensos, con el objeto de evitar los peligros inherentes al manejo de los receptores existentes en las viviendas.

Una característica negativa sobre la cual conviene llamar la atención y que obedece a la ausencia de normas nacionales para la instalación de las redes eléctricas, es la gran variedad de las tensiones de distribución primaria y secundaria en las redes eléctricas ecuatorianas. La tensión de distribución primaria más generalizada es, posiblemente, la de 6.3 KV; pero la anarquía al respecto es demasiado grande.

Las tensiones de la red secundaria son, así mismo, sumamente variables, predominando las tensiones de 230/133, 220/110, 220/127, 210/121 y 208/120 voltios. Un defecto que se presenta comúnmente en las redes de distribución de poblaciones pequeñas, sobre todo en aquellas que corresponden a sistemas eléctricos de generación no permanente y especialmente nocturna, es que no existe una red independiente para el alumbrado público; de modo que, cuando la central eléctrica empieza a funcionar, se enciende todo el alumbrado público sin que exista dispositivos para impedirlo, desperdiciándose grandes cantidades de energía. Así al menos se anota en el libro segundo, "Energía" del Plan General de Desarrollo Económico y Social versión Preliminar, publicado por la Junta Nacional de Planificación y Coordinación Económica.

Las características anotadas de la falta de normaliza

ción, especialmente sobre los voltajes primarios de las redes de distribución, son factores negativos que han contribuido a dificultar y encarecer la operación de los sistemas eléctricos y que, desgraciadamente, no podrán corregirse sino paulatinamente.

El cuadro N° 2.1 contiene una lista de las tensiones primarias y secundarias existentes en el país y el número de redes eléctricas que las utilizan; fue publicado en el mismo libro -- "Energía" y por creerlo de utilidad lo transcribo.

Del análisis del cuadro N° 2.1 y si se tiene en cuenta que es esencial un servicio eléctrico adecuado y digno de confianza en las áreas urbanas y rurales, una continuidad máxima de servicio, un nivel satisfactorio de voltajes, una mínima variación de voltaje, que son los factores claves que prueban un servicio eléctrico adecuado y digno de confianza; de lo cual son responsables, las empresas suministradoras de la energía eléctrica, se concluye que es necesario e impostergable una unificación de los niveles de voltaje.

Factores económicos hacen imposible suministrar energía eléctrica a todos los consumidores a un voltaje igual y constante. La transmisión de energía eléctrica a lo largo de un sistema causa una caída de voltaje. En cualquier instante que se considere la caída de voltaje es proporcional a la magnitud de la corriente y al ángulo de fase del sistema. Puesto que la demanda de energía de los consumidores varía, se puede concluir que la caída

TENSIONES DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION

TENSIONES (voltios)		TENSIONES (voltios)		TENSIONES (voltios)		NUMERO
Primaria	Secundaria	Primaria	Secundaria	Primaria	Secundaria	
13.600	220/127	5.000	220	2.400	220/110	6
11.000	400	4.800	220/127	2.400	230/115	1
10.000	220/127	4.800	115	2.400	208/121	2
6.900	220/127	4.270	208/110	2.400	137	1
6.650	254	4.200	231	2.370	220/110	1
6.600	230/133	4.160	230/133	2.300	230/133	1
6.600	220/110	4.160	233	2.300	220/127	1
6.300	230/133	4.160	220/127	2.300	220/110	8
6.300	220/127	4.160	220/110	2.200	230/133	1
6.300	220/110	4.160	208/121	2.200	220/127	2
6.300	210/121	3.150	220/110	2.200	220/115	2
6.300	208/121.	3.150	208/121	2.200	220/110	4
6.000	220/127	3.000	230/110	480	220/127	1
6.000	210/121	2.400	230/133	220	110	1
5.700	208/121	2.400	240/127			
5.000	220/127	2.400	220/127	TOTAL --	-----	114

PUNTES: Encuestas directas y elaboraciones de INECEL y J. N. de Planificación.



de voltaje y correspondientemente el voltaje de salida son funciones de la demanda del sistema. La caída de voltaje y sus correspondientes variaciones ocurren en las fuentes de energía, en las subestaciones de transmisión, a lo largo de las líneas de transmisión, en las subestaciones de distribución, a lo largo de las líneas de distribución, en los transformadores de distribución, a lo largo de las acometidas y en el alumbrado de los consumidores. Los sistemas deben ser diseñados y operados para satisfacer la demanda de energía de los consumidores. Siendo así, la organización o empresa que opera en el sistema debe mantener el voltaje dentro de los límites requeridos a la entrada de los consumidores. Esto, a su vez, requiere la correlación entre los valores máximos y mínimos de voltaje para todo el sistema.

Los valores del voltaje del equipo utilizado por los consumidores determina el voltaje al cual la energía debe ser suministrada. El equipo es diseñado para un rendimiento óptimo a un voltaje especificado. En resumen, el equipo es capaz de una eficiencia satisfactoria dentro de una variación especificada de voltaje. Con respecto al voltaje, el servicio eléctrico es adecuado si el voltaje en el punto de utilización es mantenido durante la operación dentro de los valores especificados para este equipo. Por consiguiente, el diseño del sistema debe estar basado en el requerimiento del voltaje del equipo que va a ser usado.

Los fabricantes han estandarizado los voltajes a los

cuales los grupos de equipos similares deben ser diseñados para - obtener óptimo rendimiento. Basados en las especificaciones de diseño del equipo, el voltaje en el punto de utilización nunca deberá estar fuera del rango recomendado y tolerable de voltaje.

El Plan Nacional de Electrificación actualizado para el presente año 1965, por el Instituto Ecuatoriano de Electrificación no considera ninguna red eléctrica que utilice corriente continua, por lo tanto:

ARTICULO 5.- Redes de Corriente Continua.- Se prohíbe la construcción de cualquier red de distribución de servicio público que utilice el sistema de corriente continua. Sólo se utilizará corriente alterna.

Para evitar la gran variedad de las tensiones en las redes eléctricas ecuatorianas, lo cual es negativo desde todo punto de vista, el Plan Nacional de Electrificación, considera como única tensión primaria la de 13.8 KV que es la que ha resultado más conveniente para los países en proceso de desarrollo como el Ecuador, por lo tanto:

ARTICULO 6.- Tensión de Distribución Primaria.- La tensión primaria que se recomienda para las redes de distribución es la de 13.800 voltios.

El diseño de las redes secundarias de los sistemas de distribución debe estar basado en el requerimiento del voltaje del equipo que va a ser usado y como el servicio eléctrico debe ser satisfactorio dentro de ciertos límites óptimos para que opere el equipo, se puede hacer la siguiente normalización:

ARTICULO 7.- Tensión de Distribución Secundaria.- Cuando se utili

ce el sistema monofásico, las tensiones secundarias que se recomiendan son de 220/110 y 240/120 voltios.

Al utilizar el sistema trifásico las tensiones recomendadas son 220/127, 208/120 y 380/220 voltios.

La determinación de las secciones de muchas líneas y redes, particularmente en baja tensión para los sistemas de distribución, tiene que hacerse sobre la base de la caída de tensión admisible. Se exige que en el consumidor, por consideración a las lámparas y motores, exista una tensión lo más constante posible - independientemente de la carga de la red. En especial, las lámparas de incandescencia se muestran muy sensibles a las fluctuaciones de tensión. Si la tensión crece, por ejemplo, en un 5%, el rendimiento luminoso crece ciertamente, pero, en cambio, la vida de la lámpara desciende aproximadamente a un 55% de aquella que tendría bajo tensión normal. Si, por el contrario, una lámpara tiene una tensión rebajada en un 5%, la vida sube ciertamente, pero el flujo luminoso desciende aproximadamente a un 83% del valor normal.

En relación con los motores trifásicos conectados a la red, hay que decir que su momento de giro máximo es aproximadamente proporcional al cuadrado de la tensión. Si en el punto de consumo tenemos una subtensión del 5%, el momento de giro posible máximo desciende a  $(0,95)^2 \sim 90\%$ . Para momento constante, la corriente aumenta (a causa de la disminución del flujo magnético) - en un 5%, es decir, el calentamiento del cobre en un 10%.

Como se aspira a construir las redes de distribución

con la mayor economía posible y el admitir una caída de tensión - demasiado pequeña encarece la red, se admite en el consumidor, como fluctuación de tensión máxima, un valor de  $\pm 5\%$ , supuesto en todo caso que estos valores extremos se produzcan sólo transitoriamente. Para que esto suceda se debe limitar la caída de tensión admisible en las redes de distribución de la siguiente manera:

ARTICULO 8.- Pérdida de Tensión.- La pérdida de tensión, tanto en las líneas primarias como secundarias de distribución no debe exceder del 3% para el diseño.

2.2.2.- Sistema de Transmisión.- Por el contrario, en las líneas de alta tensión, el factor determinante para la elección de la sección del conductor no es la caída de voltaje sino la pérdida de energía. Cuanto mayor es el voltaje empleado, se precisa menor sección, como se desprende de la fórmula:

$$S = \rho \cdot \frac{L}{p} \cdot \frac{P^2}{V^2 \cdot \cos^2 \phi}$$

en la que,

S = sección del conductor en  $\text{mm}^2$

$\rho$  = resistividad en microhomios centímetros

L = longitud de la línea en metros

p = pérdida de potencia

P = potencia en watios

V = tensión en voltios

$\cos \phi$  = factor de potencia

Si se fija la clase de material de la línea, su longi

tud, su factor de potencia, las pérdidas y la potencia a transmitirse, entonces si se va dando valores, a  $V$ , se obtienen los correspondientes de  $S$ , pero a medida que aumenta la tensión suben de precio los aisladores, interruptores, transformadores, etc., por lo cual nada se conseguiría desde el punto de vista económico, con elevar la tensión, si por otro lado había de encarecer el costo de los elementos que integran la línea. Deberá existir por lo tanto un valor determinado del voltaje de trabajo, para el cual será mínimo el desembolso necesario para el establecimiento y explotación de la instalación.

Por otra parte, parece lógico que debieran entrar también en consideración los gastos de explotación del conjunto de las líneas, porque podría darse el caso de que ciertos elementos de éstas tuvieran que ser amortizadas en un plazo de tiempo menor que cuando se adoptan tensiones más bajas o que exigieran mayores gastos de mantenimiento y entonces la instalación más económica no daría lugar a la explotación más reducida. Sin embargo, como las tensiones convenientes no pueden variar entre grandes límites, se admite que tanto los gastos de mantenimiento como los de amortización no experimentan variación alguna, y por ello no se tienen en cuenta en la determinación de la tensión más económica. El procedimiento seguido para este objeto consiste en construir un gráfico, en el cual se pueda apreciar la variación obtenida en el precio de la instalación con el empleo de diversas tensiones que

no difieren mucho entre sí.

Para determinar la tensión más conveniente y cuando se trata de líneas cuya longitud es superior a 30 kilómetros, puede aplicarse la siguiente fórmula, empírica y aproximada, debida a ALFRED STILL.

$$V\sqrt{3} = 5,5 \sqrt{\frac{L}{1,609} + \frac{3p}{100}}$$

en la que:

$V\sqrt{3}$  = tensión compuesta buscada en KV

L = longitud de la línea en Km.

3p = potencia conducida en KW.

En el Ecuador los sistemas de transmisión existentes según el Primer Censo Nacional de Electrificación, con su longitud estimada y su tensión, se presentan en el cuadro N° 2.2

C U A D R O N° 2.2

SISTEMAS DE TRANSMISION

TENSION (KV)	LONGITUD (KM)	NUMERO	TENSION (KV)	LONGITUD (KM)	NUMERO
46.0	5.5	1	5.0	8.3	3
23.0	9.5	1	4.8	13.5	4
11.0	20.0	1	4.16	14.1	4
10.0	12.5	3	4.0	3.5	2
7.3	4.5	1	3.15	7.0	1

C U A D R O N° 2.2SISTEMAS DE TRANSMISION

TENSION (KV)	LONGITUD (KM)	NUMERO	TENSION (KV)	LONGITUD (KM)	NUMERO
6.9	2.1	1	3.0	3.0	1
6.6	17.9	4	2.4	20.6	10
6.3	43.9	6	2.3	18.5	9
6.0	107.2	18	2.2	10.0	3
5.25	3.7	1	1.1	3.0	1
22.0	94.95	6			
4.2	14.1	3	TOTAL	437.35	84

En la Sierra se han registrado 425.35 Km., en el --  
 Oriente 12 Km. y en la Costa no existen. Es decir, que se han ins-  
 talado líneas de transmisión en las regiones donde funcionan plan-  
 tas hidroeléctricas.

Se puede notar la tendencia natural de la electrifica-  
 ción a aumentar la potencia generadora a base de pequeñas centra-  
 les de servicio local, con el fin de evitar los costos de instala-  
 ción de las líneas de transmisión. Puede afirmarse que las líneas  
 de transmisión existentes en la actualidad, son aquellas que no -  
 han podido evitarse, es decir, que en el País no se ha comprendi-

do la necesidad de aprovechar las ventajas que representan los sistemas importantes de transmisión o, en el caso en que se la haya apreciado, no han existido fondos suficientes para afrontar su construcción. Es así como en el Ecuador existen solamente 437 kilómetros de líneas de transmisión, que trabajan a muy distintas tensiones. El sistema de transmisión más importante por su capacidad es, sin duda, el que transporta a Quito la energía generada por la Central de Cumbayá. Este sistema trabaja a 46 KV. Otros sistemas que podrían mencionarse, son: el sistema de transmisión El Angel - Mira - San Isidro; el sistema de transmisión Machachi - Quito; el sistema de transmisión de la central de Illuchi; y, el sistema de transmisión de propiedad de la Empresa "Miraflores". A más de estos sistemas, prácticamente no existe ningún otro de mayor importancia, que no sean aquellos que conducen la energía desde las pequeñas centrales hidráulicas hasta su respectivo centro de consumo.

Para complementar debidamente un plan de electrificación nacional es necesaria la programación de líneas de transmisión importantes por su longitud, capacidad y voltaje, ya que los aprovechamientos hidroeléctricos, están localizados en la Sierra y consecuentemente, alejados de los principales centros de consumo de la región costanera del País.

Sin embargo, la instalación de líneas de transmisión más importantes, deberán servir en el futuro como tramos de la red de interconexión nacional. Las características de construc --



ción de estas líneas, deben ser previstas para que, mediante sencillas modificaciones, puedan ser utilizadas en la mencionada red. Por lo tanto es necesario normalizar los voltajes de las líneas de transmisión y adoptar las tensiones recomendadas en el Plan Nacional de Electrificación, las cuales son el resultado de los estudios de técnicos nacionales y extranjeros; por lo tanto:

**ARTICULO 9.- Tensiones de Transmisión.**- Las tensiones para los sistemas de transmisión serán: 22, 34.5, 69, 138 y 230 KV de acuerdo con el Plan Nacional de Electrificación y que aparecen en el plano 2.1.

### 2.3.- CATEGORIAS DE LAS LINEAS.

Los reglamentos de varios países clasifican a las líneas en categorías según la tensión, como puede observarse en el cuadro N° 2.3. Una de las razones para adoptar este tipo de clasificación es que la tensión de la línea dá una medida exacta de la importancia de la misma. Mientras más importante es una línea, sea por la potencia que transporta o por la distancia a que lleva dicha potencia, el voltaje es cada vez más elevado o sea la línea aumenta en importancia y por esta razón las medidas de protección y de seguridad deben ser más rígidas para reducir a un mínimo la posibilidad de una falla permanente o accidente que podría poner fuera de servicio a la línea y con ello a un número muy grande de consumidores.

De un análisis del cuadro N° 2.3 y con objeto de lograr una mayor sencillez creo conveniente hacer la siguiente normalización:

ARTICULO 10.- Categorías de las Líneas.- Se consideran las si ---  
güentes categorías:

A) Primera Categoría:

Se consideran como líneas de primera categoría a las instalaciones de baja tensión, cuyos valores nominales utilizados sean inferiores a 480 voltios.

B) Segunda Categoría:

Se consideran como líneas de segunda categoría a las instalaciones de alta tensión cuyos valores nominales sean de 480 voltios y superiores.

ARTICULO 11.- Trazado de las Líneas Aéreas de Segunda Categoría.-

Las líneas de segunda categoría se estudiarán siguiendo el trazado que se considere más conveniente, con las características que estime oportunas el autor del proyecto y ajustándose en todo caso a los preceptos del presente reglamento.

Se evitarán en lo posible los ángulos pronunciados y se reducirá al mínimo el cruce con carreteras, canales, ferrocarriles y con otras líneas de transporte de energía eléctrica.

Se tendrá presente que, siempre que se cruce una vía férrea o fluvial o una carretera, el ángulo formado por la dirección de dicha vía en el lugar de cruce y la de los conductores, no debe ser inferior a 10 grados sexagesimales, y en todo caso la longitud del cruce no exigirá un vano superior al normal de la línea.

En el proyecto figurarán, además de la Memoria, en la que se hará una descripción de la instalación a establecer, los datos generales, tales como tensión de servicio, número de períodos, clase de corriente, número de conductores, sección y material de que están constituidos, incluyendo el cable o cables de tierra, dispositivos de protección de la línea, etc., y los cálculos justificativos con presupuesto detallado de las diferentes partidas, especificando claramente el material a emplear.

El trazado de la línea y su emplazamiento se representará en planos diseñados al efecto.

C U A D R O N° 2.3REGLAMENTOS QUE ESTABLECEN CATEGORIAS EN LAS LINEAS SEGUN LATENSION

<u>PAIS</u>	<u>C A T E G O R I A S</u>		
	<u>PRIMERA</u>	<u>SEGUNDA</u>	<u>TERCERA</u>
Alemania	Tensión entre conductores sin exceder a 1.000 voltios.	Tensión entre conductores mayor de 1.000 voltios.	-----
Austria	Tensión entre conductores sin exceder de 600 voltios en corriente alterna. En circuitos trifásicos, tensión entre conductores sin exceder de 380 voltios con el neutro unido a tierra.	Tensiones mayores	-----

CONTINUACION CUADRO N° 2.3REGLAMENTOS QUE ESTABLECEN CATEGORIAS EN LAS LINEAS SEGUN LATENSION

PAIS	C A T E G O R I A S		
	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA
	Tensión entre conductores y tierra sin exceder de 600 voltios en corriente continua y de 250 voltios en alterna.	Tensión entre conductores y tierra mayor de 250 voltios en corriente alterna sin exceder de 375 voltios.	Subdivisión H <sub>1</sub> : Tensión entre conductores y tierra mayor de 375 voltios en corriente alterna sin exceder de 15000 voltios.
Bélgica			Subdivisión H <sub>2</sub> : Tensión entre conductores y tierra mayor de 15000 voltios en corriente alterna sin exceder de 100.000 voltios.

CONTINUACION CUADRO N° 2.3

REGLAMENTOS QUE ESTABLECEN CATEGORIAS EN LAS LINEAS SEGUN LA

TENSION

PAIS	C A T E G O R I A S		
	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA
Canadá	Tensión entre conductores sin exceder de 750 voltios.	Tensión entre conductores de 750 voltios hasta 7.500 voltios	Tensión entre conductores de 7.500 voltios hasta 50.000 voltios.
Checoeslovaquia	Tensión entre conductores y tierra mayor de 50 voltios e inferior a 300 voltios.	Tensión entre conductores y tierra mayor de 300 voltios.	-----
Francia	A) Corriente Continua: Instalaciones en las que la mayor tensión no excede de 600 vol -	Instalaciones en las que la tensión excede de los anteriores límites sin llegar a 60.000 voltios en corrien	Instalaciones en las que la tensión es igual o mayor de 60.000 voltios en corriente continua

CONTINUACION CUADRO N° 2.3REGLAMENTOS QUE ESTABLECEN CATEGORIAS EN LAS LINEAS SEGUN LA  
TENSION

PAIS	C A T E G R I A S		
	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA
	tios.	te continua y a	y de 33.000 vol-
	B) Corriente Al-	33.000 voltios en	tios entre fase
	terna:	tre fase y neutro	y neutro en co-
	B <sub>1</sub> ) Instalacio-	en corriente al-	rriente alter-
	nes en las que	terna.	na.
	la mayor tensión		
	eficaz entre fa-		
	se y neutro no -		
Francia	excede de 150 vol		
	tios.		
	B <sub>2</sub> ) Instalaciones		
	en las que la ma-		
	yor tensión efi-		
	caz entre fase y		
	neutro excede de		
	150 voltios sin		
	sobrepasar de		
	250 voltios.		

CONTINUACION CUADRO N° 2.3REGLAMENTOS QUE ESTABLECEN CATEGORIAS EN LAS LINEAS SEGUN LATENSION

PAIS	C A T E G O R I A S		
	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA
Gran Bretaña	Tensión entre conductores o entre conductores y tierra cuando uno se halle unido a tierra sin que exceda de 650 voltios en corriente continua y 325 voltios en alterna.	Tensiones mayores	-----
Japón	Tensión entre conductores menor de 600 voltios en corriente continua y de 300 voltios en alterna.	Tensión entre conductores mayor de 600 voltios en corriente continua y de 300 voltios en alterna.	Tensión entre conductores sin exceder de 3.500 voltios en corriente alterna.

CONTINUACION CUADRO N° 2.3REGLAMENTOS QUE ESTABLECEN CATEGORIAS EN LAS LINEAS SEGUN LATENSION

PAIS	C A T E G O R I A S		
	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA
	Tensión entre con	Tensiones mayores	
	ductores sin exce		
	der de:		
	A) En Corriente -		
	Continua::		
	500 voltios + 10%		
	B) En Corriente -		
Noruega	Alterna:		-----
	250 voltios + 10%		
	o de		
	380 voltios + 10%		
	si el neutro estu		
	viera unido a tie		
	rra.		



CONTINUACION CUADRO N° 2.3REGLAMENTOS QUE ESTABLECEN CATEGORIAS EN LAS LINEAS SEGUN LATENSION

PAIS	C A T E G O R I A S		
	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA
Polonia	Tensión entre con <u>ductores</u> y tierra sin exceder de 250 voltios en co <u>rriente</u> continua o alterna.	Tensión entre con <u>ductores</u> y tierra mayor de 250 vol <u>tios</u> en corriente continua o alterna.	-----
Rumania	Tensión entre con <u>ductores</u> sin exce <u>so</u> de 250 voltios + 20%	Tensiones mayores	-----
Suiza	Tensión entre con <u>ductores</u> y tierra mayor de 50 vol <u>tios</u> e inferior a 300 voltios.	Tensión entre con <u>ductores</u> y tierra mayor de 300 vol <u>tios</u> .	-----

C A P I T U L O 3

## 3.- CONDUCTORES.-

3.1.- Naturaleza.

3.2.- Materiales empleados como conductores.

3.3.- Galgas de los conductores.

3.4.- Conductores de cobre.

3.5.- Conductores de aluminio.

3.6.- Conductores de acero. (hierro)

3.7.- Conductores de aluminio - acero.

3.8.- Conductores de otros tipos.

3.9.- Normalización.

C A P I T U L O 33.- CONDUCTORES.-

Los conductores eléctricos son fabricados en varios -  
perfiles y formas para los distintos usos. Pueden ser alambres, -  
cables, cintas, barras cuadradas o rectangulares, perfiles en án-  
gulo, en U, o especiales para casos particulares. La forma más em-  
pleada es la de alambres redondos o cables.

3.1.- NATURALEZA DE LOS CONDUCTORES.-

Se llama en general conductor eléctrico a toda subs-  
tancia o material que permite el paso continuo de una corriente -  
eléctrica, cuando está sometido a una diferencia de potencial --  
eléctrico. Cuanto mayor es la densidad de corriente para una dife-  
rencia de potencial determinada tanto más eficiente es el conduc-  
tor. Virtualmente, todas las sustancias en estado sólido o líqui-  
do poseen en algún grado propiedades de conductividad eléctrica,  
pero ciertas sustancias son relativamente buenas conductoras y -  
otras están casi totalmente desprovistas de esa propiedad. Los me-  
tales, por ejemplo, son los mejores conductores, mientras que mu-  
chas sustancias como óxidos metálicos, sales, minerales y mate-  
rias fibrosas, tienen una conductividad relativamente baja que, -  
no obstante, es favorablemente afectada por la absorción de la hu-  
medad.

En resumen, todos los materiales que se emplean para

conducir corrientes eléctricas están clasificados como conductores y como el Ecuador no es un país fabricante, de dichos materiales se puede dar sólo la siguiente norma:

ARTICULO 12.- Conductores.- Los conductores podrán ser de cualquier material que tenga características eléctricas y mecánicas adecuadas para este fin, además de ser prácticamente inalterables con el tiempo.

Su resistencia mecánica y dimensiones satisfarán las condiciones que posteriormente se indican, pudiéndose utilizar conductores huecos o constituidos por metales de diferente naturaleza.

### 3.2.- MATERIALES EMPLEADOS COMO CONDUCTORES.-

Los metales de que están formados los conductores de las líneas de transporte, deben ser de resistencia eléctrica pequeña, a fin de que las pérdidas de energía se reduzcan todo lo posible, ya que éstas son proporcionales a aquella resistencia.

En cambio, su resistencia mecánica conviene sea grande, puesto que los esfuerzos de esta naturaleza que han de soportar son siempre elevados.

Por último, han de ser de un precio de adquisición tal que el transporte de la energía sea rentable.

Fácilmente se comprende que dichas condiciones no serán completadas de un modo simultáneo. De aquí, el corto número de metales que se emplean para los conductores, y que en líneas generales son:

Cobre

Multimetal (cobre - acero)

Aluminio

Aluminio - acero

Aldrey, Almelec (aleaciones ligeras de aluminio).

Hierro (acero)

En este capítulo se ha incluido datos de los diversos conductores. Las constantes de éstos varían de unos fabricantes a otros. En la redacción de un proyecto, las discordancias que puedan aparecer entre los valores que se exponen y los particulares de determinado fabricante carecen de importancia.

### 3.3.- GALGAS DE LOS CONDUCTORES.-

En los países que utilizan el sistema métrico decimal como Alemania, Francia, Austria, Italia, España y otros países continentales no hay galgas para los alambres, y las medidas son especificadas directamente en milímetros. Este sistema es llamado a veces galga milimétrica para alambres. Las medidas de los alambres usados en Francia tienen, sin embargo, un parentesco con la vieja galga de París (Jauge de París de 1857).

Existe también, en otros países, especialmente en Estados Unidos e Inglaterra, un sistema de clasificación mediante galgas, dándose a los hilos una designación numérica para distinguirlo. Esta práctica ha producido confusiones debido a las numerosas galgas en uso. La galga más usada en Norteamérica para conductores eléctricos es la American Wire gage; para los alambres de acero, la Birmingham Wire gage.

No hay, en los Estados Unidos, ninguna galga reconocida legalmente para los alambres. En Inglaterra, la Standard Wire gage es la norma legal. Sin embargo, en los Estados Unidos hay una tendencia a abandonar completamente los números de galgas y especificar las dimensiones de los alambres por su diámetro en mils (milésimas de pulgada). Esta práctica es especialmente corriente en las especificaciones y tiene la gran ventaja de ser simple y explícita. Muchos fabricantes de alambres favorecen esta práctica, que ya había sido adoptada por el U.S. Navy Dept., en el año 1911.

### 3.3.1.- MIL.

Es la expresión utilizada en Norteamérica para medir diámetros de alambres; es una unidad de longitud igual a una milésima de pulgada o sea a 0,0254 mm.

### 3.3.2.- CIRCULAR MIL.

Es la expresión utilizada para definir secciones transversales; esta unidad es igual al área de un círculo de 1 mil de diámetro. Este círculo tiene así un área de  $\pi/4$  ó 0,7854 mil cuadrada. Por consiguiente, un alambre de 10 mils de diámetro tiene una sección transversal de 100 cir.mils ó 78 mils cuadradas. Por lo tanto:

$$1 \text{ cir.mil} = 0,7854 \text{ mil}^2 = 0,000506 \text{ mm}^2$$

### 3.3.3.- AMERICAN WIRE GAGE (A.W.G.)

También conocida como Brown & Sharpe gage, fue pro --

puesta por J. R. Brown en 1857. Esta galga tiene la propiedad, común a otras galgas, que sus dimensiones representan aproximadamente las distintas etapas sucesivas en el proceso de la fabricación de los alambres. También, como en muchas otras galgas, sus números son regresivos, correspondiendo a un número mayor un alambre más delgado, como las operaciones del estirado. Los números de esta galga no son arbitrarios, como en muchas otras, sino que responden a una ley matemática que es la base de la galga. Se funda en una relación constante entre los diámetros de los números sucesivos; es decir, los diámetros crecen en progresión geométrica. Así, el diámetro 0,4600 pulg. es definido como N° 0000, el diámetro 0,0050 pulg., como N° 36. Hay 38 medidas entre estas dos; por consiguiente, la relación de un diámetro cualquiera, al diámetro del número próximo superior está dada por la relación:

$$\sqrt[39]{\frac{0,4600}{0,0050}} = \sqrt[39]{92} = 1,1229322$$

El cuadrado de esta relación es 1,2610. Siendo así que la sección sería como el cuadrado del diámetro, la relación entre una sección cualquiera y la inmediata superior es 1,261. La sexta potencia de 1,1229322 es 2,005. Por lo tanto, la relación entre un diámetro cualquiera al diámetro de un número de galga 6 veces mayor vale prácticamente 2. De esto resulta que la sección o se dobla o se reduce a la mitad por cada tres números de variación de la galga.

En el anexo N° 2.1 se puede observar las equivalencias entre las distintas galgas.

### 3.3.4.- DESIGNACION DE LAS DIMENSIONES DE LOS CONDUCTORES.

En Norteamérica se emplean para tamaños hasta 4/0, - mils, decimales de pulgada, o números A.W.G. para conductores unifilares y números A.W.G. o circular mils para conductores cableados; para tamaños mayores a 4/0, se emplean los circular mils exclusivamente.

La U.S. Navy emplea los circular mils en todas las dimensiones. Gran Bretaña expresa las secciones en pulgadas cuadradas. Los otros países usan, generalmente, el milímetro cuadrado.

Como en el Ecuador se utiliza el sistema métrico lógico será dar las secciones de los conductores en  $\text{mm}^2$  y los diámetros en mm. de esta manera se evitarán las posibles confusiones a que darían lugar las utilizaciones de las galgas. Sin embargo, debido a la influencia Norteamericana en el mercado eléctrico y en la técnica del país, se podrá utilizar además la denominación A.W.G., por lo tanto:

ARTICULO 13.- Designación de la Sección de los Conductores.- Las

dimensiones de los conductores empleados en las líneas de transporte de la energía eléctrica se especificarán designando su sección en mm cuadrados y sus diámetros en milímetros.

Además se podrá expresar su calibre según la galga A.W.G. para conductores de cobre, aluminio y sus aleaciones y según la galga B.W.G. para conductores de hierro o acero.



### 3.4.- CONDUCTORES DE COBRE.-

#### 3.4.1.- HILOS DE COBRE.

El cobre es el metal más utilizado en conductores, ya que es el que mejor se adapta a las condiciones antes citadas. Se le obtiene en forma de hilos de cobre blando, semiduro y duro.

El recocido presenta una pequeña resistencia mecánica, tan sólo de 22 á 28 Kg/mm<sup>2</sup>.

El semi-duro tiene una resistencia a la rotura de 28 á 34 Kg/mm<sup>2</sup>. Sus aplicaciones son las líneas de tensión poco elevada, en las cuales los vanos no exceden de 40 á 50 metros de longitud. Podríamos decir que este tipo se adapta para todos los sistemas de distribución eléctrica del país.

El duro de 35 á 46 Kg/mm<sup>2</sup> de resistencia a la rotura, es el que se utiliza en los sistemas de transmisión eléctrica.

El llamado cobre duro telefónico encuentra su principal aplicación en las líneas de telecomunicación. Es de una gran resistencia mecánica de 50 á 70 Kg/mm<sup>2</sup>,; su conductibilidad es suficiente para el uso que se le destina.

A medida que la carga de rotura aumenta, lo hace también la resistencia eléctrica. Por tanto, desde ese punto de vista la aptitud mecánica varía inversamente de la eléctrica. La carga de rotura que se obtiene para el cobre queda favorecida por el trabajo en frío del metal.

Los reglamentos administrativos o normas a que han de

sujetarse las líneas, admiten generalmente como diámetro mínimo - el de 3 mm. SIC Checa, "Líneas de Transporte de Energía Eléctrica" Los hilos de este diámetro resisten poco a las acciones atmosféricas (vientos, manguitos de nieve o hielo), y es difícil no tensar los más de lo conveniente en el momento de su tendido. Es más prudente no emplear diámetros de menos de 3,5 mm.

El límite práctico superior de los hilos es de 7 mm. Los que lo exceden son de difícil manejo a causa de su pequeña flexibilidad y resulta más ventajosos sustituirlos por cables formados por varios hilos convenientemente cableados.

En el cuadro 3.2 se pueden apreciar los reglamentos de diversos países en cuanto a la sección de los hilos de cobre y aleaciones.

### C U A D R O 3.2

#### NORMAS RELATIVAS A LOS HILOS DE COBRE Y ALEACIONES

PAIS	NORMA
Alemania	Quedan prohibidos en vanos de más de 80 metros de longitud. La sección máxima será de 16 mm <sup>2</sup> . - La mínima 10 mm <sup>2</sup> . En primera categoría y en general para primera y segunda si el vano no excede de 35 metros de longitud se admitirán secciones inferiores.

CONTINUACION CUADRO 3.2NORMAS RELATIVAS A LOS HILOS DE COBRE Y ALEACIONES

PAIS	NORMA
Australia	Quedan prohibidos
Austria	La sección máxima será de $25 \text{ mm}^2$ en primera categoría y de $16 \text{ mm}^2$ en segunda. La carga mínima de rotura será de 180 Kg. en primera categoría y de 380 Kg. en segunda.
Bélgica	Sólo se admitirán en primera categoría. La carga mínima de rotura será de 280 Kg.
Canadá	La sección mínima será de $5 \text{ mm}^2$ en primera categoría y de $13,4 \text{ mm}^2$ , en segunda y tercera.
Estados Unidos de América	La sección mínima será de $8,4 \text{ mm}^2$ para zonas de pequeñas sobrecargas, de $13,3 \text{ mm}^2$ para zonas de sobrecargas medias y de $21,2 \text{ mm}^2$ para las zonas de grandes sobrecargas.
Francia	El diámetro del alma metálica de los conductores de energía no cableados no será inferior a 3 mm, su carga de rotura no será menor de 285 Kg.

CONTINUACION CUADRO 3.2NORMAS RELATIVAS A LOS HILOS DE COBRE Y ALEACIONES

PAIS	NORMA
Gran Bretaña	La sección mínima en las líneas será de $13 \text{ mm}^2$ y en los ramales a los usuarios será de $6 \text{ mm}^2$
Italia	En el caso de que las vigentes disposiciones <u>con</u> sientan el empleo de conductores de cobre, éstos serán de una sección nominal no inferior a $10 \text{ mm}^2$ , para alta tensión, y a $6 \text{ mm}^2$ para baja tensión. Se exceptúan las derivaciones en baja tensión a instalaciones de usuarios para las que se admitt <del>en</del> una sección nominal de $4 \text{ mm}^2$
Japón	Las secciones mínimas serán de $5,3 \text{ mm}^2$ para primera categoría, de $12,6 \text{ mm}^2$ para segunda y de $19,65 \text{ mm}^2$ para la tercera.
Suiza	Las secciones mínimas serán de $12,5 \text{ mm}^2$ para primera categoría y de $19,6 \text{ mm}^2$ para segunda. La carga mínima de rotura será de 350 Kg. en primera categoría y de 560 Kg. en segunda.

### 3.4.2.- CABLES DE COBRE.

Según vimos anteriormente, el límite práctico superior de los hilos es 7 mm y para diámetros mayores es más práctico el empleo de cables que el de hilos.

Los cables deben estar constituidos por hilos de la misma calidad, resultando en definitiva la estructura de los cables de la combinación de varios hilos que se "cablean" helicoidalmente en una o varias capas alrededor de un hilo central llamado "alma" (a veces el alma la forman, a su vez, varios hilos).

La composición de los cables homogéneos, como son los que estamos describiendo, es siempre a base de hilos de igual diámetro.

La principal ventaja de los cables es su flexibilidad, superior a la de un hilo de igual diámetro, haciéndose de esta manera más fácil su transporte, manejo, montaje, etc. Además, el cable es más flexible cuanto menor es el diámetro de los hilos, pero existe un límite para dicho diámetro, ya que la resistividad del metal aumenta con su dureza.

El cableado se realiza de la siguiente manera: - alrededor del hilo central, se cablea en hélice una primera capa de 6 hilos, después una segunda en sentido inverso de 12 hilos, - luego otra de 18, y finalmente, otra de 24, efectuándose el cableado de las diversas capas alternativamente, con hélice de paso hacia la derecha y hacia la izquierda, evitándose de esta forma la

tendencia natural del cable a desenrollarse una vez instalado, - lo que llevaría consigo el aflojamiento de los hilos entre sí.

Para darse cuenta de cómo es el cableado no hay más que tomar una serie de monedas de igual diámetro y colocar - concéntricamente alrededor de una de ellas otras 6, luego 12, des - pués 18, y, finalmente 24.

De este modo quedan representados en sección -- transversal recta, los cables de 7, 19, 37, y 61 hilos respectiva - mente, conviniendo los últimos sólo para secciones muy grandes.

Fácilmente se comprende que únicamente el hilo - central queda rectilíneo en el cable. Los demás se le van superpo - niendo, según una hélice de determinado paso, con lo cual aumenta su longitud por metro de cable fabricado, tanto más cuanto menor sea el paso.

En el cálculo de la resistencia óhmica, y del pe - so por metro de cable, hay que tener en cuenta dicho aumento de - longitud. El paso del cableado viene indicado en la mayoría de - los casos por un número múltiplo del diámetro total del cable -- (llamado también diámetro aparente).

Además en un cable su carga de rotura a la trac - ción es menor que la suma de las cargas de rotura de los hilos - componentes, ya que se produce una disminución de las mismas debi - do al proceso del cableado de los hilos, ya que además los hilos de las diversas capas presentan longitudes distintas de forma que

no trabajan todos de la misma manera.

Todos estos factores anotados, los tienen en cuenta los fabricantes y por esta razón siempre dan las características de los cables de cobre y es posible escoger el más conveniente para cada caso particular.

En el cuadro N° 3.3 se presentan las normas de algunos países respecto al uso de los cables de cobre.

C U A D R O N° 3.3

NORMAS RELATIVAS A LOS CABLES DE COBRE Y ALEACIONES

PAIS	NORMA
Alemania	La sección mínima será de $10 \text{ mm}^2$ . En primera categoría y con conductor de cobre se admitirá la de $6 \text{ mm}^2$ así como conductor de bronce de una carga de rotura de 228 Kg.
Australia	La sección máxima de cada hilo componente será de $7,8 \text{ mm}^2$ . La mínima $1,7 \text{ mm}^2$ La mínima del cable, $8 \text{ mm}^2$
Austria	Su fabricación se ajustará a normas especiales. La sección mínima será de $10 \text{ mm}^2$

CONTINUACION CUADRO N° 3.3NORMAS RELATIVAS A LOS CABLES DE COBRE Y ALEACIONES

Bélgica	Serán por lo menos de 7 hilos. La carga mínima - de rotura para primera categoría será de 280 Kg; para segunda 500 Kg., para tercera subdivisión - H <sub>1</sub> será de 500 Kg., y para tercera subdivisión - H <sub>2</sub> será de 1.200 Kg.
Checoslovaquia	Las mismas secciones mínimas que para los hilos de cobre y aleaciones. Normalmente no se emplearán más que los de secciones igual o superior a 11 mm <sup>2</sup>
Estados Unidos de América	La misma sección mínima que para los hilos de cobre y aleaciones.
Gran Bretaña	La sección mínima será de 13 mm <sup>2</sup>
Holanda	La sección mínima será de 25 mm <sup>2</sup>
Italia	Para alta tensión la sección nominal no será inferior a 10 mm <sup>2</sup> ; para baja tensión 6 mm <sup>2</sup> . Se exceptúan las derivaciones de usuarios para los - que se admiten una sección nominal de 4 mm <sup>2</sup>



CONTINUACION CUADRO N° 3.3NORMAS RELATIVAS A LOS CABLES DE COBRE Y ALEACIONES


---

Japón La sección mínima para primera categoría será de 5,5 mm<sup>2</sup>, para segunda categoría de 14 mm<sup>2</sup> y para tercera de 22 mm<sup>2</sup>

---

Rumania No se fijan Normas.

---

Rusia Los conductores de las líneas de transporte de energía eléctrica serán de cobre estirado de varios hilos y de sección transversal igual, por lo menos, a 16 mm<sup>2</sup>; en el caso en que la seguridad contra las interrupciones del servicio deba quedar asegurada, dicha sección no deberá ser menor de 25 mm<sup>2</sup>

---

Suiza La carga mínima de rotura para primera categoría será de 350 Kg. y para segunda categoría de 560 Kg.

---

3.5.- CONDUCTORES.-3.5.1.- HILOS DE ALUMINIO.

Prácticamente puede decirse que la duración de los hilos de aluminio, lo mismo que la del cobre, es ilimitada. -

Incluso en desfavorables condiciones, no se han apreciado trastornos en el servicio por destrucción de los conductores.

Al cabo de algún tiempo, después del tendido, la superficie de los conductores se cubre con una fina capa de óxido de aluminio muy adherente e impermeable, que los protege contra ataques posteriores.

La duración del aluminio es función principalmente de su pureza. Un aluminio con gran cantidad de cobre se descompone aunque tenga ya formada a su alrededor la película de óxido autoprotectora, pues en estas circunstancias de impureza, no es capaz de impedir el progreso de la descomposición hacia el interior del metal.

Por ello debe emplearse únicamente un aluminio de primera calidad con un grado de pureza de, por lo menos, 99%, evitándose así las corrosiones citadas.

Las impurezas acrecientan la resistividad del metal; pero por el contrario, un aluminio completamente puro es tan blando y de tan pequeña carga de rotura que su empleo es inaceptable. La experiencia ha demostrado la conveniencia de que su pureza sea del 99 al 99,5%.

Las principales características del aluminio comparadas con el cobre quedan indicadas en el cuadro N<sup>o</sup> 3.4 y se han graficado en la Fig. 3.1.

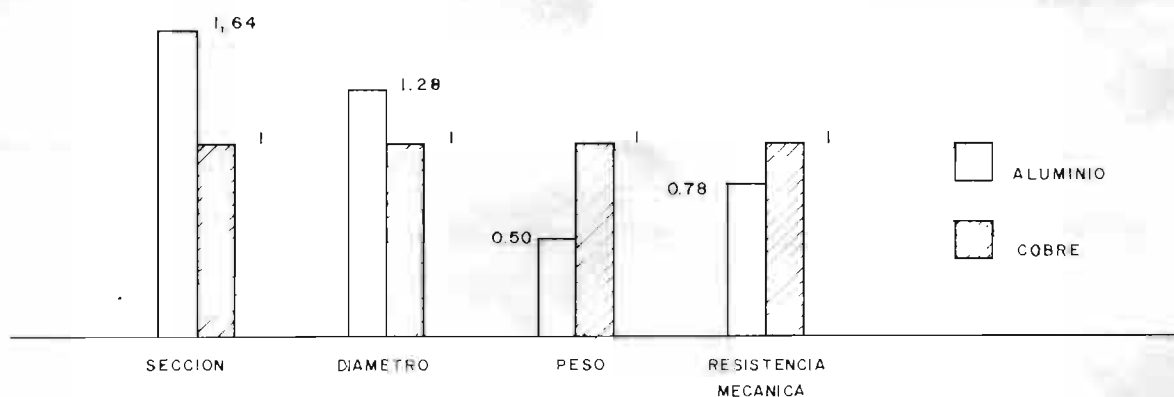


FIG 3.1 COMPARACION DE LOS CONDUCTORES DE ALUMINIO Y COBRE A IGUALDAD DE CONDUCTIBILIDAD

### CUADRO N° 3.4

#### COMPARACION DE LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL ALUMINIO Y DEL COBRE

PRINCIPALES CARACTERISTICAS	ALUMINIO	COBRE DURO	UNIDADES
Peso específico	2,70	8,95	gr/cm <sup>3</sup>
Resistividad a 20°C	2,82	1,76	microohmois
Conductibilidad a 20°C	60 a 64	100	%
Coefficiente de temperatura	0,004	0,0039	
Módulo de elasticidad	6750	12000	Kg/mm <sup>2</sup>
Carga de rotura	16 a 20	35 a 46	Kg/mm <sup>2</sup>
Límite de elasticidad	11 a 12	30 a 41	Kg/mm <sup>2</sup>
Alargamiento a la rotura	30	0,5 a 6	%

CONTINUACION CUADRO N° 3.4COMPARACION DE LAS DIFERENTES CARACTERISTICAS DEL  
ALUMINIO Y DEL COBRE

PRINCIPALES CARACTERISTICAS	ALUMINIO	COBRE DURO	UNIDADES
Coeficiente de dilatación			
lineal	$23 \times 10^{-6}$	$16 \times 10^{-6}$	
Calor específico (agua = 1)	0,203	0,912	
A igual conductibilidad:			
Relación de las secciones	1,64	1	
Relación de los diámetros	1,28	1	
Relación de los pesos	0,50	1	
Relación de las cargas de			
rotura	0,78	1	
A igual calentamiento:			
Relación de las secciones	1,405	1	
Relación de los pesos	0,424	1	
A iguales secciones:			
Relaciones de las conduc-			
tibilidades	0,61	1	
Relación de los pesos	0,30	1	

En el cuadro N° 3.5 podemos comparar los criterios de diferentes reglamentos y países para los hilos de aluminio y alea

ciones.

De manera general se observa que los reglamentos se concretan a admitir o no el uso de los hilos de aluminio y aleaciones

C U A D R O N° 3.5

NORMAS RELATIVAS A LOS HILOS DE ALUMINIO Y ALEACIONES

PAIS	NORMA
Alemania	Quedan prohibidos
Australia	Quedan prohibidos
Austria	Quedan prohibidos
Bélgica	Se admitirán en primera categoría. La carga mínima de rotura será de 280 Kg.
Canadá	Se admiten
Checoslovaquia	Quedan prohibidos
Estados Unidos de América	Se admitirán
Gran Bretaña	La sección mínima será de $29,20 \text{ mm}^2$ para las líneas y de $16,20 \text{ mm}^2$ en los ramales a usuarios.
Holanda	Quedan prohibidos

CONTINUACION CUADRO N° 3.5NORMAS RELATIVAS A LOS HILOS DE ALUMINIO Y ALEACIONES

PAIS	NORMA
Japón	Se admitirán. La tendencia es la de utilizar solamente cables.
Polonia	La sección mínima será de $16 \text{ mm}^2$
Rusia	Se admitirán.
Suiza	Quedan prohibidos.

3.5.2.- CABLES DE ALUMINIO.

Al igual que para el cobre, un hilo de aluminio de gran carga de rotura presenta una mayor resistencia eléctrica que otro en que aquella carga sea pequeña.

Las cargas de rotura más favorables se obtienen con hilos de diámetro menores de 3 mm, valiendo aquéllas alrededor de 14 y 15  $\text{Kg/mm}^2$  según los diámetros y resistencias eléctricas.

Estas son las razones por las cuales se fabrican las secciones pequeñas de conductores de aluminio con cables constituidos por varios hilos, obteniéndose, en definitiva, mediante el cableado, un conductor mucho más flexible que si se empleara un hilo único.

En la práctica los cables de aluminio están formados por varios hilos convenientemente cableados, cuyos diámetros oscilan entre 2 y 4 mm, sin que esto quiera decir que dichos límites sean absolutos.

En cuanto a la resistencia mecánica de los cables de aluminio es aplicable lo que se dijo para los cables de cobre.

En el cuadro N° 3.6 se presentan las normas de algunos países referentes a los cables de aluminio y aleaciones.

C U A D R O N° 3.6

NORMAS RELATIVAS A LOS CABLES DE ALUMINIO Y ALEACIONES

PAIS	NORMA
Alemania	La sección mínima será de 25 mm <sup>2</sup> . Se admitirán - 16 mm <sup>2</sup> en primera categoría con vano de hasta 35 metros.
Austria	El diámetro de los hilos componentes será de 2 mm. La sección mínima será de 16 mm <sup>2</sup> en primera categoría y de 25 mm <sup>2</sup> en segunda.
Bélgica	Serán de 7 hilos y por lo menos con la misma carga mínima de rotura que la de los cables de cobre.
Canadá	Las secciones mínimas serán de 13,3 mm <sup>2</sup> en primera categoría, 21,15 mm <sup>2</sup> en segunda y tercera categoría.

CONTINUACION CUADRO N° 3.6NORMAS RELATIVAS A LOS CABLES DE ALUMINIO Y ALEACIONES

Checoslovaquia	La sección mínima en primera categoría será de - 16 mm <sup>2</sup> si el vano es menor o igual a 35 metros, y la sección mínima será mayor de 16 mm <sup>2</sup> si el - vano es mayor de 35 metros. En segunda categoría la sección mínima será de 25 mm <sup>2</sup>
Estados Unidos de América	La sección mínima será de 42,40 mm <sup>2</sup> si el vano - es menor o igual que 45,7 metros y de 53,50 mm <sup>2</sup> si el vano es mayor de 45,7 metros.
Gran Bretaña	La sección mínima será de 29,20 mm <sup>2</sup>
Holanda	La sección mínima será de 35 mm <sup>2</sup>
Italia	Los conductores de aluminio serán empleados en - forma de cables, si son de aluminio puro deben - tener una sección nominal no menor de 20 mm <sup>2</sup> , si de aleación de aluminio de gran resistencia mecá nica una sección nominal no menor de 12 mm <sup>2</sup>
Polonia	Son aplicables las normas de los cables de cobre. En líneas locales de primera categoría y para va nos de hasta 35 metros la sección mínima será de 16 mm <sup>2</sup> . En los demás casos, 25 mm <sup>2</sup>



CONTINUACION CUADRO N° 3.6NORMAS RELATIVAS A LOS CABLES DE ALUMINIO Y ALEACIONES


---

Rumania                    La carga de rotura será la misma que la del hilo de cobre si se empleara este conductor.

---

Rusia                      Se admitirá el empleo de conductores de aluminio, con tal que su resistencia mecánica sea suficiente.

---

Suiza                      La carga mínima de rotura como la de los cables de cobre.

---

3.5.3.- COMPARACION ECONOMICA ENTRE ALUMINIO Y COBRE.

Del cuadro N° 3.4 se obtienen los valores de los pesos específicos y resistividades:

Resistividad del cobre = 1,76

Resistividad del aluminio = 2,82

Peso específico del cobre = 8,95

Peso específico del aluminio = 2,70

Haciendo la relación entre estos valores se obtiene:

$$\frac{2,7 \times 2,82}{8,95 \times 1,76} \approx \frac{1}{2}$$

y es el fundamento de la conocida regla que dice que, aproximadamente 1 kg. de cobre es equivalente eléctricamente a 0,5 kg. de aluminio; es decir, que el costo para los conductores de uno y -

otro metal será el mismo cuando el precio del cobre sea la mitad del precio del aluminio. Basada en esta consideración, se ha obtenido el diagrama de la Fig. 3.2, del cual puede deducirse inmediatamente, una vez conocida la relación de cotizaciones del aluminio y cobre, si se obtendrá una economía o un encarecimiento con el empleo del primero.

$$\frac{\text{Cotización del Al}}{\text{Cotización del Cu}} = \frac{K_{Al}}{K_{Cu}}$$

$$\frac{\text{Peso específico Al}}{\text{Peso específico Cu}} \times \frac{\text{Resistividad del Al}}{\text{Resistividad del Cu}} = \frac{K_{Al}}{K_{Cu}} \times 0,5$$

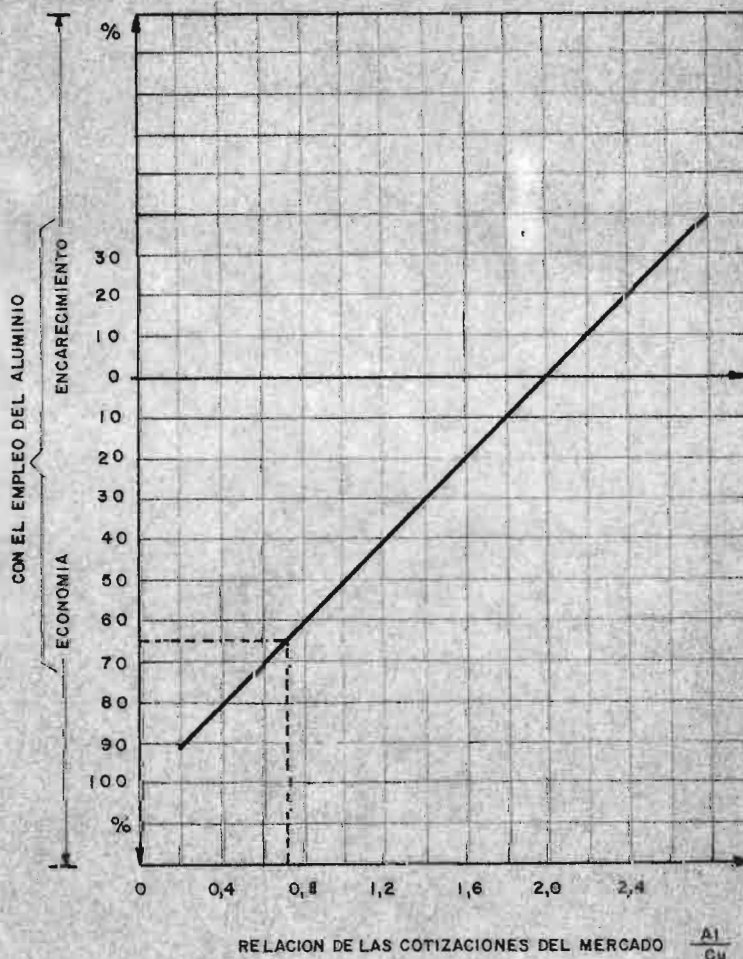


FIG. 3.2 — RENTABILIDAD DE LOS CABLES DE ALUMINIO Y DE COBRE EN FUNCIÓN DE SUS COTIZACIONES RESPECTIVAS

Por lo tanto si los actuales precios en el mercado -  
son:

$$\begin{aligned} \text{Precio del cobre} &= \$ 1.160/\text{ton} \\ \text{Precio del aluminio} &= \$ 850/\text{ton} \end{aligned} \quad \frac{K_{Al}}{K_{Cu}} = \frac{850}{1160} = 0,7327$$

se obtendrá una economía del 65% al utilizar conductores de alumi  
nio.

### 3.6.- CONDUCTORES DE ACERO (HIERRO).-

Son muy poco utilizados en líneas eléctricas. Sin em-  
bargo, en momentos de escasez de cobre o aluminio en el mercado -  
se emplean estos conductores teniendo su principal aplicación en  
las electrificaciones rural y agrícola. En el Ecuador se puede ob-  
servar este tipo de líneas en la provincia de Imbabura, Cañar y -  
Azúay.

El problema con los hilos de hierro o acero, es que -  
al cabo de algún tiempo hay que sustituir los conductores oxida--  
dos y si la extensión de las líneas de hierro adquieren grandes -  
proporciones, el desembolso económico sería fuerte, ya que el me-  
tal viejo, como consecuencia del mal estado en que se encontraría,  
no tendría más que un valor de venta relativamente pequeño.

La solución sería utilizar acero inoxidable, pero su  
precio elevado disminuye la conveniencia de emplear tales conduc-  
tores.

Desde el punto de vista de la seguridad mecánica, las  
causas de roturas de los conductores de hierro o acero son bastan

te numerosas. La galvanización, incluso en las mejores condiciones tiene una eficacia, relativa (se estima de 10 a 15 años de duración). Por otra parte, gran número de causas pueden favorecer la rotura de conductores, en especial los roces con aisladores, los ataques debidos a otros metales y los pequeños arcos intermitentes; también los desprendimientos gaseosos en zonas fabriles pueden ser muy perjudiciales.

El acero y el hierro dulce no se emplean generalmente como conductores, pero sí, en forma de hilos y cables, como fiadores de los de cobre en los cruces de las vías públicas y como conductores de tierra.

En el cuadro N° 3.7 se puede comparar los reglamentos de diferentes partes respecto a los hilos de hierro y acero, y en el cuadro N° 3.8, respecto a cables.

C U A D R O N° 3.7

NORMAS RELATIVAS A LOS HILOS DE HIERRO Y ACERO

PAIS	NORMA
Alemania	Se admitirán en primera categoría en vanos de - hasta 80 metros. La sección mínima será de 16 mm <sup>2</sup> En vanos de hasta 35 metros, la carga mínima de rotura será de 228 Kg.

CONTINUACION CUADRO N° 3.7NORMAS RELATIVAS A LOS HILOS DE HIERRO Y ACERO

PAIS	NORMA
Austria	Se admitirán en líneas de hasta 6.000 voltios. - La sección mínima será de 16 mm <sup>2</sup> .
Checoslovaquia	Se admiten en primera categoría en vanos de hasta 35 metros. La sección mínima será de 10 mm <sup>2</sup> .
Estados Unidos de América	Zona de grandes sobrecargas: la sección mínima será de 18,68 mm <sup>2</sup> si el vano es menor o igual a 45,7 metros. Para vanos mayores, la sección mínima será de 25,72 mm <sup>2</sup> . Zona de medias sobrecargas: la sección mínima será de 18,68 mm <sup>2</sup> si el vano es menor o igual a 45,7 metros. Para vanos mayores, la sección mínima será de 25,72 mm <sup>2</sup> .
Japón	La sección como la de los hilos de cobre.

CONTINUACION CUADRO N° 3.7NORMAS RELATIVAS A LOS HILOS DE HIERRO Y ACERO

PAIS	NORMA
Polonia	Se admitirán en las líneas locales de primera categoría en vanos de hasta 80 metros.
Rumania	Sólo se admitirán en casos excepcionales. La carga mínima de rotura será la misma que la del hilo de cobre si se empleara este conductor.
Suiza	En líneas de primera categoría la carga mínima de rotura será de 350 Kg.; para segunda categoría será de 560 Kg.

CUADRO N° 3.8NORMAS RELATIVAS A LOS CABLES DE HIERRO O ACERO

PAIS	NORMA
Alemania	La sección mínima como la de los hilos de hierro o acero
Austria	La sección mínima será de 16 mm <sup>2</sup>

CONTINUACION CUADRO N° 3.8NORMAS RELATIVAS A LOS CABLES DE HIERRO O ACERO

PAIS	NORMA
Checoslovaquia	En primera categoría y si el vano es menor o -- igual que 35 metros la sección mínima será de 10 $\text{mm}^2$ ; para vanos mayores la sección debe ser tam- bién mayor de 10 $\text{mm}^2$ . En segunda categoría la - sección mínima será de 16 $\text{mm}^2$ .
Estados Unidos de América	Se aplicarán las normas de hilos de hierro o ace- ro. No suelen emplearse secciones menores de -- 35,6 $\text{mm}^2$ .
Holanda	La sección mínima será de 25 $\text{mm}^2$
Japón	La carga mínima de rotura como la de los hilos - de hierro. La sección mínima será de 5,5 $\text{mm}^2$ en primera categoría; de 14 $\text{mm}^2$ en segunda; y de 22 $\text{mm}^2$ en tercera.
Polonia	Se aplicarán las normas de cables de cobre. En - líneas locales de primera categoría y en vanos - de hasta 35 metros, la sección mínima será de 10 $\text{mm}^2$ . En los demás casos de 25 $\text{mm}^2$
Rumania	Se aplicarán las normas de hilos de hierro.

3.6.1.- ESTADISTICAS SOBRE EL EMPLEO DEL HIERRO Y ACERO EN CONDUCTORES.

La Sociedad Francesa de Electricistas estudió por el año de 1935 el empleo del hierro y acero en conductores. El citado Sindicato abrió una información recogiendo las opiniones de 88 distribuidores, de los cuales solamente 41 lo habían empleado. Y de estos últimos, 13 de ellos tan sólo en baja tensión.

Unicamente tres pensaban continuar con él, y entre éstos, uno para neutro de la distribución.

Se comprobó que todos los usuarios que en la explotación habían sobrepasado densidades de corriente de  $0,25 \text{ A/mm}^2$  se lamentaban de las caídas de tensión, ya que la sección no podía ser aumentada sensiblemente sin que la reactancia creciera mucho. En consecuencia, el acero en baja tensión no será práctico más que en casos muy especiales.

En alta tensión, los informes fueron más favorables: 23 distribuidores lo emitieron en este sentido, siempre que se tratase de pequeñas potencias a transportar. Se tuvo en cuenta que las experiencias adquiridas lo eran de poco tiempo, lo que daba a las opiniones un valor restringido.

Otras, en cambio, estaban basadas en resultados de 15 años de explotación. Dos distribuidores se mostraron en contra del acero, dos recomendaron utilizarlo como conductor de tierra y tres aceptaron su empleo bien como conductor activo, o de tierra indistintamente, pero siempre con precauciones especiales, tales



como detenidos ensayos de recepción de cada bobina, protección particular en la sujeción al aislador, cuidadoso empalme de hilos y cables y gran vigilancia en el curso del servicio.

Del informe del Sindicato dedúcese que en baja tensión el acero había sido poco empleado en Francia, y que no parecían demostrar gran interés por él los que ya lo tenían instalado. Se sacó la consecuencia de que en alta tensión había sido utilizado en mayor escala, principalmente como cable de tierra y que a condición de utilizarlo con todas las precauciones necesarias podía ser aceptado su uso.

Para garantizar una larga duración al cable de acero es indispensable una buena galvanización.

### 3.7.- CONDUCTORES DE ALUMINIO - ACERO.<sup>2</sup>

Fueron inventados en 1907 por el ingeniero mecánico - William Hoopes, de la "Pittsburgh Reduction Co."

Este cable combina la conductancia del aluminio y la resistencia mecánica del acero. Prácticamente ha sustituido en líneas de transmisión, los conductores de aluminio debido a la poca resistencia mecánica de estos últimos.

Dados los actuales precios de costo de los aisladores y de los apoyos (de madera, hormigón armado o metálicos), es preciso reducir su número al mínimo posible mediante la adopción de vanos de gran longitud. Se conseguirá así disminuir el número de puntos débiles que suponen los de apoyo. Es preciso por tanto que

los conductores sean de mayores cargas de rotura, necesitándose unos valores, que el aluminio sólo no puede alcanzarlos.

A igualdad de longitud de vano, la flecha vertical que adquiere el conductor, es proporcional a su peso propio, pensándose utilizar materiales lo más ligeros posible que sean de gran resistencia mecánica, a fin de que puedan ser tendidos en vanos largos.

El cobre tiene un elevado peso específico, lo que supone grandes flechas en cuanto la distancia entre apoyos es importante. Se necesitan, por tanto, apoyos de gran altura a fin de que el punto más bajo de la catenaria que forma el conductor, que de suficientemente separado del terreno, de la rasante de los caminos cuando éstos son cruzados por una línea, de la máxima cota de agua alcanzada por un río que se haya de atravesar, etc.

Los constructores e investigadores buscaron la obtención de un conductor que poseyendo la ligereza del aluminio, tuviera una resistencia mecánica mucho mayor que la de éste, es decir, la del cobre aproximadamente.

Con el invento del cable mixto de aluminio - acero por Hoopes, se aprovechan simultáneamente las cualidades eléctricas, físicas y químicas del aluminio y la gran resistencia mecánica del acero, alcanzándose así una elevada seguridad a la rotura.

Aunque el uso de los cables de aluminio - acero es mundial, es en los países de América del Norte donde se han reali

zadas las más atrevidas instalaciones en lo que se refiere a grandes longitudes de vanos.

Los ingleses suelen designar a estos cables con la denominación S.C.A., iniciales de "Steel - Cored Aluminium", es decir, "Aluminio con alma de acero", y los americanos con A.C.S.R., iniciales de "Aluminium Cable Steel Reinforced", o sea "cable de aluminio reforzado con acero". En Francia y España, se los llama, abreviadamente, de "aluminio - acero" y será la nomenclatura que se adopte en este estudio.

En el cuadro N° 3.9 se presentan las normas de algunos países referentes al uso de los cables mixtos de aluminio - - acero.

### 3.7.1.- ESTADISTICA DEL EMPLEO DEL CABLE DE ALUMINIO - ACERO.

La primera aplicación industrial parece ser tuvo lugar el año 1909 en los Estados Unidos de América por la "Western Ohio Railway Corporation", para un transporte eléctrico a 33 KV.

El desarrollo de su aplicación fue tan gigantesco que en 1940 existían en dicho país más de 145.000 Km. de conductores en servicio (48.000 Km. de líneas trifásicas).

De un modo semejante, aunque dentro de las naturales proporciones, se ha extendido su uso por las demás naciones, no sólo en los grandes transportes de energía, sino también en las redes rurales de distribución, habiendo contribuido a ello la escasez de cobre en muchos países (Italia, Francia, etc., etc.).

C U A D R O N° 3.9NORMAS RELATIVAS A LOS CABLES DE ALUMINIO - ACERO

PAIS	NORMA
Austria	La carga mínima de rotura será de 23,5 Kg/ m <sup>2</sup>
Bélgica	La carga mínima de rotura como la de los cables de cobre.
Checoeslovaquia	La carga mínima de rotura en primera categoría - será de 230 Kg. y de 640 Kg. en segunda categoría
Estados Unidos de América	La sección mínima será de 13,3 mm <sup>2</sup> si el vano es menor o igual de 45,7 metros. Para vanos mayores la sección mínima será de 21,1 mm <sup>2</sup>
Gran Bretaña	La carga mínima de rotura será de 560 Kg. en las líneas y de 370 Kg. en los ramales a usuarios.
Italia	La sección nominal aparente del cable será, por lo menos de 12 mm <sup>2</sup>
Polonia	Se aplicarán las normas de los cables de cobre. Resistirán durante un minuto una tracción de 380 Kg. En líneas locales de primera categoría y para vanos de hasta 35 metros, una tracción de 228 Kg.

La aplicación a la electrificación rural se desarrolló en los últimos 20 años y así, por ejemplo, en Estados Unidos a fines de 1940 había instalados en esta clase de líneas unos 6.000 Km. de conductor de aluminio - acero (2.000 Km. en líneas trifásicas).

En los últimos años su empleo también se ha generalizado en América del Sur, vervegracia, la línea de transmisión El Chocón - Buenos Aires de 300 Km. de longitud. En el Ecuador, la línea El Angel - Mira de 20 Km., la línea Machachi - Quito de 28 Km., y la línea Cumbayá - Quito de 6 Km. a 46 KV., que es la más importante de las existentes en el país.

### 3.7.2.- CARACTERISTICAS DEL CABLE ALUMINIO - ACERO.

Composición.- Estos cables están constituidos por capas concéntricas de hilos de aluminio duro estirado, sobre un núcleo de uno o más hilos de acero galvanizado de alta resistencia mecánica. Se fabrican con proporciones de acero variables para satisfacer las distintas exigencias de cargas; para condiciones excepcionales, se fabrican cables especiales.

Densidad.- La densidad  $\rho$  del cable mixto se obtiene en función de sus componentes (acero y aluminio).

Llamando:

$S_{Al}$  = sección útil del aluminio

queñas; por lo tanto, si se conserva la igualdad de flecha, se reducirá tanto el número de apoyos de la línea como el de aisladores, con la siguiente economía y desaparición de gran número de puntos débiles; por el contrario, si se mantiene la inalterabilidad del vano, los apoyos necesitarán ser de menor altura, con el ahorro correspondiente del material (hierro, hormigón, etc.).

El Aldrey tiene una resistencia contra la corrosión igual o superior a la del aluminio comercial.

En cuanto a su resistencia mecánica, experiencias realizadas sometiendo a los conductores de esta aleación a esfuerzos prolongados, han demostrado que la carga de rotura puede ser, -- aproximadamente,  $30 \text{ Kg/mm}^2$ .

### 3.8.2.- CONDUCTORES DEL MULTIMETAL.

El multimetal es un conductor constituido por un alma de acero y una envolvente de cobre.

Su conductibilidad es aproximadamente el 25% de la del cobre, aunque en la actualidad se ha mejorado grandemente este aspecto. Se presta para los casos en que la intensidad de la corriente sea pequeña, y la elección de la sección del conductor obedece a razones de orden mecánico con preferencia a las de carácter eléctrico, como ocurre muchas veces en las líneas rurales que transportan pequeñas potencias, pero que pueden tener precisión de cruzar ríos de gran anchura de cause, barrancos, etc.

En forma de cables su principal aplicación es como -

"cable de tierra".

### 3.8.3.- CONDUCTORES HUECOS.

Se utilizan en las líneas de transmisión de elevado voltaje donde, para reducir las pérdidas por efecto corona, es conveniente el aumento de diámetro sin aumentar la sección de cobre más allá de lo que permite la economía. No solamente se consigue un aumento considerable de la tensión necesaria para que se produzca el efecto corona, sino también un aumento de la intensidad admisible para un aumento determinado de temperatura, como consecuencia de la mayor superficie de enfriamiento; además, la disposición del cobre hace disminuir el efecto pelicular en corriente alterna.

La resistencia de un cable hueco a la tracción es igual a la de un macizo de igual sección y del mismo metal. Los módulos de elasticidad y los coeficientes de dilatación, tienen los mismos valores respectivamente que los de los cables macizos.

Una interesante aplicación de estos cables, lo constituyen las dos líneas a 287.500 voltios desde la Central de Boulder Dam (presa Boulder) a la ciudad de los Angeles, en los Estados Unidos de América. Cada una de ellas está prevista para transportar hasta 120.000 KW. La distancia desde la Central hasta los Angeles es de 436 Km., es decir, es el típico transporte americano de enormes potencias a grandes distancias y que aunque es muy probable se presentarán también en países hispano - americanos, -

Africa, Australia, etc., incluyendo el Ecuador.

C U A D R O N° 3.10

NORMAS RELATIVAS A CONDUCTORES DE OTROS TIPOS

PAIS	NORMA
Checoslovaquia	Serán ensayados en laboratorio. La carga mínima de rotura será la misma que la del conductor de cobre equivalente
Estados Unidos de América	La sección mínima será equivalente al número 8 - A.W.G. para conductores con aleaciones de cobre o aluminio, y al N° 9 S.W.G. para conductores de acero.
Gran Bretaña	Su empleo tendrá que ser autorizado por "Electricity Commissioners".
Italia	Los conductores de otros metales distintos deben tener una sección tal, que su resistencia a la tracción no sea inferior a la de los conductores de cobre; de todas formas la sección no será inferior a $4 \text{ mm}^2$ .
Polonia	Se aplicarán las normas de cables.



### 3.9.- NORMALIZACION.-

Se han descrito detalladamente los diversos tipos de conductores que se utilizan en las líneas eléctricas, acotando sus ventajas e inconvenientes.

Para decidirse por uno u otro metal deberán estudiarse sus propiedades físicas, eléctricas, mecánicas y sus respectivas cotizaciones en el mercado. No se crea, sin embargo, que es suficiente comparar los precios de los metales para llegar a distinguir con cuál de ellos resultará la línea más económica.

Al permitir un determinado conductor realizar vanos más largos, se disminuirá el número de apoyos y el de aisladores, o por el contrario, al querer conservar inalterable la longitud de vano, una disminución de las flechas llevará consigo una reducción en la altura de los apoyos. Por lo tanto es necesario cumplir requisitos mecánicos mínimos para los conductores a fin de tener, por lo menos, un cierto grado de seguridad.

El cuadro N° 3.11 permite comparar de manera resumida y bastante aproximada, con valores medios, las características, tanto eléctricas como mecánicas, de los diversos conductores.

Para líneas aéreas el mayor problema es el de la seguridad mecánica. La carga máxima admisible para que trabajen los conductores siempre debe estar por debajo de los valores del límite de elasticidad con una deformación permanente del 0,01%. De esta manera los conductores estarían trabajando siempre en el campo

elástico del material y se tendrá un factor de seguridad de por lo menos 2,5 en relación con la carga de rotura.

Basado en estas consideraciones, que concuerdan numéricamente con las normas europeas, especialmente con las VDE, y teniendo como premisa que son normas de países fabricantes de conductores con muchos años de experiencia, creo conveniente adoptar las normas VDE en la parte referente a cargas máximas admisibles de trabajo.

Además, al tratar sobre conductores se debe normalizar la sección mínima permisible haciendo la diferencia entre cables e hilos y tomando en cuenta los efectos perjudiciales del viento (Ver Anexo N° 3.2: Vibraciones de los conductores).

Para los hilos hay que considerar que cuando tienen diámetros de 3 mm. y menores, resisten muy poco a las acciones atmosféricas (vientos y manguitos de hielo) y es difícil no tensarlos más de lo conveniente. En cambio cuando el diámetro es mayor que unos 7 mm., los hilos son de difícil manejo a causa de su pequeña flexibilidad y resulta más ventajoso sustituirlos por cables formados por hilos convenientemente cableados.

Para los cables se utilizan hilos de diámetros menores de 3 mm., porque se ha comprobado que se obtienen cargas de rotura más favorables. Sin embargo, el cableado disminuye las propiedades mecánicas del material.

Desde el punto de vista eléctrico las secciones pequeñas no son útiles en líneas de transporte de energía, pues provo-

can caídas de tensión inadmisibles y las pérdidas de potencia alcanzan valores antieconómicos. Sin descontar, por otro lado, el efecto corona que puede producirse. Un estudio al respecto aparece en el Anexo N° 3.1.

Por todas estas razones y tomando en cuenta que los constructores de líneas eléctricas en el Ecuador velan más por su beneficio económico antes que por la seguridad y que esto trae como resultado que se vayan a los valores mínimos permitidos, creo que se debe normalizar las secciones de los conductores, adoptando valores probados por la experiencia, sin pecar de exagerados, como son los indicados en las normas alemanas.

#### ARTICULO 14.- Secciones de los Conductores.-

- a) No se admiten conductores unifilares de acero y de aluminio y sus aleaciones.
- b) Conductores unifilares de cobre, bronce y cobre/acero, sólo se admiten hasta una sección máxima de  $16 \text{ mm}^2$  y hasta un vano de 80 metros.
- c) La sección mínima admisible es como sigue:
 

para cobre y bronce	$10 \text{ mm}^2$
para acero	$16 \text{ mm}^2$
para aluminio y sus aleaciones	$25 \text{ mm}^2$
para aluminio/acero	$16/2,5 \text{ mm}^2$
- d) En los conductores de cobre/acero la sección debe ser de tamaño tal que la carga nominal sea por lo menos de 380 Kg.

#### ARTICULO 15.- Tensiones de Tracción.-

- a) Los valores indicados a continuación para las tensiones de tracción máxima, no deben rebasarse, ni con la carga adicional normal de viento, ni con una carga ocasional (hielo).

TIPO DE CONDUCTOR	TENSION DE TRACCION MAXIMA ADMISIBLE
Conductores de cobre unifilares	$12 \text{ Kg/mm}^2$

TIPO DE CONDUCTOR	TENSION DE TRACCION MAXIMA ADMISIBLE
Conductores unifilares de otros materiales	35% de la resistencia a la tracción permanente.
Cables de cobre	19 kg/mm <sup>2</sup>
Cables de aluminio	8 kg/mm <sup>2</sup>
Cables de Aldrey	12 kg/mm <sup>2</sup>
Cables de bronce I (DIN 48201)	24 kg/mm <sup>2</sup>
Cables de bronce II (DIN 48201)	30 kg/mm <sup>2</sup>
Cables de bronce III (DIN 48201)	35 kg/mm <sup>2</sup>
Cables de aluminio - acero con referencia a la sección total del conductor con una relación de la sección de :	
aluminio/acero 5,7 hasta 6	11 kg/mm <sup>2</sup>
aluminio/acero 4,3	11,5 kg/mm <sup>2</sup>
aluminio/acero 3	12 kg/mm <sup>2</sup>
Cables de otros materiales	50% de la resistencia a la tracción permanente.

Estas tensiones de tracción son en el punto más bajo de la línea de flecha de los conductores y no se rebasan en ninguna de las hipótesis adoptadas para el cálculo.

En los conductores de líneas aéreas, la tensión de tracción en los puntos de suspensión o entre puntos de suspensión de desnivel, en los de mayor altura, es mayor que la tensión de tracción máxima admisible. En ningún caso, la tensión de tracción en los puntos de suspensión debe rebasar en más del 6% los valores mencionados en lo que antecede.

En los vanos de punto de suspensión de aproximadamente igual altura, no hace falta el control si la flecha máxima según las hipótesis de cálculo no excede del 4% aproximadamente del vano.

- b) La seguridad de los conductores decrece con cargas adicionales, al crecer el vano. La doble car

ga adicional normal, debe solicitar el material de los conductores en los puntos de suspensión como máxima hasta el valor de la resistencia permanente a la tracción.

c) Los requisitos según a) y b) se consideran cumplidos para conductores normales, sobrando una prueba especial, cuando en las condiciones de tensión máxima establecidas en a) no se rebasan los vanos marginales.

La Tabla I contiene, para las secciones nominales de uso más frecuente, los vanos marginales calculados sobre la base de los valores de las tensiones de tracción máxima según el inciso a) y de puntos de suspensión de igual nivel según la ecuación de la catenaria.

d) En las regiones donde ocurren con regularidad cargas adicionales mayores que la normal, la tensión de tracción máxima y el vano, se elegirán de tal modo que no se rebasen los valores admisibles según a), y que el material se solicite en el caso máximo, hasta la resistencia a la tracción permanente por un esfuerzo cuatro veces mayor en el caso de conductores unifilares y por dos veces mayor que la carga adicional en caso de cables.

e) En las regiones en donde hay que calcular con oscilaciones provocadas por el viento y peligrosas para los conductores, hay que tomar precauciones adecuadas.

La experiencia ha demostrado que los conductores pueden correr peligro en los terrenos llanos, libremente accesibles al viento. El peligro consiste en que especialmente en los puntos de fijación se presentan esfuerzos cambiantes adicionales, susceptibles de causar la rotura de alambres. Estos peligros pueden contrarrestarse por medios que prevengan el nacimiento de estas oscilaciones (por ejemplo, disminución de la tensión de tracción máxima) o eliminen sus efectos perjudiciales.

## VANOS MARGINALES

SECCION	COBRE		BRONCE		ACERO		ALUMINIO		ALDREY		VANOS MAXIMOS		RELACION AL/AC		RELACION APROXIMADA DE SECCIONES		VANOS MAXIMOS		RELACION APROXIMADA DE SECCIONES		
	mm	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>
10	55	95	---	---	---	---	---	---	---	---	---	75	16/2,5	---	---	380/50	980				
16	80	135	---	---	---	---	---	---	---	---	---	105	25/4	---	---	435/55	1015				
25	115	200	35	225	225	165	35	165	165	165	145	145	35/6	---	---	490/65	1050				
35	155	270	50	375	375	220	50	220	220	220	195	195	50/8	---	---	550/70	1080				
50	225	405	65	455	455	310	65	310	310	310	285	285	70/12	---	---	125/30	730				
70	320	605	80	515	515	410	80	410	410	410	400	400	95/15	---	---	170/40	830				
95	530	815	105	595	595	590	105	590	590	590	560	560	120/20	6 : 1	---	210/50	895				
120	690	875	130	630	630	760	130	760	760	760	750	750	150/25	---	---	50/30	920				
150	735	930	155	675	675	850	155	850	850	850	820	820	185/30	---	---	95/55	1090				
185	780	985	185	715	715	935	185	935	935	935	850	850	210/35	---	---	120/70	1165				
240	820	1035	240	765	765	1035	240	1035	1035	1035	905	905	240/40	---	---	44/32	935				
300	865	1090	300	800	800	1150	300	1150	1150	1150	875	875	300/50	---	---	105/15	1195				

NOTA : Bronce y Acero son de Clase I, según las normas DIN 46201 y DIN 48204 respectivamente

COEFICIENTES MEDICOS DE RESISTENCIA MECANICOS Y ELECTRICOS PARA CABLES ABREOS

	Cobre	Bronce	Aluminio	Aldrey	Aluminio - Acero
Peso propio en kg/cm <sup>3</sup>	$8,9 \times 10^{-3}$	$8,65 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-3}$	$3,45 \times 10^{-3}$
Coefficiente de dilatación térmica para 1°C	$1,7 \times 10^{-5}$	$1,66 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$1,92 \times 10^{-5}$
Módulo de elasticidad en kg/mm <sup>2</sup>	13000	13000	5600	6000	7500
Resistencia a la tracción permanente en kg/mm <sup>2</sup>	30	50	12	24	20(cable)
Resistencia de prueba (alambre) en kg/mm <sup>2</sup>	40	60	17 - 18	30	Ac - 120 Al - 17 - 18
Máximo coeficiente de tracción admisible en kg/mm <sup>2</sup>	19	30	8	15	Ac - 120 Al - 11,75
Sección mínima admisible en mm <sup>2</sup>	10	10	25	25	---
Límite de estiramiento (0,2% de formación permanente) en kg/mm <sup>2</sup>	38	56	15	28	---
Límite de elasticidad (0,01% de formación permanente) en kg/mm <sup>2</sup>	22	32	9	17	---
Resistencia específica a 20°C, $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	0,01786	0,0278	0,0278	0,0333	0,0267 (envoltura de Al)
Conductividad eléctrica a 20°C, $\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$	56	36	34,8	30	34,8 (envoltura de Al)
Coefficiente térmico de resistencia para 1°C	0,0036	0,004	0,004	0,0036	0,004 (envoltura de Al)



American S) Wire Galga No.	Steel Wire Gage (alam bres de adere)	Birming han(Stub's) iron Wire gale Alam- bres de hierro	Old English (London) Wire gage (Norma - Británica)	British Standard Wire gage (Norma - Británica)	Galga métrica para a. lambres.	Diámetro Y Sección #				
						Mils mm	Mils <sup>2</sup> Cir-mils mm <sup>2</sup>			
	Stl.W.G.	B.W.G.		S.W.G.						
---	---	---	---	7/0	---	500	12.70	196300	250000	126.7
---	7/0	---	---	---	---	490	12.45	188600	240100	121.7
---	---	---	---	6/0	---	464	11.79	169100	215300	109.1
---	6/0	---	---	---	---	461.5	11.72	167300	213000	107.9
4/0	---	---	---	---	---	460	11.68	166200	211000	107.2
---	---	4/0	4/0	---	---	454	11.53	161900	206100	104.4
---	---	---	---	5/0	---	432	10.97	146600	186600	94.56
---	5/0	---	---	---	---	430.5	10.93	145600	185300	93.91
3/0	---	3/0	3/0	---	---	425	10.80	141900	180600	91.52
---	---	---	---	---	---	409.6	10.40	131800	167800	85.03
---	---	---	---	4/0	---	400	10.16	125700	160000	81.07
---	4/0	---	---	---	---	393.8	10.00	121800	155100	78.58
---	---	---	---	---	---	397.7	10.00	121700	155000	78.54
---	---	2/0	2/0	---	---	380	9.652	113400	144400	73.17
---	---	---	---	3/0	---	372	9.449	108700	138400	70.12
2/0	---	---	---	---	---	364.8	9.266	104500	133100	67.43
---	3/0	---	---	---	---	362.5	9.208	103200	131400	66.58
---	---	---	---	---	90	354.3	9.0	98589	125500	63.62
---	---	---	---	2/0	---	348	8.839	95115	121100	61.36
---	---	1/0	1/0	---	---	340	8.636	90790	115600	58.58
---	2/0	---	---	---	---	331	8.407	86050	109600	55.52
---	---	---	---	---	---	324.9	8.252	82890	105500	53.45
---	---	---	---	1/0	---	324	8.230	82450	105000	53.12



GALGAS PARA CONDUCTORES, DIAMETRO, Y SECCION DE LOS HILOS DE COBRE

(Manual "Standard" del Ingeniero Electricista, por A. E. KNOWLTON)

American Steel Wire Gage (along with Stub's) Wire Gage (London)	Old English Standard Wire Gage (Norma Británica)	Galga métrica para al- lambres	Mils	mm	Diámetro y Sección		
					Mils <sup>2</sup>	Cir-mils	
Stl.W.G.	S.W.G.						
---	---	---	314.96	8.0	77931	99200	50.27
---	---	---	306.5	7.785	75780	93940	47.60
---	1	---	300	7.620	70690	90000	45.60
---	---	---	289.3	7.348	65730	83690	42.41
---	2	---	284	7.214	63350	80660	40.87
---	---	---	283	7.188	62900	80090	40.58
---	2	---	276	7.010	59830	76180	38.60
---	---	---	275.59	7.0	59650	75950	38.49
---	---	---	262.5	6.668	54120	68910	34.92
---	3	---	259	6.579	52690	67080	33.99
---	---	---	257.6	6.544	52130	66370	33.63
---	3	---	252	6.401	49880	63500	32.18
---	---	---	234.7	6.190	46640	59390	30.09
---	4	---	238	6.045	44490	56640	28.70
---	---	---	236.2	6.000	43830	55800	28.27
---	4	---	232	5.893	42270	53820	27.27
---	---	---	229.4	5.827	41340	52630	26.67
---	---	---	225.3	5.723	39870	50760	25.72
---	5	---	220	5.588	38010	48400	24.51
---	---	---	212	5.385	35300	44940	22.77
---	---	---	207	5.258	33650	42850	21.71
---	---	---	204.3	5.189	32780	41740	21.15
---	6	---	203	5.156	32370	41210	20.88

G.	Steel Wire Gage (aluminum bres de acero)	Birming han (Stub's) iron Wire - gauge Alumi- bres de hierro	Old English (London) Wire gage - Norma - Británica)	British Standard Wire gage (Norma - Británica)	Galga métrica para a- lambres	Diámetro y Sección				
						Mils mm	Mils <sup>2</sup> mm <sup>2</sup>	Cir-mils mm <sup>2</sup>		
---	---	---	---	---	50	196.8	5.0	30430	38750	19.63
---	6	---	---	6	---	192	4.877	28950	36860	18.68
5	---	---	---	---	---	181.9	4.621	26000	33100	16.77
---	---	7	7	---	---	180	4.572	25450	32400	16.42
---	---	---	---	---	45	177.2	4.500	24650	31390	15.90
---	7	---	---	---	---	177	4.496	24610	31330	15.87
---	---	---	---	7	---	176	4.470	24330	30980	15.70
---	---	8	8	---	---	165	4.191	21380	27220	13.80
6	---	---	---	---	---	162	4.115	20620	26250	13.30
---	8	---	---	8	---	160	4.064	20110	25600	12.97
---	---	---	---	---	40	157.5	4.000	19480	24800	12.57
---	9	---	---	---	---	148.3	3.767	17270	21940	11.14
---	---	9	9	---	---	148	3.759	17200	21900	11.10
7	---	---	---	---	---	144.3	3.665	16350	20820	10.55
---	---	---	---	---	---	144	3.658	16290	20740	10.51
---	---	---	---	9	---	137.8	3.5	14910	18990	9.622
---	10	---	---	---	36	135	3.429	14310	18220	9.235
---	---	10	10	---	---	134	3.404	14100	17960	9.098
---	---	---	---	---	---	128.5	3.264	12970	16510	8.366
8	---	---	---	---	---	128	3.251	12870	16380	8.302
---	---	---	---	10	---	120.5	3.061	11400	14520	7.358
---	11	---	---	---	---	120	3.048	11310	14400	7.297

3-520

American (B & S) Wire Gage Galga Americ.	Steel Wire Gage (aluminum bres de acero)	Iron Wire Gage (aluminum bres de hierro)	Old English Standard Wire Gage (Norma Británica)	Galga métrica para alambres	Diámetro y Sección		Cir-mils	mm <sup>2</sup>	
					Mils	Mils <sup>2</sup>			
---	---	---	---	30	118.1	3.0	10960	13950	7.068
---	---	---	11	---	116	2.946	10570	13460	6.818
9	---	---	---	---	114.4	2.906	10280	13090	6.634
---	12	---	---	---	109	2.769	9331	11880	6.020
---	---	---	---	---	105.5	2.680	8742	11130	5.640
---	---	---	12	---	104	2.642	8495	10620	5.481
10	---	---	---	---	101.9	2.588	8155	10380	5.262
---	---	---	---	25	98.42	2.5	7609	9687	4.908
---	13	---	---	---	95	2.413	7088	9025	4.573
---	---	---	13	---	92	2.337	6648	8464	4.289
---	---	---	---	---	91.5	2.324	6576	8372	4.242
11	---	---	---	---	90.47	2.305	6467	8234	4.172
---	14	---	---	---	83	2.108	5411	6889	3.491
12	---	---	---	---	80.81	2.053	5129	6530	3.309
---	---	---	14	---	80	2.032	5029	6400	3.243
---	14	---	---	---	78.74	2.0	4869	6200	3.142
---	---	---	---	---	72	1.829	4072	5184	2.627
13	15	---	15	---	71.96	1.828	4067	5178	2.624

A N E X O N° 3.1EFEECTO CORONA

Hoja 1 de 10

Cuando un conductor colocado en un gas, por ejemplo - los conductores de las líneas eléctricas en el aire, adquieren un potencial suficientemente elevado, se producen pérdidas de corriente y de energía a través del aire. En las líneas, este efecto es visible en la oscuridad apreciándose como los conductores que dan rodeados por un halo luminoso azulado que los envuelve, y cuya sección transversal es circular, designándose por eso a dicho fenómeno con el nombre de "efecto corona".

La tensión a la cual cominzan las pérdidas se llama - "tensión crítica disruptiva" y aquella para la que se aprecian - los efluvios luminosos, "tensión crítica visual", la disruptiva - es de valor menor que la visual.

La consecuencia práctica del efecto corona es el mismo que si el aire se hiciera algo conductor dando lugar a una fuga de corriente análoga a la debida a la conductancia de los aisladores.

El americano Peek, dió una fórmula para calcular la - tensión crítica disruptiva, publicándola en un trabajo titulado - "The Law of Corona and dielectric Strength of Air" (La ley de la corona y tensión dieléctrica del aire).

La expresión citada, deducida de experiencias es:

$$U_c = 21,1 \times m \int n a \ln \frac{D}{a}$$

A N E X O N° 3.1EFECTO CORONA

Hoja 2 de 10

o sea en logaritmos decimales:

$$U_c = 21,1 \times m \delta n a \times 2,302 \log \frac{D}{a}$$

en ellas:

$U_c$  = tensión compuesta crítica eficaz en kilovol --  
tios para la que comienza el efecto corona, o  
sea la tensión crítica disruptiva.

21,1 = valor en kilovoltios por centímetro de la rigi  
dez dieléctrica del aire a 25°C de temperatura  
y a la presión barométrica de 76 cm. de colum  
na de mercurio (valores eficaces).

$m$  = coeficiente de rugosidad del conductor. Sus va  
lores son:

$m = 1$  para hilos de superficie lisa.

$m =$  de 0,93 a 0,98 para hilos oxidados y ru  
gosos.

$m =$  de 0,83 a 0,87 para cables.

$D$  = separación de conductores en milímetros.

$a$  = radio del conductor en milímetros.

$\delta$  = factor de corrección, función directa de la  
presión barométrica e inversa de la temperatu  
ra absoluta del medio ambiente, viene dado por

A N E X O N° 3.1EFFECTO CORONA

Hoja 3 de 10

la expresión:

$$= \frac{273 + 25}{76} \cdot \frac{h}{273 + \theta} = \frac{3,926 h}{273 + \theta}$$

h = presión barométrica en centímetros de columna de mercurio.

$\theta$  = temperatura media en grados centígrados correspondiente a la altitud del punto que se considere.

Frecuentemente se desconoce el valor de h que depende de la altitud y sobre el nivel del mar en metros. Se determina mediante la fórmula de Halley:

$$\text{Log } h = \text{log } 76 - \frac{y}{18336}$$

que da los resultados indicados en la siguiente tabla:

## Resultados de la fórmula de Halley

Altitud en metros sobre el nivel del mar.	Presión atmosférica en centímetros de co lumna de mercurio.
Y	h
0	76
100	75,1
200	74,2
300	73,3

A N E X O N° 3.1EFFECTO CORONA

Hoja 4 de 10

Resultados de la fórmula de Halley

Altitud en metros sobre el nivel del mar.	Presión atmosférica en centímetros de co lumna de mercurio.
Y	h
400	72,4
500	71,6
600	70,7
700	69,9
800	69
900	68,2
1.000	67,4
1.200	65,8
1.400	63,9
1.500	63,5
1.600	62,3
1.800	60,8
2.000	59,8
2.200	58
2.400	56
2.500	55,4
2.600	55
2.800	54
3.000	53
3.500	49,1

A N E X O N° 3.1EFEECTO CORONA

Hoja 5 de 10

Resultados de la fórmula de Halley

Altitud en metros sobre el nivel del mar.	Presión atmosférica en centímetros de co lumna de mercurio.
Y	h
4.000	47
5.000	41,7

n = coeficiente para tener en cuenta el efecto que la lluvia produce haciendo descender el valor de  $U_c$ .

n = 1 para buen tiempo.

n = 0,80 para mal tiempo.

Es decir que con mal tiempo, la tensión crítica disruptiva es tan solo el 80% del valor correspondiente al caso de buen tiempo.

Como ya hemos dicho, la tensión crítica disruptiva así determinada, y a la cual empieza a manifestarse el efecto corona, no es aquella para la cual se hace visible la corona luminosa azulada alrededor del conductor. Esta se hace visible a una tensión algo mayor (tensión crítica visual) y que, en kilovoltios



A N E X O N° 3.1E F E C T O C O R O N A

Hoja 6 de 10

de tensión compuesta vale:

$$U_{cv} = \frac{29,8}{\sqrt{2}} \sqrt{3} m \delta n a \log \frac{D}{a} \left[ \frac{1 + 0,3}{\sqrt{a\delta}} \right]$$

en la que las letras tienen el significado explicado, para m se considerarán los siguientes valores:

m = de 0,93 a 1 para hilos lisos.

m = 0,72 para la corona parcial en cables de 7 hilos.

m = 0,82 para la corona total en cables de 7 hilos

En los cálculos de líneas se operará siempre con los valores de  $U_c$  y no con los de  $U_{cv}$ .

Una vez determinada la tensión crítica disruptiva, otra fórmula también debida a Peek permite el cálculo de la pérdida por conductancia en cada conductor. Es la siguiente:

$$p = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{a}{D}} (V - V_c)^2 \times 10^{-5} \left[ \text{Kw/km} \right]$$

en la que:

p = pérdida por conductancia en kilowatios por kilómetro.

f = frecuencia en ciclos por segundo.

V = tensión media simple de la línea en kilovoltios

A N E X O N° 3.1EFEECTO CORONA

Hoja 7 de 10

$$V_c = \frac{U_c}{\sqrt{3}} \text{ en kilovoltios.}$$

Las restantes letras tienen el significado antes explicado.

En un ante proyecto y a falta del conocimiento exacto de las altitudes sobre el nivel del mar puede suponerse que:

$$J_{mn} = v = 0,77 = \frac{1}{1,3}$$

que nos dice que  $v$  no es más que un coeficiente de seguridad para tener en cuenta las influencias desfavorables.

Para conseguir que la tensión crítica disruptiva sea por lo menos igual a la de servicio se comprende que un procedimiento es separar entre sí a los conductores todo lo que sea posible, pero como  $U_c$  viene dado en función de logaritmo de  $D$ , un aumento en esta separación no se traducirá más que en un crecimiento muy pequeño de  $U_c$ , además de esto lleva consigo encarecimiento de los apoyos de la línea que puede ser de mucha consideración. - Por eso es más económico elegir conductores de mayor diámetro, llegandose para los casos de tensiones muy altas el empleo de cables huecos de gran diámetro.

Así por ejemplo, supongamos una línea a 220 KV para la que se ha proyectado una sección de cobre de  $250 \text{ mm}^2$  para no -

A N E X O N° 3.1EFEECTO CORONA

Hoja 8 de 10

exceder de la caída de tensión considerada como admisible. Si sus conductores fuesen cables macizos de 61 hilos de 2,3 mm. de diámetro cada uno, con un diámetro total de cable de 20,7 mm., se necesitarán separaciones entre conductores completamente imposibles - de alcanzar en la práctica.

Para una tensión crítica disruptiva de 220 KV, sería preciso una separación de 36 m., y para 240 KV., 77 metros.

Por el contrario, con cables huecos formados por 78 - hilos de 2 mm. de diámetro cada uno (2 capas de 42 y 36 hilos) se obtiene un diámetro total de cable de 30 mm., y para una tensión crítica disruptiva de 245 KV (que corresponde a un coeficiente de seguridad normal en este caso), bastará con separar entre sí a los conductores, 8 metros.

Para estudios más detenidos lo más práctico es servir-se del ábaco de Lavanchy que es la traducción gráfica de la fórmula de Peek.

Ejemplo de Cálculo Aproximado de Pérdidas por Corona.

Línea trifásica, longitud de la línea 225 Km. conductor N° 4/0 A.W.G. ( $107 \text{ mm}^2$ ) de cable de cobre, 150 KV entre fases, frecuencia 60 Hz, y distancia entre conductores de 427 cm (14 -- pies). Los conductores están en un mismo plano y existen transpo-

A N E X O N° 3.1EFEECTO CORONA

Hoja 9 de 10

siciones suficientes para igualar las tres fases. Temperatura --  
20°C; la altura sobre el nivel del mar 2.000 metros.

$$\delta = \frac{3,926 h}{273 + \theta} \quad h = 59,8 \text{ para } 2.000 \text{ metros}$$

$$\delta = \frac{3,926 \times 59,8}{273 + 20} = \frac{234,8}{293} = 0,80$$

$$S = 107 \text{ mm}^2 \quad a = 6,71 \text{ mm radio del conductor}$$

$$f = 60 \text{ ciclos/seg.}$$

$$D = 4.270 \text{ mm (separación entre conductores)}$$

$$n = 0,8 \text{ para mal tiempo (coeficiente que toma en -}$$

cuenta la lluvia)

$$m = 0,83 \text{ para cables (coeficiente de rugosidad)}$$

$$U_c = 21,1 \times m \times \delta \times n \times a \cdot 2,302 \log \frac{D}{a}$$

$$U_c = 21,1 \times 0,83 \times 0,80 \times 0,80 \times 0,671 \times 2,302 \log \frac{4270}{6,71}$$

$$U_c = 9,65 \log 636,36$$

$$U_c = 9,65 \times 2,80375$$

$$U_c = 27,1 \text{ KV}$$

$$V_c = \frac{U_c}{\sqrt{3}} = \frac{27,1}{\sqrt{3}} = 15,8$$

$$V_c = 15,8 \text{ KV}$$

$$p = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{a}{D}} (V - V_c)^2 \times 10^{-5} \text{ [Kw/Km.]}$$

A N E X O N° 3.1EFEECTO CORONA

Hoja 10 de 10

$$p = \frac{241}{0,8} (60 + 25) \sqrt{\frac{6,71}{4270}} \left( \frac{150}{\sqrt{3}} - 15,8 \right)^2 \times 10^{-5} \text{ [Kw/Km]}$$

$$p = 2560 \times 3,96 \times 10^{-4} \times 5000 \times 10^{-5} \text{ [Kw/Km]}$$

$$p = 0,51 \text{ Kw/km}$$

Son tres conductores:

$$p_3 = 0,51 \times 3 = 1,53 \text{ [Kw/km]}$$

Las pérdidas totales en la línea serán:

$$1,53 \text{ kw/km} \times 225 \text{ km} = 345 \text{ kw.}$$

Estas pérdidas se considerarán admisibles o excesivas según que la economía que se conseguiría al suprimirlas compense, o no, el importe de los intereses anuales del aumento de costo de la línea necesario para suprimir el efecto corona.

A N E X O N° 3.2VIBRACIONES DE LOS CONDUCTORES

Hoja 1 de 10

En los conductores de las líneas aéreas eléctricas se producen frecuentemente fenómenos vibratorios que consisten en oscilaciones persistentes de pequeña amplitud (unas decenas de milímetros) y frecuencia bastante elevada (5 a 20 H<sub>z</sub>), que pueden perjudicar considerablemente el servicio de la línea. Su importancia reside en el hecho ya comprobado que, con el tiempo, ellas pueden provocar la rotura de algunos o, excepcionalmente, de todos los alambres que constituyen el conductor.

Hasta ahora se han realizado numerosas investigaciones experimentales al respecto, en estaciones de prueba especiales, con el fin de, por una parte, formular una hipótesis aceptable sobre las causas y sobre las modalidades de estos fenómenos, y por otra, encontrar las soluciones más indicadas para eliminarlos o por lo menos reducirlos. Puede considerarse que este último objetivo ha sido alcanzado por cuanto existen actualmente numerosos dispositivos antivibratorios eficaces y económicos, por el contrario, la solución del primer problema no alcanzó resultados igualmente satisfactorios dado que la teoría que ha resultado más aceptable no justifica completamente el fenómeno. Probablemente, la causa de ésto está en el gran número de factores naturales que cooperan en la formación de vibraciones o que influyen su mag-

A N E X O N° 3.2VIBRACIONES DE LOS CONDUCTORES

Hoja 2 de 10

nitudo, duración y probabilidad, en efecto, estos factores incluyen prácticamente casi todos los elementos que entran en juego en el proyecto de una línea eléctrica.

Se puede mencionar los siguientes: el viento (intensidad, uniformidad, dirección, incidencia), la temperatura y las demás condiciones meteorológicas, la naturaleza del terreno, el conductor y su tensión mecánica, los accesorios. Este último elemento no entra en juego directamente en la formación del fenómeno vibratorio, pero puede ejercer una influencia determinada sobre el mismo. En particular, las grapas de suspensión pueden favorecer la reflexión de las ondas migratorias a lo largo del conductor transformando la perturbación en vibraciones estacionarias, pueden acelerar la rotura de los alambres del conductor, ya sea por el peso excesivo como por la forma no apropiada o, más frecuentemente, por solicitaciones locales de compresión demasiado elevadas. Sobre este argumento se volverá más adelante.

Para el estudio de las vibraciones fueron estudiados varios métodos de medición y de registración.

En su forma más común, el registrador de vibraciones está fijado directamente sobre el conductor. Su funcionamiento se basa en el principio de los sismógrafos, la punta inscriptora es

A N E X O N° 3.2VIBRACIONES DE LOS CONDUCTORES

Hoja 3 de 10

solidaria con una masa que queda inmóvil durante la vibración del conductor y traza, sobre un diagrama circular comandado por un movimiento de relojería, un gráfico suficientemente expresivo de la sucesión de los fenómenos vibratorios en las varias horas del día.

El único inconveniente de este instrumento está en - que cada dos semanas, como máximo, es necesario sustituir el diagrama circular, lo que naturalmente requiere que la línea sea -- puesta fuera de servicio.

Para tener datos sobre la resistencia del conductor a las sollicitaciones alternadas de flexión es necesario el empleo - de un contador de vibraciones. Existe un tipo de contador con un peso de solamente 360 gramos, cuya lectura puede hacerse a distan- cia con un largavista y que no necesita carga periódica. El mismo puede contar vibraciones con una amplitud en el plano vertical de por lo menos 0,7 mm. y con una frecuencia comprendida entre 4 y - 50 Hz.

Para el estudio completo de las vibraciones es neces<sup>u</sup>ario también conocer la velocidad y la dirección del viento que - las ha provocado. La registraci<sup>o</sup>n de la velocidad del viento pue- de ser realizada midiendo la variaci<sup>o</sup>n de temperatura, y por con- siguiente de resistencia eléctrica, de hilos de platino incandes-



A N E X O N° 3.2VIBRACIONES DE LOS CONDUCTORES

Hoja 4 de 10

centes. La dirección del viento puede obtenerse de una veleta que actúa sobre un reóstato.

Debe mencionarse que después de numerosas pruebas se llegó a la conclusión de que no es posible establecer una dependencia directa entre velocidad del viento y vibraciones, especialmente en regiones montañosas en las cuales el viento sopla en forma discontinua con rápidas variaciones de velocidad y con velocidades también muy diferentes entre puntos del mismo vano.

A continuación se dará la teoría más aceptable sobre el origen de las vibraciones.

Hipótesis sobre el origen de las vibraciones en los conductores.-

La teoría sobre el origen de las vibraciones que se expondrá a continuación, aunque es la más aceptable, debe considerarse siempre como una gran esquematización del fenómeno lo que probablemente nos aleja de la realidad mucho más compleja del mismo.

Si un cuerpo cilíndrico está en medio de un fluido en movimiento con velocidad  $V$  constante y perpendicular al eje del cuerpo, la formación de torbellinos en la zona posterior del cuerpo, es decir, el pasaje del régimen laminar al turbulento, está subordinada al valor tomado por el número de Reynolds:

A N E X O N° 3.2VIBRACIONES DE LOS CONDUCTORES

Hoja 5 de 10

$$R = \frac{V d}{\nu}$$

donde:

V = velocidad del fluido, en cm/seg.

d = diámetro del cuerpo cilíndrico, en cm.

$\nu$  = viscosidad cinemática del fluido (0,144 cm<sup>2</sup>/seg  
para el aire a 15°C y 760 mm. de Hg).

El valor crítico de esta variable a los efectos de la aparición de las vibraciones, está comprendido entre 600 y 30.000

La frecuencia de los torbellinos producidos, como se haya alcanzado este valor crítico, está dado por la expresión:

$$f = k \frac{V}{d}$$

donde: f = frecuencia en Hz.

$k = F \frac{V d}{\nu}$  : es una función de valor sensiblemente constante, que para el aire tiene valor comprendido entre 0,185 y 0,21.

En el caso de conductores de una línea aérea sometida a la acción de corrientes de aire regulares que soplen en dirección sensiblemente normal a la línea con velocidad comprendida entre 1 y 6 a 7 m/seg., se forman detrás de los conductores torbellinos que se producen a intervalos regulares y cuyo sentido de -

A N E X O N° 3.2VIBRACIONES DE LOS CONDUCTORES

Hoja 6 de 10

rotación es alternativamente invertido. En efecto, cuando el torbellino está formado y ha alcanzado una cierta magnitud, es arrastrado por la corriente de aire y sustituido por otro que gira en sentido contrario.

Estos torbellinos determinan diferentes velocidades del fluido en las zonas inmediatamente próximas al conductor, según resulta en la figura, y por lo tanto diferentes presiones sobre los dos lados, las que determinan fuerzas dirigidas alternativamente hacia arriba o hacia abajo.



De todos modos, estos impulsos no serían suficientes para dar origen a las vibraciones puesto que solicitan al conductor en forma totalmente irregular tanto en lo que respecta a la frecuencia como en lo que se refiere a la intensidad y a la dirección.

Pero, si en un tramo de unos metros y por algunos instantes los impulsos se suceden simultáneamente y con cierta regu-

A N E X O N° 3.2VIBRACIONES EN LOS CONDUCTORES

Hoja 7 de 10

laridad, se produce un leve movimiento alternativo en el plano vertical, el cual, según cuanto se dijo precedentemente, se propaga como onda en los dos sentidos con velocidad de propagación  $\alpha$ , la que depende del peso y de la tensión mecánica del conductor. Este leve movimiento influencia la frecuencia con la cual se forman los torbellinos, provocando la separación anticipada de los mismos y, por lo tanto, haciéndoles tomar una frecuencia igual a la frecuencia de oscilación. En consecuencia la onda móvil crece en amplitud.

Si la frecuencia coincide con una de las armónicas del conductor, la reflexión que se produce en correspondencia a las grapas de suspensión puede dar origen a vibraciones persistentes.

De acuerdo a esta teoría, la separación de los torbellinos es comandada por el movimiento mismo del conductor al cual, a su vez, ellos imprimen los impulsos necesarios para el mantenimiento de las vibraciones estacionarias.

Dispositivos Antivibratorios.-

Como ya se dijo, las soluciones estudiadas para combatir el fenómeno de las vibraciones son muy numerosas, ellas se pueden subdividir en las dos clases siguientes:

A N E X O N° 3.2VIBRACIONES DE LOS CONDUCTORES

Hoja 8 de 10

Dispositivos pasivos o de refuerzo.

Dispositivos activos o amortiguadores.

Los primeros tienen el fin de reforzar la sección del conductor en los lugares donde la sollicitación de flexión alterna da es mayor, más adelante se verá que ésto se produce en la proxi midad de las grapas de suspensión.

Los más conocidos de estos dispositivos son los -- "armour rods", están constituídos por un haz de varillas bicóni-- cas envueltas estrechamente en hélice alrededor del conductor en el sentido del cableado de la caja externa, en forma de envolverlo a ambos lados de la grapa de suspensión. Entonces, la sección total aumenta gradualmente hasta el centro de la grapa. También - se obtiene un cierto amortiguamiento de las vibraciones de aproxi madamente del 10 al 20%.

Los "amour rods", además de amortiguar las vibracio-- nes, protejen al conductor de eventuales descargas. Ellos resul-- tan especialmente indicados para reforzar el conductor en los so-- portes de vértice en terrenos con desniveles pronunciados.

Los dispositivos activos que actúan como amortiguado-- res de las vibraciones impiden que las mismas alcancen amplitudes notables, pero no impiden que el fenómeno se produzca. Aún no --

A N E X O N° 3.2VIBRACIONES DE LOS CONDUCTORES

Hoja 9 de 10

constituyendo la solución radical del problema, ellos anulan prácticamente su consecuencia dañina. Entre las realizaciones más conocidas podemos mencionar el amortiguador Stookbridge, constituido por un trozo de cable cargado con una pesa en cada extremo. Las vibraciones del conductor son transmitidas al amortiguador por medio de un collar de fijación. El rozamiento entre los alambres del trozo de cable actúa como disipador de energía.

Además existen amortiguadores a palanca, con pesa, a resorte, etc....

La solución integral al problema de las vibraciones está dada por el conductor vibratorio, que puede considerarse constituido por una sucesión ininterrumpida de amortiguadores, el mismo neutraliza en cada punto del vano la acción de impulsos de cualquier frecuencia y amplitud, impidiendo que se produzcan ondas móviles o estacionarias.

Este conductor está constituido por dos partes, el cable hueco y el alma, que son móviles la una con respecto a la otra pues presentan un cierto juego entre si y están tendidas en forma de tener diferentes velocidades de propagación de las ondas. Cuando un movimiento débil del conductor trata de propagarse bajo forma de onda móvil, el mismo debería tomar una velocidad mayor -

A N E X O N° 3.2VIBRACIONES DE LOS CONDUCTORES

Hoja 10 de 10

en una de las dos partes que lo componen, lo que es imposible, cosa que resulta evidente considerando que una parte tiene que vibrar con frecuencia mayor que la otra ocasionando pequeños choques repetidos que rápidamente ponen fin al movimiento.

El conductor antivibratorio está constituido por una doble capa de alambre de aluminio o de aldreya, en el interior de la cual el alma de acero no llena totalmente la cavidad sino deja un juego de 1 a 3 mm.

Los golpes transmitidos entre las dos partes son muy débiles a causa de lo reducido del juego.

Para la fabricación de los conductores antivibratorios no se necesitan aparatos especiales, son suficientes unas pequeñas modificaciones a las máquinas de cableado existentes y medidas adecuadas para el cableado.

C A P I T U L O 4

## 4.- EMPALMES DE CONDUCTORES

## 4.1.- Conexiones Aluminio - Cobre

## 4.2.- Acometidas

## 4.3.- Normalización



C A P I T U L O 44.- EMPALMES DE CONDUCTORES.-

Los conductores vienen de fábrica en trozos de ciertas longitudes, pero para alcanzar la de la línea, es preciso proceder a su empalme, efectuando éste en forma que la operación se realice con la mayor rapidez posible, y que las condiciones eléctricas y mecánicas no sufran variación sensible en la unión de los conductores.

Cuando se trata de pequeñas secciones, no superiores a  $21 \text{ mm}^2$  equivalente al N° 4 A.W.G., el empalme se efectuará por retorcido de hilos (Fig 4.1).

También se unen los conductores por medio de una ligadura de hilo de retención, soldando luego el conjunto (Fig 4.2).

Un tipo de junta corrientemente empleado y que dá excelentes resultados, es el de la Fig 4.3. Esta clase de junta se emplea para hilos y cables, y para secciones corrientes de cobre y aluminio. Constan de un tubo de cobre o aluminio de longitud conveniente, en el interior del cual se introduce los dos conductores que deben empalmarse. Esto realizado, se retuerce el tubo en sentido contrario desde sus extremos por medio de dos llaves especiales, lo que produce un contacto perfecto y una resistencia mecánica análoga a la del conductor.

También se emplea el empalme con pernos (Fig 4.4), que consiste en un manguito de cobre estañado en el cual penetran

los extremos de los conductores a empalmar. Por medio de una varilla cónica, se obliga a éstos a penetrar en las cavidades salientes de la pieza, y después, en el vacío que dejan se introducen pernos de cobre que se remachan, o también tornillos de latón o de hierro estañado. Este empalme es igualmente usado para formar collares en los extremos de línea, según se indica en la Fig 4.5.

Para conductores de aluminio - acero y de secciones importantes, es muy empleado en América del Norte, empalmes a presión, que dan buenos resultados, como han podido comprobarse en largos períodos de trabajo. Otro tipo de emplame igualmente bueno y recomendable es el "Pairard". En dicho empalme se aprisionan los hilos por medio de cuñas en el espacio comprendido entre conos machos y hembras. La forma de construcción se indica en la Fig 4.6. Los hilos de acero se sujetan entre el cono macho e y el cono hembra c, y quedan fijos mediante el enchufe de unión de acero d. Los hilos de aluminio permanecen sujetos por el cono macho b y el cono hembra a y se fijan mediante el enchufe de aluminio exterior f. De esta forma, tanto los hilos de acero como los de aluminio quedan unidos independientemente. El empalme se monta en la siguiente forma: En primer lugar, se atan fuertemente los conductores con hilo metálico a unos 600 mm de las extremidades, para impedir que resbalen durante el montaje. Se cortan los hilos de aluminio desde el núcleo unos 38 mm, colocando en las extremidades los conos hembras a. Después se corre sobre un extremo del cable el enchufe principal f, cuidando que las roscas a derecha e

izquierda correspondan a la de los conos. Luego se colocan los co nos de acero b entre los hilos de aluminio y los núcleos, corriendo los conos c de forma que toquen a b y poniendo en su sitio el pequeño macho e.

Actualmente, existen, además, un sinnúmero de tipos - de empalmes que se adaptan perfectamente a toda clase de necesidades y usos de los conductores.

#### 4.1.- CONEXIONES ALUMINIO - COBRE.-

Es sabido que cuando existe un contacto directo entre cobre y aluminio se produce una acción electrolítica que conduce a una corrosión del aluminio, metal electronegativo del par que - se forma. Por ello, hay que tener presente el peligro existente - en los casos en que haya que realizar conexiones de los cables de aluminio con aparatos de línea que contengan los bordes de cobre.

Es necesario, por tanto, prescribir la unión directa y utilizar en su lugar dispositivos para este objeto, concebidos especialmente, y en los cuales el enlace eléctrico aluminio - cobre esté eficazmente protegido de la humedad.

Un dispositivo empleado para este objeto se basa en - el principio siguiente:

El contacto bimetálico se realiza en el interior del cuerpo del aparato en donde la humedad no puede penetrar y la estanqueidad queda asegurada por una junta constituida por una arandala bimetálica, aluminio - cobre, que debe ser vigorosamente im-

permeable sin poros, que ha de permanecer de este modo con cualquier cambio de condiciones atmosféricas y naturalmente, sin variaciones en el transcurso del tiempo. Debe tomarse además la precaución de pintar la pieza, junto a la arandela bimetálica, en algunos milímetros de longitud; con ello se protege la junta aislante y se impide la penetración de la humedad por capilaridad hasta el contacto cobre - aluminio. De este modo queda asegurado el paso de la corriente.

En las líneas de baja tensión, las acometidas aluminio - cobre deberán efectuarse teniendo también en cuenta la necesidad de suprimir la conexión directa entre el aluminio y el cobre, y para ello se empleará la garganta de un aislador para la fijación del conductor de aluminio y otra para la del cobre, realizándose la conexión por una pieza de unión fabricada con una aleación de aluminio - cobre. La Fig 4.7 da idea de la forma de proceder. En la disposición A se utiliza doble aislador; en la B se emplea un solo aislador con doble garganta, y en la C un solo aislador normal y otro de anillo (Sic. Redes Eléctricas de G. Zoppetti).

#### 4.2.- ACOMETIDAS.

Las derivaciones de las líneas principales se ejecutan con hilos cubiertos apoyados sobre aisladores, y para que no produzcan mal efecto a la vista, se procura que estén bien trazadas, siguiendo los hilos líneas horizontales y verticales y perma

neciendo a la misma distancia entre si.

Cuando se trata de bajas tensiones y a pesar de que los aisladores se fabrican para trabajar en su posición vertical, suelen colocarse horizontalmente para mayor facilidad en la ejecución de las acometidas. Las Figuras 4.8 y 4.9 se refieren a dos acometidas, una monofásica y otra de 4 hilos.

Cuando la acometida deba atravesar una calle (Fig 4.10) los conductores se amarran en aisladores provistos de soportes curvos y fijados sobre una palomilla de pletina de hierro empotrada en el muro del edificio, siguiendo después el trazado como acometida ordinaria, según se indica en la figura 4.10. También se usan para este objeto los racks • bastidores verticales.

Cuando convenga que los hilos no destaquen en las fachadas, se hacen pasar por el interior de un tubo de hierro (Fig 4.11), cuyas uniones deben hacerse con cuidado para impedir la entrada del agua en su interior. Los tubos se sujetan a la pared por medio de grapas o escarpías, y para evitar la entrada de agua en su interior, la parte por donde penetran los conductores se curva en forma de cayado, colocando debajo de éste la palomilla de amarre de los hilos, con el fin de que tengan inclinación conveniente y pueda así escurrirse el agua de lluvia. Para evitar que la arista viva, de la acción del tubo por donde penetran los conductores, pueda dañar a éstos, se coloca un aro de porcelana (tapataladros), conforme se indica en la figura 4.11.

Las acometidas se conectan a la red general en la forma indicada en la figura 4.12. El conductor derivado se sujeta en la garganta del aislador dejando un rabillo para el empalme con la línea general. Este se realiza ordinariamente por retorcido, - apretando después fuertemente con alicates, y con ello se establece un buen contacto entre ambos conductores. No es preciso, - por consiguiente, efectuar la soldadura del empalme, y de este modo se procede con mayor rapidez en la ejecución de la acometida. Solamente cuando se trate de derivaciones importantes, en que las intensidades sean de alguna consideración, convendrá efectuar la soldadura del empalme, o en su defecto podrá recurrirse al empleo de bridas universales o conectores.

En algunas redes aéreas y con objeto de facilitar la ejecución de las acometidas, se emplean, en las líneas principales y secundarias, aisladores de doble garganta; el conductor de la línea general se apoya en una de ellas, y el de la acometida, en la otra garganta. La Figura 4.12 indica la forma como debe procederse, y con ella el trabajo queda más limpio que cuando los dos conductores, principal y derivado se sujetan en la misma garganta.

El sistema de acometidas con conductores al aire, que se acaba de exponer, sigue empleándose, pero, en la actualidad y en redes aéreas se recurre al empleo de conductores bajo plomo o cubierta termoplástica, los cuales se derivan del aislador correspondiente de la red, y el tubo que los reúne se dirige por la fa-

chada, fijado por medio de grapas o pequeñas bridas, y así penetra en el edificio.

#### 4.3.- NORMALIZACION.-

De lo expuesto anteriormente y analizando el cuadro N° 4.1, en el cual se presentan las normas de diferentes países respecto a los empalmes de conductores se puede hacer la siguiente reglamentación, que en parte está de acuerdo al reglamento italiano:

ARTICULO 20.- Empalmes de Conductores.- Los empalmes de los conductores, y con los aparatos, deben satisfacer a las condiciones de conductibilidad y aislamiento de los mismos conductores; en resistencia mecánica no será inferior al 90% de la del conductor.

ARTICULO 21.- Empalmes de Conductores.- Podrán utilizarse empalmes con retorcido del conductor hasta secciones equivalentes al N° 4 A.W.G. también se admitirán empalmes con conectores de tornillos, dientes de sierra, a presión, etc., ver figuras 4.13, 4.14, y 4.15.

ARTICULO 22.- Empalmes de Conductores.- Quedan prohibidos los empalmes en los vanos de cruzamiento y autorizados en los contiguos, con tal de que se realicen máximo a 3 metros del aislador. En casos especiales, la Dirección de Recursos Energéticos puede autorizar empalmes de tipo especial, a este fin aprobados.

ARTICULO 23.- Empalmes de Conductores.- Las acometidas a los usuarios se realizarán desde los puntos de apoyo y nunca desde el medio del vano. Se podrá usar como guía la terminología y las recomendaciones generales de las figuras 4.16 y 4.17.

C U A D R O N° 4.1NORMAS RELATIVAS A EMPALMES DE CONDUCTORES

PAIS	NORMA
Alemania	<p>Podrán utilizarse empalmes con remaches, tornillos y dientes de sierra.</p> <p>La resistencia mínima del empalme será el 90% - de la del conductor.</p>
Australia	<p>En líneas de baja tensión se admitirán empalmes soldados.</p>
Austria	<p>Podrán utilizarse empalmes con remaches, tornillos y dientes de sierra. Serán del mismo metal que el del conductor.</p> <p>La resistencia mínima del empalme será el 90% - de la del conductor.</p>
Bélgica	<p>La resistencia mínima del empalme será el 95% - de la del conductor.</p>
Checoslovaquia	<p>La resistencia mínima del empalme será el 90% - de la del conductor.</p> <p>Quedan prohibidos en líneas de segunda categoría que crucen por encima de otra cualquiera y autorizados en los vanos contiguos. La resisten<u>u</u></p>



CONTINUACION CUADRO N° 4.1NORMAS RELATIVAS A EMPALMES DE CONDUCTORES

PAIS	NORMA
Checoeslovaquia	cia mecánica en estas condiciones será la misma que la del conductor.
Dinamarca	La resistencia mínima del empalme será el 75% - de la del conductor.
España	Se prohíben los empalmes en medio del vano. Los empalmes se realizarán mínimo a 3 metros del - punto de apoyo. Las acometidas a los usuarios se realizarán des <u>de</u> de el punto de apoyo.
Estados Unidos de América	Quedan prohibidos los empalmes de conductores - en los vanos de cruzamiento y autorizados en - los contiguos. La resistencia mecánica será la misma que la - del conductor.
Italia	Los empalmes de los conductores, y con los aparatos, deben satisfacer a las condiciones de - conductibilidad y aislamiento de los mismos con <u>ductores</u> ; en resistencia mecánica no será infe-

CONTINUACION CUADRO N° 4.1NORMAS RELATIVAS A EMPALMES DE CONDUCTORES

PAIS	NORMA
Italia	<p>rior al 90% de la del conductor.</p> <p>Se prohíben los empalmes en los vanos de cruce.</p> <p>En casos excepcionales, el organismo competente del Ministerio de Comunicaciones puede autorizar empalmes de tipo especial, a este fin aprobados.</p>
Japón	<p>La resistencia mínima del empalme será el 80% - de la del conductor.</p>
Polonia	<p>La resistencia mínima del empalme será el 90% - de la del conductor.</p>
Rumania	<p>La resistencia mínima del empalme será la misma que la del conductor.</p>
Suiza	<p>En líneas normalizadas de primera categoría se admitirán empalmes soldados.</p> <p>La resistencia mínima del empalme será el 90% - de la del conductor.</p>



FIG. 4.1

EMPALME DE HILOS, POR RETORCIDO DE LOS MISMOS



FIG. 4.2

EMPALME CON UNA LIGADURA DE HILO DE RETENSION



FIG. 4.3

EMPALME DE CONDUCTORES MEDIANTE UN TUBO RETORCIDO

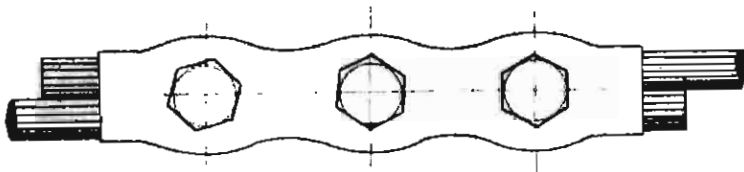


FIG. 4.4 EMPALME CON MANGUITO ESPECIAL

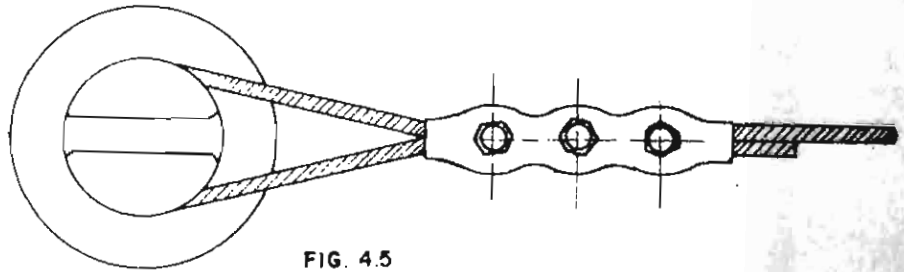


FIG. 4.5

ANARRE DEL EXTREMO DEL CONDUCTOR(hilos de aluminio)

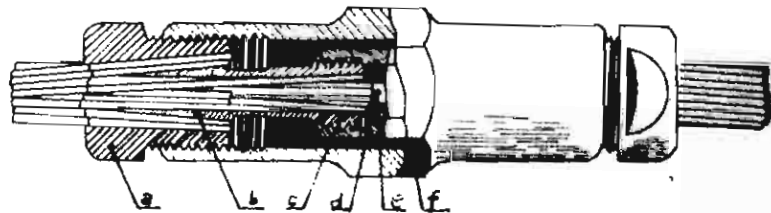
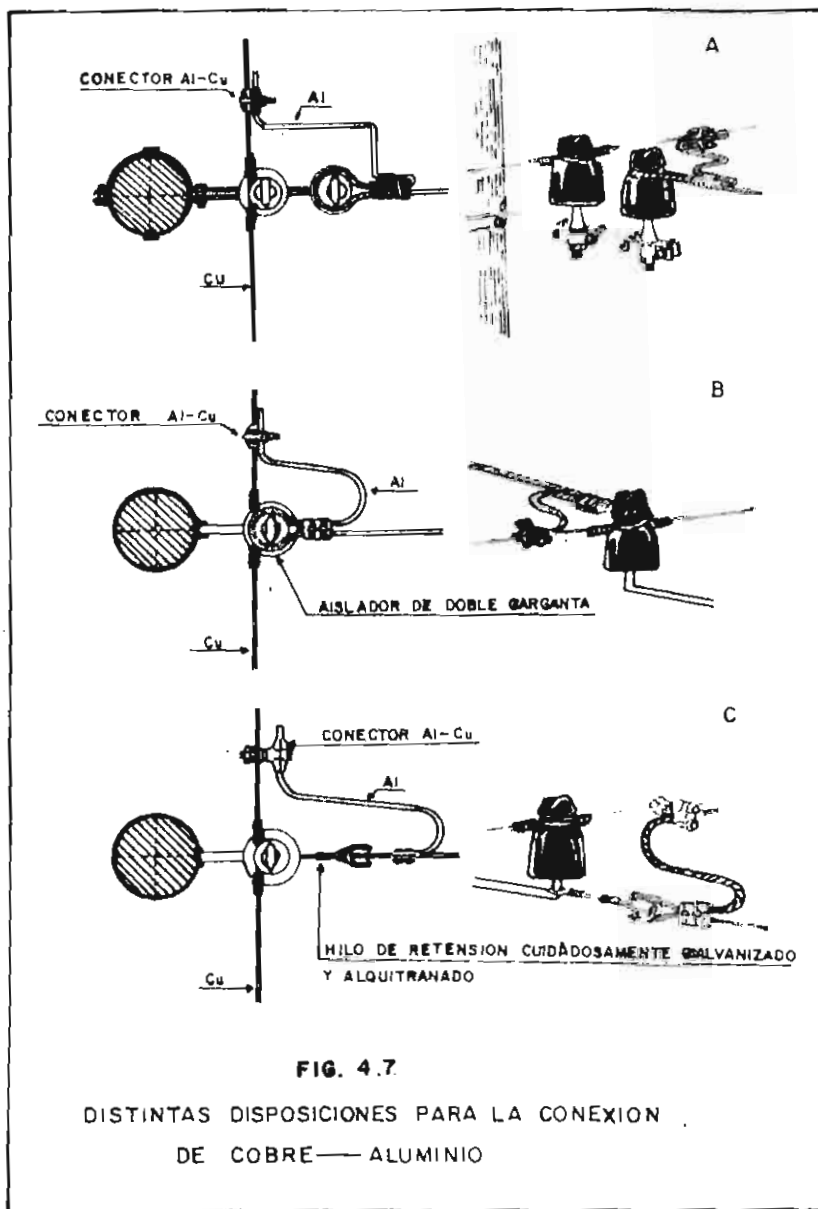
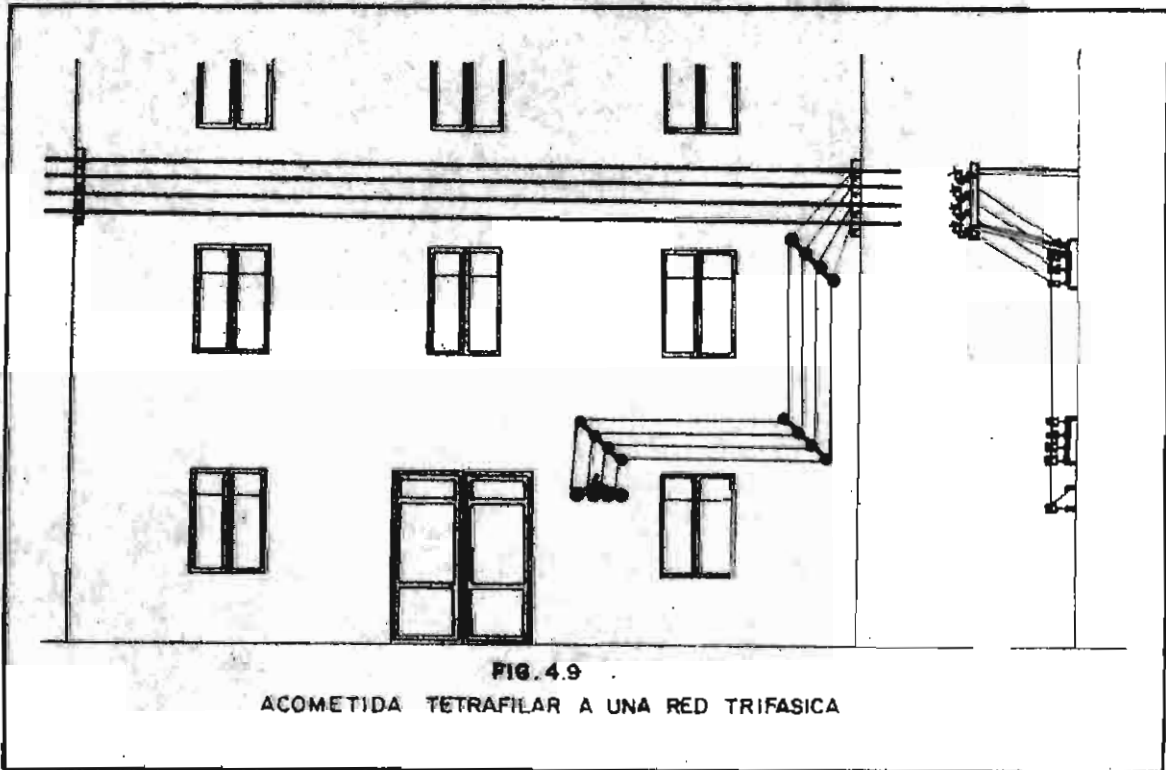
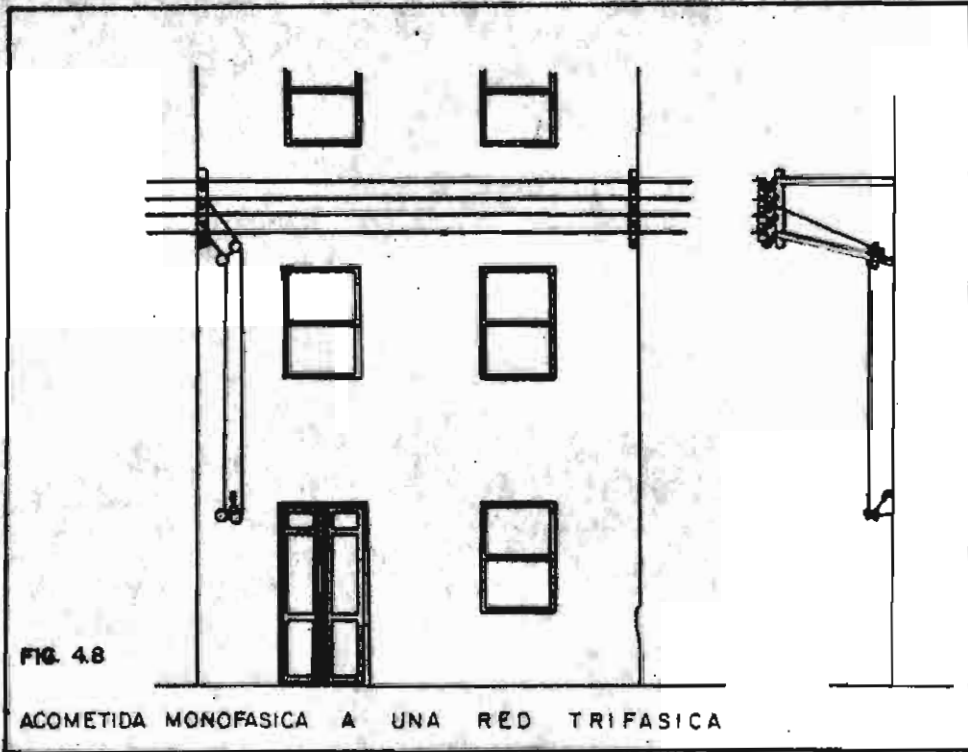
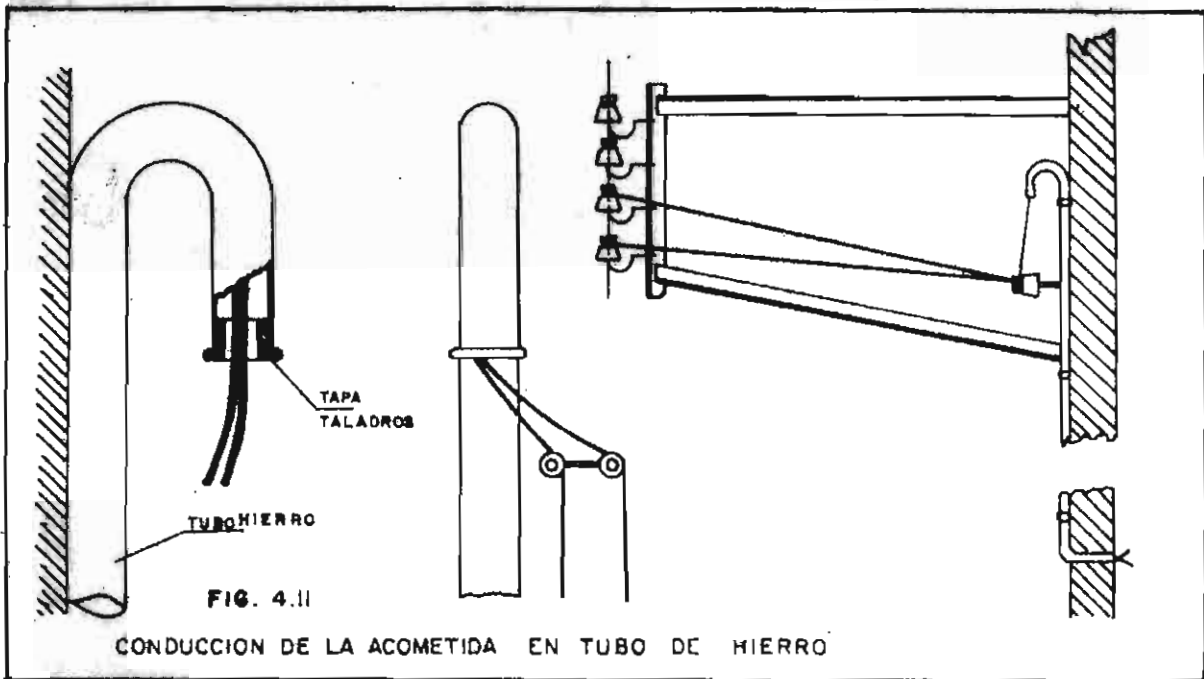
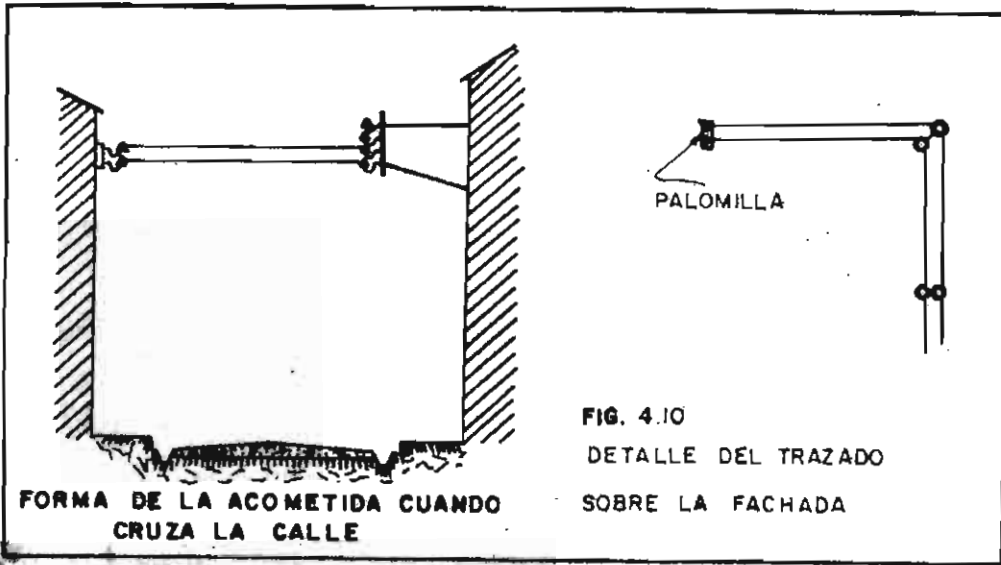


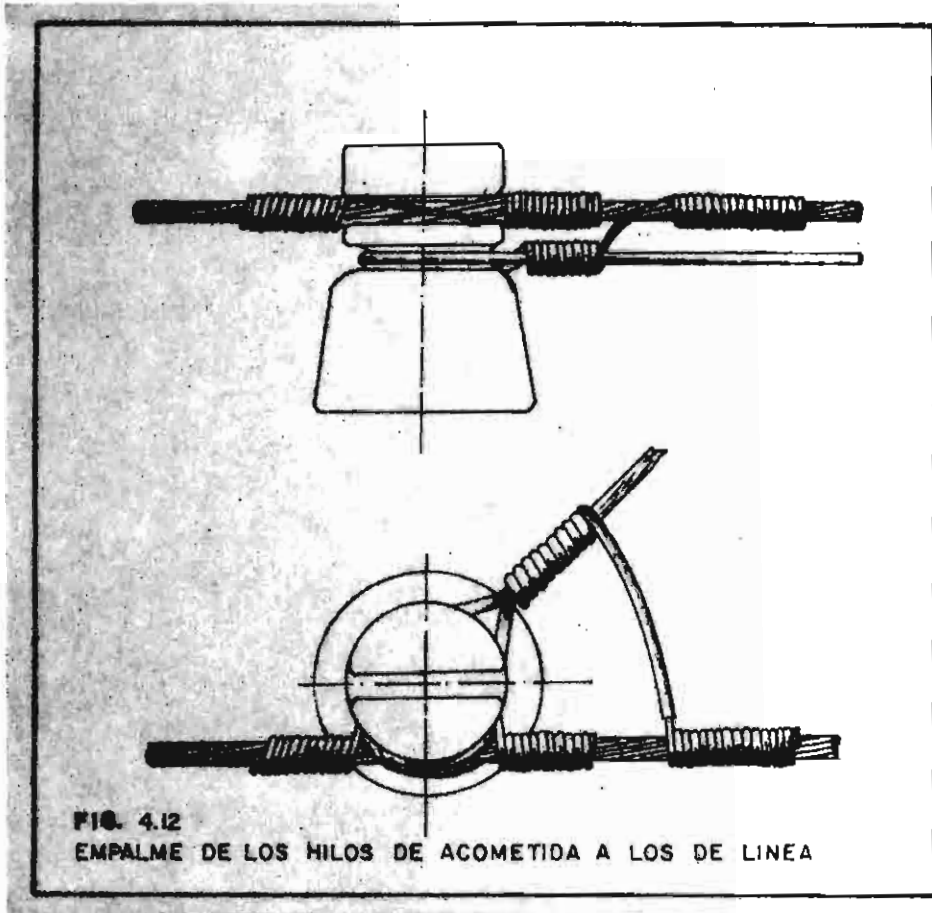
FIG. 4.6

EMPALME "PAIRARD" PARA CONDUCTORES DE ALUMINIO-ACERO DE MUCHA SECCION









**FIG. 4.12**  
**EMPALME DE LOS HILOS DE ACOMETIDA A LOS DE LINEA**





FIG. a

Empalme para hilos hasta el No. 4 AWG.

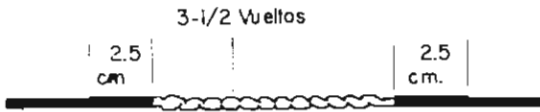


FIG. b

Empalme con camisa de cobre para conductores No. 2 AWG. o mayores

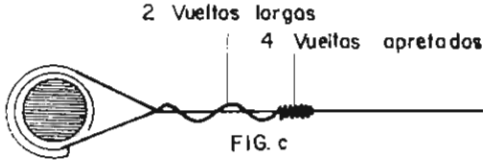


FIG. c

Vista de arriba

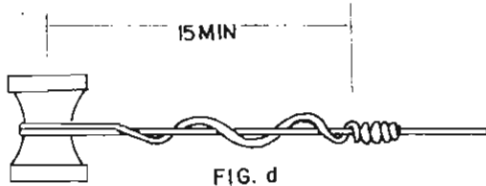


FIG. d

Vista de lado

Amarre de final de línea para hilos hasta el No. 4 AWG.

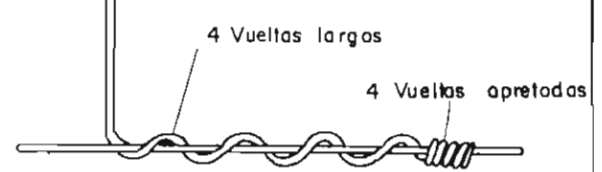


FIG. f

Derivacion de hilos hasta el No. 4 AWG.

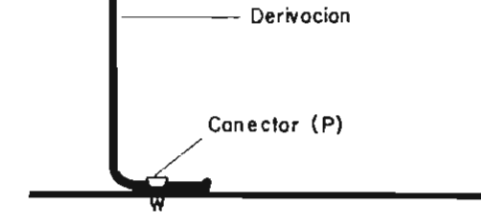


FIG. g

Derivacion de conductores No. 2 AWG o mayores

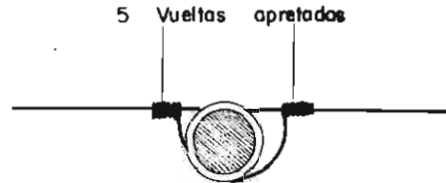


FIG. h

Vista de arriba

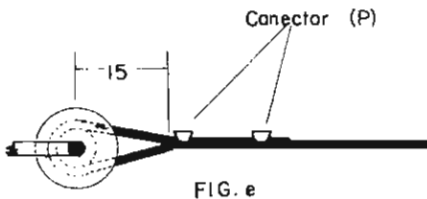


FIG. e

Amarre de final de línea para conductores No. 2 AWG. o mayores.

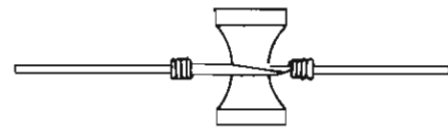


FIG. i

Amarre en angulos y tangentes

NOTA: Nunca se suelden los empalmes y derivaciones.

LINEAS DE PRIMERA CATEGORIA  
AMARRES - EMPALMES  
DERIVACIONES

4 Vueltas completas

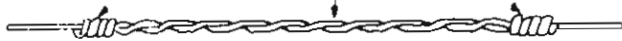


FIG a

Empalme para hilos hasta el N°4 AWG.

Nota.- Los empalmes (Figs. 1 y 2) deben distar un mínimo de 3 metros del aislador más próximo

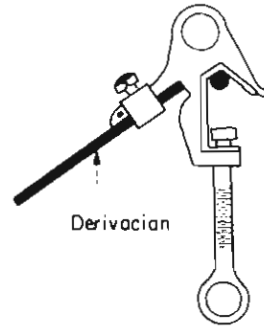


FIG. e

Grampa para líneas vivas.

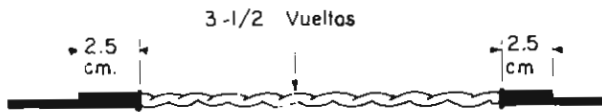


FIG. b

Empalme con camisa de cobre para conductores N°2 AWG a mayores.

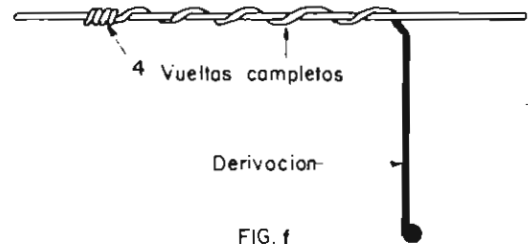


FIG. f

Conexion en medio del vano para hilos hasta el N° 4 AWG.

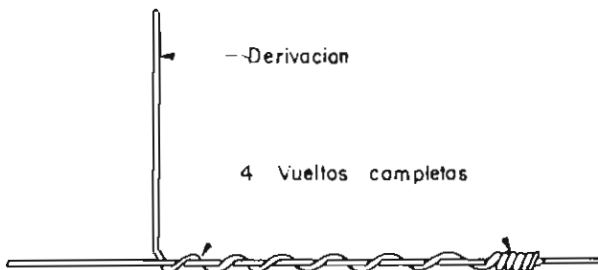


FIG. c

Derivacion con hilo hasta el N° 4 AWG.

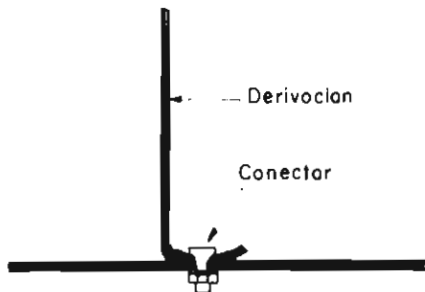


FIG. d

Derivacion con conductor N° 2 AWG. o mayor

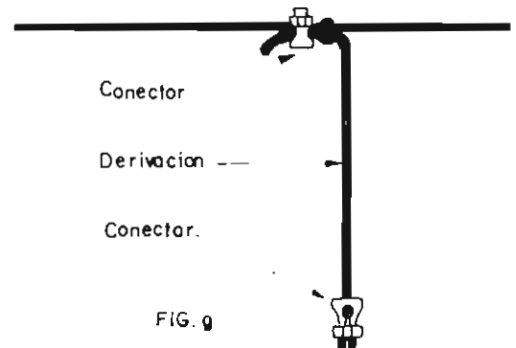
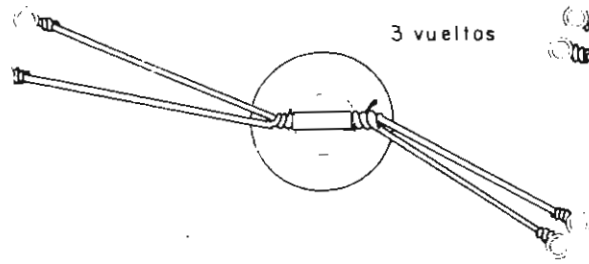


FIG. g

Conexiones en medio del vano para conductores N° 2 AWG. o mayores.

NOTA - Nunca deben soldarse los empalmes o derivaciones

LÍNEAS DE SEGUNDA CATEGORIA  
EMPALMES-DERIVACIONES-CONECTORES  
GRAMPAS PARA LINEAS VIVAS



mínimo 3-1/2 vueltas  
máximo 5 vueltas

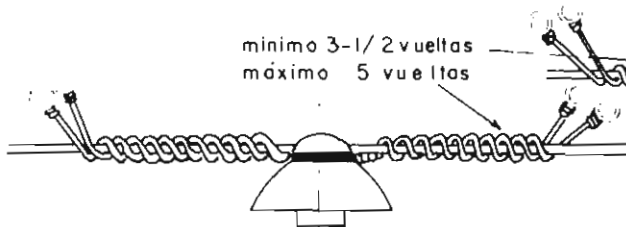


FIG. a

Amarre de tape  
Un aislador.

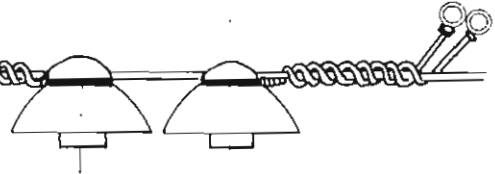
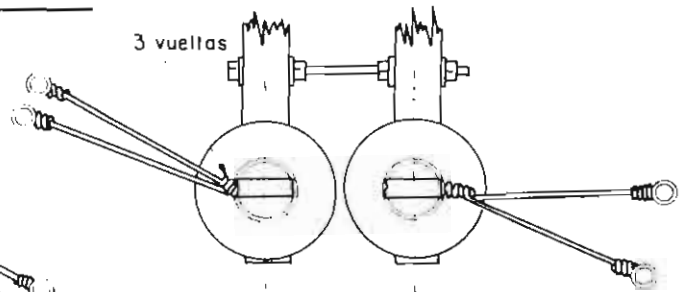
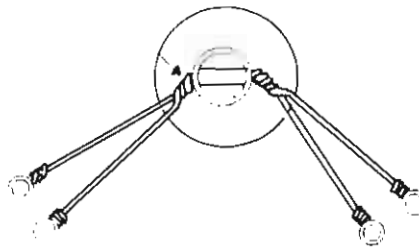


FIG. b

Amarre de tape  
Dos aisladores-Cruceta doble

3 vueltas



mínimo 3-1/2 vueltas  
máximo 5 vueltas



FIG. c

Amarre lateral  
Un aislador.

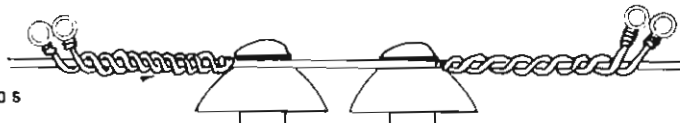
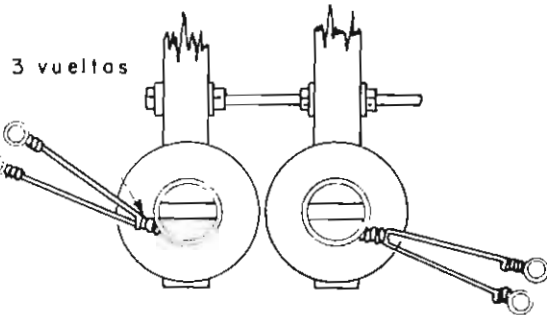


FIG. d

Amarre lateral  
Dos aisladores-cruceta doble

Diámetro de

25 m.m.

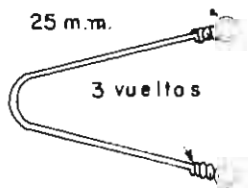


FIG. e

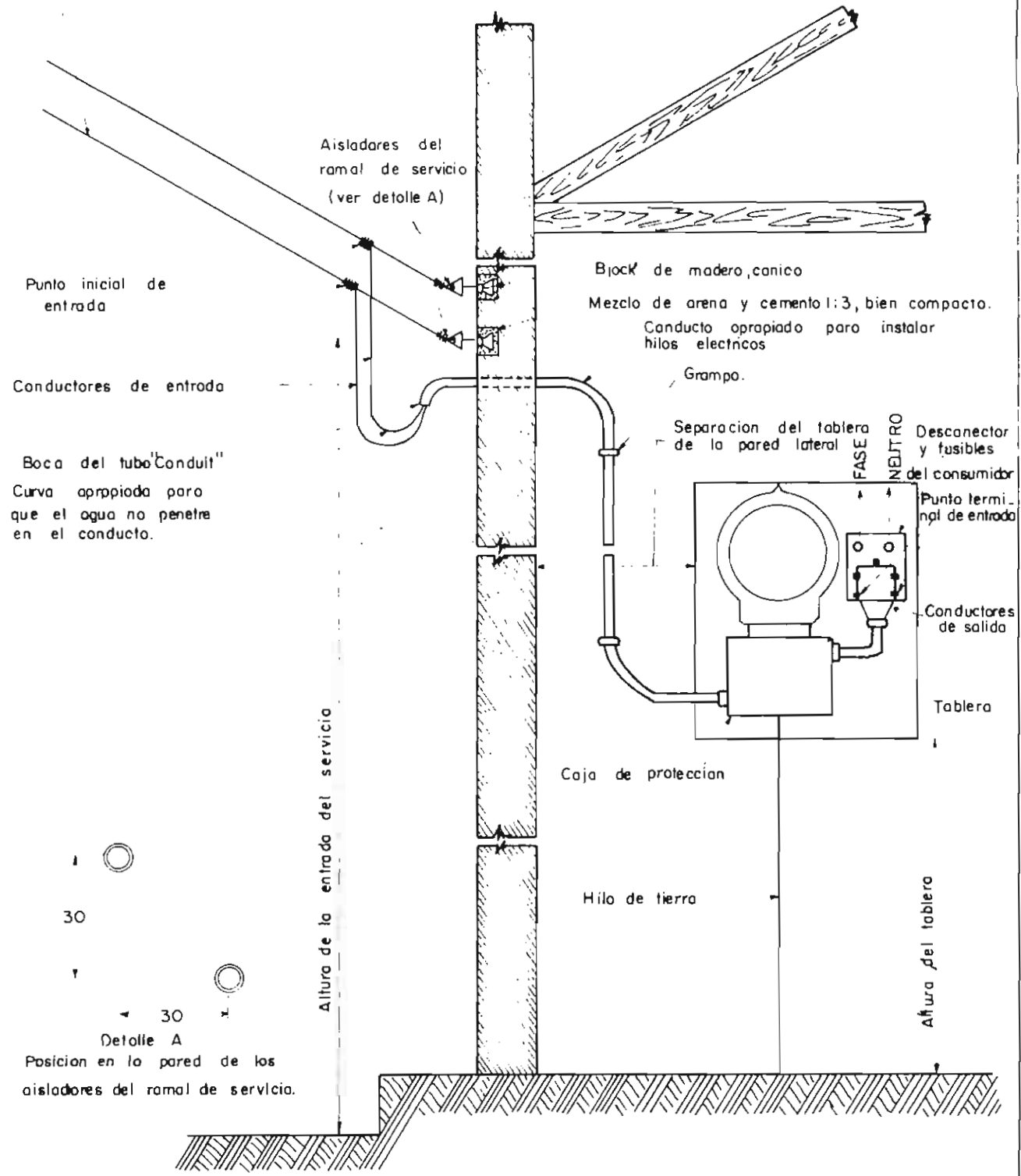
Hilo de amarre  
Dos para cada aislador.

NOTAS: 1- Hilo de amarre de cobre desnudo recocido.

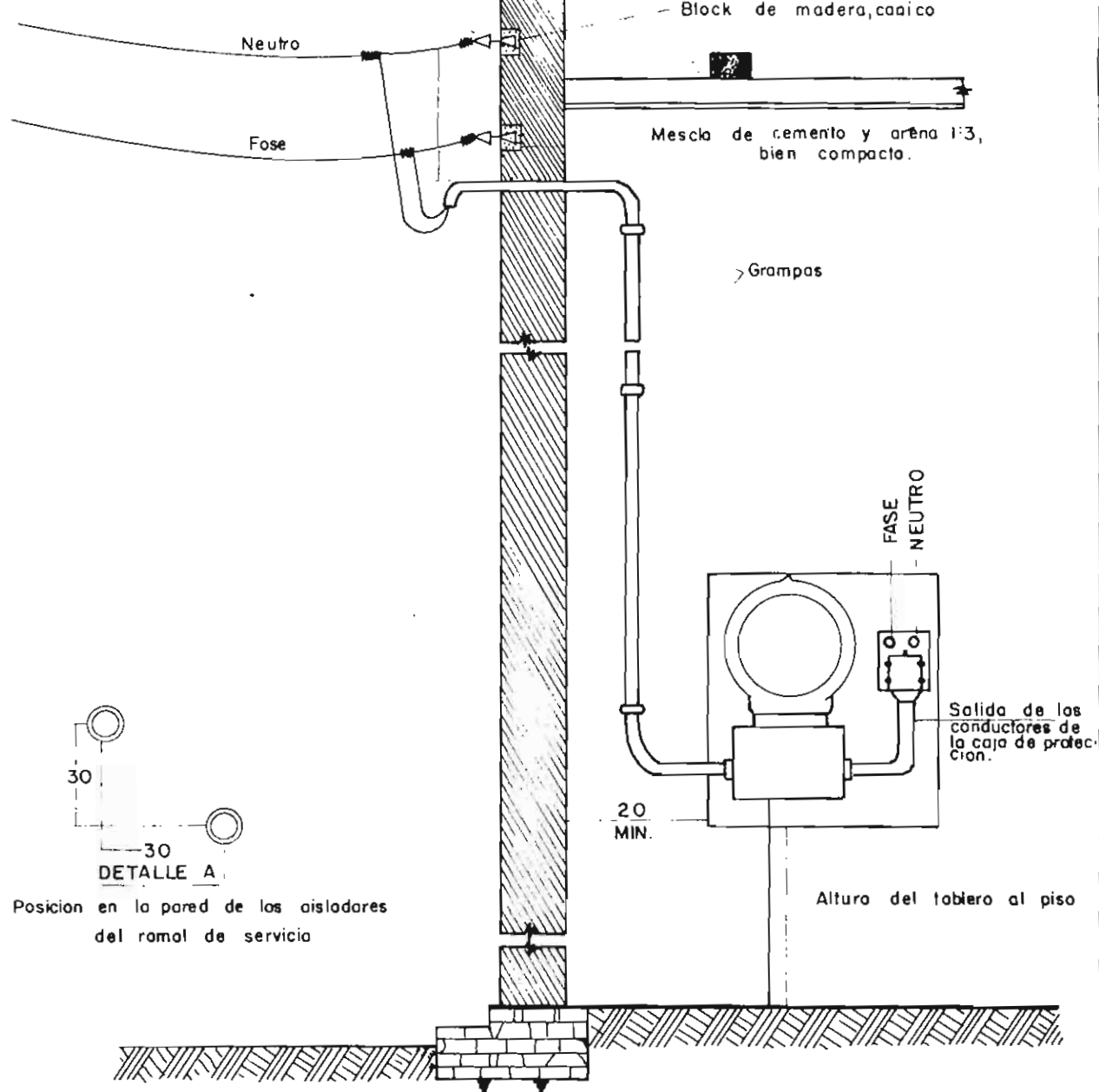
2- Hilo de amarre N° 6 AWG. con 120 cm. de longitud para conductores de cobre N° 6 al 3/0 AWG. inclusive.

Hilo de amarre N° 4 AWG con 150 cm. de longitud para conductores de cobre N° 4/0 AWG.

LÍNEAS DE SEGUNDA CATEGORÍA  
AMARRES PARA CONDUCTORES DE COBRE  
VANOS HASTA 100 METROS  
TANGENTES Y PEQUEÑOS ÁNGULOS



ENTRADAS DE SERVICIO  
 TERMINOLOGIA  
 DENOMINACIONES ATRIBUIDAS A LAS  
 DIVERSAS PARTES DE LA ENTRADA  
 DE SERVICIO



Posicion en la pared de los aisladores del ramal de servicio

- NOTAS: 1. Aisladores.- Usar aislador de ojo o tipo correte de 76 x 79 m.m.
2. Conductores de la acometida.- Aislados para intemperie y de calibre no inferior al No.10 AWG. El conductor de arriba será conectado al neutro.
3. Conductores de entrada.- Sección no inferior a la del No.10 AWG. De acuerdo con el tipo de instalación, empleese cable concéntrico o conductores separados. En este último caso el conductor de fase será de cobre con aislamiento de 600 volt. y el neutro deberá ser desnudo.
4. Conducto para los hilos eléctricos.- Debe usarse el tipo rígido pesado.
5. Caja de protección.- Será fijada con tirafondos.
6. En el desconectar del consumidor el receptáculo del fusible del neutro será puesto en corto-circuito, pues el neutro no debe tener fusible.

## ENTRADAS DE SERVICIO RECOMENDACIONES GENERALES

C A P I T U L O 5

5.- HIPOTESIS DE SOBRECARGA PARA EL CALCULO MECANICO DE CONDUCTORES.

5.1.- Acciones Debidas al Viento y Normalización.

5.2.- Acciones Debidas a las Variaciones de Temperatura y Normalización.

C A P I T U L O 55.- HIPOTESIS DE SOBRECARGA PARA EL CALCULO MECANICO DE CONDUCTORES.-

Los materiales y elementos que constituyen las líneas eléctricas deben ser calculados para que en las condiciones de solicitación más desfavorable, el coeficiente de trabajo que se fije no sea rebasado.

Las acciones a considerar en el cálculo mecánico de -conductores y cables de protección son las debidas al peso propio, presión del viento, y a las variaciones de temperatura.

5.1.- ACCIONES DEBIDAS AL VIENTO.-

Para estudiar la acción del viento se supone que la onda frontal está contenida en un plano vertical y que la presión -es uniforme sobre la totalidad de la superficie batida por el mismo.

Las experiencias realizadas para determinar la acción del viento han sido numerosísimas y en todas se relaciona su velocidad con la presión que ejerce.

La velocidad depende de la posición geográfica, altura, configuración topográfica del terreno, proximidad al mar, etc.

Aumenta a medida que lo hace la altitud ya que el terreno presenta una gran resistencia al desplazamiento brusco del aire pudiendo decirse que, aproximadamente, la presión del viento

es sensiblemente constante hasta una altura de 20 mts. sobre el suelo, aumentando, aproximadamente, en un 1% por cada metro en exceso, (Sic) (Checa, en Líneas Aéreas de Transporte de Energía Eléctrica).

La configuración topográfica del terreno tiene una gran influencia en la velocidad del viento. Sabido es cómo la orientación de ciertos valles lo canaliza y encausa haciendo adquiera extraordinaria violencia. Cerca del suelo, la corriente aérea pierde su constitución homogénea haciéndose más o menos turbulenta.

La finalidad de las experiencias efectuadas ha sido determinar la relación que existe entre la velocidad del viento y la presión que ejerce sobre una superficie plana, o cilíndrica normal a la dirección del mismo, siendo el área de la superficie cilíndrica proyectada igual a la de la plana.

De los estudios realizados se dedujo que sobre la cilíndrica la presión es aproximadamente de un 33 á 40% del valor correspondiente a la plana. Estos resultados confirman la Teoría de Newton que dice que la relación de las presiones es de 2/3 y también la Teoría de Lössl que dice que la relación es de  $\pi/4$ .

La fórmula general que relaciona presión y velocidad del viento es:

$$p = d v^2 s$$

en la que:



- p = Fuerza del viento en kilogramos.
- v = Velocidad del viento en kilómetros por hora.
- s = Area de la superficie plana batida por el viento, o bien área de la superficie cilíndrica proyectada en metros cuadrados. Dicha superficie es normal a la dirección del viento.
- d = Factor que toma en cuenta a la densidad del aire, que es función de la temperatura, presión atmosférica y de las dimensiones y forma de la superficie.

El valor d para las condiciones promedias en el Ecuador, puede ser considerado de 0,007 según recomendaciones del Dr. Ernesto Grossman, para el cálculo de la presión del viento en la fórmula anterior. Valor coincidente con la fórmula de Buck:

$$p = 0,007 v^2$$

en la que:

- p = Presión del viento en Kg/m<sup>2</sup>; en superficies cilíndricas debe aplicarse un coeficiente de reducción de 0,6.
- v = Velocidad del viento en Km/h.

Además, experimentalmente se ha comprobado que la presión unitaria sobre una superficie pequeña es mayor que sobre una grande, así como que la presión sobre una superficie plana es más importante que sobre otra curva de igual área aparente, pero que

presente su convexidad al viento. Este último es el caso de los conductores de las líneas eléctricas.

Como se comprende es difícil valorar la presión del viento sobre una superficie debiendo contentarse en la práctica con valores aproximados, algunos de los cuales se indican en el Cuadro N° 5.1, acompañando a los valores calculados con la fórmula anterior. Los valores prácticos que aparecen en dicho cuadro, son los indicados en el libro "Líneas Aéreas de Transporte de -- Energía Eléctrica" de Checa.

CUADRO N° 5.1

PRESION DEL VIENTO SOBRE SUPERFICIES PLANAS

Designación del viento	Velocidades en mts por segundo.	Presión en kilogramos por metro cuadrado.	
		Calculada	Práctica
Viento casi inapreciable	1	0,091	0,14
Brisa ligera	2	0,364	0,54
Viento fresco o brisa	4	1,460	2,17
Viento fresco favorable para el accionamiento de molinos	7	4,466	6,60
Viento fresco favorable para la navegación a vela	9	7,380	11
Viento fuerte	20	36,500	54
Tempestad	24	52,255	78
Tempestad muy violenta	30	82,000	122
Huracán	36	118,000	177
Huracán muy violento	45	183,710	277

Los reglamentos nacionales que fijan las normas con que se han de proyectar y calcular las líneas eléctricas, establecen como datos valores de uno o varios vientos teóricos.

Generalmente vienen expresados en kilogramos por metro cuadrado (o en libras por pulgada cuadrada en las naciones de habla inglesa) de superficie plana, batida por el viento, suponiéndose, siempre que no se advierta lo contrario, que éste actúa horizontal y perpendicularmente a la dirección longitudinal de la línea.

Para el cálculo de la presión sobre superficies cilíndricas, la mayor parte de los citados reglamentos dan los correspondientes valores del coeficiente de reducción para convertir presiones sobre superficies planas en presiones sobre superficies cilíndricas.

Así por ejemplo, en Bélgica y Francia, donde se consideran dos vientos reglamentarios, correspondientes a otras tantas hipótesis para el cálculo mecánico de conductores, los valores de las presiones a considerar se indican en el Cuadro N° 5.2.

#### CUADRO N° 5.2

##### PRESION DEL VIENTO, SEGUN LOS REGLAMENTOS DE FRANCIA Y BELGICA

Hipótesis para el cálculo mecánico de conductores	Coeficiente de reducción al actuar el viento, sobre	<u>Presión del viento sobre superficies</u>	
		<u>planas</u>	<u>cilíndricas</u>
		kilogramos por metro cuadrado	

CONTINUACION CUADRO N° 5.2PRESION DEL VIENTO, SEGUN LOS REGLAMENTOS DE FRANCIA Y BELGICA

	superficies cilíndricas	Presión del viento sobre superficies	
		<u>planas</u>	<u>cilíndricas</u>
A	0,6	120	120 x 0,6 = 72
B	0,6	30	30 x 0,6 = 18

En España el reglamento establece lo siguiente:

CUADRO N° 5.3PRESION DEL VIENTO, SEGUN EL REGLAMENTO ESPAÑOL

Velocidades de viento en kiló- metros por hora	Fórmula de cál- culo.	Presión del viento sobre superficies	
		<u>planas</u>	<u>cilíndricas</u>
		kilogramos por metro cuadrado	
120	$p = 0,007 v^2$	100	100 x 0,6 = 60
180		225	225 x 0,6 = 135

La velocidad de 180 Km/h sólo se considerará cuando se demuestre la posibilidad de que pueda presentarse.

En el Ecuador, se tienen datos de velocidad del viento, sólo a partir del año 1962 y han sido publicados en los Anuarios Meteorológicos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. La recopilación de estos datos se ha hecho en los anexos N° 5.1, 5.2 y 5.3. Los Anexos N° 5.3 A y 5.3 B dan la ubicación -



Región Oriental entre 200 y 1.200 metros.

Región Insular entre 6 y 300 metros

Del Cuadro N° 5.4, también se deduce, que se puede agrupar las regiones Litoral e Insular por tener valores semejantes de velocidad del viento. Según las estadísticas el máximo viento es de 10.8 m/seg. ( 39 Km/h ).

De la información precedente y de acuerdo a la experiencia que nos dice que no se han tenido noticias de que en el Ecuador hayan habido vientos de violencia superior a tempestad para la región Interandina y menor para las otras regiones y con el objeto de no encarecer los elementos de la línea, por el sobredimensionamiento excesivo, considero que se puede hacer la siguiente reglamentación:

ARTICULO 24.- Hipótesis de Sobrecarga para el Cálculo Mecánico de

Conductores.- Los conductores se calcularán para las siguientes hipótesis:

- A) PRESION DEL VIENTO: Para el cálculo mecánico de conductores se considerarán las siguientes presiones del viento:

Altitud m	Velocidad del viento en Km/h	Fórmula de cálculo	Presión del viento sobre superficies en Kg/m <sup>2</sup>	
			Planas	Cilíndricas (coeficiente de reducción 0,6)
0 - 1.200	70	$p = 0,007 v^2$ en la que	34	21
1.200 - 3.000	90	$p =$ presión del viento en Kg/m <sup>2</sup>	57	34
3.000 - 4.000	120	$v =$ velocidad del viento en Km/h.	100	60

## 5.2.- ACCIONES DEBIDAS A LAS VARIACIONES DE TEMPERATURA.-

Los conductores y cables de protección de las líneas experimentan dilataciones y contracciones debidas a las variaciones de temperatura, variando por tanto, las sollicitaciones o esfuerzos que ejercen sobre los apoyos.

Al estudiar una línea aéreas es importantísimo su comportamiento con respecto a la temperatura. En verano, la línea se dilata, su flecha se hace mayor y la tensión mecánica longitudinal a que está sometido el conductor disminuye. En invierno, por el contrario, se acorta la línea, disminuye la flecha y aumenta el esfuerzo de tracción sobre el cable.

Como se aspira a que la línea resulte tan barata como sea posible y eso aconseja construir los puntos de apoyo tan bajos como lo permitan las circunstancias. (Según las presentes Normas, la mínima distancia entre la línea y el suelo no debe ser menor de 6 metros y al cruzar un camino, esta distancia debe aumentar á 7 metros. Capítulo 8, acápite 8.5). Para reducir el tamaño de los postes, procede dar a la línea la mayor tensión mecánica posible, ya que así se reduce la flecha. Pero hay que tener aquí presente, que los mayores esfuerzos de tracción, que surgen en la línea con las bajas temperaturas no deben rebasar los esfuerzos que su material debe soportar. Estos esfuerzos también están prescritos y detallados en las presentes normas (Capítulo 3, artículo 15.- Tensiones de Tracción). Por lo tanto, se debe investigar el

comportamiento a la temperatura, bajo condiciones normales y en un campo entre los valores máximos y mínimos observados en el país.

Para establecer cuáles son las temperaturas a considerar en las Hipótesis de Cálculo, se han preparado los Anexos N° 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9, que dan los valores anuales máximos y mínimos de temperatura del aire desde el año 1959 hasta 1964.

Los resultados pueden resumirse en el Cuadro N° 5.5

CUADRO N° 5.5

VALORES ANUALES DE TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (GRADOS CELSIUS).

Años	R E G I O N							
	Litoral		Interandina		Oriental		Insular	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
1959	35.2	13.6	32.0	-2.0	35.5	17.7	32.1	17.1
1960	37.2	12.5	30.5	-3.6	35.7	5.8	32.5	16.6
1961	36.2	12.3	31.0	-0.8	34.4	7.2	32.0	16.8
1962	37.2	12.5	37.2	-3.6	35.1	12.0	32.0	17.0
1963	39.8	10.0	35.6	-1.0	37.5	11.0	32.4	16.8
1964	37.4	8.0	34.6	-4.0	37.7	10.0	33.4	11.7



Del Cuadro N° 5.5 se deduce que es posible agrupar - las regiones Litoral, Oriental e Insular, pues tienen valores de temperatura máximos y mínimos semejantes. Sin embargo, se debe observar que los valores máximos tienen una variación del 10% y los mínimos del 24%.

Por lo tanto para tener un relativo margen de seguridad, pues las estadísticas apenas alcanzan a 6 años, se deben tomar valores superiores e inferiores para las temperaturas máximas y mínimas a considerarse, que las indicadas en el Cuadro N° 5.5. Por otro lado, no debe olvidarse que la temperatura de los conductores será mayor o menor que la del aire, pues la condición de la superficie del conductor determina la cantidad de energía solar absorbida. Los cuerpos oscuros tienen una absorción del 100%, -- mientras que los cuerpos claros pueden absorber sólo 4 ó 5%, reflejando el resto a la atmósfera.

Además, la principal fuente de energía termal interna del conductor, es por supuesto, las pérdidas  $I^2R$ , en donde, I es la corriente en amperios y R la resistencia efectiva.

Otro factor, que no hay que olvidar, es que a grandes altitudes, tales como las que existen en la región Interandina - (fácilmente se puede llegar entre 3.000 y 4.000 metros sobre el nivel del mar), la reducida densidad del aire da por resultado - una apreciable reducción de la disipación de calor por convención. También a tales altitudes el calor recibido del sol es aumentado

en aproximadamente el 25% del que se recibe al nivel del mar.

La experiencia también enseña, que generalmente, las máximas temperaturas no son acompañadas de vientos violentos.

De lo anteriormente dicho se puede concluir con la siguiente reglamentación:

ARTICULO 24.- Hipótesis de Sobrecarga para el Cálculo Mecánico de Conductores.-

- B) TEMPERATURA: Para el cálculo mecánico de conductores se considerarán los siguientes valores de temperatura:

Altitud en mts.	Temperatura en grados Celsius.	
	Máxima	Mínima
666 0 - 1.200	50	5
1.200 - 3.000	50	0
3.000 - 4.000	40	- 10

ARTICULO 24.- Hipótesis de Sobrecarga para el Cálculo Mecánico de Conductores.-

- C) FLECHAS MAXIMAS DE CONDUCTORES Y CABLES DE TIERRA:

En función de las hipótesis de sobrecarga anteriormente especificadas, se determinará la flecha máxima de conductores y cables de tierra en los casos siguientes:

- 1.- Para zonas situadas entre 0 y 1.200 metros de altitud, a la temperatura de 50°C sin sobrecarga y a la temperatura de 15°C con sobrecarga debida a la presión de un viento de 34 Kg/m<sup>2</sup> de superficie plana de conductor o cable de tierra, o, de 21 Kg/m<sup>2</sup> de superficie cilíndrica proyectada.
- 2.- Para zonas situadas entre 1.200 y 3.000 metros de altitud, a la temperatura de 50°C sin sobrecarga y a la temperatura de 15°C con sobrecarga debida a la presión de un viento de 57 Kg/m<sup>2</sup> de superficie plana de conductor o cable de tierra,

- o, de  $34 \text{ Kg/m}^2$  de superficie cilíndrica proyectada.
- 3.- Para zonas situadas entre 3.000 y 4.000 metros de altitud, a la temperatura de  $40^\circ\text{C}$  sin sobrecarga y a las temperaturas de  $40^\circ\text{C}$  y  $10^\circ\text{C}$  con sobrecarga debida a la presión de un viento de  $100 \text{ Kg/m}^2$  de superficie plana de conductor o cable de tierra, o, de  $60 \text{ Kg/m}^2$  de superficie cilíndrica proyectada.
  - 4.- Para zonas situadas sobre los 4.000 metros de altitud, el criterio queda a cargo del proyectista y del conocimiento que se tenga de la región.
  - 5.- En zonas en las cuales se tengan datos estadísticos muy confiables, se podrán modificar los valores consignados anteriormente, para ajustar los a la realidad previa justificación cuando las condiciones climatológicas lo aconsejen.
  - 6.- La flecha máxima vertical resultante en cada caso, se tomará en cuenta para el cálculo de la altura de los apoyos, de tal manera que en ningún caso se rebasen las distancias mínimas prescritas de los conductores al suelo.

ARTICULO 24.- Hipótesis de Sobrecarga para el Cálculo Mecánico de Conductores.-

- D) TENSIONES DE TRACCION MAXIMAS DE LOS CONDUCTORES Y CABLES DE TIERRA: Con las temperaturas mínimas de cada zona, no deberán ser rebasados, los valores de las tensiones de tracción máxima del artículo 15, al efectuar los cálculos bajo los supuestos de sin y con sobrecarga de viento, para los conductores y cables de tierra.

## VALORES ANUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO

AÑO 1962

Hoja 1 de 3

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	VELOCIDAD MAXIMA DEL VIENTO EN MTS/SEG.
Limones - San Lorenzo	Litoral	79°00' W	01°15' N	4	3.5
Esmeraldas - Las Palmas	"	79°24' W	00°59' N	6	4.2
Amancaes - Quinindé	"	79°24' W	00°15' N	230	9.0
Jama	"	80°16' W	00°12' N	5	6.0
El Napo - San Vicente	"	80°26' W	00°34' S	5	9.5
Bahía de Caráquez	"	80°26' W	00°36' S	6	3.3
Chone	"	80°50' W	00°41' S	20	2.0
Tosagua	"	80°15' W	00°47' S	15	1.2
Calceta	"	80°10' W	00°51' S	10	6.0
Rocafuerte	"	80°27' W	00°55' S	10	4.0
Valencia - El Vergel	"	79°27' W	00°55' S	120	1.0
Manta	"	80°42' W	00°57' S	6	4.8
Pichincha	"	79°48' W	01°01' S	200	1.0
Portovieja	"	80°26' W	01°04' S	44	1.1
Pichilingue	"	79°29' W	01°06' S	73	
Santa Ana	"	80°23' W	01°12' S	15	2.0
La Naranja - Jipijapa	"	80°28' W	01°22' S	58	0.2
La Clementina	"	79°21' W	01°40' S	20	0.1
Isabel María - Babahoyo	"	79°32' W	01°48' S	7	1.5
Daule	"	79°58' W	01°51' S	20	3.0
Manglaralto	"	80°44' W	01°52' S	3	2.0
Milagro	"	79°31' W	02°09' S	13	4.1
Guayaquil - Aeropuerto	"	79°53' W	02°10' S	6	4.4
Guayaquil - Base Militar	"	79°55' W	02°10' S	6	3.8
Salinas - Base Aérea	"	80°59' W	02°11' S	6	6.5
Salinas - La Puntilla	"	81°01' W	02°12' S	80	6.9

ESTACIONES METEOROLOGICAS DE PRIMERO, SEGUNDO Y TERCER ORDEN  
VALORES ANUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO

AÑO 1962

Hoja 2 de 3

NOMBRE	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	VELOCIDAD MAXIMA DEL
					VIENTO EN MTS/SEG.
Arcón	Litoral	80°51' W	02°20' S	6	
Bayo	"	79°31' W	02°22' S	15	1.0
Bayas	"	80°23' W	02°39' S	6	4.0
Fuente Solimar	"	80°00' W	03°16' S	8	9.0
Santa Rosa	"	79°56' W	03°26' S	15	2.8
Laguna	"	79°57' W	04°23' S	470	7.9
Yalcán	Interandina	77°42' W	00°43' N	2550	7.9
El Adelante	"	77°56' W	00°37' N	3095	1.2
San Jerónimo	"	77°50' W	00°36' N	2060	1.0
Calinas (Indaburra)	"	78°08' W	00°33' N	1730	4.0
Llerna	"	78°08' W	00°21' N	2228	7.4
Clavilla	"	78°16' W	00°14' N	3121	
San Pablo del Lago	"	78°11' W	00°12' N	2880	3.0
Quito - Aerodromo	"	78°29' W	00°06' S	2812	6.9
Quito - Observatorio Astro-					
México	"	78°50' W	00°12' S	2018	1.3
Cacaboto	"	78°29' W	00°16' S	2250	4.0
Chilaboga	"	78°44' W	00°16' S	1680	2.0
Ischamba	"	78°33' W	00°22' S	3058	5.0
Oyumbona	"	78°32' W	00°24' S	2723	...
Cotapaxi	"	78°24' W	00°31' S	2200	...
Latacunga	"	78°27' W	00°51' S	2007	0.3
Alalá	"	79°02' W	00°56' S	2500	2.0
Quito	"	78°38' W	01°17' S	2540	5.4
Barro	"	78°25' W	01°24' S	1843	
Alto de la Cruz	"	78°40' W	01°38' S	2796	7.5

## VALORES ANUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO

AÑO 1962

Hoja 3 de 3

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	VELOCIDAD MAXIMA DEL VIENTO EN MTS/SEG.
Pachamama	Interandina	78°40' W	02°15' S	3600	
Cañar	"	78°56' W	02°33' S	3104	13.6
Cuenca (Ricaurte)	"	78°57' W	02°57' S	2562	5.0
Santa Isabel	"	79°20' W	03°20' S	1598	1.7
La Toma (Catamayo)	"	79°21' W	04°00' S	1238	6.1
Tiputini	Oriental	75°32' W	00°45' S		3.0
Pastaza	"	78°03' W	01°30' S	1043	2.8
San Cristóbal	Insular	89°37' W	00°54' S	6	10.8
<u>CONCLUSION AÑO 1962 :</u>					
			REGION LITORAL		9.5
			REGION INTERANDINA		13.6
			REGION ORIENTAL		3.0
			REGION INSULAR		10.8

AÑO 1963

Hoja 1 de 4

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	VELOCIDAD MAXIMA DEL VIENTO EN MTS/SEG.
Lirioes	Litoral	79°00' W	01°15' N	4	3.3
Esmeraldas Las Palmas	"	79°39' W	00°59' N	6	5.1
Vieque	"	79°35' W	00°38' N	30	1.6
Mulane	"	80°01' W	00°37' N	C	6.8
Atenasay Quinindé	"	79°29' W	00°15' N	230	2.0
Caba	"	80°16' W	00°12' S	5	8.3
Liberto Isla	"	79°22' W	00°33' S	260	1.9
San Mateo - San Vicente	"	80°26' W	00°34' S	5	5.7
Palma de Caráquez	"	80°26' W	00°36' S	6	1.8
Chone	"	80°05' W	00°41' S	20	2.4
Osasqua	"	80°15' W	00°47' S	15	2.6
Calcuta	"	80°10' W	00°51' S	10	5.4
Boqueruerte	"	80°27' W	00°55' S	10	5.0
Monte	"	80°42' W	00°57' S	6	1.2
F. Chihona	"	79°48' W	01°01' S	200	2.5
Leftoviujo	"	80°26' W	01°04' S	44	2.1
Fichilingue	"	79°29' W	01°06' S	73	2.5
Honorato Vásquez Poso Honda	"	80°14' W	01°06' S	200	2.5
Barbar - Coffea Robusta	"	79°42' W	01°06' S	40	2.1
Santa Ana	"	80°23' W	01°12' S	15	2.7
La Naranja	"	80°20' W	01°22' S	528	2.0
Vinces	"	79°44' W	01°34' S	41	2.8
Calama	"	79°15' W	01°37' S	250	2.5
La Clementina	"	79°21' W	01°40' S	20	1.9
San Mateo - Babalajo	"	79°32' W	01°48' S	7	1.9
San Mateo	"	79°53' W	01°51' S	20	1.9

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	VELOCIDAD MAXIMA DEL VIENTO EN M.TS./SEG.	
Manglaralto	Litoral	80°44' W	01°52' S	3		4.8
Milagro	"	79°36' W	02°09' S	13		4.2
Guayaquil - Base Aérea Militar	"	79°53' W	02°10' S	6		4.1
Guayaquil - Aeropuerto Civil	"	79°53' W	02°12' S	6		4.7
Salinas - Base Aérea	"	80°59' W	02°11' S	6		4.3
La Puntilla - Salinas	"	81°01' W	02°12' S	80		5.5
Ancón	"	80°51' W	02°20' S	6		
Playa	"	79°31' W	02°22' S	15		0.7
Playas	"	80°23' W	02°39' S	6		3.2
Puerto Bolívar	"	80°00' W	03°16' S	6		4.5
Pasaje	"	79°50' W	03°21' S	15		3.0
Santa Rosa	"	79°58' W	03°26' S	15		3.6
Arenillas	"	80°05' W	03°33' S	15		1.0
Zaruma	"	79°38' W	03°41' S	1150		0.8
Marcebeli	"	79°48' W	03°44' S	680		2.5
Macará	"	79°57' W	04°23' S	430		6.2
Tulcán	Interandina	77°55' W	00°41' N	2950		6.2
El Angel	"	77°56' W	00°37' N	3055		1.0
San Gabriel	"	77°50' W	00°36' N	2860		1.3
Salinas (Imbabura)	"	78°08' W	00°30' N	1730		2.2
Ibarra	"	78°08' W	00°21' N	2228		4.9
Atuntaqui	"	78°13' W	00°20' N	2350		2.0
Sigsicunga	"	78°21' W	00°15' N	3111		1.6
Otavalo	"	78°21' W	00°15' N	3111		



ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	VELOCIDAD MAXIMA DEL VIENTO EN MTS/SEG.
San Pablo del Lago	Interandina	78°11' W	00°12' N	2680	3.0
Tabacundo	"	78°13' W	00°03' N	2676	5.4
Quito - Aeropuerto	"	78°29' W	00°08' S	2812	7.0
Quito - Universidad	"	78°30' W	00°12' S	2870	3.3
Quito - Observatorio Astro- nómico	"	79°30' W	00°13' S	2818	1.2
Santo Domingo de los Colo- rados	"	79°04' W	00°14' S	660	4.2
Cónocoto	"	78°28' W	00°16' S	2250	3.7
Chiriboga	"	78°44' W	00°16' S	1680	5.4
Izobamba	"	78°33' W	00°22' S	3058	2.8
Papallacta	"	78°08' W	00°23' S	3160	1.6
Uyumbicho	"	78°32' W	00°24' S	2725	5.0
Machachi	"	78°34' W	00°31' S	2950	4.7
Cotopaxi	"	78°34' W	00°37' S	3560	5.3
Latacunga	"	78°37' W	00°55' S	2809	3.6
Pilaló	"	79°02' W	00°58' S	2500	4.9
El Corazón	"	79°06' W	01°12' S	1500	7.1
Ambato	"	78°38' W	01°17' S	2540	5.6
Patate	"	78°30' W	01°18' S	2360	4.2
Banos	"	78°25' W	01°24' S	1843	5.3
Riobamba	"	78°40' W	01°33' S	2796	1.8
San Simón	"	78°59' W	01°39' S	2600	2.3
Guaslán	"	78°40' W	01°45' S	2750	2.6
Chillanes	"	79°02' W	01°53' S	2300	5.5
Guamote	"	78°43' W	01°54' S	3020	

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	VELOCIDAD MAXIMA DEL VIENTO EN MTS./SEG.
Pachamama	Interandina	78°40' W	02°15' S.	3600	4.6
Cañar	"	78°56' W	02°33' S	3104	3.6
El Labrado	"	79°16' W	02°43' S.	3260	3.1
Paute	"	78°43' W	02°47' S	2289	3.1
Cuenca (Ricsurte)	"	78°57' W	02°51' S.	2562	4.8
Santa Isabel	"	79°20' W	03°20' S	1598	2.7
Saraguro	"	79°15' W	03°38' S.	2520	8.0
Loja - La Argelia	"	79°12' W	04°00' S	2135	8.1
La Toma (Catamayo)	"	79°21' W	04°00' S	1238	7.3
Catacocha	"	79°38' W	04°04' S.	1860	4.5
Celica	"	79°56' W	04°05' S	2700	2.6
Malacatos	"	79°14' W	04°13' S.	1600	5.3
Cariamanga	"	79°34' W	04°19' S	1950	3.7
Tiputini	Oriental	90°17' W	00°26' S.		2.5
Pastaza	"	78°03' W	01°30' S	1043	2.5
Sucúa	"	78°11' W	02°20' S	910	2.1
Zamora	"	78°53' W	04°05' S	970	1.3
Seymour	Insular	90°17' W	00°26' S	6	3.3
San Cristóbal	"	89°37' W	00°54' S	6	5.5

CONCLUSIONES AÑO 1963 :

REGION LITORAL	8.4
REGION INTERANDINA	9.6
REGION ORIENTAL	2.5
REGION INSULAR	5.5

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	FUERZA DEL VIENTO EN METROS/SEGUNDO
San Lorenzo	Litoral	78°51' W	01°17' N.	5	3.7
Limones	"	79°00' W	01°15' N.	4	3.0
Borbón	"	79°00' W	01°05' N	20	3.1
Esmeraldas - Las Palmas	"	79°39' W	00°59' N	6	6.1
Lita	"	78°20' W	00°52' N	571	4.0
Viche	"	79°33' W	00°38' N	30	2.9
Muisne	"	80°01' W	00°37' N	2	8.0
Amancay - Quinindé	"	79°24' W	00°15' N	230	2.3
Jama	"	80°16' W	00°12' S	5	4.6
Puerto Ila	"	79°22' W	00°35' S	260	2.7
San Vicente - Hacienda "El Napo"	"	80°26' W	00°34' S	5	5.0
Bahía de Caráquez	"	80°26' W	00°36' S	6	3.1
Chone	"	80°05' W	00°41' S	20	2.5
El Palmar	"	79°21' W	00°14' S	460	3.9
Tosagua	"	80°15' W	00°47' S	15	4.6
Calceta	"	80°10' W	00°51' S	10	2.3
Valencia - Hda. El Vergel	"	79°28' W	00°55' S	120	1.4
Rocafuerte	"	80°27' W	00°55' S	10	6.2
San Juan - La Mana	"	79°19' W	00°57' S	223	1.6
Maná	"	80°42' W	00°57' S	0	3.3
Pichincha	"	79°18' W	01°01' S	200	1.3
Costoviejó	"	80°26' W	01°04' S	44	3.2
Pichilingue	"	79°29' W	01°06' S	73	1.1
Honorato Vázquez - Poma Honda	"	80°14' W	01°01' S	200	1.1
San Juan - Celiba	"	79°42' W	01°01' S	0	1.1

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	FUERZA DEL VIENTO EN METROS/SEGUNDO
Santa Ana	Litoral	80°23' W	01°12' S	15	3.3
La Naranja - Jipijapa	"	80°28' W	01°22' S	528	2.8
Vinces	"	79°44' W	01°34' S	41	1.4
Caluma	"	79°15' W	01°37' S	250	2.6
La Clementina	"	79°21' W	01°40' S	20	2.8
Isabel María	"	79°32' W	01°48' S	7	2.2
Daule	"	79°38' W	01°51' S	20	4.9
Manglaralto	"	80°44' W	01°52' S	3	6.8
Milagro	"	79°36' W	02°09' S	13	3.1
Guayaquil - Armada	"	79°53' W	02°10' S	6	4.6
Guayaquil - Aeropuerto	"	79°53' W	02°12' S	6	5.1
Salinas - Base Aérea	"	80°59' W	02°11' S	6	5.1
Salinas - La Puntilla	"	81°01' W	02°12' S	80	3.6
Ancón	"	80°51' W	02°20' S	6	1.6
Payo	"	79°31' W	02°22' S	15	2.6
Playas	"	80°23' W	02°39' S	6	2.6
Naranjal	"	79°38' W	02°42' S	30	2.2
Tenapel	"	79°47' W	03°00' S	15	3.2
Puerto Solívar	"	80°00' W	03°16' S	6	1.7
San Juan	"	79°50' W	03°21' S	15	1.7
San Juan	"	79°50' W	03°26' S	13	2.1
San Juan	"	80°05' W	03°30' S	15	2.1
San Juan	"	79°38' W	03°41' S	1150	1.1
San Juan	"	79°48' W	03°44' S	600	1.1
San Juan	"	79°51' W	03°53' S	430	1.1
San Juan	"	79°42' W	03°42' S	1150	1.1

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	FUERZA DEL VIENTO EN METROS/SEGUNDO
El Angel	Interandina	77°56' W	00°37' N	3055	5.3
San Gabriel	"	77°50' W	00°36' N	2860	5.0
Salinas - Imbabura	"	78°08' W	00°30' N	1730	13.3
Iberra	"	78°08' W	00°21' N	2228	5.7
Atuntaqui	"	78°13' W	00°20' N	2350	4.8
Sigsicunga	"	76°21' W	00°15' N	3111	4.5
Otavalo	"	78°16' W	00°14' N	2556	3.8
San Pablo del Lago	"	78°11' W	00°12' N	2680	3.9
Cochasqui	"	78°19' W	00°03' N	2855	
Tabacundo	"	78°13' W	00°03' S	2876	11.5
Quito - Aeropuerto	"	78°29' W	00°08' S	2812	5.7
Quito - Universidad	"	78°30' W	00°12' S	2870	2.5
Quito - Observatorio	"	78°30' W	00°13' S	2818	1.1
Tumbaco	"	78°24' W	00°13' S	2348	5.4
Santo Domingo de los Colorados	"	79°04' W	00°14' S	660	2.1
Conocoto	"	78°28' W	00°16' S	2250	4.5
Chiriboga	"	78°44' W	00°16' S	1680	3.9
Izobamba	"	78°33' W	00°22' S	3058	3.
Papellacta	"	78°08' W	00°23' S	3160	3.5
Uyumbicho	"	78°32' W	00°24' S	2725	3.6
Machaachi	"	78°34' W	00°31' S	2950	6.8
Cotopaxi	"	78°34' W	00°37' S	3560	7.7
Latacunga	"	78°37' W	00°55' S	2809	5.0
Pilaló	"	79°02' W	00°58' S	2500	2.5
Pillaro	"	78°32' W	01°10' S	2805	5.9
El Corazón	"	79°06' W	01°12' S	1500	3.8

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	FUERZA DEL VIENTO EN METROS/ SEGUNDO
Ambato	Interandina	78°38' W	01°17' S	2540	6.3
Patate	"	78°30' W	01°18' S	2360	6.2
Baños	"	78°25' W	01°24' S	1843	6.7
Riobamba	"	78°40' W	01°38' S	2796	6.1
San Simón	"	78°59' W	01°39' S	2600	3.8
Guaslán	"	78°40' W	01°45' S	2750	2.7
Chillanes	"	79°02' W	01°53' S	2300	3.3
Guamote	"	78°43' W	01°54' S	3020	8.9
Alausí	"	78°50' W	02°12' S	2356	6.9
Pachamama	"	78°40' W	02°15' S	3600	4.2
Cañar	"	78°56' W	02°33' S	3104	11.8
El Labrado	"	79°16' W	02°42' S	3260	6.7
Paute	"	78°43' W	02°47' S	2289	4.7
Quenca - Ricaurte	"	78°57' W	02°51' S	2562	4.3
Santa Isabel	"	79°20' W	03°20' S	1598	2.1
Saraguro	"	79°15' W	03°38' S	2520	11.6
La Argellis - Loja	"	79°12' W	04°00' S	2135	3.6
La Toma - Catamayo	"	79°21' W	04°00' S	1238	6.5
Catacoche	"	79°38' W	04°04' S	1860	4.9
Celina	"	79°56' W	04°05' S	2700	5.5
Malacatos	"	79°14' W	04°13' S	1600	4.2
Cariamanga	"	79°34' W	04°19' S	1950	4.2
Putumayo	Oriental	75°52' W	00°07' N	230	2.6
Tiputini	"	75°32' W	00°45' S	220	4.2
Tena	"	77°49' W	00°59' S	527	0.6
Pastaza	"	78°03' W	01°30' S	1043	3.4

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ALTUACION EN MET.	FUERZA DEL VIENTO EN ESTACION
Curaray	Oriental	76°50' W	01°30' S	300	3.6
Euyo	"	77°54' W	01°22' S	250	2.3
Sucúa	"	78°11' W	02°25' S	210	4.7
Lacera	"	78°55' W	04°05' S	270	3.1
Seymour - Cerro Negro	Insular	90°17' W	00°20' S	6	3.2
Bellarvista - Isla Santa Cruz	"	90°22' W	00°42' S	194	2.4
Charles Darwin - Isla Santa Cruz	"	90°18' W	00°44' S	6	5.1
Puerto la Lariso - Isla San Cristóbal	"	89°37' W	00°54' S	6	5.7
El Progreso - Isla San Cristóbal	"	89°33' W	00°54' S	250	
Puerto Villamil - Isla Isabela	"	91°01' W	00°56' S	6	3.0

CONCLUSION AÑO 1964 :

REGION LITORAL	8.3
REGION INTERIENDA	13.3
REGION ORIENTAL	4.7
REGION INSULAR	3.2

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (GRADOS CELSIUS)	
					MAXIMA	MINIMA
San Lorenzo	Litoral	78°50' W	01°17' N	9	33.3	18.6
Esmeraldas	"	79°39' W	00°59' N	6	30.8	20.1
Quinindé	"	79°28' W	00°21' N	64	34.1	19.7
Santo Domingo de los Colorados	"	79°04' W	00°14' S	660	31.2	16.5
Bahía de Caráquez	"	80°25' W	00°35' S	5	32.1	19.3
Manta	"	80°44' W	00°57' S	6	32.9	18.1
Portoviejo	"	80°27' W	01°04' S	44	34.5	17.0
Pichilingue	"	79°29' W	01°07' S	50	33.9	18.9
Balzar	"	79°53' W	01°22' S	25	34.9	19.0
Isabel María (Bahoyo)	"	79°32' W	01°48' S	5	35.2	18.1
Milagro	"	79°36' W	02°19' S	13	34.7	17.3
Salinas	"	80°58' W	02°12' S	300	32.0	16.6
Ancón	"	80°51' W	02°20' S	5	32.2	18.0
Puerto Bolívar	"	80°00' W	03°15' S	5	33.3	19.9
Pasaje	"	79°50' W	03°20' S	15	34.5	17.8
Macará	"	79°58' W	04°23' S	430	33.2	13.6
Tulcán	Interandina	77°43' W	00°49' N	2977	21.8	0.2
Ibarra	"	78°07' W	00°21' N	2228	26.0	4.9
Otavalo	"	78°16' W	00°14' N	2556	26.1	8.9
San Antonio de Pichincha	"	78°27' W	00°00' N	2430	32.0	0.6
Quito - Observatorio Astronómico	"	78°29' W	00°12' S	2818	27.5	2.9
Quito - Aeropuerto	"	78°29' W	00°08' S	2812	25.0	1.5



ESTACION REGION LONGITUD LATITUD ELEVACION TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA  
(GRADOS CELSIUS)  
MAXIMA MINIMA

Cotopaxi	Interandina	78°34' W	00°37' S	3560	25.8	0.0
Latacunga	"	78°37' W	00°55' S	2899	26.9	- 2.0
Baños	"	78°25' W	01°23' S	1850	23.5	7.8
Guaranda	"	78°59' W	01°36' S	2668	25.7	4.2
Riobamba	"	78°38' W	01°40' S	2754	19.2	0.2
Cañar	"	78°56' W	02°33' S	3140	32.0	2.8
Santa Isabel	"	79°20' W	03°20' S	1599	35.5	11.0
Putumayo	Oriental	75°52' W	00°07' N	230	34.9	17.7
Tiputini	"	75°31' W	00°48' S	230	32.1	17.9
San Cristóbal	Insular	89°37' W	00°54' S	6	35.1	17.1
Guayaquil	Litoral	79°53' W	02°12' S	6		18.5

CONCLUSION AÑO 1959 :

REGION LITORAL	35.2	13.6
REGION INTERANDINA	32.0	- 2.0
REGION ORIENTAL	35.5	17.7
REGION INSULAR	32.1	17.1

AÑO 1964

BOGOTÁ, COLOMBIA

TEMPERATURAS DEL AIRE A LA SOMBRA  
(GRADOS CELSIUS)ELEVACION  
EN MTS.MAXIMA  
MINIMA

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	MAXIMA	MINIMA
San Lorenzo	Litoral	78°51' W	01°17' N	5	31.9	20.0
Limonés	"	79°00' W	01°15' N	4	32.6	17.0
Borbón	"	79°00' W	01°05' N	20	30.7	20.0
Esmeraldas - Las Palmas	"	79°39' W	00°59' N	6	31.6	19.9
Lita	"	78°29' W	00°52' N	571	28.0	19.0
Viche	"	79°33' W	00°38' N	30	32.9	19.0
Muisne	"	80°01' W	00°37' N	2	31.5	20.2
Amancay - Quinindé	"	79°24' W	00°15' N	230	33.1	16.5
Jama	"	80°16' W	00°12' S	5	33.5	17.0
Puerto Ila	"	79°22' W	00°33' S	260	32.5	14.0
San Vicente - Hda. "El Napo"	"	80°26' W	00°54' S	5	29.6	10.0
Bahía de Caráquez	"	80°26' W	00°36' S	6	32.4	18.0
Chone	"	80°05' W	00°41' S	20	34.8	17.2
Tosagua	"	80°15' W	00°47' S	15	37.4	16.0
Calceta	"	80°10' W	00°51' S	10	34.5	15.7
Valencia Hda. El Vergel	"	79°28' W	00°55' S	120	19.0	10.0
Rocafuerte	"	80°27' W	00°55' S	10	33.6	17.0
San Juan - La Mana	"	79°11' W	00°57' S	223	31.8	15.4
Manta	"	80°42' W	00°57' S	6	34.0	18.0
Pichincha	"	79°18' W	01°01' S	200	36.0	10.0
Portoviejo	"	80°26' W	01°04' S	44	34.0	10.0
Pichilingue	"	79°29' W	01°06' S	73	33.2	10.0

TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA  
(GRADOS CELSIUS)

ELEVACION  
EN MTS.

REGION

LONGITUD LATITUD

ESTACION

MAXIMA

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (GRADOS CELSIUS)
					MAXIMA
Honorato Vásquez - - Poze Honda	Litoral	80°14' W	01°06' S	200	36.0
Baizar - Coffea RQ busta	"	79°42' W	01°06' S	40	35.5
Santa Ana	"	80°23' W	01°12' S	15	35.6
La Naranja - Jipijapa	"	80°26' W	01°22' S	528	31.6
Vinces	"	79°44' W	01°34' S	41	36.0
Caluna	"	79°15' W	01°37' S	250	31.6
La Clementina	"	79°21' W	01°40' S	20	33.0
Isabel María	"	79°32' W	01°48' S	7	35.0
Daule	"	79°58' W	01°51' S	20	34.0
Manglaralto	"	80°44' W	01°52' S	3	30.9
Milagro	"	79°36' W	02°09' S	13	33.2
Guayaquil - Armada	"	79°53' W	02°10' S	6	34.9
Guayaquil - Aero-	"	79°55' W	02°12' S	6	33.9
Salinas - Base Aérea	"	80°59' W	02°11' S	6	29.5
Salinas - La Funtilla	"	81°01' W	02°12' S	80	31.2
Ancón	"	80°51' W	02°20' S	6	32.2
Payo	"	79°31' W	02°22' S	15	34.2
Playas	"	80°23' W	02°39' S	6	33.0
Naranjal	"	79°38' W	02°42' S	30	34.0
Tenguel	"	79°47' W	03°00' S	15	33.0
Puerto Bolívar	"	80°00' W	03°16' S	6	33.0
Pasaje	"	79°50' W	03°21' S	15	33.4
Santa Rosa	"	79°56' W	03°26' S	13	34.8
					15.0
					16.3
					16.5
					14.0
					8.0
					15.8
					16.2
					17.6
					16.2
					13.7
					16.0
					18.2
					17.1
					16.2
					15.4
					16.7
					16.6
					17.1
					17.5
					13.4
					16.2
					17.0
					17.3

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (GRADOS CELSIUS)	
					MAXIMA	MINIMA
Arenillas	Litoral	80°05' W	03°36' S	15	34.5	16.0
Zaruma	"	79°38' W	03°41' S	1150	34.4	13.5
Marcabelli	"	79°48' W	03°44' S	600	33.0	14.6
Macará	"	79°57' W	04°23' S	430	34.4	10.9
Tulcán	Interandina	77°42' W	00°49' N	2950	23.0	0.0
El Angel	"	77°56' W	00°37' N	3055	19.1	2.0
San Gabriel	"	77°50' W	00°36' N	2860	22.2	2.4
Salinas - Imbabura	"	78°08' W	00°30' N	1730	18.6	5.4
Ibarra	"	78°08' W	00°21' N	2228	26.4	1.5
Atuntaqui	"	78°13' W	00°20' N	2350	25.5	3.0
Sigsicunga	"	78°21' W	00°15' N	3111	18.1	1.2
Otavalo	"	78°16' W	00°14' N	2556	23.5	2.5
San Pablo del Lago	"	78°11' W	00°12' N	2680	24.2	1.5
Cochasqui	"	78°19' W	00°03' S	2855	22.1	4.0
Tabacundo	"	78°13' W	00°03' S	2876	23.6	3.8
Quito - Aeropuerto	"	78°29' W	00°08' S	2812	24.9	0.0
Quito - Universidad	"	78°30' W	00°12' S	2870	23.9	3.0
Quito - Observatorio	"	78°30' W	00°13' S	2818	25.0	3.5
Tumbaco	"	78°24' W	00°13' S	2348	30.3	2.1
Santo Domingo de los Colorados	"	79°04' W	00°14' S	660	29.8	15.0
Conocoto	"	78°28' W	00°16' S	2250	25.6	2.8
Chiriboga	"	78°44' W	00°16' S	1680	24.8	6.4
Izobamba	"	78°33' W	00°22' S	3058	20.9	0.7
Papallacta	"	78°08' W	00°23' S	3160	18.8	0.0
Uyumbicho	"	78°32' W	00°24' S	2725	25.0	2.4

TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA  
(GRADOS CELSIUS)

ELEVACION  
EN MTS.

MAXIMA  
MINIMA

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	MAXIMA	MINIMA
Machachi	Interandina	78°34' W	00°31' S	2950	22.5	0.1
Cotopaxi	"	78°34' W	00°37' S	3560	17.8	0.0
Letacunga	"	78°37' W	00°55' S	2809	26.8	0.4
Pilaló	"	79°02' W	00°58' S	2500	19.0	4.5
Píllaro	"	78°32' W	01°10' S	2805	27.3	- 2.0
El Corazón	"	79°06' W	01°12' S	1500	26.6	9.0
Ambato	"	78°38' W	01°17' S	2540	24.8	1.4
Patate	"	78°30' W	01°18' S	2360	26.2	5.0
Baños	"	78°25' W	01°24' S	1843	26.1	6.9
Riobamba	"	78°40' W	01°38' S	2796	26.7	- 2.4
San Simón	"	78°59' W	01°39' S	2600	24.8	2.6
Guaslán	"	78°40' W	01°45' S	2750	24.8	1.6
Chillanes	"	79°02' W	01°53' S	2300	22.0	3.6
Guemote	"	78°43' W	01°54' S	3020	24.0	0.0
Alausí	"	78°50' W	02°12' S	2356	26.0	7.0
Pachamama	"	78°40' W	02°15' S	3600	17.0	- 4.0
Canar	"	78°56' W	02°33' S	3104	20.0	0.5
El Labrado	"	79°16' W	02°43' S	3260	18.0	1.6
Paute	"	78°43' W	02°47' S	2289	29.0	2.8
Tuena - Ricaurte	"	78°57' W	02°51' S	2562	26.4	0.8
Santa Isabel	"	79°20' W	03°20' S	1598	31.4	10.0
Saraguro	"	79°15' W	03°38' S	2520	27.1	4.9
La Argelia - Loja	"	79°12' W	04°00' S	2135	25.0	2.3
La Toma - Catamayo	"	79°21' W	04°00' S	1238	34.6	11.0
Catacocha	"	79°38' W	04°04' S	1860	27.4	10.6

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (GRADOS CELSIUS)	
					MAXIMA	MINIMA
Célica	Interandina	79°56' W	04°05' S	2700	22.3	9.0
Malacatos	"	79°14' W	04°13' S	1600	33.2	6.0
Carismanga	"	79°34' W	04°19' S	1950	28.6	7.5
Putumayo	Oriental	75°52' W	00°07' N	230	33.5	17.1
Tiputini	"	75°32' W	00°45' S	220	37.7	16.4
Tena	"	77°49' W	00°59' S	527	34.0	15.5
Fastaza	"	78°03' W	01°30' S	1043	29.6	13.0
Curaray	"	76°50' W	01°30' S	300	35.7	18.4
Puyo	"	77°54' W	01°35' S	950	29.6	11.7
Sacúa	"	78°11' W	02°29' S	910	31.6	13.2
Zamora	"	78°58' W	04°05' S	970	34.0	10.0
Seymour - Aero - puerto	Insular	90°17' W	00°26' S	6	33.4	14.8
Bellavista - Isla	"	90°22' W	00°42' S	194	30.6	11.7
Santa Cruz	"	90°18' W	00°44' S	6	31.1	16.0
Charles Darwin - Is la Santa Cruz	"	89°37' W	00°54' S	6	31.7	15.8
Puerto Baquerizo - - Isla San Cris - tóbal	"	89°33' W	00°54' S	250	29.5	13.7
El Progreso - Isla San Cristóbal	"	91°01' W	00°56' S	6	32.0	14.7
Puerto Villamil - - Isla Isabela	"					

TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA  
(GRADOS CELSIUS)  
MAXIMA MINIMACONCLUSION AÑO 1964 :

REGION LITORAL	37.4	8.0
REGION INTERANDINA	34.6	- 4.0
REGION ORIENTAL	37.7	10.0
REGION INSULAR	33.4	11.7

TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA  
(GRADOS CELSIUS)

MAXIMA MINIMA

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	MAXIMA	MINIMA
Limones	Litoral	79°00' W	01°15' N	4	33.0	18.1
Bemeraidas Las Palmas	"	79°39' W	00°59' N	6	31.2	21.0
Viole	"	79°33' W	00°58' N	30	34.0	18.7
Muisne	"	80°01' W	00°37' N	0	28.2	19.0
Amancay Quinindé	"	79°29' W	00°15' N	230	33.2	16.7
Jama	"	80°11' W	00°12' S	5	33.0	16.0
Puerto Ila	"	79°22' W	00°33' S	260	32.2	14.6
El Najo - San Vi - cente	"	80°26' W	00°34' S	5	30.7	16.0
Bahía de Caráquez	"	80°26' W	00°36' S	6	31.0	19.6
Chone	"	80°05' W	00°41' S	20	37.2	15.4
Tosayta	"	80°11' W	00°47' S	15	35.4	14.0
Calceta	"	80°10' W	00°51' S	10	30.5	16.0
Rocafuerte	"	80°27' W	00°55' S	10	31.2	16.0
Manta	"	80°42' W	00°57' S	6	31.5	19.0
Pichincha	"	79°40' W	01°01' S	290	37.0	15.5
Portoviejo	"	80°21' W	01°04' S	44	39.5	16.3
Pichilingue	"	79°29' W	01°06' S	73	34.3	15.9
Honorato Vásquez - Iosa Honda	"	80°14' W	01°06' S	200	39.3	14.0
Balzar - Coffea Ro- busto	"	79°41' W	01°08' S	40	37.5	15.5
Santa Ana	"	80°23' W	01°11' S	15	37.4	14.0
La Marañña	"	80°20' W	01°22' S	320	34.6	13.9
Vinces	"	79°44' W	01°34' S	41	31.0	14.0
Caluma	"	79°31' W	01°37' S	250	39.2	12.0



ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (GRADOS CELSIUS)	MAXIMA	MINIMA
La Clementina	Litoral	79°21' W	01°44' S	20	35.2	15.4	15.4
Isabel María - Bahoyo	"	79°32' W	01°40' S	7	35.5	16.5	16.5
Baule	"	79°58' W	01°51' S	20	35.5	10.0	10.0
Manglaralto	"	80°44' W	01°52' S	3	30.5	13.0	13.0
Milagros	"	79°36' W	02°09' S	13	34.0	13.0	13.0
Guayaquil - Base Aérea Militar	"	79°55' W	02°10' S	6	35.3	16.6	16.6
Guayaquil - Aero- puerto Civil	"	79°53' W	02°12' S	6	34.4	17.0	17.0
Salinas - Base Aérea	"	80°59' W	02°11' S	6		19.5	19.5
La Fuentilla - Salinas	"	81°02' W	02°11' S	6	32.5	17.6	17.6
Indio	"	80°51' W	02°20' S	6	31.1	18.3	18.3
Payó	"	79°51' W	02°21' S	15	35.0	15.6	15.6
Playas	"	80°23' W	02°39' S	6	34.0	16.0	16.0
Puerto Bolívar	"	80°00' W	03°10' S	6	33.2	18.0	18.0
Passaje	"	79°50' W	03°11' S	15	32.0	21.6	21.6
Santa Rosa	"	79°58' W	03°25' S	13	34.7	16.5	16.5
Arenillas	"	80°05' W	03°33' S	15	33.2	15.5	15.5
Zaruma	"	79°58' W	03°41' S	1150	31.0	16.0	16.0
Marcabelli	"	79°48' W	03°44' S	680	30.5	16.2	16.2
Macará	"	79°57' W	04°23' S	430	32.0	13.4	13.4
Tuacán	Interandina	77°42' W	06°42' N	2250	21.0	- 1.0	- 1.0
El Angel	"	77°56' W	09°37' N	3055	13.2	1.0	1.0
San Gabriel	"	77°50' W	00°56' N	2860	21.2	3.0	3.0
Salinas (Imbabura)	"	78°08' W	00°30' N	1750	30.0	6.2	6.2

TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA  
(GRADOS CELSIUS)

MAXIMA  
MINIMA

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	MAXIMA	MINIMA
Ibarra	Interandina	78°06' W	00°21' N	2228	27.2	2.0
Atuntaqui	"	78°13' W	00°20' N	2350	25.5	4.0
Sigsicunga	"	78°21' W	00°15' N	3111	18.1	1.2
Otavalo	"	78°21' W	00°15' S	3111	21.0	4.0
Sar Pablo del Lago	"	78°11' W	00°12' N	2680	25.3	1.6
Tabacundo	"	78°13' W	00°03' N	2876	22.6	3.6
Quito - Aeropuerto	"	78°29' W	00°08' S	2912	24.6	0.0
Quito - Universidad	"	78°30' W	00°12' S	2870	24.3	1.0
Quito - Observato-	"					
rio Astronómico	"	78°30' W	00°13' S	2818	26.2	2.4
Santo Domingo de los Colorados	"	79°04' W	00°14' S	660	30.0	15.2
Conocoto	"	78°28' W	00°16' S	2250	28.6	2.0
Chiriboga	"	78°44' W	00°16' S	1680	26.0	1.2
Izobamba	"	78°33' W	00°22' S	3058	21.6	0.9
Papallacta	"	78°08' W	00°23' S	3160	18.0	1.2
Uyumbicho	"	78°32' W	00°24' S	2725	24.8	3.5
Machachi	"	78°34' W	00°31' S	2950	23.0	1.0
Cotopaxi	"	78°34' W	00°37' S	3560	17.5	0.0
Latacunga	"	78°37' W	00°55' S	2809	25.0	2.4
Filaló	"	79°02' W	00°58' S	2500	21.8	3.5
El Corazón	"	79°06' W	01°12' S	1500	26.8	9.3
Ambato	"	78°38' W	01°17' S	2540	25.1	1.9
Patate	"	78°30' W	01°18' S	2360	25.5	5.5
Baños	"	78°25' W	01°24' S	1843	27.5	8.9

AÑO 1963

Hoja 4 de 5

TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA  
(GRADOS CELSIUS)MAXIMA  
MINIMA

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (GRADOS CELSIUS)
Riobamba	Interandina	78°41' W	01°38' S	2796	28.7 - 0.7
San Simón	"	78°59' W	01°39' S	2600	26.8 4.2
Guaslín	"	78°40' W	01°45' S	2750	24.5 2.0
Chillanes	"	79°02' W	01°53' S	2300	19.8 2.6
Guemote	"	78°43' W	01°54' S	3020	21.5 2.0
Pachamama	"	78°40' W	02°15' S	3600	17.0 0.0
Cañar	"	78°56' W	02°33' S	3104	20.0 1.2
El Labrado	"	79°16' W	02°43' S	3250	15.5 3.0
Paute	"	78°43' W	02°47' S	2259	30.0 3.0
Cuenca (Ricaurte)	"	78°57' W	02°51' S	2562	25.6 0.1
Santa Isabel	"	79°20' W	03°20' S	1596	32.5 10.2
Suraguro	"	79°15' W	03°38' S	2520	35.6 5.2
Loja - La Argelia	"	79°12' W	04°00' S	2135	29.0 2.6
La Toma (Catamayo)	"	79°21' W	04°00' S	1256	35.6 10.1
Catacocha	"	79°36' W	04°04' S	1860	30.5 9.4
Célica	"	79°50' W	04°05' S	2700	22.1 11.2
Kalacatos	"	79°14' W	04°13' S	1600	34.2 7.3
Cariamarca	"	79°54' W	04°14' S	1950	32.2 6.7
Tiputini	Oriental	90°17' W	00°28' S		37.5 17.8
Pastaza	"	78°03' W	01°30' S	1043	29.6 12.8
Sucúa	"	78°11' W	02°29' S	910	34.1 11.0
Zamora	"	79°58' W	04°05' S	970	34.0 11.0
Seymour	Insular	90°17' W	00°26' S	6	29.6 16.8
San Cristóbal	"	89°37' W	00°54' S	6	32.4 13.8

5-40

TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMERA  
(GRADOS CELSIUS)  
MAXIMA MINIMACONCLUSION AÑO 1963 :

REGION LITORAL	39.8	10.0
REGION INTERANDINA	35.6	- 1.0
REGION ORIENTAL	37.5	11.0
REGION INSULAR	32.4	10.8

TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA  
(GRADOS CELSIUS)

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (GRADOS CELSIUS)	
					MAXIMA	MINIMA
Limones - San Lorenzo	Litoral	79°00' W	01°15' N	4	32.2	18.2
Esmeraldas - Las Palmas	"	79°24' W	00°59' N	6	31.5	19.8
Amancay - Quinindé	"	79°24' W	00°15' N	230	32.0	
Jama	"	80°16' W	00°12' S	5	33.0	16.0
El Napo - San Vicente	"	80°20' W	00°34' S	5	32.4	17.2
Bahía de Caráquez	"	80°26' W	00°30' S	6	32.3	19.5
Chone	"	80°50' W	00°41' S	20	36.4	15.0
Tosagua	"	80°15' W	00°47' S	15	35.4	14.1
Calceta	"	80°10' W	00°51' S	10	36.4	15.5
Hocafuerte	"	80°27' W	00°55' S	10	36.0	14.0
Valencia - El Vergel	"	79°27' W	00°55' S	120	34.5	16.8
Manta	"	80°42' W	00°57' S	6	34.2	13.6
Pichincha	"	79°48' W	01°01' S	200	37.2	14.1
Portoviejo	"	80°26' W	01°04' S	44	35.5	16.5
Pichilingue	"	79°29' W	01°06' S	73	35.5	16.7
Santa Ana	"	80°25' W	01°12' S	15	37.4	15.0
La Naranja - Jipijapa	"	80°28' W	01°22' S	528	33.1	16.5
La Clementina	"	79°21' W	01°40' S	20	34.5	19.0
Isabel María - Bahoyo	"	79°32' W	01°48' S	7	35.5	17.2
Daule	"	79°56' W	01°51' S	20	36.0	17.0
Langlaralto	"	80°44' W	01°52' S	3	27.6	17.5
Milagro	"	78°31' W	02°09' S	13	34.5	17.2

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (GRADOS CELSIUS)	
					MAXIMA	MINIMA
Guayaquil - Aero- puerto	Litoral	79°53' W	02°10' S	6	35.3	17.2
Guayaquil - Base Militar	"	79°53' W	02°10' S	6	30.3	16.3
Salinas - Base Aérea	"	80°59' W	02°11' S	6	25.1	18.0
Salinas - La Puntilla	"	81°01' W	02°12' S	80	30.9	16.1
Ancón	"	80°51' W	02°20' S	6	31.6	17.2
Payo	"	79°31' W	02°22' S	15	34.4	17.2
Playas	"	80°23' W	02°39' S	6	30.5	21.0
Puerto Bolívar	"	80°00' W	03°16' S	6	30.3	20.3
Santa Rosa	"	79°58' W	03°26' S	13	34.6	15.2
Macará	"	79°57' W	04°23' S	430	20.1	12.5
Tulcán	Interandina	77°42' W	00°49' N	2950	20.6	- 1.9
El Angel	"	77°56' W	00°37' N	3055	20.1	5.4
San Gabriel	"	77°50' W	00°36' N	2860	21.2	4.8
Salinas (Imbabura)	"	78°08' W	00°30' N	1730	30.2	7.6
Ibarra	"	78°08' W	00°21' N	2228	26.0	4.5
Otavalo	"	78°16' W	00°14' N	2556	21.0	
San Pablo del Lago	"	78°11' W	00°12' N	2680	25.5	2.5
Quito - Aeropuerto	"	78°29' W	00°08' S	2812	24.0	0.3
Quito - Observato- rio Astronómico	"	78°30' W	00°12' S	2818	27.6	2.3
Conocoto	"	78°28' W	00°16' S	2250	27.8	1.0
Chiriboga	"	78°44' W	00°16' S	1680	24.2	7.6
Izobamba	"	78°33' W	00°22' S	3058	21.9	0.4
Uyumbicho	"	78°32' W	00°24' S	2752	25.4	2.0

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (GRADOS CELSIUS)	
					MAXIMA	MINIMA
Cotopaxi	Interandina	78°34' W	00°37' S	3560	19.6	- 3.6
Latacunga	"	78°37' W	00°55' S	2809	25.2	- 2.3
Filaló	"	79°02' W	00°58' S	2500	22.2	1.5
Ambato	"	78°38' W	01°17' S	2540	22.9	0.9
Baños	"	78°25' W	01°24' S	1843	26.0	7.0
Riobamba	"	78°40' W	01°38' S	2796	24.3	0.5
Paoharama	"	78°40' W	02°15' S	3600	16.0	0.0
Cañar	"	78°56' W	02°33' S	3104	19.5	1.8
Cuenca (Ricaurte)	"	78°57' W	02°51' S	2562	25.0	0.7
Santa Isabel	"	79°20' W	03°20' S	1598	29.5	11.0
La Tona (Catamayo)	"	79°21' W	04°00' S	1238	37.2	9.5
Tiputini	Oriental	75°32' W	00°45' S	220	35.1	18.0
Pastaza	"	78°03' W	01°30' S	1043	17.0	12.0
San Cristóbal	Insular	89°37' W	00°54' S	6	32.0	17.0
CONCLUSION AÑO 1962 :						
		REGION LITORAL			37.2	12.5
		REGION INTERANDINA			37.2	- 3.6
		REGION ORIENTAL			35.1	12.0
		REGION INSULAR			32.0	17.0

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (GRADOS CELSIUS)	
					MAXIMA	MINIMA
Limones	Litoral	79°00' W	01°16' N	3	32.1	19.3
San Lorenzo	"	78°50' W	01°17' N	6	36.2	19.0
Esmeraldas	"	79°39' W	00°59' N	6	31.0	20.6
Santo Domingo de los Colorados	"	79°04' W	00°14' S	660	35.5	12.5
Baía de Caráquez	"	80°25' W	00°35' S	5	32.7	16.1
Lanta	"	80°44' W	00°57' S	6	33.0	17.7
Portoviejo	"	80°27' W	01°04' S	44	34.0	15.5
Pichilingue	"	70°29' W	01°07' S	50	35.0	16.7
Ingenio "Isabel María"	"	79°32" W	01°46' S	5	35.4	17.0
Milagro	"	79°36' W	02°19' S	13	35.4	20.0
Salinas	"	80°58' W	02°12' S	300	31.0	15.8
Guayaquil - Aero- puerto	"	79°53' W	02°12' S	6	34.6	17.2
Ancón	"	80°51' W	02°20' S	5	33.9	16.1
Puerto Bolívar	"	80°00' W	03°15' S	6	33.8	19.2
Santa Rosa	"	79°58' W	03°26' S	10	35.3	17.4
Kacará	"	79°58' W	04°23' S	430	35.0	12.3
Tulcán	Interandina	77°43' W	00°49' N	2977	21.5	- 0.8
Ibarra	"	78°07' W	00°21' N	2228	29.1	1.3
Cotopaxi	"	78°34' W	00°37' S	3560	17.0	0.0
Latacunga	"	78°37' W	00°55' S	2809	23.8	0.9
Baños	"	78°25' W	01°23' S	1850	25.4	8.0
Riobamba	"	78°38' W	01°40' S	2754	23.7	0.6
Quito - Observatorio	"	78°29' W	00°12' S	2918	26.7	3.5



ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (GRADOS CELSIUS) MAXIMA	MINIMA
Quito- Aeropuerto	Interandina	78°29' W	00°08' S	2812	24.5	0.8
Guaranda	"	78°59' W	01°36' S	2668	23.2	2.0
Cañar	"	79°56' W	02°33' S	3140	24.0	1.3
Santa Isabel	"	79°20' W	03°20' S	1598	31.0	10.4
Limoncocha	Oriental	76°33' W	00°25' S	219	34.4	18.3
El Payo	"	77°59' W	01°29' S	953	33.0	7.2
San Cristóbal	Insular	89°37' W	00°54' S	6	32.0	16.8

CONCLUSION AÑO 1961 :

REGION LITORAL	30.2	12.3
REGION INTERANDINA	31.3	- 0.8
REGION ORIENTAL	34.4	7.2
REGION INSULAR	32.0	16.6

TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA  
(GRADOS CELSIUS)

ELEVACION  
EN MTS.

MAXIMA

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (GRADOS CELSIUS)
San Lorenzo	Litoral	78°50' W	01°17' N	9	15.4
Esmeraldas	"	79°39' W	00°59' N	6	11.1
Quinindé	"	79°26' W	00°21' N	64	19.6
Santo Domingo de los Colorados	"	79°04' W	00°14' S	680	11.9
Bahía de Caráquez	"	80°29' W	00°39' S	5	12.8
Nanta	"	80°44' W	00°57' S	6	13.3
Portoviejo	"	80°27' W	01°04' S	44	15.5
Pichilingue	"	70°29' W	01°07' S	50	17.2
Balsar	"	79°53' W	01°22' S	25	17.3
Isabel María - Ba- bahoyo	"	79°12' W	01°41' S	5	15.0
Milagro	"	79°36' W	02°19' S	17	15.7
Salinas	"	80°58' W	02°12' S	500	15.4
La Libertad	"	80°57' W	02°13' S	5	17.2
Ancón	"	80°51' W	02°20' S	5	15.6
Luerto Borívar	"	80°00' W	03°11' S	6	15.2
Santa Rosa	"	79°58' W	03°26' S	10	17.5
Macará	"	79°58' W	04°23' S	450	12.5
Tuicán	"	77°13' E	03°41' N	2977	11.2
Iberrá	"	78°07' W	00°22' S	1026	21.4
Oravalo	"	79°16' W	00°14' H	2916	15.5
Quito - Observato- rio	"	78°29' W	00°12' S	1610	17.4
Quito - Aeropuerto	"	78°29' W	00°00' S	2612	16.7
Cotacachi	"	78°04' W	00°37' S	3069	16.5

ESTACION	REGION	LONGITUD	LATITUD	ELEVACION EN MTS.	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBR (GRADOS CELSIUS)	
					MAXIMA	MINIMA
Latacunga	Interandina	78°37' W	00°55' S	2774	24.0	0.1
Baños	"	78°25' W	01°23' S	1843	26.8	8.3
Guaranda	"	78°59' W	01°36' S	2668	26.0	4.0
Riobamba	"	78°36' W	01°40' S	2754	25.0	- 2.8
Cañar	"	78°58' W	02°53' S	3140	26.0	6.0
Santa Isabel	"	79°20' W	03°20' S	1598	30.5	12.5
El Puyo	Oriental	77°59' W	01°29' S	953	31.6	5.8
Putumayo	"	77°52' W	00°07' N	230	35.7	17.2
San Cristóbal	Insular	82°37' W	00°54' S	6	32.5	16.6

CONCLUSION AÑO 1960 :

REGION LITORAL	37.2	12.5
REGION INTERANDINA	30.5	- 3.6
REGION ORIENTAL	35.7	5.8
REGION INSULAR	32.5	16.6

C A P I T U L O 6

- 6.- CABLE DE PROTECCION O DE TIERRA, O HILO DE GUARDA
- 6.1.- Estadísticas sobre la Eficacia del Cable de Tierra.
- 6.2.- Ejemplo Práctico para Escoger el Hilo de Guarda.
- 6.3.- Sugerencia.
- 6.4.- Conclusiones y Normalización.

C A P I T U L O 66.- CABLE DE PROTECCION O DE TIERRA, O HILO DE GUARDIA.-

El cable así llamado es el que frecuentemente se instala en las grandes líneas por encima de los conductores eléctricos.

Su eficacia como protección sobre las descargas atmosféricas ha sido objeto de numerosas discusiones. Se ha dicho que más que nada desempeña una función mecánica de arriostado de los apoyos. Quienes así opinan suponen que su efecto eléctrico se refleja principalmente con una mejor conexión a tierra de los apoyos.

Otros autores, por el contrario, afirman que desempeña una importante función protectora que se traduce en una continuidad de servicio, debido a las menores interrupciones posibles y no se causa perjuicio sensible a los usuarios ni a las empresas, puesto que, el cable de tierra hace que las líneas puedan soportar descargas atmosféricas en un porcentaje muy crecido, sin que por ello se produzcan cortes de corriente en la conducción.

Este cable establece en las inmediaciones de la línea una zona al potencial del suelo y, por tanto, en presencia de una nube tempestuosa deriva una parte de las líneas de fuerza del campo; la capacidad parcial línea-nube queda así disminuída.

Resulta pues, que la carga tomada por la red, si su -

neutro está puesto a tierra, o el potencial de la red si el nuestro está aislado, decrece en su valor por el hecho de esos cambios de capacidad.

El empleo de una envoltura cilíndrica de mallas anchas unida a tierra y que rodease a la línea daría a ésta una independencia casi completa respecto a los fenómenos atmosféricos.

Según algunos autores, se considera que un solo cable de tierra basta en general para proteger una línea que no presente condiciones particularmente peligrosas, así como el desembolso requerido para la instalación de un segundo cable no se halla justificado.

Según Steinmetz se puede suponer que un cable de tierra protege al conjunto de conductores comprendidos en un ángulo de  $60^\circ$  por debajo de él. Los reglamentos vigentes en algunos países concuerdan con esta teoría y dicen que la altura a que deberá colocarse el cable de tierra se fijará teniendo en cuenta este ángulo protector. Por ejemplo, el reglamento español prescribe que el ángulo formado (Fig. 6.1) por la vertical con la recta que une el cable de tierra y el conductor exterior, debe ser igual o inferior a  $35^\circ$  en un plano vertical y normal a la dirección de la línea.

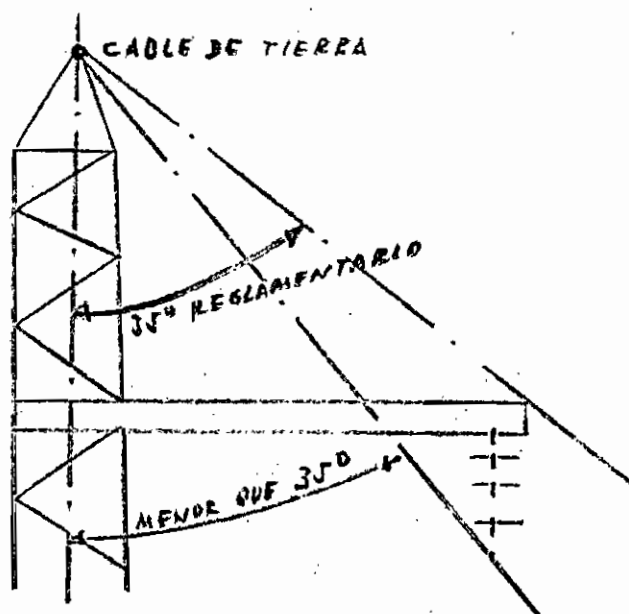


Fig. 6.1.- Angulo de protección mínima, según el reglamento español, del cable de tierra.

Además, los reglamentos prescriben que la distancia entre el cable de tierra y los conductores no podrá ser inferior a la que deberá existir entre los conductores y la masa. Por lo tanto el hilo de guardia desde el punto de vista mecánico debe tener una resistencia mayor que la de los conductores de la línea de tal manera que su flecha sea también menor.

#### 6.1.- ESTADISTICA SOBRE LA EFICACIA DEL CABLE DE TIERRA.

Citaré las opiniones de algunos ingenieros americanos dadas con motivo de una investigación realizada el año 1924 sobre

la eficacia del cable de tierra.

Las líneas de la "Southern California Edison Co.", a 150 y a 220 KV están provistas de un cable de tierra para cada circuito, pero en zonas llanas se han colocado dos para tranquilizar a algunas municipalidades preocupadas por la resistencia mecánica de los castilletes. Los ingenieros de esta Sociedad pensaron suprimir dichos cables en las futuras líneas a 220 KV, pero la práctica demostró que eran muy útiles en las líneas a 60 KV construídas con apoyos de madera, y en vista de ello se los conservó por costumbre así adquirida.

Las líneas a 110 y 220 KV de la "Pacific Gas and Electric Co.", no tienen cable de tierra, se supuso que a esas tensiones era inútil, e incluso, en ciertos casos, perjudicial. Es preciso tener presente que el clima de California es bastante especial, y por eso los consejos de los ingenieros americanos no pueden ser generalizados. Una estadística de las explotaciones de líneas a 60 KV, en regiones montañosas, y sin el citado cable, no acusó averías sistemáticas que hubiesen podido presentarse como consecuencia de su falta.

Indicaré el resultado de otra investigación realizada en los Estados Unidos de América el año 1927 sobre el funcionamiento de líneas de alta tensión. Las que no tienen cable (unos 1.175 Km.) tuvieron durante el año un promedio de 7,6 interrupciones por cada 100 Km., causadas por tempestades, mientras que las que



lo tenían (1.435 Km.), tan sólo 3,7 interrupciones por cada 100 - Km.

La "Texas Power and Light Co.", poseía en 1935, 1.170 Km. aproximadamente de líneas a 60 KV equipadas con cable de tierra, y 800 Km. de líneas sin él. Las interrupciones fueron, respectivamente, 28 y 75. En 1926 dicha sociedad tenía 1.300 Km. con cable y 1.625 Km. sin él; el número de interrupciones fué de 64 y 220 respectivamente.

Estos ejemplos muestran la conveniencia de instalar - el cable de tierra.

Es curioso, sin embargo, observar que, a pesar de la mayor frecuencia en las interrupciones durante el año 1925 en las líneas que no lo tenían, la "Texas Power and Light Co.", pusiera en servicio casi exclusivamente este tipo de línea en 1926 (470 Km. sin él, contra 120 Km. con él).

Por otro lado, desde el punto de vista del rayo, los conductores de tierra pueden ser de cualquier material, tales como acero, cobre, aluminio o acero cobreado. La sección del conductor viene, en general, impuesta por consideraciones mecánicas, pero si su sección es insuficiente, la corriente del rayo puede dañarlo, seriamente. Según los datos obtenidos por K. B. McEachron y J. H. Hagenguth, ingenieros de la General Electric Company, el conductor más grueso fundido por la corriente del rayo fué uno - del número 4 A.W.G., o sea de  $21 \text{ mm}^2$ , de cobre macizo; sin embar-

go estos ingenieros concluyen que probablemente, en la mayoría de los casos, baste un conductor de tierra de diámetro no inferior al N° 1/0 A.W.G., de  $53 \text{ mm}^2$  de sección.

#### 6.2.- EJEMPLO PRACTICO PARA ESCOGER EL HILO DE GUARDIA.-

Supongamos una línea de 300 Km. de longitud a 380 KV, de conductores de aluminio con alma de acero y que en ciertos tramos los valores de la resistencia eléctrica del terreno sea elevada.

De este planteo y haciendo eco a las conclusiones del párrafo 6.1, resulta en forma clara que para las líneas del tipo considerado se deben descartar por razones económicas los hilos de guardia de otros materiales diferentes al acero. Dado que el valor mayor de la conductancia representa una ventaja relativa, se debe comparar los hilos de guardia mecánicamente equivalentes.

En esta forma el hilo de guardia de aluminio con alma de acero equivalente al de acero tendrá prácticamente, dada la resistencia a la rotura del aluminio muy baja, la misma sección del alma que la del hilo de guardia de acero solo, mientras que el precio total de este hilo de guardia sería mayor por el costo del aluminio.

En el caso de un hilo de guardia de Copperweld el razonamiento sería muy parecido, aunque dada la mayor resistencia a la rotura del cobre con respecto al aluminio, la sección de ace

ro podría ser algo menor, sin embargo el costo de un tal hilo de guardia sería considerablemente mayor que el de acero sólo.

Finalmente, respecto a los tramos de la línea mencionados anteriormente, donde puede ser requerida una mayor conductancia de los hilos de guardia, éstos deben tener características mecánicas y dimensiones muy cercanas a las del hilo de guardia de acero, para que por una parte no disminuya en estos tramos la seguridad mecánica y por otra parte que no sean necesarias modificaciones de las estructuras. Si, por ejemplo, el hilo de guardia de acero de  $95 \text{ mm}^2$  de sección tiene una resistencia de 2,2 ohm/Km. y se quiere disminuir este valor 3 a 4 veces empleado el cable Copperweld, las características del mismo, en comparación con las del hilo de guardia de acero, deberían ser las siguientes:

Características		Acero.	Copperweld.
Resistencia (20°C)	ohm/Km.	2,2	0,6
Sección	$\text{mm}^2$	93,2	100
Diámetro	mm.	12,5	12,94
Esfuerzo de rotura	Kg.	10.900	11.320
Peso	Kg/Km	748	826

En el caso de querer utilizar para estos tramos especiales el cable de aluminio con alma de acero, se ve que por raz

nes constructivas los alambres de la capa de aluminio deberían tener diámetro igual al del alambre de acero, lo que representaría un aumento del diámetro total del cable de casi 29% y 40% (para -  
almas de acero de 19 y 37 alambres respectivamente). El mencionado aumento de su diámetro que requeriría seguramente ciertas modificaciones en las estructuras, obliga en general, a pesar de su menor precio, a renunciar su empleo en favor del Copperweld, especialmente si se trata de tramos relativamente cortos.

### 6.3 SUGERENCIA.-

Para determinar las zonas más tormentosas del país, -  
es decir los lugares en los cuales ocurren más frecuentemente descargas atmosféricas, rayos y fenómenos telúricos en general, se sugiere que el Ministerio de Industrias y Comercio, a través del Departamento de Servicios Eléctricos obligue a las empresas eléctricas existentes en el país, a llevar registros mensuales de estos fenómenos y reportarlos a dicho departamento. De esta manera se tendrán estadísticas de casi todas las zonas del país las cuales serán de inmenso valor para la ejecución de los proyectos de las futuras líneas de transmisión y de interconexión, determinando -  
las comarcas en las cuales sea aconsejado llevar uno o dos hilos de guardia.

Para el efecto, el Departamento de Servicios Eléctricos Nacionales deberá preparar formularios ad-hoc, con las debi--

das instrucciones para completarlos. Estos formularios deben ser llenados en las centrales, subestaciones y puestos de control y remitidos mensualmente a dicho departamento.

#### 6.4.- CONCLUSIONES Y NORMALIZACION.-

El motivo del empleo de los hilos de guardia es la protección de la línea contra sobretensiones externas producidas por las descargas atmosféricas.

Otra función importante de los hilos de guardia consiste en reducir la resistencia a tierra de las torres y por consiguiente disminuir los potenciales del suelo en caso de fallas producidas por las sobretensiones internas y en caso de cortocircuitos en general.

Esas dos funciones no requieren generalmente una conductancia grande de los hilos de guardia, y esta es la razón por la cual casi todas las líneas tienen hilos de guardia de hierro o acero, materiales que unen la suficiente conductividad con el precio conveniente.

En casos especiales, cuando los valores de la corrientes son muy elevados, el empleo de hilos de guardia de mayor conductancia puede ser recomendable. Sin embargo, dado que esto ocurre en los extremos de las líneas y en tramos relativamente cortos, la solución será la de emplear en toda la línea hilos de guardia de acero y en los tramos mencionados los de mayor conductividad.

Por otra parte no se debe perder de vista que los hilos de guardia pueden aumentar en forma eficaz y económica la estabilidad mecánica de la línea, siempre y cuando sus características mecánicas sean adecuadas. Esta circunstancia manifiesta de nuevo la conveniencia de la elección de los hilos de guardia que reúnan una alta resistencia a la rotura con el precio conveniente.

Desde el punto de vista eléctrico, como también mecánico, es evidente que el empleo de dos hilos de guardia es mucho más aconsejable, especialmente en líneas dobles tendidas en un solo plano, cuya construcción, por consiguiente, resulta muy ancha y sobre todo cuando atraviesa comarcas tormentosas. Esta solución económicamente representa un insignificante aumento de los costos de la totalidad del sistema.

Además, el empleo del cable de tierra, permite ahorrar en el nivel de aislamiento de la línea.

De estos planteamientos y de un análisis del Cuadro N° 6.1 en el cual se presentan los reglamentos de algunos países respecto al cable de tierra se puede hacer la siguiente normalización:

ARTICULO 25.- Cable de Tierra o Hilo de Guarda.- En las grandes líneas se recomienda el empleo de uno o varios cables de tierra colocados sobre los conductores, unidos mecánica y eléctricamente a la parte más alta de los postes. La resistencia a tierra ha de ser lo más pequeña posible, para obtener un buen uso del cable de tierra. En cada apoyo debe disponerse una toma de tierra, la cual se realizará con arreglo a lo establecido en el artículo de puestas a tierra.

Los cables de tierra podrán ser de acero o de la misma naturaleza que los empleados para conductores de la línea; su sección y resistencia mecánica satisfarán las condiciones especificadas en el artículo correspondiente a conductores, pero en general, tendrán una resistencia mecánica mayor en un 20% que la de los conductores empleados en la línea.

La resistencia mecánica de los cables de tierra se tendrá en cuenta para el cálculo mecánico de los apoyos.

La distancia entre los cables de tierra y los conductores no será inferior a la que deba existir entre éstos y sus apoyos, con arreglo a lo dispuesto en el artículo correspondiente a distancias entre los conductores y partes metálicas.

El número y disposición de los cables de tierra serán tales que el ángulo protector, es decir, el formado con la vertical por la recta que une el cable de tierra y el conductor exterior, debe ser igual o inferior a 35°. (En un plano vertical normal a la dirección de la línea).

#### C U A D R O N° 6.1

#### REGLAMENTOS RELATIVOS AL CABLE DE TIERRA

PAIS	NORMA
Austria	Serán aplicables las normas de los conductores - pudiendo ser de hierro o acero.
Bélgica	Podrá ser de acero de por lo menos 7 hilos. Quedará eficazmente protegido contra los agentes atmosféricos. La sección mínima en primera, segunda y tercera categorías subdivisión H <sub>1</sub> será de 25 mm <sup>2</sup> y en subdivisión H <sub>2</sub> será de 35 mm <sup>2</sup> . El diámetro mínimo de cada hilo componente será de 2 mm.

CONTINUACION CUADRO N° 6.1REGLAMENTOS RELATIVOS AL CABLE DE TIERRA

PAIS	NORMA
Bélgica	La sujeción a la cúspide de los apoyos se hará - con piezas de bordes redondeados, de modo que no sea posible la formación de un par galvánico.
Checoslovaquia	Se recomienda el cable de tierra en la longitud total de las líneas de segunda categoría con apo- yos metálicos o de hormigón armado. El cable se unirá a tierra cada 500 metros. La resistencia - de la toma de tierra no excederá de 15 ohmios. - Se recomienda igualmente el empleo de seccionado res.
España	El ángulo formado por la vertical con la recta - que une el cable de tierra y el conductor exte- rior debe ser igual o inferior a 35° en un plano vertical y normal a la dirección de la línea. La resistencia a la rotura no será inferior a - 120 Kg/mm <sup>2</sup> para cables de acero.
Estados Unidos de América	Se aplicarán las normas de conductores



CONTINUACION CUADRO N° 6.1REGLAMENTOS RELATIVOS AL CABLE DE TIERRA

PAIS	NORMA
Francia.	<p>Los conductores de tierra serán de secciones adecuadas a las intensidades de corriente que puedan recorrerlos, sin que sean inferiores a <math>28\text{mm}^2</math> si fuesen de cobre a <math>50\text{mm}^2</math> si de hierro.</p> <p>No quedarán influenciados desfavorablemente por acciones mecánicas y químicas.</p> <p>Ningún fusible o elemento de interrupción automática será intercalado en el conductor de tierra.</p>
Holanda	<p>La sección mínima del cable de acero galvanizado será de <math>25\text{mm}^2</math>.</p>
Noruega	<p>La sección mínima del cable de tierra será de <math>20\text{mm}^2</math>.</p>
Polonia	<p>Se aplicarán las normas de conductores.</p> <p>Quedan prohibidos los hilos y cables de aluminio y sus aleaciones.</p> <p>En segunda categoría los hilos serán de cobre o de bronce.</p>

CONTINUACION CUADRO N° 6.1REGLAMENTOS RELATIVOS AL CABLE DE TIERRA

PAIS	NORMA
Rumania	Se admitirán hilos y cables.
Rusia.	Los coeficientes de trabajo admisibles para conductores de acero así como para cables de tierra o vientos, en casos de carga normal no deberán exceder del 0,6 de la carga de rotura.

C A P I T U L O 7

7.- TOMA DE TIERRA

7.1.- Puesta a Tierra de los Apoyos.

7.2.- Medida de la Resistencia de Tierra.

7.3.- Normalización.

C A P I T U L O 77.- TOMA DE TIERRA.-

De experiencias realizadas sobre las tomas de tierra, se ha llegado a la conclusión de que la máxima resistencia está localizada en proximidad al electrodo de puesta a tierra. Además se ha verificado que la resistencia entre dos tubos o varillas verticales, introducidas en el suelo, se mantiene aproximadamente constante para distancias superiores a unos dos metros (Sic. Zoppetti, Redes Eléctricas).

El agua no puede considerarse como buena toma de tierra, si bien es cierto que por la humedad que comunica al terreno, hace que la resistencia de la toma pueda adquirir valores bajos y, por lo tanto, convenientes.

La conductancia de dos o más tomas de tierra, conectadas en paralelo, es igual a la suma de las conductancias individuales, siempre que la distancia entre ellas sea al menos de dos metros; de donde se deduce que es conveniente formar la tierra disponiendo, en paralelo, dos o más electrodos suficientemente distanciados para no interesar la misma masa del suelo.

La resistencia entre dos tomas de tierra lejanas se localiza en distancias pequeñas de cada una de aquellas, mientras que es mínima en el espacio intermedio entre ambas, por lo cual no hay necesidad de separar mucho dos tomas de tierra con el obje

to de obtener una gran resistencia entre las mismas.

La toma de tierra puede ejecutarse introduciendo en el terreno planchas de hierro o cobre estañado, a las cuales se suelda el conductor unido al neutro de la red o al cable de tierra. Pero el mejor procedimiento para obtener buenas tierras es emplear tubos o varillas de hierro galvanizado o copperweld, de una longitud de 2 a 3 metros, que se introducen en el terreno. En terrenos poco húmedos se llena el tubo de sal y se vierte en él agua, hasta que aquélla se haya disuelto. Es también conveniente embeber de solución salina el terreno que rodea el tubo o varilla, para lo cual en torno del mismo se practica un pozo de una profundidad de 30 a 40 centímetros, que se llena hasta su mitad de sal común, y sobre la cual se hecha agua hasta lograr su disolución.

Si el terreno fuese húmedo, puede también colocarse placas de tierra, de 3 a 5 milímetros de espesor, y de 1 a 2 metros cuadrados de superficie, que se entierran con el lado superior a un metro del suelo.

En terrenos poco húmedos, la placa se dispone en una fosa y rodeada de una mezcla de carbón, de buena tierra y sal. Un tubo de hierro que arranca de la placa y sobresale del nivel del suelo permite la introducción periódica de agua salada.

#### 7.1.- PUESTA A TIERRA DE LOS APOYOS.-

Todos los apoyos metálicos y aún los de hormigón deben ponerse en conexión con tierra como medida de precaución para

evitar tensiones peligrosas cuando una parte de la instalación se pone en contacto con la masa. Además, como se ha visto en el Capítulo 6 relativo a Cables de Tierra, es necesario conectar con tierra los apoyos para conducir a ésta la corriente de los rayos, y se deduce de los estudios sobre esta materia, que cuanto menor valor tenga la resistencia de toma de tierra tanto más eficaz será la protección del cable de tierra contra las corrientes de choque que producen los rayos. Esta parece ser la razón por la cual, el reglamento español prescribe que la resistencia de paso a tierra desde cualquier punto del cable o apoyo no exceda de 20 ohmios.

Las tomas de tierra que se emplean comunmente, están constituidas, como ya se dijo anteriormente, por un electrodo en forma de tubo o piquete enterrado, pero no siempre es posible obtener con esta disposición, por las condiciones del terreno, la resistencia máxima de 20 ohmios.

Conviene sin embargo recordar que dos electrodos unidos eléctricamente y enterrados a una distancia uno del otro de 3 metros, reducen a la mitad el valor de la resistencia de la toma de tierra; tres electrodos en análogas condiciones, la reducen a la tercera parte, y cuatro electrodos, a la cuarta parte (Ver, -- Zopetti, Estaciones Transformadoras). A pesar de esto, es posible que no se obtenga el valor necesario para la resistencia y entonces se recurre al empleo de "contrapesos" o "contra-antenas", que pueden ser radiales o continuas. En ambos casos los cables --

que las forman y que suelen ser de acero galvanizado, se entieren entre 0,5 y 1,0 metro y se unen eléctricamente con los apoyos. El cobre no es utilizado como contrapeso por la posibilidad de robo. Sobre la sección necesaria para la contra-antena no hay experiencias concretas, pero puede afirmarse que todo conductor que sea suficientemente resistente es apto para su empleo como contrapeso.

Cuando se efectúa el estudio de una línea conviene reconocer el terreno para apreciar si las tomas de tierra tendrán un valor aceptable. Los terrenos de granito son los peores como toma de tierra, porque no absorben agua y su resistencia es de unos 70.000 ohmios/metro; los mejores son los formados por arcillas magras, cuya resistencia oscila entre 14 y 50 ohmios/metro. En el Cuadro N° 7.1 se puede apreciar las resistividades de algunos terrenos.

C U A D R O   N°   7.1

RESISTIVIDAD DE ALGUNAS TIERRAS

(Transmission and Distribution, Westinghouse)

	Ohmios metro	Omios pie	Ohmios centímetro
Promedio general	100	328	10.000
Agua de mar	0.01 - 1.0	0.0328 - 3.28	1 - 100

CONTINUACION CUADRO N° 7.1RESISTIVIDAD DE ALGUNAS TIERRAS

(Transmission and Distribution, Westinghouse)

	Ohmios metro	Ohmios pie	Ohmios centímetro
Terreno pantanoso	10 - 100	32.8 - 328	1.000 - 10.000
Tierra seca	1.000	3.280	$10^5$
Pizarra pura	$10^7$	$3.28 \times 10^7$	$10^9$
Piedra arenizca	$10^8$	$3.28 \times 10^8$	$10^{10}$

El conductor que une el electrodo con el apoyo, debe ser lo más corto posible y de trazado recto para evitar la inducción. Con ello se consigue disminuir su resistencia a la corriente de choque, así como la duración de la onda frontal, y por tanto, la duración de la sobretensión sobre los aisladores. Como se comprende, las conexiones deben ser realizadas con el cuidado más riguroso para no aumentar por este defecto la resistencia del conductor en la toma de tierra.

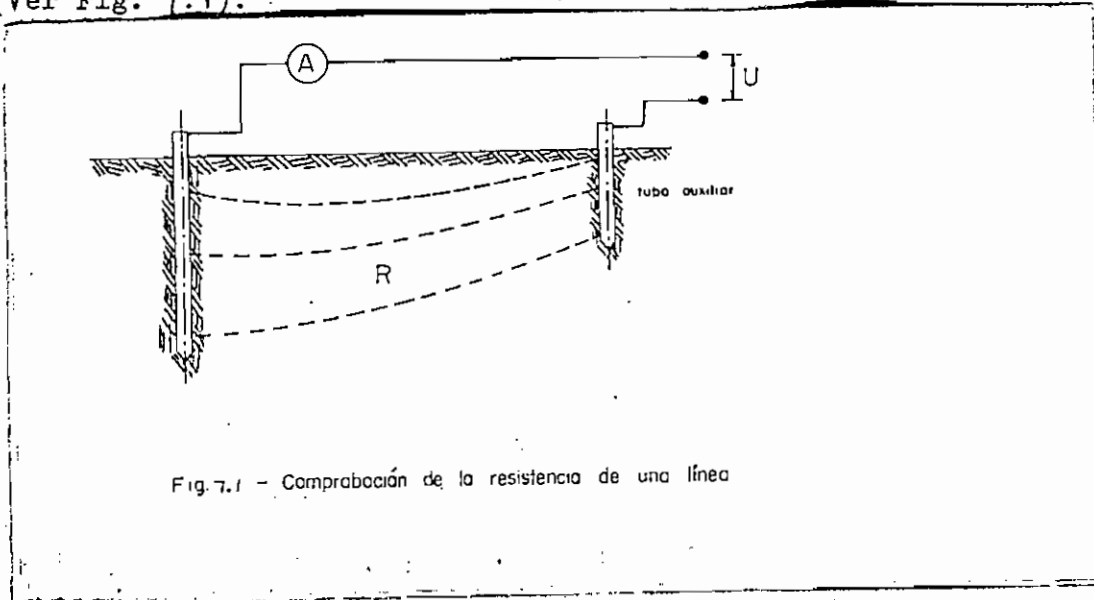
7.2.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE TIERRA.-

Es necesario comprobar dos o tres veces por año el valor de la resistencia de la tierra. Si existe un solo tubo o varilla, del cual quiere conocerse el valor de su resistencia, se uti



liza otro electrodo auxiliar, que se introduce en el terreno, midiendo el valor de la resistencia total por la relación:  $R = \frac{U}{A}$ , admitiéndose con alguna aproximación que el valor buscado es  $R/2$ .

(Ver Fig. 7.1).



Si fuesen varios tubos o varillas que constituyen la toma de tierra, se medirá la resistencia correspondiente a cada grupo de dos, obteniéndose un sistema de ecuaciones (método de Creighton), de los que se deduce el valor de la resistencia buscada.

Conviene en estas mediciones aplicar una tensión de 100 a 300 voltios, para obtener una intensidad apreciable en el circuito.

Las casas fabricantes de aparatos de medida suministran equipos completos para este objeto, que permiten por lectura directa hallar el valor en ohmios de la resistencia de la toma de

tierra.

### 7.3.- NORMALIZACION.-

De lo expuesto en los párrafos anteriores y basándose en los reglamentos de España y Chile se puede hacer la siguiente reglamentación.

ARTICULO 26.- Conexión a Tierra.- Los postes con estructuras metálicas deberán estar en buena comunicación con tierra, e igualmente las armaduras metálicas de los postes de hormigón armado. Si la línea tiene cable de tierra podrán disponerse menos tomas de tierra que apoyos, siempre que la medición de la resistencia de paso a tierra desde cualquier punto del cable o apoyo no exceda de 20 ohmios.

En líneas con postes de madera que no tengan cable de tierra no será obligatoria la conexión a tierra de los herrajes y armaduras.

La conexión a tierra se hará mediante conductores de hierro galvanizado de 100 milímetros cuadrados de sección como mínimo, o bien de otro metal de resistencia eléctrica equivalente a la de un conductor de cobre de 35 milímetros cuadrados (N° 2 - AWG) de sección, por lo menos. Estos conductores se conectarán por medio de empalmes adecuados, a electrodos metálicos colocados verticalmente, enterrados a una profundidad mínima de 0,80 metros, alcanzándose, donde sea posible, la zona de humedad permanente del terreno. El conductor de conexión a tierra no deberá estar tendido por encima del macizo de hormigón que constituye la cimentación del apoyo, sino que atravesará éste por medio de un tubo de hierro.

No deben utilizarse electrodos sumergidos libremente en el agua; es decir, sin estar perfectamente enterrados.

Los electrodos podrán estar constituídos por placas, tubos, varillas o bandas de metal inalterable o por otras masas metálicas apropiadas.

Cuando las condiciones naturales del terreno no sean favorables para lograr una baja resistencia en la toma de tierra, se efectuará un tratamiento químico del terreno por alguno de los métodos sancionados por la práctica.

Por la importancia que ofrece desde el punto de vista de seguridad toda instalación de toma a tierra deberá ser comprobada en el momento de su establecimiento y revisada cada dos años en la época en que el terreno esté más seco. Para ello, se medirá la resistencia de paso a tierra, reparando inmediatamente

los defectos que se encuentren. En los lugares en que el terreno no sea favorable a la buena conservación de los electrodos, éstos, así como también los conductores de enlace entre ellos hasta la pieza de empalme al poste, se pondrán al descubierto para su examen, al menos una vez cada dos años.

La resistencia de paso a tierra de los electrodos, obtenida por medición directa, no será en ningún caso superior a 20 ohmios.

En los lugares frecuentados en donde sea imposible establecer una tierra eficaz, se adoptarán medidas apropiadas a las condiciones especiales, tendientes a evitar los peligros de accidentes en caso de fallas de aislamiento.

C A P I T U L O 8

8.- DISTANCIAS MINIMAS ENTRE LOS ELEMENTOS DE LA LINEA.

8.1.- Desplazamiento de los Conductores.

8.2.- Distancia a Masa.

8.3.- Distancia entre Fases.

8.4.- Distancia entre Conductores e Hilos de Guardia.

8.5.- Distancia desde los Conductores al Suelo.

8.6.- Normas de Diferentes Países.

8.7.- Normalización.

C A P I T U L O 88.- DISTANCIAS MINIMAS ENTRE LOS ELEMENTOS DE LA LINEA.-

El dimensionamiento de la parte superior de los soportes depende principalmente de las distancias que los conductores y las partes bajo tensión deben mantener con respecto a las estructuras metálicas y entre sí. Generalmente, el elemento determinante es la distancia a masa.

Por el contrario, la altura de los soportes está determinada por la distancia mínima admisible entre los conductores y el suelo y, naturalmente, por la flecha de los conductores en las peores condiciones previstas de temperatura o de sobrecarga.

No existen normas internacionales sobre esta cuestión y a menudo las prescripciones de cada país son sensiblemente diferentes entre sí, en relación a las prácticas constructivas que se han establecido con el transcurrir del tiempo.

En el caso de las líneas aéreas, el estudio de las distancias debe ser precedido por el de los desplazamientos máximos a los cuales pueden estar sujetos los conductores por efecto de las fuerzas que actúan sobre los mismos.

8.1.- DESPLAZAMIENTO DE LOS CONDUCTORES.-

Bajo el efecto del viento, que se supone soplando horizontalmente y en dirección perpendicular a la línea, los conductores tienden a apartarse del plano vertical de su catenaria y a

disponerse según la resultante de la carga vertical debida a su peso, con el agregado de las eventuales sobrecargas por manguito de nieve o hielo y de la carga horizontal debida al viento. El valor de la fuerza debida al viento se puede considerar proporcional al cuadrado de la velocidad del viento mismo y a la superficie atacada. La fórmula comunmente empleada para obtener esta fuerza es la siguiente:

$$F = c.p.s$$

Donde:

$c$  = Coeficiente que depende de la naturaleza de las dimensiones y de la forma del cuerpo sujeto al viento, para conductores de diámetro superior a 15 mm. se puede considerar  $c = 1$

$p$  = Presión específica en  $\text{Kg/m}^2$  que, como ya se dijo, es proporcional al cuadrado de la velocidad del viento.

$p = 0,007 v^2$        $v$  = Velocidad del viento en Km/h.

$s$  = Superficie atacada en metros cuadrados.

$f$  = Fuerza debida al viento en Kg.

Por lo que se refiere a la velocidad del viento y por lo tanto al valor de  $p$ , las prescripciones de los diversos países son muy diferentes entre sí. Como ejemplo, se indican los siguientes valores de la máxima presión del viento sobre los conductores (que generalmente se supone no sea contemporánea a la sobrecarga del hielo):

Normas francesas	$p = 73,4 \text{ Kg/m}^2$
Normas italianas	$p = 72,0 \text{ "}$
Normas suecas	$p = 60,0 \text{ "}$
Normas alemanas	$p = 52,5 \text{ "}$

Para conductores con manguito de hielo las normas suecas prescriben  $p = 25 \text{ Kg/m}^2$  y las italianas  $p = 18 \text{ Kg/m}^2$ .

Sobre la base de la composición de las fuerzas horizontales y verticales se calcula fácilmente el ángulo de desviación del plano de la catenaria con respecto a la vertical. Se puede observar que la hipótesis de que el viento sople en forma perfectamente uniforme sobre todo el vano de una línea (300 - 400 m) a alturas desde el suelo no muy elevadas (10 - 20 m) es, quizá - exageradamente prudente. Por lo tanto, las normas de algunos países prescriben un ángulo máximo de desviación independiente del que resulta de los cálculos. Así por ejemplo, las normas italianas establecen una desviación no superior a  $30^\circ$ . Este criterio resulta tanto más coincidente con la realidad cuando mayor sea la longitud del vano (Estudio y Anteproyecto del Sistema de Transmisión El Chocón - Buenos Aires).

A estos movimientos normales de los conductores se puede talvez agregar desplazamientos de carácter excepcional y de magnitud mucho mayor. Trátase de los fenómenos conocidos con el nombre de "danza" o "galope" de los conductores, que pueden llegar a causar el encimamiento de conductores de diferentes fases.

De todas maneras se trata de fenómenos de carácter totalmente excepcional que han sido señalados en algunos países como por ejemplo Alemania y Rusia (Ver la participación del Dr. -- Lemhans y del Sr. Vögeli a la reunión del CIGRE 1956, Vol. I, pág. 717). Estos fenómenos se manifiestan por causa del viento cuando la tensión tiene valores correspondientes a la frecuencia de resonancia mecánica del vano. Las oscilaciones son verticales y pueden alcanzar una amplitud de varios metros y tienen una frecuencia de aproximadamente  $0,2 \text{ H}_z$ .

En Alemania se ha observado que el fenómeno es más notable en las líneas con conductores simples que en las líneas con conductores múltiples.

El hecho de que este fenómeno sea extremadamente raro y dado que el mismo tiene una importancia prácticamente despreciable en las líneas con conductores múltiples en disposición horizontal, permite no tomarlo en consideración, lo que es una norma general. El hecho de tomarlo en consideración, criterio que tendría sentido solamente para líneas con conductores a distinta altura, llevaría a valores totalmente prohibitivos de las distancias entre fases.

#### 8.2.- DISTANCIA A MASA.-

Las distancias (a masa, entre fases, etc.) para las líneas aéreas se fijan sobre la base de lo previsto en las normas



de cada país. Estas prescripciones están sustancialmente basadas en los mismos criterios generales para la determinación de las distancias en el aire que se consideran para las subestaciones, pero dado que tienen en cuenta otros factores particulares, deben ser consideradas sobre todo como reglas empíricas basadas en la práctica y en la experiencia de servicio.

Para las líneas que forman parte de redes con neutro a tierra se mencionan la fórmula de la VDE y la de las normas italianas del CEI, las cuales dan resultado en buen acuerdo entre sí:

$$\begin{array}{ll} \text{normas VDE} & D = \frac{U_n}{150} \\ \text{normas CEI} & D = 0,06 + 0,006 U_n \end{array}$$

en ambas fórmulas se aplican a la configuración geométrica con cadena desplazada (con ángulo resultante del cálculo para las normas VDE y de 30° para las normas italianas).

Esta determinación de las distancias a masa sobre la tensión nominal y no del nivel de aislamiento de una línea (que para las tensiones muy altas puede ser diferente para una misma tensión nominal), no es seguramente una solución muy rigurosa. De todos modos es oportuno observar que en lo que se refiere a las líneas aéreas, los elementos de incertidumbre son muchos (ángulo efectivo de inclinación de la cadena, probabilidad de que la sobreten-sión se produzca justamente en el momento de máxima desviación de la cadena, etc.), de manera que es totalmente justificado el em-

pleo de fórmulas semi-empíricas que hayan dado resultados siempre satisfactorios.

Por lo tanto, hay que preocuparse que las distancias de los conductores con respecto a las partes o estructuras que están conectadas a masa, tenga una distancia adecuada para que no se produzca un arco a tierra. Para conocer esta distancia a la cual se van a producir arcos no podemos valer de la siguiente fórmula (apuntes de clase, Transmisión - Distribución I, por el Ing. H. Plácencia):

$$V_a = 21,1 \left( 1 + \frac{0,01 \cdot D}{\sqrt{r}} \right) \cdot r \cdot 2,303 \log_{10} \frac{D}{r}$$

en donde:

$V_a$  = Tensión simple a la cual se produce el arco en KV.

$r$  = Radio del conductor en cm:

$D$  = Distancia entre conductor y masa en cm.

En el Cuadro N° 8.1 podemos observar los diferentes valores calculados de  $V_a$  para distancias que varían entre 10 y 50 cm. y para conductores de radios entre 3 mm. y 20 mm.

De estos resultados se puede justificar el empleo de fórmulas binomias para el cálculo de la distancia a masa, en estas fórmulas el término independiente de la tensión debería dar separaciones mínimas de 10 cm.

### 8.3.- DISTANCIA ENTRE FASES.-

La determinación de las distancias entre fases de las líneas aéreas se basa en criterios aún más empíricos que las a ma sa. Las razones de lo antedicho son bastante evidentes: en efecto, en la determinación de las distancias entre fases tienen un rol - muy impotante la flecha, la disposición de los conductores, y la longitud de la cadena, elementos que serían prácticamente imposi- ble introducir en un estudio riguroso del problema.

Por lo tanto se examinará lo que prescriben las nor-- mas alemanas, italianas y una fórmula práctica americana.

De acuerdo a las normas alemanas de la VDE, la distan- cia entre fases debe ser:

$$D = k \sqrt{f + L_c} + \frac{U_n}{150}$$

donde:

f = Flecha máxima en metros.

$L_c$  = Longitud de la cadena de aisladores, longitud que se considera nula en el caso de aisladores rígidos y de cadenas de amarre.

k = Coeficiente que depende de la naturaleza, sec-- ción y disposición de los conductores. Este coe- ficiente puede variar desde 0,95 hasta 0,60, pa- ra los conductores de líneas de muy alta tensión. (es decir en aluminio-acero con secciones supe-

periores a 350 mm<sup>2</sup>) el coeficiente es  $k = 0,70$  si los conductores están a distinta altura y  $k = 0,60$  si están en disposición horizontal.

Una fórmula práctica, no establecida por normas particulares pero muy empleada en los EE.UU., es la siguiente:

$$D = \alpha f v + A_v + \frac{L_c}{2}$$

donde:

$\alpha$  = Coeficiente que toma el valor 94 para el cobre y 82 para el aluminio-acero.

$fv$  = Relación entre la flecha y el vano.

$A_v$  = Distancia de descarga a frecuencia industrial y bajo lluvia de un explosor de protección asta-asta para una tensión igual a la tensión nominal de la línea.

Según las nuevas normas italianas debe emplearse la siguiente fórmula:

$$D = \alpha \sqrt{f + L_c} + 0,01 \cdot U_n$$

que es bastante similar a la de la VDE. Para  $\alpha$  se toma el valor de 0,6 para conductores de aluminio-acero de cualquier sección y 0,5 para los demás tipos de conductores. Las normas italianas además prescriben que en los grandes vanos, cuando la flecha sea superior a 40 m., debe introducirse en la fórmula siempre el valor 40. Con esto <sup>se</sup>quiere tomar en cuenta el hecho ya mencionado, que en un

vano grande es muy difícil, por no decir imposible, que el viento sople uniformemente a lo largo de todo el vano. Además las normas italianas admiten una ulterior reducción del 30% en el caso de aisladores rígidos, cosa que no tiene importancia para las instalaciones de muy alta tensión.

En el campo de las tensiones (sobre los 110 KV) que más particularmente interesan a estos estudios, las fórmulas mencionadas dan resultados con suficiente acuerdo entre sí. Las fórmulas alemanas e italianas, además de ser de más cómodo empleo, no están vinculadas a las tensiones, lo que por el contrario se verifica para la fórmula práctica americana.

Para conductores dispuestos horizontalmente es necesario controlar que, por efecto del viento, no se produzcan acercamientos peligrosos en el caso de oscilaciones asincrónicas de las catenarias. Un método somunmente empleado para esta verificación es el indicado en la Fig 8.1. Se supone que las dos catenarias adyacentes están desplazadas del plano vertical en sentido opuesto, en un ángulo igual a  $\frac{1}{5}$  de la desviación máxima admitida, en dichas condiciones la distancia mínima entre los conductores debe ser por lo menos  $\frac{V}{150}$  metros. Este método de control, debido a Behrens, tiene carácter totalmente empírico pero siempre dió buenos resultados.

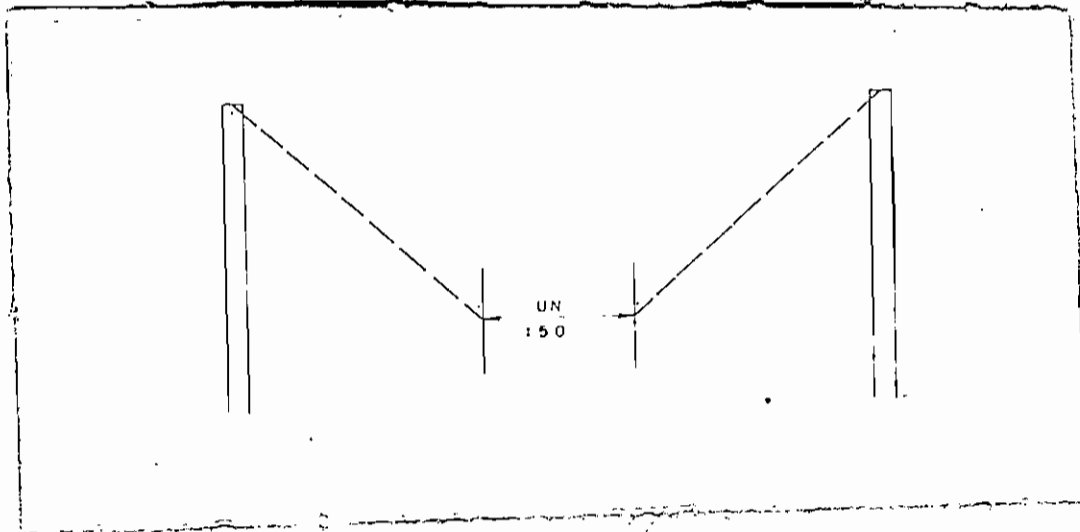


Fig. 8.1 Verificación de la distancia entre fases de conductores dispuestos horizontalmente.

#### 8.4.- DISTANCIAS ENTRE CONDUCTORES E HILOS DE GUARDIA.-

Las distancias entre los conductores y los hilos de guardia son una consecuencia de la función de protección correspondiente a dichos cables. El estudio de la parte superior de la torre y la elección del ángulo de protección que es conveniente adoptar, determinan, las distancias entre los conductores y los hilos de guardia.

El cable de tierra debe colocarse en tal forma que intercepte cualquier rayo que de no existir esta protección, descargará sobre algunos de los conductores de línea. Dos métodos se han propuesto para determinar su posición respecto a la línea de transmisión. Haciendo las hipótesis usuales, los dos dan aproxima

damente el mismo resultado.

El primer método hace uso del llamado "cono de protección", si bien en el caso de que trata, el cono se transforma en un perfil de tienda o de cuña. Pruebas efectuadas en laboratorio por Peek, Matthias y Burkhardtomaier, Schwaiger y Ziegler, Wagner, Mc Cann y Maclane, demuestran que un cono o "tienda" de dimensión horizontal como 2 y altura como 1, es suficiente. Se obtiene un mejoramiento en la protección, tomando una relación 1:1 que es la que se suele usar en la práctica.

Cuando los hilos de guardia son más de uno, no hay ningún criterio para establecer una distancia mínima entre los dos cables, ésta puede variar desde muchos metros, como en el caso de las líneas con conductores en disposición horizontal a menos de un metro en el caso de las líneas sobre torres tronco-piramidales. Las únicas consecuencias de estas distancias diferentes pueden manifestarse en diferencias muy pequeñas de las impedancias de secuencia cero de las líneas. El único criterio que se puede establecer cuando se usan dos conductores de protección es que deben colocarse de manera que ningún conductor quede fuera de las "tiendas".

El segundo método no usa una razón prefijada, sino que se basa en el supuesto de que el rayo tocará al objeto más cercano. Peek establece que el efecto de pantalla de un cable de tierra depende de la distancia en dirección vertical existente en

tre él y el conductor protegido, y de la distancia entre sus proyecciones sobre el plano horizontal.

Si la distancia entre estas proyecciones es "x" y la altura del conductor de línea es "y", el conductor de protección debe tener una altura superior a "h". Se supone que "y" puede obtenerse de la Fig 8.2 o calcularse mediante la expresión:

$$\frac{x}{H} = \sqrt{2 \left(\frac{h}{H}\right) - \left(\frac{h}{H}\right)^2} - \sqrt{2 \left(\frac{Y}{H}\right) - \left(\frac{Y}{H}\right)^2}$$

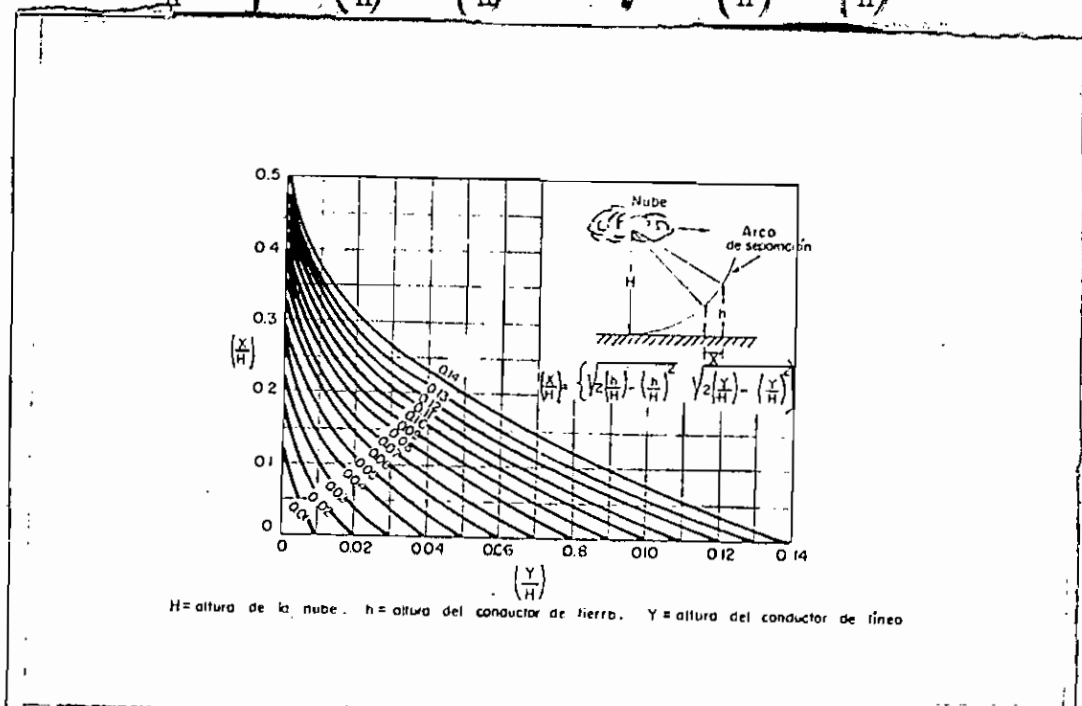


Fig. 8.2 Condiciones para una buena protección, suponiendo que el rayo descarga sobre el objeto más cercano a su trayectoria.



Tanto las curvas como la ecuación anterior dan paræ - "y" y "h" el mismo valor. Sugiere Peek que el valor de "h" obtenido debería incrementarse en un 10%. Aún cuando el conductor de tierra esté colocado directamente sobre el conductor de línea más exterior, no puede asegurarse que éste nunca será alcanzado por el rayo, pues se conocen casos en que el rayo no tocó en absoluto el extremo superior de un conductor vertical como un edificio con estructura de acero, y, en cambio, lo alcanzó en un punto situado bastante más abajo.

La prescripción que puede darse, la cual se satisface ampliamente en la práctica, es que las distancias entre conductores e hilos de guardia sobre las torres no debe ser inferior a las distancias de los conductores a masa.

Además, las distancias a lo largo del vano son mayores. Los hilos de guardia están comunmente tendidos para que, en la práctica, con sobrecargas, den lugar a flechas del mismo valor de los conductores sin sobrecargas. Resulta, a igualdad de condiciones, las flechas de los hilos de guardia son sensiblemente inferiores a las de los conductores y por lo tanto las distancias a lo largo del vano entre conductores e hilos de guardia son mayores que las que se tienen en los puntos de fijación a las torres.

El cable de tierra debe tener una flecha mayor que la de los conductores para que la distancia en el centro del vano sea mayor y que de esta manera no se produzcan descargas cuando cae un rayo en medio vano, o sea en la condición más desfavorable.

Usualmente se acostumbra que la flecha del cable de tierra sea el 90% de la de los conductores.

#### 8.5.- DISTANCIA DESDE LOS CONDUCTORES AL SUELO.-

También la determinación de las distancias desde el suelo a los conductores es una cuestión que concierne más a las prescripciones basadas en la experiencia que a las determinaciones teóricas. En las normas de muchos países se prescribe que, en campo abierto y en las condiciones de flecha máxima, la altura desde el suelo no sea inferior a 6 metros. Se considera que dicha distancia es suficiente para permitir el pasaje sin peligro bajo la línea, de una persona de pie sobre un carro de heno.

Con el aumento de las tensiones de servicio surgió en muchos países la preocupación de que dicha distancia pueda ser insuficiente y a tal fin se propusieron fórmulas binomias, con un término fijo y un término proporcional a la tensión.

Por ejemplo las normas italianas del CEI (todavía no aprobadas) prescriben una altura mínima desde el suelo de  $5,5 + 0,006 U_n$ , con un mínimo de 6 metros, y las normas VDE dan la siguiente:

$$H = 6 + \frac{U_n - 110}{150}$$

Donde  $U_n$  debe expresarse en kilovoltios.

Hay que agregar que, especialmente en el campo de las tensiones muy altas, las prescripciones mínimas pueden ser emplea

das solamente en zonas poco frecuentadas. Por el contrario, en las zonas próximas a los centros poblados será conveniente adoptar valores mayores, por ejemplo, no bajar nunca de los 8 metros.

Naturalmente, para los cruces de caminos, ferrocarriles, cursos de agua navegables, etc., existen en los varios países normas particulares que deben ser respetadas en la construcción de una línea. Para estos casos, en general, se aumenta la distancia de 1 a 1,5 metros.

#### 8.6.- NORMAS DE DIFERENTES PAISES.-

##### ALEMANIA.-

Separaciones.- En primera categoría la separación mínima entre conductores será de 35 cm.

En segunda cuando los conductores sean del mismo tipo y sección y tengan la misma flecha la separación se determinará con la fórmula:

$$D = K \sqrt{f} + \frac{U}{150}$$

en la que:

D = distancia mínima entre conductores en metros,

K = 1 para conductores de aluminio y sus aleaciones,

K = 0,75 para los restantes metales,

f = flecha en metros a 40°C sin sobrecarga,

U = tensión compuesta en kilovoltios.

La separación no será inferior a:

1 m., si  $K = 1$  y  $U > 3$  KV.

0,80 m., si  $K = 0,75$  y  $U > 3$  KV.

En los demás casos las separaciones serán las suficientes para que al presentarse la máxima aproximación entre conductores aquéllas sean de  $U/150$  metros. con un mínimo de 20 cm.

La separación entre conductor y apoyo será de 20 cm. hasta 15 KV. de tensión compuesta.

Para tensiones mayores la separación en metros será:

---

Con aisladores rígidos o de cadena en la posición normal de esta última.

$$D = 0,1 + \frac{U}{150}$$

---

Con aisladores de cadena cuando ésta se encuentra inclinada bajo la acción de un viento de 125 Kg/m<sup>2</sup> de superficies plana.

$$D = \frac{U}{150}$$

---

Seguidamente se indican algunas fórmulas no oficiales.

Haefner: Para tensiones de hasta 40 KV.,

$$D = 0,18 \sqrt{U}$$

Uppenborn: Para tensiones de hasta 40 KV.,

$$D = 0,4 \sqrt{U}$$

Kapper: Para conductores de cobre,

$$D = 0,004 a + 0,1 \sqrt{U}$$

en la que:

a = longitud del vano en metros.

Kapper: Para conductores de aluminio,

$$D = 0,005 a + 0,125 \sqrt{U}$$

### AUSTRALIA.-

Separaciones.-

Tensión de la línea en voltios	Separación mínima en metros	
	Para vanos cuyas longitudes no excedan de:	
	43,75 mts.	76,25 mts.
Menor que 650	0,38	0,46
Desde 650 hasta 11.000	0,61	0,76
Desde 11.000 hasta 22.000	0,76	0,92

### AUSTRIA.-

Separaciones.- En primera categoría la separación mínima entre conductores será:

Cobre, bronce y acero  $\frac{a}{100}$  metros con un mínimo de 0,20 metros.

Aluminio  $\frac{a}{100} + 0,1$  metros con un mínimo de 0,30 mts.

a = longitud del vano en metros.

En segunda, la separación se determinará con la fórmula:

$$D = K \sqrt{f} + \frac{U}{150}$$

en la que:

D = distancia mínima entre conductores en metros,

K = 0,75 para conductores de cobre, bronce, hierro, acero y aluminio-acero con alma de acero de sección igual o superior al 30% de la total,

K = 0,9 para conductores de aluminio sus aleaciones y aluminio-acero con alma de acero de sección inferior al 30% de la total,

f = flecha en metros a 40° sin sobrecarga,

U = tensión compuesta en kilovoltios.

La separación no será inferior a

0,80 m., si  $K = 0,75$  y  $U > 5$  KV.

1 m., si  $K = 0,9$  y  $U > 5$  KV.

Si los aisladores fuesen de cadena, f será aumentada en la longitud de la cadena en metros.

La separación entre conductores y apoyo con aisladores rígidos será de 0,7 cm. por kilovoltio, con un mínimo de 15 cm. para tensiones mayores de 15 KV.

Si fuesen de cadena se mantendrá la separación al desplazarse ésta por la acción del viento.

CANADA.-

Separaciones.- La separación entre conductores se determinará con la fórmula:

$$D = 0,3048 + 0,0102 (U - 7,5)$$

en la que:

D = distancia mínima entre conductores, en metros,

U = tensión compuesta en kilovoltios.

Si,

$$U < 7,5 \quad D > 0,3048 \text{ m.}$$

CHECOESLOVAQUIA.-

Separaciones.- En primera categoría la separación entre conductores será:

Verticalmente  $\frac{a}{200}$  metros con un mínimo de 15 cm.

Horizontalmente  $\frac{a}{200}$  metros + 0,1 con un mínimo de 15 centímetros.

a = longitud del vano en metros.

En segunda categoría, la separación se determinará con la fórmula:

$$D = 25 + K \sqrt{f} + U$$

en la que:

D = distancia mínima entre conductores en cm.

K = 5 para conductores de cobre, bronce-acero y aluminio-acero, con alma de acero de sección igual al -

30% de la total.

$K = 7$  para conductores de aluminio y aluminio-acero con alma de acero menor que el 30% de la total.

$f$  = flecha, en centímetros, correspondiente a la hipótesis A)

$U$  = tensión compuesta en kilovoltios.

En primera categoría la separación entre conductores y apoyo será de 6m.

En segunda se determinará con la fórmula:

$$5 + \frac{3U}{4} \text{ Centímetros.}$$

Con un mínimo de 15 cm. o de 10 cm. según estén o no unidos a tierra los apoyos.

#### ESPAÑA.-

Separación entre conductores.- La separación entre conductores se determinará en función de la tensión de servicio y de su flecha máxima mediante la fórmula:

$$D = K \sqrt{f} + \frac{U}{150}$$

en la que:

$D$  = distancia mínima entre conductores en metros.

$f$  = flecha máxima vertical o inclinada del conductor en metros.

$U$  = tensión compuesta en kilovoltios.

$K = 0,75$  para conductores de cobre, acero y aluminio-acero.



$K = 1$  para los de aluminio, aldre y otros metales ligeros.

La distancia mínima de los conductores al apoyo, - con el desplazamiento de la cadena correspondiente al viento máximo, o en cualquiera otra posición de la misma, no será inferior - al valor del término

$\frac{U}{150}$  de la fórmula anterior, expresado en metros.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA.-

Separaciones.-

Aisladores rígidos. Separación entre conductores.

Sección de conductores en milímetros cuadrados.	Horizontalmente	Verticalmente
Sin exceder de 33,63	$D=0,64 \sqrt{f-0,62} + 0,0076U$	} La separación no será inferior a 0,61 m. para tensiones compuestas de hasta 7,5 KV. Para tensiones entre 7,5 y 30 KV será de 1,20 mts.
Mayor de 33,63	$D=0,37 \sqrt{f} + 0,0076 U$	
<p><math>D</math>=distancia mínima entre conductor en mts.  <math>f</math>=flecha máxima en metros.</p> <p>La separación no será inferior a 0,3048 m. para tensiones compuestas de hasta 7,5 KV. Se la aumentará 0,0102 por cada kilovoltio en exceso</p>		

Si los aisladores fuesen de cadena se mantendrán - las separaciones citadas cuando ésta se desplace 45° a ambos lados de su posición vertical.

La separación entre conductor y apoyo con aisladores rígidos no será inferior a 0,0762 m. para tensiones compuestas de hasta 7,5 KV. Se la aumentará 0,0635 m. por cada kilovoltio en exceso. Si fuesen de cadena se mantendrán las separaciones citadas cuando ésta se desplace 45° a ambos lados de su posición vertical.

La "General Electric Company" de Schenectady, New York, EUA., dió las siguientes separaciones:

Tensión compuesta en kilovoltios.	Separación entre conductores en metros.
5	0,71
15	1,02
30	1,24
45	1,52
60	1,83
75	2,30
90	2,44
105	2,75
120	3,05

El Ingeniero A. Still propuso la siguiente fórmula:

$$D = \frac{1}{100} \left( 25 + \frac{a}{2,5} + 2,3 U \right)$$

Aplicable a conductores de cobre, y en la que  $a$  es la longitud del vano en metros.

Otra fórmula es:

$$D = \frac{1}{100} (3,1 U + 31)$$

que da para tensiones poco elevadas valores demasiado pequeños, y para tensiones altas valores excesivamente grandes.

#### GRAN BRETAÑA.-

Separaciones.- Las indicaciones de "Cable Research Handbook" (Manual de datos de cables) son las siguientes:

#### AISLADORES RIGIDOS.

La distancia horizontal igual o mayor a la mitad de la flecha indicada.

La distancia vertical igual o mayor que  $\frac{a}{160}$ , siendo  $a$  la longitud del vano en metros, y con los siguientes mínimos:

Hasta 11 KV	0,66 m.
Desde 11 hasta 33 KV	0,97 m.
Desde 33 hasta 66 KV	1,42 m.
Desde 66 hasta 132 KV	2,34 m.

Entre conductor y apoyo los mínimos serán:

Hasta 11 KV	0,25 m.
Desde 11 hasta 33 KV	0,36 m.
Desde 33 hasta 66 KV	0,70 m.
Desde 66 hasta 132 KV	1,07 m.

Entre campana de aisladores y apoyo, los mínimos serán:

Hasta 11 KV	0,18 m.
Desde 11 hasta 66 KV	0,31 m.

## AISLADORES DE CADENA.

La distancia horizontal, como para aisladores rígidos aumentada en el 75% de la longitud de la cadena.

Entre conductor y apoyo, como para aisladores rígidos aumentada en el 75% de la longitud de la cadena.

W. Morecombe da las siguientes fórmulas para separación entre conductores:

Conductor de	DISTANCIA EN METROS	
	Horizontal	Vertical
Cobre	flecha a 17°C	} $\frac{a}{100}$ con un mínimo de 30 cm.
Aluminio	1,5 f.a 17°C	
Aluminio-acero	1,25 f.a 17°C	
	f = Flecha en metros.	
	a = longitud del vano en metros.	

HOLANDA.-

Separaciones.- La separación entre conductores no superpuestos, - es decir, distantes en proyección horizontal más de 0,70 m. para líneas de 15 KV. y más, de tensión compuesta, se determinará con la fórmula:

$$D = 0,2 \sqrt{h} + \frac{U}{150}$$

en la que:

D = distancia mínima entre conductores en metros.

h = desplazamiento horizontal del conductor en metros -  
bajo la acción del viento horizontal máximo de 20°C  
de temperatura.

U = tensión compuesta en kilovoltios.

Si los conductores estuvieran superpuestos la separación se aumentará en un 80%.

La separación entre conductor y apoyo en líneas de 15 KV. o más de tensión compuesta se determinará con las fórmulas:

Tipo de aislador	Separación en metros
Rígido	$D = 0,15 + \frac{U}{150}$
De cadena	$D = \lambda + \frac{U}{150}$

D = distancia mínima entre conductor y apoyo  
en metros.

$\lambda$  = longitud de la cadena en metros.

#### NORUEGA.-

Separaciones.- La separación entre conductor y apoyo será:

$$D = 0,01 + 0,005 U$$

en la que:

D = distancia mínima entre conductor y apoyo en metros.

U = Tensión compuesta en kilovoltios.

Con un mínimo de 10 cm. en primera categoría.

POLONIA.-

Separaciones.- En primera categoría la separación entre conductores se determinará con la fórmula:

$$D = K \sqrt{f} + \frac{U}{1.500}$$

en la que:

D = distancia mínima entre conductores en centímetros.

K = 10 para conductores de aluminio y sus aleaciones.

K = 7,5 para conductores de los demás metales.

f = flecha máxima en centímetros.

U = tensión compuesta en kilovoltios.

La separación no será inferior a:

35 cm. , si  $U < 3$  KV.

100 cm. , si  $U > 3$  KV. para conductores de aluminio o de sus aleaciones.

80 cm. , si  $U > 3$  KV. para conductores de los demás metales.

En segunda categoría con la fórmula:

$$D = K \sqrt{f'} + \frac{U^2}{20.000}$$

en la que:

D = distancia mínima entre conductores en metros.



Si los aisladores fuesen de cadena, la desviación de ésta respecto a su posición vertical se supondrá de  $45^\circ$ .

### SUIZA.-

Separaciones.- En primera categoría las separaciones serán:

$$D = 35 \text{ cm.}, \text{ si } U < 1.000 \text{ voltios y } a < 25 \text{ m.}$$

$$D = 40 \text{ cm.}, \text{ si } U < 250 \text{ voltios de tensión simple y } \\ a < 50 \text{ m.}$$

$$D = 50 \text{ cm.}, \text{ si } 250 \text{ V} < U < 1.000 \text{ voltios de tensión -} \\ \text{simple y } a < 50 \text{ m.}$$

$a =$  longitud del vano en metros.

Las separaciones serán aumentadas un 20% si los conductores se dispusieran en un mismo plano vertical.

En líneas normalizadas de segunda categoría, o sea aquellas cuyos vanos no excedan de 50 m., las separaciones serán:

$$D = 0,55 \text{ m.} \quad \text{si } 1 \text{ KV} < U \leq 5 \text{ KV.}$$

$$D = 0,70 \text{ m.} \quad \text{si } 5 \text{ KV} < U \leq 10 \text{ KV.}$$

$$D = 0,60 + 0,75 (U-10) \text{ m.} \quad \text{si } U > 10 \text{ KV.}$$

La separación entre conductor y apoyo será:

$$D = 0,04 \text{ m.}, \text{ hasta } 250 \text{ V de tensión simple.}$$

$$D = 0,05 \text{ m.}, \text{ desde } 250 \text{ V de tensión simple y hasta} \\ 1 \text{ KV de tensión compuesta.}$$

$$D = 0,06 \text{ m.}, \text{ desde } 1 \text{ KV hasta } 5 \text{ KV de tensión compuesta.}$$

Por cada kilovoltio en exceso de 10, se aumentará



la separación en 0,04 metros.

### 8.7.- NORMALIZACION.-

De lo expuesto anteriormente y adoptando a las condiciones climatéricas del país se puede hacer la siguiente reglamentación, que debe ser considerada como tentativa:

**ARTICULO 27.- Distancias Mínima de los Conductores al Suelo.**- Los conductores y aisladores deben disponerse de tal forma que sin medios auxiliares, sean inaccesibles desde el suelo, techos, salientes, ventanas y otros lugares de tránsito humano regular. Estas exigencias se consideran cumplidas cuando se observan las disposiciones siguientes:

- a) La distancia mínima entre los conductores y el suelo debe ser de 6 metros, con la flecha máxima según las hipótesis de cálculo. Los accidentes insignificantes del terreno no necesitan ser tomados en cuenta.  
Si el terreno es accesible al tráfico y deporte, esta distancia también debe observarse si las oscilaciones de los conductores con la máxima flecha vertical y la carga del viento correspondiente a la zona.
- b) En los cruces de carreteras, ferrocarriles, caminos transitados, etc., la distancia mínima vertical de los conductores al suelo será de 7 metros con la flecha máxima según las hipótesis de cálculo.
- c) Si el trazado de la línea recorre una pendiente empinada, no accesible ni al tráfico ni al deporte, la distancia entre los conductores en plena oscilación bajo el efecto del viento y la pendiente, debe ser por lo menos de 3 metros.
- d) Para las tensiones nominales superiores a 110 KV las distancias mínimas que anteceden deben aumentar en

$$\frac{U_n - 110 \text{ KV}}{150 \text{ KV}} \text{ metros. Siendo}$$

$U_n$  = tensión nominal en kilovoltios.

ARTICULO 28.- Distancias Mínimas de los Conductores al Arbolado.-

Con los conductores en plena oscilación debe ser por lo menos de 3,5 metros la distancia entre las partes de una línea aérea de energía bajo tensión y los árboles por debajo o al lado de la línea a los cuales se sube para efectuar trabajos (por ejemplo, cuidado de frutales, cosechas, etc.).

Para tensiones nominales superiores a 110 KV, esta distancia mínima aumentará en :

$$\frac{U_n - 110 \text{ KV}}{150 \text{ KV}} \text{ metros. Siendo } U_n \text{ la tensión nominal}$$

en kilovoltios.

ARTICULO 29.- Separación Mínima de los Conductores Entre sí.- Los

conductores bajo tensión deben guardar, uno del otro y de otros conductores, por ejemplo cables de tierra, tal distancia que no haya de temer que tomen contacto uno con el otro o que se aproximen hasta producirse la descarga, teniendo presente los efectos de las oscilaciones debidas al viento sobre los conductores.

La separación entre los conductores se fijará aplicando las fórmulas siguientes que la determinan en función de la tensión U de servicio, expresada en kilovoltios, y la flecha f máxima, medida en metros:

a) para tensiones superiores a 66 KV:

$$d = k\sqrt{f} + \frac{U^2}{20.000}$$

b) para tensiones iguales o inferiores a 66 KV:

$$d = k\sqrt{f} + \frac{U}{150}$$

Siendo:

d = distancia mínima, expresada en metros, entre los conductores.

k = coeficiente que vale 0,50 cuando se trata de conductores de cobre, acero o aluminio-acero y 0,75 si se empleasen conductores de aluminio, aldre y u otras aleaciones ligeras.

c) Cuando dos conductores resultan colocados en un mismo plano vertical, la separación mínima obtenida por las fórmulas anteriores, deberá aumentarse en un 20%.

ARTICULO 30.- Separación Mínima de los Conductores y Apoyos (masa)

La distancia de los conductores y los apoyos o partes metálicas, etc., debe ser tal que no haya riesgo alguno de cortocircuitos, teniendo presente los efectos de las oscilaciones debidas al viento sobre los conductores.

La distancia mínima que debe existir entre los conductores y los postes o apoyos o cualquier parte de ellos, vendrá determinada por la fórmula:

$$d = 0,1 + \frac{U}{150 \text{ KV}}$$

representando:

d = distancia mínima, en metros, de los conductores a los apoyos o partes de ellos.

U = tensión compuesta de servicio en kilovoltios.

Si los aisladores son del tipo de cadena las distancias mínimas con desviación del conductor y la cadena de aisladores por la carga de viento y los apoyos o partes de ellos será de

$$\frac{U}{150 \text{ KV}} \text{ metros.}$$

La distancia entre los conductores y cables de tierra, no será inferior a la que debe existir entre éstos y sus apoyos, con arreglo a lo dispuesto en el párrafo anterior. La flecha del cable de tierra será el 90% de la de los conductores.

C A P I T U L O 9

9.- APOYOS

9.1.- Clases de Apoyos y Normalización.

9.2.- Clasificación de los Apoyos y Normalización.

C A P I T U L O 99.- APOYOS.-9.1.- CLASES DE APOYOS Y NORMALIZACION.-

Para soportar las líneas aéreas de transporte de energía eléctrica existen numerosas clases de apoyos o estructuras; - estos apoyos pueden construirse de madera, cemento u hormigón armado, de hierro, etc.

El tipo adecuado depende de factores tales como el - trazado de la línea, su importancia, la duración deseada, el capital disponible, los costos de mantenimiento y las disponibilidades de material.

A partir de 110 KV, las líneas generalmente se construyen de torres de acero, a causa de las separaciones necesarias entre conductores y para que resistan los elevados esfuerzos de tracción de los conductores y cable de tierra, indispensable para que las flechas no exijan alturas de torres exageradas en los -- grandes vanos y por la necesidad de tener la mayor seguridad posible en líneas principales. Una línea constituida con torres de - acero es la más satisfactoria bajo los muchos aspectos, porque requiere menos inspección, tiene mayor duración, los gastos de conservación y mantenimiento son mínimos pero en cambio su costo inicial es bastante elevado.

Para líneas de menos de 110 KV, o de tensión media y baja, donde las separaciones entre conductores no requieren de crucetas muy largas y donde los vanos son relativamente cortos, se usan apoyos de cemento u hormigón armado y de madera.

#### 9.1.1.- Apoyos de Madera.-

Se usan en gran escala en los lugares donde pueden adquirirse fácilmente; las líneas de tensiones medias y bajas se construyen económicamente con postes de madera provistos de crucetas de hierro o madera.

La vida o duración de los postes de madera es la mitad o menos que la de las torres de acero, y sus extremos deben ser tratados para conseguir que su duración compense el costo de instalación.

Las maderas más comunmente empleadas para postes en el Ecuador son: el eucalipto, el cedro, el pambil, la teca y el guayacán.

Las principales ventajas de los postes de madera están en el hecho de que la madera es de por sí un aislante y su costo inicial es bajo. El principal inconveniente que presentan es que su duración es más bien corta, que oscila por lo general entre 5 y 15 años según la clase de madera empleada y la naturaleza del clima y del suelo en el cual se utilizan los postes. La duración de los postes de madera puede aumentarse bastante, en realidad, doblarse aproximadamente, tratando la madera por procedi-

mientos químicos, para hacerla más resistente a la humedad, a la putrefacción y contribuye también a evitar que algunos insectos - carcoman los postes.

Al elegir los postes debe tenerse en cuenta que sean rectos, que carezcan de nudos, torceduras, codos y carcomas, ya - que éstos son los que tienen la máxima resistencia mecánica y mejor aspecto, y son los que deben elegirse por lo general aunque - su costo sea más elevado.

Respecto a la resistencia a la flexión y tracción de los postes de madera, no existen datos en el Ecuador. Se recomienda que la Dirección de Bosques del Ministerio de Agricultura y Ganadería, tome cartas en el asunto.

#### 9.1.2.- Apoyos de Hormigón Armado.-

Se utilizan en lugares donde la madera es escaza y en donde puedan obtenerse fácilmente los materiales para preparar el hormigón.

Estos postes generalmente se construyen por unidades en forma standard y se transportan contruídos al lugar de su instalación, si bien pueden también ser contruídos en el lugar de - su emplazamiento.

Los postes de hormigón deben tener siempre la armadura de acero suficiente para soportar los esfuerzos de flexión y - de tracción debidos al viento, tiro de los conductores, etc., además de haber sido proyectados como columnas para resistir cargas

verticales.

Para la fabricación de estos postes puede emplearse el método de centrifugación o de vibración. La fabricación debe ser encomendada a obreros especialistas y deben utilizarse materiales de buena calidad.

Los postes de hormigón armado se caracterizan especialmente por su buena resistencia a las inclemencias atmosféricas y a las oxidaciones; sin embargo deben transportarse con sumo cuidado por ser bastante frágiles.

#### 9.1.3.- Apoyos de Hierro o Acero.-

Se emplean en las líneas de transmisión más importantes. Estos apoyos proporcionan soportes que son mucho más seguros y tienen una duración de 30 ó más años y por esta razón, se emplean, por lo general, en las líneas más importantes en las cuales haya que reducir al mínimo las interrupciones del servicio.

Las torres se construyen de perfiles laminados de acero y luego se transportan en secciones hasta los lugares en los que tienen que armarse. Esas secciones se unen por anclajes seguros y permanentes.

El acero empleado en dichas torres es galvanizado con el fin de impedir la herrumbre y corrosión para prolongar así su duración.

Las dimensiones y el peso de las torres de acero varían mucho según el tamaño, peso y vano de los conductores y se--



gún la situación de las torres. Las torres situadas en los ángulos y en los puntos en que la línea termina se construyen por lo general, mucho más resistentes que las demás de la línea, con el fin de que puedan resistir las tensiones adicionales.

Se observa que en las torres altas se ensancha la sección inferior con el fin de proporcionar una base más amplia que haga más seguro el anclaje y les permita resistir las tensiones laterales debidas a la presión del viento sobre los conductores y sobre ellas.

Además de las grandes torres de acero de amplia base, se emplean a menudo postes delgados de acero en las líneas de menor importancia; pero en las cuales se desea tener soportes más duraderos que los de madera.

De lo dicho en los párrafos precedentes se puede concluir en la siguiente normalización basada en el Reglamento español:

ARTICULO .- Apoyos.- Los apoyos podrán ser de cualquier clase adecuada al objeto a que se destinen, torres metálicas, estructuras en pórtico, etc., de hormigón armado, de madera, pudiéndose combinar todos estos sistemas. Podrán colocarse tirantes o tornapuntas cuando se considere conveniente dar mayor solidez al apoyo. En general se preferirán los tornapuntas a los tirantes o vientos, pero en todo caso, deben ser tan resistentes como los apoyos a que se aplican.

ARTICULO .- Apoyos de Madera.- En las líneas aéreas de transporte de energía eléctrica se emplearán preferentemente el eucalipto, la teca, el guayacán, el pambil, o cualquier otra especie apta para este fin, prohibiéndose la utilización de especies arbóreas que, por el retorcimiento de sus fibras, pueden dar origen, al variar las condiciones de humedad y sequedad del ambiente, a torsión de los apoyos y desigua-

les tensiones de los conductores.

La madera será sana, bien curada, evitándose grietas que puedan perjudicar su buena conservación.

Los apoyos deberán ser tratados por un procedimiento, sancionado por la práctica, que evite en lo posible su putrefacción.

Se marcarán con caracteres claros e indelebles las indicaciones siguientes: a 4,5 metros sobre el suelo, el año en que se realizó el tratamiento destinado a evitar su deterioro y encima la longitud total del poste y unas iniciales que permitan conocer la entidad y lugar en que se realizó aquel tratamiento.

Los hilos o cables metálicos, empleados como vientos para el arriostamiento de los apoyos, serán galvanizados y tendrán una sección total mínima de  $25 \text{ mm}^2$  en la parte situada sobre el suelo y de  $50 \text{ mm}^2$  en la parte enterrada, que podrá estar constituida por redondos de hierro de 1 cm. de diámetro como mínimo.

Los empalmes de los vientos y sus conexiones al apoyo y al anclaje fijado a tierra serán realizados en forma que presenten una resistencia a la rotura por lo menos igual a la de los hilos o cables que constituyen el viento. En las líneas de cierta importancia, todos los vientos estarán provistos de tensores, prohibiéndose, en todo caso, tensar aquellos retorciendo los hilos o cables que los constituyen.

Los vientos que arriostren a los apoyos de madera no deberán tocar a los herrajes que soporten a los aisladores, ni a las partes metálicas que estén en contacto eléctrico con aquellos herrajes. Dichos vientos estarán provistos de aisladores, cuya resistencia mecánica será análoga a la del tirante. Estos aisladores distarán más de  $2U/150$  metros (en la que U expresa la tensión eficaz en kilovoltios entre conductores) del conductor más próximo, midiéndose esta distancia en las condiciones de sobrecarga en que la aproximación sea mayor. Los citados aisladores se encontrarán a una altura mínima de 4 metros sobre el suelo, midiéndose esta altura verticalmente sobre el terreno.

En los lugares transitados, los vientos deberán quedar protegidos por tubos metálicos desde el suelo hasta 2 metros de altura medida ésta verticalmente.

ARTICULO .- Diámetro de los Postes de Madera.- El diámetro a la altura del empotramiento de los postes de alineación o de tangente se determinará en la forma que se estime oportuno, pero en ningún caso los diámetros de los postes de madera serán inferiores a los siguientes:

						Diámetro en cm.	
						A dos metros del pie	En el extremo superior
Hasta	8 metros de altura total					16	10
"	9	"	"	"	"	17	11
"	10	"	"	"	"	18	12
"	11	"	"	"	"	19	13
"	12	"	"	"	"	20	13
"	13	"	"	"	"	21	14
"	14	"	"	"	"	22	14
"	15	"	"	"	"	23	15
"	16	"	"	"	"	24	15
"	17	"	"	"	"	25	15
"	18	"	"	"	"	26	15
"	19	"	"	"	"	27	15
"	20	"	"	"	"	28	15
"	21	"	"	"	"	29	15
"	22	"	"	"	"	30	15

Para vanos especiales o postes de ángulo, anclaje o que desempeñen misiones especiales, deberá verificarse el cálculo completo en las condiciones más desfavorables. En cualquier caso, los resultados obtenidos habrán de adaptarse como mínimo a los valores límites señalados en la tabla anterior.

ARTICULO .- Apoyos Metálicos y de Hormigón Armado.- Cuando sea necesario establecer vanos de cierta longitud, por la importancia de la lí-

nea, por la topografía del terreno o por otras razones, se adoptarán apoyos metálicos o de hormigón armado.

No deberán emplearse, salvo para los elementos de importancia secundaria, hierros planos de espesor inferior a 4 mm ni perfiles de un ancho inferior a 40 mm.

En los vanos de gran longitud deberán tenerse en cuenta los efectos que pueda ocasionar la vibración de los conductores. Para evitar las averías a que puedan dar lugar dichas vibraciones se adoptarán aisladores de suspensión y dispositivos especiales.

Los hierros de los apoyos y los herrajes deberán estar protegidos con recubrimientos metálicos o con pinturas de óxido de hierro, de aluminio o análogas.

ARTICULO .- Altura de los Apoyos.- La altura de los apoyos será la necesaria para que los conductores, con su máxima flecha vertical, queden sobre cualquier punto del terreno a la distancia mínima vertical prescrita.

En lugares inaccesibles o de difícil tránsito, las distancias mínimas de los conductores al suelo podrán ser reducidas, siempre que no representen peligro alguno para las personas y cosas.

## 9.2.- CLASIFICACION DE LOS APOYOS Y NORMALIZACION.-

Cuando una línea aérea está en orden y el viento en calma, los apoyos asumen únicamente el peso de la línea. Si se prescinde de los apoyos de ángulo, etc., los apoyos corrientes como son los de alineación o de tangente no sufren esfuerzos horizontales. Debido a ciertas asimetrías, por ejemplo, cuando en los distintos vanos hay diferencias de temperatura apreciables, puede la línea tener la tendencia a desplazarse un poco en una dirección dada. Para reducir en lo posible tales desplazamientos indeseables, es necesario prever de distancia en distancia mástiles de retención o de anclaje, los cuales representan puntos más fir-

mes de la línea aérea.

Mientras que en los apoyos de alineación los aisladores se hallan dispuestos verticalmente, en los de retención se disponen siguiendo la misma línea del cable, Esta última clase de apoyos debe colocarse por lo menos cada 3 kilómetros. En comarcas donde son de esperar grandes sobrecargas, esta distancia debe ser aún más reducida. Si en un apoyo de esta clase se rompe un cable, éste produce en aquél un tirón unilateral que le solicita con un esfuerzo de torsión y al mismo tiempo de flexión.

Otra clase de apoyos son los de final de línea, los cuales han de dimensionarse para soportar la atracción de la línea que sobre ellos se ejerza al romperse alguno de los cables o al variar las condiciones de temperatura.

De lo dicho precedentemente se puede concluir con la siguiente normalización:

ARTICULO .- Tipos de Apoyos.- Los apoyos se clasifican en la siguiente forma:

- a) Apoyos de alineación o de tangente: que sirven únicamente para sostener los conductores y cables de tierra, debiendo ser empleados exclusivamente en alineaciones rectas.
- b) Apoyos de ángulo: que se utilizan para sostener los conductores y cables de tierra en los vértices de los ángulos que forman las alineaciones.
- c) Apoyos de retención o de anclaje: que deben proporcionar puntos firmes en la línea.
- d) Apoyos de final de línea: que deben resistir en sentido longitudinal de la línea a la sollicitación de todos los conductores y cables de tierra.
- e) Apoyos especiales: son aquellos que tienen caracte

terísticas distintas de las comprendidas en la -  
clasificación anterior.

Los apoyos de los tipos enumerados pueden aplicarse -  
a diferentes fines de los indicados, siempre que cumplan las con-  
diciones de estabilidad necesarias al empleo a que se destinen.

Se recomienda, en general, reducir al mínimo el núme-  
ro de tipos de apoyos de una línea.

C A P I T U L O 10

10.- HIPOTESIS PARA EL CALCULO DE LOS APOYOS Y CIMENTACION DE LOS  
MISMOS.

C A P I T U L O 1010.- HIPOTESIS PARA EL CALCULO DE LOS APOYOS.-

Las hipótesis para el cálculo de los apoyos toman en cuenta la simultaneidad de dos o más esfuerzos, los cuales consideran, por ejemplo, para apoyos de retención, la rotura de un cable, el cual produce un tirón unilateral que le solicita con un esfuerzo de torsión y al mismo tiempo de flexión. Por lo tanto, de un apoyo de retención se exigirá que, al romperse un cable y presentarse en él la máxima tensión mecánica posible, pueda resistir los esfuerzos adicionales que son su consecuencia.

En un mástil común y corriente con aisladores colgantes, los esfuerzos de esta clase pueden considerarse menores. Si aquí se rompe un cable, también se ejerce sobre el mástil un tirón unilateral del cable, pero como la cadena de aisladores puede desviarse, el tirón sobre el apoyo disminuye de tal modo que no es necesario contar más que con una mitad de la máxima tracción posible, que el mástil, y naturalmente también la cadena de aisladores, tienen que soportar.

Los apoyos de fin de línea o terminales deben dimensionarse para la tracción unilateral total.

Los reglamentos de diferentes países para el cálculo mecánico de los apoyos consideran el peso de los conductores, el peso propio, la presión del viento, etc. y los combinan simultá-



neamente con condiciones de esfuerzos provocados por la rotura de conductores, etc.

Para el presente trabajo se ha estudiado las normas de varios países y entre ellos se han escogido los reglamentos de España y Chile adoptándolos a las necesidades ecuatorianas para concluir en la siguiente normalización:

**ARTICULO** .- Esfuerzos a considerar en el Cálculo de los Apoyos.-

- 1) Apoyos de alineación o de tangente: Los apoyos se calcularán para los siguientes esfuerzos, pero no simultáneos, sino combinados como más adelante se indica:
  - a) esfuerzos verticales debidos al peso de los conductores, aisladores, herrajes, cables de tierra (si los hubiere) y peso propio del apoyo.
  - b) presión del viento normal a la dirección de los conductores sobre el apoyo, crucetas y aisladores, y simultáneamente sobre los cables de tierra (si los hubiere), en la mitad de cada uno de los dos vanos contiguos.
  - c) presión del viento actuando en la dirección de los conductores sobre el apoyo, crucetas y aisladores.
  - d) esfuerzo horizontal igual a la máxima tensión que pueda transmitir un conductor aplicado en el punto que produzca la sollicitación más desfavorable en cualquier elemento del apoyo, teniendo en cuenta la torsión, en el caso de que aquel esfuerzo sea excéntrico.

Previas las justificaciones pertinentes, podrán tenerse en cuenta a los efectos del esfuerzo de los conductores, los dispositivos que se adopten para reducirlos, así como la que puede ocasionar la desviación de la cadena de aisladores en el caso de rotura del conductor en un vano.

- 2) Apoyos de ángulo: Los apoyos de ángulo se calcularán para los esfuerzos a), b), d), según han sido definidos para los apoyos de alineación o tangente, y,
  - e) la resultante de los esfuerzos máximos produ-

cidos por el ángulo y que tanto los conductores como los cables de tierra (si los hubiere) transmitan al apoyo supuestos unos y otros en las condiciones especificadas en las Hipótesis de Sobrecarga para el cálculo mecánico de conductores: A) presión del viento y B) temperatura, del artículo 24.

- 3) Apoyos de anclaje: Los apoyos de anclaje se calcularán para los esfuerzos a) y b), según han sido definidos para los apoyos de alineación o tangente, y,
- f) igual al d), pero sin ninguna reducción en el esfuerzo máximo que pueda producir el conductor.
- g) dos tercios del esfuerzo máximo de todos los conductores de energía para las líneas de tres conductores, y un medio para los que tengan más de tres; el esfuerzo se supondrá aplicado en el eje del apoyo y a la altura correspondiente al conductor medio.
- 4) Apoyos de fin de línea: Deberán resistir en el sentido de la línea el tiro máximo de todos los conductores y cables de tierra (si los hubiere) coincidente con el peso propio de todos los elementos que integran el apoyo, el de los conductores, cables de tierra y sobrecarga.
- 5) Apoyos especiales: Se justificarán los esfuerzos a que están sometidos, según el empleo a que se destinen.

ARTICULO .- Hipótesis para el Cálculo de los Apoyos.- Las diferentes hipótesis que se tendrán en cuenta para el cálculo de los apoyos serán según se especifican en el Cuadro siguiente:

Tipo de Apoyo	Hipótesis del Cálculo	Observaciones
Alineación	1a: Simultaneidad de a) y b)	Sólamamente para líneas con apoyos flexibles. Podrán proyectarse líneas de tensión igual o superior a 110 KV, con apoyos de alineación que no cumplan la hipó-
	2a: Simultaneidad de a) y c)	
	3a: Simultaneidad de a) y d)	

Tipo de Apoyo	Hipótesis del Cálculo	Observaciones
		<p>tesis 3a, cuando estando asegurada la continuidad del conductor por un coeficiente de seguridad no menor de 3 se haya efectuado el estudio del aislamiento de la línea y del apoyo, por lo que a la distancia de los conductores a masa se refiere, teniendo en cuenta la acción directa del rayo sobre la línea. En esta caso la distancia máxima entre apoyos de anclaje será de 3 Km.</p>
Angulo	<p>1a: Simultaneidad de a), b), y e)  2a: Simultaneidad de a) y d)  3a: La resultante de los esfuerzos transmitidos por los conductores, supuesta una dirección del viento normal a los que determinen el mayor tiro en los dos vanos contiguos al apoyo, y simultáneamente, la presión del viento sobre el apoyo, crucetas y aisladores en la citada dirección.</p>	<p>Sólamamente para apoyos que tengan en la dirección de la resultante un momento resistente menor que en la dirección de esta fuerza. El esfuerzo a que se hallan solicitados los conductores y cables de tierra y que éstos transmitan al apoyo, pueden sustituirse por el obtenido multiplicando la tensión máxima de trabajo admitida por el seno del ángulo de incidencia del viento sobre el conductor.</p>
Anclaje	<p>1a: Simultaneidad de a) y b)  2a: Simultaneidad de a) y f)  3a: Simultaneidad de a) y g)</p>	
Fin de línea	Como se ha especificado en el artículo anterior.	
Especiales	Como se ha especificado en el artículo anterior.	

ARTICULO .- Coefficientes de Seguridad de los Apoyos.-

- 1) Apoyos metálicos: Las estructuras de los diferentes tipos de apoyos anteriormente mencionados, - se calcularán para las hipótesis de carga correspondientes, no empleándose en aquellos coeficientes de trabajo mayores de  $1/2,5$  de la carga de rotura en las hipótesis que constituyen el normal funcionamiento de la línea, y de  $1/2$  de la carga de rotura en las hipótesis tercera de alineación y ángulo y tercera y cuarta de anclaje, que se refieren a rotura de conductores. En este caso, podrá tenerse en cuenta para el cálculo del apoyo el conjunto que forma el mismo con los cables de tierra, cuando estos últimos puedan absorber esfuerzos transmitidos por el apoyo como consecuencia de la elasticidad del mismo, y siempre que no se baje del coeficiente de seguridad dos, anteriormente indicado, en ningún elemento del conjunto.
- 2) Tornillos y Roblones: Se calcularán tomando para su trabajo a flexión o esfuerzo cortante los coeficientes de seguridad que a continuación se expresan, con relación a la carga de rotura por tracción.
- a) acciones normales en las que no interviene rotura de los conductores, coeficiente de seguridad = 3
- b) acciones anormales en las que se toma en consideración la rotura de uno o varios conductores, coeficiente de seguridad = 2,5
- Las acciones anormales a que se refiere son - las que se especifican en los apartados d) y g) del Artículo: Esfuerzos a considerar en el Cálculo de los Apoyos.
- Los tornillos y roblones deberán comprobarse también contra el aplastamiento.
- 3) Apoyos de hormigón armado: En los apoyos de hormigón armado, el coeficiente de seguridad será - de 3 para las condiciones normales de funcionamiento, y de 2,5 en los casos de rotura del conductor.

Como carga de rotura del apoyo podrá tomarse la obtenida por el cálculo. Cuando los procedimientos de fabricación la mejoren, podrá adoptarse la carga correspondiente al valor real - con los coeficientes de seguridad 3 y 2 para acciones normales, -

o anormales, respectivamente, y siempre que dicho valor real, se haya determinado mediante ensayos efectuados en un laboratorio oficial.

- 4) Apoyos de madera: Los coeficientes de seguridad serán de 4 y 2,5, respectivamente para condiciones normales o anormales.

ARTICULO .- Flexión lateral o Pandeo.- Deberán figurar en el proyecto los cálculos justificativos de las piezas que pueden estar sometidas a pandeo, pudiendo emplearse para el cálculo cualquiera de los métodos que la técnica ha sancionado.

El espesor mínimo de los perfiles y chapas a emplear en apoyos y crucetas será de 4 mm.

ARTICULO .- Cimentación de los Apoyos.- Las cimentaciones de los apoyos deberán satisfacer a las dos condiciones siguientes:

- 1) El coeficiente de seguridad contra el vuelco (relación entre los elementos estabilizadores) debido a las reacciones del terreno, calculados teniendo en cuenta la resistencia del mismo y los momentos que tiendan a provocar el vuelco por efecto de las acciones exteriores, no será inferior a los valores que a continuación se expresan:
  - a) acciones normales en las que no se toma en consideración el caso de rotura de conductores: coeficiente mínimo de seguridad contra el vuelco = 1,5
  - b) acciones anormales en las que se toma en consideración la rotura de uno o varios conductores: coeficiente mínimo de seguridad contra el vuelco = 1,25
- 2) En ningún caso se admitirá un ángulo de giro cuya tangente sea superior a 0,01, para llegar a las reacciones estabilizadoras del terreno.

Quando se trate de fundaciones constituidas por bloques superficiales, cuya estabilidad descansa exclusiva o principalmente en su peso (empotramiento lateral nulo o mínimo), será en general determinante y suficiente el cálculo según la condición primera, y por el contrario, cuando se trate de fundaciones constituidas por bloques y penetren profundamente en el terreno, cuya estabilidad proviene en primer término del efecto de empotramiento, será la segunda condición fundamental.

ARTICULO .- Cimentación de los Apoyos de Madera.- Los postes de madera debe--

rán quedar empotrados a una profundidad mínima de 1,30 metros para los de menos de 8 metros de altura, aumentando 0,10 metros por cada metro en exceso.

Se fijarán sólidamente al terreno por medio de coronas de piedra, siendo aconsejable cubrir de éstas el fondo del hoyo, y se prohíbe el empotramiento directo en bloques de hormigón.

Cuando se trate de fundaciones especiales se considerarán que estén formadas de materiales resistentes a la acción del terreno y que el poste de madera quede protegido contra la humedad del suelo. Su resistencia será, como mínimo, igual a la de los postes que soportan, y la cimentación deberá cumplir las normas señaladas en este artículo.

C A P I T U L O 11

11.- CRUZAMIENTOS, PARALELISMOS Y CERCANIAS.

11.1.- Cruzamientos y Paralelismos con Líneas de Telecomunicación.

11.2.- Paralelismos y Cruces con Carreteras, Ferrocarriles, Vías Fluviales, con otras Líneas de Transporte de Energía Eléctrica, etcétera.

C A P I T U L O 1111.- CRUZAMIENTOS, PARALELISMOS Y CERCANIAS.-11.1.- CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS CON LINEAS DE TELECOMUNICACION.

Una línea telefónica que pase en las cercanías de una línea eléctrica de alta tensión puede estar sujeta a perturbaciones debidas a dos causas principales: la inducción electromagnética y la electrostática.

Los fenómenos de inducción electromagnética se manifiestan principalmente en el caso de cortocircuito a tierra en las redes con neutro eficazmente a tierra. Cuando se producen fallas de este tipo, en la línea de alta tensión circulan corrientes de secuencia cero que se cierran a través del terreno originando tensiones inducidas en las líneas próximas. Además, en la proximidad del punto de falla y del de puesta a tierra del neutro de los transformadores, la corriente de tierra crea "tensiones de paso" y si en la cercanía existen conductos metálicos enterrados, éstos son puestos bajo tensión y circula por ellos una cierta corriente.

Fenómenos análogos a los debidos a las fallas a tierra se producen en el caso de puesta en servicio de las líneas o en las maniobras de puesta en paralelo, por causa del cierre no simultáneo de los polos de los interruptores.

Los fenómenos de inducción electrostática son por el



contrario causados por el acoplamiento capacitivo entre los conductores de la línea de alta tensión y los circuitos vecinos. Las tensiones inducidas electrostáticamente tienen características estacionarias, es decir, se mantienen prácticamente invariables en el tiempo.

Las tensiones inducidas, de cualquier origen, pueden provocar fallas en las instalaciones telefónicas y representan un peligro para la seguridad del personal de manutención y para el que emplea teléfonos conectados a líneas sujetas a éstos fenómenos. En efecto, si la tensión inducida sobre la línea de telecomunicación supera la tensión límite del aislamiento, se pueden producir descargas a través de los materiales aislantes, con evidente peligro de incendio.

Finalmente, las tensiones inducidas llegan hasta los receptores telefónicos y pueden producir una onda de presión en el aire comprendido entre el receptor telefónico y la oreja del oyente (efecto de shock acústico) produciendo un daño temporario y, en algunos casos, también permanente a los nervios auditivos.

Además, a estas perturbaciones se debe agregar las debidas a las corrientes de secuencia cero de 60 Hz normalmente presentes en la línea y a las corrientes de secuencia cero de 180 Hz producidas por las corrientes magnetizantes de los transformadores. Estas corrientes pueden producir funcionamiento incorrecto de los aparatos de conmutación automática.

Además, en la línea inductora están presentes muchas armónicas de la tensión fundamental que, cuando el acoplamiento entre dos líneas es muy fuerte, o cuando la línea telefónica no está perfectamente equilibrada, pueden producir ruidos de fondo en las telecomunicaciones.

#### 11.1.1.- Transposición de Fases.-

La disposición de las fases de una o dos ternas sobre la misma estructura presenta siempre notables simetrías, pero no se puede obtener perfectamente la igualdad de las distancias recíprocas entre las diferentes fases y entre éstas y el suelo. Dado que de estos elementos de la geometría del sistema dependen, además del diámetro de los conductores, de los valores de las inductancias y de las capacidades de cada fase, estos valores podrían resultar sensiblemente diferentes entre si.

La transposición de las fases, llevando éstas a ocupar todas las posibles posiciones recíprocas, según un ciclo que puede ser repetido más veces, permite que las distancias arriba indicadas puedan ser consideradas en promedio iguales y en consecuencia elimina casi totalmente las asimetrías electrostáticas y electromagnéticas entre fase y fases.

Se aconsejaba inicialmente esta medida, no solo por consideraciones relativas a las líneas eléctricas, sino también con el fin de proteger las líneas de comunicación paralelas a las líneas de transmisión contra las tensiones perturbadoras causadas

justamente por la asimetría geométrica y electromagnética del sistema.

Siguiendo este punto de vista los CCITT (Cfr. "Directives concernant la protection des lignes electriques industrielles" - año 1.948 de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes), establecían que la longitud máxima del ciclo de transposición de las líneas para el transporte de energía no debía superar los 36 Km. para la disposición de los conductores en triángulo, y los 18 Km. para los otros tipos de disposición.

Con criterios similares las normas VDE 0228/15, prescribían longitudes no superiores a los 80 y 40 Km. respectivamente.

Sin embargo, estudios posteriores han demostrado que estas longitudes pueden ser considerablemente aumentadas sin sensible perjuicio para las líneas de telecomunicación, las cuales, por su parte, tienen ciclos de transposición muy breves, de aproximadamente 4 Km. En efecto ya se comprobó que las tensiones perturbadoras que dependen de la longitud del ciclo de transposición son muy pequeñas en comparación con las que son independientes de él, ya sea en régimen normal de servicio como, con mayor razón, en el caso de fallas. Como prueba de éstos se subraya el hecho que en el último proyecto de recomendaciones de los CCITT, publicado después de la reunión de Ginebra, no figura ninguna prescripción relativa a las longitudes de los ciclos de transposición que

dependa de los paralelismos con las líneas telefónicas. Por lo tanto, actualmente prevalece el criterio de establecer longitud y tipo de transposición sobre la base de consideraciones referentes únicamente a la línea de transporte de la energía.

En los últimos tiempos han sido realizados ciclos con longitud superior a los 200 Km., con notable economía en el costo de las instalaciones.

En lo que se refiere al tipo de transposición, la elección tiene que basarse sobre consideraciones de carácter eléctrico y mecánico, eligiendo preferentemente soluciones que permitan el empleo, para las transposiciones, de los soportes que no presentan diferencias sustanciales con los empleados normalmente en la línea.

#### 11.1.2.- Ejemplo de la Tensión Inducida en una Línea de Telecomunicación.-

A manera de ilustrar el problema se da a continuación el resultado del cálculo de la tensión y la corriente (Estudio y anteproyecto de la línea El Chocón-Buenos Aires) en un sistema constituido por una línea eléctrica de 100 KV con conductores de diámetro de 10 mm. a una altura de 6 metros desde el suelo, dos hilos de guardia de diámetro de 8 mm. a 2 metros de los conductores de fase y un conductor, de diámetro 6 mm. a dos metros del suelo, que corre paralelo a la línea de 100 KV a una distancia de

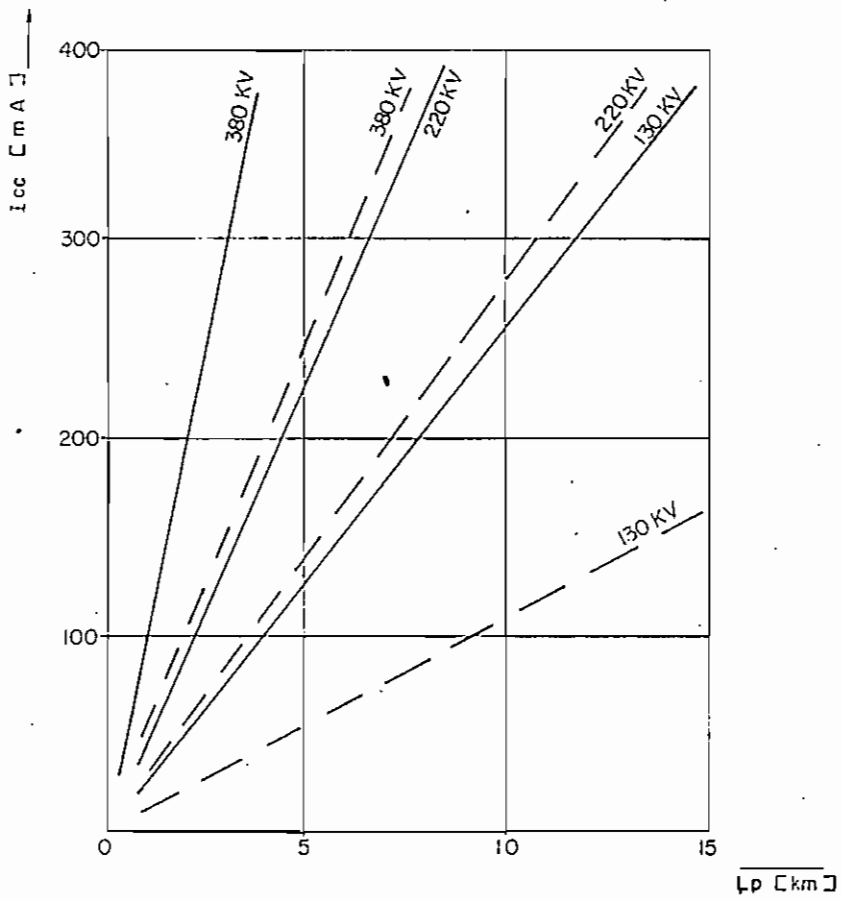
5 metros a lo largo de un tramo de 500 metros y que se aleja de la misma 1.000 metros en ángulo recto. En estas condiciones, la tensión inducida resulta de aproximadamente 1.400 voltios y la corriente de cortocircuito de 5 mA. Si no existiera el tramo en ángulo recto la tensión inducida sería de 4.250 voltios.

El ejemplo precedente sirve para mostrar el orden de magnitud de las tensiones y de las corrientes que se presentan en la práctica.

Las tensiones pueden ser eliminadas fácilmente conectando a tierra el conductor correspondiente. Dado el reducido valor de la corriente, no tienen importancia ni la sección del conductor empleado para la conexión con tierra, ni la resistencia de la puesta a tierra misma.

Estas consideraciones tienen valor para paralelismo del orden de algunos centenares de metros, si la longitud es mayor, las corrientes de cortocircuito resultan proporcionalmente mayores y el contacto con el hilo aislado puede igualmente resultar peligroso.

En la Fig. 11.1 están indicadas las corrientes de cortocircuito en función de la longitud del paralelismo con líneas de 130, 220 y 380 KV, para un conductor distante respectivamente 5 y 10 metros de la fase más externa de la línea de alta tensión y á 10 metros desde el suelo, la corriente sería proporcionalmente menor para conductores ubicados a menor altura desde el suelo.



- DISTANCIA DESDE LA FASE EXTERNA 5 m  
 - - DISTANCIA DESDE LA FASE EXTERNA 10 m.

CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO DE UN CONDUCTOR AISLADO, PARALELO A LA LINEA DE ALTA TENSION, EN FUNSION DE LA LONGITUD DEL PARALELISMO ( $L_p$ ). EL CONDUCTOR ESTA SITUADO A UNA ALTURA DE 10 m. DESDE EL SUELO

FIG II.1

### 11.1.3.- Molestias Debidas a los Ruidos de Fondo.-

El efecto perturbador de las f.e.m. de origen externo sobre una conversación telefónica, se expresa cuantitativamente por la "tensión psfométrica".

La tensión psfométrica entre dos puntos cualesquiera de un sistema telefónico corresponde a la tensión de 800 Hz de frecuencia que, sustituyendo en una línea telefónica a la f.e.m. parásita, produciría la misma perturbación en la conversación telefónica sobre un oyente del tipo medio.

La tensión psfométrica entre dos puntos cualesquiera de una línea telefónica está dada por la expresión:

$$U_{psof.} = \frac{1}{p \ 800} \sqrt{\sum (pf \cdot Uf)^2}$$

donde:

$Uf.$  = Componente a la frecuencia  $f.$  de la tensión parásita debida a la presencia de la línea industrial.

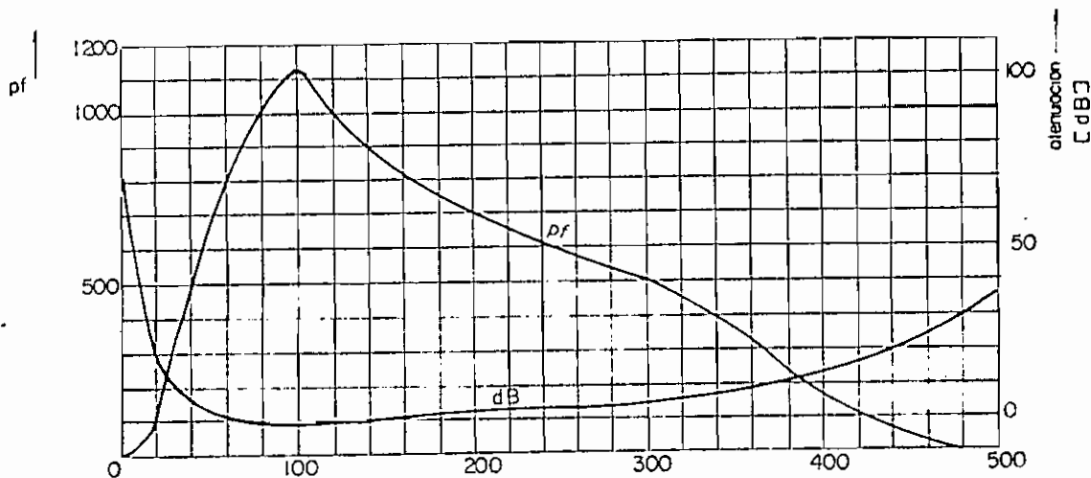
$pf.$  = Peso atribuido a esta frecuencia por las directivas del CCITT (ver el diagrama de la figura 11.2)

La tensión psfométrica en el extremo de una línea telefónica es el doble de la tensión psfométrica medida en los bornes de una resistencia ohmica pura de 600 ohm. conectada en un extremo de la línea, eventualmente por medio de un transformador -

adaptador de impedancia (cuando la impedancia característica de la línea no sea de 600 ohm.), mientras el otro extremo de la línea está cerrado sobre una impedancia correspondiente a la característica.

La tensión psufométrica precedentemente definida no debe superar nunca los 5 mV en las líneas aéreas y los 2 mV en las líneas subterráneas.

Las tensiones psufométricas pueden ser medidas con un aparato especial, el psufómetro, este aparato es un medidor de tensiones alternas, y de alta impedancia interna y equipado con un filtro cuya característica de atenuación se muestra en el diagrama de la Fig. 11.2.



Peso psufométrico para el cálculo de la tensión psufométrica a las varias frecuencias y correspondiente atenuación del filtro del psufómetro

FIG 112



Las molestias inducidas por una línea de alta tensión en una línea de telecomunicación se deben a la presencia de armónicas de tensión y de corriente en la línea inductora. Los generadores, a causa de la distribución no sinusoidal del flujo, producen armónicas de orden impar, las más peligrosas de las cuales son - las del orden múltiplo de tres dado que producen corrientes de secuencia cero que se cierran a través de la tierra. Generalmente, estas corrientes son eliminadas debido a que los generadores es-tán normalmente conectados al primario de baja tensión en triángulo de los transformadores, al cual presenta una impedancia infinita para estas corrientes.

Los transformadores tienen una corriente magnetizante cuya armónica de tercer orden es particularmente intensa. También ella puede ser reducida si uno de los arrollamientos es conectado en triángulo, pero si la saturación es elevada siempre quedan terceras armónicas de corriente en la línea. También las pérdidas - por corona pueden producir armónicas de corriente de tercer orden.

Los medios para reducir estas causas de molestia, actuando sobre la línea de alta tensión, son limitados. La transposición de los conductores puede ser útil para eliminar las asimetrías geométricas de las líneas de alta tensión y reducir así o - anular, las corrientes de secuencia cero causadas por estas asimetrías. Se debe aclarar el concepto que las transposiciones útiles para el fin deseado son solamente las necesarias para equilibrar

la línea (es decir dos por tramo), un número mayor de transposiciones, aún en líneas muy largas, no produciría ningún efecto útil, tanto desde el punto de vista de las líneas de alta tensión como del de las líneas telefónicas.

En lo que respecta a las líneas de telecomunicación, cuando éstas tengan retorno a través de la tierra, no hay posibilidad alguna de reducir las molestias; en el caso más difundido, línea de dos conductores, se puede transportar convenientemente éstos de maneraa que las fuerzas electromotrices en los dos hilos sean iguales y de signo opuesto, anulándose mutuamente.

Como ejemplo en la Fig. 11.3 se indica la longitud máxima del paralelismo admisible desde el punto de vista del ruido, en función de la tensión, de la distancia entre las dos líneas y de la longitud del paralelismo.

#### 11.1.4.- Conclusiones y Normalización.-

Sobre la base de las observaciones precedentes se puede concluir que el funcionamiento de una línea de transmisión de energía es totalmente compatible con el de las líneas de telecomunicación vecinas, siempre que se tomen todas las precauciones que sugiere la experiencia.

Los medios para reducir los peligros que originan estas influencias son generalmente mucho más costosos y menos eficaces si se toman con respecto a la línea de alta tensión en lugar

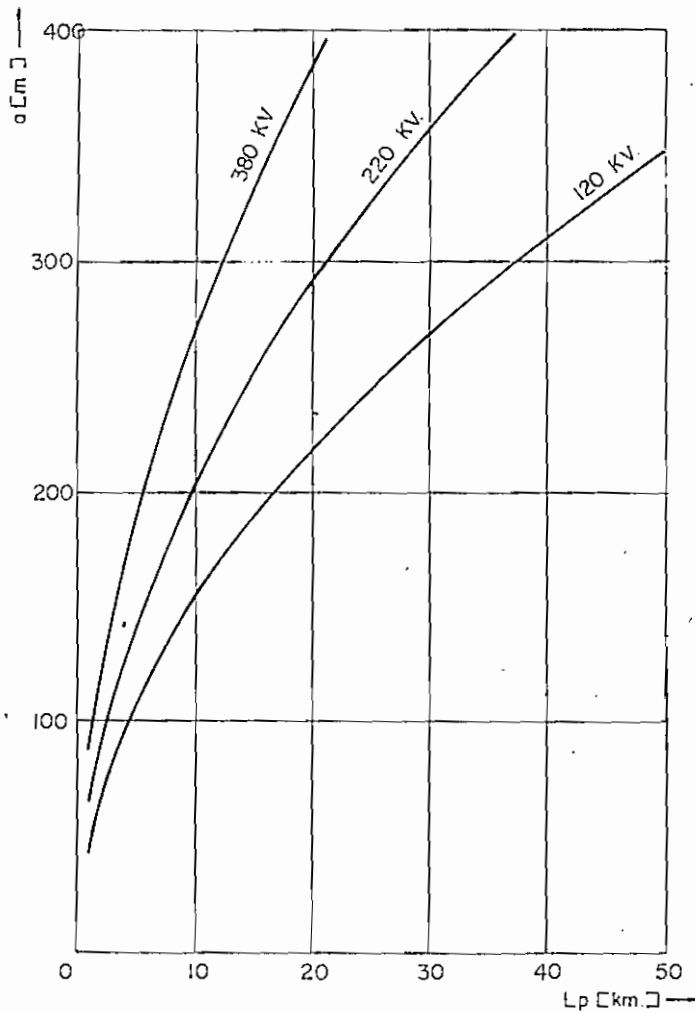


Diagrama para la determinación de la distancia mínima admisible (a), desde el punto de vista del ruido, entre una línea telefónica y líneas eléctricas de 120, 220 y 380 KV. Lp es la longitud del paralelismo

Fig. 11.3

de hacerlo directamente sobre la de telecomunicación. Bajo este punto de vista, la experiencia de servicio resulta óptima, ya sea con tensiones bajas y medias como también con las muy altas hasta 380 KV.

En el Anexo N° 11.1 se pueden observar los reglamentos de algunos países referentes a los cruzamientos y paralelismos de

líneas de telecomunicación con líneas de transporte de energía eléctrica.

De lo dicho en los párrafos precedentes se puede concluir la siguiente normalización:

**ARTICULO** .- Paralelismo con Líneas de Telecomunicación.- Cuando el trazado de una línea de transporte de energía eléctrica deba ir, por circunstancias inevitables, total o parcialmente paralelo a conducciones telegráficas o telefónicas, la separación que se establezca entre aquella y éstas será, como norma general, superior a diez metros.

Si se trata de comunicaciones bifilares o de circuitos combinados y las transposiciones verificadas en la línea de telecomunicación no son suficientes para evitar los efectos inductivos perturbadores, se podrán verificar también transposiciones en la línea de transporte de energía eléctrica.

No obstante, se recomienda como solución más sencilla el desplazamiento en estos casos de la línea de telecomunicación.

**ARTICULO** .- Cruces con Líneas de Telecomunicación.- En el cruce de una línea de telecomunicación y otra de transporte o distribución de energía eléctrica, esta última ocupará la posición superior, y se adoptarán las precauciones indicadas en el artículo correspondiente al cruce entre dos líneas de energía eléctrica.

Si una línea de alta tensión hubiera de cruzar un haz de líneas de telecomunicación se adoptarán en aquella iguales medidas de seguridad que las señaladas para los casos de cruce de carreteras.

**ARTICULO** .- Líneas Telefónicas Auxiliares.- Cuando se trate de líneas de transporte de energía eléctrica a tensión igual o superior a 110 KV y se desee instalar una línea de comunicación auxiliar para la explotación, ésta deberá tenderse sobre apoyos independientes, teniendo presente las disposiciones establecidas anteriormente, para el paralelismo con líneas de telecomunicación.

Si se trata de una línea de transporte de energía eléctrica a tensión inferior a 110 KV, la de comunicación podrá instalarse sobre los apoyos de la de alta tensión, siempre que se trate de comunicación directa, sin derivaciones permanentes, fuera del trazado general de ésta.

Podrá adoptarse también como medio de comunicación

el de ondas dirigidas (portadoras) por los conductores de alta tensión, utilizando los filtros correspondientes.

11.2.- PARALELISMOS Y CRUCES CON CARRETERAS, FERROCARRILES, VIAS-  
FLUVIALES, CON OTRAS LINEAS DE TRANSPORTE DE ENERGIA ELEC-  
TRICA, ETCETERA.-

En este subcapítulo se presentan las normas (casi comunes en los reglamentos de los diferentes países) sin mayor explicación, ya que éstas son obvias y se explican por si solas. De esta manera se evita la redundancia y la explicación de ciertos detalles, que, por su naturaleza se los considera sobreentendidos, inclusive entre personas legas en la materia.

Las normas de este subcapítulo están basadas en el Reglamento Español.

ARTICULO .- Paralelismo con Carreteras, Ferrocarriles, Vías  
Fluviales, etc.- Como medida general, se prohíbe la instalación de líneas de transporte de energía eléctrica en alta tensión, paralelas a carreteras, ferrocarriles, vías fluviales, etc., siempre que la distancia desde la traza del plano vertical determinado por el conductor más próximo hasta el borde de la carretera, ferrocarril o vía fluvial, sea inferior a vez y media la altura de los apoyos.

Cuando excepcionalmente y en caso justificado, una línea de alta tensión haya de establecerse paralelamente a una carretera, ferrocarril o vía fluvial y el conductor más próximo se halle situado a una distancia inferior a la señalada en el párrafo anterior, habrá de reunir, además de las condiciones generales consignadas en los artículos correspondientes, las especiales que fijen los Organismos competentes y las que se detallan a continuación:

a) Los apoyos se colocarán a una distancia tal del borde de la carretera o de la vía, que la traza del plano vertical determinado por el conductor más próximo, quede a tres metros del referido borde.

b) Se procurará que no existan uniones o empalmes de los conductores en el trayecto citado, y de ser ello imprescindible

dible, se efectuarán en el puente de conexión que al efecto se --  
dispondrá en el apoyo correspondiente a dicha unión o empalme.

c) Se colocará un apoyo de anclaje cada seis vanos.

d) Si los apoyos fuesen de madera, irán reforzados  
en su base, al menos hasta 50 centímetros sobre el suelo, con pie  
zas de hierro, hormigón armado o similares, convenientemente empo  
tradas en el terreno.

ARTICULO .- Paralelismo con otras Líneas de Transporte de Ener-

gía Eléctrica.- Se entenderá que existe paralelismo  
cuando dos o más líneas próximas si  
guen aproximadamente la misma dirección, aunque sus trazas no --  
sean rigurosamente paralelas.

Siempre que sea posible, se evitará la construcción  
de líneas paralelas de transporte o de distribución de energía -  
eléctrica, a distancias inferiores entre las trazas de los conduc  
tores más próximos a 100 metros.

Si por razones justificadas hubiese que establecer  
las en su totalidad o en algunos trayectos a menor distancia, se  
reducirá ésta lo menos posible y en todo caso la separación míni  
ma entre la traza de los conductores más próximos de las dos lí  
neas será como mínimo vez y media la altura de los apoyos de la m  
más elevada.

Si al efectuar nuevas instalaciones y con objeto de  
cumplir lo preceptuado en orden a la distancia mínima entre lí  
neas paralelas fuese necesario efectuar variaciones en líneas o -  
instalaciones existentes, serán ejecutadas, si no hay acuerdo es  
pecial, por el propietario de éstas a cuenta del de las nuevas -  
instalaciones, previa intervención de la Dirección de Recursos -  
Energéticos.

ARTICULO .- Líneas sobre Apoyos Comunes.- El tendido de dos lí

neas de diferente ten  
sión en apoyos comunes se permitirá únicamente cuando sean de -  
iguales características en orden a la clase de corriente y fre --  
cuencia, salvo que se trate de líneas de transporte y telecomuni  
cación o maniobra de la misma empresa y siempre que estas últimas  
estén afectadas exclusivamente al servicio de las primeras.

En los demás casos deberán cumplirse las siguientes  
condiciones:

a) La línea más elevada será la de mayor tensión.

b) Los apoyos serán de altura suficiente para que -  
la separación de los conductores sea la que con carácter general  
se exige, quedando además entre el conductor más bajo de la supe  
rior y el más alto de la inferior, en las condiciones de hipóte--  
sis más desfavorables, una diferencia de altura igual a 1,5 veces  
la longitud de la cadena correspondiente a la línea de mayor ten

sión.

c) El conductor más bajo estará en cualquier punto a la altura mínima dispuesta en el artículo correspondiente a distancias de los conductores al suelo.

d) Las líneas que vayan sobre los mismos apoyos se considerarán como de tensión igual a la de las más elevadas, a los efectos de explotación, conservación y seguridad en relación con las personas y cosas, sin perjuicio de que el aislamiento de cada línea sea el que corresponde a su tensión.

**ARTICULO** .- Cruce de Carreteras.- El cruce con carreteras, caminos, cercados y lugares frecuentados por personas o ganado, por líneas de transporte de energía eléctrica, no obligará al cambio de alineación previsto en el proyecto, ni al de longitud del vano, a no ser que la longitud del cruce tenga lugar bajo un ángulo inferior á 10 grados sexagesimales. Tampoco obligará al empleo de tipos de apoyo distintos a los que corresponda establecer por su situación en la línea (alineación, ángulo, anclaje, etcétera.).

Para los cruces de la naturaleza indicada, se exigirán las siguientes condiciones:

a) Los conductores, y en caso los cables de tierra, no presentarán ningún empalme en el vano de cruce.

b) Al efectuar el cálculo de las condiciones más desfavorables, los coeficientes de seguridad de los dos apoyos y crucetas que limitan el vano de cruce deberán multiplicarse por el factor 1,5 en relación con los empleados en los restantes apoyos de la línea.

Este mismo factor, afectará a los coeficientes de seguridad de las fundaciones de los apoyos de cruce.

c) La altura mínima del vano de cruce, sobre la rasante de la carretera en las condiciones más desfavorables cumplirá lo preceptuado en el artículo correspondiente a distancias de los conductores al suelo. Si se trata de algún caso determinado en el que por circunstancias especiales se precise mayor altura, será ésta la necesaria para no crear la menor dificultad o peligro para el tráfico, ni para las separaciones que pudiesen ser necesarias en la vía cruzada.

**ARTICULO** .- Cruce de Ferrocarriles.- En los cruces sobre vías férreas y en sus estaciones y muelles se prohíbe el empleo de apoyos de madera y se cumplirán las condiciones detalladas en el artículo anterior, procurando a la vez que uno de los apoyos de la línea de alta tensión quede lo más próximo posible al límite de la zona cuyo cruce se pretende establecer sin pasar de los límites mínimos establecidos para el paralelismo con carreteras, ferrocarriles, vías fluviales, etc.

La altura mínima señalada en el artículo anterior

se medirá a partir del nivel superior de los carriles.

ARTICULO .- Cruce de Ríos y Canales de Navegación.- En el cruce de una vía fluvial navegable por una línea de tensión igual o inferior á 110 KV, la parte más baja de los conductores quedará a una distancia de dos metros de la chimenea o arboladura más elevada de los barcos que naveguen por aquella, y tendrá un mínimo de siete metros sobre las cubiertas de los barcos que carezcan de velas o chimineas, considerando en todo caso el curso de agua cuando alcance su más alto nivel.

Para las líneas de tensión superior á 110 KV se considerará elevada la citada altura en un centímetro por cada kilovoltio en exceso.

Se cumplirán además las restantes condiciones referentes a cruces de carreteras.

ARTICULO .- Cruces sobre Edificios.- En el cruce de líneas de tensión igual o inferior á 110KV sobre edificios o construcciones cualesquiera, cuando ello fuere indispensable, la altura de los apoyos será tal que los conductores queden, en las condiciones más desfavorables de flecha, cinco metros más altos que los puntos más elevados. En las líneas de tensión superior á 110 KV, se aumentará la distancia a razón de un centímetro por cada kilovoltio en exceso.

Cuando se trate de puntos inaccesibles del edificio o en general, del obstáculo sobre el cual ha de pasar la línea, la altura de los conductores, en las peores condiciones de flecha, será superior a cuatro metros.

En lugares perfectamente visibles de los edificios u obstáculos sobre los cuales ha de pasar la línea, y principalmente en las proximidades de las bocas de agua para incendios, se fijarán placas que indiquen la necesidad de avisar a la empresa suministradora de energía eléctrica para que, en caso de incendio, suspenda el servicio a la zona afectada, antes de emplear el agua para la extinción del fuego.

ARTICULO .- Cruces con otras Líneas de Energía Eléctrica.- En los cruces con otras líneas de energía eléctrica se situará por encima la de tensión más elevada. Cuando sean iguales las tensiones de las líneas que han de cruzarse, cruzará por encima de la existente la que se instale con posterioridad.

En la línea superior se adoptarán para el vano de cruce, así como para los dos apoyos y crucetas que limitan éste, las características de seguridad señaladas para el cruce de carreteras.



Se procurará que el cruce se efectúe en la proximidad de uno de los postes de la línea más elevada. Sin embargo, la distancia horizontal entre los conductores de la línea inferior y las partes más próximas de los apoyos de la superior no será menor de  $( 1,5 + f/2 )$  metros, siendo  $f$ , la flecha de los conductores de la línea inferior en el punto de cruce y en las condiciones más desfavorables de flecha.

La separación vertical entre los conductores de ambas líneas tendrá un valor mínimo de  $( 1,5 + a + b + c )$  metros, siendo:

- a = longitud en metros a razón de un centímetro por metro de distancia entre el punto de cruce y el apoyo más próximo de la línea superior.
- b = longitud en metros a razón de un centímetro por metro de distancia entre el punto de cruce y el apoyo más próximo de la línea inferior.
- c = longitud en metros a razón de un centímetro por kilovoltio de la tensión de servicio de la línea cuya tensión sea más elevada.

Estas distancias se entenderán considerando los conductores de la línea superior en las condiciones más desfavorables de aproximación.

Únicamente en casos muy justificados se permitirá que la línea de menor tensión se tienda por encima de la de tensión más elevada, adoptando entonces, para ambas, las precauciones señaladas para el cruce de carreteras.

Asimismo, se autorizará excepcionalmente que se fijen sobre un mismo apoyo dos líneas que se crucen. En este caso, deberán cumplirse para ambas líneas las citadas precauciones para el cruce de carreteras.

**ARTICULO** .- Cercanías de Aeropuertos.- Para establecer líneas de alta tensión en las cercanías de aeropuertos, se tendrán presentes las reglamentaciones de la Ley de Aeropuertos de Julio de 1966, y las que en lo sucesivo se promulguen referentes a esta cuestión.

Los apoyos deberán hacerse bien visibles, mediante pinturas adecuadas, disponiéndose además en los conductores de las líneas importantes, en los tramos peligrosos, esferas metálicas, preferentemente de aluminio, recubiertas alternadamente con pinturas fluorescentes amarillas y rojas.

A N E X O N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 1 de 28

ALEMANIA.-Cruzamientos inferiores con líneas de telecomunicación.-

Podrán disponerse hilos o cables de acero galvanizado de protección, cobre duro o bronce.

Si la de telecomunicación fuese del Estado se evitará, a ser posible, que quede por encima.

La altura de los hilos o cables de protección sobre el conductor más bajo de telecomunicación será de 2 mts. como mínimo.

En los cruzamientos con líneas de telecomunicación de propiedad particular, podrán disponerse mallas de protección.

Hilos, cables y mallas quedarán unidos a tierra por el metal de los apoyos.

La distancia de los conductores de la línea eléctrica a los apoyos de la de telecomunicación, será de 1,25 mts.

Cruzamientos superiores con líneas de telecomunicación.-

Se aplicarán las normas de "cruzamientos con líneas eléctricas". Si las de telecomunicación fuesen del Estado, las normas serán las de "cruzamientos con ferrocarriles".

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 2 de 28

En primera categoría, los conductores de las líneas eléctricas podrán ser aislados, tipo intemperie, siempre que entre fase y tierra la tensión no exceda de 250 V, y las de telecomunicación no fueran del Estado. Si la tensión estuviese comprendida entre 250 V. y 1 KV, la distancia entre circuitos será de 1,50 m. La línea eléctrica se dispondrá con seguridad reforzada.

En segunda se aplicarán las normas de "cruzamientos de líneas de segunda con las de primera"; siempre que las de telecomunicación no fueran del Estado.

Si las líneas y aparatos de telecomunicación llevasen protecciones, se aplicarán las normas de "cruzamientos de líneas de segunda categoría".

Paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a mayor altura que las eléctricas.- Queda prohibido.

Paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a menor altura que las eléctricas.-

Si sobre apoyos comunes se instalasen una de segunda categoría y otra de telecomunicación se aplicarán las normas de "paralelismo con líneas eléctricas de primera y segunda categoría"

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 3 de 28

AUSTRALIA.-Cruzamientos inferiores con líneas de telecomunicación.-

Solamente se autorizarán cruzamientos por debajo de las de telecomunicación si la tensión fuese igual o inferior a 650 V.

Las protecciones se dispondrán con cables que serán calculados para las mismas hipótesis que los conductores.

Se los instalará por encima de los conductores sobresaliendo de éstos lateralmente. Su número variará de 2 á 4.

Quedan prohibidas las mallas de protección.

La distancia de los conductores de la línea eléctrica a los apoyos de la de telecomunicación será de 3 mts.

Cruzamientos superiores con líneas de telecomunicación.-

Seguridad normal.

Paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a mayor altura que las eléctricas.-

Se considerará que los conductores de telecomunicación podrán caer sobre los de la línea eléctrica cuando la separa

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 4 de 28

ción horizontal entre ambas líneas sea inferior á 10 metros.

La distancia horizontal de los conductores eléctricos a los apoyos de la de telecomunicación será de 3 metros.

Paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a menor altura que las eléctricas.-

Se guridad reforzada. La distancia vertical mínima entre los diferentes circuitos será:

0,60 m.	si $U < 650$ V.
1,20 m.	si $U = 650$ V.
1,80 m.	si $U > 650$ V.

AUSTRIA.-Cruzamientos inferiores con líneas de telecomunicación.-

Las de telecomunicación quedarán a ser posible por debajo.

Los hilos o cables de protección podrán ser de cobre o de acero galvanizado.

En segunda categoría se admitirán, aunque deberán evitarse en lo posible, las mallas de protección de acero galvanizado en caliente. Los elementos longitudinales podrán ser hilos de

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 5 de 28

3 mm. de diámetro o cables. Los transversales, igual y del mismo diámetro. La separación entre aquellos será de 0,25 m. La distancia horizontal a los conductores de la línea eléctrica, 0,20 m., y la vertical, 0,40 m. La separación entre elementos transversales de la malla será de 0,50 metros.

La distancia vertical de la misma al conductor de telecomunicación más bajo será de 1,25 metros.

Hilos, cables y mallas quedarán unidos a tierra por el metal de los apoyos. Si fuesen de cobre tendrán  $16 \text{ mm}^2$  de sección, y si de hierro,  $35 \text{ mm}^2$ .

La distancia de los conductores de la línea eléctrica a los apoyos de la de la de telecomunicación será de 1,50 metros.

Cruzamientos superiores con líneas de telecomunicación.-

De primera categoría, seguridad normal. El vano de la línea eléctrica no excederá de 50 metros.

Longitud del vano	Carga de rotura de los conductores de la línea eléctrica - en kilogramos.
Hasta 15 m	350
Desde 15 hasta 25 m.	400
Idem 25 hasta 50 m.	600
Hierro y acero	800

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 6 de 28

En segunda categoría, seguridad reforzada. Se aplicarán las normas de "cruzamientos con ferrocarriles". No serán obligatorios zócalos de hormigón en los apoyos de madera impregnada. La línea de telecomunicación quedará protegida por un hilo unido a tierra.

La distancia entre circuitos será de 1 m. La distancia horizontal entre los apoyos de la línea eléctrica y los conductores de telecomunicación será de 1,50 metros.

Paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a mayor altura que las eléctricas.-

La distancia horizontal de los conductores eléctricos a los apoyos de la de telecomunicación será la altura de los apoyos aumentada en 2 metros.

BELGICA.-

Cruzamientos inferiores con líneas de telecomunicación.-

Los cruzamientos podrán ser por debajo de las de telecomunicación en todas las categorías excepto las de tercera, subdivisión H<sub>2</sub>.

Los hilos o cables de protección por debajo de las lí

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 7 de 28

neas de telecomunicación serán obligatorios cuando la tensión de la línea eléctrica no exceda de 250 V. Entre fases o entre fase y neutro, estando éste unido a tierra de un modo eficaz, permanente y duradero.

La distancia vertical del conductor eléctrico más alto al más bajo de telecomunicación será de 0,75 mts. en la hipótesis de temperatura de 40° sin viento.

Si la tensión excediera de 250 V, sin llegar á 15.000 V, entre fases o entre fase y neutro, estando éste unido a tierra, también serán obligatorios o bien se instalarán dispositivos semejantes que ofrezcan una seguridad equivalente y que hayan sido - aprobados por la Administración.

Si la tensión no excediese de 375 V, entre fases o entre fase y neutro estando éste unido a tierra, los dispositivos - de protección podrán ser sustituidos por el refuerzo de la línea de telecomunicación (aumento del diámetro de sus hilos y refuerzo de apoyos).

Los hilos y cables de protección podrán ser de bronce fosforoso o similares. Su diámetro será de 3,5 mm. y la carga de rotura de 50 Kg/mm<sup>2</sup>.



CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 8 de 28

Se los dispondrá a una distancia vertical mínima de 0,25 mts. por encima de los conductores a proteger y lateral y exteriormente á 0,10 mts. como mínimo y a 0,20 mts. como máximo de dichos conductores. Se instalarán dos como mínimo. Cuando se precise se aumentará su número de modo que no sea sobrepasada la separación de 0,80 mts. entre dos de ellos.

La distancia vertical al hilo más bajo de telecomunicación será por lo menos de 1 m. en la hipótesis de temperatura de 40°C sin viento.

Para las mallas de protección se aplicarán las normas de hilos y cables.

Se instalarán con carácter obligatorio en vez de los hilos y cables cuando el ángulo de cruzamiento sea inferior á 45° sexagesimales.

Los elementos longitudinales de las mallas serán cables de bronce fosforoso o similares. Su diámetro será de 4 mm. y la carga mínima de rotura de 50 Kg/mm<sup>2</sup>. Los transversales podrán ser hilos de 2 mm. de diámetro separados entre si 0,80 metros.

La altura de la malla sobre el hilo de telecomunicación más bajo a la temperatura de 40°C sin viento será de 1 metro.

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 9 de 28

Hilos, cables y mallas quedarán unidos a tierra por sus dos extremos.

Si la longitud excede de 200 mts. se dispondrán una o varias tierras distribuidas de modo que la distancia entre dos consecutivas no sea mayor de 200 metros.

Si los apoyos fuesen de madera o palomillas sujetas a muros las uniones a tierra tendrán 5 mm. de diámetro sean de cobre, bronce, hierro o acero galvanizado. Se admitirá hacerlo por el metal de los apoyos.

La distancia de los conductores de la línea eléctrica a los apoyos de la de telecomunicación será:

Si la tensión de la línea eléctrica no excediese de 250 V entre fase o entre fase y neutro estando éste unido a tierra, 1 metro.

Si excediese de 250 V sin llegar á 15.000 V entre fase o entre fase y neutro estando éste unido a tierra, 1 m., aumentando en la cota de seguridad eléctrica sin que la distancia sea menor de 1,75 metros.

Cruzamientos superiores con líneas de telecomunicación.-

En primera categoría y con tensiones que no excedan -

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 10 de 28

de 250 V entre fases o entre fase y neutro estando éste unido a tierra eficazmente de un modo permanente y duradero, seguridad normal. Sólo se autorizarán los empalmes mecánicos.

La sujeción a los aisladores impedirá todo deslizamiento incluso en caso de rotura del conductor en un vano contiguo. Si la tensión fuese mayor no se dispondrá empalme alguno.

En segunda y tercera categoría la sujeción de conductores se dispondrá con seguridad reforzada.

La distancia entre los diferentes circuitos sera de 0,50 mts. en primera categoría con tensión hasta de 250 V en las condiciones citadas anteriormente y de 1,50 mts. para tensiones mayores, pero que no alcancen a ser clasificadas en tercera categoría, subdivisión H<sub>2</sub>.

Para éstas últimas será 2,50 veces la cota de seguridad eléctrica con un mínimo de 2 mts. Si los aisladores fuesen de cadena el coeficiente 2,50 podrá ser reducido á 1,25 en la hipótesis de rotura del conductor inferior de un vano contiguo y la altura mínima de 2 mts. será de 1,50 metros.

La distancia de los apoyos de la línea eléctrica a los conductores de la de telecomunicación será la indicada para -

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 11 de 28

"cruzamientos inferiores con líneas de telecomunicación".

Paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a mayor altura que las eléctricas.-

Se autorizará cuando la tensión de la línea eléctrica no exceda de 250 V entre fases o entre fase y neutro estando éste unido a tierra, así como en líneas de mayor tensión, pero sin que exceda de 15.000 V y ambas líneas estuviesen instaladas a los dos lados de una carretera.

Se considerará que los conductores de telecomunicación podrán caer sobre los de la línea eléctrica cuando uno de ésta se hallase comprendido en el diedro que tenga por arista a uno cualquiera de los de telecomunicación y por caras un plano vertical y otro inclinado 45° sexagesimales sobre el horizontal. En este caso la protección será una malla o cualquier otro dispositivo similar aprobado por la Administración.

Si la tensión no excediera de 375 V entre fases o entre fase y neutro estando éste unido a tierra se aplicarán las normas de los hilos o cables de protección.

La distancia horizontal de los conductores eléctricos a los apoyos de la de telecomunicación será la indicada en los -

CONTINUACION ANEXO Nº 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 12 de 28

"cruzamientos superiores con líneas de telecomunicación".

Paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a menor altura que las eléctricas.-

Será obligatorio que las de telecomunicación estén a menor altura que las eléctricas si éstas fuesen de tercera categoría, subdivisión H<sub>2</sub>.

Si un conductor de telecomunicación se hallase comprendido en el diedro antes citado los de la línea eléctrica no tendrán empalmes ni soldaduras e irán sujetos a los aisladores de modo que quede impedido todo deslizamiento.

Si la tensión excediese de 250 V en las condiciones ya citadas la sujeción de conductores se dispondrá con seguridad reforzada.

La distancia horizontal a los apoyos de la de telecomunicación será la indicada anteriormente.

CANADA.-

Paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a mayor altura que las eléctricas.-

Se procurará evitarlo. La distancia horizontal de los

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 13 de 28

conductores eléctricos a los apoyos de la de telecomunicación será de 1,20 en primera y segunda categoría, y de 1,80 mts. en tercera.

Paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a menor altura que las eléctricas.-

No podrán disponerse al mismo lado de una carretera más que en caso de absoluta necesidad, y en estas condiciones los apoyos serán comunes, a condición de que la tensión respecto a tierra no exceda de 7.500 V.

ESPAÑA.-

Paralelismo con líneas de telecomunicación.-

Cuando el trazado de la línea eléctrica deba ir por circunstancias inevitables total o parcialmente paralelo a líneas telegráficas o telefónicas, la separación que se establezca entre aquéllas y éstas será, como norma general, superior á 10 mts.

Si se trata de comunicaciones bifilares o de circuitos combinados o las transposiciones verificadas en la línea de telecomunicación no son suficientes para evitar los efectos induc

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 14 de 28

tivos perturbadores, la solución más conveniente en este caso es la modificación de la línea de telecomunicación.

También podrá modificarse el emplazamiento de las líneas telegráficas de un solo conductor, ya que en este caso no cabe tomar precauciones.

Quando se comprueba que las perturbaciones son producidas por las líneas de alta tensión, procurarán los servicios técnicos de las entidades que tengan a su cargo ambas líneas, mediante transposiciones u otros procedimientos suprimir aquéllas, y si esto no fuera posible, se modificará el trazado de la de telecomunicación, realizándose unas u otras por la entidad propietaria de esta última y por cuenta de la constructora de la nueva línea, de modo que no se interrumpa el servicio de la instalación preexistente.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA.-Cruzamientos inferiores con líneas de telecomunicación.-

Las de telecomunicación quedarán a ser posible por debajo y si así no fuesen se aplicarán a la primera las normas "Cru

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 15 de 28

zamientos con líneas eléctricas" considerando a la de telecomunicación como de hasta 750 V.

Los hilos o cables de protección quedarán del conductor de telecomunicación más bajo a una distancia vertical mínima de 0,60 metros.

Para las mallas de protección se aplicarán las normas de los hilos y cables de protección.

La distancia de los conductores de la línea eléctrica a los apoyos de la de telecomunicación será de 0,90 metros.

Cruzamientos superiores con líneas de telecomunicación.-

Según la tensión de la línea eléctrica se aplicarán las normas de zonas de sobrecargas grandes, medias o pequeñas.

La distancia entre los distintos circuitos será de 1,20 mts. si la tensión no excediese de 7.500 V, y de 1,80 mts. si fuese mayor. La de los apoyos de la línea eléctrica a los conductores de telecomunicación, 0,90 metros.

Paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a mayor altura que las eléctricas.-

Se procurará evitarlo. Si no fuera posible ambas se--



CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 16 de 28

rán consideradas como líneas eléctricas.

La distancia horizontal de los conductores eléctricos a los apoyos de la de telecomunicación será de 0,90 metros.

Paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a menor altura que las eléctricas.-

Se aplicarán las normas de "cruzamientos con líneas de telecomunicación".

GRAN BRETAÑA.-Cruzamientos inferiores con líneas de telecomunicación.-

Las de primera categoría podrán quedar por encima o por debajo de las de telecomunicación. Las de segunda por encima.

En el caso de línea trifásica de baja tensión con neutro a tierra, se admitirá disponer al último como protección por encima de los demás conductores.

Los hilos y cables de protección serán de acero galvanizado, cobre duro o bronce de  $12 \text{ mm}^2$  de sección y de 635 Kg. de carga de rotura. Se los dispondrá a 0,20 mts. por encima de los conductores a proteger.

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTO Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 17 de 28

Las mallas de protección sólo se admitirán si la línea eléctrica cruzase por encima de la de telecomunicación. Sus elementos longitudinales serán de acero galvanizado y de cobre o bronce en los lugares en que el primero pudiera sufrir corrosiones. Podrán ser hilos de  $12 \text{ mm}^2$  de sección si las líneas son de primera categoría y de  $21 \text{ mm}^2$  si de segunda. Las cargas de rotura serán de 635 y de 1.116 Kg., respectivamente.

La separación máxima entre elementos transversales será de 0,60 mts. en la parte de la malla situada por encima de la línea de telecomunicación y se prolongará 2 mts. a cada lado de la última.

Hilos cables y mallas quedarán unidos a tierra por sus dos extremos.

Si la longitud excediese de 200 yardas (180,88 mts.) se dispondrán una o varias tierras intermedias, de modo que la distancia entre dos consecutivas no sea mayor de 200 yardas (180,88 mts). Las uniones citadas serán de cobre de sección adecuada a la corriente correspondiente al caso de contacto con conductores en tensión.

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 18 de 28

Cruzamientos superiores con líneas de telecomunicación.-

En primera categoría, seguridad normal. En segunda se aplicarán las normas de "cruzamientos con carreteras", disponiéndose una malla de protección en apoyos independientes o bien sujeta a los de la línea eléctrica, si estos fuesen metálicos o de madera.

La distancia entre los diferentes circuitos será, en primera categoría, de 1,20 mts. o de 0,90 mts. si aquella fuese difícil de respetar. Podrá llegarse a un mínimo de 0,60 mts. si los cambios de temperatura y las mayores sobrecargas de hielo no suponen flechas de consideración.

HOLANDA.-Cruzamientos inferiores con líneas de telecomunicación.-

Las de telecomunicación quedarán por debajo. Las uniones a tierra podrá hacerse por el metal de los apoyos.

La distancia de los conductores de la línea eléctrica a los apoyos de la de telecomunicación será de 1,50 metros.

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 19 de 28

Cruzamientos superiores con líneas de telecomunicación.-

Se aplicarán las normas "cruzamientos con líneas eléctricas".

ITALIA.-Paralelismo con líneas de telecomunicación.-

Para cumplir las presentes normas, es decir, para lo referente a la seguridad contra el contacto de peligros accidentales, se admite el paralelismo de líneas eléctricas con las de telecomunicación cuando entre ambas exista una distancia axial no menor que la altura fuera del terreno de los apoyos de mayor longitud, siempre que la tensión de la línea eléctrica sea superior á 1.200 V en corriente continua y á 500 V en alterna, para tensiones inferiores la distancia axial no será menor de 4 metros.

JAPON.-Cruzamientos inferiores con líneas de telecomunicación.-

Los hilos y cables de protección serán de acero galva

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 20 de 28

nizado de  $12,5 \text{ mm}^2$  de sección y de 440 Kg de carga de rotura.

Horizontal y lateralmente sobresladrán 0,30 mts. de los conductores a proteger.

Se instalarán por lo menos dos y quedarán del conductor de telecomunicación más bajo a una distancia vertical mínima de 0,60 metros.

Las mallas de protección sustituirán a los hilos y cables citados cuando el ángulo de cruzamiento fuese inferior a  $45^\circ$  sexagesimales.

Los elementos longitudinales de las mallas serán de acero galvanizado, podrán ser hilos de  $12,5 \text{ mm}^2$  de sección. Los transversales, de 2,6 mm. de diámetro, separados entre sí 1,50 m.

La separación vertical entre la malla y el conductor de telecomunicación más bajo será de 0,60 metros.

Quedan prohibidas las uniones a tierra por el metal de los apoyos.

La distancia de los conductores de la línea eléctrica a los apoyos de la de telecomunicación será de 2 metros.

Cruzamientos superiores con líneas de telecomunicación.-

Seguridad reforzada. En primera categoría la separa--

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 21 de 28

ción entre los diferentes circuitos será de 1 m. En las demás --  
1,50 metros.

La distancia de los apoyos de la línea eléctrica a los conductores de telecomunicación será de 2 metros.

Paralelismo con las líneas de telecomunicación instaladas a mayor altura que las eléctricas.-

La distancia horizontal de los conductores eléctricos a los apoyos de la de telecomunicación será de 1 m. en primera categoría y de 1,50 mts. en segunda.

NORUEGA.-

Cruzamientos con líneas de telecomunicación.-

Las de telecomunicación quedarán por debajo.

Se aplicarán las normas de "cruzamientos con líneas eléctricas". En segunda categoría se dispondrán dos hilos de protección bajo la línea eléctrica.

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS DELECTRICAS.

Hoja 22 de 28

POLONIA.-Cruzamientos inferiores con líneas de telecomunicación.-

Las de telecomunicación podrán quedar por encima si - lo contrario representara grandes dificultades técnicas o económicas.

Si una línea de segunda categoría pasara por encima - de otra de telecomunicación, aquélla quedará instalada con seguridad reforzada de segundo o tercer grado. Si fuera de segundo se - dispondrán hilos o cables de protección de cualquier metal autorizado para conductores, a excepción del aluminio y sus aleaciones.

Podrán ser hilos si el vano no excede de 80 metros.

En primera categoría los hilos de acero y hierro no - se admitirán para líneas con seguridad normal o con seguridad reforzada de primer grado.

En segunda categoría los hilos de cobre y bronce no - se admitirán más que para líneas de seguridad normal.

Quedan prohibidos los hilos si las líneas tuviesen seguridad reforzada de tercer grado.

La carga de rotura de los hilos y cables de protección

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 23 de 28

será; a igualdad de metales, la de los conductores correspondientes a la seguridad normal o a la reforzada de tercer grado. Se los dispondrá por encima de los conductores laterales a proteger y a una distancia vertical de los mismos igual por lo menos a la separación calculada según las normas correspondientes a la seguridad normal. Como mínimo se instalarán dos.

En la hipótesis de flecha máxima, la distancia vertical entre los diferentes circuitos no será menor que la separación entre conductores de la línea eléctrica, con un mínimo de 1 metro o de 2 mts., según sea la última de la primera o de segunda categoría.

---

**CATEGORIA****NORMAS**

---

Primera

Si la línea de telecomunicación fuese del grupo "A", seguridad reforzada de primer grado.

Los conductores de una de las líneas serán cables bajo plomos suspendidos de un hilo fijador, o cables con aislamiento de goma tipo intemperie.

Segunda

Seguridad reforzada de segundo o tercer orden según pertenezca la línea inferior al grupo "B" o al "A"

---



CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 24 de 28

Si una línea de segunda categoría instalada con seguridad reforzada de segundo grado cruzase por encima de otra de tele-  
comunicación se dispondrán por encima de los conductores exteriores de la última, y a ambos lados, un hilo o cable de protección distinto del neutro si lo hubiese.

La distancia vertical mínima entre la protección y los conductores instalados sobre los mismos apoyos será igual a la separación de estos conductores entre si.

En la hipótesis de flecha máxima la distancia entre los diferentes circuitos no será menor que la separación entre conductores de la línea eléctrica, con un mínimo de 1 m. o de 2 mts., según sea la última de primera o de segunda categoría.

Paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a mayor altura que las eléctricas.-

Si un conductor roto pudiese alcanzar a los de la otra será obligatoria la seguridad reforzada de primer grado en líneas de segunda categoría.

Si una fuese de segunda y la otra del grupo "A", será obligatorio la seguridad reforzada de segundo grado.

La distancia horizontal de los conductores eléctricos

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 25 de 28

a los apoyos de la de telecomunicación será de 1,25 metros.

Paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a menor altura que las eléctricas.-

Se adoptará algún dispositivo de seguridad si la separación horizontal entre los conductores interiores de ambas líneas fuera mayor que la altura máxima de conductores sobre el terreno.

Para las líneas eléctricas se aplicarán las normas de "paralelismo con líneas de telecomunicación instaladas a mayor altura que las eléctricas".

Si los apoyos fueran comunes, los conductores de telecomunicación serán considerados como si fuesen de una línea eléctrica.

Se aplicarán las normas de "paralelismo con líneas sobre apoyos comunes".

RUMANIA.-

Cruzamientos inferiores con líneas de telecomunicación.-

Las de primera categoría podrán quedar por encima o por debajo de las de telecomunicación. Las de segunda por encima.

CONTINUACION ANEXO N°11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 26 de 28

Las mallas de protección sólo se admitirán si la línea eléctrica cruza por encima de la de telecomunicación.

Cruzamientos superiores con líneas de telecomunicación.-

Categoría	Normas
-----------	--------

Si los apoyos fueran de madera, serán de roble de buena calidad empotrados en el terreno  $\frac{1}{5}$  de su altura, con su base alquitranada hasta 25 cm. sobre el terreno.

Primera

Los conductores se calcularán con un coeficiente de seguridad de 5 en la hipótesis de sobrecarga máxima de hielo y presión de viento de  $200 \text{ Kg/m}^2$ . El ángulo de cruzamiento será como mínimo de  $60^\circ$  sexagesimales.

Se dispondrá una malla de protección de hilos de acero galvanizado calculada con un coeficiente de seguridad de 10 ó bien hilos aislados.

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTO Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 27 de 28

Categoría

Normas

Segunda

Apoyos metálicos o de hormigón armado calculados con un coeficiente de seguridad de 5 en condiciones normales y capaces de resistir la sollicitación unilateral debida a la rotura de todos los conductores de un vano y a una presión de viento de 200 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los conductores se calcularán con un coeficiente de seguridad de 5 en la hipótesis de sobrecarga máxima de hielo y presión de viento de 200 Kg/m<sup>2</sup>.

Doble aislador por conductor o malla de protección. Si el vano excediese de 40 mts. la sección de conductores será de 16 mm<sup>2</sup>.

El ángulo de cruzamiento será como mínimo de 60° sexagesimales.

El vano de cruce será un 10% menor que el normal.

CONTINUACION ANEXO N° 11.1REGLAMENTOS DE VARIOS PAISES RESPECTO A CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS DE LINEAS DE TELECOMUNICACION CON LINEAS ELECTRICAS.

Hoja 28 de 28

SUIZA.-Cruzamientos inferiores con líneas de telecomunicación.-

Las de telecomunicación podrán quedar por encima siempre que sus coeficientes de seguridad sean iguales a los de la inferior.

Cruzamientos superiores con líneas de telecomunicación.-

Seguridad normal. Si la tensión de la línea eléctrica, respecto a tierra, excediera de 250 V, se dispondrá un hilo de protección de  $12,5 \text{ mm}^2$  de sección a 50 cm. de los conductores de telecomunicación y de los eléctricos, se procurará equidistancia de unos y otros.

Si los conductores eléctricos estuviesen muy separados entre sí se instalarán varios hilos o cables de protección.

La separación entre los diferentes circuitos será de 1 m. en primera categoría, y de 1,50 mts. en segunda.

C A P I T U L O 12

12.- SUBESTACIONES, ESTACIONES DE TRANSFORMACION Y DIVERSAS  
INSTALACIONES. REGLAMENTO EN CONSIDERACION.

C A P I T U L O 1212.- SUBESTACIONES, ESTACIONES DE TRANSFORMACION Y DIVERSASINSTALACIONES.-

El presente capítulo será tratado someramente, puesto que, un estudio detenido daría lugar a otra tesis de grado. Además, en un reglamento de líneas eléctricas no pueden ser incluidas normas para estaciones de transformación.

Por estas razones presento un posible reglamento para estaciones de transformación basado en el "Reglamento para Estaciones de Transformación", editado por la compañía "Palosca" de montajes y electrificaciones, de Barcelona; y también, en el "Reglamento para Estaciones de Transformación", de España y publicado en el Boletín Oficial del Estado, en Febrero de 1940.

De esta manera se deja a que otras personas interesadas con mayor capacidad y experiencia estudien la conveniencia o no de las normas presentadas.

Para que no exista confusión con las normas de líneas eléctricas, la parte correspondiente al reglamento de estaciones de transformación ha sido tratado con números romanos.

ARTICULO I.- CONTENIDO.

Las disposiciones contenidas en el presente reglamento se refieren a las prescripciones que deberán tenerse en cuenta al redactar los proyectos de estaciones de transformación y manio

bra, tanto en las elevadoras de salidas de líneas principales --  
anexas a centrales productoras, como en las reductoras de finales  
de líneas en las intermedias de modificación de tensiones para --  
alimentación de distribuidores secundarios y en las de extremos --  
alimentadores locales para efectuar el suministro de energía en --  
baja tensión.

## ARTICULO II.- AMBITO DE APLICACION.

Los preceptos a que se refiere el presente reglamento  
alcanzan a las instalaciones nuevas o a las ampliaciones de las --  
existentes que se realicen a partir de la fecha de publicación de  
los mismos en el "Boletín Oficial del Estado".

Asimismo alcanzan a las instalaciones existentes en --  
los casos de peligro manifiesto o de notoria posibilidad de gra--  
ves perturbaciones en otras instalaciones.

La interpretación de los preceptos del presente regla  
mento, así como la apreciación de los motivos que pueden dar ori--  
gen a modificaciones en las instalaciones existentes, correspon--  
den a la Dirección de Recursos Energéticos del Ministerio de In--  
dustrias, previo informe del Instituto Ecuatoriano de Electrifica  
ción.

## ARTICULO III.- CLASIFICACION DE LAS ESTACIONES DE TRANSFORMACION:

Además de la clasificación de las estaciones de trans  
formación en cuanto a sus características y situación en la red,  
las estaciones de transformación se clasifican también, según su



tipo constructivo, en estaciones de intemperie y de interior.

ARTICULO IV.- DISPOSICION GENERAL Y DIMENSIONES DE LAS INSTALACIONES.

La disposición de las distintas máquinas y aparatos de las estaciones de transformación será la que estime más oportuna el autor del proyecto, y se ajustará en todo caso a las presentes normas y a los Reglamentos de Líneas de Transporte de Energía Eléctrica y de Instalaciones Interiores, en aquellos preceptos que por su gran analogía pudieran ser de aplicación, tales como los relativos a edificios, empleo condicionado de materiales combustibles, comunicaciones en el interior de edificios, emplazamiento del puesto de mando y maniobra, locales para acumuladores, cuadros, canalizaciones, tierras, interruptores, seccionadores, etc.,... etc.,...

ARTICULO V.- PROYECTO.- PARTES QUE HA DE COMPRENDER.

Los proyectos de estaciones transformadoras comprenderán memoria, planos y presupuestos redactados con arreglo a las normas que siguen:

- a) Objeto de la instalación y emplazamiento de la misma. Programa de necesidades. Posibles aplicaciones.
- b) Descripción detallada de la instalación. Esquema eléctrico unipolar completo y descripción del mismo, utilizando las notaciones, símbolos adoptados por la Comisión Electrotécnica Internacional. En dicho esquema se indicarán las

características de especial importancia para el conocimiento de la instalación tales como situación de los equipos de medida, calibrado de los fusibles, capacidades de los transformadores y de los interruptores, intensidades y tiempos fijados para la regulación de los relés, etcétera.

c) Detalle de las hipótesis de cálculos adoptados, los coeficientes fijados, el factor de potencia señalado y las demás características establecidas, justificando debidamente todos y cada uno de ellos.

d) Presupuestos parciales y globales de la obra a ejecutar.

e) Plano o planos generales, suficientemente amplios para formarse idea de la disposición que se desea adoptar, a escalas normales comprendidas entre 1 : 10 y 1 : 200, en planta y en alzado, poniendo de manifiesto el emplazamiento, la magnitud y la disposición de máquinas, aparatos, conexiones principales, señalando con toda claridad la situación de las tomas de tierra.

f) Esquema de conexiones entre las máquinas y aparatos correspondientes, señalando la sección, de los conductores, modalidad de la distribución (área subterránea, con cables, pletina, etc.), tensión de servicio y en general cuantas características se considera interesante poner de manifiesto.

En caso de preverse futuras ampliaciones, deben seña-

larse también en los esquemas y planos correspondientes, encerrando esta parte de la instalación en un recuadro de trazos.

ARTICULO VI.- INSTALACION DE MAQUINAS, APARATOS Y LINEAS, EN EDIFICIOS NO DESTINADOS EXCLUSIVAMENTE A ESTE FIN.

En edificios no destinados exclusivamente a alojar instalaciones eléctricas, tales como fábricas, almacenes, edificios comerciales o de vivienda, etc., se presentarán como complemento de los planos a que se refiere el artículo anterior, ótros en los que se ponga de manifiesto los extremos siguientes:

- a) Plano de situación de la instalación proyectada con relación al resto del edificio.
- b) Situación de orificios de ventilación, puertas, ventanas, etcétera.
- c) Acceso o accesos desde el exterior al lugar en que se pretende establecer la instalación de alta tensión.
- d) Destino de los locales contiguos al de la instalación de alta tensión.
- e) En caso de incendio, posibilidad de aislamiento del local en el que ha de establecer la instalación de alta tensión, salidas de urgencia y dispositivos apagafuegos adoptados (pozos-filtro, cierre de canales de ventilación, aparatos contra incendios, etc.).
- f) Trazados rigurosos de las líneas de alta tensión,

desde la entrada del edificio hasta el local de la instalación, desarrollando la forma de efectuar los pasos de muros y tabiques y la naturaleza de éstos.

ARTICULO VII.- INSTALACIONES TIPO INTEMPERIE CONSIDERACIONES GENERALES.- DIMENSIONES MINIMAS.

Al proyectar las estaciones de transformación de tipo intemperie se tendrán presentes las consideraciones expuestas en los aparatos que figuran a continuación:

a) Clima.- Temperatura y Viento. Se tendrá en cuenta

la temperatura mínima del lugar donde se proyecta el emplazamiento de la estación transformadora, a efectos de posibles entorpecimientos en los mandos, la influencia de la baja temperatura en los aceites de interruptores y transformadores, construcción adecuada de máquinas y aparatos, resistencia a las variaciones de temperaturas, humedad, fenómenos eléctricos, etc. Asimismo se tendrá presente la velocidad del viento por lo que respecta a estructuras, conductores y conexiones y en general todos aquellos efectos producidos por la altitud y clima del lugar presentados en el Reglamento de líneas de transporte de energía eléctrica.

b) Cierre. Todo el recinto de la estación transformadora

debe estar protegido con un cierre metálico o de fábrica, de una altura mínima de 2,2 metros y de suficiente consistencia a efectos de evitar el acceso a la instalación, de personas extrañas a la explotación. Este cierre no debe ser salva

do desde el exterior sin ayuda de escaleras o útiles especiales.

En la parte de entrada del recinto destinado a estaciones de transformación y en el centro de cada una de las -- orientaciones del cercado se colocarán placas metálicas indicadoras de peligro de muerte a una altura de 2 metros sobre el suelo. Las dimensiones de dichas placas serán como mínimo, de 200 x 160 milímetros y la altura de las letras, 15 milímetros.

c) Zona Libre. En la franja de terreno situada a una distancia del cierre citado en el apartado ante -- rior, igual a 1,50 metros más 1,20 centímetros por kilovoltio de la tensión de servicio, no se dispondrá ningún elemento de la instalación de alta tensión.

d) Alturas y Distancias Mínimas. La altura mínima del embarrado general será de 5,50 metros más 1,20 cen -- tímicos por kilovoltio. La altura de las otras partes en tensión, tales como terminales de los transformadores de potencia, de los interruptores, transformadores de medida, conexiones entre estos aparatos y en general la de los elementos en tensión más próximos a tierra en ningún caso podrá ser inferior a 3 metros, tomándose como norma general a una altura igual o superior a 2,80 metros -- más 1,20 centímetros por kilovoltio.

Si por razones especiales alguna parte de la instalación debiera situarse a menor altura de la señalada en el párra -- fo anterior, se dispondrá una protección eficaz que evite contac-

tos inadvertidos al personal de la instalación.

Las distancias mínimas entre partes en tensión -- conductores o entre dichos y tierra, serán las siguientes:

Tensión nominal	Distancia entre fases	Distancia a tierra
6.000 V. e inferiores	15 cm.	15 cm.
10.000 V.	25 cm.	20 cm.
45.000 V.	75 cm.	50 cm.
66.000 V.	90 cm.	60 cm.
132.000 V.	190 cm.	120 cm.
220.000 V.	280 cm.	180 cm.

Para tensiones intermedias ha de tomarse la distancia correspondiente a la normalidad inmediata superior.

e) Pasos y Accesos. Los pasos para el personal de servicio debe tener un ancho mínimo de 1,5 metros entre las partes no sometidas a tensión, las cuales deben estar conectadas a tierra.

#### ARTICULO VIII.- INSTALACIONES TIPO INTERIOR.- DIMENSIONES MINIMAS.

Al proyectar las estaciones de transformación de tipo interior se tendrán presentes las consideraciones expuestas en los apartados siguientes:

A) AGRUPACION DE TENSIONES.- Las partes de la instalación correspondientes a distintas tensiones o a di

versas clases de corriente deberán ser agrupadas dentro de lo posible y separadas unas de otras. Así, por ejemplo, deben agruparse los circuitos de alta tensión, los de baja tensión, los de medida y los de corriente débil, procurando que se crucen lo menos posible los de un grupo con los de otro.

B) CONSIDERACION DE ALTA TENSION A LOS CIRCUITOS DE BAJA PROXIMOS A LOS DE ALTA Y SIN PROTECCION.- To-

dos los circuitos de baja tensión situados en las proximidades de máquinas, aparatos u otros circuitos sometidos a alta tensión y que no estén protegidos en forma que sea prácticamente imposible un contacto accidental entre ellos serán considerados como pertenecientes a instalaciones de alta tensión.

Asimismo las celdas de reserva y partes del edificio en construcción se considerarán como los locales de alta tensión.

Los armazones de las máquinas y las cubiertas de los aparatos conectados a estos circuitos de baja tensión deben estar en perfecta comunicación con tierra.

C) DISTANCIAS MINIMAS ENTRE LAS PARTES EN TENSION Y LAS QUE NO ESTAN.- CELDAS DE ALTA TENSION.- Los ta

biques de separación entre celdas serán de ladrillos, enlucidos con yeso o de material de análoga consistencia y terminados en sus cantos por perfiles laminados, con el fin de conseguir la máxima robustez, a los que se fijarán las armaduras

metálicas que han de servir de apoyo a los diferentes aparatos de maniobra, medida y protección. Los perfiles empleados en la construcción de estos armazones deberán tener suficiente sección para evitar toda clase de vibraciones perjudiciales al accionar los aparatos de maniobra.

Para el peso de las varillas o barras conductoras de celda a celda se tomarán las precauciones precisas a fin de evitar la propagación de arcos de cortocircuito y reducir los esfuerzos electrodinámicos, aconsejándose la utilización de aisladores pasamuros cuando en las celdas se coloquen aparatos rellenos con aceites inflamables.

Las celdas llevarán en su parte anterior cierres constituidos por plancha, rejilla metálica o cualquier otro material incombustible de análoga consistencia que impide de modo eficaz tocar inadvertidamente a cualquier parte de la instalación situada en el interior. En las celdas en donde vayan colocadas los interruptores o cortocircuitos, estos cierres serán de chapa de acero. A continuación se indican las distancias mínimas en diferentes casos:

a) Celdas semi-cerradas.- Tabiques y cierre metálico.

La altura mínima de los tabiques divisorios será de 2,20 metros y las distancias mínimas sobre conductores y entre ellos y las paredes o enrejados de las celdas serán las siguientes:



Distancia mínima entre conductores: 10 cm. más 0,6 cm. por kilovoltio o fracción de kilovoltio de tensión de servicio.

La altura mínima del cierre metálico frontal liso o enrejado, medida desde el suelo o desde la banqueta de soportes aislantes, si se utiliza será de 1.70 metros.

También es admitido el cierre incompleto, es decir, el constituido por una chapa metálica que no llegue al suelo, siempre que en la zona inferior no exista partes en tensión, pero en este caso el límite superior será el señalado en el párrafo anterior y la dimensión de la chapa metálica no será inferior a 0,80 metros.

Las dimensiones fijadas son las mínimas establecidas en relación con la tensión de servicio, pero siempre se dejará el espacio suficiente para la revisión y limpieza de los diferentes aparatos.

En general, se evitará la colocación de aparatos de distinta índole en una misma celda, y aún es preferible separar las unidades de un mismo tipo, pero si razones de espacio o de economía obligasen a emplear esta disposición se considerará como paredes, a efectos de distancia mínima, los armazones y cubiertas de las distancias y aparatos.

Para los cierres metálicos a base de enrejados y al objeto de tener mallas finas y a la vez resistentes, se

establecen como dimensiones límites las siguientes: longitud o separación máxima entre dos alambres de una malla, 2,5 cm. Diámetro mínimo admitido en los alambres que constituyen las mallas, 2 mm.

b) Celdas abiertas.- Tabiques protegidos parcialmente con barras metálicas o aislantes. Este tipo de celdas podrá ser admitido en aquellas partes de la instalación que no sean lugares de paso en servicio normal, es decir, las instalaciones con mando a distancia o en las situadas en locales independientes completamente aislados y que no sea necesario visitar más que en contados casos, tales como averías, limpieza, etc.

La altura mínima de los tabiques divisorios en los límites con pasillos o con las partes de acceso al personal será de 2,70 metros.

Las llaves de las puertas de acceso al recinto que contiene la instalación estará bajo la debida custodia.

D) PASILLOS ENTRE CELDAS DE ALTA TENSION.- DIMENSIONES MINIMAS.-

Las dimensiones que se fijan a continuación son límites mínimos establecidos en función de la tensión de servicio y por lo tanto, son independientes de las necesarias para colocar o sustituir las diferentes máquinas o aparatos, del paso indispensable para maniobrar con holgura las carretillas de transporte de materiales, del espacio necesario para tener los cables sin forzarlos a curvaturas perjudiciales, etcétera.

a') Pasillos situados entre o frente a celdas cerra--

das. Los pasillos situados entre o frente a cel--  
das cerradas tendrán un ancho mínimo de 1,10 metros y una altura  
mínima de 2,20 metros.

Se prohíbe disponer en el techo o paredes de los  
pasillos de servicio, aisladores para suspender canalizaciones de  
alta tensión, salvo que éstas estén constituidas por cables arma-  
dos, en cuyo caso podrán suspenderse directamente de apoyos metá-  
licos. Esta última disposición relativa al tendido de cables arma-  
dos será tolerada únicamente cuando no sea posible efectuar el -  
tendido por el subsuelo, bien en túneles con registros visitables  
o en canales apropiados tapados al nivel del suelo por planchas -  
de acero estriado o con losetas de cemento.

Los cierres metálicos de las celdas se dispondrán  
en general con sujeciones laterales que permitan separarlos para-  
lelamente a su posición normal. No se admitirán ventanales o cie-  
rres que abran hacia el interior de los mismos, salvo cuando la -  
anchura del pasillo permita la apertura del cierre, dejando la di-  
mensión mínima fijada.

b') Pasillos situados entre celdas abiertas. Esta -

clase de pasillos solamente serán admitidos en -  
las instalaciones a que se refiere el apartado "b" anterior y sus  
dimensiones mínimas serán las siguientes:

Distancia de las partes en tensión a las ba-  
rras de protección: 10 cm. más 1 cm. por kilovoltio de tensión de

servicio o fracción de kilovoltio.

El ancho mínimo de los pasillos será de 1,5 metros y la altura será por lo menos de 2,70 metros. Si por el techo de los mismos se fijasen canalizaciones de alta tensión, sin protección alguna (varillas o cables de cobre desnudo fijadas sobre aisladores) la altura establecida se aumentará a razón de 1 cm. por kilovoltio o fracción de kilovoltio de tensión de servi-cio.

En el caso en que las canalizaciones de alta tensión suspendidas del techo, a las que se refiere el párrafo anterior, estuviesen protegidas por una plancha o por una rejilla metálica consistente, en perfecta comunicación con tierra, la altura libre del pasillo podrá ser reducida a 2,20 metros más 1 cm. por kilovoltio o fracción de kilovoltio de tensión de servicio, - pero la distancia entre la placa o rejilla metálica de protección y las partes en tensión será la establecida de 10 cm. más 1 cm. - por kilovoltio de tensión de servicio o fracción de kilovoltio.

#### ARTICULO IX.- PASAMUROS.

La entrada de las líneas aéreas de alta tensión en - las estaciones de transformación y la entrada y la salida de las de seccionamiento, se efectuará a través de pasamuros o discos, de dimensiones y características adecuadas, cuidando de que la disposición adoptada sea la correcta para evitar la posibilidad de formación de pequeños depósitos de agua de lluvia a las proximidades de la entrada de los conductores.

"Las salidas al exterior de las estaciones de transformación en líneas aéreas de baja tensión se efectuarán en general con hilos o cables provistos de cubiertas aislantes, salvo en casos especiales, en que deberán justificarse el empleo de conductores hacia el interior".

#### ARTICULO X.- CONEXIONES.

A fin de dar la rigidez mecánica necesaria a las conexiones efectuadas con varillas de cobre o de otro material conductor para evitar las deformaciones que pudieran presentarse en los casos de cortocircuito, se preceptúa lo siguiente:

Los empalmes de los conductores entre sí y las conexiones con los aparatos de protección y maniobra se harán por intermedio de piezas de ajuste a presión, dimensionadas de formanque no puedan presentarse calentamientos superiores a 30° C. sobre el ambiente.

Los puntos de apoyo de las varillas que constituyen las conexiones de alta tensión estarán a una distancia tal, que no sean de temer deformaciones permanentes al producirse un cortocircuito en una zona próxima al lugar de su establecimiento.

En alineaciones rectas y salvo casos especialmente justificados, la distancia existente entre dos puntos de apoyo consecutivos no será superior a 1,50 metros y el diámetro mínimo para las varillas de cobre será de 8 mm.

En los ángulos o en sus proximidades deberán establecerse puntos de apoyo, y en aquellas disposiciones en las que por la naturaleza de las mismas, por la situación de los aparatos o por otras razones cualquiera no sea conveniente establecer apoyos en los ángulos caso de determinadas conexiones con interruptores, seccionadores, transformadores, etc., se acortarán las distancias

entre los apoyos hasta una distancia que asegure suficiente rigidez mecánica al conjunto.

ARTICULO XI.-

Las densidades de corriente a admitir en las diversas canalizaciones de las estaciones de transformación, se ajustarán a las señaladas por el reglamento de instalaciones interiores.

ARTICULO XII.- BATERIAS DE ACUMULADORES.

En aquellos casos en que se establezcan una batería de acumuladores para la alimentación de uno o varios circuitos auxiliares de la instalación, se dispondrá también de un rectificador de servicio permanente y de características tales que sea capaz de suministrar la corriente necesaria para una carga completa de aquella en 24 horas.

ARTICULO XIII.- CUADROS DE DISTRIBUCION.

En la construcción de los paneles se empleará chapa de acero, mármol, pizarra, baquelita, resinas sintéticas u otros materiales incombustibles, indeformables por el calor, (hasta 150°C) e inalterables por los agentes atmosféricos.

El espesor mínimo de la chapa de acero será de 2,5 mm; el del mármol o pizarra, 20 mm.; y el de la baquelita y resinas sintéticas 1 mm.

Los armazones de los cuadros serán de tubos o perfiles robustos y se sujetarán sólidamente a la obra de fábrica; con el fin de evitar toda clase de vibraciones.

En las instalaciones de potencia superior a 15000 KVA y siempre que deban efectuarse maniobras con relativa frecuencia, se dispondrán dispositivos de señalización doble óptico-acústica.

Todas las armaduras de sujeción, así como las envolventes metálicas de los aparatos, deberán conectarse perfectamente a tierra.

En los diferentes paneles se dispondrán letreros redactados en castellano indicadores de los servicios a los cuales afectan.

Tanto en los pupitres de mando y maniobra como en los cuadros constituidos por paneles verticales se dejará espacio suficiente para efectuar con holgura las conexiones correspondientes y en los últimamente citados se dejará un espacio libre entre los paneles y la pared de 0,70 metros, como mínimo.

Se procurará no disponer cuadros en ángulo a efectos de evitar el peligro de tocar inadvertidamente partes en tensión. Esta disposición alcanza a las instalaciones de cuadros de distribución y a las de celdas de baja tensión, así como a cualquier combinación mixta.

Si por falta de material, de espacio, no existiera otra solución más adecuada, se autorizará la disposición en ángulo, pero en este caso no se colocarán aparatos ni en la zona comprendida entre las prolongaciones de los paneles o cierres frontales de las celdas, ni en uno de los paneles o las celdas que constituyen

el ángulo. El ancho de este panel o celda libre será como mínimo de 0,70 metros.

ARTICULO XIV.- LOCALES DE REDUCIDAS DIMENSIONES DESTINADAS A ESTACIONES DE TRANSFORMACION.

Deberán adoptarse las disposiciones necesarias para que los locales de esta clase queden cerrados, a fin de evitar el acceso de personal ajeno al servicio. Las puertas, si no son de tipo corredera, se abrirán hacia el exterior y cuando lo hagan sobre caminos públicos deberán abatirse sobre el muro de la fachada, reduciéndose al mínimo el saliente.

Cuando el local tenga al mismo tiempo un destino distinto, se harán inaccesible al personal no especializado la parte ocupada por los elementos eléctricos, por medio de una barrera o dispositivo análogo y se indicará la existencia de peligro mediante una placa metálica fijada a la citada barrera de separación. Los pasos de acceso a los transformadores y aparatos eléctricos tendrán una altura mínima de 2,20 metros y una anchura mínima de 1 metro.

Las estructuras metálicas accesibles se unirán eléctricamente a tierra.

ARTICULO XV.- PEQUEÑAS ESTACIONES RURALES DE TRANSFORMACION.

Los transformadores podrán ser instalados en pequeñas casetas cerradas construídas al pie de los postes, o montadas sobre éstos a una cierta altura. La reducción al mínimo de las di--



mensiones, que en estos casos tienen lugar, aumenta los riesgos - del personal, sobre todo si se tiene en cuenta que en las redes - rurales se recurre frecuentemente al personal no especializado. - Teniendo en cuenta estas circunstancias deberán cumplirse las siguientes condiciones:

1ra. Los postes que soportan la estación o a cuyo pie se encuentra ésta presentarán una superficie lisa hasta una altura de 2 metros y estarán dispuestos en forma que resulte difícil su escalamiento.

Caso de estar el transformador elevado sobre el suelo, la parte inferior del mismo no deberá estar a una altura menor de 3 metros sobre el terreno.

2da. Las cubas de los transformadores y las partes metálicas de la instalación estarán en buena comunicación con tierra. El neutro estará en conexión con otra tierra independiente.

3ra. La estación de transformación dispondrá de un seccionador tripolar.

4ta. No se ejecutará ningún trabajo o manejo en la estación, sin haber abierto previamente el interruptor de baja tensión y el seccionador general de la línea de alimentación. Únicamente se podrá actuar sobre elementos de la estación sometidos a baja tensión, siempre que la parte de alta tensión no pueda ser tocada inadvertidamente por el operador.

5ta. En los postes de llegada de la línea de alimentación y en el transformador o en sus proximidades se dispondrán - placas indicadoras de peligro de muerte.

ARTICULO XVI.- ALIMENTACION DE LA ESTACION TRANSFORMADORA.- INTERRUPTORES Y SECCIONADORES.

Es toda estación transformadora de alta tensión será preceptivo establecer aparatos de corte de corriente que permitan desconectar dicha estación de la línea de alimentación. A continuación en un cuadro se indican las normas a seguir en cada caso.

ESTACIONES DE TRANSFORMACION

C = Capacidad de transformación en K.V.A.	T = Tensión en el arrollamiento primario en K.V.	Disposición a adoptar ( elementos mínimos ).
$C \leq 100$	$T \leq 15$	Seccionadores y fusibles de alta capacidad de ruptura.
$100 < C \leq 200$	$T \leq 6$	Seccionadores y fusibles de alta capacidad de ruptura.
$100 < C \leq 200$	$T > 15$	Seccionadores e interruptor general automático.
$C > 200$	$T \geq 6$	Seccionadores e interruptor general automático.

Unicamente podrán utilizarse seccionadores unipolares para tensiones iguales o inferiores a 6 K.V. si  $0 \leq 500$  K.V.A. Para  $0 > 500$  K.V.A., los seccionadores serán tripolares.

No obstante lo dispuesto en el párrafo anterior, cuando no se disponga de interruptor de capacidad adecuada para la corriente de cortocircuito a prever en la alimentación general, o si se estima conveniente dividir el alimentador principal en varias ramas, podrán prescindirse del interruptor general, siguiendo en todo caso las normas establecidas en el cuadro anterior para cada una de las alimentaciones o derivaciones parciales. Por el contrario, si se establece para la línea de alimentación general de la estación la modalidad de seccionamiento fijada en el cuadro anterior, no será necesario instalar más interruptores que los que sean preceptivos, con arreglo al artículo XX.

Las características de los interruptores a instalar y sus relés de accionamiento responderán a las señaladas en el Reglamento de Líneas de Transporte de Energía Eléctrica.

En las instalaciones en las que la potencia total instalada en transformadores sea igual o superior a 500 K.V.A. o la tensión exceda de 6 K.V., los seccionadores y conmutadores de las líneas de alimentación general serán tripolares de accionamiento mecánico.

Los contactos de los accionadores estarán dimensionados para la intensidad máxima de su circuito y como mínimo para 200 -

amperios. Su calentamiento no excederá de 30°C sobre el ambiente con 100% de su carga nominal.

En todos los circuitos de alta tensión a los que vayan conectados aparatos de protección, medida o maniobra, deberán colocarse seccionadores que permitan dejarlos fuera de servicio al realizar trabajos, revisiones, etcétera.

#### ARTICULO XVII.- PROTECCIONES.

Se establecerán pararrayos en las llegadas y salidas de las líneas aéreas de alta tensión, siempre que en éstas no existan otras protecciones a una distancia igual o inferior a 3 kilómetros.

El tipo de protección a disponer y la conexión a tierra se efectuará de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Líneas de Energía Eléctrica.

En las instalaciones de tipo interior de tensión igual o inferior a 600 voltios y siempre que la potencia en transformadores sea inferior a 100 K.V.A. podrán emplearse pararrayos de antena con resistencias limitadoras en serie.

Las conexiones entre los pararrayos y las resistencias limitadoras serán consideradas a efectos de aislamiento y de seguridad de personas y cosas, como conductores de alta tensión.

Las características mínimas que ha de cumplir este tipo de protecciones serán las siguientes:

- a) Distancia explosiva.

Para 6.000 voltios, mínimo 4 mm.

Para 3.000 voltios, mínimo 3 mm.

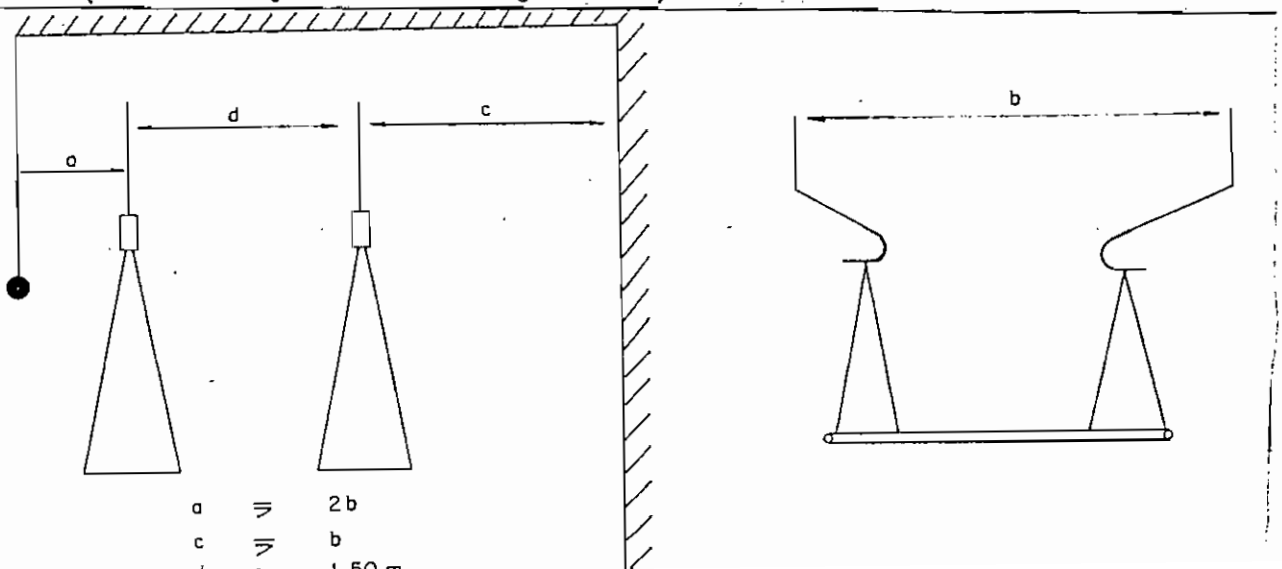
b) Valor mínimo de las resistencias:

Para 6.000 voltios, mínimo 1.200 ohmios.

Para 3.000 voltios, mínimo 600 ohmios.

Estas resistencias limitadoras podrán ser metálicas o de carborundo, y si fuesen líquidas y el emplazamiento del lugar donde hubiesen de instalarse fuese tal que se temiese temperaturas bajas que pudieran dar lugar al congelamiento del líquido empleado, se dispondrá como electrolito una mezcla de agua y glicerina en tal proporción que dicho peligro sea evitado, cubriendo la superficie con una capa de aceite mineral neutro de dos o tres centímetros, con el fin de evitar la evaporación. A este objeto se tendrán presentes las temperaturas mínimas de las diferentes zonas del territorio nacional.

Las distancias de las antenas entre sí será igual o mayor que el doble de la existente entre los extremos de las mismas (cotas "a" y "b" del dibujo anexo).



$$a \geq 2b$$

$$c \geq b$$

$$d \geq 1,50 \text{ m.}$$

La distancia "c" a paredes o protecciones metálicas - será por lo menos igual a "b".

La distancia a techos o conductores en tensión será - como mínimo de 1,50 metros.

#### ARTICULO XVIII.- TRANSFORMADORES.- CARACTERISTICAS.

En general, los transformadores para distribución de energía serán trifásicos, si bien se admitirán bancos constituidos por tres unidades monofásicas y como caso excepcional transformadores monofásicos.

Se procurará que los transformadores de una misma instalación puedan trabajar en paralelo, a cuyo fin deberán tener iguales las características siguientes:

- a) Tensión primaria.
- b) Tensión secundaria.
- c) Grupo de conexión.
- d) Tensión de cortocircuito.

Si hubiesen algunos instalados, los nuevos se elegirán del grupo de la mayoría de las existentes, prefiriendo en todo caso los tipos de conexión que reduzcan en lo posible los desequilibrios de cargas.

Si por la naturaleza de los aparatos de utilización -

se necesitara disponer de unidades de transformación de características diferentes, no podrá establecerse paralelo entre ellas, ni conexión alguna de socorro.

Los transformadores de distribución de las nuevas instalaciones deberán estar provistos de conmutadores de tensión en carga, o al menos para maniobra a mano desde el exterior, con el transformador fuera de servicio, a fin de poder regular la tensión. El límite mínimo de regulación será de  $\pm 5\%$ , con los escalones intermedios que se estime conveniente, de acuerdo con las condiciones de la red.

Siempre que se hable de tensión secundaria se entenderá en vacío, salvo manifestación en contrario.

A los efectos de unificación de las tensiones de distribución, las Empresas suministradoras podrán exigir de sus abonados que los transformadores a establecer en las nuevas instalaciones estén provistas para la tensión de servicio de la red en el lugar a considerar.

En general, se dispondrá en el lado secundario, neutro accesible sobre la tapa, el cual deberá estar aislado igual que las fases.

#### ARTICULO XIX.- AUTOTRANSFORMADORES CARACTERISTICAS.

Con carácter general se establece que la utilización de autotransformadores en las redes de distribución de energía eléctrica estará limitada por las condiciones que a continuación

se establecen:

Se admitirán autotransformadores cuando la tensión - más reducida sea inferior en menos de 25% de la más elevada. Cuando la diferencia del potencial a tierra no sea superior a 250 voltios ni el primario ni el secundario, podrá establecerse con cualquier relación.

Los puntos neutros de los circuitos de entrada y salida de los autotransformadores deberán ser conectados sólidamente a tierra.

En los autotransformadores polifásicos conectados en estrella o en zig-zag, el punto terminal correspondiente estará debidamente señalado para evitar confusiones.

El empleo de autotransformadores para casos distintos a los señalados, sólo se podrá hacerse de modo excepcional previas las oportunas justificaciones.

#### ARTICULO XX.- PROTECCIONES CONTRA SOBREINTENSIDADES.

Todo transformador de potencia debe ser protegido contra sobreintensidades que pueden producirse, tanto en el lado primario como en el secundario.

A continuación se señalan las protecciones a establecer en cada caso:

##### I.- Protecciones en el Lado Primario del Transformador.-

La protección en el lado primario del transforma-



dor se efectuará con interruptores automáticos o con cortocircuitos fusibles. El establecimiento de una u otra modalidad de protección se atenderá a lo preceptuado en el artículo XVI.

Interruptores automáticos. Características. En el caso de tener que establecer interruptores automáticos, éstos y sus relevadores de protección responderán a las características fijadas en el Reglamento de Líneas de Transporte de Energía Eléctrica.

Cortocircuitos fusibles. Características. Si por la naturaleza de la instalación y si con arreglo a lo dispuesto en el Artículo XVI no fuese necesario disponer interruptores, se establecerán cortocircuitos de alta capacidad de ruptura a base de aceite u otro sistema sancionado por la práctica y el laboratorio.

Deberán asegurar la extinción del arco de ruptura, con una capacidad de interrupción al menos equivalente a la corriente máxima de cortocircuito en el circuito donde van colocados. Funcionarán sin proyección de metal fundido y sin que se produzca explosión que pueda producir daños a personas o deterioros en otros aparatos. Estarán colocados en forma que sólo puedan ser accesibles a personal calificado.

Se autoriza el uso de fusibles desconectores cuando se empleen simultáneamente con interruptores no automáticos en aceite y siempre que al desconectar separen el interruptor y demás aparatos.

Cada transformador o banco de transformadores que trabajan acoplados como una unidad serán protegidos separadamente.

Todos los elementos de la subestación se calcularán de forma que resistan los efectos de la corriente máxima de cortocircuito hasta el momento del disparo del interruptor, o de la fusión del fusible, sin peligro para las personas ni las instalaciones. Para el cálculo de la elevación de temperatura se tomará como base la corriente permanente de cortocircuito.

En los sistemas con neutro a tierra el funcionamiento del dispositivo de protección contra sobreintensidades no debe provocar la separación de la tierra del sistema, ni dar lugar a un aumento de resistencia a tierra.

El interruptor automático deberá funcionar en caso de sobrecarga individual de una fase cualquiera.

Cuando el neutro de los transformadores o de los alternadores que alimentan la red está aislada a tierra, bastarán dos elementos de protección que accionen el sistema de desconexión del interruptor.

## II.- Protección en el Lado Secundario del Transformador.

La protección de los circuitos secundarios de los transformadores se efectuará de la manera que a continuación se especifica a menos que el lado secundario fuese también de alta tensión, en cuyo caso la protección se efectuará como se ha indicado anteriormente.

Todos los circuitos de baja tensión que salgan de una estación de transformación deben ser protegidos individualmente contra sobreintensidades, estableciéndose las siguientes modalidades:

a) Cortocircuitos fusibles. Solamente podrán utilizarse en circuitos con potencias máximas hasta 400 KVA.

Se utilizarán preferentemente del tipo de cartucho para intensidades inferiores a 500 amperios; para intensidades superiores podrán ser utilizadas placas o tiras, con superficies de contacto de cobre o aluminio, a efectos de conseguir una buena conexión eléctrica con la parte fusible de la placa.

Deberán estar contruídos en forma que no produzcan proyecciones de metal fundido ni formación de llama, y llevar grabado el calibre del fusible por el 80% de la corriente máxima que pueden soportar indefinidamente.

b) Interruptores automáticos de baja tensión. Podrán utilizarse en circuitos de cualquier potencia, tanto a efectos de sobrecargas como a efectos de cortocircuitos, y su accionamiento se hará por dispositivos térmicos, electromagnéticos de inducción, o térmicos-electromagnéticos.

Los interruptores automáticos, accionados exclusivamente por elementos térmicos, se usarán preferentemente para protección a efectos de sobrecarga en circuitos de fuerza motriz, pero no a efectos de cortocircuito. Deberán dotar-

se además, en este caso, de un relevador de tensión mínima, que produzca la apertura del circuito, cuando el valor de la tensión compuesta sea inferior al 50% de la nominal del circuito.

ARTICULO XXI.- TIERRAS.-

Las disposiciones de puesta a tierra de estas instalaciones se ajustarán a lo dispuesto en los artículos correspondientes del Reglamento sobre Centrales Generadoras de Energía Eléctrica.

ARTICULO XXII.- AISLADORES.- AISLADORES SOPORTES.- PASAMUROS.-

Las características eléctricas y mecánicas de este material, se ajustarán a lo dispuesto en los artículos correspondientes del Reglamento de Líneas Aéreas de Transporte de Energía Eléctrica.

ARTICULO XXIII.- RELACIONES ENTRE LOS SUMINISTRADORES DE ENERGIA Y LOS CONSUMIDORES.-

Los abonados deberán facilitar datos y planos a la empresa suministradora, y simismo en cuanto a derechos de la Empresa suministradora a oponerse al establecimiento de determinado material o a la disposición ideada por el autor del proyecto de la instalación receptora.

ARTICULO XXIV.- INSTALACIONES DE PROPIEDAD DE ABONADOS O ENTIDADES PARTICULARES.-

En las instalaciones receptoras y desde el punto de -

vista del montaje, la instalación puede considerarse dividida en dos partes:

a) Una que queda bajo la intervención de la Empresa - suministradora para poder efectuar maniobras que directa o indirectamente puedan afectar al servicio general de la red de distribución.

b) Otra que, constituida por el resto de la instalación, quedará bajo el control del abonado, el cual utilizará y conservará con arreglo a los Reglamentos vigentes.

a) Instalación Bajo la Vigilancia de la Empresa.-

Esta parte de la instalación comprende todos los aparatos y conexiones, desde la entrada de la línea o líneas de alimentación, hasta la salida del equipo de medida, es decir, seccionadores de enlace, seccionadores de entrada o conmutadores de selección, pararrayos, interruptores, transformadores de tensión, transformadores de intensidad y contadores.

Los aparatos de medida podrán disponerse en un local independiente o en el de la instalación del abonado dentro de un armario metálico, efectuando en todo caso las conexiones necesarias con tubo protector.

Se procurará que el acceso del personal de la Empresa se haga directamente desde la vía pública, sin que sea necesario atravesar las dependencias del abonado.

b) Instalación Bajo la Vigilancia del Abonado.-

Además de las prescripciones impuestas en cuanto a

los aparatos a utilizar, el local en el que ha de emplearse la -  
instalación cumplirá las condiciones siguientes:

1° Ha de ser de construcción sólida, de --  
obra de fábrica, mampostería, ladrillo, bloques de hormigón, etc,  
quedando prohibido el empleo de adobes, cañizos enlucidos o mate-  
riales combustibles.

2° El pavimento de sus plantas será estria-  
do en las zonas de accionamiento de máquinas y aparatos, pudiendo  
presentar superficies lisas en el resto del mismo. También podrá  
ser lisa la totalidad del pavimento, siempre que en la zona de ac-  
cionamiento antes citada se dispongan planchas de goma estriada o  
con dibujos calados, que disminuyan el riesgo de accidentes.

3° Será suficientemente amplio para dispo--  
ner la instalación prevista con arreglo a las normas que a conti-  
nuación se detallan:

3<sup>a</sup> a) Tendrá suficiente ventilación, te-  
niendo en cuenta la energía disipada por las pérdidas que en la  
instalación hayan de producirse.

3<sup>a</sup> b) Ha de estar dispuesta en forma tal  
que, dentro de lo posible, se evite la entrada del polvo, humedad  
o gases nocivos y que sea imposible desde el exterior alcanzar -  
con barras, varillas, etc., ningún elemento de la instalación.

ARTICULO XXV.- INSPECCION DE LAS INSTALACIONES.- REVISIONES PE --RIODICAS.-

El Departamento de Recursos Energéticos del Ministerio de Industrias inspeccionará antes de entrar en servicio y después periódicamente, de acuerdo con el Reglamento que para el efecto dicte la Dirección de Recursos Energéticos, las instalaciones a que se refiere el presente Reglamento, velando por el cumplimiento de los preceptos contenidos en el mismo, teniendo facultad para proponer el expresado Ministerio, de Industrias sanciones de hasta 10.000 sucres, en los casos comprobados de incumplimiento de aquellos.

ARTICULO XXVI.- ILUMINACION.- ALUMBRADO DE SOCORRO.-

La iluminación en las Centrales y en las Estaciones de Transformación deberá ser uniforme, evitando en especial el deslumbramiento a los efectos de lectura de las escalas de los aparatos de los cuadros.

El valor de la iluminación media será de 30 a 60 lux según los locales de que se trate e importancia de la central o estación de transformación.

En las Centrales y Estaciones de Transformación que exijan personal permanente para su servicio y maniobra, deberá establecerse un alumbrado de socorro que permita ver con claridad suficiente las partes más importantes de la instalación y efectuar manipulaciones al faltar la energía propia o procedente del exterior.

La instalación de este alumbrado de socorro será totalmente independiente de la de alumbrado normal, recomendándose alimentar las instalaciones de socorro con batería situada en local adecuado y pudiendo servir la destinada a servicios auxiliares, señalización, mandos a distancia, etc.

La red general de alumbrado de socorro se dividirá en dos o más secciones convenientemente estudiadas, y el conmutador se situará en las proximidades del puesto de mando, para una sección de distribución, y en la entrada de personal para la otra u otras secciones establecidas.

#### ARTICULO XXVII.- VENTILACION.-

Para conseguir una buena ventilación en las celdas de los transformadores, a fin de evitar calentamientos excesivos, se dispondrán entradas de aire adecuadas por la parte inferior, con salidas situadas, siempre que sea posible, en el lado opuesto y en la parte superior.

Podrá prescindirse de esta precaución si, debido al clima, la amplitud del local o el reducido régimen de carga, no fuesen de temer elevaciones anormales de temperatura.

La ventilación podrá ser forzada si así lo exigen las condiciones de funcionamiento de los transformadores.

#### ARTICULO XXVIII.- CONTRA INCENDIOS.-

##### a) Extintores Individuales.-

En las estaciones transformadoras (salvo en lae ru



rales) y en las centrales generadoras hasta 10.000 KVA de potencia, se dispondrán extintores de incendios en sitios fácilmente accesibles y convenientemente distribuidos, que deberán revisarse periódicamente con el fin de mantenerlos en perfecto estado de servicio. Dichos extintores se descargarán totalmente por lo menos una vez al año, a fin de comprobar la eficacia de su cometido.

b) Instalación General.-

En las subestaciones de interconexión y centrales generadoras de más de 10.000 KVA, se dispondrá independientemente de los extintores individuales al que alude el artículo anterior, una instalación general de accionamiento automático cuyo proyecto habrá de acompañarse a la petición de la pertinente autorización administrativa para el establecimiento de aquellas.

El funcionamiento de esta instalación deberá comprobarse periódicamente y por lo menos una vez al año.

ARTICULO XXIX.- DEPOSITOS Y CONDUCCIONES DE AGUA.- ALCANTARILLADO.

Se evitará situar depósitos de agua en el interior de las centrales, en zonas próximas a las partes de la instalación normalmente en tensión.

Las conducciones de agua se proyectarán suficientemente alejadas de las partes en tensión y de tal forma que su rotura no provoque avería en las instalaciones eléctricas, no sólo por proyección directa del chorro de agua en caso de rotura, sino por humedades siempre perjudiciales. A estos efectos, se recomienda -

disponer las conducciones principales de agua en un plano infe --  
rior a las canalizaciones de energía eléctrica, especialmente --  
cuando éstas se establezcan en el subsuelo y se construyan a base  
de pletina sobre aisladores. Estas canalizaciones y en general, -  
todas las atarjeas destinadas a contener instalaciones eléctricas,  
deberán tener cierta inclinación para verter rápidamente las --  
aguas a los colectores generales de alcantarillado en casos de -  
averías en las conducciones de agua.

La red general de alcantarillado deberá ir siempre si  
tuada en un plano inferior al de las canalizaciones subterráneas,  
y al de las conducciones normales de agua, pero si por causas es-  
peciales fuese necesario disponer en un plano inferior alguna par  
te de la instalación eléctrica, se adoptarán precauciones adecua-  
das que eviten cualquier filtración perjudicial para la misma.

#### ARTICULO XXX.- CONDUCCIONES DE GAS.-

Las conducciones de gas irán siempre alejadas de las  
canalizaciones eléctricas, prohibiéndose terminantemente la colo-  
cación de ambas en una misma atarjea o galería de servicio.

#### ARTICULO XXXI.- CARTELES O PLACAS CON ADVERTENCIAS E INSTRUCCIO-- NES.-

En los locales principales, y especialmente en los -  
puestos de mando y oficinas de jefes o encargados de centrales o  
estaciones de transformación, se dispondrán esquemas representati  
vos de las instalaciones e instrucciones generales de servicio, -

aconsejándose el empleo de la notación y símbolos de la Comisión Electrotécnica Internacional.

En diversos lugares de las instalaciones de alta tensión se dispondrán rótulos indicadores de peligro, escritos con claridad y de dimensiones suficientes para que su lectura sea fácil. Asimismo, se dispondrán instrucciones relativas a los primeros cuidados a que deben ser sometidos los accidentados por contactos con partes en tensión.

ARTICULO XXXII.- OBJETOS PARA PROTECCION DEL PERSONAL.- REVISION.-

Las pértigas de maniobra, los guantes de caucho, los taburetes aislantes, las pinzas para retirar fusibles de alta tensión, los mangos protectores de las pinzas de aparatos de medida y, en general, cuantos objetos se utilicen para proteger al personal, deberán estar siempre en perfecto estado, lo que se comprobará por lo menos una vez al año.

ARTICULO XXXIII.- BOTIQUIN DE URGENCIA.-

En toda central o estación de transformación que requiera servicio permanente de personal se dispondrán botiquines de urgencia, con los elementos indispensables para practicar las primeras curas en los casos de accidente.

C A P I T U L O 13

- 13.- EXPLOTACION DE LAS LINEAS.
- 13.1.- Operación o Maniobra.
- 13.2.- Jefe de Explotación.
- 13.3.- Cuaderno Relatorio.
- 13.4.- Equipos de Personal para Emergencias.
- 13.5.- Reparaciones y Recambios.
- 13.6.- Inspección Periódica.
- 13.7.- Inspección de Aisladores.

debe ser el encargado del sistema. G A POINTS U L Oca 13 de y la explotación. En la explotación del sistema, el agente que recibe una orden debe cumplir con ella.

### 13.- EXPLOTACION DE LAS LINEAS.-

#### 13.1.- OPERACION O MANIOBRA.-

La eficacia y habilidad de maniobra de un sistema es tan esencial para el buen servicio como su proyecto técnico. En realidad, un sistema bien proyectado puede fracasar, no respondiendo a las necesidades del servicio, si su explotación es defectuosa. Además de las maniobras de conexión y desconexión de líneas y unidades para atender a las demandas de la carga, en caso de ocurrir una interrupción es necesario no solo restablecer prontamente el servicio, sino detectar y separar el equipo defectuoso, evitando de este modo la propagación de las averías.

#### 13.2.- JEFE DE EXPLOTACION.-

El jefe de un servicio de explotación es recomendable que controle completamente el sistema y que tenga comunicación directa con todas sus partes. En la misma forma, el jefe operador y los operadores de las subestaciones podrían estar en comunicación con todos los equipos de personal que trabajan en la conservación o mantenimiento de las líneas. En la oficina del jefe de explotación es recomendable que exista un cuadro representando la posición de todas las líneas e interruptores del sistema, con indicación que si están abiertos o cerrados. No debe efectuarse la maniobra de ningún interruptor, ni ningún generador debe ser conectado

o desconectado del sistema sin el conocimiento y la aprobación del jefe de explotación. El agente que recibe una orden o comunicación, debe repetirla a quien se le ha comunicado, para evitar confusiones, pudiendo anotarse en un cuaderno o relatorio para reducir los errores al mínimo.

### 13.3.- CUADERNO RELATORIO.-

El jefe de servicio y también los operadores de los cuadros sería de desear que lleven un cuaderno-relatorio, similar a un cuaderno de bitácora, en el que se indicarán todas las maniobras, cargas, disparos de interruptores, fallas, causas de las averías y horas en que se efectúa la conexión y desconexión de circuitos y generadores al sistema. Los sistemas de control centralizado de mando y supervisión a distancia facilitan la labor del jefe de explotación. Algunos sistemas permiten realizar por sí mismo diversas operaciones, tales como la maniobra y seccionamiento de líneas y la desconexión de los sectores defectuosos. Los dispositivos de registro gráfico, combinados con el sistema de control supervisado, constituyen un auténtico registro de las maniobras, relevando al operador de anotarlas en el cuaderno-relatorio. El sistema supervisorio acelera el restablecimiento del servicio después de un disturbio, porque permite que el operador vea, en una rápida ojeada, los sectores afectados, permitiéndole tomar medidas inmediatas para restablecer el servicio por otras líneas u otros recursos. Los retrasos más grandes que se experi--

mentan en eliminar una avería se deben al tiempo necesario para localizarla. Con este sistema se puede dirigir con mayor precisión el equipo de reparaciones de urgencia a la parte defectuosa. Además, se está en condiciones de informar a los abonados acerca del progreso de los trabajos y de la hora probable en que el servicio quedará restablecido, reduciendo al mínimo sus molestias y dificultades.

ARTICULO .- Explotación de las Líneas.- Cuaderno Relatorio.- Es re comendable que el jefe de Servicio y Explotación lleve un cuaderno relatorio, en el que se indicarían todas las maniobras, cargas, disparos de interruptores, fallas, causas de las averías y horas en que se efectúa la conexión y desconexión de circuitos del sistema.

#### 13.4.- EQUIPOS DE PERSONAL PARA EMERGENCIAS.-

Es recomendable que existan equipos de personal en lugares al alcance del teléfono o radio, de tal modo que sea posible acudir a cualquier zona del sistema de transmisión en un tiempo razonablemente reducido. Muchas compañías utilizan una camioneta provista de las herramientas necesarias y de los materiales precisos para reparaciones rápidas. Acostumbra aser útil, disponer además de los focos normales del camión, de un foco o reflector alimentado con una batería portátil de 6 voltios. Podrían disponerse casetas en puntos intermedios bien accesibles, conteniendo recambios tales como aisladores, conductores y grapas; estas casetas deberían estar bien cerradas. Algunas compañías las construyen de hormigón, con puertas de hierro. Es conveniente una inspección pe

riódica, comprobando los materiales. Por lo tanto:

ARTICULO .- Equipos de Personal para Emergencia.- Las Empresas Suministradoras de electricidad sería de desear que tengan por lo menos una camioneta provista de las herramientas necesarias y de los materiales precisos para reparaciones rápidas. Dicha camioneta podría disponer además de los focos normales, de un reflector alimentado con una batería portátil.

### 13.5.- REPARACIONES Y RECAMBIOS.-

Las reparaciones y recambios acostumbran hacerse con la línea desconectada y fuera de servicio. El personal de líneas de transmisión comunica al jefe de explotación cuando desea trabajar en una línea o parte de ella. Para trabajar, no basta desconectar los interruptores en aceite, sino que es preciso abrir los separadores o desconectores. Si la línea debe permanecer fuera de servicio un largo período y existe peligro de descargas atmosféricas, es preciso conectar la línea a tierra en sus dos extremos para evitar la posibilidad de que salte el arco entre terminales de interruptores o desconectores en caso de producirse ondas reflejadas de tensión doble, si la línea no está equipada con separadores de puesta a tierra, se utilizarán para ello los mismos dispositivos que emplea el personal de líneas. Antes de que el personal empiece a trabajar, la línea debe ser puesta en cortocircuito y conectada a tierra a los dos lados de la zona en que se va a trabajar, de modo que las conexiones de tierra estén a la vista de los operarios. Estas conexiones deben consistir en gruesos cables de cobre, extraflexibles, unidos mediante grapas, em-



pleando herramientas adecuadas para el caso de que la línea tenga tensión, pues debe considerarse que la línea no está disponible hasta después de haber conectado las tierras. Las cadenas de puesta a tierra no son seguras y no deben usarse. Es preciso no fiarse de los separadores, o conexiones de puesta a tierra de los extremos de la línea.

Para permitir efectuar reparaciones sin interrumpir el servicio se han ideado herramientas especiales montadas en los extremos de palos de madera que permiten reponer aisladores, empalmar conductores, etc., con la línea en servicio. (Hot Line).

#### 13.6.- INSPECCION PERIODICA.-

En las líneas debería efectuarse una inspección cuya frecuencia depende del terreno y de la importancia de la línea. Los celadores o vigilantes de la línea hacen el recorrido a pie, a caballo, en calesa o tartana con caballo, o en automóvil, según las facilidades del paso, los derechos o gastos, y la distancia a recorrer. En automóvil no se pueden efectuar buenas inspecciones, en general, aunque la línea siga la carretera, se considera preferible efectuar la vigilancia o inspección a pie, si bien en zonas muy diseminadas se prefiere generalmente realizarla a caballo. Unos buenos gemelos se considerarán indispensables para un celador o vigilante. Los seccionadores o interruptores sobre postes deberían ser inspeccionados una vez al mes, como mínimo, para asegurarse de su buen estado para funcionar en caso necesario.

siguiente reglamentación:

ARTICULO .- Inspección de las Líneas.- Las Empresas Suministradoras de electricidad deberán disponer la inspección periódica de las líneas, con el objeto de detectar fallas y averías.

ARTICULO .- Tala del Arbolado.- Las talas de árboles en las cunetas de las vías públicas, o en las propiedades particulares, se realizarán todo lo frecuentemente que lo exija la seguridad. El dueño de la línea deberá siempre advertirlo a los propietarios afectados. Recíprocamente cuando el propietario afectado juzgue necesaria una tala para la buena conservación del arbolado, no se efectuará sin haber dado conocimiento al dueño de la línea y haberse puesto de acuerdo en las medidas de seguridad que pudiera exigir la operación.

### 13.7.- INSPECCION DE AISLADORES.-

Los aisladores defectuosos y las partes defectuosas de aisladores pueden ser detectados con líneas en servicio. En general, los sistemas empleados para detectar un defecto en aisladores se fundan en la medición del gradiente de tensión en cada unidad de una cadena de aisladores de suspensión, o en las diferentes partes de un aislador de soporte de tipo múltiple. Por razones de seguridad, ninguno de los métodos debe practicarse en tiempo de lluvia.

13.7.1.- En el sistema del palo zumbador, el elemento defectuoso se detecta por la aparición y el ruido de las chispas que se producen en los procesos de tocar y de poner en cortocircuito las partes del aislador o los elementos de la cadena de aisladores. El primero consiste en tocar los casquetes o caperuzas de los aisladores de casquete y soporte, o el cemento de los aisladores for

mado por varias piezas, con una púa en el extremo de un bastón o pértiga aislante. Si la descarga estática que se produce no indica gradiente de potencial entre varias unidades, no debe intentarse el proceso de cortocircuito. Este último consiste en poner cortocircuito cada unidad de aislamiento por medio de una horquilla metálica en forma de U, montada en el extremo de una pértiga aislante. La falta o la debilidad de la chispa al establecer el cortocircuito indica la unidad defectuosa.

13.7.2.- El método doble es, en realidad, un voltímetro de explorador que puede usarse con seguridad y ofrece gran precisión para la medición de potenciales, en líneas de transmisión en servicio.

Se construyen dos tipos de probador doble de seguridad, el tipo A de una sola púa para aisladores rígidos de soporte formados por varias partes, en líneas con apoyos de hierro o madera. El tipo B puede también emplearse en aisladores de soporte pequeños, de una pieza, en líneas con apoyo de madera.

En ambos tipos de aparato, el equipo consiste en un explorador ajustable con micrómetro, en serie con un condensador y un receptor telefónico especial cuyo diafragma actúa en una columna de aire cerrada. Todo el equipo eléctrico, excepto las puntas metálicas está contenido en una caja de ebonita, montada en el extremo de un tubo de madera impregnada. Este tubo de madera sirve de soporte para manipular el aparato y ponerlo en contacto con el aislador que se prueba, y al mismo tiempo transmite el sonido des

de el receptor telefónico al oído del operador, en forma similar a un estetoscopio, y con absoluta seguridad.

Las partes esenciales del probador son: el cuerpo del aparato, un palo o palos de extensión y una manga que termina en piezas auriculares. En realidad, la única diferencia entre los dos tipos radica en la construcción del cuerpo del aparato. Los mismos palos de extensión y la manga pueden usarse para los dos tipos.

ARTICULO .- Inspección de Aisladores Defectuosos.- La inspección para de  
terminar los aisladores defectuosos se realizará por cualquiera de los sistemas sancionados por la práctica.

C A P I T U L O 14

14.- Proximidad a Polvorines, Fábricas de Explosivos, Conducciones de Gas y lugares peligrosos.

C A P I T U L O 1414.- PROXIMIDAD A POLVORINES, FABRICAS DE EXPLOSIVOS, CONDUCCIONES DE GAS Y LUGARES PELIGROSOS.-

Cuando las líneas aéreas de transporte de energía eléctrica crucen en la cercanía de lugares peligrosos hay que tomar en cuenta ciertas medidas de seguridad para que las consecuencias de arcos eléctricos o electricidad estática queden disminuidos a un mínimo y no se produzcan consecuencias desastrosas.

Estas medidas de seguridad a tomarse son función de la distancia entre las líneas y los polvorines, fábricas de explosivos o conducciones de gas. Así al menos se lo toma en cuenta en los reglamentos de varios países, destacándose el francés.

Basándonos en la experiencia de países más adelantados técnicamente se puede hacer la siguiente normalización:

ARTICULO .- Proximidad a Polvorines, Fábricas de Explosivos, Conducciones de Gas y lugares peligrosos.- No se

instalarán líneas eléctricas en los recintos de fábricas de explosivos ni de polvorines, depósitos de municiones o locales destinados a su manipulación a distancias menores que las siguientes:

Categorías de las líneas	Conductores	
	Subterráneos	Aéreos
1a.	10 m.	20 m.
2a.	20 m.	100 m.

Las distancias se medirán horizontalmente a partir

del edificio o recinto que se considere; o a partir del paramento exterior del cerramiento. Si éste no existiera se considerará como límite:

- a) de un polvorín enterrado; el pie del talud de la tierra que lo cubra.
- b) de un polvorín subterráneo: el polígono convexo circunscrito a la proyección horizontal sobre el suelo de los locales y galerías o pasillos de comunicación con el exterior.

Los conductores aéreos quedarán instalados de modo que, en caso de rotura en las condiciones más desfavorables, no puedan alcanzar los límites así definidos.

Si varios conductores de primera o segunda categoría pasaran por las inmediaciones del polvorín se los dispondrá a un mismo lado y no a ambos lados del polvorín.

C A P I T U L O 15

15.- APLICACION DE LAS PRESENTES NORMAS

15.1.- Comité Consultor de las Normas

15.2.- Normalización



C A P I T U L O 1515.- APLICACION DE LAS PRESENTES NORMAS.-

Como ya se dijo en el Capítulo 1, las normas para entrar en vigencia deberán ser publicadas en el Boletín Oficial del Estado, y cualquier interpretación de las mismas corresponde a la Dirección de Recursos Energéticos, del Ministerio de Industrias y Comercio, previo informe del Instituto Ecuatoriano de Electrificación.

Por otro lado, se dijo también, que las normas alcanzan a las instalaciones nuevas o a las ampliaciones de las ya existentes.

De esta manera se dió el principio de validez y el ámbito de aplicación de las Normas; por lo tanto, en este capítulo se tratará únicamente del camino a seguir, para que estas normas o lo que queden de ellas, luego de las modificaciones que sufran, lleguen a tener fuerza de Ley.

15.1.- COMITE CONSULTOR DE LAS NORMAS.-

El Comité Consultor de las Normas propuestas estudiará y hará las reformas que creyere conveniente. Por lo tanto, es necesario e indispensable, que las personas que forman parte de él, tengan experiencia y conocimientos de alto nivel.

Por el momento creo que el Comité Consultor debe estar integrado por 6 delegados, pudiéndose ampliar el número según

las necesidades futuras:

2 por la Dirección de Recursos Energéticos, uno de los cuales lo presidirá.

1 por el Instituto Ecuatoriano de Electrificación.

1 por la Junta de Planificación y Coordinación Económica.

1 por la Empresa Eléctrica Quito S.A. y por la Empresa del Ecuador INC.

1 por la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional de Quito.

Luego de estudiar las Normas durante un tiempo máximo de dos meses y realizados los cambios, aumentos, enmendaduras, etc., que creyere conveniente el Comité, se presentará al Ministro de Industrias y Comercio para su promulgación como Ley de la República.

Además, la Dirección de Recursos Energéticos tendrá como obligación el reunir anualmente al Comité Consultor, con el objeto de estudiar los resultados obtenidos en la aplicación de las Normas y de acuerdo a ello emitir las respectivas modificaciones.

Para estas reuniones anuales, la Dirección de Recursos Energéticos deberá tener al día, la información que las Empresas Eléctricas deberán suministrar sobre los resultados de la aplicación de las Normas, incluyendo las sugerencias que hubieren

y las ventajas o desventajas a que hubieren dado lugar.

Finalmente, cabe insistir en el hecho de que el País necesita urgentemente Normas y Reglamentos de la industria eléctrica, ya que sin ellos, la construcción y explotación de los sistemas eléctricos se transformará en un monstruo sin pies ni cabeza.

#### 15.2.- NORMALIZACION.-

##### ARTICULO .- Condiciones de Aplicación.-

a) Las instalaciones incluidas en primera categoría definidas en el artículo 10, de este reglamento, podrán ser establecidas según las normas correspondientes a las de segunda categoría, pero a condición de respetar la totalidad de las reglas de esta última categoría.

b) El Gobierno Central podrá derogar normas del presente reglamento de acuerdo con el Comité Consultor.

c) El presente Reglamento no será obstáculo para que, cuando la seguridad lo exigiera, la Dirección de Recursos Energéticos imponga condiciones especiales para las instalaciones salvo que los interesados recurran al Comité Consultor para que de su veredicto.

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

National Electrical Safety Code. National Bureau of Standards Handbook H 30. 1948.

Safety Rules for the Installation and Maintenance of Electric Supply and Communication Lines. National Bureau of Standards Handbook 81. 1961.

Reglamentos Eléctricos de Chile. Edición actualizada para 1965. Ediciones Gutenberg.

Normas para la construcción de líneas aéreas de corriente fuerte. V.D.E. 0210/2.58. Traducción española.

Reglamento Español de líneas eléctricas de alta tensión. Aprobado 1949.

Reglamento de líneas de alta tensión. Editado por Palosca Montaje y Electrificaciones S.A. Barcelona 1961.

Comparación de las reglamentaciones vigentes en distintos países para la construcción de líneas aéreas. Publicación de la Sección Belga de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) a las reuniones de la CIGRE en 1923. Contiene los reglamentos más o menos completos de los siguientes países: Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Checoslovaquia, Dinamarca, España, Estados Unidos de América, Francia, Gran Bretaña, Holanda, Hungría, Italia, Japón, Noruega, Polonia, Rumania, Rusia, Suecia y Suiza. Traducción al español.

Normas para la Construcción de Líneas Aéreas de Distribución y Transmisión. Instituto Ecuatoriano de Electrificación 1962.

Manual de Normas para Instalaciones Eléctricas. National Electrical Code Handbook. A. Abbott y CH. Smith. Editorial Reverté. S.A. Barcelona 1959.

Manual de Fabricación con Aluminio Alcoa. Aluminum Company of América. 1955.

Manual Standard del Ingeniero Electricista. Tomos I y II. Archer Knowlton. Editorial Labor, S.A. Barcelona 1962.

Reynolds Aluminum in Substation Construction. Reynolds Metals Company 1964.

Electrical Transmission and Distribution Reference Book. Westinghouse Electric Corporation, East Pittsburgh, Pennsylvania 1950.

Anuarios Meteorológicos Años 1958, 1959, 1960, 1961, 1962, 1963, 1964 publicados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

Distribution Systems. Westinghouse Electric Corporation, East Pittsburg, Pennsylvania. 1950.

Electrical Transmission and Distribution Skrostzki. McGraw-Hill Book Company INC. 1958.

Electricidad Industrial, Tomo V, Centrales y Redes. P. Roberjot. Octava Edición. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelo-

na 1962.

Engineering. Mechanics. McLean and Nelson Schaum's -  
Outline Series. 1960.

Mecánica Analítica para Ingenieros. F. Seely y N. En-  
sign. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana. Mexico 1960.

Estudios sobre la Electricidad en América Latina. Vo-  
lumen I. Naciones Unidas. Mexico 1962.

Estaciones Transformadoras y de Distribución. Ganden-  
cio Zoppetti. Segunda Edición Ampliada. Editorial Gustavo Gili, -  
S.A. Barcelona. 1964.

Tratado de Electricidad. Tomo Segundo, Corriente Al-  
terna. Chester Dawes. Versión española de la cuarta edición Norte  
americana. Editorial Gustavo Gili. S.A. Barcelona. 1957.

Manual A E G. Para Instalaciones Eléctricas de Alum-  
brado y Fuerza Motriz. Séptima Edición. Editorial Verlag W. Girar-  
det. Essen. 1956.

Instalaciones Eléctricas. Guisepe Castelfranchi. Tra-  
ducción de la Versión Italiana. Editorial Gustavo Gili. S.A. Bar-  
celona. 1961.

The Lineman's Handbook. E. Kutz. Third Edition. --  
McGraw-Hill Book Company, INC. New York. 1955.

Equipos de Protección Eléctrica. E. S. Lincoln. Edito-  
rial Sudamericana. Buenos Aires. 1950.

Líneas Aéreas de Transporte de Energía Eléctrica e -

Instalaciones Auxiliares de Telecomunicación. Luis María Checa. - Patronato de Publicaciones de la Escuela Especial de Ingenieros Industriales. Madrid 1948.

Centrales y Redes Eléctricas. Traducción de la Segunda Edición Alemana. TH. Buchhold y H. Happoldt. Editorial Labor - S.A. Madrid. 1959.

Redes Eléctricas de Alta y Baja Tensión. Segunda Edición. Gaudencio Zopetti y Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona. 1962.

Líneas de Transmisión -El Chocón- Buenos Aires. Aguas y Energía. Buenos Aires.

REGLAMENTO PARA EL CALCULO Y LA CONSTRUCCION DE

LINEAS ELECTRICAS AEREAS

ARTICULO 1.- Principio de Validez.- Estas normas entran en vigencia a partir de la fecha de su publicación en el Boletín Oficial del Estado.

ARTICULO 2.- Contenido.- Las disposiciones contenidas en el presente reglamento se refieren a las prescripciones que deberán tenerse en cuenta al redactar los proyectos y construir líneas eléctricas, limitándolas exclusivamente a líneas de transmisión y líneas aéreas de distribución primaria y secundaria. Por lo tanto involucra, tanto a las líneas de interconexión entre centrales productoras, como a las de transporte a importantes centros de consumo y a aquellas otras de menor importancia que a la vez hacen de distribuidoras locales.

Quedan exceptuadas las líneas para instalaciones al aire libre, en las cuales no se superan los 20 metros entre puntos de apoyo.

ARTICULO 3.- Ambito de Aplicación.- Los preceptos a que se refiere el presente reglamento alcanzan a las instalaciones nuevas o a las ampliaciones de las existentes que se realicen a partir de la fecha de publicación de los mismos en el Boletín Oficial del Estado.

Asímismo alcanzan a las instalaciones existentes en los casos de peligro manifiesto o de notoria posibilidad de graves perturbaciones en otras instalaciones.

La interpretación de los preceptos del presente reglamento, así como la apreciación de los motivos que puedan dar origen a modificaciones en las instalaciones existentes, corresponde a la Dirección General de Recursos Energéticos, del Ministerio de Industrias y Comercio, previo informe del Instituto Ecuatoriano de Electrificación.

ARTICULO 4.- Explicación de los Términos.- En el sentido de estas prescripciones rigen las siguientes definiciones de términos:

a) Línea aérea.- (muchas veces se llama línea solamente): es la totalidad de una instalación para la transmisión de corrientes de gran intensidad, consistentes en puntos de apoyo o postes y sus fundamentos, aisladores, soportes, accesorios, puestas de tierra y accesorios, conductores tendidos sobre el nivel de tierra con accesorios.

b) Conductores.- Son los alambres y cables desnudos, aislados y cubiertos, tendidos libremente entre los puntos, de apoyo de una línea aérea, indistin-



tamente de estar o no bajo tensión.

Son conductores troncales, las disposiciones de dos o más conductores empleados en lugar de un conductor simple, y que guardan en todo su largo una distancia aproximadamente igual.

c) Tensión nominal. - Es la tensión que se indica para una línea aérea y a la cual se refieren ciertas propiedades de servicio.

d) Resistencia de prueba de los alambres. - Es la tensión de tracción referida a la sección (inicial) que los conductores de un solo hilo o los alambres empleados para cables, deben soportar durante 1 minuto sin romperse.

e) Carga de prueba de un alambre. - Es el producto de la resistencia de prueba y la sección nominal.

f) Carga nominal de un conductor. - Es, para los conductores de un solo hilo, la carga de prueba indicada en e), para cables compuestos de alambres individuales de igual material, la suma de las cargas de prueba de los alambres individuales, para cables de acero y de aluminio, 0,9 veces la suma de las cargas de prueba de los alambres individuales.

g) Resistencia permanente a la tracción de los conductores. - Es la tensión de tracción máxima estática que los conductores unifilares o alambres empleados para cables, deben soportar durante un año, sin romperse.

h) Carga permanente de un conductor. - Es el producto de la resistencia permanente a la tracción y la sección efectiva.

i) Tensión máxima de la tracción. - Es la tensión de tracción en el punto más bajo de la línea de flecha de los conductores sin carga adicional, no se rebasa en ningún caso las hipótesis adoptadas.

k) Tracción máxima de un conductor. - Es el producto de la sección efectiva y la tensión máxima de tracción.

l) Sección nominal de un conductor. - Es la sección efectiva redondeada que sirve para la designación del conductor con arreglo a las normas.

m) Sección efectiva de un conductor. - Es su sección verdadera.

n) Flecha de un conductor. - Es la distancia desde el centro de la línea de enlace entre los dos puntos de suspensión hasta el punto del conductor que se encuentra perpendicularmente abajo.

o) Vano. - Es la distancia medida horizontalmente entre dos puntos de apoyo vecinos.

p) Sección de transposición.- Es la parte de la línea aérea que se halla entre dos torres de cruce con líneas de Telecomunicación.

ARTICULO 5.- Redes de Corriente Continua.- Se prohíbe la construcción de cualquier red de distribución de servicio público que utilice el sistema de corriente continua. Sólo se utilizara corriente alterna.

ARTICULO 6.- Tensión de Distribución Primaria.- La tensión primaria que se recomienda para las redes de distribución es la de 13.800 voltios.

ARTICULO 7.- Tensión de Distribución Secundaria.- Cuando se utiliza el sistema monofásico, las tensiones secundarias que se recomiendan son de 220/120 voltios.

Al utilizar el sistema trifásico las tensiones recomendadas son 220/127, 200/120 y 380/220 voltios.

ARTICULO 8.- Pérdida de Tensión.- La pérdida de tensión, tanto en las líneas primarias como secundarias de distribución no debe exceder del 3% para el diseño.

ARTICULO 9.- Tensiones de Transmisión.- Las tensiones para los sistemas de transmisión podrán ser: 22, 69, 138 y 230 KV de acuerdo con el Plan Nacional de Electrificación.

ARTICULO 10.- Categorías de las Líneas.- Se consideran las siguientes categorías:

a) Primera categoría:

Se consideran como líneas de primera categoría a las instalaciones de baja tensión, cuyos valores nominales utiliza dos sean inferiores a 480 voltios.

b) Segunda categoría:

Se consideran como líneas de segunda categoría - las instalaciones de alta tensión cuyos valores nominales sean de 480 voltios y superiores.

ARTICULO 11.- Trazado de las Líneas Aéreas de Segunda Categoría.-

Las líneas de segunda categoría se estudiarán si -- guiendo el trazado que se considere más conveniente, con las ca-- racterísticas que estime oportunas el autor del proyecto y ajus-- tándose en todo caso a los preceptos del presente reglamento.

Se evitarán en lo posible los ángulos pronunciados y se reducirá al mínimo el cruce con carreteras, canales, ferroca rriles y con otras líneas de transporte de energía eléctrica.

Se tendrá presente que, siempre que se cruce una - vía férrea o fluvial o una carretera, el ángulo formado por la di -- rección de dicha vía en el lugar de cruce y la de los conductores,

no debe ser inferior a 10° sexagesimales, y en todo caso la longitud del cruce no exigirá un vano superior al normal de la línea.

En el proyecto figuran, además de la Memoria, en la que se hará una descripción de la instalación a establecer, los datos generales, tales como tensión de servicio, número de períodos, clase de corriente, número de conductores, sección y material de que están constituidos, incluyendo el cable o cables de tierra, dispositivos de protección de la línea, etc., y los cálculos justificativos con presupuesto detallado de las diferentes partidas, especificando claramente el material a emplear.

El trazado de la línea y su emplazamiento se representará en planos diseñados al efecto.

**ARTICULO 12.- Conductores.**- Los conductores podrán ser de cualquier material que tenga características eléctricas y mecánicas adecuadas para este fin, además de ser prácticamente inalterables con el tiempo.

Su resistencia mecánica y sus dimensiones satisfarán las condiciones que posteriormente se indican, pudiéndose utilizar conductores huecos o constituidos por metales de diferente naturaleza.

**ARTICULO 13.- Designación de la Sección de los Conductores.**- Las dimensiones de los conductores empleados en las líneas de transporte de energía eléctrica se especificarán designando su sección en milímetros cuadrados y sus diámetros en milímetros.

Además se podrá expresar su calibre según la galga A.W.G. para conductores de cobre, aluminio y sus aleaciones y según la galga B.W.G. para conductores de hierro o acero.

**ARTICULO 14.- Secciones de los Conductores.**-

a) No se admiten conductores unifilares de acero y de aluminio y sus aleaciones.

b) Conductores unifilares de cobre, bronce y cobre/acero, solo se admiten hasta una sección máxima 16 mm<sup>2</sup> y hasta un vano de 80 metros.

c) La sección mínima admisible es como sigue:

Para cobre y bronce	10 mm <sup>2</sup>
Para acero	16 mm <sup>2</sup>
Para aluminio y sus aleaciones	25 mm <sup>2</sup>
Para aluminio/acero	16/2,5 mm <sup>2</sup>

d) En los conductores de cobre/acero la sección debe ser de tamaño tal que la carga mínima sea por lo menos de 380 Kg.

**ARTICULO 15.- Tensiones de Tracción.**-

a) Los valores indicados a continuación para las tensiones de tracción máximas, no debe rebasarse, ni con la carga

adicional normal de viento, ni con una carga ocasional (hielo)

TIPO DE CONDUCTOR	TENSION DE TRACCION MAXIMA ADMISIBLE
Conductor de cobre unifilares	12 Kg/mm <sup>2</sup>
Conductores unifilares de otros materiales	35% de la resistencia a la tracción permanente.
Cables de cobre	19 Kg/mm <sup>2</sup>
Cables de aluminio	8 Kg/mm <sup>2</sup>
Cables de aldreya	12 Kg/mm <sup>2</sup>
Cables de bronce I (DIN 48201)	24 Kg/mm <sup>2</sup>
Cables de bronce II (DIN 48201)	30 Kg/mm <sup>2</sup>
Cables de bronce III (DIN 48201)	35 Kg/mm <sup>2</sup>
Cables de aluminio-acero con referencia a la sección total del conductor con una relación de la sección de:	
Aluminio/acero 5,7 hasta 6	11 Kg/mm <sup>2</sup>
Aluminio/acero 4,3	11,5 Kg/mm <sup>2</sup>
Aluminio/acero 3	13 Kg/mm <sup>2</sup>
Cables de otros materiales	50 % de la resistencia a la tracción permanente.

Estas tensiones de tracción son en el punto más bajo de la línea de flecha de los conductores y no se rebasan en ninguna de las hipótesis adoptadas para el cálculo.

En los conductores de líneas aéreas, la tensión de tracción en los puntos de suspensión e entre puntos de suspensión de desnivel, en los de mayor altura, es mayor que la tensión de tracción máxima admisible. En ningún caso, la tensión de tracción en los puntos de suspensión debe rebasar en más del 6% los valores mencionados en lo que antecede.

En los vanos de punto de suspensión de aproximadamente igual altura, no hace falta el control si la flecha máxima según la hipótesis del cálculo no excede del 4% aproximadamente del vano.

b) La seguridad de los conductores decrece con cargas adicionales, al crecer el vano. La doble carga adicional normal, debe solicitar el material de los conductores en los puntos de suspensión como máxima hasta el valor de la resistencia permanente a la tracción.

c) Los requisitos según a) y b) se considerarán cum

plidos para conductores normales, sobrando una prueba especial, - cuando en las condiciones de tensión máxima establecidas en a) no se rebasan los vanos marginales.

La table I contiene, para la secciones nominales de uso más frecuente, los vanos marginales calculados sobre la base de los valores de las tensiones de tracción máxima según el inciso a) y de puntos de suspensión de igual nivel según la ecuación de la catenaria.

d) En las regiones donde ocurren con regularidad - cargas adicionales mayores que la normal, la tensión de tracción máxima y el vano se elegirán de tal modo que no se rebasen los valores admisibles según a), y que el material se solicite en el caso máximo, hasta la resistencia a la tracción permanente por un esfuerzo cuatro veces mayor en el caso de conductores unifilares y por dos veces mayor que la carga adicional en caso de cables.

e) En las regiones donde hay que calcular con oscilaciones provocadas por el viento y peligrosas para los conductores, hay que tomar precauciones adecuadas.

La experiencia ha demostrado que los conductores -- pueden correr peligro en los terrenos llanos, libremente accesibles al viento. El peligro consiste en que especialmente en los puntos de fijación se presentan esfuerzos cambiantes adicionales, susceptibles de causar la rotura de alambres. Estos peligros pueden contrarrestarse por medios que prevengan el nacimiento de estas oscilaciones (por ejemplo, disminución de la tensión de tracción máxima) o eliminen sus efectos perjudiciales.

T A B L A I  
VANOS MARGINALES

sec ción	Vanos Máximos					rela- ción al/ac	rela	va-	rela	rela	vanos máxi- mos
	co- bre	bron ce	ace ro	alu mi- nio	alu al- drex		ción aprox.	nos má- ximos	ción al/ac	ción aprox.	
mm <sup>2</sup>	m	m	m	m	m	-	mm <sup>2</sup>	m	-	mm <sup>2</sup>	m
10	55	95	--	--	--		16/2,5	75		380/50	980
16	80	135	135	--	--		25/4	105		435/55	1015
25	115	200	225	35	165		35/6	145	7.7:1	490/65	1050
55	155	270	375	50	220		50/8	195		550/70	1080
50	225	405	455	65	310		70/12	285		125/30	730
70	320	605	515	80	410		95/15	400	4.3:1	170/40	830
95	530	815	585	105	590	6:1	120/20	560		210/50	895
120	690	875	630	130	760		150/25	750		50/30	820
150	735	930	675	155	850		185/30	820	1.7:1	95/55	1090
185	780	985	715	185	935		210/35	850		120/70	1185
240	820	1035	765	240	1035		240/40	905		44/32	835
300	865	1090	800	300	1150		300/50	975	1.4:1	105/75	1195

ARTICULO 16.- Empalmes de Conductores.- Los empalmes de los conductores, y con los aparatos, deben satisfacer a las condiciones de conductibilidad y aislamiento de los mismos conductores, en resistencia mecánica no será inferior al 90% de la del conductor.

ARTICULO 17.- Empalmes de Conductores.- Podrán utilizarse empalmes con retorcido del conductor hasta secciones equivalentes al número cuatro N° 4 A.W.G. también se admitirán empalmes con conectores de tornillos dientes de sierra, a presión, etc.

ARTICULO 18.- Empalmes de Conductores.- Quedan prohibidos los empalmes en los vanos de cruzamiento y autorizados en los contiguos, con tal que se realicen máximo a tres metros del aislador. En casos especiales la Dirección de Recursos Energéticos puede autorizar empalmes de tipo especial, a este fin aprobados.

ARTICULO 19.- Empalmes de Conductores.- Las acometidas a los usuarios se realizarán desde los puntos de apoyo y nunca desde el medio del vano. Se podrá usar como guía la terminología y las recomendaciones generales de las figuras: 4.16 y 4.17.

ARTICULO 20.- Hipótesis de Sobrecarga para al Cálculo Mecánico de Conductores.- Los conductores se calcularán para las siguientes hipótesis:

A) PRESION DEL VIENTO; Para el cálculo mecánico de conductores se considerarán las siguientes presiones del viento:

Altitud m.	Velocidad del viento en Km/h	Fórmula de cálculo	Presión del viento sobre superficies en Kg/m <sup>2</sup>	
			Planas	cilíndricas (coeficiente de reducción 0,6)
0 - 1.200	70	$p=0,007 \cdot v^2$ en la que:	34	21
1.200 - 3.000	90	$p$ =presión del viento en Kg/m <sup>2</sup>	57	34
3.000 - 4.000	120	$v$ =velocidad del viento en Km/h	100	60

B) TEMPERATURA: Para el cálculo mecánico de conductores se considerarán los siguientes valores de temperatura:

Altitud en mts.	Temperatura en grados Celsius.	
	Máxima	Mínima
0 - 1.200	50	5
1.200 - 3.000	50	0
3.000 - 4.000	40	-10

C) Flechas máximas de conductores y cables de tierra:

En función de las hipótesis de sobrecarga anteriormente especificadas, se determinará la flecha máxima de conductores y cables de tierra en los casos siguientes:

1.- Para zonas situadas entre 0 y 1.200 metros de altitud, a la temperatura de 50°C sin sobrecarga y a la temperatura de 15°C con sobrecarga debida a la presión de un viento de 34 Kg/m<sup>2</sup> de superficie plana de conductor o cable de tierra, o, de 21 Kg/m<sup>2</sup> de superficie cilíndrica proyectada.

2.- Para zonas situadas entre 1.200 y 3.000 metros de altitud, a la temperatura de 50°C sin sobrecarga y a la temperatura de 15°C con sobrecarga debida a la presión de un viento de 57 Kg/m<sup>2</sup> de superficie plana de conductor o cable de tierra, o, de 34 Kg/m<sup>2</sup> de superficie cilíndrica proyectada.

3.- Para zonas situadas entre 3.000 y 4.000 metros de altitud, a la temperatura de 40°C sin sobrecarga y a las temperaturas de 40°C y 10°C con sobrecarga debida a la presión de un viento de 100 Kg/m<sup>2</sup> de superficie plana de conductor o cable de tierra o, de 60 Kg/m<sup>2</sup> de superficie cilíndrica proyectada.

4.- Para zonas situadas sobre los 4.000 metros de altitud el criterio queda a cargo del proyectista y del conocimiento que se tenga de la región.

5.- En zonas en las cuales se tengan datos estadísticos muy confiables, se podrán modificar los valores, consignados anteriormente, para ajustarlos a la realidad previa la justificación cuando las condiciones climatológicas lo aconsejen.

6.- La flecha máxima vertical resultante en cada caso, se tomará en cuenta para el cálculo de la altura de los apoyos, de tal manera que en ningún caso se rebasen las distancias mínimas prescritas de los conductores al suelo.

D) Tensiones de tracción máximas de los conductores

y cables de tierra.- Con las temperaturas mínimas de cada zona, no deberán ser rebasados, los valores de las tensio

nes de tracción máxima del artículo 15, al efectuar los cálculos bajo los supuestos de sin y con sobrecarga de viento, para los conductores y cables de tierra.

**ARTICULO 21.- Cable de Tierra o Hilo de Guardia.**- En las grandes líneas se recomienda el empleo de uno o varios cables de tierra colocados sobre los conductores, unidos mecánica y eléctricamente a la parte más alta de los postes. La resistencia a tierra ha de ser lo más pequeña posible, para obtener un buen uso del cable de tierra. En cada apoyo debe disponerse de una toma de tierra, la cual se realizará con arreglo a lo establecido en el artículo de puestas a tierra.

Los cables de tierra podrán ser de acero o de la misma naturaleza que los empleados para conductores de la línea, su sección y resistencia mecánica satisfarán las condiciones especificadas en el artículo correspondiente a conductores, pero en general, tendrán una resistencia mecánica mayor en un 20% que la de los conductores empleados en la línea.

La resistencia mecánica de los cables de tierra se tendrá en cuenta para el cálculo mecánico de los apoyos.

La distancia entre los cables de tierra y los conductores no serán inferior a la que de ba existir entre éstos y sus apoyos, con arreglo a lo dispuesto en el artículo correspondiente a distancias entre los conductores y partes metálicas.

El número y disposición de los cables de tierra serán tales que el ángulo protector, es decir, el formado por la vertical con la recta que une el cable de tierra y el conductor exterior, debe ser igual o inferior a 35°. (En un plano vertical normal a la dirección de la línea).

**ARTICULO 22.- Conexión a Tierra.**- Los postes con estructura metálica deberán estar en buena comunicación con tierra, e igualmente, las armaduras metálicas de los postes de hormigón armado. Si la línea tiene cable de tierra podrán disponerse menos tomas de tierra que apoyos, siempre que la medición de la resistencia de paso a tierra desde cualquier punto del cable o apoyo no exceda de 20 ohmios.

En líneas con postes de madera que no tengan cable de tierra no será obligatoria la conexión a tierra de los herrajes y armaduras.

La conexión a tierra se hará mediante conductores de hierro galvanizado de 100 milímetros cuadrados de sección como mínimo, o bien de otro metal de resistencia eléctrica equivalente a la de un conductor de cobre de 35 milímetros cuadrados (N° 2 A.W.G.) de sección, por lo menos. Estos conductores se conectarán por medio de empalmes adecuados, a electrodos metálicos colocados verticalmente, enterrados a una profundidad mínima de 0,80 metros, alcanzándose, donde sea posible, la zona de humedad permanente del



terreno. El conductor de conexión a tierra no deberá estar tendido por encima del macizo de hormigón que constituye la cimentación del apoyo, sino que atravesará este por medio de un tubo de hierro.

No deben utilizarse electrodos sumergidos libremente en el agua, es decir, sin estar perfectamente enterrados.

Los electrodos podrán estar constituidos por placas, tubos, varillas o bandas de metal inalterables o por otras masas metálicas apropiadas.

Cuando las condiciones naturales del terreno no sean favorables para lograr una baja resistencia en la toma de tierra, se efectuará un tratamiento químico del terreno por alguno de los métodos sancionados por la práctica.

Por la importancia que ofrece desde el punto de vista de seguridad toda instalación de toma a tierra deberá ser comprobada en el momento de su establecimiento y revisada cada dos años en la época en que el terreno esté más seco. Para ello, se medirá la resistencia de paso a tierra, reparando inmediatamente los defectos que se encuentren. En los lugares en que el terreno no sea favorable a la buena conservación de los electrodos, éstos, así como también los conductores de enlace entre ellos hasta la pieza de empalme al poste, se pondrán al descubierto para su examen, al menos una vez cada dos años.

La resistencia de paso a tierra de los electrodos, obtenida por medición directa, no será en ningún caso superior a 20 ohmios.

En los lugares frecuentados en donde sea imposible establecer una tierra eficaz, se adoptarán medidas apropiadas a las condiciones especiales, tendientes a evitar los peligros de accidentes en casos de fallas de aislamiento.

#### ARTICULO 23.- Distancias Mínimas de los Conductores al Suelo.-

Los conductores y aisladores deben disponerse de tal forma que sin medios auxiliares, sean inaccesibles desde el suelo, techos, salientes, ventanas y otros lugares de tránsito humano regular. Estas exigencias se consideran cumplidas cuando se observan las disposiciones siguientes:

a) La distancia mínima entre los conductores y el suelo debe ser de 6 metros, con la flecha máxima según las hipótesis de cálculo. Los accidentes insignificantes del terreno no necesitan ser tomados en cuenta.

Si el terreno es accesible al tráfico y deporte, esta distancia también debe observarse en las oscilaciones de los conductores con la máxima flecha vertical y la carga de viento correspondiente a la zona.

b) En los cruces de carreteras, ferrocarriles, caminos transitados, etc., la distancia mínima vertical de los conductores al suelo será de 7 metros, con la flecha máxima según las

hipótesis de cálculo.

c) Si el trazado de la línea recorre una pendiente empinada, no accesible ni al tráfico ni al deporte, la distancia entre los conductores en plena oscilación bajo el efecto del viento y la pendiente, debe ser por lo menos de 3 metros.

d) Para las tensiones nominales superiores a 110 KV las distancias mínimas que anteceden deben aumentar en:

$$\frac{U_n - 110 \text{ KV}}{150 \text{ KV}} \text{ metros. Siendo}$$

Un = tensión nominal en kilovoltios,

ARTICULO 24.- Distancias Mínimas de los Conductores al Arbolado.-

Con los conductores en plena oscilación debe ser por lo menos de 3,5 metros la distancia entre las partes de una línea aérea bajo tensión y los árboles por debajo a al lado de la línea a los cuales se sube para efectuar trabajos (por ejemplo, cuidado de frutales, cosechas, etc.).

Para tensiones nominales superiores a 110KV, esta distancia mínima aumentará en

$$\frac{U_n - 110 \text{ KV}}{150 \text{ KV}} \text{ metros. Siendo } U_n \text{ la tensión nominal en kilovoltios.}$$

ARTICULO 25.- Separación Mínima de los Conductores entre si.-

Los conductores bajo tensión deben guardar, uno del otro y de otros conductores, por ejemplo cables de tierra, tal distancia que no haya de temer que tomen contacto uno con el otro o que se aproximen hasta producirse la descarga, teniendo presente los efectos de las oscilaciones debidas al viento sobre los conductores.

La separación entre los conductores se fijará aplicando las fórmulas siguientes que la determinan en función de la tensión U de servicio, expresada en kilovoltios, y la flecha f máxima, medida en metros:

a) para tensiones superiores a 66 KV:

$$d = k f + \frac{U^2}{20.000}$$

b) para tensiones iguales o inferiores a 66 KV:

$$d = k f + \frac{U}{150}$$

Siendo:

d = distancia mínima, expresada en metros, entre los conductores.

k = coeficiente que vale 0,50 cuando se trata de conductores de cobre, acero o aluminio-acero y 0,75 si se empleasen conductores de aluminio, aldre y u otras aleaciones ligeras.

c) cuando dos conductores resulten colocados en un mismo plano vertical, la separación mínima obtenida por las fórmu

las anteriores, deberá aumentarse en un 20%.

**ARTICULO 26.- Separación Mínima de los Conductores y Apoyos(masa)**

La distancia de los conductores y los apoyos o partes metálicas, etc., debe ser tal que no haya riesgo alguno de cortocircuitos, teniendo presente los efectos de las oscilaciones debidas al viento sobre los conductores.

La distancia mínima que debe existir entre los conductores y los postes o apoyos o cualquier parte de ellos, vendrá determinada por la fórmula:

$$d = 0,1 + \frac{U}{150 \text{ KV}}$$

representando:

d = distancia mínima, en metros, de los conductores a los apoyos o parte de ellos.

U = tensión compuesta de servicio en kilovoltios.

Si los aisladores son del tipo de cadena, las distancias mínimas con desviación del conductor y la cadena de aisladores por la carga de viento y los apoyos o partes de ellos será de  $\frac{U}{150 \text{ KV}}$  metros.

La distancia entre los conductores y cables de tierra, no será inferior a la que debe existir entre éstos y sus apoyos, con arreglo a lo dispuesto en el párrafo anterior. La flecha del cable de tierra será el 90% de la de los conductores.

**ARTICULO 27.- 27.- Apoyos.-** Los apoyos podrán ser de cualquier clase adecuada al objeto a que se destinan, torres metálicas, estructuras en pórtico, etc., de hormigón armado, de madera, pudiéndose combinar todos estos sistemas. Podrán colocarse tirantes o tornapuntas cuando se considere conveniente dar mayor solidez al apoyo. En general se preferirán los tornapuntas a los tirantes o vientos, pero en todo caso, deben ser tan resistentes como los apoyos a que se aplican.

**ARTICULO 28.- Apoyos de Madera.-** En las líneas aéreas de transporte de energía eléctrica se emplearán preferentemente el eucalipto, la teca, el guayacán, el pambil, o cualquier otra especie apta para este fin, prohibiéndose la utilización de especies arbóreas que, por el retorcimiento de sus fibras, puedan dar origen al variar las condiciones de humedad y sequedad del ambiente, a torsión de los apoyos y desiguales tensiones de los conductores.

La madera será sana, bien curada, evitándose grietas que puedan perjudicar su buena conservación.

Los apoyos deberán ser tratados por un procedimiento, sancionado por la práctica, que evite en lo posible su putrefacción.

Se marcarán con caracteres claros e indelebles las

indicaciones siguientes: a 4,5 metros sobre el suelo, el año en que se realizó el tratamiento destinado a evitar su deterioro y encima la longitud total del poste y unas iniciales que permitan conocer la entidad y lugar en que se realizó aquél tratamiento. Los hilos o cables metálicos, empleados como vientos para el arriostamiento de los apoyos, serán galvanizados y tendrán una sección total mínima de 25 milímetros cuadrados en la parte situada sobre el suelo y de 50 milímetros cuadrados en la parte enterrada, que podrá estar constituida por redondos de hierro de 4 cm. de diámetro como mínimo.

Los empalmes de los vientos y sus conexiones al apoyo y al anclaje fijado a tierra serán realizados en forma que presenten una resistencia a la rotura por lo menos igual a la de los hilos o cables que constituyen el viento. En las líneas de cierta importancia, todos los vientos estarán provistos de tensores, prohibiéndose, en todo caso, tensar aquellos retorciendo los hilos o cables que los constituyen.

Los vientos que arriostren a los apoyos de madera no deberán tocar a los herrajes que soporten a los aisladores, ni a las partes metálicas que estén en contacto eléctrico con aquellos herrajes.

Dichos vientos estarán provistos de aisladores, cuya resistencia metálica será análoga a la del tirante. Estos aisladores distarán más de  $\frac{2U}{150}$  metros (en la que U expresa la tensión eficaz en kilovoltios entre conductores) del conductor más próximo, midiéndose esta distancia en las condiciones de sobrecarga en que la aproximación sea mayor. Los citados aisladores se encontrarán a una altura mínima de 4 metros sobre el suelo, midiéndose esta altura verticalmente sobre el terreno.

En los lugares transitados, los vientos deberán quedar protegidos por tubos metálicos desde el suelo hasta 2 metros de altura medida ésta verticalmente.

ARTICULO 29.- Diámetro de los Postes de Madera.- El diámetro a la altura de empotramiento de los postes de alineación o de tangentes se determinará en la forma que se estime oportuno, pero en ningún caso los diámetros de los postes de madera serán inferiores a los siguientes:

						<u>Diámetro en cm.</u>	
						A dos mts. del pie	En el extremo superior
Hasta	8	metros	de	altura	total	16	10
"	9	"	"	"	"	17	11
"	10	"	"	"	"	18	12
"	11	"	"	"	"	19	13
"	12	"	"	"	"	20	13
"	13	"	"	"	"	21	14
"	14	"	"	"	"	22	14
"	15	"	"	"	"	23	15
"	16	"	"	"	"	24	15
"	17	"	"	"	"	25	15
"	18	"	"	"	"	26	15
"	19	"	"	"	"	27	15
"	20	"	"	"	"	28	15
"	21	"	"	"	"	29	15
"	22	"	"	"	"	30	15

Para vanos especiales o postes de ángulos, anclaje o que desempeñen misiones especiales, deberá verificarse el cálculo completo de las condiciones más desfavorables. En cualquier caso, los resultados obtenidos habrán de adaptarse como mínimo a: - los valores límites señalados en la tabla anterior.

**ARTICULO 30.- Apoyos Metálicos y de Hormigón Armado.-** Cuando sea necesario - establecer vanos de cierta longitud, por la importancia de la líneas, por la topografía del terreno o por otras razones, se adoptarán apoyos metálicos o de hormigón armado.

No deberán emplearse, salvo para los elementos de - importancia secundaria, hierros planos de espesor inferior a 4 mm ni perfiles de un ancho inferior a 40 mm.

En los vanos de gran longitud deberán tenerse en - cuenta los efectos que pueda ocasionar la vibración de los conductores. Para evitar las averías a que pueden dar lugar dichas vibraciones se adoptarán aisladores de suspensión y dispositivos especiales.

Los hierros de los apoyos y los herrajes deberán estar protegidos con recubrimientos metálicos o con pinturas de óxido de hierro, de aluminio o análogas.

**ARTICULO 31.- Altura de los Apoyos.-** La altura de los apoyos será la necesaria para que los --

conductores, con su máxima flecha vertical, queden sobre cualquier punto del terreno a la distancia mínima vertical prescrita.

En lugares inaccesibles o de difícil tránsito, las distancias mínimas de los conductores al suelo podrán ser reducidas, siempre que no representen peligro alguno para las personas o cosas.

ARTICULO 32.- Tipos de Apoyos.- Los apoyos se clasifican en la siguiente forma:

a) Apoyos de alineación o de Tangente.- que sirven únicamente para sostener los conductores y cables de tierra, debiendo ser empleados exclusivamente en alineaciones rectas.

b) Apoyos de Angulo.- que se utilizan para sostener los conductores y cables de tierra en los vértices de los ángulos que forman las alineaciones.

c) Apoyos de retención o de anclaje.- que deben proporcionar puntos firmes en las líneas.

d) Apoyos de final de línea.- que deben resistir en sentido longitudinal de la línea a la sollicitación de todos los conductores y cables de tierra.

e) Apoyos especiales.- son aquellos que tienen características distintas de las comprendidas en la clasificación anterior.

Los apoyos de los tipos enumerados pueden aplicarse a diferentes fines de los indicados, siempre que cumplan las condiciones de estabilidad necesarias al empleo a que se destinan.

Se recomienda, en general, reducir al mínimo el número de tipos de apoyos de una línea.

ARTICULO 33.- Esfuerzos a considerar en el Cálculo de los Apoyos.-

1) Apoyos de alineación o de tangente.- Los apoyos se calcularán para los siguientes esfuerzos, pero no simultáneos, sino combinados como más adelante se indica:

a) esfuerzos verticales debidos al peso de los conductores, aisladores, herrajes, cables de tierra (si los hubiere), y peso propio del apoyo.

b) presión del viento normal a la dirección de los conductores sobre el apoyo, crucetas y aisladores, y simultáneamente sobre los cables de tierra (si los hubiere), en la mitad de cada uno de los dos vanos contiguos.

c) presión del viento actuando en la dirección de los conductores sobre el apoyo, crucetas y aisladores.

d) esfuerzo horizontal igual a la máxima tensión -- que pueda transmitir un conductor aplicado en el punto que produzca la sollicitación más desfavorable en cualquier elemento del apo

yo, teniendo en cuenta la torsión, en el caso de que aquel esfuerzo sea excéntrico.

Previas las justificaciones pertinentes, podrán tenerse en cuenta, a los efectos del esfuerzo de los conductores, - los dispositivos que se adopten para reducirlo así como la que puede ocasionar la desviación de la cadena de aisladores en el caso de rotura del conductor en un vano.

2) Apoyos de ángulo.- Los apoyos de ángulo se calcularán para los esfuerzos a), b), d), según han sido definidos para los apoyos de alineación o tangente, y,

e) la resultante de los esfuerzos máximos producidos por el ángulo y que tanto los conductores como los cables de tierra (si los hubiere) transmitan al apoyo, supuestos unos y otros en las condiciones especificadas en las Hipótesis de sobrecarga para el cálculo mecánico de conductores: A) presión del viento y B) temperatura.

3) Apoyos de anclaje.- Los apoyos de anclaje se calcularán para los esfuerzos a), y b), según han sido definidos para los apoyos de alineación o tangente y,

f) igual al d), pero sin ninguna reducción en el esfuerzo máximo que pueda producir el conductor.

g) dos tercios del esfuerzo máximo de todos los conductores de energía para las líneas de tres conductores, y un medio para los que tengan más de tres, el esfuerzo se supondrá aplicado en el eje del apoyo y a la altura correspondiente al conductor medio.

4) Apoyos de fin de línea.- Deberán resistir en el sentido de la línea el tiro máximo de todos los conductores y cables de tierra (si los hubiere) coincidente con el peso propio de todos los elementos que integren el apoyo, el de los conductores, cables de tierra y sobrecarga.

5) Apoyos especiales.- Se justificarán los esfuerzos a que estarán sometidos, según el empleo a que se destinen,

ARTICULO 34.- Hipótesis para el Cálculo de los Apoyos.- Las diferentes hipótesis que se tendrán en cuenta para el cálculo de los apoyos serán según se especifican en el cuadro siguiente:

Tipo de apoyo	Hipótesis del cálculo	Observaciones
Alineación	1a: Simultaneidad de a) y b) 2a: Simultaneidad de a) y c) 3a: Simultaneidad de a) y d)	<p>Solamente para líneas con apoyos flexibles. Podrán proyectarse líneas de tensión igual o superior a 110 KV, con apoyos de alineación que no cumplan la hipótesis tercera, cuando estando asegurada la continuidad del conductor por un coeficiente de seguridad no inferior a 3 se haya efectuado el estudio del aislamiento de la línea y del apoyo, por lo que a la distancia de los conductores a masa se refiere, teniendo en cuenta la acción directa del rayo sobre la línea. En este caso la distancia máxima entre apoyos de anclaje será de 3 Km.</p>
Angulo	1a: Simultaneidad de a), b) y e) 2a: Simultaneidad de a) y d) 3a: La resultante de los esfuerzos transmitidos por los conductores, supuesta una dirección del viento normal a los que determinen el mayor tiro en los dos vanos contiguos al apoyo, y simultáneamente, la presión del viento sobre el apoyo, crucetas y aisladores en la citada dirección.	<p>Solamente para apoyos que tengan en la dirección de la resultante un momento resistente menor que en la dirección de esta fuerza. El esfuerzo a que se hallan solicitados los conductores y cables de tierra y que éstos transmitan al apoyo, pueden sustituirse por el obtenido multiplicando la tensión máxima de trabajo admitida por el seno del ángulo de incidencia del viento sobre el conductor.</p>
Anclaje	1a: Simultaneidad de a) y b) 2a: Simultaneidad de a) y f) 3a: Simultaneidad de a) y g)	
Fin de línea	Como se ha especificado en el artículo anterior	
Especiales	Como se ha especificado en el artículo anterior.	



ARTICULO 35.- Coefficientes de Seguridad de los Apoyos.-

1) Apoyos metálicos.- Las estructuras de los diferentes tipos de apoyos anteriormente mencionados, se calcularán para la hipótesis de carga correspondientes, no empleándose en aquellas coeficientes de trabajo mayores de  $\frac{1}{2},5$  de la carga de rotura en las hipótesis que constituyen el normal funcionamiento de la línea, y de  $\frac{1}{2}$  de la carga de rotura en las hipótesis tercera de alineación y ángulo y tercera y cuarta de anclaje, que se refieren a rotura de conductores.

En este caso, podrá tenerse en cuenta para el cálculo del apoyo el conjunto que forma el mismo con los cables de tierra, cuando estos últimos puedan absorber esfuerzos transmitidos por el apoyo como consecuencia de la elasticidad del mismo, y siempre que no se baje del coeficiente de seguridad 2, anteriormente indicado, en ningún elemento del conjunto.

2) Tornillos y roblones.- Se calcularán tomando para su trabajo a flexión o esfuerzo cortante los coeficientes de seguridad que a continua ción se expresan, con relación a la carga de rotura por tracción.

a) acciones normales en las que no interviene rotura de los conductores, coeficiente de seguridad = 3

b) acciones normales en las que se toma en consideración la rotura de uno o varios conductores, coeficiente de seguridad = 2,5

Las acciones anormales a las que se refiere son las que se especifican en los apartados d) y g) del Artículo: Esfuerzos a considerar en el cálculo de los apoyos.

Los tornillos y roblones deberán comprobarse también contra el aplastamiento.

3) Apoyos de hormigón armado.- En los apoyos de hormigón armado, el coeficiente de seguridad será de 3 para las condiciones normales de funcionamiento, y de 2,5 en los casos de rotura del conductor.

Como carga de rotura del apoyo podrá tomarse la obtenida por el cálculo. Cuando los procedimientos de fabricación lo mejore, podrá adoptarse la carga correspondiente al valor real con los coeficientes de seguridad 3 y 2 para acciones normales o anormales, respectivamente, y siempre que dicho valor real, se haya determinado mediante ensayos efectuados en un laboratorio oficial.

4) Apoyos de madera.- Los coeficientes de seguridad serán de 4 y 2,5, respectivamente para condiciones normales o anormales.

ARTICULO 36.- Flexión Lateral o Pandeo.- Deberán figurar en el proyecto los cálculos justificativos de las piezas que pueden estar sometidas a pandeo, pu -

diendo emplearse para el cálculo cualquiera de los métodos que la técnica ha sancionado.

El espesor mínimo de los perfiles y chapas a emplear en apoyos y crucetas será de 4 mm.

**ARTICULO 37.- Cimentación de los Apoyos.**- Las cimentaciones de los apoyos deberán satisfacer a las dos condiciones siguientes:

1) El coeficiente de seguridad contra el vuelco (relación entre los elementos estabilizadores) debido a las reacciones del terreno, calculados teniendo en cuenta la consistencia del mismo y los momentos que tienden a provocar el vuelco por efecto de las acciones exteriores, no será inferior a los valores que a continuación se expresan:

a) acciones normales en las que no se toma en consideración el caso de rotura de conductores: coeficiente mínimo de seguridad contra el vuelco = 1,5

b) acciones anormales en las que se toma en consideración la rotura de uno o varios conductores: coeficiente mínimo de seguridad contra el vuelco = 1,25.

2) En ningún caso se admitirá un ángulo de giro cuya tangente sea superior a 0,01, para llegar a las reacciones estabilizadoras del terreno.

Cuando se trate de fundaciones constituidas por bloques superficiales, cuya estabilidad descansa exclusiva o principalmente en su peso (empotramiento lateral nulo o mínimo), será en general determinante y suficiente el cálculo según la condición primera, y por el contrario, cuando se trate de fundaciones constituidas por bloques que penetren profundamente en el terreno, cuya estabilidad proviene en primer término del efecto de empotramiento, será la segunda la condición fundamental.

**ARTICULO 38 .- Cimentación de los Apoyos de Madera.**- Los postes de madera deberán quedar empotrados a una profundidad mínima de 1,30 metros para los de menos de 8 metros de altura, aumentando 0,10 metros por cada metro en exceso.

Se fijarán sólidamente al terreno por medio de coronas de piedra, siendo aconsejable cubrir de éstas el fondo del hoyo, y se prohíbe el empotramiento directo en bloques de hormigón.

Cuando se trata de fundaciones especiales se cuidarán que estén formadas de materiales resistentes a la acción del terreno y que el poste de madera quede protegido contra la humedad del suelo. Su resistencia será, como mínimo, igual a la de los postes que soportan, y la cimentación deberá cumplir las normas señaladas en este artículo.

**ARTICULO 39.- Paralelismo con Líneas de Telecomunicación.**- Cuando el trazado de una línea de transporte de energía eléctrica deba ir,

por circunstancias inevitable, total o parcialmente paralelo a -  
conducciones telegráficas o telefónicas, la separación que se es-  
tablezca entre aquella y éstas será como norma general, superior  
a 10 metros.

=Si se trata de comunicaciones bifilares o de cir-  
cuitos combinados y las transposiciones verificadas en la línea de  
telecomunicación no son suficientes para evitar los efectos induc-  
tivos perturbadores, se podrán verificar también transposiciones  
en la línea de transporte de energía eléctrica.

No obstante, se recomienda como solución más sencii-  
lla el desplazamiento en estos casos de la línea de telecomunica-  
ción.

ARTICULO 40.- Cruces con Líneas de Telecomunicación.- En el cruce  
de una lí-  
nea de telecomunicación y otra de transporte o distribución de -  
energía eléctrica, esta última ocupará la posición superior, y se  
adoptarán las precauciones indicadas en el artículo correspondien-  
te al cruce dentro de las líneas de energía eléctrica.

Si una línea de alta tensión hubiera de cruzar un -  
haz de líneas de telecomunicación se adoptarán en aquella iguales  
medidas de seguridad que las señaladas para los casos de cruce de  
carreteras.

ARTICULO 41.- Líneas Telefónicas Auxiliares.- Cuando se trate de  
líneas de transpor-  
te de energía eléctrica a tensión igual o superior a 110 KV y se  
desea instalar una línea de comunicación auxiliar para la explita-  
ción, ésta deberá tenderse sobre apoyos independientes, teniendo  
presente las disposiciones establecidas anteriormente, para el pa-  
ralelismo con líneas de telecomunicación.

Si se trata de una línea de transporte de energía -  
eléctrica a tensión inferior a 110KV, la de comunicación podrá --  
instalarse sobre los apoyos de la de alta tensión, siempre que se  
trate de comunicación directa, sin derivaciones permanentes, fue-  
ra del trazado general de ésta.

Podrá adoptarse también como medio de comunicación  
el de ondas dirigidas (portadoras) por los conductores de alta --  
tensión, utilizando los filtros correspondientes.

ARTICULO 42.- Paralelismo con Carreteras, Ferrocarriles, Vías Flu-  
viales, etc.- Como medida general se prohíbe la -  
instalación de líneas de transporte de energía eléctrica en alta  
tensión, paralelas a carreteras, ferrocarriles, vías fluviales, -  
etc., siempre que la distancia desde la traza del plano vertical  
determinado por el conductor más próximo hasta el borde la carre-  
tera, ferrocarril, o vía fluvial, sea inferior a vez y media la -  
altura de los apoyos.

Quando excepcionalmente y en caso justificado, una

línea de alta tensión haya de establecerse paralelamente a una carretera, ferrocarril o vía fluvial y el conductor más próximo se halle situado a una distancia inferior a la señalada en el párrafo anterior, habrá de reunir, además de las condiciones generales consignadas en los artículos correspondientes, las especiales que fijen los organismos competentes y las que se detallan a continuación:

a) los apoyos se colocarán a una distancia tal del borde de la carretera o de la vía, que la traza del plano vertical determinado por el conductor más próximo, quede a 3 metros del referido borde.

b) se procurará que no existan uniones o empalmes de los conductores en el trayecto citado, y de ser ello imprescindible, se efectuarán en el puente de conexión que al efecto se dispondrá en el apoyo correspondiente a dicha unión o empalme.

c) se colocará un apoyo de anclaje cada 6 vanos.

d) si los apoyos fuesen de madera, irán reforzados en su base, al menos hasta 50 cm. sobre el suelo, con piezas de hierro, hormigón armado o similares, convenientemente empotradas en el terreno.

**ARTICULO 43.- Paralelismo con otras Líneas de Transporte de Energía Eléctrica.**- Se entenderá que existe paralelismo

cuando dos o más líneas próximas siguen aproximadamente la misma dirección, aunque sus trazas no sean rigurosamente paralelas.

Siempre que sea posible se evitará la construcción de líneas paralelas de transporte o de distribución de energía eléctrica, a distancias inferiores entre las trazas de los conductores más próximos a 100 metros.

Si por razones justificadas hubiese que establecerlas en su totalidad o en algunos trayectos a menor distancia, se reducirá ésta lo menos posible y en todo caso la separación mínima entre la traza de los conductores más próximos de las dos líneas será como mínimo vez y media la altura de los apoyos de la más elevada.

Si al efectuar nuevas instalaciones y con objeto de cumplir lo preceptuado en orden a la distancia mínima entre las líneas paralelas fuese necesario efectuar variaciones en líneas o instalaciones existentes, serán ejecutadas, si no hay acuerdo especial, por el propietario de éstas a cuenta del de las nuevas instalaciones, previa intervención de la Dirección de Recursos Energéticos.

**ARTICULO 44.- Líneas sobre Apoyos Comunes.**- El tendido de dos líneas de diferente tensión en apoyos comunes se permitirá únicamente cuando sean de iguales características en orden a la clase de corriente y frecuencia, salvo que se trate de líneas de transporte y telecomunicación o -

maniobra de la misma empresa y siempre que estas últimas estén - afectas exclusivamente al servicio de las primeras.

En los demás casos deberán cumplirse las siguientes condiciones:

- a) La línea más elevada será la de mayor tensión.
- b) Los apoyos serán de altura suficiente para que la separación de los conductores sea la que con carácter general se exige, quedando además entre el conductor más bajo de la superior y el más alto de la inferior, en las condiciones de hipótesis más desfavorables, una diferencia de altura igual a 1,5 veces la longitud de la cadena correspondiente a la línea de mayor tensión.
- c) El conductor más bajo estará en cualquier punto a la altura mínima dispuesta en el artículo correspondiente a - distancias de los conductores al suelo.
- d) Las líneas que vayan sobre los mismos apoyos se considerarán como de tensión igual a la de las más elevadas, a los efectos de explotación, conservación y seguridad en relación con las personas y cosas, sin perjuicio de que el aislamiento de cada línea sea el que corresponda a su tensión.

**ARTICULO 45.- Cruce de Carreteras.**- El cruce de carreteras, caminos, cercados y lugares frecuentados por personas o ganado, por líneas de transporte de energía eléctrica, no obligará al cambio de alineación previsto en el proyecto, ni al de longitud del vano, a no ser que la longitud del cruce tenga lugar bajo un ángulo inferior a 10 grados sexagesimales. Tampoco obligará al empleo de tipos de apoyo distintos a los que corresponda establecer por su situación en la línea (alineación, ángulo, anclaje, etc.)

Para los cruces de la naturaleza indicada, se exigirán las siguientes condiciones:

- a) Los conductores, y en su caso los cables de tierra, no presentarán ningún empalme en el vano de cruce.
- b) Al efectuar el cálculo de las condiciones más -- desfavorables, los coeficientes de seguridad de los dos apoyos y crucetas que limitan el vano de cruce deberán multiplicarse por el factor 1,5 en relación con los empleados en los restantes apoyos de la línea. Este mismo factor, afectará a los coeficientes de seguridad de las fundaciones de los apoyos de cruce.
- c) La altura mínima del vano de cruce, sobre la rasante de la carretera en las condiciones más desfavorables cumplirá lo preceptuado en el artículo correspondiente a distancia de los conductores al suelo. Si se trata de algún caso determinado en el que por circunstancias especiales se precise mayor altura, será ésta la necesaria para no crear la menor dificultad o peligro para el tráfico, ni para las reparaciones que pudiesen ser necesarias, en la vía cruzada.

ARTICULO 46.- Cruce de Ferrocarriles.- En los cruces sobre vías férreas y en sus estaciones y muelles se prohíbe el empleo de apoyos de madera y se cumplirán las condiciones detalladas en el artículo anterior, produciendo a la vez que uno de los apoyos de la línea de alta tensión quede lo más próximo posible al límite de la zona cuyo cruce se pretende establecer sin pasar de los límites mínimos establecidos para el paralelismo con carreteras, ferrocarriles, vías fluviales.

La altura mínima señalada en el artículo anterior se medirá a partir del nivel superior de los carriles.

ARTICULO 47.- Cruce de Ríos y Canales de Navegación.- En el cruce de una vía fluvial navegable por una línea de tensión igual o inferior a 110 KV, la parte más baja de los conductores quedará a una distancia de 2 metros de la chimenea o arboladura más elevada de los barcos que naveguen, por aquélla, y tendrá un mínimo de 7 metros sobre las cubiertas de los barcos que carezcan de velas o chimeneas, considerando en todo caso el curso de agua cuando alcance su más alto nivel.

Para las líneas de tensión superior a 110 KV se considerará la elevada la citada altura en un centímetro por cada kilovoltio en exceso.

Se cumplirán además las restantes condiciones referentes a cruces de carreteras.

ARTICULO 48.- Cruces sobre Edificios.- En el cruce de líneas de tensión igual o inferior a 110 KV sobre edificios o construcciones cualesquiera, cuando ello fuere indispensable, la altura de los apoyos será tal que los conductores queden, en las condiciones más desfavorables de flecha, 5 metros más altos que los puntos más elevados.

En las líneas de tensión superior a 110 KV, se aumentará la distancia a razón de un centímetro por cada kilovoltio en exceso.

Cuando se trate de puntos inaccesibles del edificio o, en general, del obstáculo sobre el cual ha de pasar la línea, la altura de los conductores, en las peores condiciones de flecha, será superior a cuatro metros.

En lugares perfectamente visibles de los edificios u obstáculos sobre los cuales ha de pasar la línea, y principalmente en las proximidades de las bocas de agua para incendios, se fijarán placas que indiquen la necesidad de avisar a la empresa suministradora de energía eléctrica para que, en caso de incendio, suspenda el servicio a la zona afectada, antes de emplear el agua para la extinción del incendio.

ARTICULO 49.- Cruces con otras Líneas de Energía Eléctrica.- En los

cruces con otras líneas de energía eléctrica se situará por encima la de tensión más elevada. Cuando sean iguales las tensiones de las líneas que han de cruzarse, cruzará por encima de la existente la que se instale con posterioridad.

En la línea superior se adoptarán para el vano de cruce, así como para los dos apoyos y crucetas que limitan éste, las características de seguridad señaladas para el cruce de carreteras.

Se procurará que el cruce se efectúe en la proximidad de uno de los postes de la línea más elevada. Sin embargo, la distancia horizontal entre los conductores de la línea inferior y las partes más próximas de los apoyos de la superior no será menor de  $(1.5 + \frac{f}{2})$  metros, siendo  $f$ , la flecha de los conductores de la línea inferior en el punto de cruce y en las condiciones más desfavorables de flecha.

La separación vertical entre los conductores de ambas líneas tendrá un valor mínimo de  $(1,5 + a + b + c)$  metros, siendo:

- a = longitud en metros a razón de un centímetro por metro de distancia entre el punto de cruce y el apoyo más próximo de la línea superior.
- b = longitud en metros a razón de 1 centímetro por metro de distancia entre el punto de cruce y el apoyo más próximo de la línea inferior.
- c = longitud en metros a razón de 1 centímetro por kilovoltio de tensión de servicio de la línea cuya tensión sea más elevada.

Estas distancias se entenderán considerando los conductores de la línea superior en las condiciones más desfavorables de aproximación.

Únicamente en casos muy justificados se permitirá que la línea de menor tensión se tienda por encima de la tensión más elevada, adoptando entonces, para ambas, las precauciones señaladas para el cruce de carreteras.

Asimismo se autorizará excepcionalmente que se fijen sobre un mismo apoyo dos líneas que se crucen. En este caso, deberán cumplirse para ambas líneas las citadas precauciones para el cruce de carreteras.

**ARTICULO 50.- Cercanías de Aeropuertos.-** Para establecer líneas de alta tensión en las cercanías de aeropuertos, se tendrán presentes las reglamentaciones de la Ley de Aeropuertos de Junio de 1966, y las que en lo sucesivo se promulguen referentes a esta cuestión.

Los apoyos deberá hacerse bien visibles, mediante pinturas adecuadas, disponiéndose además en los conductores de las líneas importantes, en los tramos peligrosos, esferas metálicas, preferentemente de aluminio, recubiertas alternadamente con

pinturas fluorescentes amarillas y rojas.

ARTICULO 51.- Explotación de las Líneas.- Cuaderno Relatorio.-

Es recomendable que el jefe de Servicio y explotación lleve un cuaderno relatorio en el que se indicarán todas las maniobras, cargas, disparos de interruptores, fallas, causas de las averías y horas en que se efectúa la conexión y desconexión de circuitos del sistema.

ARTICULO 52.- Equipos de Personal para Emergencia.- Las Empresas Suministradoras de electricidad sería de desear que tengan por lo menos una camioneta provista de las herramientas necesarias y de los materiales precisos para reparaciones rápidas. Dicha camioneta podría disponer además de los focos normales, de un reflector alimentado con una batería portátil.

ARTICULO 53.- Inspección de las Líneas.- Las Empresas Suministradoras de electricidad deberán disponer la inspección periódica de las líneas, con el objeto de detectar fallas y averías.

ARTICULO 54.- Tala del Arbolado.- Las talas de árboles en las cunetas de las vías públicas, o en las propiedades particulares, se realizarán todo lo frecuentemente que lo exija la seguridad. El dueño de la línea deberá siempre advertirlo a los propietarios afectados. Recíprocamente, cuando el propietario afectado juzgue necesaria una tala para la buena conservación del arbolado, no se efectuará sin haber dado conocimiento al dueño de la línea y haberse puesto de acuerdo en las medidas de seguridad que pudiera exigir la operación.

ARTICULO 55.- Inspección de Aisladores Defectuosos.- La inspección para determinar los aisladores defectuosos se realizará por cualquiera de los sistemas sancionados por la práctica.

ARTICULO 56.- Proximidad a Polvorines, Fábricas de Explosivos, -  
Conducciones de Gas y Lugares Peligrosos.- No se instalarán líneas eléctricas en los recintos de fábricas de explosivos ni de polvorines, depósitos de municiones o locales destinados a su manipulación a distancias menores que las siguientes:

Categoría de las líneas	Conductores	
	Subterráneos	Aéreos
1a	10 m.	20 m.
2a	20 m.	100 m.



Las distancias se medirán horizontalmente a partir del edificio o recinto que se considere, lo a partir del paramento exterior del cerramiento. Si éste no existiera se considerará como límite:

a) de un polvorín enterrado: el pie del talud de la tierra que lo cubra.

b) de un polvorín subterráneo: el polígono convexo circunscrito a la proyección horizontal sobre el suelo de los locales y galerías o pasillos de comunicación con el exterior.

Los conductores aéreos quedarán instalados de modo que, en caso de rotura en las condiciones más desfavorables, no puedan alcanzar los límites así definidos.

Si varios conductores de 1a o 2a categoría pasaran por la inmediaciones del polvorín se los dispondrá a un mismo lado y no a ambos lados del polvorín.

#### ARTICULO 57.- Condiciones de Aplicación.-

a) Las instalaciones incluídas en primera categoría definidas en el artículo 10, de este reglamento, podrán ser establecidas según las normas correspondientes, a las de segunda categoría, pero a condición de respetar la totalidad de las reglas de esta última categoría.

b) El Gobierno Central podrá derogar normas del presente reglamento de acuerdo con el Comité Consultor de Normas.

c) El presente reglamento no será obstáculo para que, cuando la seguridad lo exigiera, la Dirección de Recursos Energéticos imponga condiciones especiales para las instalaciones salvo que los interesador recurran al Comité Consultor para que de su veredicto.

#### ARTICULO 58.- Disposiciones Varias.-

a) Se evitará en cuanto sea posible establecer líneas aéreas de alta tensión en las plazas públicas.

b) Los apoyos al borde de caminos deberán colocarse de manera que queden expuestos lo menos posible a los daños que puedan producir los vehículos, y no perturben la circulación.

c) Los apoyos a los cuales sea fácil trepar colocados en lugares frecuentados, llevarán placas con inscripciones que representen en forma llamativa el peligro de muerte al cual se expone el que toque los conductores. Esas inscripciones se fijarán sólidamente en caracteres netos e indelebles y se colocarán de manera que sea difícil deteriorarlas.

d) Se deberán tomar disposiciones para asegurar la desconexión rápida, en caso de emergencia, de las líneas que atraviesan localidades o pasan en su proximidad.