

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DE LA PROTECCIÓN ELÉCTRICA EN LA RED DE
TELECOMUNICACIONES

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CRISTHIAN PAUL ESCOBAR MALDONADO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1,999

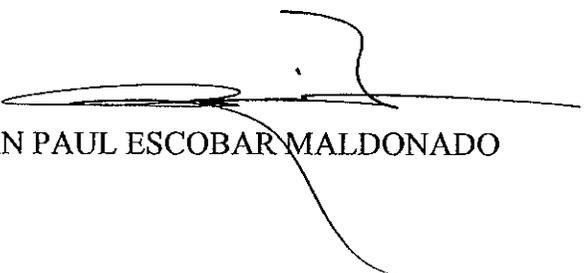
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR



Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

ANÁLISIS DE LA PROTECCIÓN ELÉCTRICA EN LA RED DE TELECOMUNICACIONES,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela Mecánica Eléctrica con fecha 23 de octubre 1998. No. EIME.314.98.


CRISTHIAN PAUL ESCOBAR MALDONADO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL III	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL IV	Br. Oscar Stuardo Cinchilla Guzmán
VOCAL V	Br. Mauricio Alberto Grajeda Mariscal
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Francisco Tzirin Jocholá
EXAMINADOR	Ing. Yuri Omar Urbina Cotto
EXAMINADOR	Ing. Juan Fernando Morales Mazariegos
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

Guatemala, 19 de abril de 1999

Ingeniero
Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador del area electrónica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad

Ingeniero Solares:

Adjunto sirvase encontrar el trabajo de tesis desarrollado por el Ingeniero Infieri Cristhian Paul Escobar Maldonado, cuyo título es: "ANALISIS DE LA PROTECCION ELECTRICA EN LA RED DE TELECOMUNICACIONES".

Después de haberlo revisado detalladamente lo encuentro satisfactorio, por lo que considero que cumple con los requisitos de ley para su trámite respectivo. Así mismo, me permito indicarle que como asesor soy copartícipe de la responsabilidad que el indicado trabajo conlleva.

Sin otro particular, me es grato suscribirme,

atentamente,



Ing. Carlos Enrique Morales Mazariegos
ASESOR NOMBRADO
Colegiado No. 2343

c.c.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 31 de mayo de 1,999

Señor Director
Ing. Roberto Urdiales Contreras
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

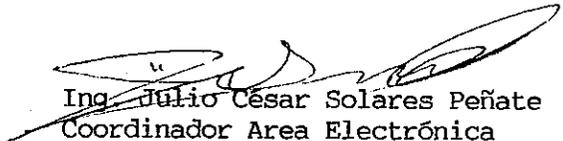
Señor Director.

Me permito dar aprobación al trabajo de tesis titulado: **Análisis de la protección eléctrica en la Red de Telecomunicaciones**, desarrollado por el señor **Cristhian Paul Escobar Maldonado**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador Area Electrónica

JCSP/sdem.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante Cristhian Paul Escobar Maldonado, titulada Análisis de la protección eléctrica en la Red de Telecomunicaciones, procede a la autorización del mismo.

Ing. Roberto Urdiales Contreras

Director

Guatemala, 11 de octubre de 1,999.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

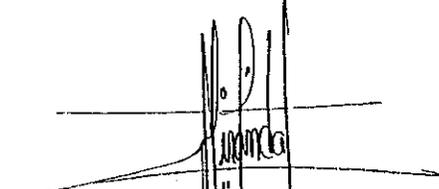


FACULTAD DE INGENIERIA

REF. D-T-001-99

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: **Análisis de la protección eléctrica en la Red de Telecomunicaciones**, del estudiante **Cristhian Paul Escobar Maldonado**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
Decano



Guatemala, noviembre de 1,999.

DEDICATORIA

- A Jesús El motivador más grande que los hombres hayan conocido,
quien ha sido mi roca de apoyo.
- A mis padres Carlos Humberto Escobar Meoño y
Elida Virginia Maldonado M. de Escobar
a quienes siempre les he admirado su disciplina y ejemplo
en la vida.
- A mi esposa Margarita, por su incondicional apoyo y fe.
Con amor por siempre.
- A mis hijos María Alejandra Escobar Murillo
Cristhian David Escobar Murillo
Ir despacio aunque sea, pero ir hacia adelante.
- A mi hermano Carlos Hansver Escobar Maldonado,
quien siempre está.
- A usted Especialmente

ÍNDICE GENERAL

LISTADO DE ILUSTRACIONES	vii
GLOSARIO	x
INTRODUCCIÓN	xiv
1. ESTRUCTURA DE LA PLANTA EXTERNA	1
1.1 Distribuidor principal	1
1.2 Red primaria	2
1.3 Red directa	2
1.4 Canalización primaria	2
1.5 Armarios o centros de distribución (CD)	3
1.6 Red secundaria	3
1.7 Canalización secundaria	3
1.8 Cajas terminales	4
1.9 Postes	4
1.10 Cable de abonado	4
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CABLE MULTIPAR	7
2.1 Generalidades	7
2.1.1 Conductores	7
2.1.2 Aislamiento de conductores	8
2.1.3 Formación del núcleo y trenzado de pares	8
2.1.4 Blindaje del núcleo o pantalla	8
2.1.5 Cubierta exterior	9
2.2 Parámetros eléctricos	9
2.2.1 Resistencia, R	10
2.2.2 Inductancia, L	11

2.2.3	Capacitancia, C	13
2.2.4	Conductancia, G	15
2.2.5	Circuito equivalente de la línea de transmisión	16
2.2.6	Atenuación	17
2.2.7	Diafonía	18
2.2.8	Resistencia de aislamiento	18
2.2.9	Rigidez dieléctrica	21
2.2.10	Variaciones eléctricas	22
3.	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS Y FENÓMENOS FÍSICOS RESULTANTES	23
3.1	Distribución de cargas eléctricas	23
3.2	Nivel isocerámico	24
3.2.1	Niveles isocerámicos nacionales	26
3.3	Estadísticas de falla por fenómenos de descarga	27
3.4	Características de los fenómenos de descarga	27
4.	ANÁLISIS CUALITATIVO DE VOLTAJES INDUCIDOS	29
4.1	Fuentes de sobretensión y sobrecorrientes	29
4.1.1	Descarga directa de rayos	29
4.1.2	Carga electrostática e influencia indirecta de rayos	30
4.1.3	Contacto directo con red eléctrica de baja tensión	30
4.1.4	Inducción desde líneas de alta tensión durante la presencia de fallas	31
4.1.5	Elevación del potencial de tierra	32
4.1.6	Sobrecorrientes	33
4.2	Niveles de tensiones peligrosas	33
4.3	Propagación de la onda de tensión por el suelo	34
4.4	Importancia de un blindaje adecuado en el cable multipar	36

4.4.1	La pantalla como un transformador	36
4.4.2	Fallas en la pantalla	38
4.4.2.1	Falla de pantalla abierta	39
4.4.2.2	Falla de pantalla por conexión falsa	39
4.4.3	Distribución de la corriente y tensión a lo largo de la pantalla	40
4.4.3.1	Onda típica de descarga electroatmosférica	40
4.4.3.2	Por efecto de las descargas electroatmosféricas	41
4.4.3.2.1	Efectos en los cables telefónicos	43
4.4.3.3	Factores que determinan la tensión de choque	45
5.	SISTEMAS DE PROTECCIÓN	51
5.1	Los cuatro tipos de protectores	52
5.1.1	Protectores ubicados dentro de la central telefónica	53
5.1.1.1	Primario	53
5.1.1.2	Secundario	57
5.1.2	Protecciones ubicadas fuera de la central telefónica	58
5.1.2.1	Enlaces fusibles	58
5.1.2.2	Puesta a tierra	60
5.2	Sistemas de puesta a tierra	61
5.2.1	Principios generales	62
5.2.1.1	La continuidad eléctrica de las pantallas y cubiertas metálicas del cable multipar	62
5.2.1.2	Aterrizajes	62
5.2.2	Tomas de tierra	63
5.2.2.1	Resistividad del suelo	63
5.2.2.2	Características eléctricas de los electrodos de tierra	66
5.2.2.2.1	Resistencia	66
5.2.2.2.2	Impedancia de las tomas de tierra	67

5.2.2.3	Tipos de electrodos y cálculos de diseño de sus resistencias	67
5.2.2.3.1	Electrodos horizontales	68
5.2.2.3.2	Electrodos verticales	70
5.2.2.3.3	Electrodos en forma de placa	73
5.3	Normas de construcción, forma y puesta a tierra	75
5.3.1	Forma del electrodo	76
5.3.2	Puesta del electrodo	77
5.4	Mediciones de la resistencia de las tomas de tierra	78
5.5	Ubicación de las tomas de tierra	79
5.5.1	Ubicación de las tomas de tierra para la red de Planta Externa	79
5.5.1.1	Ubicación de los elementos de la planta externa a ser protegidos	79
5.6	Valores máximos para las tomas de tierra	80
5.7	Mantenimiento de las tomas de tierra	81
5.7.1	Verificación de funcionalidad	81
5.7.1.1	Puestas a tierra en la red multipar	81
5.7.1.2	Puestas a tierra en las líneas de abonado	82
5.7.2	Tratamiento del suelo	82
6.	PARALELISMO CON LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	83
6.1	Exposición entre una línea de telecomunicaciones y líneas de energía	83
6.2	Voltaje Inducido	84
6.3	Voltaje perturbador equivalente	85
6.4	Valor de la corriente de carga	85
6.5	Determinación de las tensiones de interferencia	86
6.6	Zona de exposición	87

6.7	Principios de los cálculos	88
6.7.1	Fórmula general para el cálculo de la fuerza electromotriz inducida	88
6.7.2	Evaluación de la inductancia mutua, M	91
6.7.3	Corriente de inducción, J	92
6.7.3.1	Condiciones del sistema	93
6.7.3.2	Posición de falla	93
6.7.3.3	Configuración de las líneas de energía	94
6.7.3.4	Duración de la falla	94
6.7.4	Factor reductor K	95
6.7.4.1	Cálculo del factor reductor	96
6.7.4.2	Consideraciones para el factor reductor K	97
6.7.4.2.1	Factor reductor de conductores a tierra	99
6.8	Aplicación de la fórmula general de inducción	100
6.8.1	Secciones de exposición paralela	100
6.8.2	Secciones de exposición oblicua	100
6.9	Medidas preventivas contra las influencias de las líneas de energía	101
6.10	Coordinación de aislamiento	101
6.10.1	Definición de zonas geográficas de protección	102
6.10.1.1	Zona con poder protector (zona "A")	102
6.10.1.2	Zona con poder protector limitado (zona "B")	102
6.10.1.3	Zona sin protección (zona "C")	103
6.10.2	Características de protección eléctrica en la línea de abonado	103
6.10.2.1	Grado de exposición de las líneas de abonado	104
6.10.2.2	El acoplamiento de tierras	104
6.10.2.2.1	Protección para las líneas de abonado	107
6.10.3	Cuadro sobre protecciones en la red según las zonas geográficas de protección	108

CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFÍA	114
APÉNDICE: Cuadro resumen de especificaciones	116
ANEXO	122

LISTA DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Número	Título	Página
1	Diagrama esquemático de la estructura de la Planta Externa	5
2	Circuito equivalente de la línea de transmisión	16
3	Variación de los parámetros eléctricos en función de la frecuencia	16
4	Dimensiones para el cálculo de la resistencia de aislamiento	19
5	Niveles isocerámicos de la República de Guatemala	26
6	Propagación de la onda de tensión por el suelo	36
7	Función de la pantalla del cable multipar	37
8	Corrientes que fluyen en la pantalla	38
9	Onda típica de sobretension debida a un rayo	41
10	Carga eléctrica vrs. corriente de cresta	42
11	Variación de la corriente en la cubierta metálica de un cable en función de la distancia al punto de entrada de la corriente de choque	43
12	Valor máximo de la sobretensión entre la cubierta metálica de un cable de telecomunicaciones y los conductores en el punto de entrada de una corriente de rayo (forma de onda 5/65), en función de la resistencia de la cubierta y para diferentes valores de la resistividad del suelo	47

13	Valor máximo de la sobretensión entre la cubierta metálica de un cable y los conductores en el punto de entrada de una corriente de rayo (forma de onda 5/65), en función de ρ y para diferentes valores de la resistencia de la cubierta	48
14	Valor máximo de la tensión de choque entre la cubierta y los conductores en función de la distancia x al punto de entrada de la corriente de choque. Forma de onda de $I=5/65$, valor de cresta	49
15	Distribución de frecuencia de voltajes de ruptura	55
16	Voltaje de ruptura vrs velocidad de rampa	56
17	Enlaces Fusibles	59
18	Factor de ponderación "C"	68
19	Interacción de barras múltiples regularmente separadas	73
20	Sección recomendada para el electrodo de puesta a tierra	76
21	Forma de instalar la puesta del electrodo a tierra conectado a la pantalla del cable. Instalación de una punta Franklin para evitar la formación de rayos	
22	Medición de la resistencia de tomas de tierra	79
23	Fuerza electromotriz inducida en función de la separación entre línea de energía y cable telefónico vrs la resistividad de suelo	87
24	Inductancia mutua vrs. distancia y resistividad del suelo	92
25	Corriente inducida vrs. distancia	93
26	Equipotencialidad	105
27	Protección de instalación de línea de abonado	107
28	Protecciones en la red según las zonas geográficas	108

TABLAS

Número	Título	Página
I	Variación de los parámetros eléctricos	22
II	Máximas tensiones permitidas, conductores vrs tierra	34
III	Condiciones de falla de la pantalla del cable	40
IV	Influencia de las aguas subterráneas en la resistividad del suelo	64
V	Valores típicos de la resistividad de ciertos tipos de suelos y porcentaje de agua	65
VI	Influencia de la temperatura en la resistividad de un suelo compuesto de una mezcla de arcilla y arena	65
VII	Valores máximos para tomas de tierra	81
VIII	Factor reductor relativo a las líneas interfirientes	97
IX	Factor reductor relativo a las líneas interferidas	98
X	Factor reductor de conductores a tierra	99

GLOSARIO

A.W.G.	American Wire Gauge.
Catenaria	Forma que describe un tramo de cable en equilibrio suspendido en sus extremos por postes bajo la fuerza de la gravedad.
C.C.I.T.T.	Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico.
Constante de dieléctrica	Llamada permitividad relativa, es la razón entre la permitividad del material y la del vacío.
Corriente de inducción	Es aquella corriente que ha sido generada por efectos de inducción ajena a su propio sistema.
D.I.T.	Dispositivo de Interconexión Terminal.
Ducto	Tubería subterránea formada de la unión de tubos que normalmente son de P.V.C.
Efecto piel	Fenómeno que da un aumento de la resistencia efectiva de un conductor cuando en este circulan corrientes de alta frecuencia.

Efluvio	Emanación o irradiación de una descarga eléctrica casi imperceptible entre dos electrodos. Esto es, cuando la tensión no basta para producir una descarga disruptiva.
Electrodo	Llamado también colector. Elemento de contacto directo con el suelo.
Electrolítico	Sustancia que, disuelta en agua, hace que la disolución sea conductora de la electricidad.
Equipotencial	Nivel de referencia para sistemas distintos de igual potencial.
Exposición	Línea telefónica que invade o está en una zona de influencia electromagnética.
Freático	Nivel freático. Se nombra así al nivel relativo a las aguas acumuladas en el subsuelo.
Fusible	Elemento protector el cual por incremento de temperatura, llega a fundirse.
Impedancia de transferencia	Relación entre la tensión aplicada y la intensidad de corriente que resulta en diferentes partes de un circuito eléctrico.
Inducción	Acción de un campo electromagnético sobre un conductor por el que circula una corriente eléctrica.

Inductancia mutua	Coeficiente de proporcionalidad entre dos embobinados separados físicamente.
Línea de abonado	Elemento de la planta externa. Conductor que une en continuidad uno de los pares de la caja terminal hasta el aparato telefónico.
M.D.F.	Main Distributor Frame. Siglas por las cuales se conoce comúnmente el distribuidor principal de una central telefónica.
Nivel isoceraunico	Número de días en un año en que se ha presenciado efectos electroatmosféricos.
Paralelismo	Ruta de distribución en la misma dirección para redes de energía eléctrica y de telecomunicaciones.
Polietileno	Polímero del etileno. Material aislante, sólido, de considerable inercia química, bueno para aislamiento en lo que se refiere a propiedades eléctricas.
Puntas Franklin	Puntas de cobre y plata utilizadas para evitar una descarga por formación de arco. Llamadas así por su creador.
P.V.C.	Cloruro de polivinilo. Material aislante de electricidad y calor. Algunas formulaciones pueden tener un desempeño estable desde temperaturas de -55°C hasta 105°C .

Transposición Cambio de posición de la fases o de la red de telecomunicaciones, con el objeto de reducir el desbalance e influencia electrostática y electromagnética.

U.I.T. Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Voltaje de ruptura Es el voltaje máximo por unidad de grosor, que puede soportar un dieléctrico en un campo uniforme antes de romperse eléctricamente [kV/mm].

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de las telecomunicaciones, la protección de las redes de distribución telefónica ha sido de reconocida importancia. Actualmente, con el avance de la tecnología, la electrónica utiliza cada vez con más frecuencia señales digitales, con el consiguiente aumento de las frecuencias de funcionamiento y paralelamente, una disminución considerable de los niveles de energía necesarios para transferir la información.

Las redes de telecomunicaciones se encuentran compuestas por cables y puntos de distribución o empalme y enfrentan el reto de prestar no solamente el servicio de transmisión de voz sino también la transmisión de datos de forma eficiente y, debido a la constante integración de las funciones, los sistemas digitales resultan los más apropiados y cada vez más vulnerables a las perturbaciones electroatmosféricas. Además, por el crecimiento de las redes de distribución y transmisión de energía eléctrica, están sometidas a interferencias que son causadas por la proximidad con estas líneas de conducción de corriente eléctrica, ya sea en forma de inducción o por un cruzamiento directo accidental.

De no realizarse las medidas de protección de forma efectiva, los efectos externos a que están sometidas las redes telefónicas, pueden incrementar en los extremos de la misma, la corriente y el voltaje llegando a presentar potenciales daños a los sistemas de conmutación y aparatos telefónicos así

como la vida del usuario y la del personal que labora en el mantenimiento y operación de la red.

La misma necesidad de brindar una protección eficiente para la red telefónica, desde la central telefónica hasta la ubicación del cliente, ha hecho necesaria esta investigación acerca del diseño, definición, ubicación y la construcción de sistemas de protección para la red de telecomunicaciones.

El propósito de esta investigación es establecer las bases técnicas que regulen el diseño de las redes, el estudio y el análisis necesario para obtener mejor protección eléctrica de la red, que puede llegarse a obtener, supervisando desde el montaje hasta el mantenimiento y operación de los protectores para que cumplan con las características mínimas de protección necesarias. Lo anterior descubre la necesidad de crear un normativo sobre protección y puesta a tierra para la empresa Telecomunicaciones de Guatemala S.A.

Se inicia con un estudio básico sobre la estructura de la red telefónica, comúnmente conocida como red de planta externa, siguiendo con la descripción de la función de cada uno de los elementos que la compone, haciendo énfasis en las especificaciones eléctricas de los cables multipares para luego iniciar un breve análisis de las descargas electroatmosféricas y de su relación con el nivel isocerámico de cada área geográfica (capítulos del 1 al 3). Seguidamente, se analizan los voltajes inducidos ya sean estos por la red de distribución de energía eléctrica o por las descargas electroatmosféricas (rayos) para conocer la importancia de la pantalla metálica en la protección del cable y la forma de distribución de la corriente y el voltaje a lo largo de la misma (capítulo 4).

El capítulo 5 trata acerca de los sistemas de protección para la red que se ubican dentro de la central telefónica como fuera de ella. Además, se detalla la forma y funcionalidad de un sistema de puesta a tierra y de todos los elementos que la constituyen, enfatizando en las normas y técnicas de construcción de las puestas a tierra así como de las mediciones y técnicas de mantenimiento.

El capítulo 6 presenta el análisis de los efectos de la exposición paralela entre una línea telefónica y una línea de conducción de corriente eléctrica, determinado para diferentes zonas de exposición y posteriormente inicia un ejemplo del cálculo de la fuerza electromotriz inducida sobre la línea de telecomunicaciones. También se describe la coordinación de aislamiento para la red de planta externa según zonas geográficas típicas de protección que las mismas se definen, indicando cuáles serán los requisitos mínimos de protección en la red de telecomunicaciones, según el área o lugar de ubicación.

Es frecuente que la mayoría de sistemas y/o elementos de protección para la red telefónica presenten deficiencias o se encuentren en el abandono, debido a que no se les presta la importancia del mantenimiento adecuado. Por lo anterior, es necesario integrar los riesgos de falla que corre la red para sentar los principios de protección que permitan limitar la frecuencia y gravedad de las perturbaciones a niveles que tengan en cuenta la calidad de servicio, los costos de mantenimiento y la seguridad personal aumentando con ello, la fiabilidad y disponibilidad de la red para contribuir en mejorar la calidad del servicio que presta.

1. ESTRUCTURA DE LA PLANTA EXTERNA

Actualmente, en Guatemala, para conectar al abonado a la red fija de telecomunicaciones, se usa una red de planta externa. La misma está compuesta por: cables primarios, armarios o centros de distribución, cables secundarios, cajas terminales y cable de abonado; para el montaje de los elementos anteriores se necesita tener disponible obra civil en forma de canalización por ductos, pozos o cámaras de registro, postes, etc. Seguidamente, se describe brevemente, la estructura (Figura 1).

1.1 Distribuidor principal

El distribuidor principal se encuentra ubicado en el edificio de la central. Es el elemento y su conjunto de regletas verticales que permite el enlace de la planta externa con la planta interior; mediante el uso de cables puentes hacia las regletas horizontales de conmutación. Conocido comúnmente por sus siglas en inglés M.D.F. (Main Distribution Frame)

1.2 Red primaria

En la actualidad, se construye con cables de gran capacidad, esto es, de 600 hasta de 2,400 pares que por su dimensión y peso van en ductos. Estos cables conectan el distribuidor principal de la central de conmutación local a los armarios o con la red directa.

1.3 Red directa

Son cables primarios de baja y mediana capacidad, esto es, de 50 hasta de 600 pares que se distribuyen por medio de cajas terminales para los abonados cercanos a la central local y por cajas interiores a los edificios con gran concentración de demanda. Si por cualquier razón los cables primarios sufren algún daño, los armarios y las redes directas servidas del punto de falla en adelante, quedan interrumpidos y sin servicio los usuarios.

1.4 Canalización primaria

Es la canalización que normalmente es de mayor cantidad de ductos (de tres ductos en adelante), mayor longitud de las vías (ductos en fila), y hace uso de pozos de mayor dimensión. Este conjunto de obra civil será el encargado de conducir los cables primarios desde la central local hasta los armarios, además, esta canalización es compartida con cables de fibra óptica para enlace entre centrales y ocasionalmente con cables de red secundaria.

1.5 Armarios o centros de distribución (CD)

Permiten realizar la conexión mediante puentes entre la red primaria y la red secundaria. Se componen, en su interior, de regletas de conexión, un bastidor para su montaje y una caja de protección mecánica y climática. El área geográfica de cobertura de un armario se le denomina distrito.

1.6 Red secundaria

La forman cables multipares de mediana y baja capacidad, subterráneos o aéreos. Estos cables van desde el armario hasta las cajas terminales, que a su vez, son puntos de distribución de red.

1.7 Canalización secundaria

Es aquella en la cual se distribuyen los cables secundarios y ocasionalmente red directa; sus dimensiones de pozos y la cantidad de ductos, son menores en comparación a la canalización primaria.

1.8 Cajas terminales

Las cajas terminales son el ultimo punto de la red multipar en dirección al usuario y desempeñan la función de ser el punto de distribución de las líneas de abonado. Se pueden clasificar en dos tipos:

- a) Interiores: se utilizan cuando existe gran demanda y está concentrada, colocándose en un lugar exclusivo para el servicio telefónico. Su capacidad mínima es de 10 pares.
- b) Exteriores: estas pueden colocarse en poste, a pared y en pedestal. Todas están diseñadas para operar a la intemperie y su capacidad es de 10 ó 20 pares.

1.9 Postes

Existen dos tipos de postes que se escogen según los obstáculos que deba sortear en la vía y según el esfuerzo a que estarán sometidos: los de concreto y los de metal. Para ambos tipos hay de 8.0, 9.0 y 12.0 m de alto, y 120 Kg. ó 500 Kg. de resistencia a la fuerza de tracción en la punta.

1.10 Cable de abonado

Está compuesto de un par de conductores paralelos y puede ser de dos tipos: subterráneos o aéreos, que va desde la caja terminal hasta el aparato telefónico del abonado. Debido al surgimiento de demandas imprevistas, las

líneas de abonado son muy largas, lo que aumenta el riesgo de daños y dificulta su reparación.

Actualmente, el daño en la línea de abonado es el más frecuente, siendo actualmente un 60% de los reclamos con falla debidos al estado del cable de abonado y el porcentaje restante es distribuido a fallas en el cable multipar, conmutación, transmisión y las mismas conexiones internas realizadas por el usuario del servicio.

Figura 1 Diagrama esquemático de la estructura de la planta externa

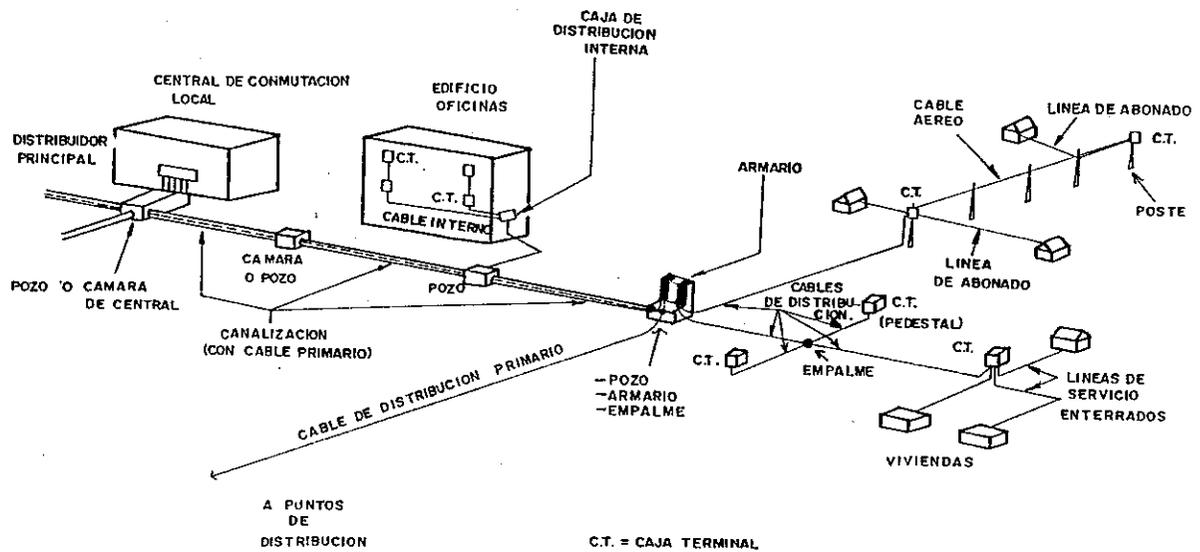


Diagrama esquemático de la estructura básica de planta externa

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CABLE MULTIPAR

2.1 Generalidades

El cable multipar telefónico tiene como función primordial transportar información entre dos puntos por medio de una señal eléctrica con la debida amplitud, la menor distorsión y el mínimo ruido. El tipo de cable se selecciona según el detalle de la función a desarrollar por el mismo (enlace, transmisión de voz, datos, etc.) y por las condiciones ambientales en las que trabajará. La red puede ser aérea y subterránea que a su vez puede ser por canalización o directamente enterrada.

Para cada caso se tendrá la opción de adoptar diversos cables con distintas construcciones, previendo la distancia a cubrir, los parámetros de transmisión y un estudio económico determinado.

2.1.1 Conductores

Los conductores de los cables multipares normalmente son de cobre. Los diámetros más utilizados en cobre son: 0.4039, 0.6424 & 0.798 mm² de sección transversal (26,22,20 AWG - American Wire Gauge). Cada conductor deberá ser de alambre sólido de cobre recocido templado, puro, suavemente estirado y de sección transversal circular de calidad uniforme.

2.1.2 Aislamiento de conductores

El material que aísla a cada conductor debe ser fácil de colocar y operar; Como condiciones eléctricas genéricas, tendrá baja constante dieléctrica, bajo factor de pérdidas y una alta rigidez dieléctrica. También debe ser resistente a la tracción. Un valor típico de su constante dieléctrica es: 2.3.

Como medida de prevención contra humedad, se usan cables presurizados o rellenos de gelatina aislante.

2.1.3 Formación del núcleo y trenzado de pares

Los conductores se trenzan para formar un "par", para controlar la capacidad mutua y el desequilibrio respecto a tierra. La formación del núcleo se da cuando los conjuntos pequeños de pares están limitados por su misma rotación, formándose un núcleo mayor que puede contener desde 10 pares en adelante según la decisión previa del fabricante. Estos nuevos núcleos se identifican atándose con hilos de algodón o plástico.

2.1.4 Blindaje del núcleo o pantalla

Se aplica un blindaje longitudinal de aluminio, sobre la cinta de cobertura del núcleo que a su vez mantiene unido al núcleo y le proporciona una barrera térmica. Su función principal es el apantallamiento contra los campos magnéticos y eléctricos, la protección contra las perturbaciones eléctricas y

prever continuidad para ser punto de referencia a tierra. El espesor mínimo del blindaje no deberá ser inferior a 0.18 mm, y ser libre de rupturas.

2.1.5 Cubierta exterior

La principal función de la cubierta de un cable es proteger al núcleo del daño físico que pueda sufrir durante su manejo, de tal modo que la calidad de transmisión de los circuitos del cable se mantenga en condiciones aceptables. Normalmente, la cubierta es de polietileno virgen de alto peso molecular, constante dieléctrica baja, alta resistencia de aislamiento, libre de porosidad, de color negro, resistente a la luz solar y a la intemperie.

2.2 Parámetros eléctricos

La línea de transmisión consta esencialmente de un grupo de conductores dispuestos paralelamente. Según sea el material, estos conductores tendrán una resistencia definida; por otra parte, el campo magnético producido por la corriente alterna en un conductor se concatena con los otros y se tiene una inductancia asociada. Además, existe la capacitancia entre cada par de conductores y debido a que el aislamiento no es perfecto, consecuentemente puede haber una corriente de dispersión a tierra, especialmente cuando se transmite señales de alta frecuencia.

Debido a que una línea de transmisión es el elemento más importante para estudiar los efectos de sobretensiones externas, los valores y cantidades mencionadas anteriormente se deben estudiar para su representación.

2.2.1 Resistencia, R

La resistencia en los conductores es la causa principal de la pérdida de energía en las líneas de transmisión. La expresión general para la resistencia de un conductor sólido, de longitud L y sección transversal S es:

$$R = \rho \left(\frac{L}{S} \right)$$

Donde ρ es la resistividad que no depende tanto del material como del cambio en la temperatura. Si ρ_0 y ρ_1 son los valores de resistividad a temperaturas t_0 y t_1 .

$$\rho_1 = \rho_0 [1 + \alpha (t_1 - t_0)]$$

Donde α es el coeficiente de temperatura para características de un material determinado. Por lo general, esta expresión se refiere a las resistencias por facilidad:

$$R_1 = R_0 [1 + \alpha (t_1 - t_0)]$$

El desbalance de resistencia indica la diferencia de resistencia entre uno y otro conductor del mismo cable y el valor será admisible hasta en un 7% para todos los calibres.

Calibre de conductor	Valor estándar [Ω /km]	Valor Máximo [Ω /km]	Valor máximo c.c.
26 AWG(0.4039mm)	134.9	144.4	151.6
22 AWG(0.6426mm)	53.3	57.1	60.0

Medidas tomadas a 20°C, en c.c.

En frecuencias bajas (bajas frecuencias) la densidad de corriente se distribuye uniforme a través del conductor, presentando el mismo valor de la resistencia continua. Al incrementar la frecuencia, la resistencia aumenta a medida que aumenta la densidad de corriente eléctrica en la superficie. Esto es, la corriente tiende a fluir por la superficie exterior del conductor, dejando un área efectiva menor que la considerada, dando como resultado una mayor resistencia eléctrica, (efecto pelicular) descrita así:

$$R_{efectiva} = 0.063598 \sqrt{\frac{f\mu}{R_{c.c.}}}$$

Donde:

f = frecuencia en ciclos por segundo [Hz]

μ = permeabilidad magnética

$R_{c.c.}$ = resistencia en corriente continua

2.2.2 Inductancia, L

Cuando una corriente alterna circula a través de un conductor se crea un campo magnético a su alrededor las líneas del campo magnético forman un paso cerrado alrededor del conductor y resulta una variación en el valor de la corriente que circula por el mismo. Al originar un cambio en el número de líneas que enlazan al circuito, cambia el flujo magnético que enlaza un circuito e induce un voltaje en el conductor que es proporcional a la variación del mismo.

El voltaje inducido se expresa como:
$$E = \frac{d\Phi}{dt}$$

Donde Φ es el número de enlaces de flujo magnético en [weber-vuelta], de donde el voltaje inducido es proporcional al flujo de inducción.

Se sabe que cuando la corriente cambia, se tiene un cambio también en el campo magnético asociado, (suponiendo una permeabilidad constante en el medio) adicionalmente el número de enlaces es proporcional a la corriente y por lo tanto el voltaje inducido es directamente proporcional a la corriente expresados como:

$$E = L \frac{di}{dt}$$

Donde L es la constante de proporcionalidad que se conoce como inductancia expresada en [henry]; y E es el voltaje inducido.

De las ecuaciones anteriores:

$$\frac{d\Phi}{dt} = L \frac{di}{dt}; L = \frac{di}{d\Phi} \text{ [henry]}$$

Si el número en líneas de inducción o número de enlaces de flujo varía linealmente con la corriente, lo que significa que el circuito magnético tiene permeabilidad constante y entonces:

$$L = \frac{\Phi}{i}$$

De donde se deduce la definición de autoinducción de un circuito eléctrico como el número de enlaces de flujo del circuito por unidad de corriente.

En función de inductancia los enlaces de flujo son:

$$\Phi = L * i \text{ [weber-vuelta]}$$

2.2.3 Capacitancia, C

Es la capacidad del aislamiento que separa los conductores, de poder almacenar energía en forma de campo eléctrico, cuando entre estos existe una diferencia de potencial entre ellos. La capacitancia entre conductores paralelos es constante y depende de la constante dieléctrica del aislante, tamaño y separación de los conductores.

Las líneas de campo eléctrico tienen su origen en las cargas positivas de un conductor y van a las negativas del otro.

Una tensión alterna aplicada a una línea de transmisión, da lugar a que la carga de los conductores en cualquier punto, aumente o disminuya con el aumento o disminución, respectivamente, del valor instantáneo de la tensión entre conductores, en cualquier punto. El flujo de la carga es una corriente producida por la carga y la descarga alternativa de una línea, debida a una tensión alterna, a esta corriente se le llama corriente de carga de la línea.

La densidad de flujo eléctrico es:
$$D = \frac{q}{2 \pi x} \text{ [coulomb/m}^2\text{]}$$

Donde q es la carga del conductor por metro de longitud, x es la distancia en metros desde el conductor hasta el punto donde se calcula la densidad, además se define:

$$E = \frac{D}{k} = \frac{q}{2 \pi x k} \text{ [volt/m]}$$

Donde E es la intensidad de campo eléctrico y k es la constante dieléctrica.

La diferencia de potencial entre dos conductores es el trabajo desarrollado para mover una carga de 1 coulomb de un conductor al otro en el sentido opuesto del campo; si una carga de prueba se mueve una distancia diferencial, el trabajo desarrollado es $E \cdot dx$ y la diferencia de potencial

$$V = \int_{D_1}^{D_2} E \cdot dx = \frac{q}{2\pi k} \int_{D_2}^{D_1} \frac{dx}{x} = \frac{q}{2\pi k} \ln \frac{D_2}{D_1}$$

Para calcular la capacitancia e intensidad de campo eléctrico en una línea de transmisión monofásica de dos conductores separados una distancia d , se tiene

El conductor 1 con una carga $+q$ [coulomb/m] y el conductor 2 con una carga $-q$ [coulomb/m], separados una distancia "d"

$$E_1 = \frac{q}{2\pi kx}$$

$$E_2 = \frac{q}{2\pi k(d-x)}$$

La intensidad total en P: $E_{Total} = E_1 + E_2$

$$E_t = \frac{q}{2\pi k} \left[\frac{1}{x} + \frac{1}{(d-x)} \right]$$

Entonces

$$V = \int_r^{dr} E \cdot dx = \frac{q}{2\pi \xi_0} \int_r^{dr} \left[\frac{1}{x} - \frac{1}{(d-x)} \right] dx = \frac{q}{2\pi \xi_0} \ln \frac{(d-x)}{x}$$

Donde la constante dieléctrica ξ es igual a $\xi_0 * \xi_r$ para el aire $\xi_r = 1$, $\xi_0 = 8.85 \times 10^{-12}$, y la capacitancia se define por:

$$C = \frac{q}{V} = \frac{\pi \xi_0}{\ln \left(\frac{d-x}{x} \right)} \quad [\text{farad}]$$

Donde q es la carga almacenada y V es la diferencia de potencial entre los conductores.

Capacitancia mutua a 1kHz y 20° C	
Valor nominal	$52 \pm 2 \text{ nF/km}$
Valor máximo	57 nF/km

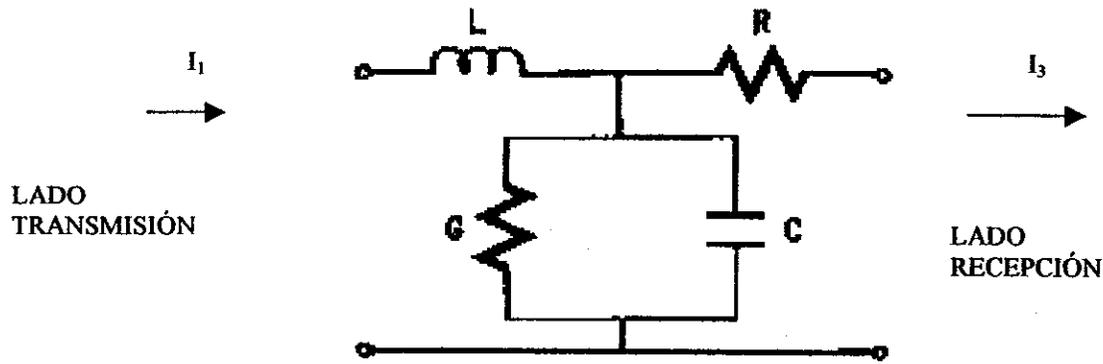
2.2.4 Conductancia, G

Representa la imperfección del dieléctrico para impedir el flujo de corriente eléctrica a través del mismo. La conductancia a la corriente directa es el inverso de la resistencia del aislamiento. La conductancia a corriente alterna, representa las pérdidas por corrientes de fuga entre un par de conductores. Esta corriente llega a tener un valor de estado estable en el tiempo.

La contribución de la conductancia a la admitancia en paralelo de la línea es pobre, además, no existe una forma confiable de calcularla debido a que varia apreciablemente por condiciones ambientales o externas. Por ello, rara vez se toma en cuenta para análisis y cálculos.

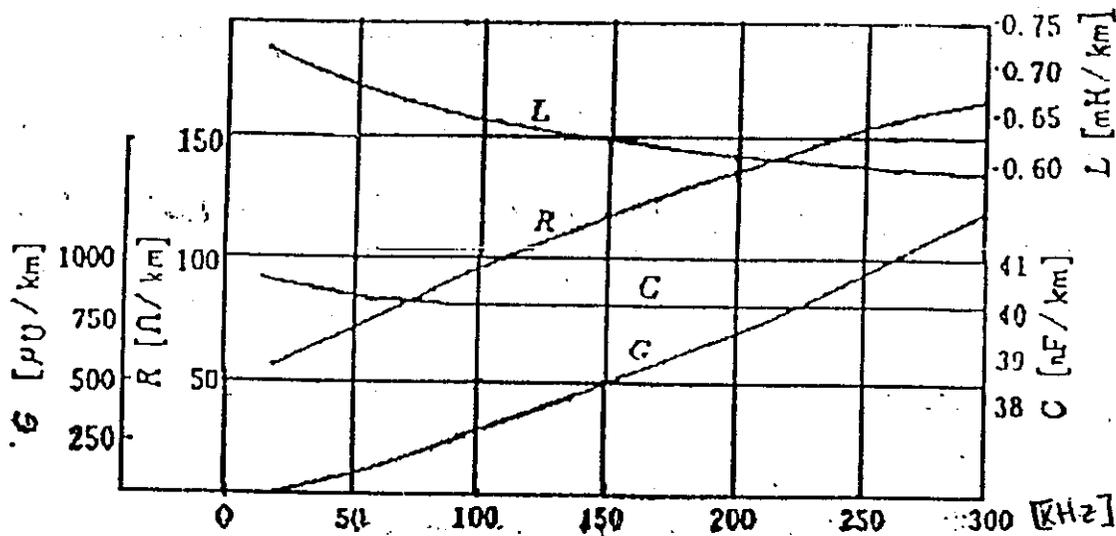
2.2.5 Circuito equivalente de la línea de transmisión

Figura 2 Circuito equivalente de la línea de transmisión



Debido a la naturaleza del análisis que se desea, es de interés el visualizar el cambio que sufren estos cuatro parámetros respecto a cambios en la frecuencia. Una forma práctica es visualizar estos cambios con base en la siguiente gráfica

Figura 3 Variación de los parámetros eléctricos en función de la frecuencia



FUENTE: BOBROW, Leonard. Análisis de circuitos, P.223

2.2.6 Atenuación

La atenuación expresa la relación que existe entre la corriente y el voltaje en un punto cualquiera de la línea y la corriente y voltaje en el inicio de la línea. La atenuación indica la pérdida de energía que sufre una señal eléctrica conforme es transmitida a lo largo de la línea de transmisión.

Una de las características más importantes de la línea de transmisión es la propiedad de conducir energía eficientemente. Para trabajar con unidades que sean fácilmente manejables y ya que la relación de atenuación es logarítmica, se utiliza la unidad decibel (dB), que está regida por la expresión:

$$dB = 10 \text{ Log } \frac{POTENCIA_{entrada}}{POTENCIA_{salida}}$$

Cada tipo de cable, de acuerdo con su constante de resistencia y capacitancia mutua, tiene una constante de atenuación del siguiente valor por kilómetro.

Calibre del conductor	Valor estándar (dB/km)	Valor máximo (dB/km)
26 AWG(0.4039mm)	1.82	1.91
22 AWG(0.6426mm)	1.15	1.20

Valores a 1kHz, 20° C

2.2.7 Diafonía

Es la interferencia entre dos o más circuitos telefónicos paralelos debido al traspaso de energía de un circuito (perturbador) a otro (que es perturbado) por acoplamiento inductivo, capacitivo o conductivo. La diafonía es una consecuencia de las malas características de aislamiento y la capacitancia mutua resultante de los cables, desbalance de resistencia entre los conductores que forman el par (mayor al 7%), y la cubierta del mismo.

La diafonía que se produce en la misma dirección en que se propaga la señal, se le llama telediafonía, y si aparece en la dirección contraria se le llama paradiafonía.

2.2.8 Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento es el parámetro eléctrico más impredecible y depende de las condiciones ambientales o externas en que se mide, el proceso para tomar la medición, la temperatura, la longitud del cable, el voltaje de prueba, y del tiempo de estabilización a la medida. Se caracteriza por la resistencia entre cualquier conductor y por todos los demás conductores unidos entre sí, más la conexión con el blindaje puestos a tierra. La medición se efectuará bajo una diferencia de potencial continuo no menor de 100 volts y no mayor de 550 volts aplicado durante 60 segundos, el resultado a esperar deberá ser mayor de $1.6G\Omega/km$ a $25^{\circ} C$.

Un mal aislamiento puede provenir de la presencia de humedad en los cables y/o empalmes.

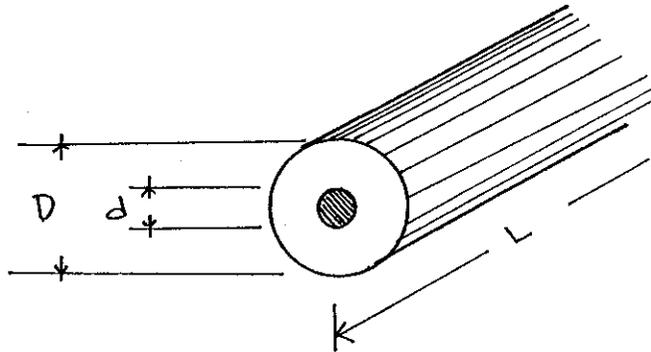
Las fórmulas que se presentan a continuación se pueden utilizar para determinar aproximadamente el valor de la resistencia de aislamiento:

$$IR = k \text{Log} \frac{D}{d}$$

Donde: IR = Resistencia de aislamiento DC, en [MΩ-km a 23° C]
k = Constante del material en [MΩ-km a 23° C]
D = Diámetro sobre el aislamiento
d = Diámetro sobre el conductor

En la siguiente figura se describe el significado de las dimensiones anteriores.

Figura 4 Dimensiones para el cálculo de la resistencia de aislamiento



Encontramos los diámetros medios son: $D/2$ y $d/2$.

La corriente de fuga debida a imperfecciones en el aislante del conductor fluye radialmente hacia la superficie exterior del mismo y se obtiene:

$$IR = \frac{1}{2\pi L} \rho v \int_{d/2}^{D/2} \frac{dx}{x}$$

$$(IR)(L) = \frac{1}{2\pi} \rho v L \ln x \Big|_{d/2}^{D/2}$$

$$(IR)(L) = \frac{1}{2\pi} \rho v L \ln \left(\frac{D/2}{d/2} \right)$$

$$(IR)(L) = \frac{1}{2\pi} \rho v L \ln \frac{D}{d}$$

$$(IR)(L) = 3 \times 67 \times 10^{-2} \rho v \text{Log} \frac{D}{d}$$

donde ρv es la resistividad volumétrica del material en $[\Omega\text{-cm}^3]$.

En la anterior fórmula se puede observar que la resistencia de aislamiento es inversamente proporcional a la longitud y directamente proporcional a la resistividad ρ y al espesor del aislamiento. Dicho espesor se requiere como mínimo de 0.075mm.

Hasta que los valores de la resistencia de aislamiento son menores de 500M Ω /km (30% del valor recomendado), puede llegar a causar problemas de transmisión. Lo anterior sucede pocas veces, por lo tanto: la resistencia de aislamiento se puede despreciar como una componente del sistema de transmisión para un sistema telefónico. En el anexo se presenta una tabla comparativa de aislamientos.

2.2.9 Rigidez dieléctrica

Es la tensión a la que puede someter un cable sin dañarse, entre el núcleo y el forro metálico o blindaje. El aislante debe ser capaz de soportar sin ruptura, la aplicación por un mínimo de tres segundos, una tensión continúa igual o mayor de los valores estipulados en la siguiente tabla:

Calibre del conductor	Conductor a conductor	Conductor a pantalla	Pantalla a tierra
26 AWG (0.403mm)	2.8 kV	20.0 kV	1.5 kV
22 AWG (0.642mm)	5.0 kV	20.0 kV	1.5 kV

Esto permite verificar que el aislante puede soportar una sobretensión accidental debida por ejemplo a la inducción originada por una línea de energía. Los aislantes corren el riesgo de no soportar más dicha sobretensión cuando el cable a sufrido deterioro, ya sea en la instalación o mantenimiento. Esta prueba se debe realizar antes de conectar el cable.

2.2.10 Variaciones eléctricas

Será el límite admisible de pares en un cable, en los cuales varían los requerimientos eléctricos anteriores. Estos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla I Variación de los parametros eléctricos

Numero nominal de pares	Máximo número de pares con variación eléctrica
10 –100	1
101 – 300	2
301 – 400	3
401 – 600	4
601- y más	6

3. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS Y FENÓMENOS FÍSICOS RESULTANTES

Al final del siglo pasado ya existía la idea de que los rayos pueden dañar a los equipos eléctricos. Con la aparición paulatina de los semiconductores, los equipos electrónicos se han transformado en piezas más complejas, delicadas, y extremadamente vulnerables a las consecuencias provocadas por las descargas atmosféricas.

3.1 Distribución de cargas eléctricas

Las nubes de tormenta se forman en los días calurosos de verano (tormentas de calor) o cuando aire frío se desplaza y encuentra masas de aire caliente (tormentas frontales). "Por medio de globos meteorológicos se ha podido constatar que la mayor parte de veces, la superficie superior de las nubes está cargada positivamente y la parte inferior, negativamente" (10:66). Además, el aire del interior de las nubes tiene características aislantes, con lo cual retiene las cargas eléctricas. Cuando la carga acumulada llega a sobrepasar la capacidad del aislante del aire, salta la chispa bajo la forma de un arco, el aire que se encuentra en la proximidad del relámpago se calienta instantáneamente y ahí viene el sonido de explosión, llamado trueno.

Una nube de tormenta comprende normalmente varias células verticales en cuyo interior se desarrolla independientemente el ciclo de la generación de las cargas, de las descargas atmosféricas y de la disipación de cargas.

Los tipos más comunes de descarga atmosférica son los que se producen en una o más células nubosas entre los centros de cargas negativas más bajas y los centros de cargas positivas más altas (relámpago de nube), y las que tienen lugar entre el centro de las cargas más bajas de la nube y la tierra (rayo). En lo concerniente a los sistemas de telecomunicación, bastará con examinar estas últimas, cuyos efectos son mucho más severos.

3.2 Nivel isoceráunico

El grado de actividad de las tormentas eléctricas en una región geográfica determinada depende principalmente de las condiciones meteorológicas que prevalecen en ella y de las condiciones topográficas. En los climas muy fríos hay pocas tormentas, pues el aire no tiene suficiente humedad para formar las nubes. "Esto se debe a que los valores de humedad y presión varían inversamente con la altura"(10:74).

Entre los factores que influyen en la formación de los rayos están:

- a) Temperatura Condiciona la formación de cargas y corrientes de aire.
- b) Humedad Afecta directamente la conductividad del aire.
- c) Altura Es el factor donde están implícitos la humedad, temperatura y presión los cuales tienen relación inversamente proporcional a la altura.

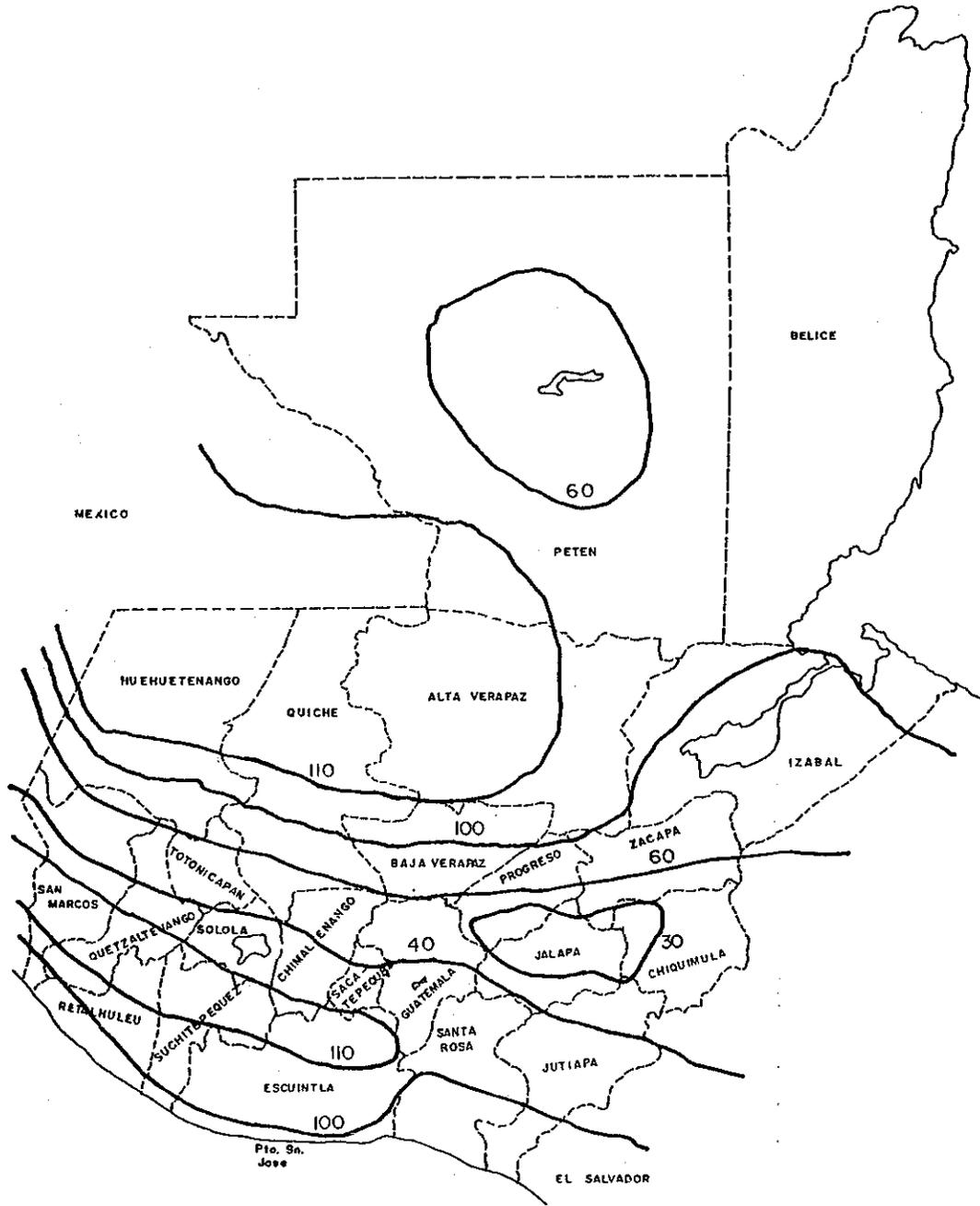
La frecuencia con que aparecen los rayos en las diferentes regiones del mundo es desmedido.

3.2.1 Niveles isoceráunicos nacionales

Un parámetro de medida está expresado en "días de tormenta por año" en una región determinada, y es a lo que le llamamos "nivel isoceráunico". Estos niveles se obtienen en las estaciones meteorológicas que llevan un registro diario y horario de valores y características de los fenómenos meteorológicos observados. Actualmente, el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología "INSIVUMEH" tiene nueve estaciones en las cuales se llevan los registros de los fenómenos meteorológicos anteriormente descritos. De las nueve estaciones, cinco de ellas son estaciones Internacionales, las cuales registran datos las 24 horas del día los 365 días del año y cuatro estaciones Regionales las cuales registran datos solamente 12 horas al día.

Las estaciones Internacionales se encuentran ubicadas en: Ciudad de Guatemala, Puerto Barrios, Huehuetenango, Puerto San José y Flores, Petén. Las estaciones regionales en: Quetzaltenango, Cobán, Retalhuleu y Zacapa. Se han analizado los registros de todas las estaciones con relación a las tormentas eléctricas ocurridas en 1995, 1996, hasta junio de 1997 obteniendo de esta forma el nivel isoceráunico del área. Es de interés conocer que el período de mayor actividad eléctrica es entre mayo y septiembre. La región más afectada es la Costa sur, Huehuetenango y parte del Quiché, con un promedio de 116, 97 y 92 tormentas por año. De estudios avanzados en el tema, se llega a determinar las curvas de nivel isoceráunico para el país. Estas se muestran en la siguiente figura.

Figura 5 Niveles isoceráunicos de la República de Guatemala



FUENTE: INSIVUMEH

3.3 Estadísticas de falla por fenómenos de descarga

Se ha consultado con los responsables de los departamentos de Planta Externa, Conmutación, Energía y Sistemas de Tierras de la Dirección de Mantenimiento de la empresa Guatel, sobre el control estadístico hasta noviembre de 1997 sobre las fallas en sus redes debido a fenómenos de descarga electroatmosférica. La información recopilada carece de fundamento ya que describe únicamente las actividades realizadas para mantener en operación el sistema afectado sin indicar detalles de la afectación, así como la no explicación del porqué un sobrevoltaje y sobrecorriente, además, la falta de fechas, partes afectadas, magnitud de la falla, reincidencia de falla, etc.

La falta de la información anterior, describe la necesidad e importancia de la presente investigación.

3.4 Características de los fenómenos de descarga

Los siguientes datos, se basan en la observación de lo que puede llamarse descargas normales de rayos, producidas en terreno llano y despejado y que se han estudiado a fondo en los últimos cuatro decenios.

Una descarga entre nube y tierra está constituida por una o varias descargas. Cada descarga se compone a su vez de una descarga piloto (*leader stroke*) y de una descarga de retorno (*return stroke*). La descarga piloto abre un camino hacia la tierra, siguiendo un proceso escalonado a una cadencia de aproximadamente 100 micro segundos. En el momento en que la punta de la descarga piloto llega a proximidad del suelo, sale de éste una descarga

ascendente; Se prepara así la descarga principal de retorno, que recorre el camino ya preparado a una velocidad de 10 a 200 m/ μ s, acompañada de una gran intensidad luminosa. La carga que desciende de la nube por el camino de la descarga piloto, es compensada por la descarga principal de retorno, lo que da lugar a un intenso flujo de corriente.

Esta corriente de gran intensidad proviene del suelo, puesto que la conductividad de las nubes no es tan grande como la de este y, por consiguiente, no permite una distribución suficientemente rápida de las cargas. El resultado es que el centro de la carga inicialmente extraída, en la nube, toma el potencial de tierra. Puede producirse entonces una nueva descarga, proveniente de ese centro, a partir de otro punto de la nube; esta descarga sigue el mismo camino hacia el suelo y da lugar, a su vez, a otra descarga principal de retorno, del suelo hacia la nube.

Es imposible medir directamente la diferencia de potencial entre el centro de las cargas más bajas de la nube y la tierra, pero se estima que la magnitud de esta diferencia es del orden de 50 a 100 millones de voltios a una frecuencia entre 100Hz y 10MHz. Los datos en cuanto a la intensidad de la corriente disipada durante la caída de un rayo son por término medio de unos 20,000 amperios. La carga disipada en un relámpago de intensidad media es del orden de 30 a 200 culombio y más. Una parte apreciable de esta carga se utiliza a lo largo de la trayectoria inicial del relámpago para formar la vaina "corona", y no llega pues, al suelo. La cantidad de electricidad que interviene en la parte impulsiva de una descarga sobre el suelo no pasa, por término medio, de 1 culombio, pero si a esta corriente se añade la de la cola, se puede llegar a un total de 20 culombio por descarga.

4. ANÁLISIS CUALITATIVO DE VOLTAJES INDUCIDOS

4.1 Fuentes de sobretensión y sobrecorrientes

Las sobretensiones y sobrecorrientes que ocurren en las redes de telecomunicaciones generalmente están causadas por las siguientes razones.

4.1.1 Descarga directa de rayos

Estas descargas pueden provocar la circulación de corriente de varios miles de amperios por hilos o cables durante algunos microsegundos. Pueden producirse daños físicos y las sobretensiones de muchos kilovoltios pueden sobrecargar los dieléctricos de las instalaciones de líneas y del equipo terminal. Son relativamente raras las ocasiones cuando es directo el impacto del rayo a la red de telecomunicaciones; en general no es económicamente justificado proteger los cables contra este tipo de descargas debiéndose aceptar en la mayoría de los casos los riesgos de grandes daños en el lugar de la incidencia. Por otro lado, el sistema de protección deberá impedir que este tipo de daños se extienda.

4.1.2 Carga electrostática e influencia indirecta de rayos.

Las sobretensiones debidas al rayo son las más peligrosas. Las corrientes debidas a descargas atmosféricas de una nube a tierra o de una nube a otra nube provocan sobretensiones en las líneas de tendido aéreo o en las líneas subterráneas próximas al lugar de la descarga. La superficie afectada llega a ser grande en zonas que posean una elevada resistividad del suelo.

Con la excepción de aquellas localidades en donde no ocurren tormentas eléctricas, los rayos son la causa principal de las sobretensiones en la red de planta externa. La mayor parte de los daños ocasionados por las descargas atmosféricas en las centrales telefónicas, los cables, y las instalaciones de los abonados, no se deben a descargas directas, sino a los voltajes inducidos por los rayos. Los relámpagos que se susciten desde las nubes hacia la propia tierra o entre nubes, generan campos electromagnéticos los cuales inducen altos voltajes en las líneas telefónicas. A pesar de que descargas directas de rayos sobre líneas telefónicas, si ocurren, esto no es lo común. Los voltajes inducidos por los rayos constituyen entonces la preocupación principal.

4.1.3 Contacto directo con red eléctrica de baja tensión (120/240 V, 220/208V, 240/480 V)

Se llegan a originar típicamente por dos causas:

- a) Al producirse contactos entre líneas de transporte de energía y líneas de telecomunicación en situaciones de catástrofes locales, como por ejemplo, incendios, temblores, accidentes vehiculares, tormentas, etc., causan deterioro a ambos tipos de instalaciones.

- b) Cuando no se respetan las medidas normales de separación o aislamiento (véase Anexo). Estas sobretensiones raramente exceden de 480 V en corriente alterna (valor eficaz) con relación a tierra, pero pueden mantenerse durante un tiempo indefinido antes de ser advertidas.

Además, cuando se emplean tensiones de distribución superiores de 2.4kv., las disposiciones de protección de las líneas de energía aseguran normalmente la interrupción de la alimentación en un lapso breve tras el fallo. La sobretensión puede provocar la circulación de corrientes excesivas por la línea de toma de tierra de la central de conmutación, causando deterioro al equipo y representando un peligro para el personal.

4.1.4 Inducción desde líneas de alta tensión durante la presencia de fallas

Los fallos a tierra de los sistemas de transporte de energía provocan grandes corrientes asimétricas que por la línea de transporte de energía induce sobretensiones en las líneas de telecomunicaciones adyacentes que siguen un camino paralelo. Estas sobretensiones pueden llegar hasta varias veces las tensiones nominales con duraciones de 200 a 1000 ms (o mayores) según el sistema de eliminación de fallo utilizado en la línea de transporte de energía (fusibles y/o bobinas termomagnéticas)

4.1.5 Elevación del potencial de tierra

Los fallos a tierra en los sistemas de transporte de energía producen corrientes en el suelo que elevan el potencial en las proximidades del lugar de fallo y del electrodo de puesta a tierra de la fuente de alimentación de energía. Estos potenciales de tierra pueden afectar a las instalaciones de telecomunicación de dos maneras:

- a) Los sistemas de señalización de telecomunicaciones pueden funcionar incorrectamente si el electrodo de tierra de señalización se halla en un suelo cuyo potencial es solo 5 volts superior con respecto a la tierra verdadera. Tales tensiones pueden ser provocadas por fallos poco importantes en el sistema de transporte de energía que pueden pasar desapercibidas durante largo tiempo.

- b) Elevaciones mayores del potencial de tierra pueden representar un riesgo para el personal que trabaja en la zona afectada, en casos extremos, pueden ser suficientes para perforar el aislamiento del cable de telecomunicaciones, provocando daños importantes.

4.1.6 Sobrecorrientes

Las condiciones de sobrecorrientes pueden presentarse por dos causas:

- a) Cuando bajos voltajes externos permanezcan sobre las líneas telefónicas por ciertos periodos de tiempo prolongados, los cuales al ser medidos en el punto del distribuidor principal tienen un valor menor al valor umbral del voltaje de activación del protector de sobretensiones que se está utilizando.
- b) Cuando exista una vía de baja impedancia (500Ω o menos), lo cual permita el flujo de la corriente a través de los equipos, hacia tierra.

4.2 Niveles de tensiones peligrosas

Idealmente en los sistemas de transmisión de energía eléctrica, operando con cargas balanceadas en cada una de sus fases, no presentará conducción de corriente eléctrica por el neutro del sistema, a su vez no generará un campo electromagnético neto en conjunto del sistema debido a la cancelación de cada uno de los campos de fase. Típicamente, se presentan cargas no balanceadas para los sistemas, lo que inicia la circulación de una corriente por el neutro de retorno del sistema. Cuando este retorno falla, la circulación de esta corriente se producirá entonces por el único camino de retorno, la conexión del circuito a tierra. La circulación de esta corriente para cerrar el circuito, depende entonces de varios factores como: composición del terreno, concentración de sales, contenido de humedad, etc.

Por lo tanto, al haber circulación de corriente en el circuito de tierra, no se eliminarán mutuamente los campos electromagnéticos del sistema de energía,

dando a lugar inducciones de campo a líneas de telecomunicaciones llegándose a detectar tensiones entre los conductores y tierra o el elemento conectado a tierra (cubierta metálica, blindaje, armadura) cuando circulan fuertes corrientes por la "tierra" de un sistema adyacente de energía eléctrica. Si los cables corren paralelos a las líneas eléctricas, estas tensiones se producen por acoplamiento inductivo. Según el Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (C.C.I.T.T.) entre los conductores y tierra no deben de rebasarse los siguientes valores de tensión (valores eficaces) mostrados.

Tabla II Máximas tensiones permitidas, conductores vrs. tierra

Tensiones	Referencia
43 v a 60 v	Para interferencia de larga duración en circuitos de telecomunicaciones que no están terminados con transformadores de separación ($20 \leq t \leq 500s$)
150 v	Para interferencia de larga distancia en circuitos de comunicaciones que están terminados con transformadores de separación
430 v	Para interferencias de corta duración ($\leq 0.5s$) en circuitos de comunicaciones sin protección en sus terminales (ya sean transformadores, descargadores, etc.)
650 v	En cables con conductores aislados en plástico cuando están expuestos a sistemas de alta tensión con una seguridad de operación elevada.

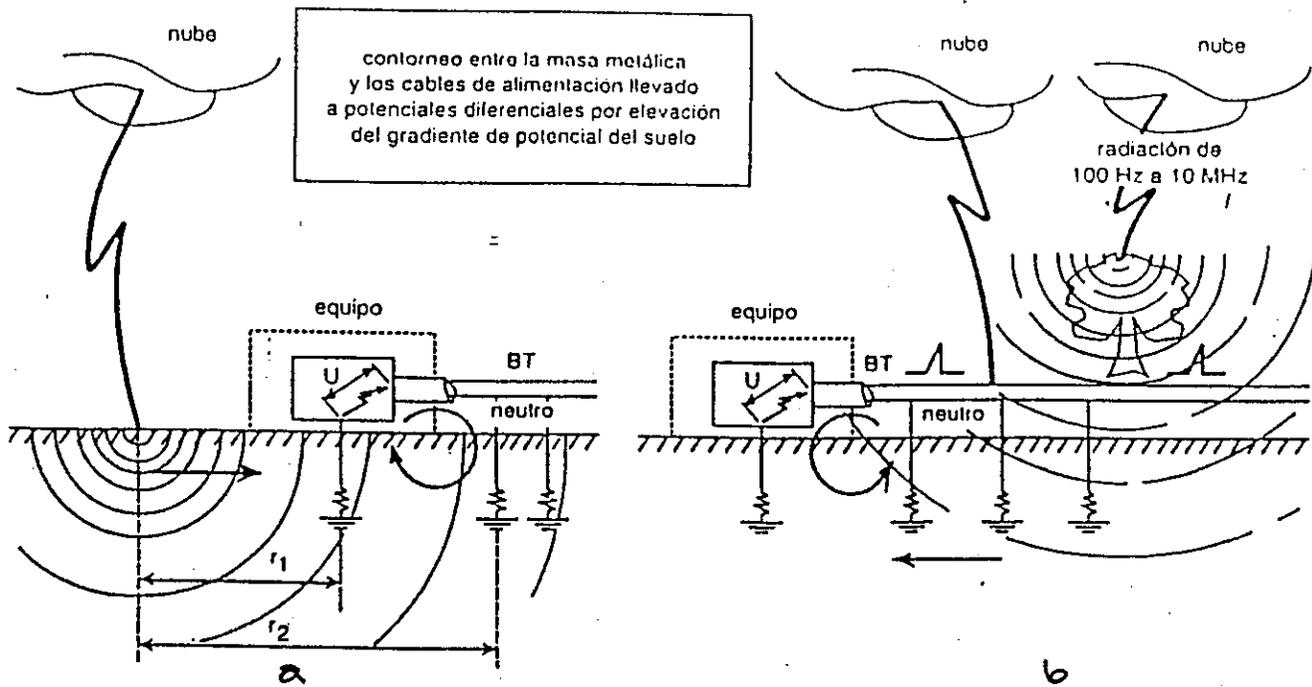
4.3 Propagación de la onda de tensión por el suelo

La magnitud de la sobretensión es función de la forma de la línea de energía eléctrica (rectilínea, curva, etc.) o de la distancia entre el punto de caída del rayo y la estructura afectada, así como de la forma de esta última.

En lo que referente a la conducción, se presenta de las siguientes maneras:

1. Considerando del caso en que un rayo caiga en un árbol, causando un aumento de potencial de la tierra local, una casa que se encuentre cerca de ese árbol y que tenga su "tierra" a una decena de metros del punto de impacto experimentara un aumento de potencial de su "tierra" local con relación a su línea telefónica. Esta sobretensión atravesará así diferentes aparatos internos de la casa y si se produce un cebado, fluirá hacia el resto de la línea. Contrariamente a lo que se supone, el rayo no llega en este caso por las líneas de alimentación sino que sale por ellas. En cambio, el fenómeno presenta una simetría, salvo en lo que respecta al signo: tanto si el rayo llega por la tierra como si sale por la línea o viceversa, el efecto es similar en lo que respecta a las sobretensiones. La única diferencia radica en la forma de las ondas, ya que las características eléctricas de las estructuras no son las mismas.
2. Cuando cae un rayo en una estructura cercana a una línea eléctrica de mediana tensión, se producen por inducción sobretensiones en el cable telefónico y el fenómeno que tiene lugar es idéntico al descrito en el punto uno.
3. Las sobretensiones de origen industrial que aparecen cuando se interrumpe bruscamente una corriente eléctrica debido al corte o aplicación de potencias elevadas, por ejemplo, en el cierre y la apertura de conmutadores electromecánicos, ya que se puede crear sobretensiones de varias veces la tensión de la red eléctrica.

Figura 6 Propagación de la onda de tensión por el suelo



Propagación de la onda de tensión por el suelo y su conducción por los cables telefónicos debida a la (a) radiación o (b) caída directa de un rayo.

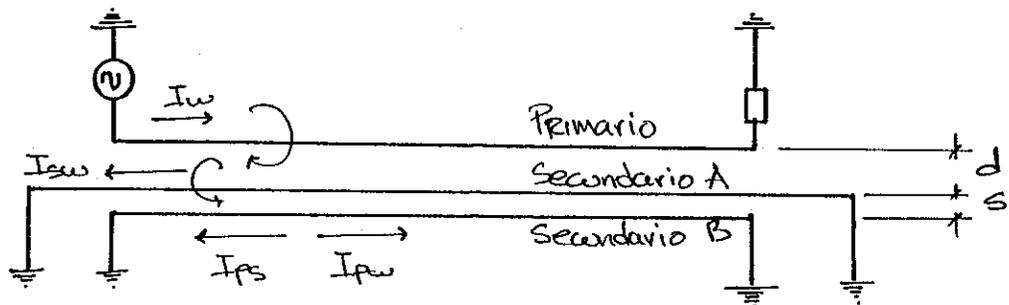
FUENTE: RAINER, G. Descarga eléctrica P.35

4.4 Importancia de un blindaje adecuado en el cable multipar

4.4.1 La pantalla como un transformador

La siguiente figura semeja a los devanados de un transformador de una gran longitud, formado por un primario principal, que es una línea de potencia, que en general es un sistema de líneas trifásicas, un secundario "A" y un secundario "B".

Figura 7 Función de la pantalla del cable multipar

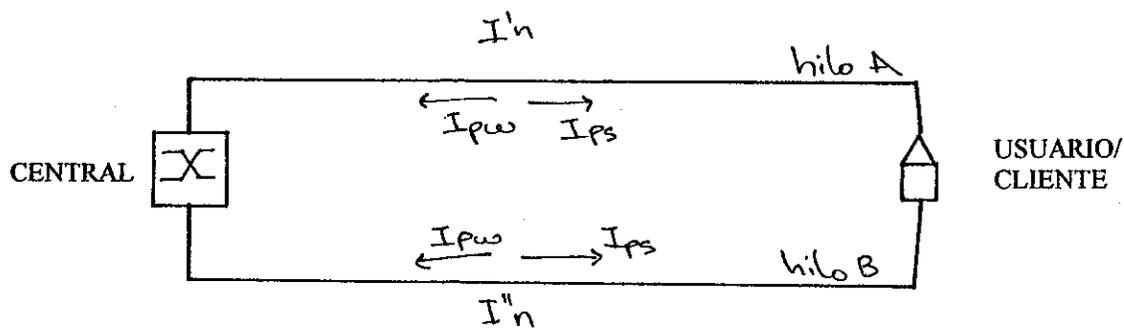


La corriente I_w del primario produce un campo magnético que influye sobre ambos secundarios. El secundario "A" actúa como primario para el secundario "B". La corriente I_{sw} produce un campo magnético que genera una corriente I_{pw} en el secundario "B". Por lo tanto, se comprende que la finalidad de la pantalla, es crear una corriente I_{ps} que anule o reduzca la corriente I_{pw} , que recuerda a la ley de Lenz la cual indica que la corriente inducida viaja en sentido contrario y que se opone al cambio que la produjo.

Un aspecto importante es la susceptibilidad del circuito telefónico. Susceptibilidad es la capacidad del circuito para modificar su desempeño común. Un circuito telefónico con alta susceptibilidad es fácilmente inducido o afectado por inducción de campos electromagnéticos externos. La causa de la susceptibilidad es el desbalance del circuito. Un circuito se considera balanceado si los dos lados del circuito metálico tienen igual impedancia en serie y su admitancia a tierra es idéntica. Por lo tanto, si la impedancia del hilo "A" es igual a la impedancia del hilo "B", las corrientes netas en los hilos I'_n e I''_n serán iguales, sus direcciones estarán en sentido opuesto y por tanto se anularán. Lo anterior también es válido para la admitancia.

Si uno de los hilos tiene una resistencia mayor, las corrientes serán menores y por lo tanto no habrá una cancelación en las corrientes netas existiendo una circulación de corrientes a lo largo del circuito.

Figura 8 Corrientes que fluyen en la pantalla



En la práctica existirá siempre un pequeño desbalance de resistencia que no afectará el funcionamiento. El fenómeno de la caída de un rayo puede asimilarse a un transformador de corriente, cuyo conductor del primario corresponde al rayo propiamente dicho, mientras que el devanado secundario corresponde al lazo de la línea situada en el campo electromagnético generado por el rayo. La sobretensión depende evidentemente de la distancia entre el punto de caída del rayo y la estructura influenciada, así como de la forma de esta última.

4.4.2 Fallas en la pantalla

Generalmente, se dan dos clases típicas de fallas.

4.4.2.1 Falla de pantalla abierta

En la anterior figura la corriente que se induce por la línea de potencia, I_{pw} , se anula o se reduce por la corriente que induce la pantalla en el par, I_{ps} , si la corriente que circula en la pantalla se reduce por efecto de una alta resistencia, la corriente que se induce en el par será menor, y por lo tanto la corriente neta en el par será la debida a la inducida por la línea de potencia.

En este caso no existirá corriente circulando en la pantalla y por lo tanto no habrá corriente en el par debido a la pantalla. La corriente neta en el par será únicamente la de la línea de potencia.

4.4.2.2 Falla de pantalla por conexión falsa

Esta condición se presenta por razones de una mala ejecución en el montaje por realizar un mal empalme de unión de las pantallas de varios cables. Una conexión falsa, producirá una alta resistencia en la pantalla reduciendo la corriente que circula por la misma y por lo tanto, reduce la corriente inducida en el par por la pantalla, esto hace que aumente la corriente inducida en el par debido a la línea de potencia. En la siguiente tabla (tabla III) se describe en resumen, las condiciones de la pantalla.

Tabla III Condiciones de falla de la pantalla del cable

+,- significa: poco mayor o menor que

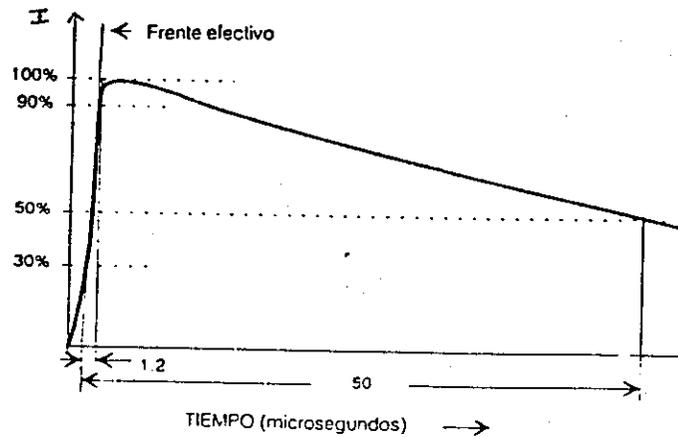
Condición de la Pantalla	Ideal	Real	Falsa Conexión	Abierta
Corriente de línea de potencia	I_w	I_w	I_w	I_w
Resistencia de pantalla	R	+,- R	Mayor R	Infinita
Corriente en la pantalla por la Línea de potencia	I_{sw}	+,- I_{sw}	Menor I_{sw}	Cero
Corriente en él para por la Línea de potencia	I_{pw}	I_{pw}	I_{pw}	I_{pw}
Corriente en el par por pantalla	I_{ps}	+,- I_{ps}	Menor I_{ps}	Cero
Corriente neta en el par	$I_{pw} - I_{ps} = 0$	$I_{pw} - I_{ps} \approx 0$	$I_{pw} - I_{ps} \neq 0$	$I_{pw} - 0 = I_{pw}$

4.4.3 Distribución de la corriente y tensión a lo largo de la pantalla

4.4.3.1 Onda típica de descarga electroatmosférica

La siguiente figura ilustra una onda de sobrecorriente típica debido a un rayo. Se alcanza el valor pico (cresta) en unos cuantos microsegundos y se disminuye mucho más lentamente, alcanzando un valor de la mitad de la cresta en un lapso de tiempo que puede variar desde menos de 100 a varios miles de microsegundos.

Figura 9 Onda típica de sobretension debida a un rayo

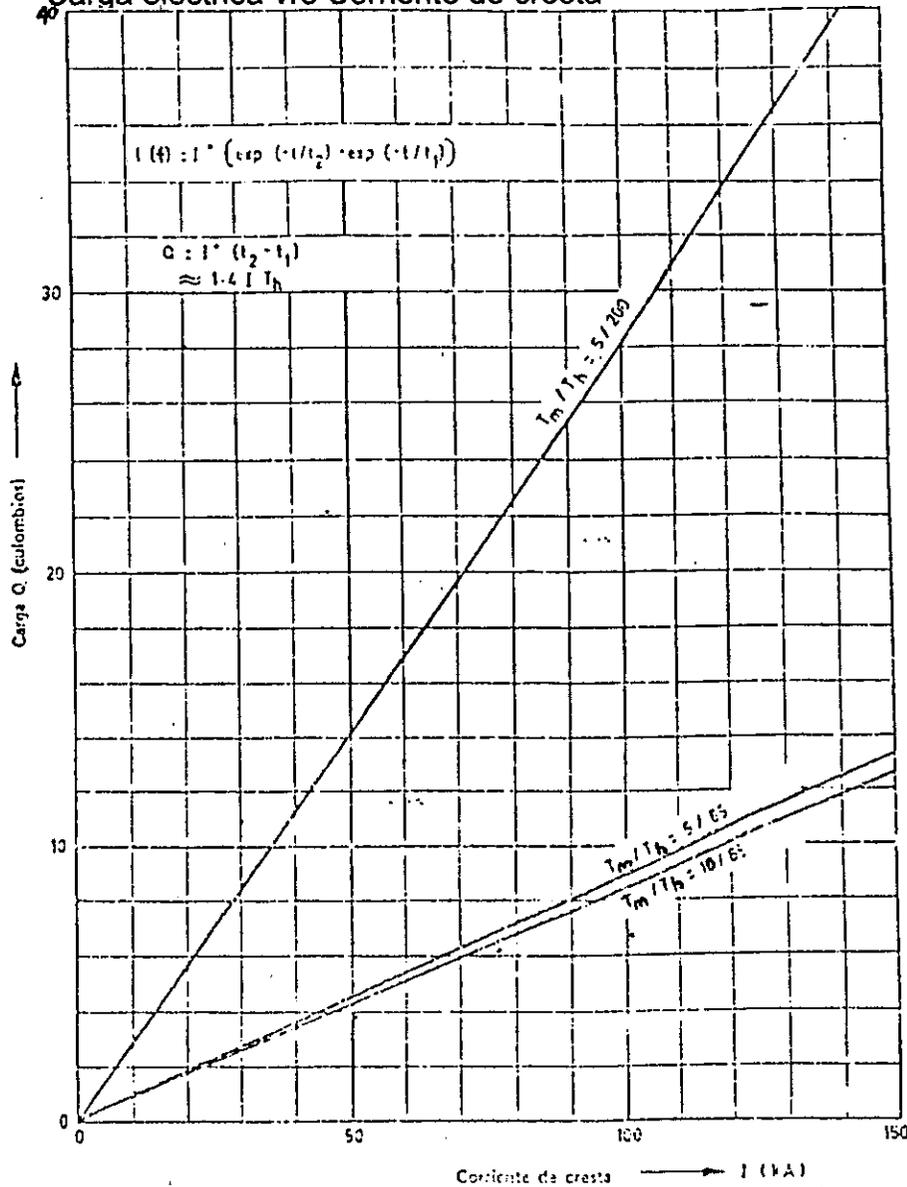


FUENTE: FINK, Donald. Manual de ingeniería eléctrica, P. 27,5

4.4.3.2 Por efecto de las descargas electroatmosféricas

Teóricamente, la forma de onda de la corriente de choque de un relámpago se representa por una función doblemente exponencial que se caracteriza por el tiempo verdadero de establecimiento hasta el valor de pico (cresta) T_m y por el tiempo verdadero de caída hasta el valor mitad de cresta T_h . En cálculos se utiliza con frecuencia una forma de onda de ese tipo para la relación $T_m/T_h = 5/65$. Integrándola se observa que interviene una carga eléctrica relativamente débil, de sólo algunos culombios según se muestra en la siguiente figura.

Figura 10 Carga eléctrica vrs Corriente de cresta



FUENTE: RODRIGUEZ, Bernad. **Planta externa**. Alto nivel, P. 86

La duración de amplitud mitad tiene una influencia decisiva en el valor de la tensión entre la cubierta metálica de un cable y el núcleo de éste. Esta tensión varía con la raíz cuadrada de T_h . La pendiente del frente de la onda de choque, que tiene un efecto despreciable en la tensión de choque entre la

cubierta y el núcleo, desempeña un papel predominante en lo que concierne a la caída de tensión en las impedancias de las tomas de tierra.

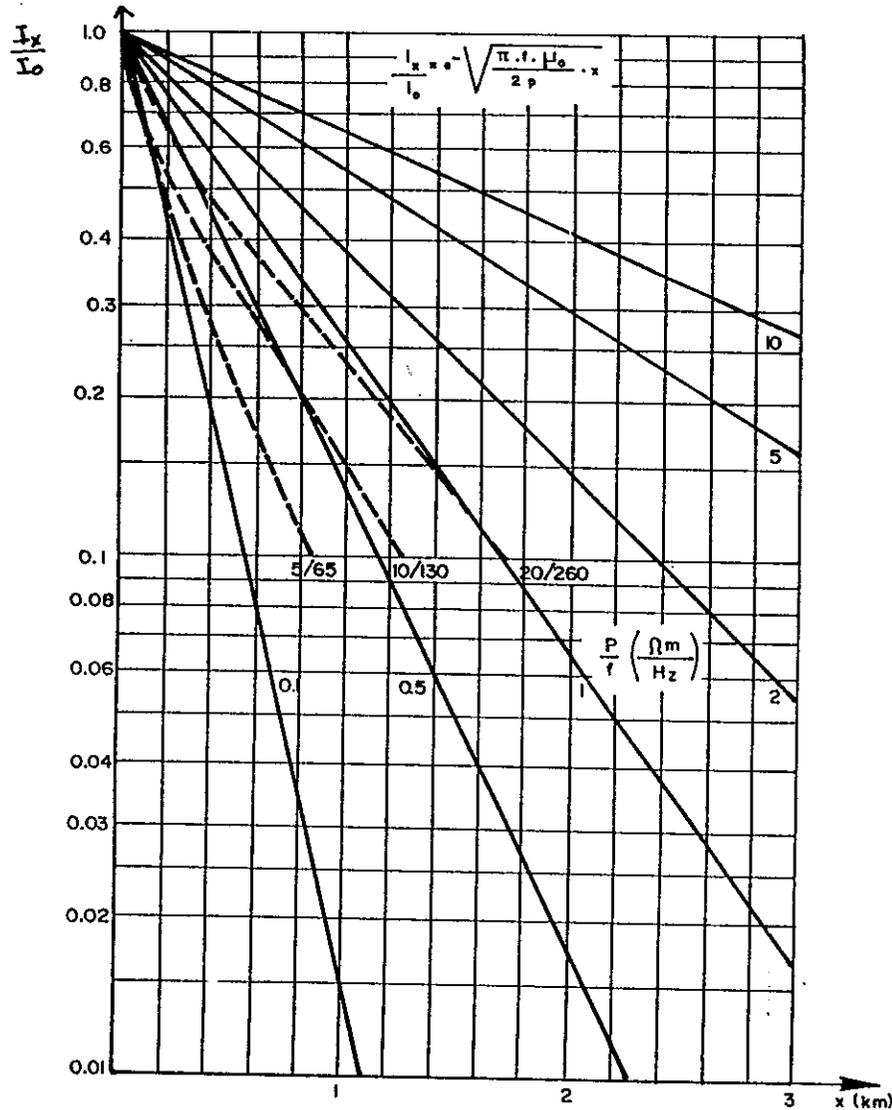
4.4.3.2.1 Efectos en los cables telefónicos

Aún si la cubierta metálica del cable está en contacto continuo con la tierra, la corriente del rayo puede circular por grandes distancias a lo largo de la cubierta antes de disiparse en la tierra. La siguiente figura (figura 11) indica la atenuación de las corrientes sinuoidales y la corriente de choque a lo largo de un cable. Las corrientes de rayo con un largo tiempo de decrecimiento hasta la media intensidad, cuyo espectro de frecuencia contiene frecuencias de valores bastante bajo, pierden poca intensidad y circulan por grandes distancias, especialmente en las zonas en que la resistividad del suelo es muy grande.

La corriente de rayo que circula por la cubierta produce en su misma superficie interna una caída de tensión que se manifiesta en forma de tensión de choque entre la cubierta y los conductores. Esta tensión puede rebasar la rigidez dieléctrica del aislante del núcleo y producir una descarga disruptiva fatal para la red.

La duración de amplitud mitad tiene una influencia decisiva en el valor de la tensión entre la cubierta metálica de un cable y el núcleo de éste. Esta tensión varía con la raíz cuadrada de T_h . La pendiente del frente de la onda de choque, que tiene un efecto despreciable en la tensión de choque entre la cubierta y el núcleo, desempeña un papel predominante en lo que concierne a la caída de tensión en las impedancias de las tomas de tierra.

Figura 11 Variación de la corriente en la cubierta metálica de un cable en función de la distancia al punto de entrada de la corriente de choque



Líneas de trazo continuo: relación entre la corriente de choque I en el punto x y la corriente I_0 a la entrada del cable, para corriente sinusoidales.

Líneas de trazo interrumpido: relación entre el valor de cresta en el punto x y su valor en el punto de entrada de la corriente de choque para diferentes formas de onda de la corriente de choque y una resistividad del suelo de $1000 \Omega \cdot m$.

FUENTE: RODRÍGUEZ. *Planta externa*, P. 92

Es importante notar que la forma de onda de un impulso que llega al extremo de un cable puede haber sido modificada por las características de propagación.

4.4.3.3 Factores que determinan la tensión de choque

La tensión de choque entre los conductores y la cubierta de un cable cuya cubierta está en contacto con el suelo ambiente se determina por los siguientes factores:

- a) La amplitud de la corriente del rayo
- b) La duración de la corriente del rayo
- c) La impedancia de transferencia de la cubierta del cable
- d) La resistividad del suelo
- e) El punto del cable por donde entra la corriente del rayo

La figura 12 muestra la influencia del factor "Impedancia de transferencia" y la figura 13 muestra la influencia del factor "resistividad de los suelos". Los valores indicados resultan de una corriente de choque de una intensidad de 1kA que circula por la cubierta y que se aleja del punto del impacto en una sola dirección.

La figura 14 muestra la variación de la tensión máxima de choque entre conductor y cubierta metálica en función de la distancia X del punto de entrada de la corriente del rayo en la cubierta. La tensión disminuye desde su nivel máximo hasta el punto $X=0$ a medida que aumenta la distancia X.

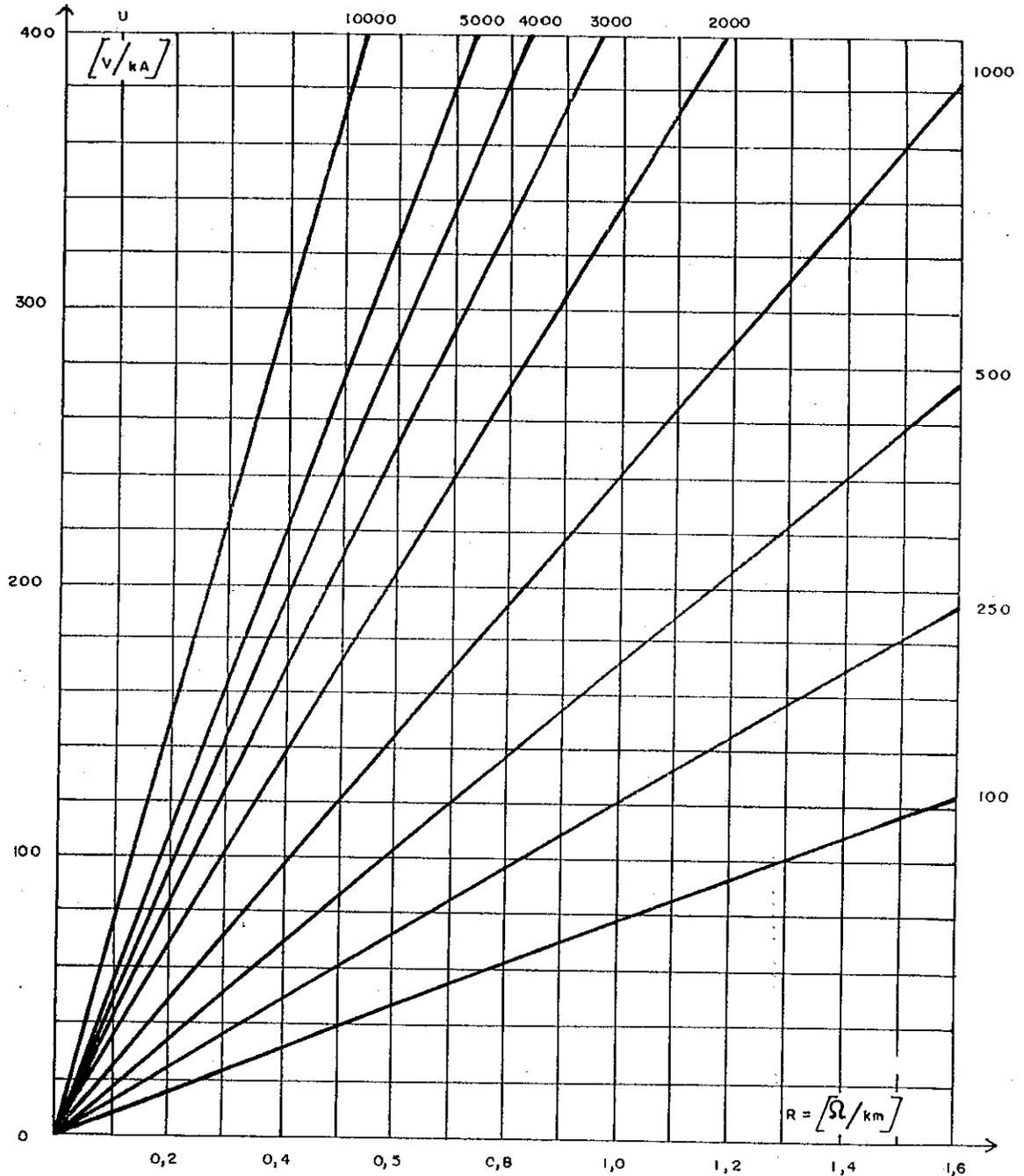
Si en la proximidad del punto del impacto se produce una descarga disruptiva entre los conductores y la cubierta de tal forma que estos dos elementos se pongan en contacto, parte de la onda de corriente del rayo pasara a los conductores del cable. No obstante, como la atenuación del circuito formado por los conductores y la cubierta es mucho menor que la del formado por la cubierta y la tierra, la tensión entre la cubierta y los conductores aumentara con la distancia del punto de impacto o punto de cortocircuito.

Si el circuito formado por los conductores y la cubierta sufre una ligera atenuación, por ejemplo, cuando un gran numero de conductores se ponen en circuito con la cubierta, o el núcleo del cable comprende un par coaxial con cubierta exterior buena conductora, la tensión máxima entre los conductores y la cubierta puede alcanzar, a cierta distancia, el 90% de la tensión máxima que se tendría finalmente entre los conductores y la cubierta puede haber alcanzado un máximo a una distancia comprendida entre algunas centenas de metros y algunos kilómetros del punto de impacto, la tensión disminuye de nuevo.

Cuando un cable cuya cubierta metálica está constantemente en contacto con el suelo, corta el potencial producido por un rayo más allá de la distancia crítica, la cubierta metálica forma una línea equipotencial que deforma la distribución del campo eléctrico correspondiente. La cubierta absorbe una pequeña parte de la corriente del rayo y la disipa progresivamente, por lo común, sin que se causen daños en el cable.

Figura 12 Valor máximo de la sobretensión entre la cubierta metálica de un cable de telecomunicaciones y los conductores en el punto de entrada de una corriente de rayo (forma de onda 5/65), en función de la resistencia de la cubierta y para diferentes valores de la resistividad del suelo

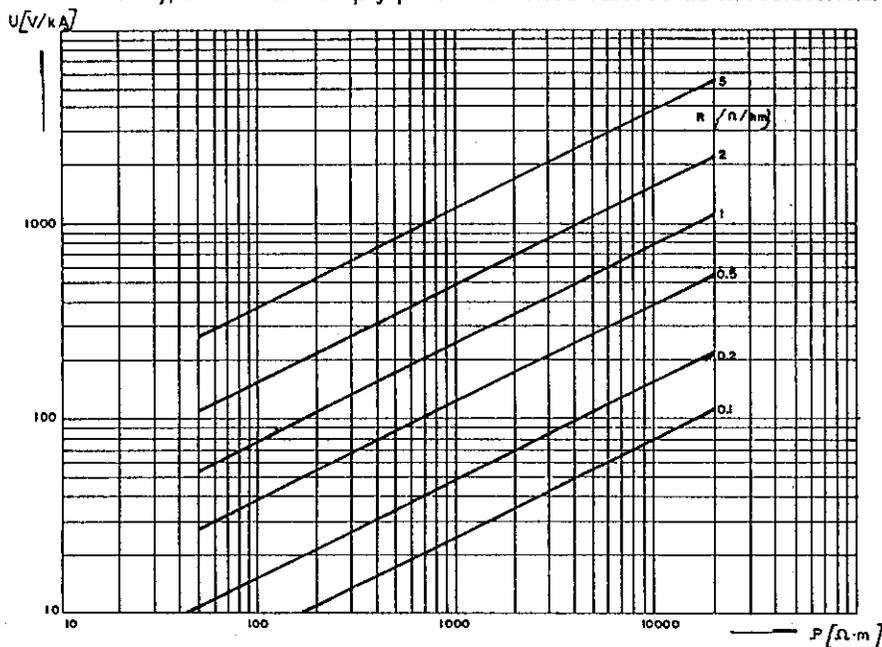
$$\rho = [\Omega_m]$$



FUENTE: RODRIGUEZ, B. Planta externa alto nivel, P. 98

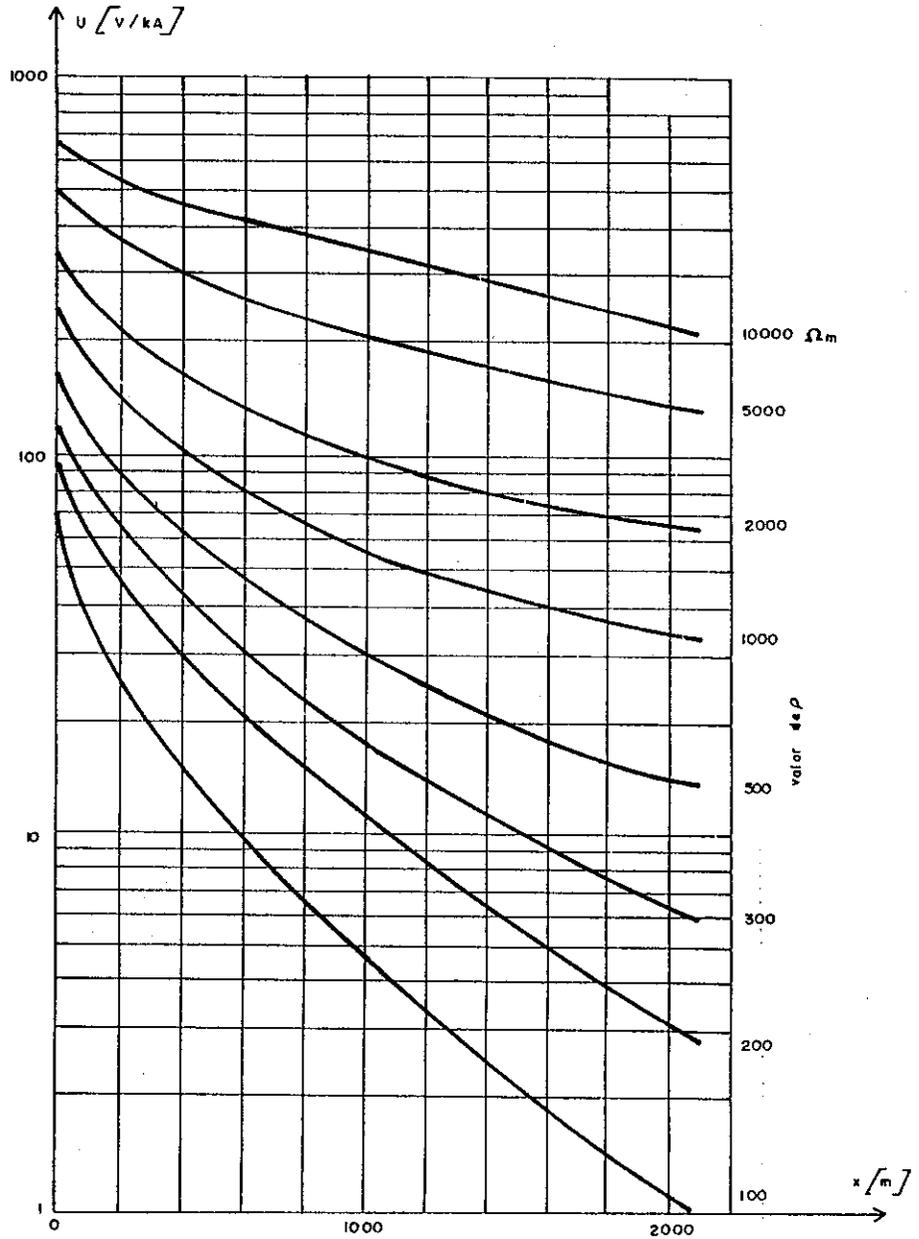
Los efectos en los cables de cubierta metálica aislada de tierra mediante un revestimiento aislante de gran calidad, para protegerle de la corrosión, la distorsión del campo eléctrico del suelo es menos pronunciada y entre la cubierta metálica y la tierra cercana existe prácticamente toda la tensión que el embudo de potencial contiene en ese lugar con relación a las partes alejadas del suelo. Si esta tensión rebasa la rigidez dieléctrica del revestimiento aislante del cable, en el revestimiento se producen orificios relativamente pequeños, debido a que la energía de la corriente parcial no es más que una fracción de la energía total distribuida en todos los sentidos. No obstante, conviene mencionar que la energía disipada en los orificios puede bastar para perforar también la cubierta metálica que se encuentra por debajo de la vaina aislante que una descarga directa haya afectado al cable.

Figura 13 Valor máximo de la sobretensión entre la cubierta metálica de un cable y los conductores en el punto de entrada de una corriente de rayo (forma de onda 5/65), en función de ρ y para diferentes valores de la resistencia de la cubierta.



FUENTE: RODRIGUEZ, B. Planta externa alto nivel. P. 103

Figura 14 Valor máximo de la tensión de choque entre la cubierta y los conductores en función de la distancia x al punto de entrada de la corriente de choque. Forma de onda de $i=5/65$, valor de cresta



Forma de onda de $i = 5/65$, valor de cresta 1kA. $R=1$
 (Corriente de rayo que parte del extremo del cable)

FUENTE: RODRÍGUEZ. Planta externa. P 107

Las perforaciones en la vaina aislante pueden bastar para que la humedad pase hasta la cubierta metálica y se produzca corrosión antes de que se llegue a tener sospechas sobre el estado del aislamiento de la cubierta. La cubierta de hilos blindados o de otros conductores en contacto con el suelo en la proximidad del cable mejora la situación y ofrece cierto grado de protección relativamente pequeños.

5. SISTEMAS DE PROTECCIÓN

El propósito de todo sistema de telecomunicaciones es el proveer una calidad de servicio en la comunicación de los usuarios, lo que da un mayor significado al interés de proteger el sistema de los efectos nocivos de aquellas corrientes que no son propias de las líneas telefónicas, ya que la falla de un elemento romperá la cadena de transmisión, impidiendo por lo tanto el flujo de información. Es en este punto donde la protección de una central digital y de todos los elementos asociados a su correcto funcionamiento, adquiere características de singular y mayor importancia en el mantenimiento de la continuidad del servicio, al limitar los efectos de los fenómenos que originan las fallas a tal grado que, determinado fenómeno no tendrá efecto alguno sobre los equipos protegidos contra él, o que los daños que ocasione sean fácilmente reparables.

En épocas pasadas, se tenía el criterio de proporcionar protección en el distribuidor principal solamente a los cables que se consideraban "expuestos", esto es, si en algunos de sus pares posee conexión o extensiones con cables aéreos. La realidad ha demostrado, que las cargas transientes de bajo nivel que se introducen dentro de los cables supuestamente "no-expuestos", es en algunas ocasiones de tal magnitud que pueden provocar daños al equipo digital de mayor sensibilidad.

Tales ondas pueden ser inducidas por hechos como los arranques y paradas de ascensores, motores eléctricos localizados en grandes edificios o dispositivos eléctricos propios de los abonados. Los rayos pueden ser

conducidos hacia adentro a través de las líneas de distribución eléctrica y hacia las líneas telefónicas por medio de los aparatos que están conectados con los teléfonos y con las líneas telefónicas. Los árboles altos localizados en áreas extensas y campos abiertos están propensos a las descargas directas de rayos. Si éstos tienen raíces que se extienden cerca de cables subterráneos o directamente enterrados, se puede trasladar dichas descargas por medio de las raíces hacia la pantalla de los cables induciendo descarga a la propia central.

Actualmente, para las centrales telefónicas digitales se debe de proporcionar protección a todos los pares telefónicos que salen fuera de la central. Nunca debe de omitirse protección para los pares telefónicos de reserva (vacantes), debido a que las sobretensiones que puedan ocurrir en estos podrían establecer un arco hacia los otros conductores.

5.1 Los cuatro tipos de protectores

Los equipos y componentes de protección han sufrido cambios, pero los principios se han mantenido desde tiempos pasados. Al diseñar la red de telecomunicaciones, se deben prevenir circunstancias de riesgo para el personal que va a dar mantenimiento a esta red, así como posibles problemas en el funcionamiento del equipo y sus componentes.

El sistema de protección se puede analizar en cuatro elementos protectores que juega un papel de vital importancia en la cadena de protección de todos los componentes de la red para evitar que una corriente no deseada o una inducción electromagnética circule a través de la misma.

5.1.1 Protectores ubicados dentro de la central telefónica

5.1.1.1 Primario

Localizado en el punto donde los cables de planta externa entran al edificio de la central telefónica y hacen contacto en el distribuidor principal (M.D.F.); su característica debe ser "de alta energía", para proteger contra altas corrientes debido a sobretensiones y sobrecorrientes mediante su desviación directa hacia la conexión a tierra. Por seguridad en la capacidad de conducción de corriente, el protector primario no puede jamás estar instalado en las tarjetas de circuitos impresos. El diseño de estos protectores debe de impedir la llegada de altos voltajes hasta los equipos de conmutación para que no se ocasione la generación de un arco o generación de calor excesivo dentro del gabinete de dichos equipos.

Su función principal de protección es contra sobretensiones externas provenientes de rayos, líneas de suministro eléctrico, etc., que pueden variar desde unos cuantos cientos de voltios hasta varios miles de voltios, y si no existiese protección podrían ser extremadamente peligrosas para el personal de la central telefónica, ocasionando daños al personal, equipo de la central y peor aún, la generación de un incendio dentro de ella.

Una segunda función del protector primario consiste en la protección contra sobrecorrientes procedentes de voltajes demasiado bajos como para ocasionar daños inmediatos, pero si son de cierta duración, pueden ocasionar recalentamientos y dañar los equipos. Las sobrecorrientes se originan de la aplicación prolongada de un voltaje externo con un valor dentro del ámbito considerado como normal para una línea telefónica.

Un voltaje de timbrado de 90 voltios a 20-30 Hz aplicado en forma intermitente, es considerado normal, pero el mismo voltaje aplicado en forma prolongada de un punto externo es anormal y podría ocasionar una sobrecorriente potencialmente dañina. Estos voltajes son demasiados bajos para activar el protector de sobretensiones y son manejados por parte del protector de sobrecorrientes.

Una característica más es que debe de ser de "falla segura o cerrada", de tal manera que al excederse en los niveles de voltaje o de corriente que está diseñado para soportar, se dañaría (fallaría) causando una conexión a tierra permanente protegiendo al personal y los equipos.

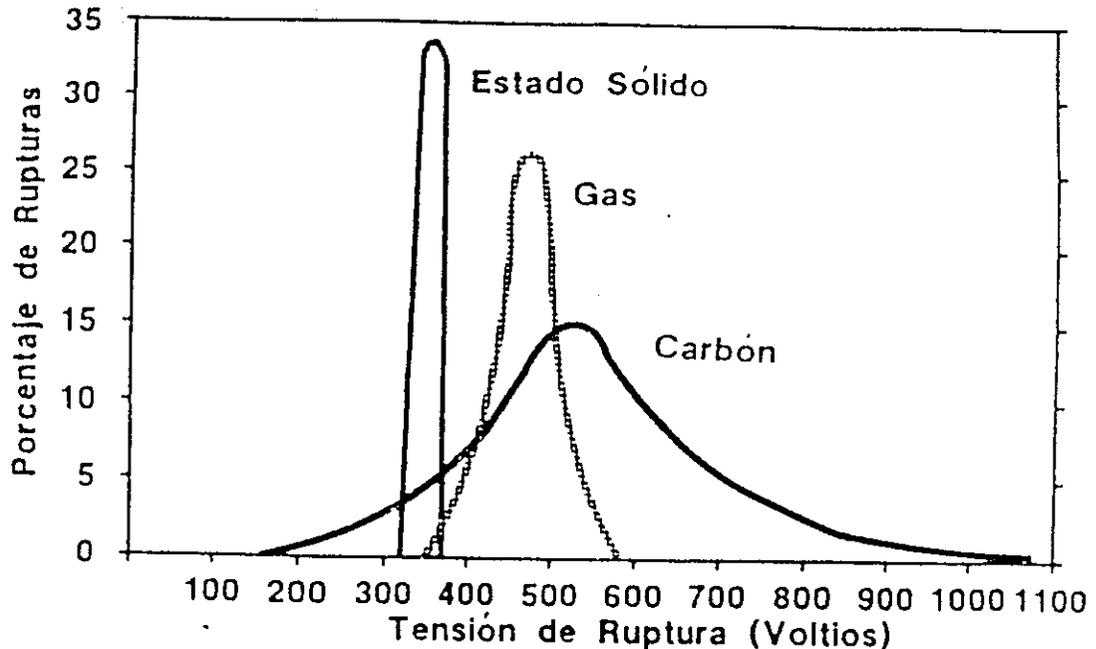
Históricamente, los electrodos de carbón y los descargadores de gas han sido utilizados para proporcionar la protección primaria contra sobretensiones, actualmente a la vanguardia se encuentran los dispositivos de estado sólido por sus grandes ventajas como son:

- a) El que no existe descarga por arco ya que conmuta y se fija en la modalidad de cortocircuito.
- b) Se eliminan los problemas de ruido ocasionados por partículas desprendidas de carbón.
- c) Los límites de voltaje de ruptura son más precisos y estrechos.

La siguiente figura presenta la distribución de frecuencias de los voltajes de ruptura a ondas con tensión de rampa de 100voltios/ μ s., para los electrodos de carbón, descargadores de gas, y protectores de estado sólido, para los

cuales describe la tolerancia estrecha del voltaje de ruptura y la rapidez de accionamiento.

Figura 15 Distribución de frecuencia de voltajes de ruptura



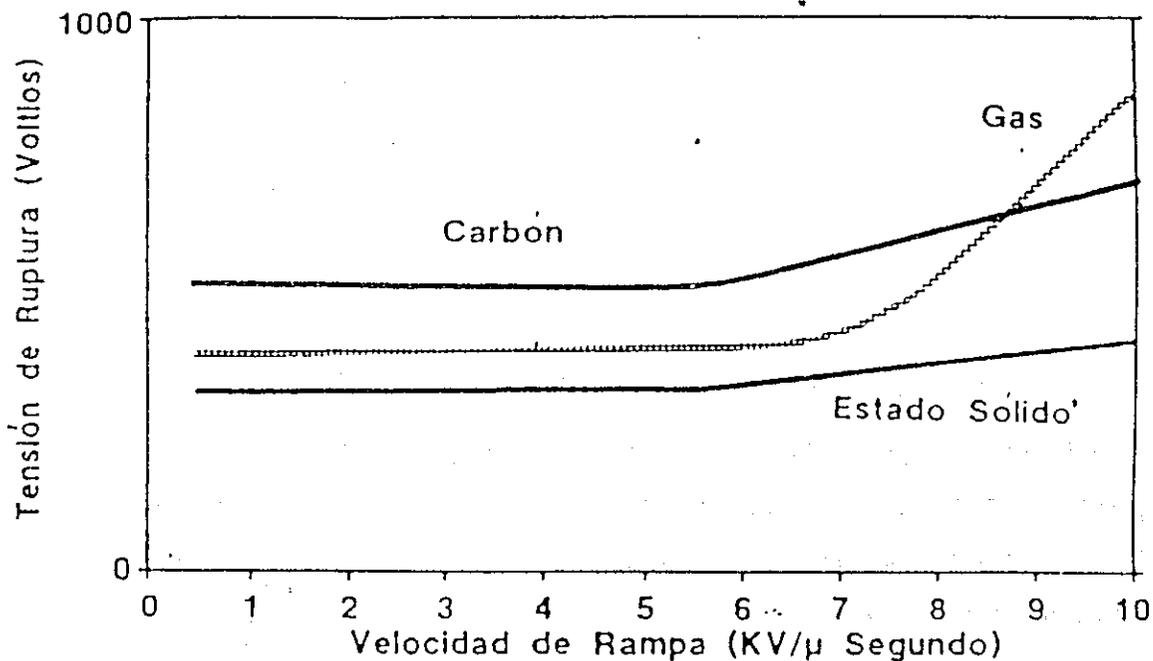
FUENTE: NORTEL. Protección eléctrica. P. 33

Los límites inferior y superior para el voltaje de ruptura, que permanecen invariables, también mejoran la seguridad. Puede ocurrir en ocasiones en protectores de gas o de carbón, que el voltaje de ruptura puede sobrepasar el límite superior aceptable y resultar en daños al equipo o personal. Los descargadores de gas por ejemplo, podrían convertirse en "dormidos" después de una larga estación con ausencia absoluta de rayos, dando como consecuencia que el primer arco de ruptura de la estación tormentosa ocurra a un voltaje significativamente más elevado que el límite superior especificado. Como resultado de ello podría ocasionar daños "inexplicables" a los equipos.

La siguiente figura presenta "una relación entre el voltaje promedio de ruptura con el gradiente del frente de onda para los protectores de estado sólido, descargadores de gas, y electrodos de carbón" (8:34). Se observa que la activación a un voltaje menor ocurre en el protector de estado sólido ya que este posee voltajes de ruptura menores aún con los frentes de onda pronunciados.

El tiempo de reacción menor reduce el riesgo de daños a las tarjetas de línea en centrales digitales.

Figura 16 Voltaje de ruptura vrs velocidad de rampa



FUENTE: NORTEL. Protección eléctrica. P. 34

5.1.1.2 Secundario

Consta de dispositivos de baja energía de accionamiento rápido, tales como: varistores, diodos zener, y resistores que limitan la sobrecorriente en los circuitos, etc., los cuales funcionan muy velozmente para proteger componentes sensibles contra las pequeñas cantidades de energía que logran pasar por los protectores primarios antes de que estos accionen. Esta protección forma parte integral del diseño propio de una central digital y se localiza en las tarjetas de circuitos de los equipos.

5.1.2 Protecciones fuera de la central telefónica

5.1.2.1 Enlaces fusibles

En el caso de un cruce directo entre una línea de transmisión de alta tensión con una línea telefónica, o una inducción muy fuerte, los módulos protectores "falla segura" (estado sólido) poseen contactos metálicos que son activados mediante calentamiento que provocan un corto circuito hacia tierra, ejecutando así su función protectora y previniendo que los módulos lleguen a sobrecalentarse y causar un incendio. Dependiendo de los valores de voltaje de la línea y de la resistencia ohmica del cable telefónico, entre el punto de cruce y el protector en la central, la corriente de falla sobre la línea telefónica, puede exceder la capacidad conductora del cable telefónico, en cuyo caso este se fundirá en su punto más débil, e interrumpirá así el flujo de corriente.

Bajo esas condiciones, es de gran importancia, por motivos de seguridad, que estos "puntos más débiles" no estén dentro del edificio que aloja a la central telefónica. La fusión y posterior apertura de un conductor que este

conduciendo una corriente proveniente de una fuente de alto voltaje, provocaran la formación de un arco que se sostiene entre los dos extremos del conductor quemado. Dicho arco será sostenido por la ionización del aire, y se extinguirá solamente cuando los extremos del conductor se hayan quemado hacia atrás una distancia suficiente para que el arco no pueda mantenerse. Dependiendo de los valores de voltaje y la corriente, esta distancia puede ser de un metro o más.

Estos arcos llevan una alta energía la cual desprende una gran cantidad de calor. Si tal fusión y ruptura ocurriesen dentro del edificio de la central telefónica, el arco resultante podría ser extremadamente peligroso para el personal de la central, así como podría también provocar un incendio al mismo edificio.

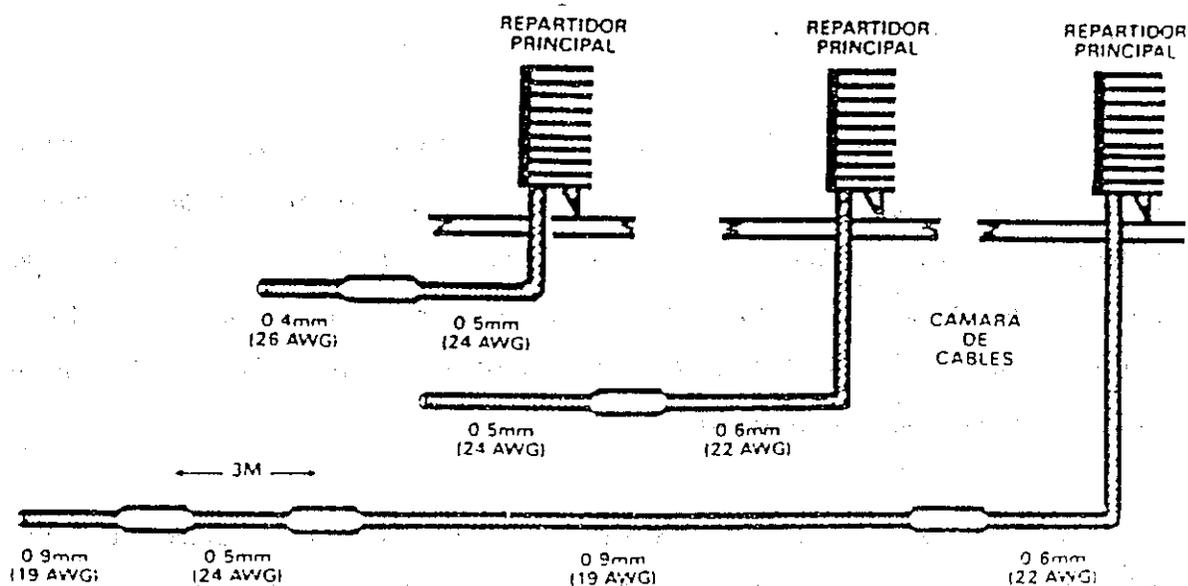
La práctica recomendable es usar un enlace fusible y consiste que siempre, sin excepción, se emplean conductores más gruesos para los cables de entrada dentro del edificio, que el cable inmediatamente fuera del edificio.

El cable interno que sube a los protectores primarios en el distribuidor principal, empalmado con los cables de entrada en la caja empalme, debe ser por los menos dos (2) números de calibres AWG más gruesos, o tener un diámetro de un décimo (0.1) de milímetro mayor que el cable externo inmediatamente afuera del edificio. De esta manera, el cable interno, no constituye el punto más débil para el paso de la corriente y que pudiese fundirse o abrirse bajo condiciones de cruzamiento con líneas de transmisión de alta tensión. La siguiente figura (figura 17) muestra algunos ejemplos.

La mejor ubicación para la realización de este enlace fusible es en el pozo (cámara) más próxima al edificio de la central.

El tipo de conexión del cable externo a la regleta de protectores en el repartidor principal también es importante. Conexiones del tipo "desplazamiento de aislante", se aplican cada día más en las redes de planta externa. Un punto muy importante y crítico es el punto de conexión del cable externo a la regleta de protección dentro de la central, cuando se utilizan conexiones con desplazamiento de aislamiento. Esto se debe al efecto de "morder" en el punto de contacto, reduce levemente en diámetro y consecuentemente el área y capacidad de corriente del conductor del cable en el punto de contacto, transformando este punto como un eslabón "frágil" desde el punto de vista de capacidad de conducción de corriente bajo la condición de alta corriente.

Figura 17 Enlaces fusibles



FUENTE: NORTEL. Protección eléctrica. P. 56

Los cables que se extienden del distribuidor principal a la sala o túnel de empalmes, deben poseer siempre una envoltura externa no combustible de PVC (Cloruro de polivinilo) y los mismos conductores deben de poseer aislamiento de PVC. Por la naturaleza de los materiales plásticos de polietileno, los cables que contengan esta envoltura no deben ser nunca extendidos ni conectados hasta las regletas en el distribuidor principal, debido al enorme riesgo de un incendio. Véase la tabla comparativa de aislamientos en el anexo.

En todos los casos, se deben de utilizar conductores con aislamiento retardante de la llama, para las interconexiones y puentes en y entre los distribuidores principales.

5.1.2.2 Puesta a tierra

Conociendo que la distribución de corriente a lo largo de la pantalla no es uniforme, resulta que la corriente no es constante de un extremo de la pantalla a otro, por lo que la conexión a tierra en la central telefónica, deberá tener siempre un menor valor que en la localidad del abonado; por lo tanto, la corriente inducida en la central telefónica será mucho más alta que la que se mide en el extremo del abonado.

La puesta a tierra, es el elemento clave de una protección eléctrica eficiente para la planta externa. El mejor dispositivo de protección no realizará la función encomendada si no está conectado a tierra, como tampoco será plenamente efectivo a menos que esté correctamente "puesto a tierra". La finalidad de la puesta a tierra es proteger a las personas involucradas y a los equipos, a fin de brindar la mejor calidad de servicio, dentro de un balance técnico - económico.

Es necesario dejar claramente expresado que todo equipo o dispositivo de protección deja de efectuar su función de drenar a tierra las perturbaciones por medio del sistema de puesta a tierra, si el sistema de puesta a tierra no existiera o no estuviera en las condiciones que solicita este estudio.

Las condiciones de operación de los dispositivos de protección depende exclusivamente de la impedancia del sistema de puesta a tierra, que depende principalmente de la geometría de la red y de la equipotencialización de todas las masas metálicas puestas en juego en cada red o subsistema de puesta a tierra, por lo que es indispensable que todos los elementos de la red de tierra deberán estar interconectados, de tal modo que los caminos de las corrientes de falla de los equipos de alta tecnología se drenen hacia tierra por un solo camino; es decir, que una corriente de falla no recorra el sistema restantes sino solamente los caminos que han sido diseñados para ello.

Los siguientes requerimientos para los sistemas de puesta a tierra se hallan basados en las recomendaciones de la U.I.T. (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

5.2 Sistemas de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra comprende: Subsistemas de puesta a tierra de la sala de transmisión, conmutación, energía eléctrica en CA, en CC, todas las salas y servicios de un edificio de telecomunicaciones así como el subsistema de puesta a tierra del pozo (cámara) de entrada de los cables multipares al distribuidor principal. En este trabajo se tratará únicamente este último subsistema, extendiéndose para toda la red de planta externa.

5.2.1 Principios generales

5.2.1.1 La continuidad eléctrica de las pantallas y cubiertas metálicas del cable multipar

Proporciona la seguridad de la continuidad eléctrica de dichos elementos, se contribuye a disminuir las destrucciones de equipo y mejorar la inmunidad de la red respecto a cualquier clase de agresión electromagnética manteniendo la eficiencia de las protecciones de la red.

5.2.1.2 Aterrizajes

Contribuyen a la eficiencia de los blindajes de cables y permiten enviar a tierra las corrientes perturbadoras

5.2.2 Tomas de tierra

Así se denomina a toda instalación metálica directa sin protección alguna, entre una instalación a proteger y un electrodo de dimensiones tales que, en todo momento pueda asegurarse que el conjunto está prácticamente al mismo potencial de la tierra.

Las tomas de tierra tienen una doble misión:

1. Estática: fijar a un potencial invariable los equipos, masas conductoras y la red de telecomunicaciones a efecto se obtenga un potencial de referencia así como la eliminación de cargas electrostáticas.

2. Dinámica: dirigir a tierra las corrientes de defecto, de naturaleza e intensidades diversas.

Una toma de tierra consiste de las siguientes partes:

- a) Circuito conductor de unión: es el conductor que enlaza la toma de tierra al colector de tierra.
- b) Colector de tierra o electrodo: conductor en forma de barra, placa o anillo al que está conectado por un lado el circuito conductor y por el otro el sistema de distribución de tierras
- c) Tierra propiamente dicha: masa uniforme de terreno que rodea al electrodo, sus características tales como la composición del terreno, humedad y concentración de sales, son de suma importancia para conocer la resistividad que presenta.

5.2.2.1 Resistividad del suelo

Es el factor principal para el establecimiento de un sistema de tomas de tierra en una región considerada. Esta depende esencialmente de factores comunes a vastas regiones, pero ciertas particularidades locales pueden inducir a elegir determinados puntos para el establecimiento de sistemas de tomas de tierra, por sus condiciones más favorables.

La resistividad se debe en parte a un proceso electrolítico y, en parte, a la resistencia de contacto entre un gran número de finas partículas. Si el contenido de agua o de sales es elevado, el fenómeno predominante será probablemente el proceso electrolítico: en cambio, si el suelo es seco, los factores esenciales serán el tamaño de las partículas y el volumen de aire

aprisionado por ellas. La resistividad del suelo se define como la resistencia entre caras opuestas de un cubo unitario; se mide por lo general en Ω /metro.

Factores que determinan la resistividad de suelo:

- a) Tipo de suelo
- b) Nivel de las aguas subterráneas
- c) Granulometría
- d) Compatibilidad y presión
- e) Composición química de sales disueltas en el agua contenida
- f) Concentración de las sales disueltas en este
- g) Humedad

Las siguientes tablas dan a conocer la influencia de los anteriores factores en la resistividad del suelo.

Tabla IV Influencia de las aguas subterráneas en la resistividad del suelo

Contenido de agua (% del peso)	Valor general de la Resistividad Ω .m	
	Mezcla arcilla – arena	Arena
0	10000000	
2.5	1500	3000000
5	430	50000
10	185	2100
15	105	630
20	63	290
30	42	215

FUENTE:RODRIGUEZ, B. Planta externa. P. 184

Tabla V Valores típicos de la resistividad de ciertos tipos de suelos y de agua

Tipos de suelo o de agua	Resistividad típica $\Omega.m$	Límites normales $\Omega.m$
Agua de mar	2	0.10 — 10
Arcilla, estratos de carbón y minerales	40	8 — 70
Agua subterránea, de pozo, y de manantial	50	10 — 150
Mezcla de arcilla y arena	100	4 — 300
Pizarra, esquisto, gres, etc.	120	10 — 1000
Turba, limo y lodo	150	5 — 250
Agua de lago y de torrente	250	100 — 400
Arena, limos, etc.	2000	200 — 3000
Grava de morena	3000	40 — 10000
Grava marítima	15000	3000 — 30000
Granito	25000	10000 — 50000
Hielo	100000	10000 — 100000

FUENTE: RODRIGUEZ, B. *Planta externa*. P. 183

Tabla VI Influencia de la temperatura en la resistividad de un suelo compuesto de una mezcla de arcilla y arena

Temperatura $^{\circ}C$	Valor general de la resistividad en $\Omega.m$
20	72
10	99
0 (agua)	138
0 (hielo)	300
-5	790
-15	3300

FUENTE: RODRIGUEZ, B. *Planta externa*. P. 183

Es interesante notar que la resistividad aumenta bruscamente a 0° grados celcius de temperatura al transformarse el agua en hielo; se observa también un aumento muy fuerte de la resistividad con el descenso de la temperatura. Los suelos arenosos absorben más agua que los arcillosos, pero retienen menos: así, además de su menor resistividad intrínseca, los suelos arcillosos serán en general más húmedos y deberán; por tanto, preferirse a los suelos arenosos. El grado de humedad del suelo se reduce cerca de los árboles, por lo que conviene evitar estos al elegir una ubicación.

En el caso de un suelo estratificado, los electrodos deben instalarse en las capas que ofrezcan la menor resistividad.

5.2.2.2 Características eléctricas de los electrodos de tierra

5.2.2.2.1 Resistencia

Se compone de los siguientes elementos:

- a) Resistencia eléctrica de los electrodos: los materiales constitutivos de las tomas de tierra no suelen desempeñar un gran papel. Puede despreciarse la resistencia longitudinal de los electrodos de tierra de dimensiones normales, comparada con la resistencia del volumen del suelo que rodea él al electrodo.
- b) Resistencia de contacto entre la superficie del electrodo y el suelo circundante: esta resistencia puede aumentar la resistencia efectiva de la toma de tierra en una proporción de hasta el 10%. Puede ser reducida

por los arcos que se producen en caso de descargas, y puede también ser derivada por la admitancia capacitiva entre el conductor y el suelo.

- c) **Resistencia del volumen del suelo que rodea al electrodo (Resistencia de difusión)** La resistencia del volumen del suelo que rodea el electrodo es, con mucho, el factor más importante. Este volumen varía según la forma y el tamaño del electrodo. Una toma de tierra que permita la difusión de la corriente en un gran volumen de suelo tendrá una resistencia inferior que una toma de tierra que difunda la misma corriente en un volumen de suelo más reducido.

5.2.2.2 Impedancia de las tomas de tierra

La impedancia de una toma de tierra frente a la onda de corriente de un rayo puede ser considerablemente mayor que su corriente continua, y esta directamente relacionada con la longitud del electrodo. Es preferible prever varios electrodos cortos que uno solo largo debido a que se obtiene una mayor área efectiva de dispersión.

5.2.2.3 Tipos de electrodos y cálculos de diseño de sus resistencias

Se distinguen tres tipos:

- a) **Electrodos en zanjas:** electrodos horizontales enterrados cerca de la superficie del suelo, habida cuenta del riesgo de daños mecánicos, de las heladas o de la desecación estacional de las capas superiores del suelo.

- b) Barras cortas (2 metros) o largas enterradas verticalmente a una profundidad comprendida entre 1 y 50 metros aproximadamente.
- c) Electrodo en forma de placa, enterrados a una profundidad comprendida entre 1 y 4 metros aproximadamente.

El valor de la resistencia de tierra, interviene los parámetros como son: La profundidad, forma y sección de los electrodos así como la resistividad del suelo circundante.

5.2.2.3.1 Electrodo horizontales

Normalmente enterrados a una profundidad de por lo menos 60 cm. Tales electrodos hacen intervenir un gran volumen de terreno y, por consiguiente, la resistencia de una puesta a tierra instalada en una zanja es generalmente más reducida incluso si la capa superficial en que está enterrado el conductor tiene un bajo grado de humedad. Una tubería metálica de agua de suficiente longitud constituye un electrodo muy eficaz.

La resistencia de tierra de un hilo de diámetro "d" y de longitud "L", enterrado horizontalmente a una profundidad h en un suelo de resistividad ρ , cuando $h \ll L$.

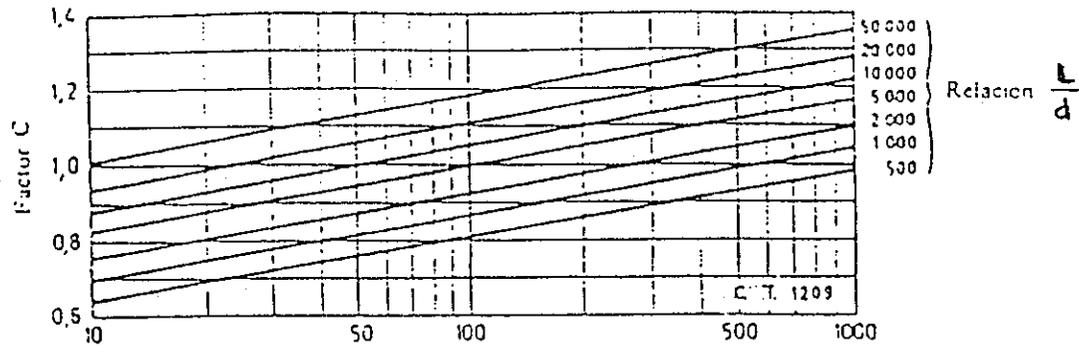
$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left(L n \frac{2L}{hd} - 1 \right)$$

simplificando

$$R = C \frac{2\rho}{L}$$

En la que el factor "C" procede de la siguiente figura.

Figura 18 Factor de ponderación "C"



Relación $\frac{L}{h}$ FUENTE: RAMIREZ, S. **Sistemas tierra**. P. 76

En el caso de una red de tierra en estrella de "n" ramales, separados por ángulos iguales, de diámetro "d" y longitud "L", enterrada a una profundidad "h":

$$R = \frac{\rho}{n \pi L} \left[\text{Ln} \left(\frac{2L}{\sqrt{hd}} - 1 \right) - N(n) \right]$$

con los siguientes valores para N (n):

n	2	3	4	6	8	12
N(n)	0.7	1.53	2.45	4.42	6.5	11

Las mismas fórmulas pueden aplicarse a cintas enterradas, sustituyendo el diámetro "d" por la mitad de la anchura de la cinta.

Si la resistividad del suelo obliga a utilizar un hilo de gran longitud, es preferible sustituirlo por varios hilos más cortos en estrella, por las siguientes razones:

1. La resistencia propia de un solo hilo de gran longitud puede ser considerable.
2. Frecuentemente es más fácil enterrar varios hilos de corta longitud.
3. La impedancia de choque de dos o más hilos radiantes es menor que la de un solo hilo.

5.2.2.3.2 Electrodo verticales

Las barras hincadas verticalmente en el suelo constituyen un tipo conveniente de electrodos de puesta a tierra y, por ser cortas, son relativamente fáciles de instalar y de bajo costo. Cuando se trata de barras cortas, es raro que una sola proporcione una resistencia suficientemente baja; por consiguiente, conviene utilizar varias barras espaciadas.

En lo que concierne a la resistencia de choque, las mediciones efectuadas con electrodos verticales de corta longitud hundidos en el suelo han demostrado que la resistencia puede reducirse el 70% de la resistencia de tierra en corriente continua, a causa de las rupturas que pueden producirse en el suelo. Si hay que enterrar varios electrodos de barra adecuadamente separados y conectados en paralelo, pueden ser necesarias conexiones de gran longitud que introducen fuertes impedancias inductivas. De esta forma, se puede perder la ganancia de resistencia debida al arco de tierra, y la resistencia de choque global puede ser superior a la resistencia en corriente continua. Para lograr resistencia de difusión de choque más bajas, hay que tener en cuenta la naturaleza del sistema de electrodos de tierra y su disposición, incluidos los conductores de conexión.

Comparadas con otros tipos de electrodos de tierra, las barras tienen las siguientes ventajas:

1. Exigen pequeñas excavaciones (menor costo de mano de obra)
2. Si la capa superficial del terreno es arenosa, y la capa freática está a gran profundidad, pueden introducirse hasta una profundidad tal que se reduzca mucho la resistencia de tierra
3. Las posibilidades de variación de la resistencia de tierra debido a los cambios de temperatura y de humedad son mucho menores en el caso de barras horizontales
4. La conexión entre una barra y el conductor que esté asociada puede ser sencilla y muy fácil de inspeccionar y, en caso necesario, puede hacerse por encima del suelo, con lo que ese evita el riesgo de corrosión cuando el electrodo y el conductor son de metales diferentes.

En el caso de una barra vertical de longitud "L" y de diámetro "d", cuando $L \gg d/2$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{8L}{d} - 1 \right)$$

La resistencia de tierra de las barras o tubos hundidos en el suelo puede calcularse con suficiente precisión aplicando las siguientes fórmulas en función de la relación L/d, donde "L" es la longitud exterior, "d" el diámetro exterior y ρ es la resistividad del suelo:

$$R = 0.75 \frac{\rho}{L} \quad \text{si } 25 \leq \frac{L}{d} \leq 100$$

$$R = \frac{\rho}{L} \quad \text{si } 100 < \frac{L}{d} \leq 600$$

$$R = 1.2 \frac{\rho}{L} \quad \text{si } 600 < \frac{L}{d} \leq 3000$$

Pueden aplicarse las mismas fórmulas si los electrodos no son de sección cilíndrica. En este caso, se sustituirá el diámetro "d" por el valor de la dimensión más importante de la sección en cuestión.

A menudo, la parte inferior de una barra hundida verticalmente en la tierra alcanza una capa cuya resistividad es mucho más baja que la de la capa superior. Esta parte del electrodo tiene tal importancia que el cálculo de la resistencia de tierra que se pueden considerar como la longitud eficaz del electrodo.

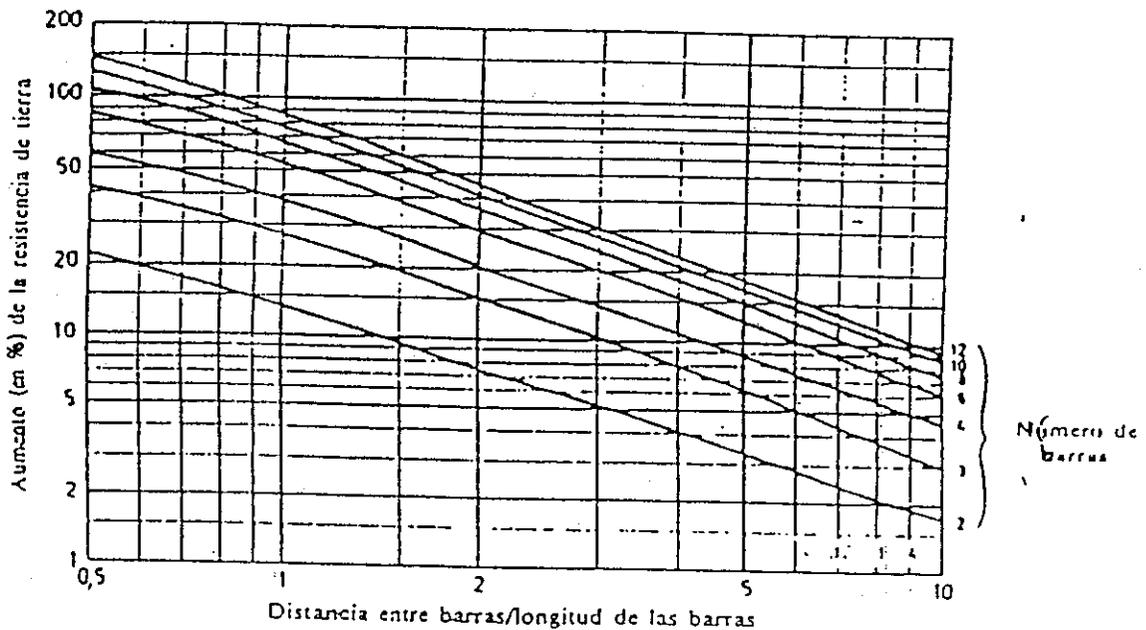
Si se emplean varias barras interconectadas, es necesario observar si la resistencia de tierra que se puede obtener es superior a la correspondiente a la conexión en paralelo de la resistencia de cada barra. El aumento depende de la distancia entre las barras y del número de estas; el empleo de conductores desnudos para la interconexión de las barras puede modificarlos bastante.

La siguiente figura (figura 19), da una idea de este aumento (en porcentaje); está basada en la hipótesis de que la resistividad del suelo sea uniforme en todos los puntos de la zona considerada y de que entre todas las barras de un sistema existe la misma separación.

5.2.2.3.3 Electrodo en forma de placa

El favor de que goza este tipo de electrodos, empleado aún en ciertos países, se explica por el hecho de ser el que primero se utilizó y por que en un principio se penso que había que aumentar la superficie de los electrodos para obtener una resistencia poco elevada, creencia errónea en la medida en que la resistencia de tierra varia solo de manera aproximada en razón inversa de la raíz cuadrada de la superficie del electrodo. Por ello, si una placa no asegura una resistencia suficientemente baja, vale más multiplicar las placas que aumentar su superficie. Si se utiliza más de una placa, la distancia entre ellas será por lo menos igual al triple de la dimensión máxima de las placas.

Figura 19 Interacción de barras múltiples regularmente separadas



FUENTE: RAMIREZ, S. *Sistemas de tierra*. P. 84

Cuando la resistividad es reducida, puede dar buenos resultados una toma de tierra de placa. El uso de placas de más de 1 m X 2 m ofrece escasas ventajas. Más costosas que los electrodos de varilla, no son más eficaces que estos.

La instalación de electrodos de placa debe hacerse al mismo tiempo que los trabajos de excavación del edificio, pues de otro modo su empleo será poco económico, habida cuenta de los importantes trabajos necesarios para enterrarlos cuando el edificio ya se encuentra construido.

Para calcular la resistencia de tierra de las placas redondas horizontales, puede aplicarse la siguiente fórmula aproximada, valida para $h > d/2$, donde: "d" es el diámetro de la placa, "h" la profundidad a que se coloca y ρ la resistividad del suelo:

$$R = \frac{\rho}{4d} \left(1 + \frac{d}{6h} \right)$$

Para garantizar un buen contacto con el suelo circundante, es preferible colocar las placas verticalmente; en este caso, puede emplearse también la misma fórmula, donde "h" representa la profundidad media de colocación.

En el caso de placas cuadradas, puede usarse la misma fórmula, pero sustituyendo "d" por 1.13 veces la dimensión del lado.

La resistencia de tierra de las placas redondas, cuadradas o rectangulares, enterradas vertical u horizontalmente, puede calcularse en números casos con suficiente precisión mediante la fórmula:

$$R = 0.25 \frac{\rho}{d}$$

en la que "d" representa la dimensión máxima de la placa considerada.

5.3 Normas de construcción, forma y puesta del electrodo

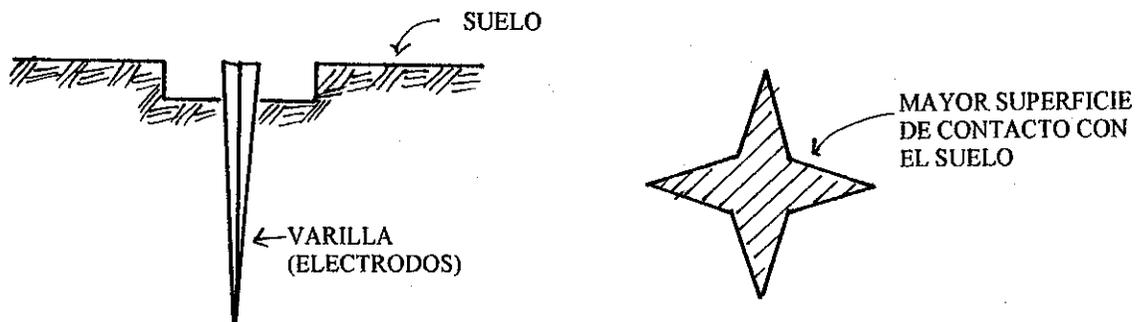
Hay que considerar que no existe una protección completa contra descargas electroatmosféricas. La mejor protección es evitar una descarga por formación de arco. Las formas de los electrodos influyen la densidad del campo eléctrico iniciando una ruptura, es por ello que para evitar una alta tensión inducida por influencia eléctrica hay que evitar que está alta tensión entre en los equipos instalados en los extremos del cable por descargadores en ambos extremos.

Por lo anterior, es sumamente importante que conocer que para cada descarga por formación de arco produce una banda de altas frecuencias. Un conductor de tierra puesto en curvas forma una inductancia cuya impedancia no permite la fácil entrada de la energía del relámpago a la tierra. La forma y puesta del electrodo influye directamente en evitar una gran diferencia de potencial entre el lugar de la varilla puesta a tierra y el punto con el potencial de referencia.

5.3.1 Forma del electrodo

Conociendo que la resistencia de puesta a tierra es directamente proporcional a la superficie de la barra que hace contacto con la tierra, es preferiblemente colocar una varilla de superficie mayor a una de forma cilíndrica y ello se propone implementar varillas de la siguiente forma de sección:

Figura 20 Sección recomendada para el electrodo de puesta a tierra

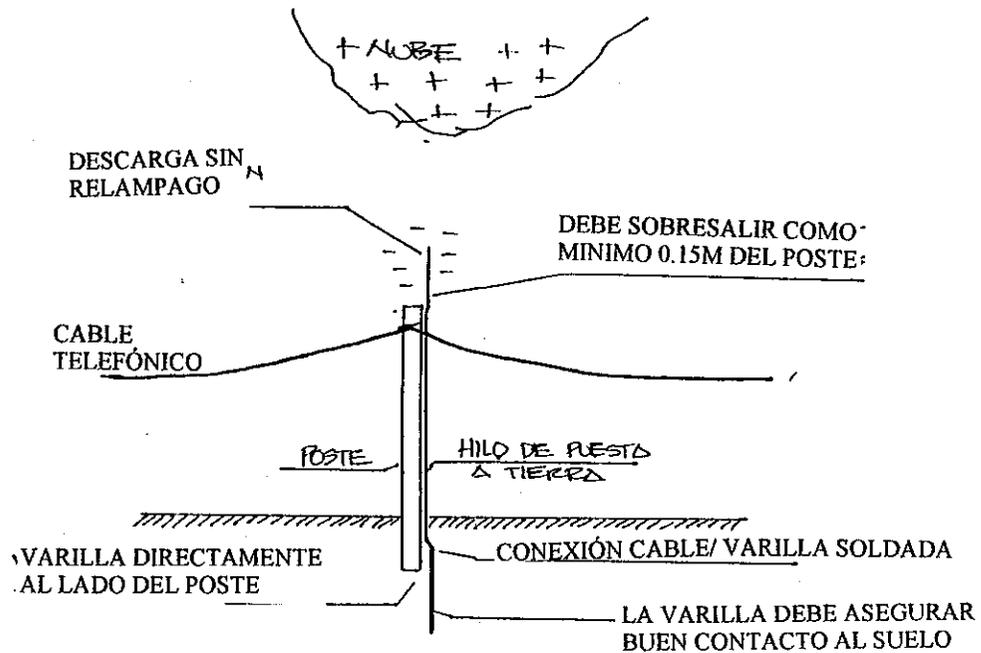


La forma que se describe, proporciona una mayor seguridad y superficie de contacto con el suelo.

5.3.2 Puesta del electrodo

En los lugares donde se requiere proteger la red, según sea la zona geográfica de su ubicación, será indispensable que también se instalen alternadamente, varillas Franklin conectadas a tierra a efecto se evite la formación de relámpagos a través de la creación en el extremo superior de cada varilla, un campo eléctrico de alta densidad opuesto al de las nubes.

Figura 21 Forma de instalar la puesta del electrodo a tierra conectado a la pantalla del cable. Instalación de una punta Franklin para evitar la formación de rayos



5.4 Mediciones de la resistencia de las tomas de tierra

Es importante resaltar que el terreno constituye en cierto modo, un conductor electrolítico y que la corriente de tierra tiene un carácter iónico; esto quiere decir que todas las medidas de resistencia de las tomas de tierra deben realizarse con corriente alterna, ya que si la fuente de alimentación es de corriente continua, se producirán fenómenos de polarización, debidos al

transporte de iones a través del terreno, que provocarían errores en la medición. La corriente alterna debe de elegirse de baja frecuencia y diferente a las frecuencias habituales de las redes de distribución de corriente eléctrica.

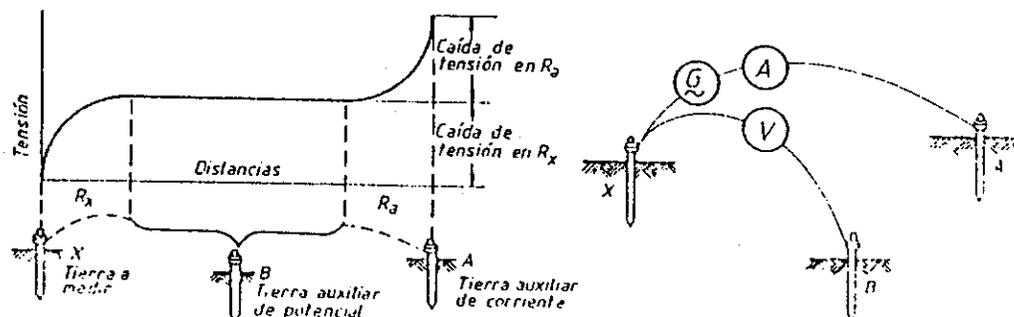
Las mediciones deben de realizarse después de haber desconectado el correspondiente electrodo de los circuitos a los que esta normalmente conectado, para eliminarlos factores extraños a la toma de tierra propiamente dicha.

La forma común de gran confiabilidad de medir la resistencia de una toma de tierra, se indica en la siguiente figura (figura 22) y consiste en hacer circular una corriente alterna, entre la toma de tierra X, cuya resistencia R_x queremos medir y una toma auxiliar o sonda A implantada en el terreno a una distancia suficientemente grande para poder considerarse a un potencial prácticamente constante.

En la práctica, se supone que una distancia de 20 a 40 metros es suficiente. Un amperímetro mide la intensidad I_t de corriente entre X y A. Por otro lado, y también a una distancia de 20 a 40 metros de la toma de tierra X y de la sonda A se sitúa otra sonda B, conectada a la toma X a través de un voltímetro; el valor de la tensión U_t indicado en el voltímetro, corresponde a la caída de tensión en la toma X. Por una sencilla aplicación de la ley de Ohm, se obtiene entonces el valor de la resistencia de tierra.

$$R_x = \frac{U_t}{I_t}$$

Figura 22 Medición de la resistencia de tomas de tierra



5.5 Ubicación de las tomas de tierra

5.5.1 Ubicación de las tomas de tierra para la red de planta externa

Para la protección del personal, los materiales y equipos instalados en la planta externa es necesario definir la ubicación de las tomas de tierra, respecto a los elementos de la red a proteger.

5.5.1.1 Ubicación de los elementos de la planta externa a ser protegidos

A continuación se describen de forma prioritaria, los componentes de la red de planta externa donde se recomienda realizar tomas de tierra. En el capítulo 6 se evalúan las ubicaciones y cantidades de tomas de tierra que deben de construirse según la zona geográfica donde se encuentra ubicado el componente de la red.

1. Distribuidor Principal
2. Sala de mufas
3. Empalmes de red primaria
4. Repetidores de sistemas PCM
5. Armarios o centros de distribución (CD)
6. Empalmes de red secundaria
7. Cajas terminales
8. Teléfonos públicos
9. Frontera con el cliente

5.6 Valores máximos para las tomas de tierra

En la siguiente tabla se presentan los valores establecidos por norma de ingeniería por la Asociación Hispanoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones, para la protección de la planta externa dependiendo del tipo de construcción que se requiere proteger.

Tabla VII Valores máximos para tomas de tierra

Elemento material o tipo de construcción	Utilización de la toma de tierra	Valor máximo permitido (Ω)
Centrales telefónicas, incluye distribuidor principal y sala de mufas	Funcionamiento y protección	de 3 a 5
Empalmes, pantalla de cables primarios	Protección	de 30a 40
Armarios o centros de distribución	Protección	30
Empalmes, pantalla de cables secundarios, guía de cable aéreo	Protección	50
Cajas terminales	Protección	50
Teléfonos públicos	Protección	40
Abonado	Protección	50
Repetidor de PCM	Funcionamiento y protección	20

5.7 Mantenimiento de las tomas de tierra

5.7.1 Verificación de funcionalidad

Para determinar si un sistema de puesta a tierra requiere de mantenimiento, se debe hacer una medición del valor de la toma de tierra del sistema; y si este valor no correspondiera a los descritos anteriormente, se deberá dar mantenimiento a las protecciones de puesta a tierra para la red de planta externa así:

5.7.1.1 Puesta a tierra de la red multipar

Se deberá realizar la comprobación del valor de la toma de tierra cada 3 años.

5.7.1.2 Puesta a tierra en las líneas de abonados

La comprobación del dispositivo de protección y del valor de la toma de tierra, así como su equiponcialidad deberá de realizarse en cada reparación del servicio.

5.7.2 Tratamiento del terreno

El tratamiento del terreno, se realiza con la finalidad de mejorar el valor de las tomas de tierra. Debe de tenerse presente el elevado riesgo de corrosión en zonas costeras por lo que desde la construcción de una toma de tierra, no se recomienda el acero sin revestimiento protector ni el aluminio para los electrodos de tierra, en su lugar, es aconsejable se utilizan electrodos cuya parte exterior esta formada por una mezcla comprimida de carbono de polvo y resina sintética. En los casos donde no es posible lograr buenas tierras debido a factores como lo son la dureza o composición, grandes variaciones de temperatura, alta resistividad, etc.

6. PARALELISMO CON LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Como el propósito de todo sistema de telecomunicaciones es el proveer una calidad de servicio en la comunicación de sus clientes, es importante dar un mayor significado al estudio y análisis de la influencia de las líneas de energía sobre las líneas y cables de telecomunicación. Por consiguiente, es necesario conocer el coeficiente de sensibilidad del cable de telecomunicaciones ante la magnitud de la corriente en las líneas de energía para realizar los cálculos de las componentes de una fuerza electromotriz inducida en un circuito que resulta de un desbalance de estos circuitos contra tierra y sus conductores adyacentes.

Además, un grado insuficiente de protección da lugar a interrupciones repetidas del servicio que, en particular, reducen la calidad del mismo y el grado de satisfacción del cliente. Ello justifica una atención especial a las medidas de protección contra las inducciones

6.1 Exposición entre una línea de telecomunicaciones y líneas de energía

Se describirá el efecto de una exposición entre una línea de telecomunicaciones y una línea de energía cuando sus posiciones relativas son tales que el efecto electromagnético de la línea de energía sobre la de telecomunicaciones es suficiente, para dar la posibilidad de una interferencia notable no deseada.

Esta exposición puede ser: paralela u oblicua.

- a) Exposición paralela: ocurre cuando la exposición de la línea es tal que a través del cambio de sección, la distancia entre las líneas no excede el 5% de la media aritmética de los máximos y mínimos valores de esta distancia. La longitud de paralelismo es la longitud de la línea de energía incluida en cada una de las exposiciones.
- b) Exposición oblicua: que será la proyección de la línea de telecomunicaciones sobre la línea de energía

6.2 Voltaje inducido

Son los efectos perturbadores producidos sobre las señales eléctricas correspondientes a una conversación telefónica por las fuerzas electromotrices de origen externo observadas en un circuito telefónico, puede ser expresada cuantitativamente por el valor de una f.e.m. con una frecuencia de 800 ó 1000 Hz., que para una observación general produce las mismas perturbaciones como la f.e.m. externa original. El valor de 800 ó 1000Hz. es la frecuencia usual de referencia para los cálculos de transmisión telefónica.

Por definición, el voltaje inducido en cualquier punto entre dos líneas de circuito telefónico, sujetas a la inducción de una línea de energía está dada por la expresión:

$$V_{ind} = \frac{1}{(P_f)} \sqrt{\sum ((P_f)(V_f))^2}$$

donde:

F = Valor de la frecuencia de referencia de transmisión telefónica, normalmente valores de 800 ó 1000 Hz

- P_f = Ponderación para esta frecuencia, en la tabla II del punto 4.2 se puede encontrar diversos valores de P.
- V_f = Componente del voltaje con frecuencia f, debido a la presencia de una línea de energía y el valor es medido entre dos hilos.
- V_{ind} = Voltaje inducido

6.3 Voltaje perturbador equivalente

Es el voltaje considerado en una investigación realizada de inducciones electrostáticas o electromagnéticas excesivas, sobre la línea telefónica en condiciones particulares de acople y se da por la expresión:

$$V_{equiv} = \frac{1}{(P_f)} \sqrt{\sum ((K_f)(P_f)(V_f))^2}$$

donde:

- V_f = Componente de voltaje perturbador a la frecuencia f.
- P_f = Ponderación a esta frecuencia asociada a la tabla II del punto 4.2.
- K_f = Factor que es función de la frecuencia y del tipo de acople de las líneas de energía, por convención se toma: K-800 = 1 (Condiciones de servicio)

6.4 Valor de la corriente de carga

Dada en forma de corriente compleja de cualquier fuente, el valor de la corriente de carga está dada por:

$$I_{carga} = \frac{1}{(P_f)} \sqrt{\sum ((P_f)(I_f))^2}$$

donde:

I_f = Componente de la corriente a la frecuencia de la fuente

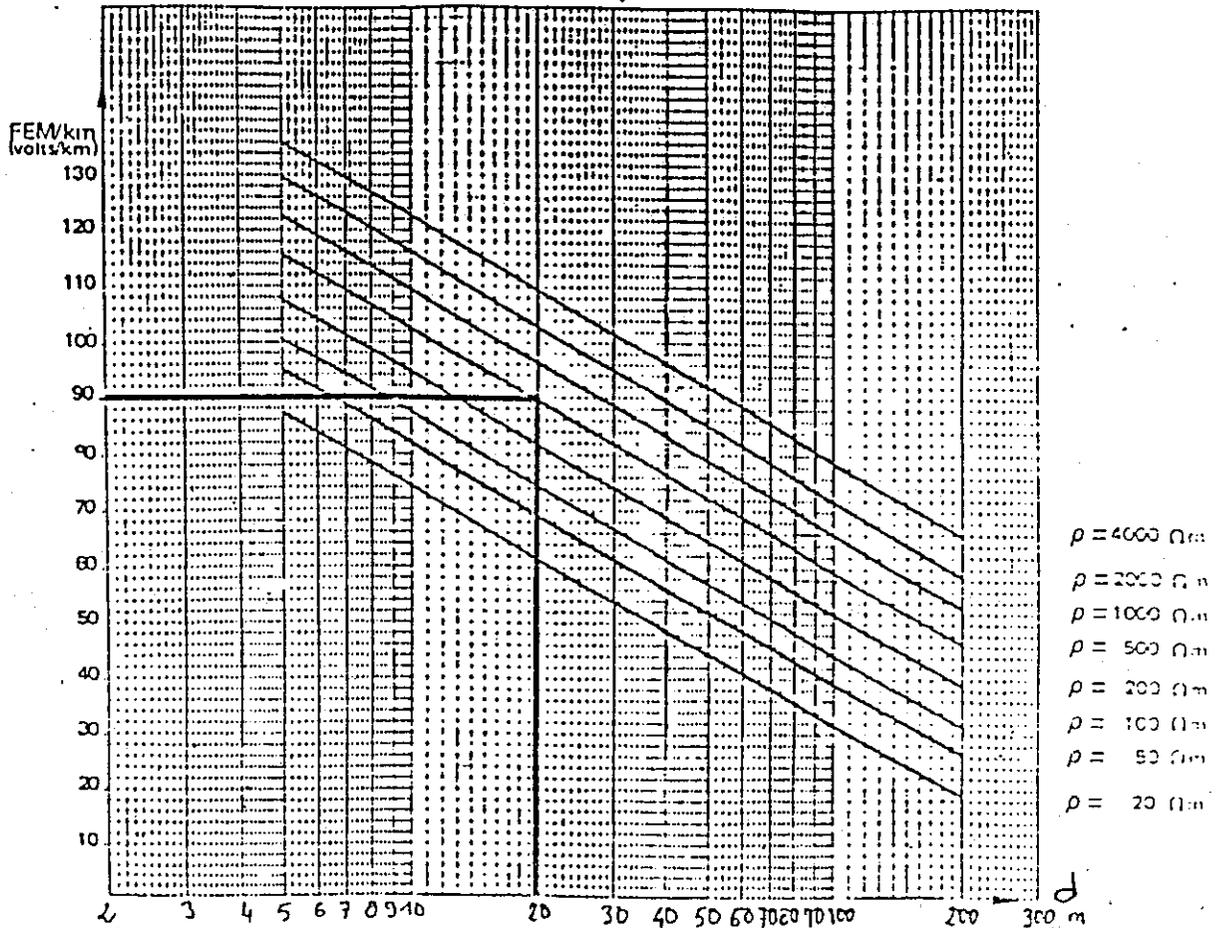
P_f = Ponderación a esta frecuencia de la carga asociada con la tabla II del punto 4.2.

6.5 Determinación de las tensiones de interferencia

Cuando se presentan tensiones de interferencia en cables de telecomunicaciones, éstas pueden ser determinadas ya sea efectuando mediciones en el mismo cable, en un modelo o bien por medio de cálculos.

Los dos últimos métodos solo proporcionan a menudo, resultados aproximados, dado a que los factores importantes (tales como: conductividad del suelo, asimetría de la línea, etc.), deben ser introducidas como valores empíricos estadísticos y no como valores reales. Esto es importante para la determinación de interferencias.

Figura 23 Fuerza electromotriz inducida en función de la separación entre línea de energía y cable telefónico vrs la resistividad de suelo



FUENTE: RODRIGUEZ, B. *Planta externa*. P. 168

6.6 Zona de exposición

La distancia en la cual la proximidad de las líneas pueden considerarse para iniciar un análisis, depende esencialmente de la resistividad del suelo. En zonas donde la tierra es altamente conductiva y en grandes poblaciones donde es bastante el número de cañerías metálicas de agua instaladas en el suelo, (Las cuales alivian los efectos de inducción considerablemente), estructuras

metálicas, etc. La influencia de una falla de la línea de energía decrece materialmente con una separación de más de 100 m.

Por otro lado, "en áreas donde la tierra es de granito homogéneo, los efectos de inducción pueden sentirse a 10km. o más" (1:722). La figura anterior muestra para varias resistividades del suelo la distancia para el cual la fuerza electromotriz alcanza ciertos valores, (asumiendo que estos no se atenúan para efectos de conductores cercanos $K=1$).

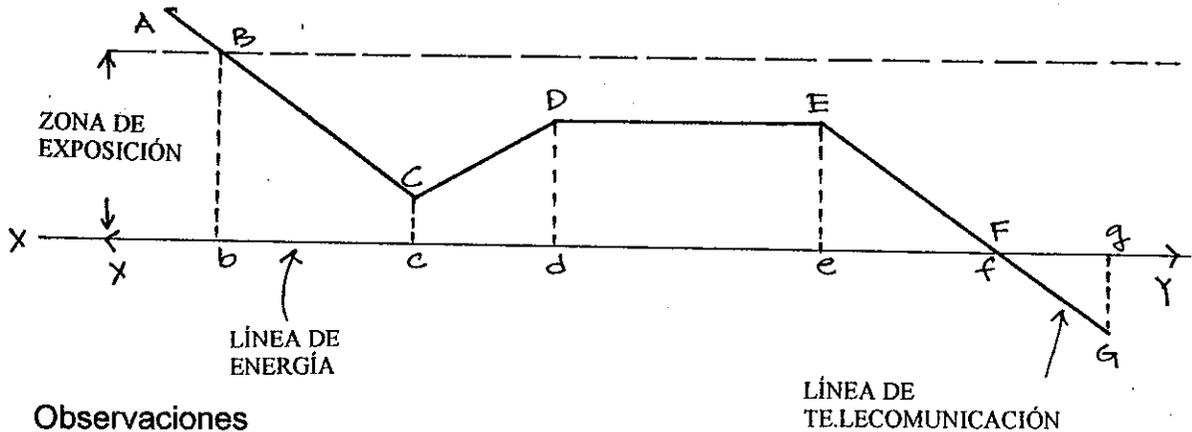
Los dos casos extremos mencionados arriba corresponden bastante bien a un voltaje inducido de $10V/(km \times kA)$. Voltajes menores de $10V/(km \times kA)$ no son importantes para un cálculo aproximado, las perturbaciones son efectivas solamente a 3km. para suelos menores de $250\Omega\text{-m}$, los casos de resistividad mayores son bastante raros.

6.7 Principios de los cálculos

Consideremos en general una línea de telecomunicaciones AH y una línea de energía xy como en la siguiente figura, ahora, para este ejemplo, consideremos solamente la parte de la línea en la cual la zona exposición es efectiva (± 3 km) de la longitud Bh. La línea de telecomunicaciones, cuando se aproxima a una sección recta de una línea de energía, puede presentar secciones paralelas (DE), secciones oblicuas BC, CD, GH; o cruces EFG.

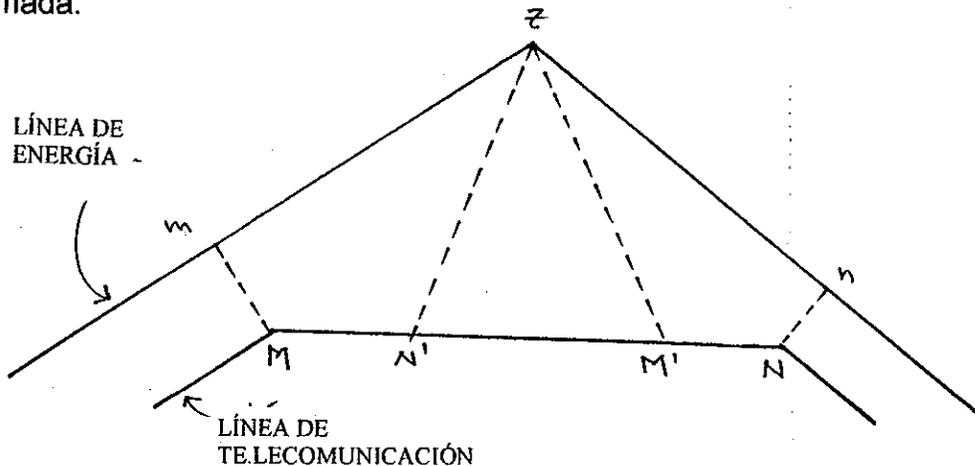
Cada uno de los elementos rectos BC, CD, DE, tiene su proyección sobre la línea de energía bc, cd, de. Es posible calcular la fuerza electromotriz inducida por la línea de energía en cada una de las longitudes BC, CD, DE por

su correspondiente longitud bc , cd , de . La fuerza electromotriz inducida es la suma de todas las fuerzas electromotrices parciales

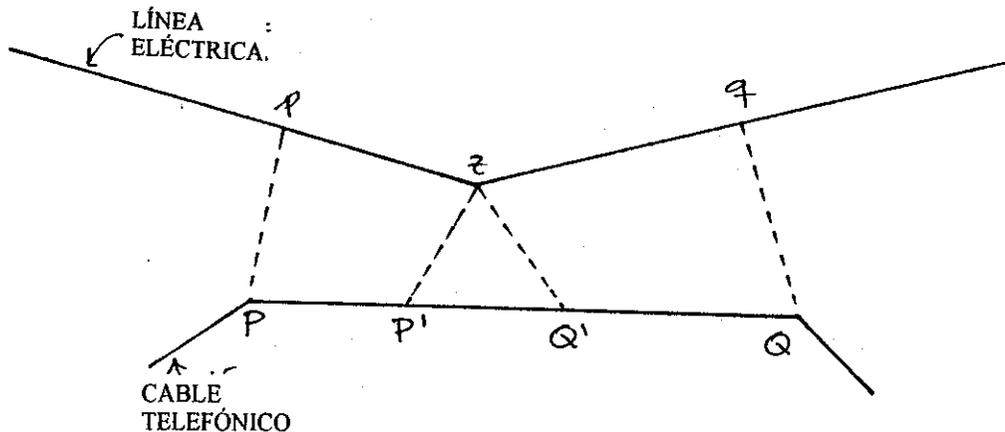


Observaciones

- Quando la línea de telecomunicaciones esta en dirección inversa con respecto a la línea de energía como la sección GH , de la figura anterior la fuerza electromotriz inducida en cada sección se resta y se da con signo negativo.
- Quando la línea de energía y de telecomunicaciones convergen como en la figura siguiente la proyección puede considerarse como se muestra. La longitud $N'M'$ esta sujeta a la inducción de la línea xz y de la línea zy . La f.e.m. inducida en NM' (por mz) y en $N'M$ (por Zn) puede por tanto ser sumada.



- c) Cuando la línea de energía y la de telecomunicaciones divergen como se muestra en la figura siguiente la proyección puede considerarse como se muestra en la que vemos la longitud P'Q' no esta sujeta a ninguna inducción y solamente es necesario sumar las f.e.m. inducida en PP' (por Pz) y en QQ' (por Zq).



6.7.1 Fórmula general para el cálculo de la fuerza electromotriz inducida

En el caso de un cable o una línea de telecomunicaciones que corre paralelo a una línea eléctrica, puede inducir en él una fuerza electromotriz inducida que puede calcularse según la fórmula.

$$\varepsilon = 2(f)(M)(L)(J)(K) \times 10^{-3}$$

donde:

f = Frecuencia de la corriente inducida [Hz].

M = Coeficiente de la inductancia mutua de la línea interferente e interferida [$\mu\text{H} / \text{km}$].

L = Largo efectivo de la exposición o distancia entre las líneas que corren paralelas [m].

- J = Corriente de inducción [kA].
K = Producto de diversos factores reductores, por ejemplo:
Ku = factor reductor del cable de telecomunicaciones.
Ke = factor reductor de conductores de tierra.

6.7.2 Evaluación de la inductancia mutua M

La inductancia mutua entre la línea interferente y la línea afectada depende la resistividad del suelo ρ , de la distancia del cable o línea de telecomunicaciones a la línea eléctrica "A" y de la frecuencia "f".

En el caso de líneas consistentes de cables enterrados, la profundidad de la zanja no afecta y no se toma en cuenta en los cálculos. La curva de la siguiente figura (figura 24), puede servirnos para encontrar M [$\mu\text{H}/\text{km}$] en función de "d", "f", y ρ .

La distancia "d" entre las dos líneas pueden medirse sobre un mapa. La dificultad se encuentra para buscar el valor de ρ .

En algunos casos las medidas de voltajes inducidos sobre las líneas que corren paralelas en áreas cuyas condiciones geológicas son idénticas el valor de ρ se puede deducir.

Si el valor de la resistividad no esta disponible puede utilizarse la tabla IV del punto 5.2.2.1 de forma aproximada dependiendo de la naturaleza del terreno.

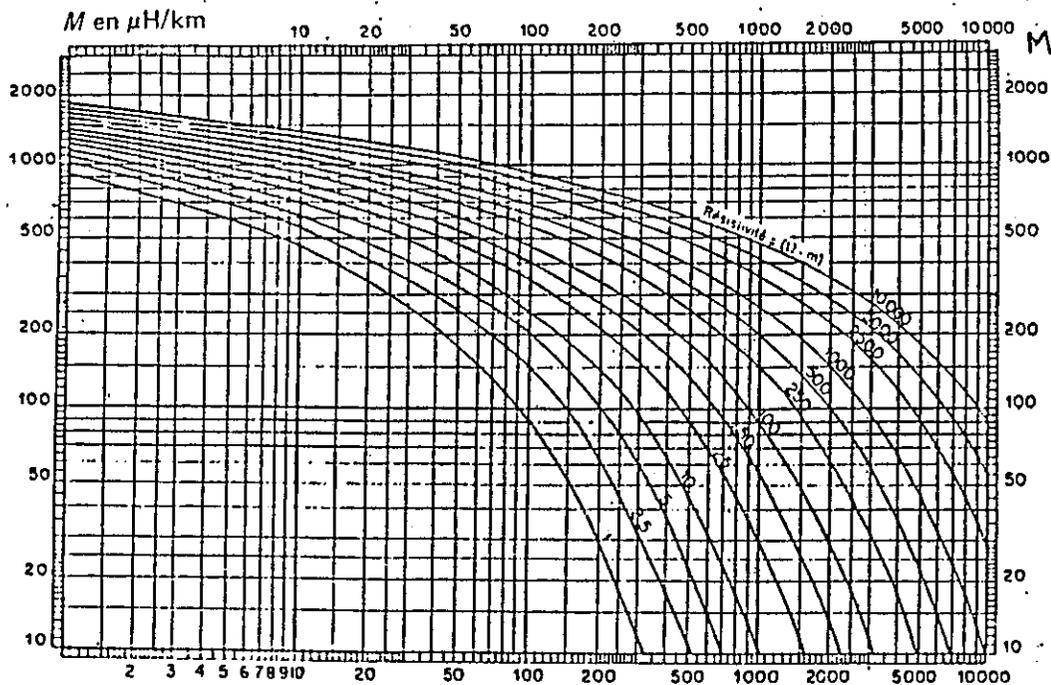
6.7.3 Corriente de inducción, J

Este factor se rige ya sea por la corriente de operación normal o por la corriente de corto circuito de las líneas de energía, corto circuito a tierra y concierne a las compañías de distribución de energía.

La corriente de inducción "J" es la suma de los vectores de corriente fluyendo en los conductores de fase y tierra.

Este será el punto más desfavorable en cuanto a la inducción, está corriente usualmente es menos que la corriente de falla total, y se puede calcular en las siguientes condiciones desfavorables.

Figura 24 Inductancia mutua vrs distancia y resistividad del suelo



FUENTE: RODRIGUEZ, B. Planta externa. P. 197

6.7.3.1 Condiciones del sistema

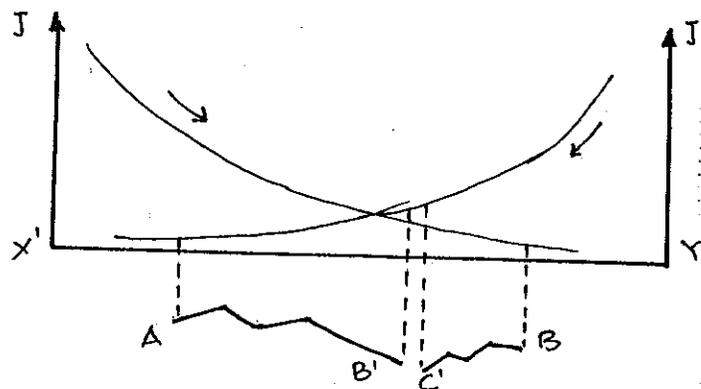
Tomar en cuenta las condiciones del sistema en las cuales dan la máxima corriente de falla para tomar en cuenta la construcción de las líneas y subestaciones eléctricas.

6.7.3.2 Posición de falla

La posición más desfavorable es usualmente en una terminación de la exposición, en donde la corriente de falla induce una f.e.m. a través de la longitud de la exposición. Las curvas de la siguiente figura dan el valor de la corriente de inducción que fluye en ambos lados de la falla, en ciertos casos especiales la resistencia de la falla puede tomarse en cuenta y toma los valores siguientes:

- Para fallas en la estación: 0Ω .
- Para fallas en la línea, provista de uno o más hilos de tierra, 15Ω .
- Para fallas en la línea, cuando la línea no tiene hilos de tierra: 50Ω .

Figura 25 Corriente inducida vrs distancia



En la gráfica anterior, en el caso de la exposición AB' se observa que el punto más desfavorable puede ser B' cuando la corriente de inducción viene de X' y en el caso de la exposición C'B el punto más desfavorable puede ser C' cuando la corriente de inducción viene del punto Y'.

6.7.3.3 Configuración de las líneas de energía

En operación normal de líneas trifásicas, el campo magnético de los tres conductores de fase generalmente se anula; una interferencia inductiva en operación normal solo es posible a distancias muy pequeñas y desiguales entre el cable de fase y la línea de telecomunicaciones. Por ejemplo, en cables o líneas sujetas a postes de alta tensión. En tales casos, tensiones de magnitud y fase variables son inducidas por las corrientes trifásicas de operación; la suma geométrica de tales tensiones da la tensión resultante, la transposición de los conductores de fase compensa esta interferencia en forma total o parcial.

6.7.3.4 Duración de la falla

Una interferencia de larga duración también es posible como resultado de la corriente residual por contacto de una fase a tierra, en un sistema tráfico protegido contra contacto a tierra (bobinas de compensación) o neutro aislado, tales contactos a tierra pueden durar horas, dado que generalmente se trata de corrientes pequeñas. Solamente se producirá una interferencia en casos muy desfavorables como en largas secciones de exposición, pequeñas distancias entre líneas de energía y cables o líneas de telecomunicaciones.

Los casos más comunes de interferencia son los de corta duración por corto circuito a tierra. En redes trifásicas en estrella con neutro a tierra de baja resistencia, donde una de las fases se cortocircuita a tierra.

En sistemas trifásicos protegidos contra contacto a tierra o con neutro aislado, hay que considerar solamente el contacto a tierra de dos conductores de fase en dos puntos distintos, el cual sucede raras veces.

6.7.4 Factor reductor K

Conocido como el factor de apantallamiento, el factor reductor del cable es una medida del efecto del blindaje de una envoltura metálica de cable puesto a tierra. Esta definido por la razón de la f.e.m. longitudinal realmente inducida entre los conductores del cable y tierra, y la f.e.m. longitudinal que se inducirá si no hubiese envoltura metálica de blindaje.

En cuanto a conductores cercanos, la acción del factor reductor es efectiva solamente si su resistencia es baja, si estos están aterrizados en ambos lados de la terminación y si se encuentran cerca del circuito inductor o del circuito afectado por inducción (distancia menor de 10 metros), la resistividad del suelo también puede tener algún efecto sobre el factor reductor (no hay manera de medirlo por la falta de homogeneidad del suelo). En la práctica es conveniente considerar el factor reductor en dos estados.

- a.- Factor reductor asociado con la corriente inducida (línea eléctrica).
- b.- Factor reductor asociado con el circuito afectado por inducción (circuito telefónico).

6.7.4.1 Cálculo del factor reductor

El factor reductor resultante puede, en general, ser producto de los factores relativos de la inducción eléctrica y los circuitos de telecomunicaciones afectadas. Sin embargo, si son varios conductores para cualquiera de los circuitos de energía o de los de telecomunicación, los factores reductores resultantes no pueden ser obtenidos multiplicando solamente los factores reductores resultantes individuales.

De aquí que el factor reductor dependa del número de parámetros como ya se indicó (resistividad del suelo, etc.), y el valor exacto se encuentra por cálculo o por pruebas, que se dan en el diseño de líneas aéreas o cables eléctricos y también para los cables telefónicos. Sin embargo para indicar el orden de magnitud de algunos ejemplos típicos se indican en la siguiente tabla los más comunes, aplicando la fórmula.

$$K_u = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (2\pi F)^2 L}}$$

donde:

K_u = factor reductor de un cable de telecomunicaciones.

R = resistencia longitudinal de la envoltura metálica del cable puesto a tierra [Ω/km].

F = frecuencia de la línea interferente en [Hz]. (típico valor: 60 Hz).

L = inductancia del circuito de tierra, aproximadamente 2×10^{-3} [H/km]

Tabla VIII Factor reductor relativo a las líneas interfirientes

Conductores de tierra, líneas de energía eléctrica	Factor Reductor	
	Un conductor	Doble conductor
Resistencia en DC. de conductores menores que 0.1 Ω /km	0.55 - 0.7	0.4 - 0.5
Resistencia en DC de conductores menores que 0.5 Ω /km	0.65 - 0.75	0.65 - 0.75
Resistencia en DC de conductores menores que 0.1 Ω /km	0.8 - 0.9	0.8 - 0.9

NOTA: En caso de cable conductor de tierra, el valor de la resistencia de tierra es el resultado de 2 conductores en paralelo

FUENTE: RAMIREZ, S, **Sistemas de tierra**. P.86

Tabla IX Factor reductor relativo a las líneas interferidas

Cables telefónicos	Con conductor de pantalla	Con pantalla de aluminio
Diámetro 20 mm	0.87 - 0.97	0.22 - 0.62
Diámetro 40 mm	0.62 - 0.87	0.12 - 0.42

FUENTE: RAMIREZ, S. **Sistemas de tierra**. Pág. 87

6.7.4.2 Consideraciones para el factor reductor K

Si el cable tiene una armadura de cinta de acero sobre la cubierta metálica, el factor reductor puede ser mejorado en gran medida dentro de cierto rango de intensidades de campo, por la acción magnética de la armadura. "Las armaduras de alambre plano o redondo, puestos a tierra, actúan solo por su

conductividad, la cual se suma a la cubierta y contribuye de esta forma al mejoramiento del factor reductor" (11:189).

Los factores reductores para diferentes cables de comunicación y de energía eléctrica con armadura de cinta de acero no mejoran sustancialmente en presencia de altas intensidades de campo o altas corrientes de tierra.

El factor reductor de un cable de comunicaciones solo es efectivo si la envoltura metálica del cable está puesta a tierra en todo su largo o al menos en sus extremos.

Se considera que el cable está puesto a tierra en todo su largo cuando la cubierta o la armadura tiene una envoltura que está en contacto directo con la tierra. Por otra parte las envolturas metálicas de cable con una cubierta de plástico no tienen contacto con la tierra. Para la puesta a tierra de tales cables en ambos extremos de la sección afectada rige lo siguiente:

La suma de las resistencias a tierra debe ser pequeña en relación con la resistencia longitudinal de la envoltura metálica del cable. Esto es particularmente importante cuando al menos una parte de los conductores del cable afectado se extiende fuera del área de potencial de un electrodo de tierra, por ejemplo, con una bifurcación del cable; sin embargo, si los equipos terminales que están conectados a los conductores del cable afectado se encuentran dentro del potencial del electrodo de tierra, la magnitud de la resistencia de tierra es insignificante.

Por consiguiente, los dos extremos del cable afectado siempre deben estar puestos a tierra con una mínima resistencia.

En casos de resistencia a tierra que son altas en relación con la resistencia longitudinal de la envoltura del cable, el valor de R debe ser sustituido en la fórmula del punto 6.7.4.1 por el siguiente término:

$$R = \frac{(R)(L) + 2(R_e)}{L}$$

donde:

R_e = Valor medio de las resistencias a tierra en ambos extremos [Ω].

L = Distancia entre los puntos de contacto a tierra [km].

R = Resistencia logitudinal de la envoltura metálica del cable puesto a tierra [Ω /km].

6.7.4.2.1 Factor reductor de conductores a tierra

A continuación se tabula valores típicos de este factor de reducción bajo una resistividad normal del suelo y distancias hasta de 10m. entre el conductor de tierra y los conductores de fase de una línea de energía.

Tabla X Factor reductor de conductores a tierra

Tipo de conductor de tierra	Area (mm ²)	K_e
Acero	70	0.98
Acero/Cobre	30/20	0.83
Acero/Cobre9	42/28	0.77
Bronce	50	0.75
Acero/Aluminio	33	0.76
Acero/Aluminio	32	0.62
Acero/Aluminio	50	0.61

6.8 Aplicación de la fórmula general de inducción

Si una línea de telecomunicaciones se divide en pequeñas secciones BC, CD, DE, como se mostró en el punto 6.7 y si la fuerza electromotriz inducida en la sección BC, se llama por ejemplo ε_{BC} , entonces la fuerza electromotriz inducida en toda la línea de telecomunicaciones se da por:

$$\varepsilon = \varepsilon_{BC} + \varepsilon_{CD} = \varepsilon_{DE} + \varepsilon_{EF} + \varepsilon_{FG} - \varepsilon_{GH}$$

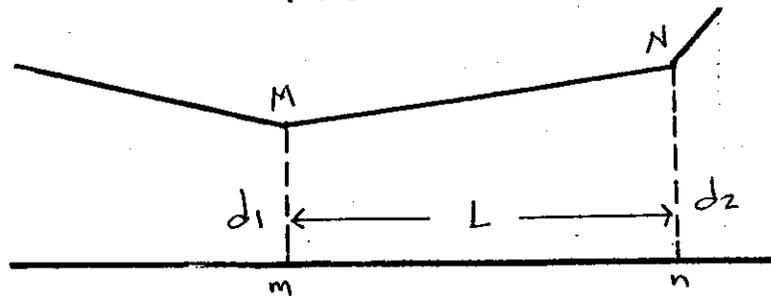
Donde algunas de esas secciones pueden ser paralelas u oblicuas

6.8.1 Secciones de exposición paralela

En el caso de una sección paralela, la fórmula general se puede aplicar directamente tomando como distancia, la distancia entre las líneas eléctricas y la línea de telecomunicaciones.

6.8.2 Secciones de exposición oblicua

Una exposición oblicua se considera como una sección paralela teniendo una distancia entre líneas de $L = \sqrt{d_1 d_2}$



6.9 Medidas preventivas contra las influencias de las líneas de energía

Las tensiones de interferencia en los cables se pueden calcular con las fórmulas anteriores. Si sobrepasan los valores recomendados por C.C.I.T.T. dados en la tabla I del punto 4.2 deben de tomarse medidas para proteger el personal, los cables y equipos. Asimismo, para mantener pequeñas las tensiones de interferencia los cables telefónicos deben estar blindados suficiente, es decir: un factor reductor del pequeño. Esto se puede lograr por medio de envolturas metálicas de cable una resistencia longitudinal baja como el caso de una cubierta de aluminio, ya que el esté material es superior a otros materiales de apantallamiento en su efecto de protección, debido a su buena conductividad.

Las cubiertas de plástico con blindajes metálicos, de espesores delgados, tienen una resistencia relativamente alta, de modo que no pueden ser empleados son otros elementos constructivos adicionales, en trayectos fuertemente expuestos a los efectos perjudiciales. La conductancia del blindaje de estos cables se pueden mejorar aplicando, por ejemplo una capa de alambre de cobre.

6.10 Coordinación de aislamiento

6.10.1 Definición de zonas geográficas de protección

La clasificación de zonas de protección, se debe establecer según el riesgo de caída de un rayo y sobretensiones externas, por ello, básicamente se pueden definir tres tipos de zonas.

6.10.1.1 Zona con poder protector (zona "A")

Básicamente, es una zona de urbanización densa y continua que presenta un poder protector a la red de planta externa por las estructuras metálicas adyacentes, estructuras de edificios, líneas de transporte de energía, redes de tierra, conductos metálicos para agua potable, etc. Las redes de telecomunicaciones en estas zonas, no requieren de protecciones particulares. De esta forma se considera la ciudad capital y todas las cabeceras departamentales.

La protección de la planta externa dentro de este tipo de zona, deberá de cumplir con el aterrizamiento de la red según el punto 5.5.1.1 únicamente en las ubicaciones claves a proteger.

6.10.1.2 Zona con poder protector limitado (zona "B")

Esta es una zona de urbanización densa pero discontinua entre grupos, zonas en desarrollo urbano, aldeas o poblados aislados unos de otros, que presentan un poder protector limitado. La protección de la red en este tipo de zona deberá de llevar énfasis en:

- a) Los aterrizamientos de la red en los límites con las diferentes zonas de poder protector.
- b) En todo empalme entre red aérea y subterránea, y
- c) En los tramos de red aérea a un máximo de cada 2 km debe de instalarse una varilla Franklin a efecto forme un campo de alta densidad que cause una descarga electroatmosférica sin que se llegue a realizar

un relámpago, Además debe de instalarse electrodos de puesta a tierra en todos los elementos vistos en el punto 5.5.1.1

6.10.1.3 Zona sin protección (zona "C")

Básicamente, es una zona no urbanizada, también una zona de área rural o de habitaciones diseminadas que son potencialmente expuestas a efectos electromagnéticos. La protección de la red en este tipo de zona deberá de llevar énfasis en:

- a) Los aterrizamientos de la red en los límites con las diferentes zonas de poder protector.
- b) En todo empalme entre red aérea y subterránea, y
- c) En los tramos de red aérea a un máximo de cada 0.8 km debe de instalarse una punta Franklin a efecto forme un campo de alta densidad que cause una descarga electroatmosférica sin que se llegue a realizar un relámpago, Además debe de instalarse electrodos de puesta a tierra en todos los elementos vistos en el punto 5.5.1.1

6.10.2 Características de protección eléctrica en la línea de abonado

Los métodos de protección ya especificados para los equipos de la central así como para la red de planta externa, normalmente pueden a menudo aplicarse con provecho a los equipos de abonado.

6.10.2.1 Grado de exposición de las líneas de abonado

Las líneas de abonado que están próximas a instalaciones de centrales telefónicas en zonas calificadas "A" o "B", suelen estar poco expuestas a descargas gracias al efecto de apantallamiento de las numerosas estructuras cercanas, por ello, se recomienda proteger por lo menos, aquellas líneas que en su trayecto sea paralelo a una línea de energía.

Por otra parte, las líneas en la zona "C", pueden estar muy expuestas dadas su longitud, la ausencia de un entorno protector, y quizá alta resistividad del suelo. Por lo anterior, conviene que el aislamiento entre las partes conductoras conectadas a las líneas y las demás partes accesibles a los clientes tenga una alta rigidez dieléctrica. En este caso, la protección a las líneas debe de realizarse a todas las líneas.

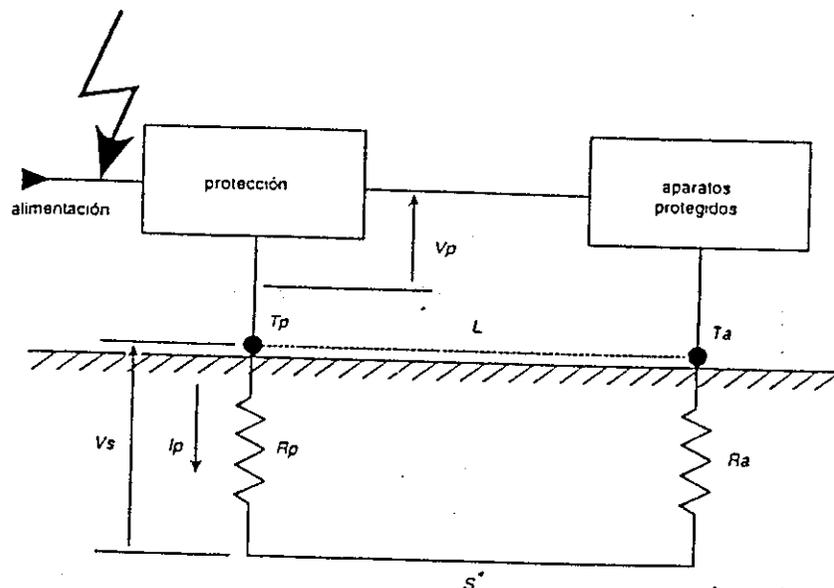
6.10.2.2 El acoplamiento de tierras

Una sobrecorriente que fluye hacia las tomas de tierra, producen en el punto afectado una elevación del potencial de tierra que es directamente proporcional al valor de la corriente que circula por la tierra. La elevación del potencial de esa toma de tierra puede repercutir en las tierras de las instalaciones vecinas que están eléctricamente acopladas. De ahí la necesidad de una red de conexión equipotencial entre los materiales de protección y los equipos protegidos.

La siguiente figura representa una instalación formada por aparatos protegidos, conectados a una toma de tierra con resistencia R_a , una protección conectada a una toma de tierra con resistencia R_p , un enlace L que se supone

no establecido y el enlace S en el suelo profundo. Cuando la protección hace fluir a una toma de tierra una corriente de choque I_p , mantiene en sus terminales de salida una tensión residual V_p , el potencial local de la toma de tierra T_p aumenta a $V_s = R_p * I_p$ con respecto al suelo profundo S. En ese instante, como no circula ninguna corriente por R_a , el potencial local de la toma de tierra del aparato es el del suelo profundo S. Por lo tanto, el aparato sufrirá entre T_a y su entrada de alimentación una condición determinada por la diferencia de potencial entre el suelo y la salida de la protección, es decir $V_p + V_s$. Suponiendo que la protección sea perfecta ($V_p=0$), queda una tensión igual a $V_s = R_p * I_p$. Por ejemplo, si $R_p=5\Omega$, $I_p=5kA$, se tendrá $V_s=25kV$. La protección es pues, inútil si el enlace L no está establecido, lo que lamentablemente ocurre con frecuencia.

Figura 26 Equipotencialidad



El valor de la tensión que existe por acoplamiento en la tierra vecina, que es el potencial de tierra, puede obtenerse una aproximación simple según:

$$U_d = \frac{\rho}{2 \pi d} I$$

donde:

ρ = Es la resistividad (media) de suelo [Ω .m]

I = Es la corriente de choque [kA]

d = Distancia que separa la tierra perturbada (T_a) de la tierra perturbadora (T_b). [m]

Las tensiones creadas de esta manera pueden ser peligrosas o destructivas. A modo de ejemplo: en un suelo con una resistividad de 100Ω .m, el efecto de una corriente de choque de 5 kA (que es un valor bajo) sobre 10Ω (que es un valor típico) a una distancia de 20 m es igual a 4kv. Este valor es muy superior a la tensión de aislamiento del equipo, y provocará un cebado y destrucción del equipo conectado a la tierra perturbada. Por lo anterior y sobre la base de recomendaciones internacionales del C.C.I.T.T., en la cual se define la protección eléctrica para las líneas de abonado.

6.10.2.2.1 Protección para las líneas de abonado

La protección se debe de realizar con la instalación de un dispositivo de interconexión terminal (D.I.T.), conectado a una toma de tierra siempre que la distancia de la acometida que está entre el abonado y su caja terminal sea mayor de 100 m y en el caso de los teléfonos públicos instalados en el exterior, las bases deben ser puestas a tierra para protección de los usuarios

La función de este dispositivo es limitar la tensión de choque a la salida (lado del aparato protegido) pero admitiendo a la entrada (lado de la línea de alimentación) una corriente de choque elevada.

Figura 27 Protección de instalación de línea para abonado

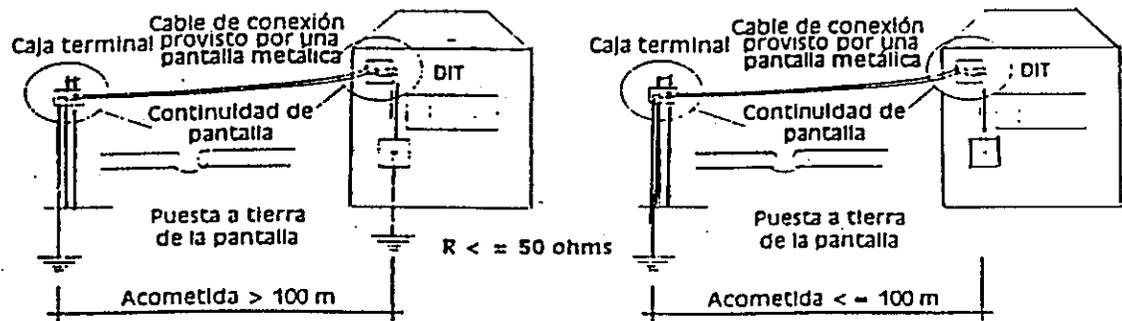
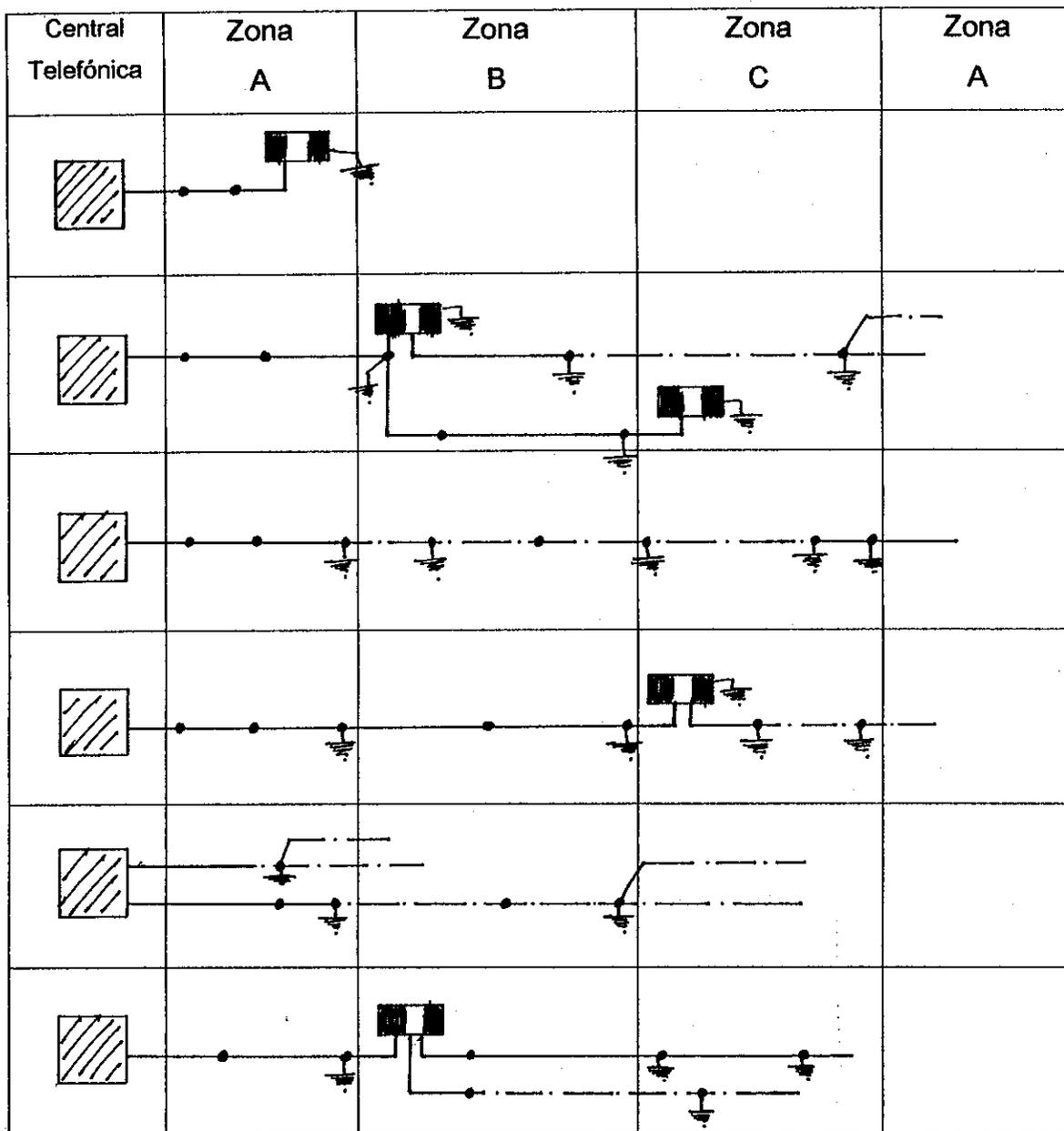


Figura 28 Protecciones en la red según las zonas geográficas



Véase la simbología de planta externa en el anexo

CONCLUSIONES

- 1) La protección eléctrica en la red de telecomunicaciones es de vital importancia para resguardar la calidad de servicio de telecomunicación, proteger la inversión y supervivencia de los equipos de conmutación en las centrales telefónicas, la vida de los usuarios y la del personal que trabaja en el mantenimiento y operación de la red.

- 2) El hecho de que los cables con aislamiento de plástico sean cada vez más robustos tiene objetivo aumentar los niveles de las sobretensiones y sobrecorrientes que puedan circular por las líneas y ser aplicados al equipo. Por el contrario, el uso de componentes electrónicos miniaturizados en centrales y equipos de transmisión tiende a aumentar su vulnerabilidad a las perturbaciones eléctricas.

- 3) La red de telecomunicaciones se encuentra expuesta a interferencias causadas por la proximidad con las líneas de conducción de corriente eléctrica, así como a las sobretensiones de origen industrial que aparecen cuando se interrumpe bruscamente una corriente eléctrica debido al corte o aplicación de potencias elevadas; también a las sobretensiones debidas a las descargas electroatmosféricas.

- 4) El riesgo de exposición de una descarga electroatmosférica en una línea telefónica depende de una serie de factores como: localización, forma y longitud. Un índice del riesgo de descarga es su nivel cerámico: cuanto más alto sea, mayor será la posibilidad de caída de un rayo.

- 5) La operación de los dispositivos de protección ubicados dentro de la central telefónica para la canalización de la corriente del rayo y las perturbaciones de tipo ondas de sobrecorriente, consiste en desviar a tierra por un sistema de puesta a tierra de la menor impedancia posible de obtener. La misma depende, principalmente, de la geometría de la red y de la equipotencialización de todas las masas metálicas.

- 6) El efecto de apantallamiento por la cubierta del cable está determinado por el valor de la corriente que circula por la pantalla metálica. Es pues, determinante el valor de la resistencia que presentan las partes que permiten el paso de corriente entre la pantalla y tierra. Es aconsejable que la cubierta metálica se conecte a tierra a intervalos regulares a lo largo de la distribución de red, según la localidad o área donde se encuentra en relación a las tres zonas geográficas para protección ya definidas en el capítulo 4.

- 7) Proveer de protección en el distribuidor principal a cada par telefónico que se encuentre o no en operación y el realizar el "enlace fusible" empalmado el cable de distribución con los cables de aislante de P.V.C. fortalecen en gran medida la seguridad para el personal, el equipo y el edificio de la central telefónica.

- 8) Es necesario atribuirle la importancia de la ubicación geográfica de la red telefónica para ubicarla en alguna de las tres zonas geográficas definidas y conocer la resistividad del suelo de la localidad para proceder a iniciar el análisis de las ubicaciones de puesta a tierra de los elementos de la planta externa.

- 9) Para la protección propiamente de las líneas de abonado es necesario conocer la zona geográfica en la cual se encuentran, investigar la distancia de las tomas de tierra de telecomunicaciones o de sistemas de energía más cercanas para realizar la puesta a tierra correspondiente.

RECOMENDACIONES

- 1) La capacitación del recurso humano es fundamental en la planificación y diseño de las protecciones eléctricas para la red telefónica, por ello, la *Empresa Telecomunicaciones de Guatemala S.A.* deberá implementar cursos básicos y avanzados sobre protección eléctrica para el personal encargado de elaborar el diseño, realizar el montaje y mantenimiento de la planta externa para que conozcan la importancia de una correcta protección contra las perturbaciones eléctricas en la red.

- 2) El personal responsable de los diseños de red de planta externa deberá investigar los niveles isoceráunicos del área o localidad en la cual se dará una ampliación de red, y conocer los valores típicos promedio de las resistividades de suelo para iniciar desde la etapa de planificación de red el estudio de la ubicación y valor recomendado de la puesta a tierra para cada elemento de la planta externa.

- 3) Iniciar inmediatamente el control y la alimentación a una base de datos de reportes de falla con la finalidad de obtener estadísticas y análisis de las protecciones de la red de planta externa.

- 4) Evitar que por razones de comodidad en el montaje de la red o ahorro en costos, se acepte el montaje del cable de distribución de red primaria directamente hasta el distribuidor principal sin cambiar el diámetro a través del empalme con un tramo de cable de cubierta P.V.C. evitando la protección de "enlace fusible". Por ello, es necesario que el punto número 6.1 sea eliminado del manual de especificaciones y normas "Empalme de red primaria" Telgua, S.A. de fecha 25 octubre de 1997.

- 5) Resulta indispensable controlar la calidad y correcta disposición de los materiales, equipos y tecnología utilizada en protección eléctrica de la red de telecomunicaciones. Por ello, en la ejecución y montaje de la red, se deberá contar con el personal capacitado para la supervisión. Es pues, recomendable, realizar pruebas y ensayos con regularidad para evaluar la continuidad de la pantalla metálica y la calidad de las tomas de tierra, llevando un registro de la fecha de las pruebas, sus valores de resistencia y tipos o sistemas utilizados. Lo anterior con la finalidad de crear un registro inicial para que en el momento del mantenimiento de la red, se cuenta con la información que servirá para tomar un juicio de su estado y actividades por ejecutar.

- 6) Crear, por parte de las Gerencia de Operación de la planta externa, un programa urgente de trabajo para la revisión y mejoramiento de la protección eléctrica de la red, para evitar de la mejor manera posible que los riesgos potenciales actuales se conviertan fallas fatales y exorbitantes de atender y reparar.

BIBLIOGRAFÍA

1. C.C.I.T.T. **"Protección contra las perturbaciones"** en: Libro Azul (volumen 9). Ginebra: s.e. 1989. 171 p
2. BOBROW, Leonard S. **Análisis de circuitos eléctricos**. 3a ed. México: Editorial Mc Graw Hill, 1983.
3. GONZÁLEZ, Leonard S. **Protección de puesta a tierra para sistemas de telecomunicaciones en central Tivoli**. Tesis de Ingeniero Eléctrico. Guatemala, USAC. Facultad de Ingeniería. 1992.
4. GUATEL. **Especificaciones técnicas de la red multipar**. Guatemala: s.e. 1995
5. FINK, Donald G y H. Wayne Beaty. **Manual de ingeniería eléctrica**. 13a ed. México: Editorial Mc Graw Hill, 1996.
6. INDE. **Manual para el diseño de líneas y redes de distribución**. Guatemala: s.e. 1997.
7. JHON, D. Kraus. **Electromagnetismo**. Mexico: Editorial Mc Graw Hill, 1986.
8. NORTEL. **Protección eléctrica de estado sólido**. México: Editorial Northern Telecom. 1992.
9. RODRIGUEZ, Bernard C. **Planta externa de alto nivel**. Honduras: Editorial U.I.T. 1987
10. RAINER, Gimble. **Descarga eléctrica y puesta a tierra**. Alemania: Editorial Detecom, 1996
11. RAMIREZ, Salvador. **Sistemas de tomas de tierra**. Salvador: Editorial ANTEL, 1989
12. STEVENSON, William D. **Análisis de sistemas eléctricos de potencia**. 2a ed. México: Editorial Mc Graw Hill, 1987

13. **TELMAG. Manual técnico de planta externa. México: Editorial Telmag, 1997**
14. **TELMEX. Normas y Especificaciones de sistema de tierra para la planta externa. México: Editorial Telmex, 1990**
15. **TELARG. Puesta a tierra de sistemas de telecomunicaciones. Argentina: Editorial Telarg, 1997**

APÉNDICE

CUADRO RESUMEN DE ESPECIFICACIONES

**Distancias mínimas de separación entre redes de telecomunicaciones
y sistemas de energía eléctrica
para ser respetadas por compañías de telecomunicaciones**

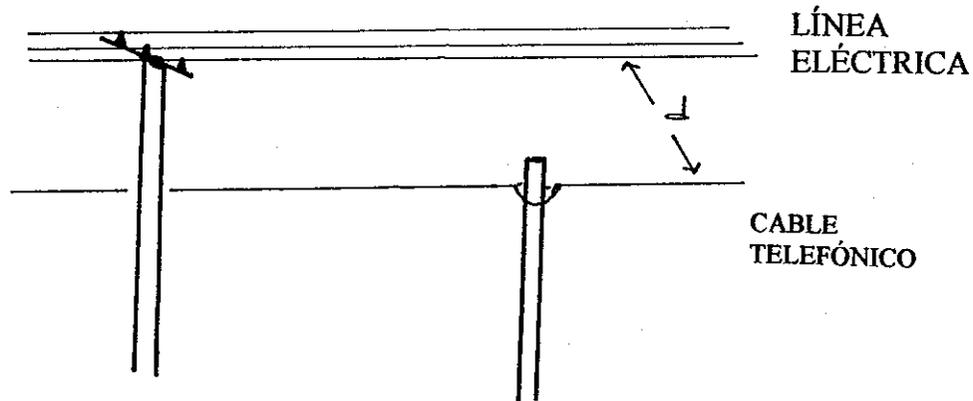
En la República de Guatemala se opera con los siguientes niveles de tensión en el sistema eléctrico nacional:

Niveles de baja tensión: todos aquellos menores de 34.5kV

Niveles de mediana tensión: aquellos comprendidos entre 34.5kV y 38kV

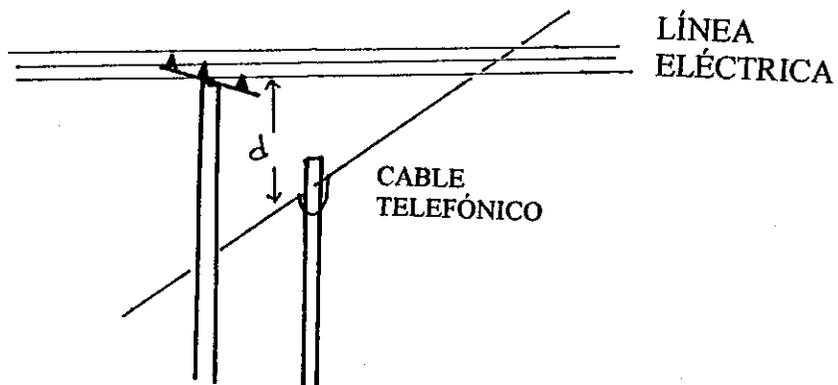
Niveles de alta tensión: los mayores de 138kV

1. Cercanía entre una línea eléctrica aérea y una línea telefónica aérea en soportes independientes



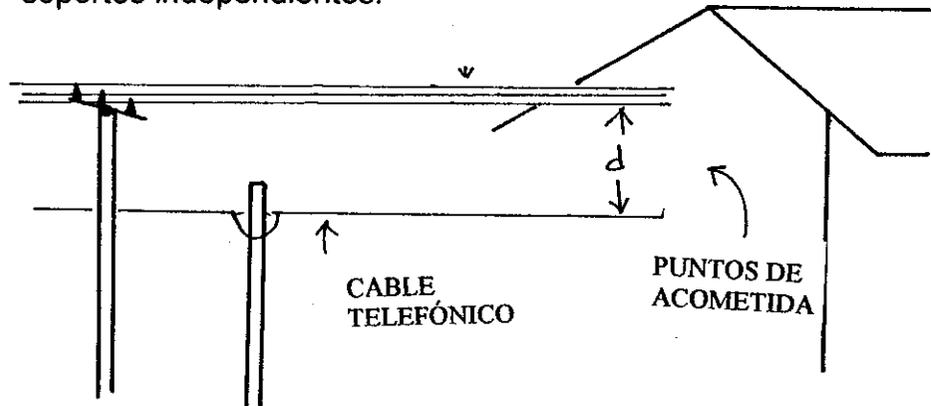
Distancia "d" [m]	Línea eléctrica de:		
	Baja tensión	Media tensión	Alta tensión
	≥ 0.6	≥ 1.8	≥ 3.0

2. Cruzamiento de una línea eléctrica aérea y una una línea telefónica aérea en soportes independientes.



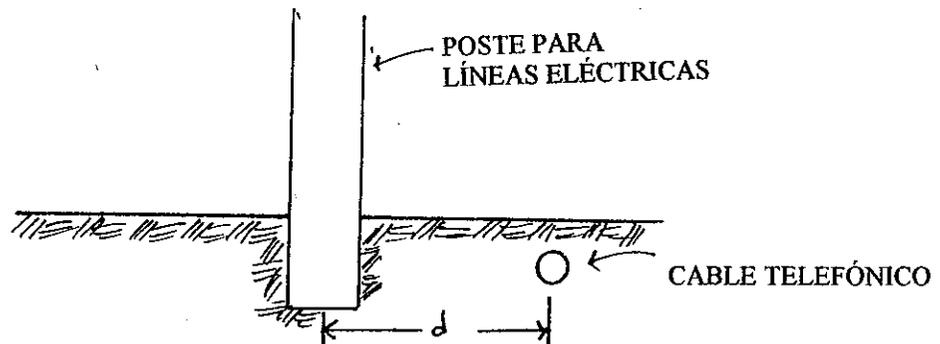
Distancia "d" [m]	Línea eléctrica de:		
	Baja tensión	Media Tensión	Alta tensión
	≥ 0.6	≥ 1.8	≥ 3.0

3. Proximidad en las dos últimas catenarias de una línea eléctrica aérea que enlazan a un cliente y de una línea aérea de telecomunicaciones, en soportes independientes.



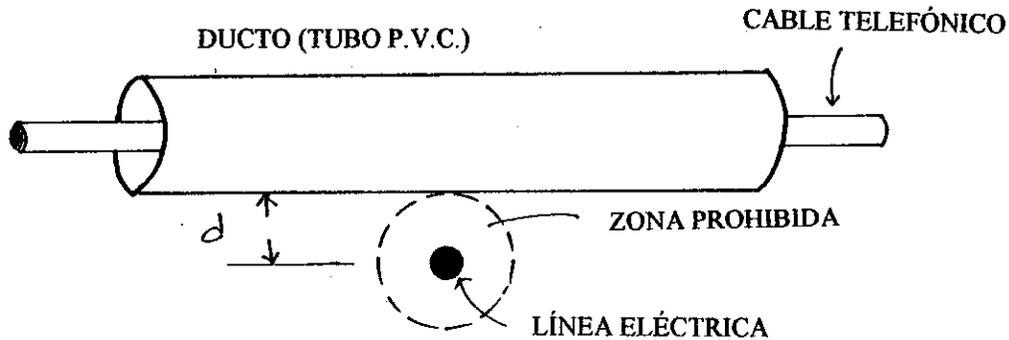
Distancia "d" [m]	Línea eléctrica de:		
	Baja tensión	Media tensión	Alta tensión
	≥ 0.3	≥ 0.5	≥ 8.0

4. Proximidad de postes de una línea eléctrica aérea y de un cable de telecomunicaciones enterrado.



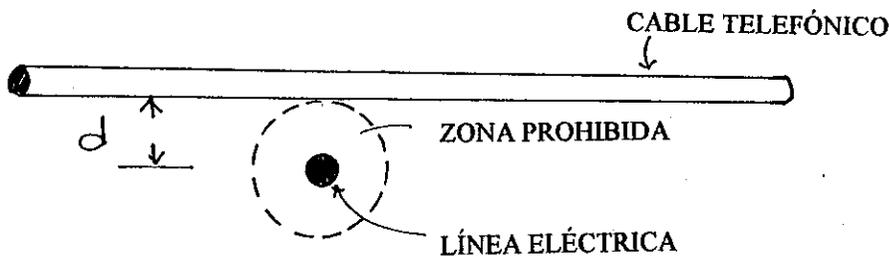
Distancia "d" [m]	Línea eléctrica de:		
	Baja tensión	Media tensión	Alta tensión
	≥ 0.5	≥ 0.5	≥ 10.0

5. Cercanía o intersección de una canalización eléctrica enterrada y de un cable de telecomunicaciones en ducto.



Distancia "d" [m]	Línea eléctrica de:		
	Baja tensión	Media Tensión	Alta tensión
	≥ 0.2	≥ 0.2	≥ 8.0

6. Cercanía o intersección de una canalización eléctrica enterrada y de un cable de telecomunicaciones enterrado.



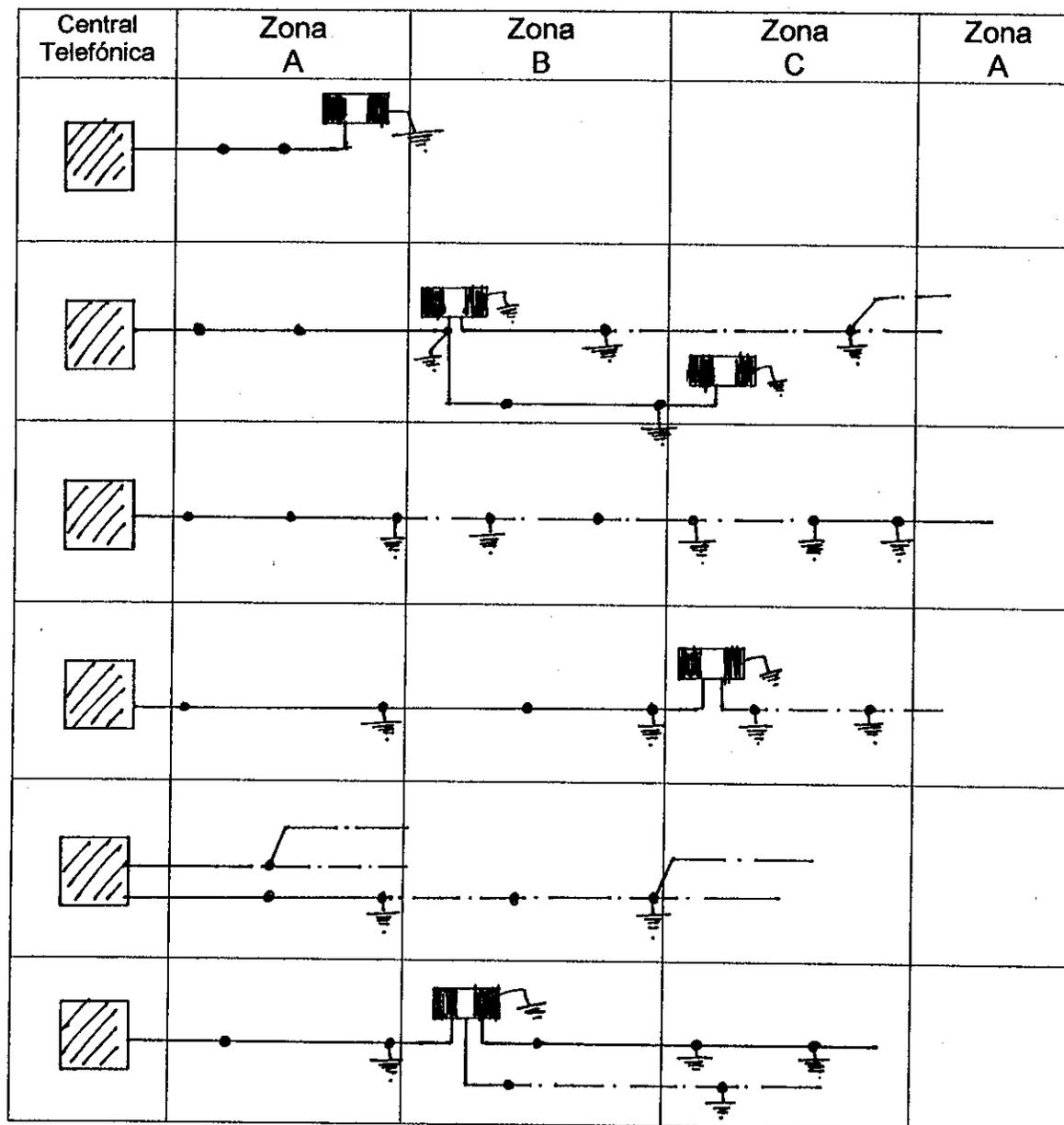
Distancia "d" [m]	Línea eléctrica de:		
	Baja tensión	Media tensión	Alta tensión
	≥ 0.5	≥ 0.5	≥ 8.0

Valores máximos para las tomas de tierra

(Tabla VII)

Elemento, material o tipo de construcción	Utilización de la toma de tierra	Valor máximo permitido (Ω)
Centrales telefónicas, incluye distribuidor principal y sala de mufas	Funcionamiento y protección	de 3 a 5
Empalmes, pantalla de cables primarios	Protección	de 30 a 40
Armarios o centros de distribución	Protección	30
Empalmes, pantalla de cables secundarios, guía de cable aéreo	Protección	50
Cajas terminales	Protección	50
Teléfonos públicos	Protección	40
Abonado	Protección	50
Repetidor de PCM	Funcionamiento y protección	20

Cuadro sobre protecciones en la red según las zonas geográficas de protección



Véase la simbología de planta externa en el anexo

ANEXO

Tabla comparativa de tipos de aislamientos

	PVC	Poliétileno baja densidad	Poliétileno alta densidad	Polipropileno	Teflon *
Flexibilidad a bajas temperaturas	P-B	E	E	P	SE
Propiedades eléctricas	R-B	E	E	E	E
Resistencia a la abrasión	R-B	B	E	R-B	E
Resistencia a la flama	E	P	P	P	SE
Resistencia a la Humedad	B	E	E	E	E
Resistencia a la oxidación	E	E	E	E	SE
Resistencia a los aceites	R	B-E	B-E	R	SE
Resistencia a los ácidos	B-E	B-E	E	E	E
Resistencia al intemperismo	B-E	E	E	E	SE
Resistencia al ozono	E	E	E	E	E
Resistencia al calor	B-E	B	E	E	SE

P = Pobre

R = Regular

B = Buena

E = Excelente

SE = Super

Excelente

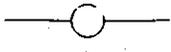
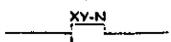
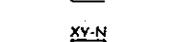
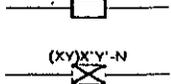
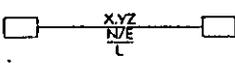
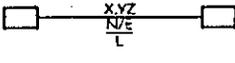
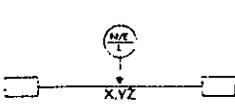
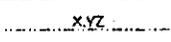
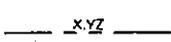
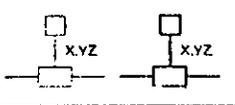
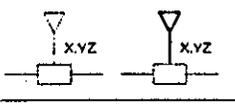
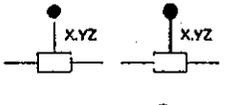
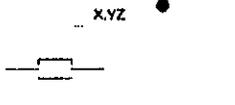
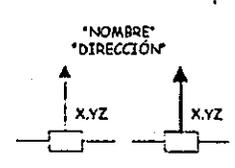
Cuadro de capacidades de cables multipares

Cantidad de pares en los cables utilizados en planta externa, para:		
Calibre	Red secundaria o directa	Red primaria
26AWG (0.4039mm)	10,20,30,40,50,70,100,150,200,300,400,500,600,900,1200,1500,2100,2400	
22AWG (0.6426mm)	10,20,30,40,50,70,100,150,200,300,400,600,900,1200	

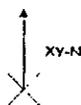
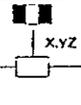
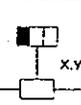
Simbología de la planta externa

SIMBOLOGÍA DE CANALIZACIÓN

NOTA: Para efectos de diferenciar la infraestructura nueva de la existente se dibujará de la siguiente manera:
 Para los dibujantes: Lo existente con rapidógrafo 0.3 y lo nuevo con 0.6.
 Para los diseñadores: Lo existente en color azul y lo nuevo en color rojo.
 Para ambos casos la información será con rapidógrafo 0.1 o 0.2 color negro.

Símbolo	Descripción
	Pozo de Abonado.
	Pozo de Abonado.
	Pozo Nuevo.
	Ampliación de pozo existente.
	Canalización existente y canalización nueva. Ductos enterrados de PVC con $\varnothing=0.4"$. Indicar en el plano si fuese de otro tipo y diámetro.
	N= Número de vías nuevas. E= Número de vías existentes. L= Número de vías libres.
	X.YZ= Distancia en metros entre dos pozos. Ampliación de canalización.
	Zanja o brecha para cable enterrado. Existente.
	X.YZ= Distancia Nueva.
	Zocalo para caja terminal de 10". X.YZ= Distancia entre el zócalo y el pozo.
	Pedestal para caja terminal de 10" o 20". X.YZ= Distancia.
	Subida a pared para caja terminal. X.YZ= Distancia entre el pozo y subida.
	Subida a pared con proyección del cable sobre techo ó cornisa. X.YZ=Distancia.
	Acometida a edificio para caja interior. En estos casos se debe anotar el nombre y la dirección del edificio o empresa. X.YZ= Distancia del pozo a la ubicación de la caja dentro del edificio.

SIMBOLOGÍA DE CANALIZACIÓN

Símbolo	Descripción
     	<p>Poste de abonado.</p> <p>Poste existente.</p> <p>Poste Nuevo.</p> <p>Poste tipo Petit Existente.</p> <p>Poste tipo Petit Nuevo.</p> <p>Poste de telégrafo utilizado por Telgua, S.A.</p>
     	<p>Poste con acometida a edificio. X.YZ= Distancia del poste a la caja interior.</p> <p>Poste con retenida.</p> <p>Pozo con subida a poste. X.YZ= Distancia.</p>
 	<p>Armario de distribución. X.YZ= Distancia del pozo a la base del armario.</p> <p style="text-align: right;">EXISTENTE NUEVO</p>
 	<p>Información de los distritos. XXX=Número de distrito. Y= Capacidad del armario.</p>
	<p>Armario a retirar o transferir.</p>
	<p>Armario a sustituir por uno nuevo.</p>
	<p>Unidad remota (UR) Número de unidad remota X.YZ= Distancia de la sala de mufas al pozo.</p>
	<p>Central X.YZ= Distancia de la sala de mufas al pozo.</p>
	<p>Pozo con bobina de Pupin.</p>
	<p>Pozo con regenerador.</p>

SIMBOLOGÍA DE CANALIZACIÓN

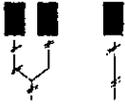
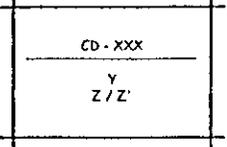
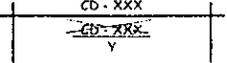
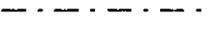
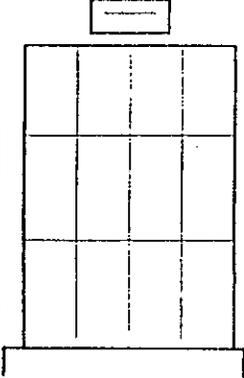
Símbolo	Descripción
	<p>Caja terminal de 5" en zócalo.</p> <p>Caja terminal de 10" en zócalo.</p>
	<p>Caja terminal de 10" en pedestal.</p> <p>Caja terminal de 20" en pedestal.</p>
	<p>Caja terminal de 5" en pared.</p> <p>Caja terminal de 10" en pared.</p> <p>Caja terminal de 20" en pared.</p>
	<p>Caja terminal de 5" en poste.</p> <p>Caja terminal de 10" en poste.</p> <p>Caja terminal de 20" en poste.</p>
	<p>Caja de fusibles de 10" en poste.</p> <p>Caja de fusibles de 20" en poste.</p>
	<p>Caja Interior: Indicar el número de pares y el nombre de la empresa o edificio con la dirección exacta.</p>

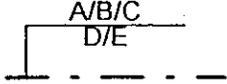
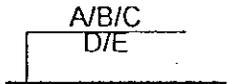
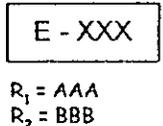
SIMBOLOGÍA DE RED

Símbolo	Descripción
	Cajas terminales a retirar o transferir
	Identificación de cajas terminales A / B = Número de caja C - D = distribución de pares
	Cable en ducto
	Cable aéreo autosoportado
	Cable enterrado
	Cable aéreo devanado
	Cable en corniza, loza o pared
	Cable a retirar o transferir
	Cable a retirar o transferir
	Identificación de los cables A = número de tramo B = capacidad del cable " número de pares" (z) = número de pares en servicio C = longitud en metros D = calibre del conductor E = t. o de cable
	Reserva
	Empalme, mufa o manguito: union de dos o más cables. Empalme directo en cables: XY-N = tipo y número de pozo en donde se encuentra el empalme.
	Empalme en Red Aérea. P-XY= Número de poste en donde se encuentra el empalme.
	Empalme Aéreo para cambio de cable de ducto a cable aéreo.
	Red canalizada. Empalme de distribución. Red Aérea.

SIMBOLOGÍA DE RED	
<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>
	Empalme entre cable existente y cable nuevo en punto donde no existe mufa o manguito.
	Absorver uno o más cables existentes con una mufa y cable nuevo.
	Abrir mufa o empalme existente.
	Empalme entre cable existente y nuevo donde si existe mufa y se puede seguir utilizando.
	Empalme entre cable existente y nuevo en donde el manguito o mufa existente sera substituido por uno nuevo.
	Empalme entre cable existente y nuevo en donde el manguito o mufa existente sera substituido por uno nuevo.
	Capadura Existente (Capadura: Punto donde se empalman solo los pares a derivar. Los restantes continuan sin ser empalmados.)
	Capadura nueva
	Absorver cables existentes con capadura nueva
	Terminales o regletas con armario o central
	Regleta de armario sin empalme

SIMBOLOGÍA DE RED

Símbolo	Descripción
	Terminales de armario a retirar
	información de los distritos, en planos de red. XXX = número de distrito Y = capacidad de armario Z = pares primarios Z'm = pares secundarios
	Cambio de números de armario
	Repetidor PCM
	Bobina de pupinización en pozo
	Bobina de pupinización en poste
	Enlace digital
	Limite de distrito
	Limite de Central
	Símbolo de diagrama de armario

SIMBOLOGÍA DE RED	
<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>
	Bastidor o unidad central Unidad central de multiplicador de pares con tecnología HDSL para 60" con alimentación local.
	Modulo Remoto HSLMX 2 Pares (Unidad Basica) 2Mbit/s.
	Repetidor Básico para 2Mbit/s.
	Bastidor o Unidad Central para equipos multiplicadores de pares y de alimentado.
	PCM-X un par (Unidad Básica) X= Valor variable 2,4,10,11,12
	Optical Distribution Frame
	Fibra Óptica aérea A = No. Tramo B = No. de F.O. C = Distancia D = Tipo de Estructura F.O. E = Tipo de F.O. / (Aéreo/ Ducto)
	Fibra Óptica Ducto Nueva
	Empalmes de Fibra Óptica A = Aéreo B = Ducto
	Identificación de empalme de Fibra Óptica E = Empalme XXX = Número de Empalme AAA = Reserva de F.O. hacia la Central BBB = Reserva de F.O. hacia punto de anclaje