



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS**

**L**as autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

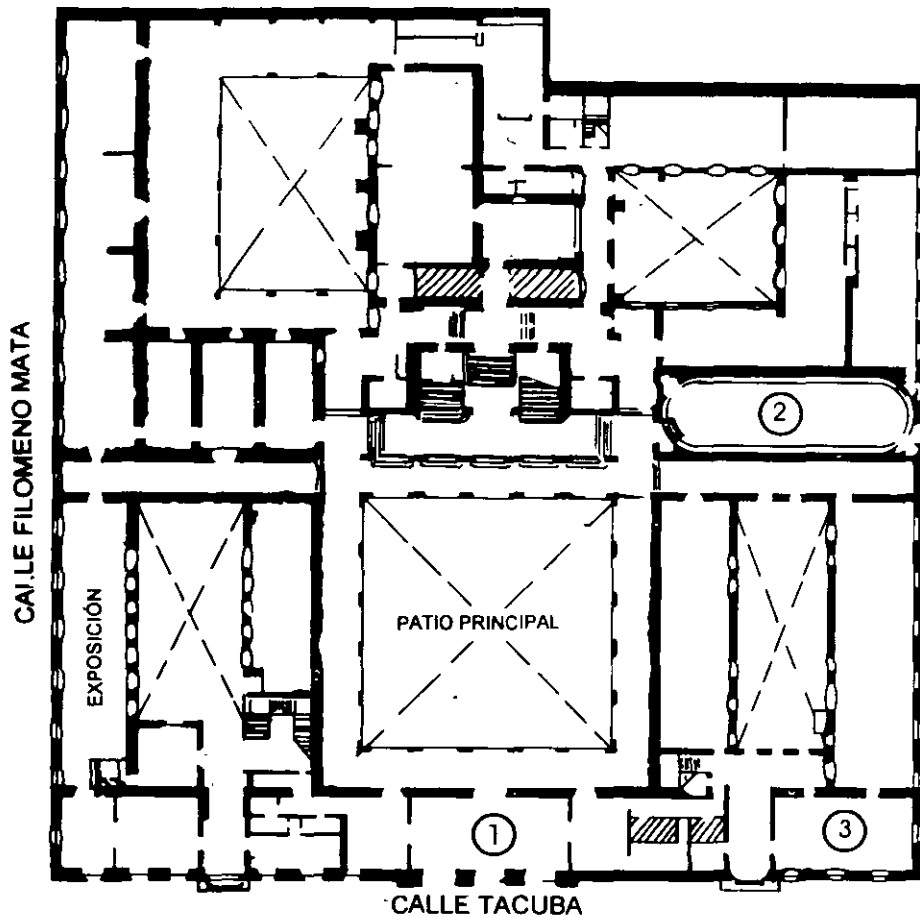
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

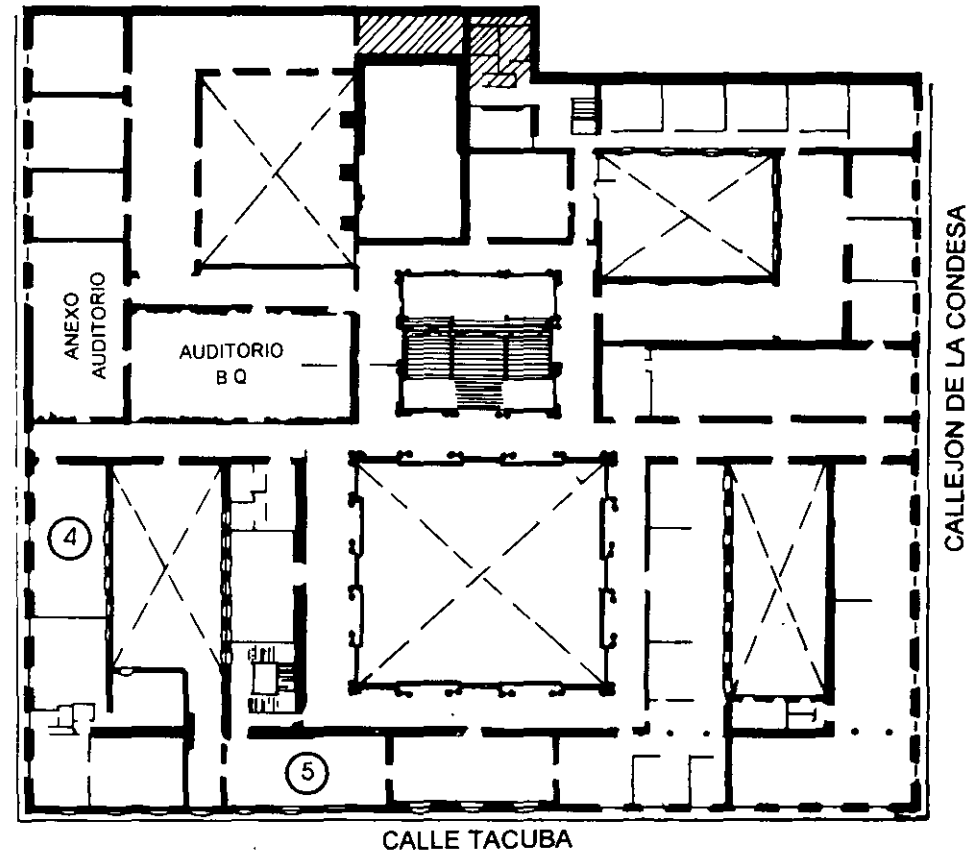
Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente  
División de Educación Continua.**

# PALACIO DE MINERIA

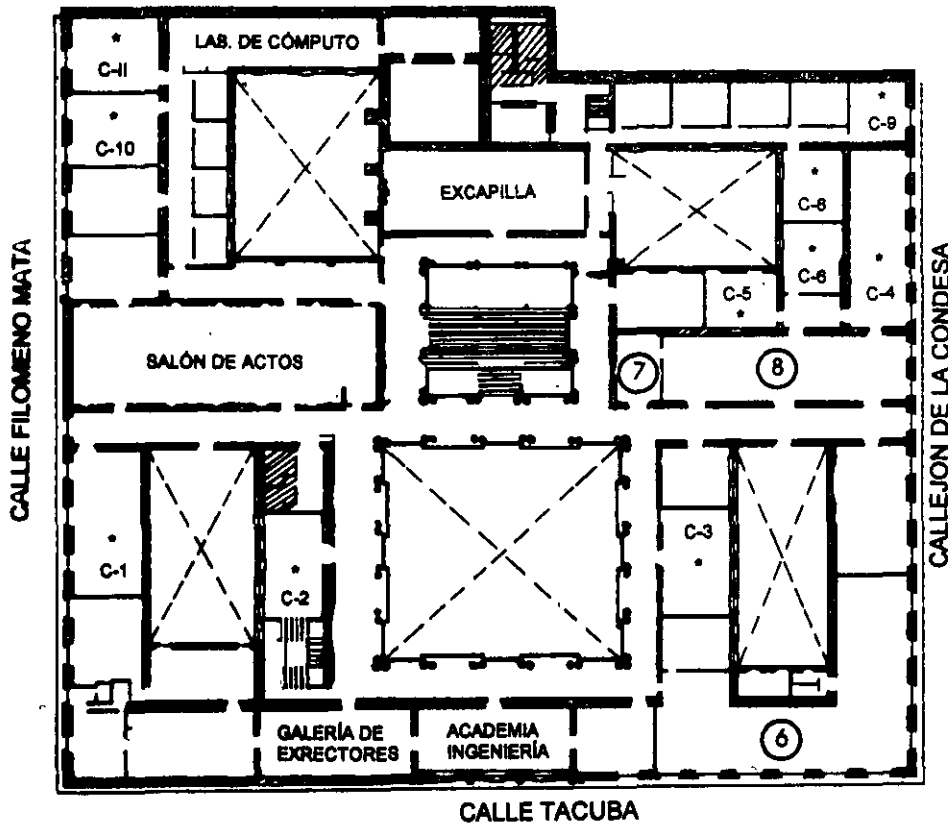


**PLANTA BAJA**



**MEZZANINNE**

# PALACIO DE MINERÍA



## GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
  2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
  3. LIBRERÍA UNAM
  4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
  5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
  6. OFICINAS GENERALES
  7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
  8. SALA DE DESCANSO
- SANITARIOS
- \* AULAS

**1er. PISO**



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.  
CURSOS ABIERTOS

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



Programa del Curso DISEÑO ELECTROMECHANICO DE LINEAS DE TRANSMISION

Del 15 DE JUNIO Al 26 DE JUNIO Duración 40 Horas

Coordinador Académico: ING. JOSE RAULL MARTIN

FECHA (1998)	HORARIO	TEMA	PROFESOR
VIERNES 19 DE JUNIO	16.30 - 18.30	SOBRETENSIONES; APARTA RAYOS	ING. GILBERTO PANIAGUA GARCIA
VIERNES 19 DE JUNIO	18.30 - 20.30	EJERCICIOS	ING. HECTOR ARAGON GARCIA
LUNES 22 DE JUNIO	16.30 - 20.30	CARGAS MECANICAS	ING. ESTEBAN DE LA TORRE CABRERA
MARTES 23 DE JUNIO	16.30 - 20.30	SELECCION Y LOCALIZACION DE ESTRUCTURAS	ING. ESTEBAN DE LA TORRE CABRERA
MIERCOLES 24 DE JUNIO	16.30 - 20.30	FLECHAS Y TENSIONES PLANTILLAS.	ING. ESTEBAN DE LA TORRE CABRERA
JUEVES 25 DE JUNIO	16.30 - 20.30	CALCULO DE CRUZAMIENTOS PLANOS	ING. ESTEBAN DE LA TORRE CABRERA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



Programa del Curso DISEÑO ELECTROMECHANICO DE LINEAS DE TRANSMISION

Del 15 DE JUNIO Al 26 DE JUNIO

Duración 40 Horas

Coordinador Académico: ING. JOSE RAULL MARTIN

FECHA (1998)	HORARIO	TEMA	PROFESOR
LUNES 15 JUNIO	16.30 - 18.30	INTRODUCCION	ING. HECTOR ARAGON GARCIA
LUNES 15 DE JUNIO	18.30 - 20.30	REGLAMENTO DE LINEAS AEREAS	ING. HECTOR ARAGON GARCIA
MARTES 16 DE JUNIO	16.30 - 20.30	DESCARGA DE RAYOS: DISTANCIAS DIELECTRICAS. ANGULO DE BLINDAJE.	ING. ANTONIO PANIAGUA SILVA
MIERCOLES 17 DE JUNIO	16.30 - 18.30	MATERIALES: CONDUCTORES - AISLADORES - HERRAJES	ING. ARTURO TRUJILLO AYALA
MIERCOLES 17 DE JUNIO	18.30 - 20.30	RESISTENCIA DE TIERRA	ING. FROYLAN MARTINEZ FONSECA
JUEVES 18 DE JUNIO	16.30 - 20.30	AISLADORES: LONGITUD, DISTANCIA DE FUGA, CONTAMINACION	ING. HECTOR ARAGON GARCIA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



Programa del Curso DISEÑO ELECTROMECHANICO DE LINEAS DE TRANSMISION

Del 15 DE JUNIO Al 26 DE JUNIO Duración 40 Horas

Coordinador Académico: ING. JOSE RAULL MARTIN

FECHA (1998)	HORARIO	TEMA	PROFESOR
VIERNES 26 DE JUNIO	16.30 - 17, 30	CIMENTACIONES	ING. HUGO ABEL TORO CASTRO
VIERNES 26 DE JUNIO	16.30 - 20.30	FUERZAS: HORIZONTALES Y VERTICALES	ING. LEOPOLDO RAMIREZ MENDEZ



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

**TEMA**

**INTRODUCCIÓN**

**ING. JOSÉ RAULL MARTÍN  
PALACIO DE MINERÍA  
JUNIO 1998**

# INTRODUCCIÓN

## CONTENIDO:

- **CONCEPTOS GENERALES**
- **USO DE UNA TORRE**
- **ESTRUCTURACIÓN**

## OBJETIVO:

### Los Participantes:

- Conocerán las partes que integran una torre ó estructura
- Conocerán la función de las torres
- Unifican vocablos usados



## USO DE LA TORRE

LA CONJUNCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DEFLEXIÓN, CLARO MEDIO HORIZONTAL Y CLARO VERTICAL FORMAN EL DENOMINADO “USO DE LA TORRE”.

DEFLEXIÓN/CLARO MEDIO HORIZONTAL/CLARO VERTICAL

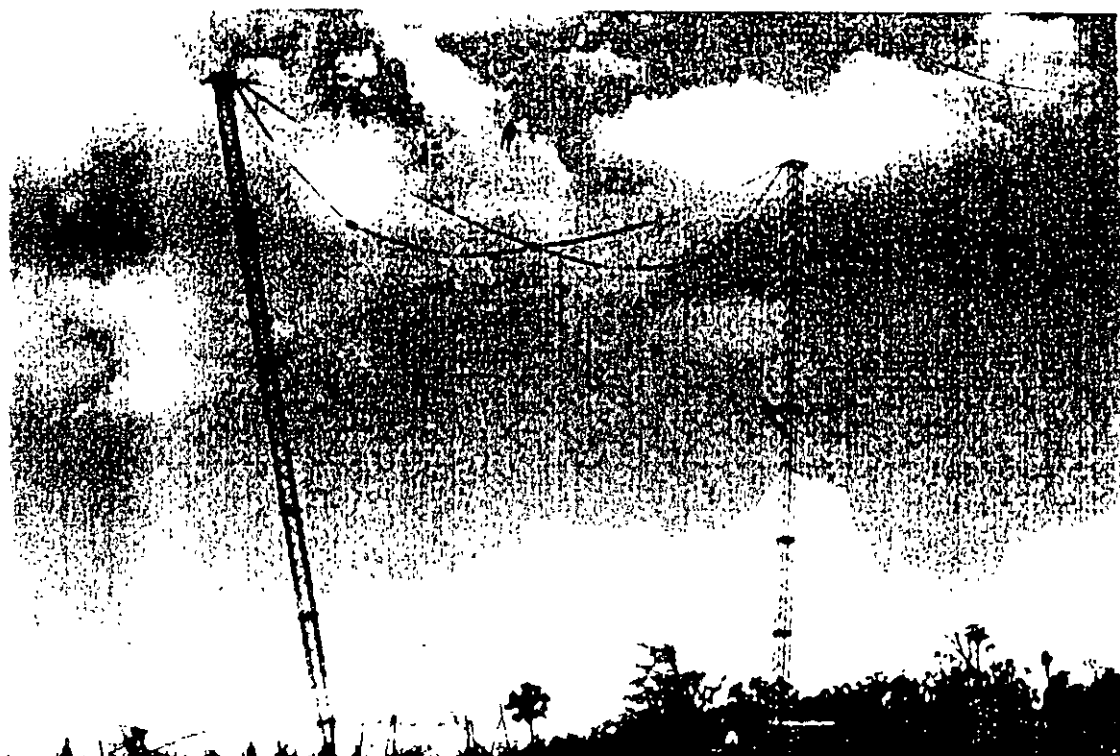


# CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION DE C.F.E.

TENSION (KV)	CONDUCTORES		CAPACIDAD		LIMITE DE OP. ESTABLE PROMEDIO (MVA)	DIST ENTRE COND. EXTREMOS	MVAR X100 KM EN VACIO	No. AISLADORES DE VIDRIO 12 Kv.
	No. x FASE	CALIBR E (MCM)	SII. (MVA)	TERMICA (MVA)				
400	2	1113	504	1545	400 - 600	22	64	24
230	1	900	138	358	100 - 120	13	16	17
	1---	795	138	317	80 - 100	13	16	17
115	1	477	38	95	40 - 60	9	4	9

TABLA No. 1





ESTRUCTURA LINDSEY TIPO CHAINETTE.

0#8

1380

3AUA133PUS

UP



# CLASIFICACIÓN DE TORRES

- DELTA

POR SU SILUETA

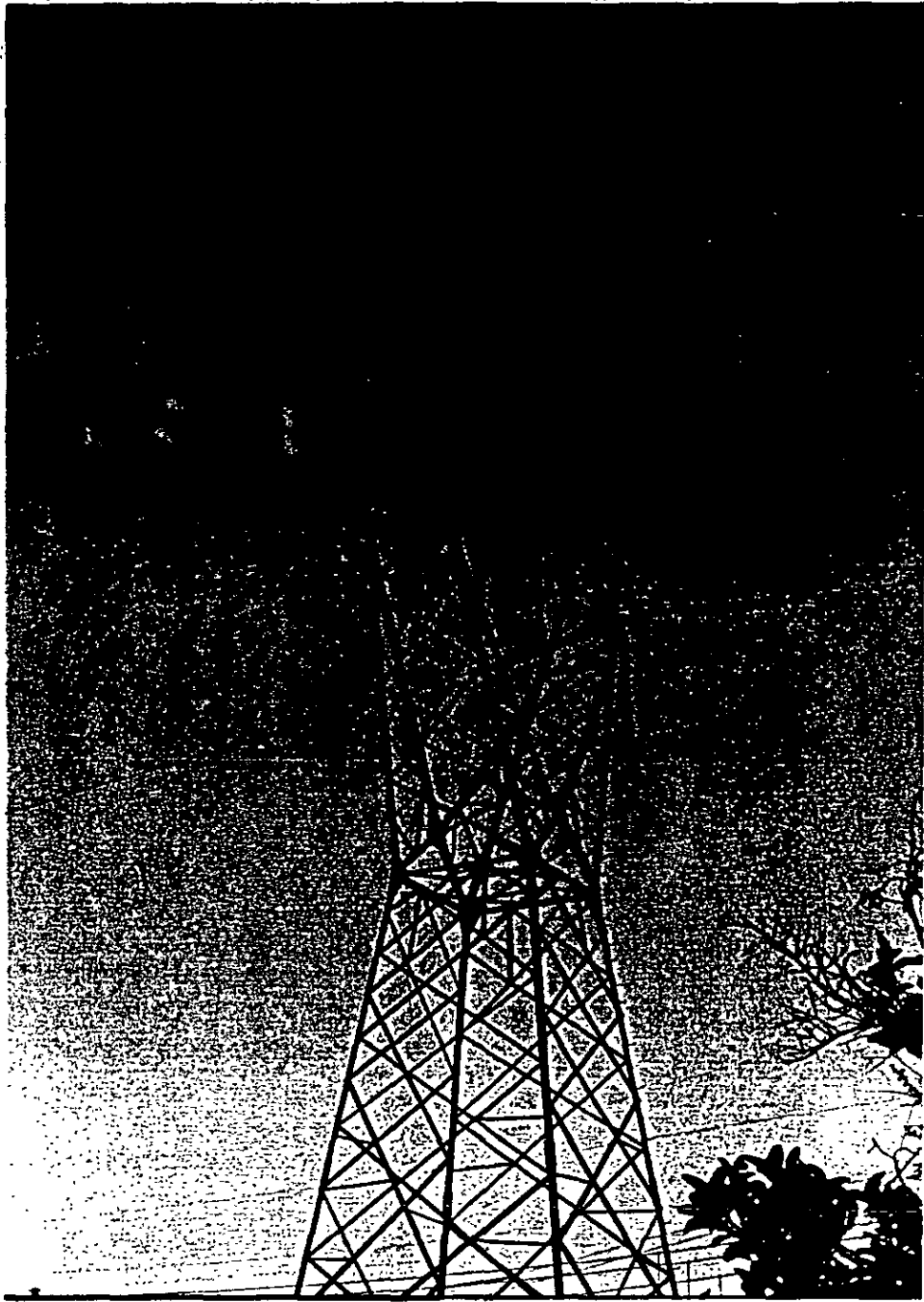
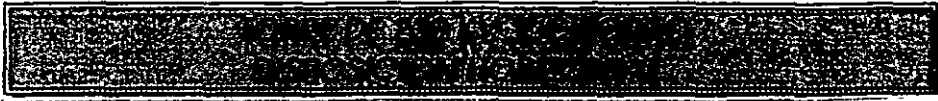
- VERTICALES

# CLASIFICACIÓN DE TORRES

- AUTOSOPORTADAS

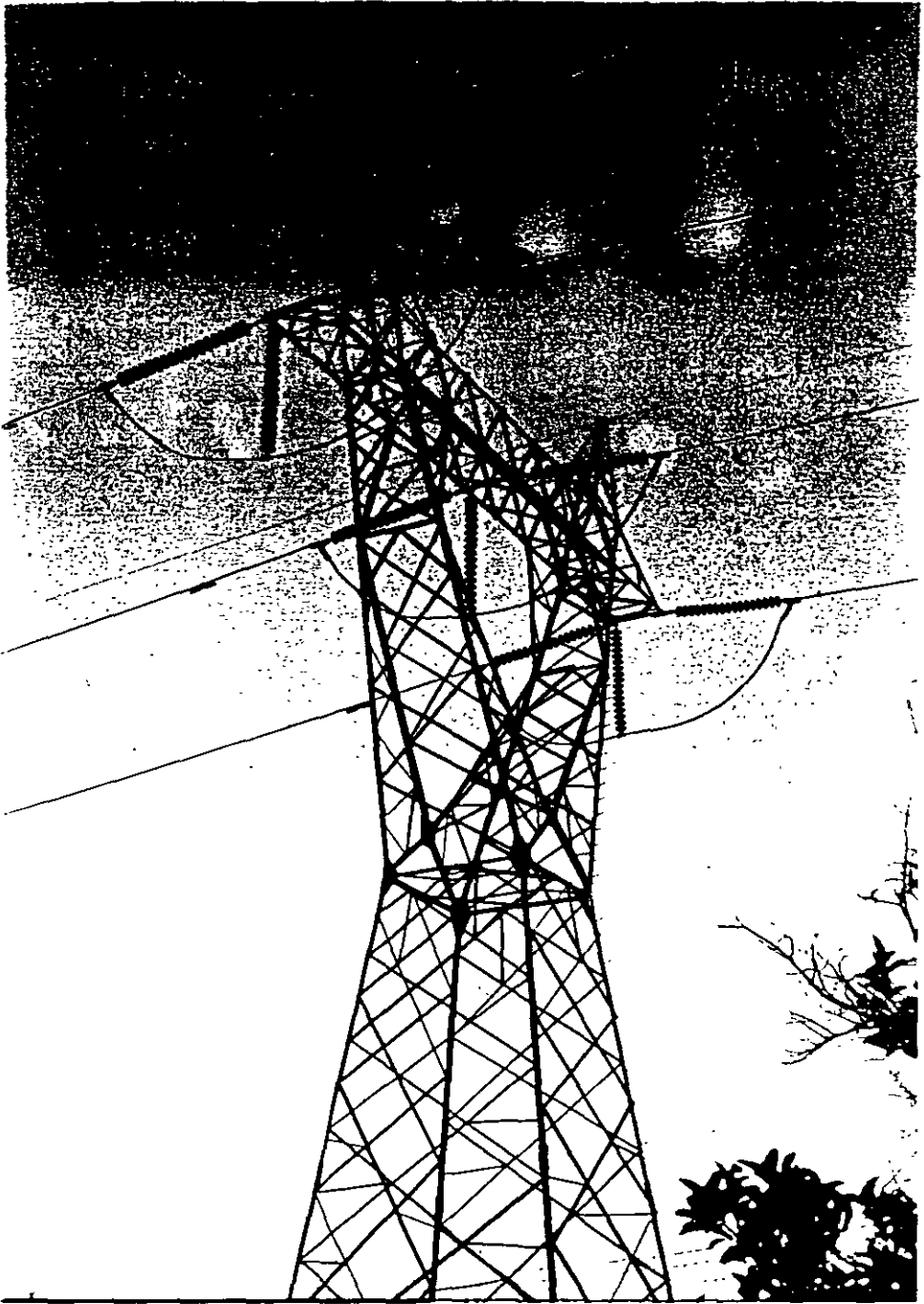
POR SU CONDICIÓN  
DE APOYO

- CON RETENIDAS



(6)

TORRE DE 230 KV, 1 CIRCUITO  
DISPOSICION HORIZONTAL





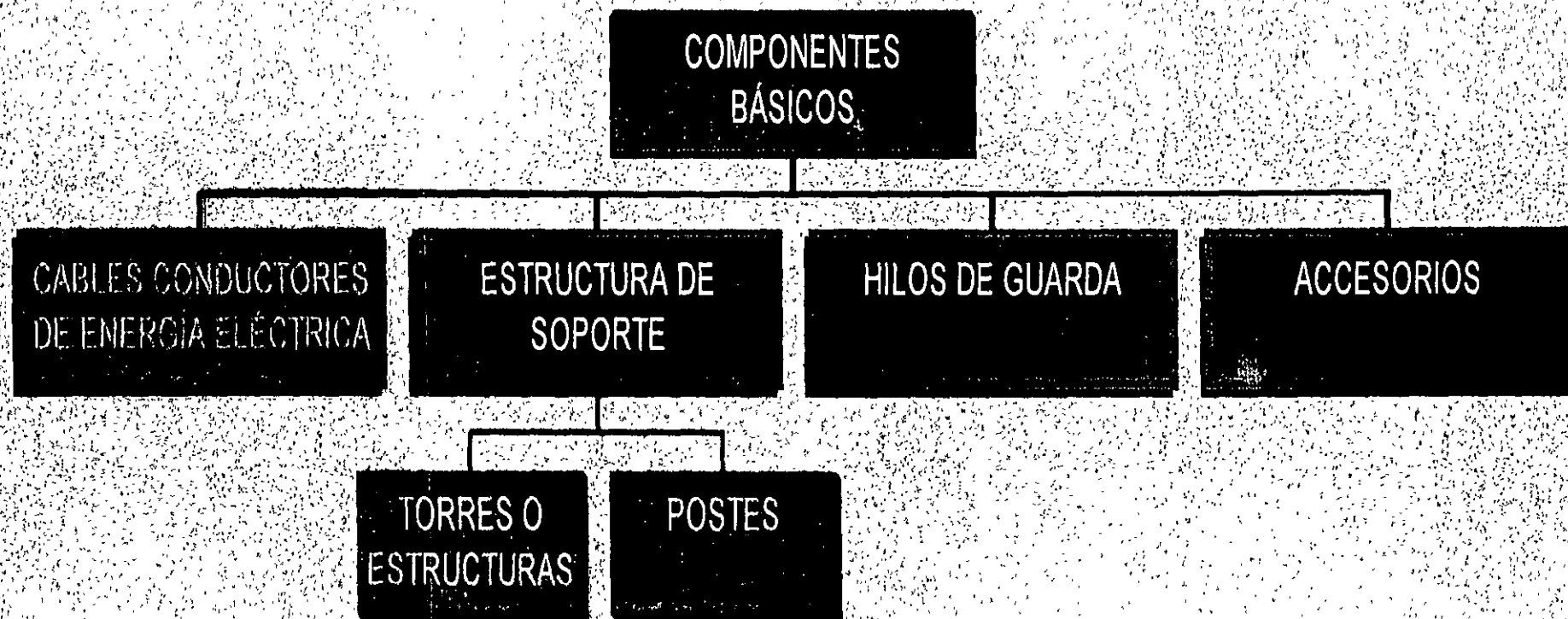
## ESTRUCTURAS FUNCIÓN PRIMORDIAL

- SOPORTAR A LOS CONDUCTORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA.
- SOPORTAR HILOS DE GUARDA.
- RESISTIR LA ACCIÓN DE FENÓMENOS NATURALES: VIENTO, HIELO, SÍSMO.

# *DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO*

- SEPARACIÓN ENTRE CONDUCTORES*
- SEPARACIÓN ENTRE CONDUCTOR Y ESTRUCTURA*
- DISTANCIA ENTRE CONDUCTOR Y TERRENO*
- ÁNGULO DE PROTECCIÓN ENTRE CONDUCTORES E HILO DE GUARDA*
- CADENAS DE AISLADORES*

# LÍNEAS DE TRANSMISIÓN



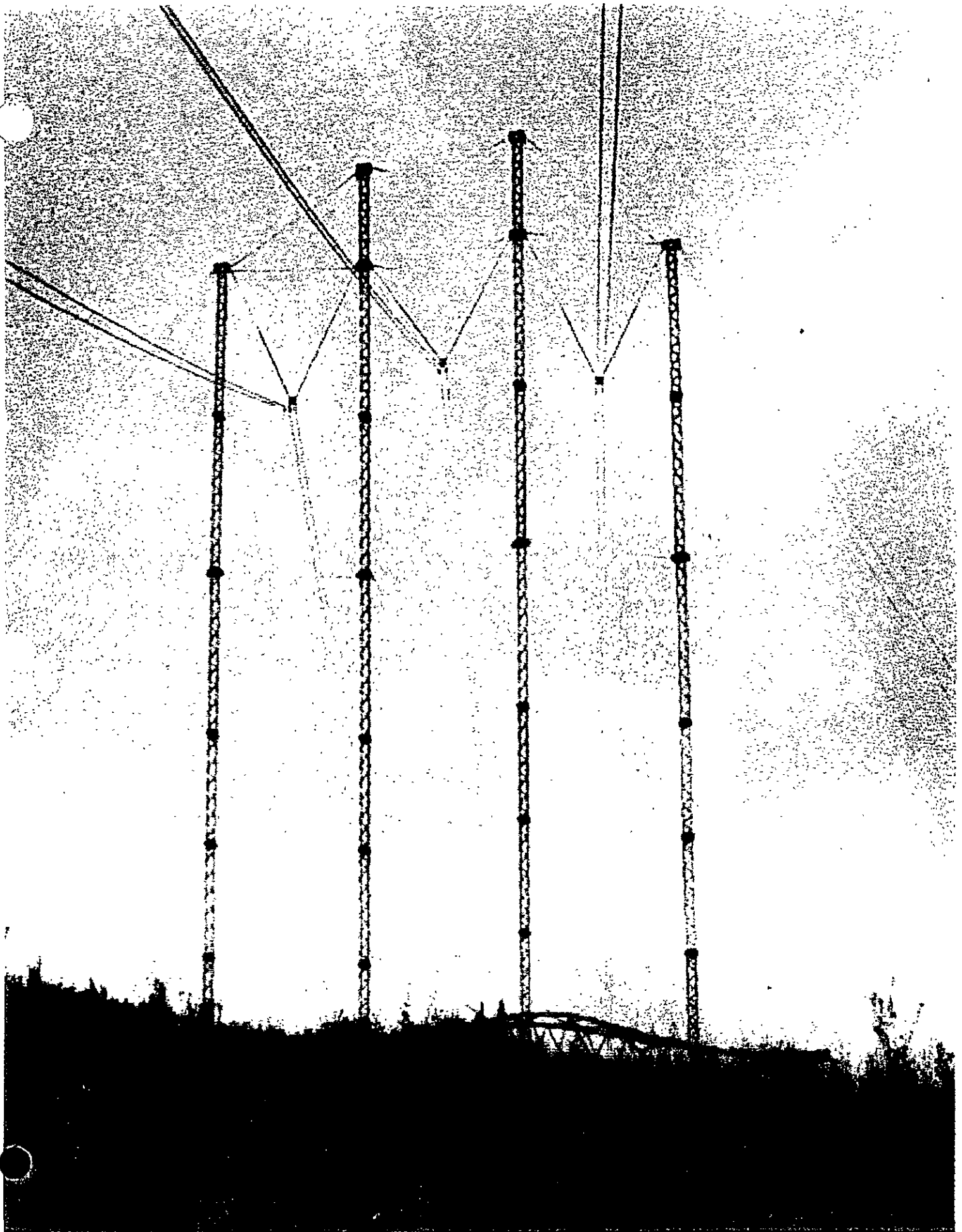
# COMPONENTES ESTRUCTURALES DE UNA TORRE

- EXTENSIONES
- CERRAMIENTOS
- CUERPO PIRAMIDAL
- HORQUILLA
- BRAZOS
- CRUCETAS DE CONDUCTORES
- TRABE O PUENTE
- CRUCETAS DE HILO DE GUARDA

# CLASIFICACIÓN DE TORRES

POR SU USO

- SUSPENSIÓN
- DEFLEXIÓN
- REMATE
- TRANSPOSICIÓN



# CLASIFICACIÓN DE TORRES

- POR SU TENSIÓN DE OPERACIÓN
  - 400 kV
  - 230 kV
  - 115 kV
  - COMBINADAS

# TIPOS DE CARGA

## EN FUNCIÓN A SU DIRECCIÓN RESPECTO AL EJE DE LA LÍNEA.

- **CARGA MUERTA**

VERTICALES: DEBIDA A LA MASA DE LOS CABLES CONDUCTORES, HERRAJES, ACCESORIOS Y AL PROPIO PESO DE LA TORRE.

- **CARGA VIVA**

TRANSVERSALES: DEBIDAS A VIENTO EN LOS CONDUCTORES, H.G., ESTRUCTURA HIELO SOBRE ESTOS ELEMENTOS.

- **CARGA ACCIDENTAL**

LONGITUDINALES: DEBIDA A LA TENSIÓN MÁXIMA DE LOS CONDUCTORES E H.G.



# DEFLEXIÓN

ES EL ÁNGULO MÁXIMO DE CAMBIO DE DIRECCIÓN EN LA TRAYECTORIA DE LA L.T., QUE PERMITE LA TORRE SIN AFECTAR SU ESTABILIDAD.

TORRE DE 400 KV DOBLE CIRCUITO  
DISPOSICION HORIZONTAL



## PLANOS DE MONTAJE

- SON UN COMPLEMENTO DE LOS DE TALLER.
- SU FUNCIÓN ES MOSTRAR EL ENSAMBLE DE UNA ESTRUCTURA

## **PLANOS DE FABRICACIÓN O TALLER**

SE ELABORAN CON LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN LOS PLANOS ESTRUCTURALES O DE DISEÑO

- CONTIENE LA GEOMETRÍA AL MILÍMETRO DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA.
- DETALLES DE LAS PLACAS DE CONEXIÓN.
- TIPOS, TAMAÑOS Y LONGITUD DE SOLDADURAS.
- GRAMILES, POSICIÓN Y BARRENOS EN PLACAS Y PERFILES.
- LISTA DE MATERIALES EN DONDE SE ESPECIFICA LA MARCA, PERFIL, DIMENSIONES, PESO Y NÚMERO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL MISMO TIPO.

# PLANOS EMPLEADOS EN TORRES

- PLANOS ESTRUCTURALES O DE DISEÑO
- PLANOS DE FABRICACIÓN O TALLER
- PLANOS DE MONTAJE

## CLARO VERTICAL

ES LA SUMA DE LAS DISTANCIAS HORIZONTALES ENTRE LOS PUNTOS MÁS BAJOS DE LAS CATENARIAS DE LOS CABLES ADYACENTES A LA TORRE Y SE UTILIZA PARA DETERMINAR LAS CARGAS VERTICALES QUE ACTUAN SOBRE LA ESTRUCTURA, DEBIDAS A LA MASA DE LOS CONDUCTORES E H.G.

## CLARO MEDIO HORIZONTAL

ES LA SEMISUMA DE LOS CLAROS ADYACENTES A LA TORRE Y SE UTILIZA PARA CALCULAR LAS CARGAS TRANSVERSALES QUE ACTUAN SOBRE LA ESTRUCTURA, DEBIDAS A LA ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE LOS CABLES.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DE LÍNEAS DE  
TRANSMISIÓN**

**TEMA**

**NOTAS DEL CURSO**

**PALACIO DE MINERÍA  
JUNIO 1998**



## PRESENTACION

Las fallas por descargas atmosféricas en líneas de transmisión, llegan a registrar porcentajes muy elevados, más del 70% de las salidas por falla en 1994 fueron por esa causa. Existen áreas de transmisión mayormente afectadas por descargas atmosféricas, con índices superiores a 2 salidas por cada 100 km de línea en niveles de tensión de 400 kV y de 1.5 salidas por cada 100 km de línea en niveles de tensión de 230 kV.

Lo anterior presenta una asociación clara con líneas que atraviesan regiones con índices de densidad de rayos a tierra entre moderados (de 3 a 6 rayos/km<sup>2</sup>/año) a altos (mayores a 6 rayos/km<sup>2</sup>/año), combinados en algunos casos con topografía difícil, es decir zonas montañosas en donde además se registran valores elevados de resistividad del terreno.

No existen muchos parámetros que puedan ser modificados para reducir los índices de salidas por descargas atmosféricas. Prácticamente debe seleccionarse un ángulo de blindaje adecuado y un sistema de conexión a tierra eficiente, verificándose el diseño de las torres y conductores.

En líneas que atraviesan regiones con altitudes sobre el nivel del mar elevadas, debe revisarse que la longitud de las cadenas de aisladores se seleccione aplicando los factores de corrección pertinentes. Pudiéndose presentar casos especiales como claros muy largos entre torres en zonas montañosas o en el cruce de ríos y carreteras, en estas situaciones se deberá revisar la posición que los hilos de guarda adoptan con respecto a los conductores de fase, la cual puede modificarse considerablemente, dejando a los conductores de fase más expuestos a las descargas atmosféricas.

El presente folleto pretende que nuestro personal de líneas tenga una referencia práctica de la relación que guardan las salidas por descargas atmosféricas y la coordinación de aislamiento. Así como presentar algunos conceptos técnicos fundamentales y su aplicación para mejorar el comportamiento de las líneas ante este fenómeno.

# TABLA DE CONTENIDO DEL FOLLETO INFORMATIVO

CONTENIDO	PAGINA
<b>1 DESCRIPCION DE LA INCIDENCIA DE DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LAS DIFERENTES AREAS DE TRANSMISION DE CFE</b>	
1.1 Parámetros de la Descarga Utilizados en el Diseño de Líneas .....	13
1.1.1 Densidad de Rayos a Tierra .....	14
1.1.2 Número de Descargas que Inciden en una Línea de Transmisión .....	15
1.1.3 Distribución de Frecuencia de la Magnitud y Forma de Onda de la Corriente del Rayo .....	17
1.1.4 Impedancia Transitoria de Cables de Blindaje, Conductores, Torres y Sistemas de Tierra .....	18
1.1.5 Propagación de Ondas en Cables de Blindaje y Conductores de Fase .....	19
1.1.6 Atenuación y Distorsión de Ondas por Efecto Corona .....	20
1.1.7 Características de Flameo de aisladores .....	21
1.1.8 Efectividad de la Protección .....	22
<b>2 DETERMINACION DEL ANGULO DE BLINDAJE PARA OBTENER UN INDICE DE SALIDAS DESEADO POR FALLAS DE BLINDAJE</b>	
2.1 Angulo de Blindaje .....	25
2.2 Falla de Blindaje .....	26
2.3 Indices de Salidas de Líneas de Transmisión por Fallas de Blindaje .....	28

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAGINA</b>
<b>3 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A TIERRA PARA OBTENER UN INDICE DE INTERRUPCIONES DESEADO POR FLAMEOS INVERSOS</b>	
3.1 Flameos Inversos .....	33
3.2 Número de Salidas por Flameos Inversos .....	34
3.3 Sistemas de Conexión a Tierra, Esquemas y Mejoramiento de los Valores de Resistencia .....	36
3.3.1 Reducción de Valores de Resistencia de Conexión a Tierra en Torres de Transmisión .....	37
3.3.2 Métodos de Mejoramiento .....	38
3.3.3 Recomendaciones para Diferentes Resistividades del Terreno .....	39
<b>4 DETERMINACION DE LA LONGITUD DE LA CADENA DE AISLADORES EN AREAS CON DETERMINADA DENSIDAD DE RAYOS A TIERRA</b>	
4.1 Distancia Con ductor-apoyo .....	45
4.2 Determinación de la Longitud de la Cadena de Aisladores .....	46
<b>5 DETERMINACION DE LA DISTANCIA ESPECIFICA DE FUGA DE CADENA DE AISLADORES EN FUNCION DE LOS TIPOS Y NIVELES DE CONTAMINACION</b>	
5.1 Fenómeno de Flameo en Aisladores debido a Contaminación .....	51
5.2 Relación entre los Niveles de Contaminacion y las Distancias Especificas de Fuga Mínimas Nominales .....	51
5.3 Distancia Especifica de Fuga Mínima Nominal en Función del Nivel de Contaminación .....	55
5.4 Determinación del Número de Aisladores de una Cadena en Función de la Distancia Especifica de Fuga .....	56
5.5 Distancias Especificas de Fuga con Diferentes Opciones de Aislamiento .....	57
5.6 Alternativas para Evitar el Flameo en Aisladores debido a Contaminación .....	57

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAGINA</b>
<b>6 CORRECCION DEL NIVEL DE AISLAMIENTO POR CONDICIONES ATMOSFERICAS DIFERENTES A LAS NORMALIZADAS</b>	
6.1 Factores de Corrección por Condiciones Atmosféricas .....	63
<b>7 CASOS ESPECIALES EN LA OBTENCION DE LAS DISTANCIAS EN AIRE MINIMAS PERMISIBLES</b>	
7.1 Distancias Mínimas en Aire .....	71
7.2 Cruzamiento de una Línea de Transmisión con una Vía de Ferrocarril no Electrificada .....	73
7.3 Cruzamiento Elevado de una Línea de Transmisión con una Vía de Ferrocarril Electrificada o Tranvía .....	73
7.4 Cruzamiento de una Línea de Transmisión por una Autopista, Carretera o Calle .....	74
7.5 Cruzamiento de una Línea de Transmisión con un Río Navegable .....	75
7.6 Cruzamiento entre Líneas de Transmisión .....	76
7.7 Líneas de Transmisión de Energía Paralelas .....	77
7.8 Líneas de Transmisión Paralelas a Líneas de Telecomunicación .....	78
7.9 Paralelismo entre Líneas de Transmisión y Vías de Comunicación .....	78
7.10 Líneas Paralelas a Vías de Ferrocarril o Cursos de Agua Navegables .....	79
7.11 Cruce de Líneas de Transmisión por Zonas de Bosques, Arboles y Masas de Arbolado .....	79
7.12 Cruce de Líneas de Transmisión por Edificios, Construcciones y Zonas Urbanas .....	80
7.13 Derechos de Vía Compartidos con Ductos Subterráneos .....	81
<b>8 PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES EN LINEAS DE TRANSMISION POR MEDIO DE APARTARRAYOS</b>	
8.1 Selección de Apartarrayos de Oxidos Metálicos sin Entrehierro .....	85
8.2 Selección de Apartarrayos con Entrehierro Externo en Serie .....	87
8.3 Procedimiento para Determinar las Estructuras a Proteger .....	88

**CONTENIDO****PAGINA****APENDICE A****MAPAS DE LAS AREAS DE TRANSMISION CON LINEAS DE ISODENSIDAD DE RAYOS A TIERRA**

AREA DE TRANSMISION BAJA CALIFORNIA .....	94
AREA DE TRANSMISION NOROESTE .....	95
AREA DE TRANSMISION NORTE .....	96
AREA DE TRANSMISION NORESTE .....	97
AREA DE TRANSMISION OCCIDENTE .....	98
AREA DE TRANSMISION CENTRAL .....	99
AREA DE TRANSMISION ORIENTE .....	100
AREA DE TRANSMISION SURESTE .....	101
AREA DE TRANSMISION PENINSULAR .....	102

**APENDICE B****MODELO ELECTROGEOMETRICO**

B.1 Falla de Blindaje .....	107
B.2 Cálculo del Angulo de Blindaje .....	107

**APENDICE C****CALCULO DE LONGITUDES DE AISLAMIENTO PARA CONDICIONES DE SOBRETENSIONES POR DESCARGAS ATMOSFERICAS, CORRECCIONES AMBIENTALES Y NIVELES DE CONTAMINACION, EJEMPLOS DE APLICACION**

C.1 Cálculo de la Longitud de Cadena de Aisladores para Condiciones Ambientales Normalizadas .....	111
C.2 Corrección de la Longitud de Aislamiento por Condiciones Atmosféricas no Normalizadas .....	113
C.3 Determinación del Número Mínimo de Aisladores de una Cadena tomando en Cuenta la Contaminación Ambiental de la Zona donde se Encontrará la Línea .....	116

1

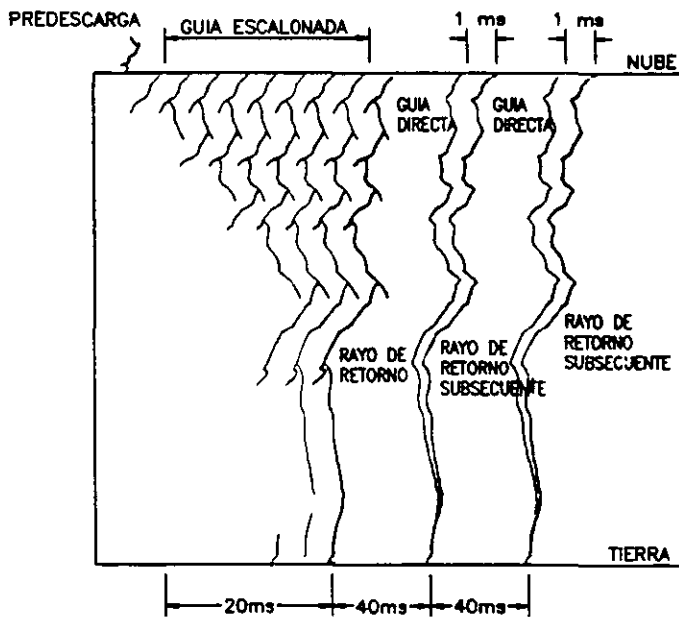
## **DESCRIPCION DE LA INCIDENCIA DE DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LAS DIFERENTES AREAS DE TRANSMISION DE CFE**

- 1.1 Parámetros de la Descarga Utilizados en el  
Diseño de Líneas**
  - 1.1.1 Densidad de Rayos a Tierra**
  - 1.1.2 Número de Descargas que Inciden  
en una Línea de Transmisión**
  - 1.1.3 Distribución de Frecuencia de la Magnitud  
y Forma de Onda de la Corriente del Rayo**
  - 1.1.4 Impedancia Transitoria de Cables de Blindaje,  
Conductores, Torres y Sistemas de Tierra**
  - 1.1.5 Propagación de Ondas en Cables de Blindaje  
y Conductores de Fase**
  - 1.1.6 Atenuación y Distorsión de Ondas por Efecto Corona**
    - 1.1.7 Características de Flameo de Aisladores**
    - 1.1.8 Efectividad de la Protección**

# 1. DESCRIPCION DE LA INCIDENCIA DE DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LAS DIFERENTES AREAS DE TRANSMISION DE CFE

Las descargas atmosféricas son descargas naturales producidas normalmente durante tormentas eléctricas. Las descargas atmosféricas se clasifican por la polaridad de la carga en la nube (positiva o negativa) y por la dirección de propagación del líder inicial o guía escalonada (ascendente o descendente). Las descargas de polaridad positiva son más frecuentes en zonas cercanas a los polos. Podemos considerar que en nuestro país, en promedio, el 90% de rayos a tierra son de polaridad negativa, con 45% a 55% de descargas con solo un rayo de retorno.

El tipo de descarga más común que produce problemas a líneas de transmisión es la descarga de nube a tierra con polaridad negativa, **figura 1.1**.



**Figura 1.1.- Secuencia de los procesos en una descarga atmosférica con polaridad negativa.**

Los procesos que se llevan a cabo durante una descarga son muy variables tanto en espacio como en tiempo. En la **tabla 1.1** se muestra un resumen de los procesos en una descarga atmosférica en secuencia de tiempo y lugar de ocurrencia.

Después de que ocurre el rayo de retorno, existe una alta probabilidad de que ocurra una o varias descargas subsecuentes por el mismo canal de descarga; el número promedio de descargas subsecuentes es de 3.

**TABLA 1.1.- Procesos en un descarga atmosférica con polaridad negativa**

PROCESO	TIEMPO	LUGAR
PREDESCARGA	Duración menor de un microsegundo , < 1 $\mu$ s.	Descarga dentro de la nube.
GUÍA ESCALONADA	Sucede a intervalos de tiempo de alrededor de 50 $\mu$ s con una duración total de aprox. 100 ms.	Desde la nube se prolonga hasta cerca del nivel de tierra, cambia de dirección en forma de escalones, con secuencias de aprox. 50 m cada uno.
(*)GUÍA ASCENDENTE	Se forma antes que la guía escalonada llegue a tierra.	Comienza en la superficie de la tierra u objetos altos.
(**)RAYO DE RETORNO	Neutralización de la carga en la guía escalonada en aprox. 100-200 $\mu$ s.	Desde la unión de las guías hasta la base de la nube.
GUÍA SUBSECUENTE	Mas rápida que la escalonada	El mismo canal que el rayo de retorno, sin ramificaciones
DESCARGA SUBSECUENTE	Descargas con intervalos de tiempo de aprox. 50 ms.	En el mismo canal del rayo de retorno.

(\*) El proceso en el cual ambas guías se unen es considerado en el estudio del radio de atracción para el diseño de blindaje como protección contra rayos directos en líneas de transmisión de energía eléctrica.

(\*\*) Este proceso es el de mayor corriente y el que mayor daño produce debido a la energía de la descarga. Los valores típicos de las corrientes de los rayos de retorno son de aproximadamente 30 kA y su frente de onda varía entre 1.8  $\mu$ s y 18  $\mu$ s, con valor promedio de 5.5  $\mu$ s.

En la **figura 1.2** se muestra la última etapa antes de que el rayo de retorno se produzca, en esta etapa se desarrolla la guía ascendente cuya longitud depende de la carga que tenga la guía descendente. A través de experimentación con torres de diferentes alturas, Erikson propuso la siguiente relación entre el radio crítico o de atracción y alturas promedio de torres de transmisión. Esta relación se obtuvo por medio del ajuste de las curvas de datos experimentales usando mínimos cuadrados:

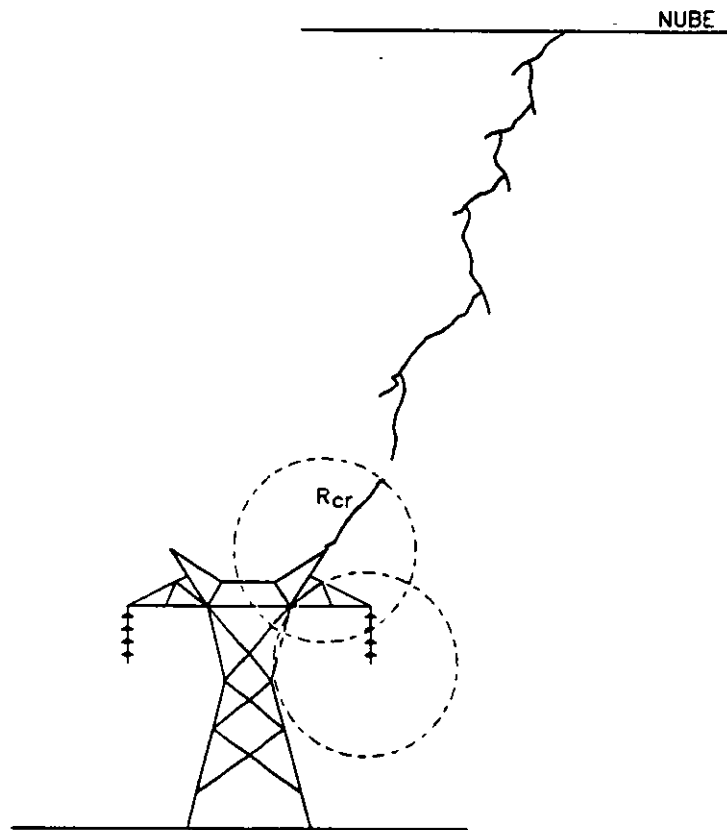
$$R_{cr} = 14.0 H_T^{0.6}$$

donde:

$R_{cr}$  = Radio crítico o de atracción (m)

$H_T$  = Altura promedio de la torre o del conductor (m)





**Figura 1.2.- Proceso de propagación de la guía descendente y formación de la guía ascendente (radio crítico de atracción).**

### 1.1 Parámetros de la Descarga Utilizados en el Diseño de Líneas

Desde el punto de vista del diseño de líneas los parámetros de la descarga atmosférica más importantes son:

- 1.1.1 - La densidad de rayos a tierra en el área de interés
- 1.1.2 - El número de descargas que inciden en la línea de transmisión
- 1.1.3 - La distribución de frecuencia de la magnitud y forma de onda de la corriente del rayo
- 1.1.4 - La impedancia transitoria de los cables de blindaje, conductores, torres y sistemas de tierras
- 1.1.5 - La propagación (incluyendo la reflexión y transmisión) de las ondas en cables de blindaje y conductores de fase
- 1.1.6 - La atenuación de las ondas por efecto corona
- 1.1.7 - Las características de flameo de aisladores y el aislamiento de subestaciones incluyendo el efecto de ondas de impulso no normalizadas
- 1.1.8 - La efectividad de la protección contra descargas para varios niveles de salidas de operación de la línea

### 1.1.1 Densidad de Rayos a Tierra

La densidad de rayos a tierra es uno de los parámetros de importancia en el diseño de la protección de líneas de transmisión.

La densidad de rayos a tierra se obtiene con contadores de rayos, los cuales registran el número de rayos a tierra en una área determinada.

En áreas donde solamente se cuente con información del número de **días tormenta** por año  $T_d$ , es posible obtener el número de rayos a tierra/km<sup>2</sup>/año,  $N_g$ .

La gráfica de la **figura 1.3** presenta las relaciones para los diferentes tipos de terrenos observadas en México y la curva obtenida por CIGRE (Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques). Los valores de densidad de rayos a tierra se correlacionan con el número de días tormenta en terrenos planos con la siguiente aproximación:

$$N_g = 0.044 T_d^{1.24}$$

donde:

$N_g$  = Número de rayos a tierra/km<sup>2</sup>/año  
 $T_d$  = Número de días tormenta

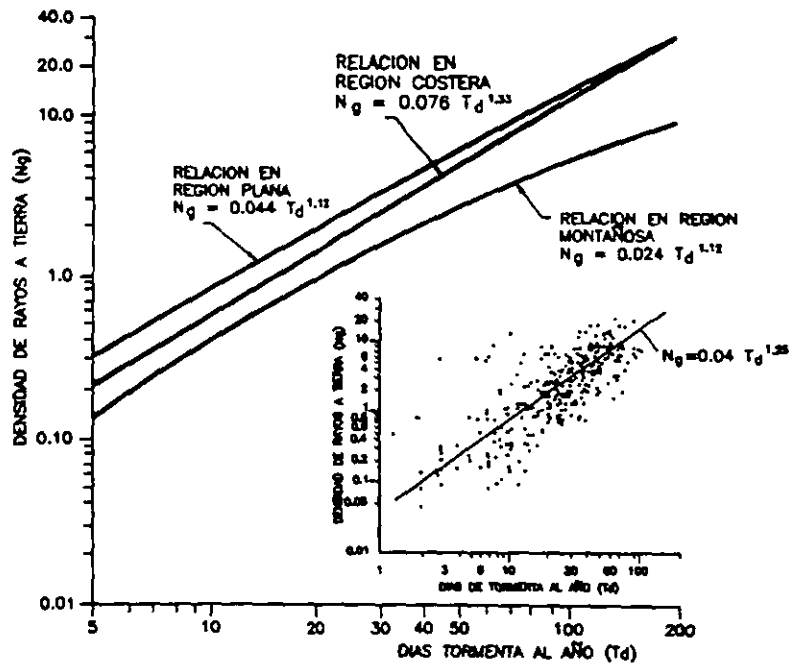
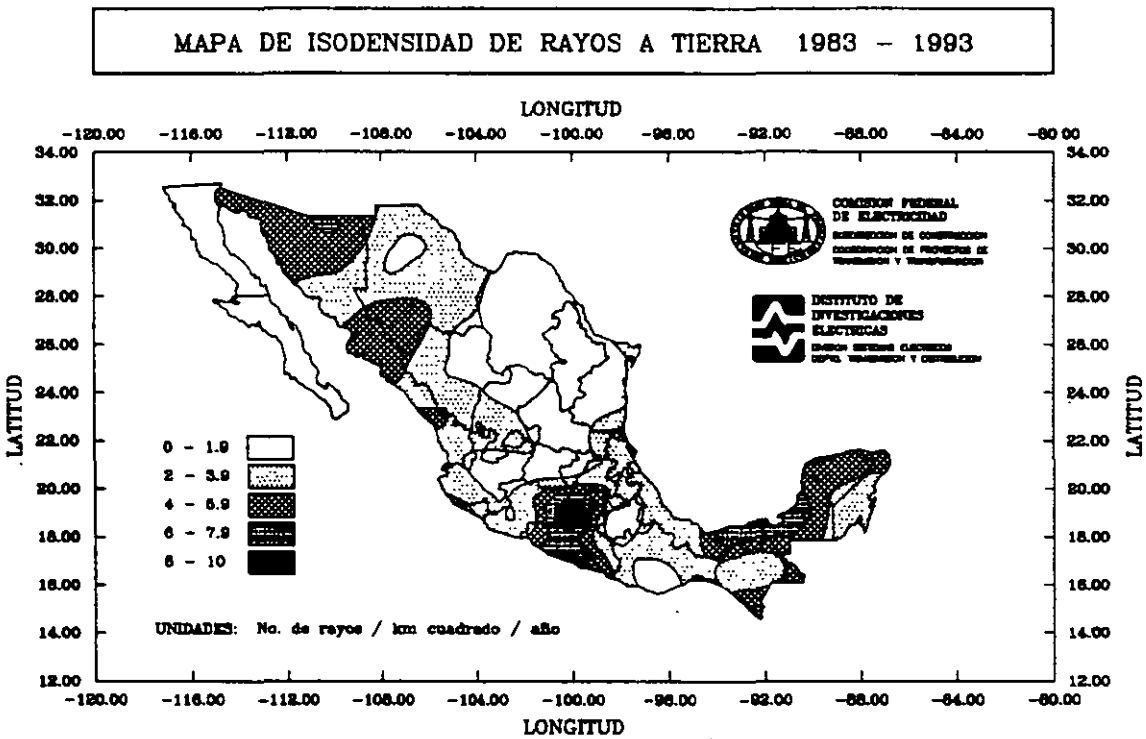


Figura 1.3.- Número de rayos a tierra en función del número de días tormenta para diferentes tipos de terreno en la República Mexicana y la relación obtenida por CIGRE.

En México se tiene la información obtenida por una red de contadores de rayos instalados en toda la República Mexicana, esta información se recabó durante 11 años de operación de los contadores. En la **figura 1.4** se muestra el mapa de la República Mexicana con las áreas con una misma **densidad de rayos a tierra**, indicando el **número de rayos a tierra por kilómetro cuadrado y por año**. Estos valores representan el promedio de los valores registrados durante los once años de operación de los contadores. En el **APENDICE A** se muestran los mapas de las áreas de transmisión.



**Figura 1.4.- Mapa de la República Mexicana con las áreas de densidad de rayos a tierra por kilómetro cuadrado por año.**

**1.1.2 Número de Descargas que Inciden en una Línea de Transmisión**

En el estudio de blindaje de líneas de transmisión se comienza por calcular la distancia de atracción o radio crítico para los conductores de fase e hilos de guarda de acuerdo a la fórmula propuesta por Erikson, discutida en la sección 1.0 y representada por la **figura 1.2**. Posteriormente, se obtiene el número de rayos directos a la línea de acuerdo al tipo de terreno donde se encuentre la línea de transmisión. Por medio de un modelo dinámico matemático del desarrollo de la guía escalonada, se han obtenido resultados del número de rayos que inciden en líneas de transmisión para diferentes condiciones del terreno, como lo son: terreno plano,

laderas y picos de montañas (Dellera y Garbagnati). En la **figura 1.5** se muestra la relación entre el número de rayos esperados a una línea de transmisión en función de la altura promedio de la torre  $H_T$ , para una  $N_g = 1$ , y para diferentes tipos de terreno. Para densidades de rayos a tierra diferentes a la unidad, el resultado se afectará proporcionalmente.

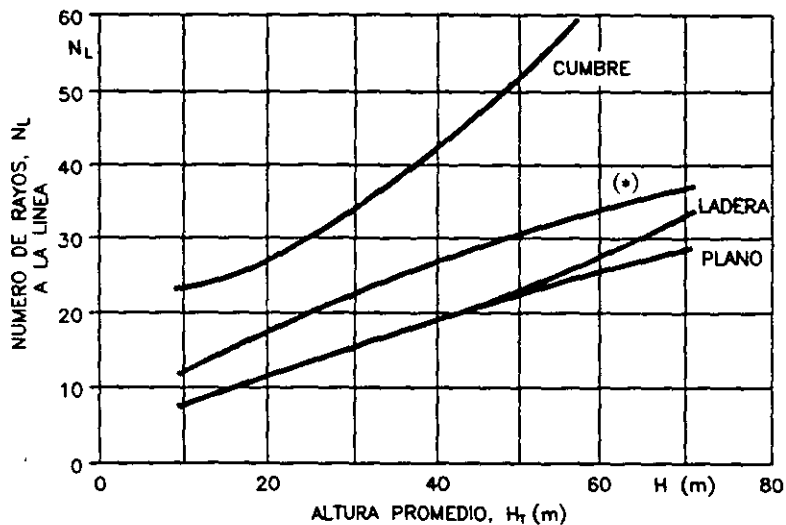
El número de rayos a una línea en **terreno plano** se puede calcular usando la siguiente fórmula:

$$N_L = N_g \frac{(2R_{cr} + b)}{10}$$

donde:

- $N_g$  = Densidad de rayos a tierra de la región en número de rayos a tierra por kilómetro cuadrado por año.
- $R_{cr}$  = Radio crítico de atracción en metros (ver sección 1.0 y figura 1.2)
- $b$  = Ancho de la línea en metros

En la **figura 1.5** se muestran los resultados obtenidos con la fórmula anterior, representados por la curva marcada con (\*). De estos resultados se concluye que se puede usar esta fórmula para el cálculo del número de rayos a una línea en un terreno plano o en ladera, con las alturas promedio de torres mostradas en la gráfica. Para el caso de líneas sobre terreno con cumbres se recomienda el uso de la curva correspondiente mostrada en la **figura 1.5**.



**Figura 1.5.- Número de rayos esperados a líneas de transmisión en función de la altura promedio de la torre  $H_T$ , para  $N_g=1$ .**

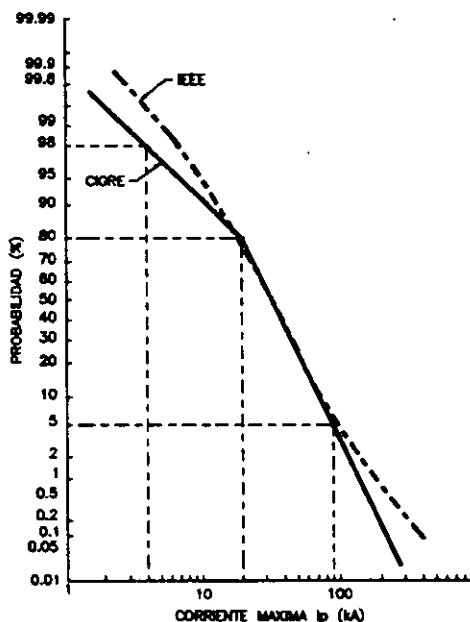
### 1.1.3 Distribución de Frecuencia de la Magnitud y Forma de Onda de la Corriente del Rayo

En la **figura 1.6** se muestran las distribuciones de frecuencia de las magnitudes de corriente del rayo (polaridad negativa), obtenidas por: CIGRE (línea continua) y la adoptada por IEEE (línea punteada). La curva dada por CIGRE se obtuvo con 408 observaciones en estructuras de menos de 60 m de altura en diferentes partes del mundo. La curva de IEEE es una aproximación matemática de la curva de CIGRE.

Para efectos de cálculo, una representación simple de la curva probabilística de la magnitud de corriente del rayo de IEEE (sugerida por J. G. Anderson) es la siguiente:

$$P(I) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I}{31}\right)^{2.6}}$$

donde P(I) es la probabilidad de exceder un valor de la corriente I.



**Figura 1.6.- Distribución de corrientes de rayo.**

Las transitorios producidos por descargas atmosféricas directas en líneas de transmisión de energía eléctrica y los esfuerzos a los que se ve sometido el aislamiento eléctrico pueden analizarse por medio de simulaciones usando formas de onda normalizadas. La forma de onda de 1.2 μs de frente y 50 μs para que la onda disminuya su amplitud a un 50% de su valor máximo (1.2/50 μs) es usada en pruebas de simulación de impulsos de voltaje por rayo y la forma de onda 8/20 μs es usada en pruebas de impulso de corriente de rayo. Normalmente se usan funciones matemáticas para su representación en cálculos en los que se involucran.

**1.1.4 Impedancia Transitoria de Cables de Blindaje, Conductores, Torres y Sistemas de Tierra.**

La impedancia transitoria de cables, ya sea de blindaje o conductores de fase a una altura sobre el nivel de tierra, se calcula con la relación siguiente:

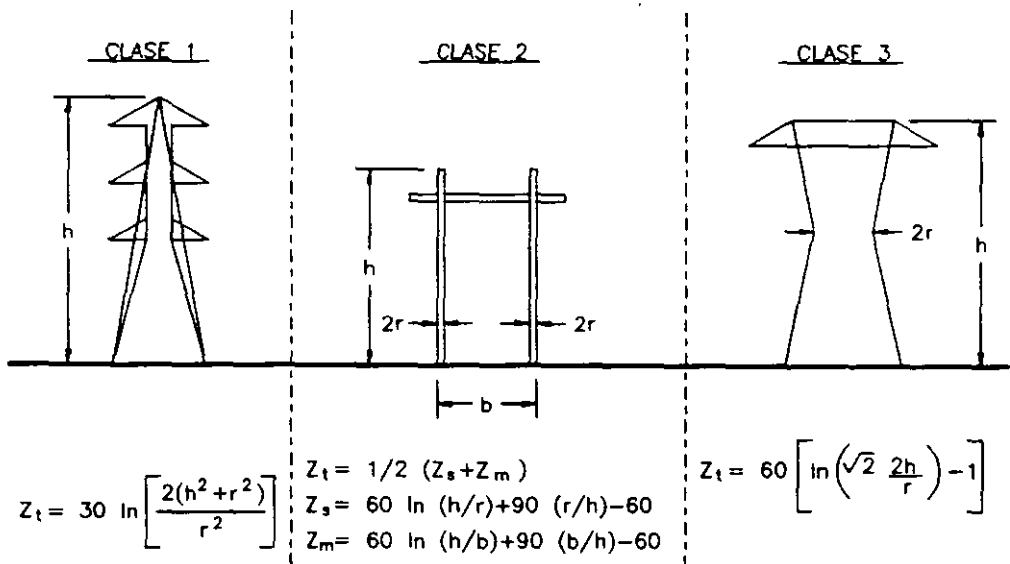
$$Z_t = 60 \ln \frac{2h_c}{r_c}$$

donde:

$h_c$  = altura del conductor sobre el nivel de tierra (m)

$r_c$  = radio del conductor (m)

La estructura de la torre se considera como una línea de transmisión corta con una impedancia transitoria constante aterrizada a través de su resistencia a pie de la torre. Se tienen las relaciones de impedancias transitorias equivalentes para algunos tipos de torres (obtenidas por Sargent y Darveniza en 1968). La **figura 1.7** muestra los perfiles típicos de tres clases de torres con sus respectivas relaciones de impedancia transitoria. Para el perfil de torre de clase 2, el valor  $2r$  es el diámetro de la guía de bajada de tierra en poste de madera o en su caso el diámetro del poste metálico. Adicionalmente, en la **tabla 1.2** se presentan las impedancias transitorias de las torres de transmisión, normalmente usadas en CFE.



**Figura 1.7.- Perfiles típicos de torres de transmisión con sus respectivas relaciones de impedancia transitoria.**

Tabla 1.2.- Impedancias características de torres usadas en CFE

TORRE TIPO	NIVEL DE TENSION (kV)	IMPEDANCIA TRANSITORIA ( $\Omega$ )	TORRE TIPO	NIVEL DE TENSION (kV)	IMPEDANCIA TRANSITORIA ( $\Omega$ )
A	400	247.83	2M1	230	243.3
AM	400	249.4	2S1	230	241.1
C	400	211.7	2B1	230	232.2
CM	400	237.3	2B2	230	154.9
D	400	216.12	2R2	230	148.0
DM	400	241.0	2S2	230	154.6
4BC1	400	229.7	2Z1	230	234.1
4BB1	400	233.14	2D1	230	243.8
4BA1	400	232.23	1M1	115	294.2
2B1	230	245.8	1B1	115	283.1
2C1	230	239.0			

La impedancia transitoria de conexión a tierra al pie de la torre puede considerarse constante (resistencia al pie de torre) para efectos de simplificación de cálculos. En realidad este valor de impedancia transitoria de conexión a tierra varía en forma no lineal.

### 1.1.5 Propagación de Ondas en Cables de Blindaje y Conductores de Fase

Al incidir una descarga atmosférica en un cable de blindaje o conductor de fase, figura 1.8, se inyectará la corriente del rayo en el conductor y se producirá una onda de voltaje proporcional al producto de la impedancia transitoria del conductor y la mitad de la corriente del rayo, como:

$$V_L(t) = \frac{I_r(t)}{2} Z_t$$

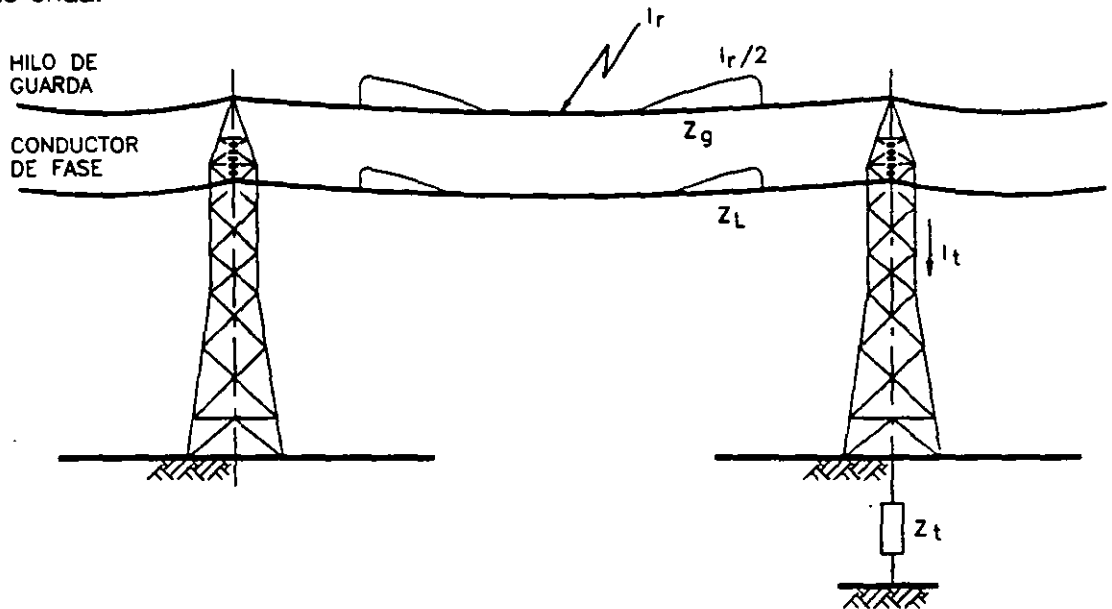
donde:

$V_L(t)$  = voltaje transitorio (V)

$I_r(t)$  = corriente del rayo (A)

$Z_t$  = impedancia transitoria del conductor ( $\Omega$ )

Estas ondas se propagarán o viajarán, con una velocidad aproximada a la velocidad de la luz ( $300 \text{ m}/\mu\text{s}$ ), hacia ambos lados del conductor, ver **figura 1.8**, hasta encontrar un camino a tierra. Al encontrar cambios de impedancia, como puede ser la conexión a una torre, la onda de corriente y de voltaje sufrirán cambios en magnitud y forma de onda.



**Figura 1.8.- Representación de la incidencia de una corriente de rayo en una línea de transmisión y la formación de las ondas de voltaje.**

### 1.1.6 Atenuación y Distorsión de Ondas por Efecto Corona

La atenuación y distorsión de las ondas al viajar por los conductores se debe principalmente a la pérdida de energía, esta pérdida de energía depende de las características del conductor, principalmente de sus dimensiones y su ubicación. El efecto corona es una manera de pérdida de energía a través de ionización alrededor del conductor. Este efecto consiste en la disipación de la energía en el aire, la cual forma una corona conductiva alrededor del conductor y está relacionado directamente con el voltaje y el radio del conductor. El voltaje de iniciación de corona está dado por:

$$V_c = E_c r_c \ln\left(\frac{2h}{r_c}\right)$$

donde :

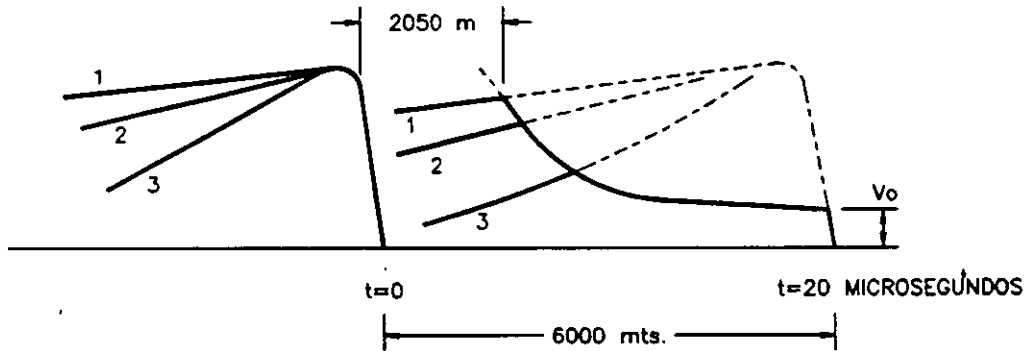
$r_c$  = radio de corona

$h$  = altura del conductor

$E_c$  = esfuerzo dieléctrico en aire para campo eléctrico uniforme ( $3 \times 10^6 \text{ V/m}$ )



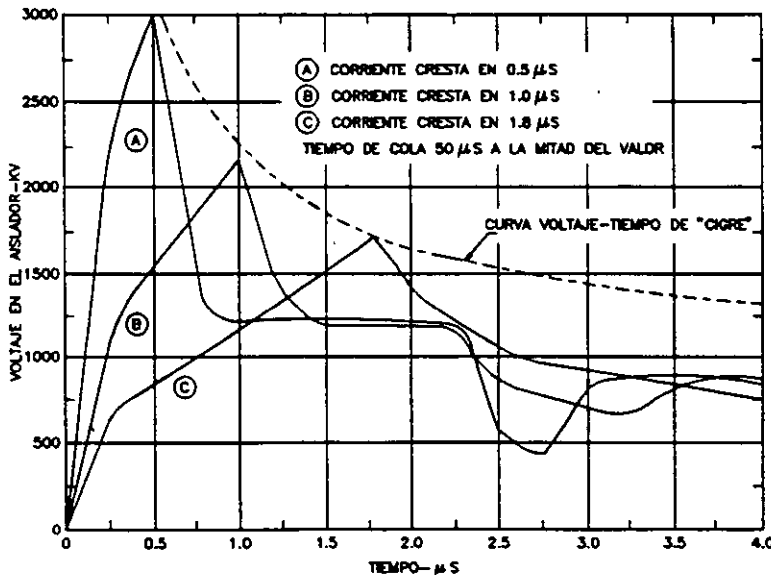
En la **figura 1.9** se muestra la atenuación y distorsión debido a corona para diferentes tiempos de cola de la onda.



**Figura 1.9.- Atenuación y distorsión debido a corona para diferentes tiempos de cola.**

**1.1.7 Características de Flameo de aisladores**

El comportamiento de los aisladores ante esfuerzos eléctricos es bastante complejo, normalmente se define como un fenómeno no lineal con su característica voltaje-tiempo, en la **figura 1.10** se muestra este comportamiento para diferentes frentes de onda de la corriente del rayo.



**Figura 1.10.- Curva Voltaje-tiempo de un aislador con corrientes de rayo con diferentes frentes de onda.**

### 1.1.8 Efectividad de la Protección

Normalmente, la efectividad de la protección contra descargas atmosféricas se evalúa comparando los índices de salidas esperados contra los índices de salida obtenidos, para los diferentes métodos de protección. Por ejemplo, si se espera un índice de salidas de 0.05 por cada 100 kilómetros de línea por año debido a fallas de protección, se tiene que evaluar la operación de la línea durante un año para determinar el índice real de salidas de la línea analizada. Se puede usar la siguiente relación para obtener una evaluación aproximada de la efectividad del esquema de protección contra rayos en líneas de transmisión:

$$E_{prot} = \left(1 - \frac{S_{esp} - S_{prot}}{S_{esp}}\right) \times 100$$

donde :

- $E_{prot}$  = Efectividad de la protección usada
- $S_{esp}$  = Índice de salidas esperado
- $S_{prot}$  = Índice de salidas durante un año de operación con protección

Adicionalmente, en este análisis se puede incluir el costo de operación de la protección,  $C_{oper}$ , con la siguiente relación:

$$C_{oper} = \frac{C_{ssp} - C_{scp}}{C_{prot}} \times 100$$

donde :

- $C_{oper}$  = Costo de operación de la protección usada
- $C_{ssp}$  = Costo de salidas de línea sin protección
- $C_{scp}$  = Costo de salidas de línea con protección durante un año de operación

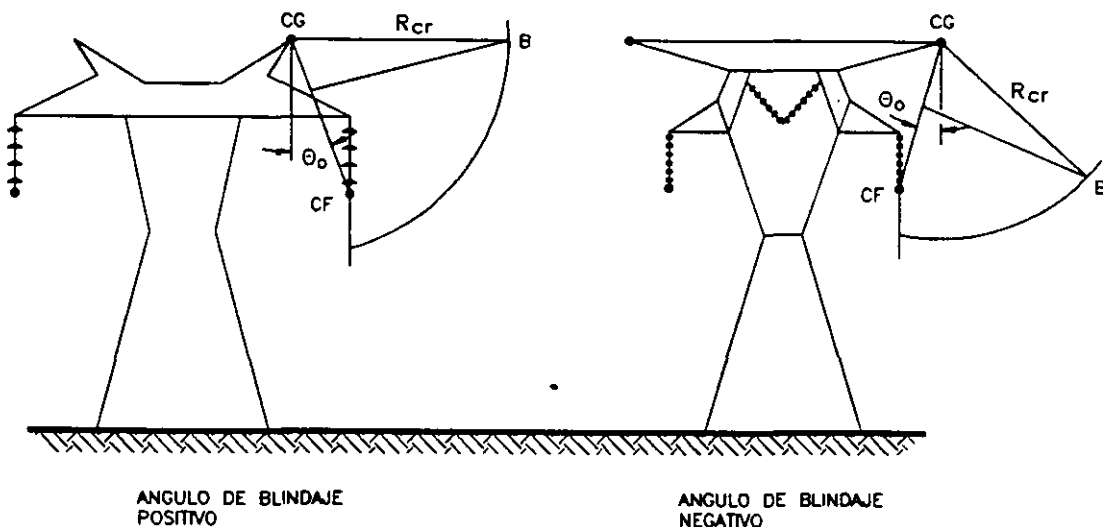
**2****DETERMINACION DEL ANGULO DE BLINDAJE  
PARA OBTENER UN INDICE DE SALIDAS  
DESEADO POR FALLAS DE BLINDAJE****2.1 Angulo de Blindaje****2.2 Falla de Blindaje****2.3 Indices de Salidas de Líneas de Transmisión  
por Fallas de Blindaje**

## 2. DETERMINACION DEL ANGULO DE BLINDAJE PARA OBTENER UN INDICE DE SALIDAS DESEADO POR FALLAS DE BLINDAJE

Uno de los métodos de protección de líneas contra descargas es por medio del blindaje, este método consiste en interceptar las descargas atmosféricas y conducir las a tierra por medio de un conductor conectado a tierra o **hilo de guarda**. El hilo de guarda se instala en la parte más elevada de la torre de transmisión con un ángulo respecto a su línea vertical y el conductor de fase mas externo, conocido como ángulo de blindaje,  $\theta_o$  (**figura 2.1**).

### 2.1 Angulo de Blindaje

La **figura 2.1** muestra la variación del ángulo de blindaje,  $\theta_o$ , de positivo a negativo, al variar la posición del hilo de guarda con respecto a un conductor de fase para un tipo de torre. El objetivo de la selección del número de hilos de guarda y su posición es el de interceptar los rayos y reducir las fallas de blindaje a un número aceptable.



**Figura 2.1.- Variación del ángulo de blindaje para un tipo de estructura de torre. Los ángulos mostrados son positivo (a) y negativo (b).**

## 2.2 Falla de Blindaje

Para la obtención del **índice de fallas por blindaje inapropiado**, FB, se tienen dos alternativas, una es considerando la corriente mínima de incidencia del rayo, obtenida de la curva de probabilidad (3 kA) y la otra alternativa es considerando la corriente mínima del rayo en el conductor de fase que produzca flameo en el aislamiento, obteniendo el **índice de fallas de blindaje que producen flameo**, FBF.

La falla de blindaje se puede definir como el flameo de un aislador debido a la incidencia de un rayo en el conductor de fase en vez de incidir en el hilo de guarda diseñado con cierto ángulo de blindaje, ver el **APENDICE B**, sección B.2.

Adicionalmente, las condiciones para las cuales se producen flameos inversos, como son altos valores de resistencia a tierra y/o bajo nivel del aislamiento, se deben de tomar en cuenta para obtener las bases de un diseño total por descargas atmosféricas. De esta manera se puede considerar un solo hilo de guarda para zonas con baja densidad de rayos a tierra y dos hilos de guarda para zonas con alta densidad de rayos a tierra. Los niveles críticos para los **índices de fallas de blindaje que producen flameos**, FBF, se deja a consideración del diseñador. Por ejemplo para líneas que den servicio a cargas críticas, se puede seleccionar un valor de diseño de **FBF menor o igual a 0.05** fallas de blindaje que producen flameos por cada cien kilómetros de línea por año.

Basado en la formulación del radio crítico de Brown-Whitehead, para condiciones severas y considerando rayos verticales, se puede sugerir el uso de la **figura 2.2** para la selección del ángulo de blindaje. En esta figura se presentan los ángulos de blindaje promedio a medio claro, por lo que los ángulos de blindaje en las torres pueden ser mayores.

Con las curvas de la **figura 2.2** se obtiene el ángulo de blindaje promedio para diferentes valores de diseño de FBF/Ng y se considera terreno plano. En la figura,  $H_g$  es la altura del conductor de guarda y  $H_f$  es la altura del conductor de fase. Los ángulos de blindaje,  $\theta_o$ , se obtienen con las alturas promedio de los conductores en la torre,  $H_T$ , para valores de corriente de 5 y 10 kA, los cuales representan los límites para obtener fallas de blindaje que producirán flameos al rebasar el nivel básico de aislamiento. Estos ángulos de blindaje son promedios tomados a medio claro, por lo que en las torres pueden llegar a tener un valor mayor. También se considera un terreno plano para estos ángulos. Para torres en laderas, el ángulo promedio se obtiene como el valor del ángulo en la gráfica menos el ángulo de inclinación de la ladera. Para el caso de torres en áreas arboladas o con estructuras altas se pueden usar ángulos mayores, ya que el radio de atracción de la tierra se incrementa por las alturas de los árboles y estructuras.

Torres construidas en topes de colinas son más vulnerables debido al aumento del número de rayos, sin embargo los flameos inversos llegan a ser más representativos debido a que la resistencia al pie de la torre tiende a ser mayor en estas áreas.

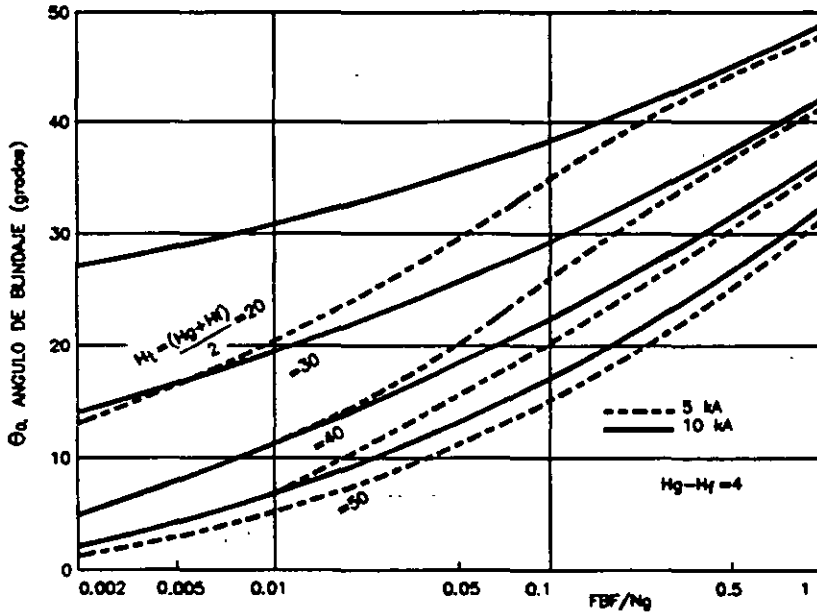
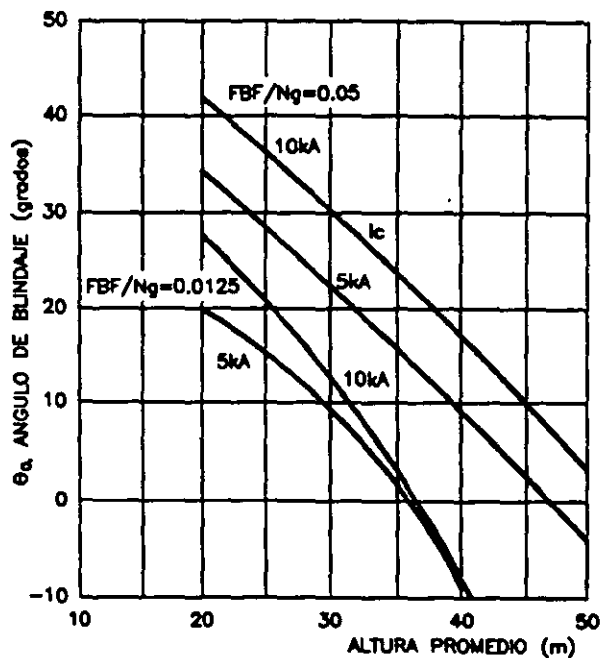


Figura 2.2.- Relación entre valores de diseño de fallas de blindaje que producen flameo/densidad de rayos a tierra ( $FBF/N_g$ ) y ángulo de blindaje promedio considerando terreno plano.

Como ejemplo de aplicación de la gráfica de la figura 2.2, tomemos el tipo de torre de 400 kV (un circuito, suspensión), tipo "A", TOMEXSA, con alturas del conductor de fase de 25.0 m y del hilo de guarda de 33.525 m, se obtiene un valor promedio  $(H_c + H_f)/2 = 29.26$  m, y considerando un valor de diseño de  $FBF = 0.05$  y un  $N_g = 5$ , tenemos que  $FBF/N_g = 0.01$ , para una corriente crítica de 5 kA se obtiene en la curva un valor de ángulo promedio de 11 grados. Si cambiamos el valor de  $N_g$  a un valor de 1, se tiene una relación  $FBF/N_g = 0.05$ , lo que resulta en valor de 21 grados de ángulo de blindaje en la gráfica.

La utilización de ángulos de blindaje negativos es solamente apoyada por los estudios de Deller-Garbagnati, quienes proponen la relación entre la altura promedio de los conductores en la torre  $H_T$  y el ángulo de blindaje  $\theta_o$ , mostrada en la figura 2.3.

Nótese que los ángulos negativos son requeridos para torres con  $H_T$  mayor a 35 m, para garantizar una relación  $FBF/N_g$  del orden de 0.0125, o una de 0.05 para regiones con una  $N_g$  de 4 rayos/km<sup>2</sup>/año.



**Figura 2.3.-** Angulo de blindaje obtenido por el método Dellera-Garbagnati.  
**FBF** = fallas de blindaje que producen flameo,  
 **$N_g$**  = densidad de rayos a tierra

**2.3 Índices de Salidas de Líneas de Transmisión por Fallas de Blindaje**

En esta sección se presentan las relaciones entre el número de salidas por kilómetro de línea por año debidas a fallas por blindaje y el ángulo de blindaje. Estas relaciones se establecen para cada nivel de tensión.

Normalmente se permite un cierto riesgo de falla del blindaje en su diseño, el cual influye en la construcción o modificación de topes o copetes de torres para la instalación del hilo de guarda. El cálculo del índice de salidas de línea se realiza con el modelo electrogeométrico por medio de una computadora. Se tienen resultados, válidos a nivel internacional, en donde se da el número de salidas por año por 100 km de línea en función del ángulo de blindaje, **gráficas de la figura 2.4**. Las gráficas se dan para una densidad de rayos a tierra de 2.0 rayos/km<sup>2</sup>/año ( $T_d = 25$ ), para diferentes alturas promedio del hilo del guarda y diferentes niveles de aislamiento al impulso por rayo. La altura promedio del hilo de guarda se calcula de la manera siguiente:

Para terreno plano:  $H_p = H_g - (2/3) F_g$   
 Para terreno ondulado:  $H_p = H_g$   
 Para terreno montañoso:  $H_p = 2H_g$

donde  $H_p$  es la altura promedio,  $H_g$  es la altura del hilo de guarda y  $F_g$  es la flecha máxima del hilo de guarda.

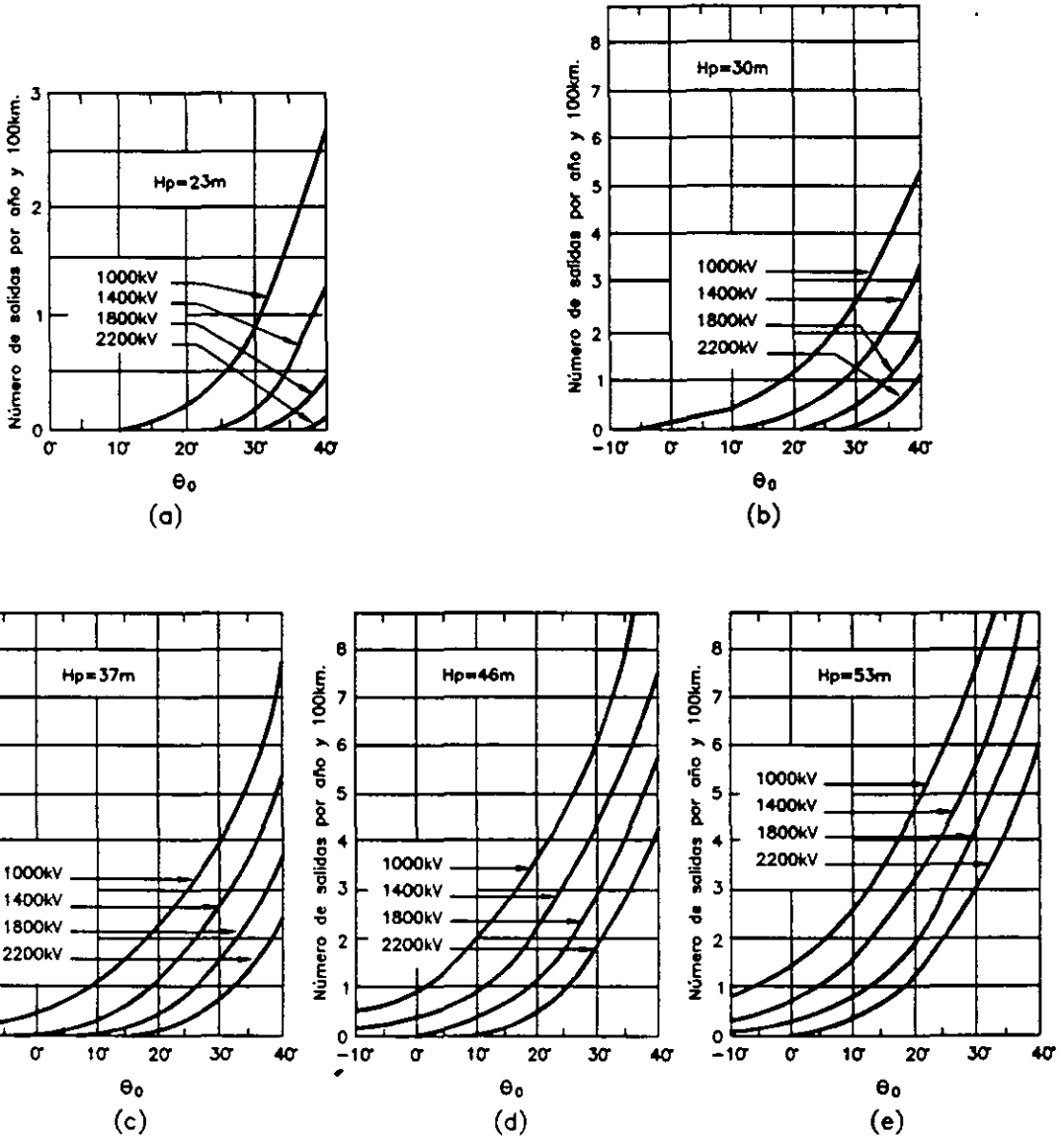


Figura 2.4.- Gráficas del número de salidas en función del ángulo de blindaje.





**3****DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A TIERRA  
PARA OBTENER UN INDICE DE INTERRUPCIONES  
DESEADO POR FLAMEOS INVERSOS****3.1 Flameos Inversos****3.2 Número de Salidas por Flameos Inversos****3.3 Sistemas de Conexión a Tierra, Esquemas  
y Mejoramiento de los Valores de Resistencia****3.3.1 Reducción de Valores de Resistencia de Conexión  
a Tierra en Torres de Transmisión****3.3.2 Métodos de Mejoramiento****3.3.3 Recomendaciones para diferentes  
Resistividades del Terreno**

### 3. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A TIERRA PARA OBTENER UN INDICE DE INTERRUPCIONES DESEADO POR FLAMEOS INVERSOS

El proceso de flameos inversos depende de varios factores, uno de los principales es la resistencia al pie de la torre la cual puede ser diseñada para obtener un índice de fallas por flameos inversos.

#### 3.1 Flameos Inversos

Cuando se tiene una descarga atmosférica en el hilo de guarda se crean ondas transitorias de corriente y voltaje que viajan hacia ambos lados del conductor, como se mostró en la figura 1.8. Al llegar la onda a un punto de cambio de impedancia, como lo es una torre, se producen ondas reflejadas y transmitidas en la punta de la torre; estas ondas crean diferencias de potencial en los aislamientos entre los conductores de tierra y conductores de fase, en diferentes puntos de la línea, estos puntos pueden ser a lo largo del claro o en los aisladores sostenidos en las torres. En el caso de que este potencial exceda los potenciales del aislamiento se producirán flameos entre las estructuras y conductores de fase, estos flameos se denominan flameos inversos. En la figura 3.1 se muestra el concepto general de flameos inversos.

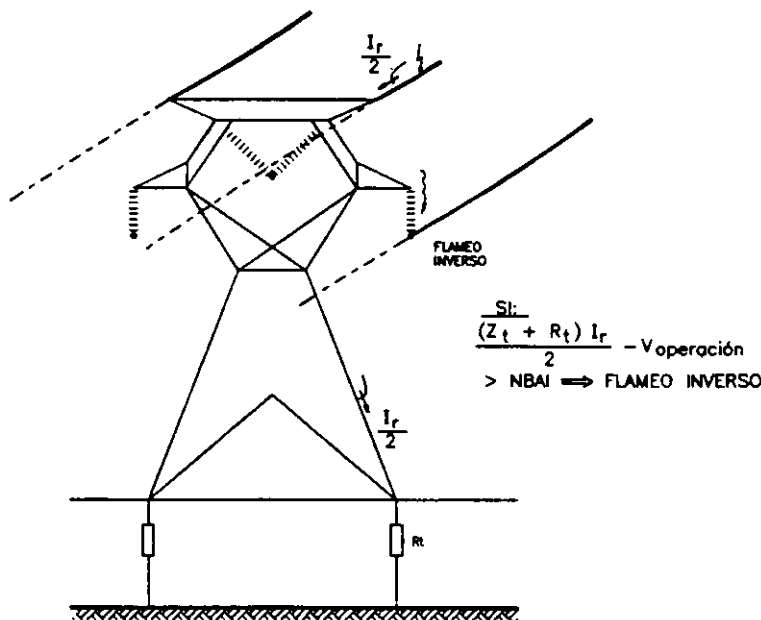


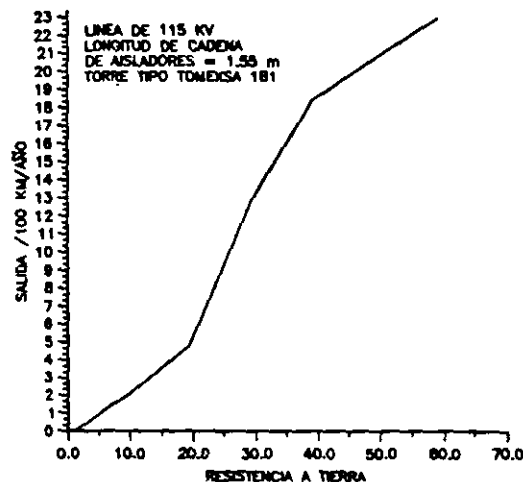
Figura 3.1.- Concepto general de flameos inversos.

Los flameos inversos en las torres son los más frecuentes. Por lo que para el diseño de protección por flameos inversos se deben considerar problemas por flameos inversos en las torres, despreciando los flameos inversos en los claros de las líneas. En general el flameo inverso es influenciado por los factores siguientes:

- Distancias conductor-conductor y conductor-estructura
- Longitud de claro entre torres
- Número de hilos de guarda y su posición
- Geometría de la estructura
- Resistencia de conexión a tierra de la torre
- Punto de incidencia del rayo
- Distribución de amplitudes de corrientes de rayo y formas de onda
- Densidad de rayos a tierra de la zona
- Tensión de operación de la línea

### 3.2 Número de Salidas por Flameos Inversos

Para la obtención del número de salidas por flameos inversos se consideran todos los parámetros anteriores, los cuales se varían de acuerdo a sus distribuciones de probabilidad. Los parámetros mencionados se usan en un programa de computadora para realizar el análisis y calcular el número de salidas por flameo inverso. En todos los análisis obtenidos se consideró un valor de  $N_0 = 2.0$  rayos/km<sup>2</sup>/año (consistentes con los resultados mostrados en la figura 2.4). En la **figura 3.2** se muestran los resultados de estos cálculos para el nivel de tensión de 115 kV y el tipo de torre 1B1 (TOMEXSA), usada en C.F.E.



**Figura 3.2.- Número de salidas por flameos inversos vs. resistencia de conexión a tierra para una torre de transmisión de 115 kV usada en C.F.E.**

En las **figuras 3.3** y **3.4** se muestran familias de curvas para obtener un índice de salidas por flameos inversos con determinada resistencia de conexión a tierra. En la **figura 3.3** se muestran para un nivel de tensión de 230 kV y en la **figura 3.4** se muestran para un nivel de tensión de 400 kV y para algunos tipos de torres de líneas de transmisión usadas en C.F.E.

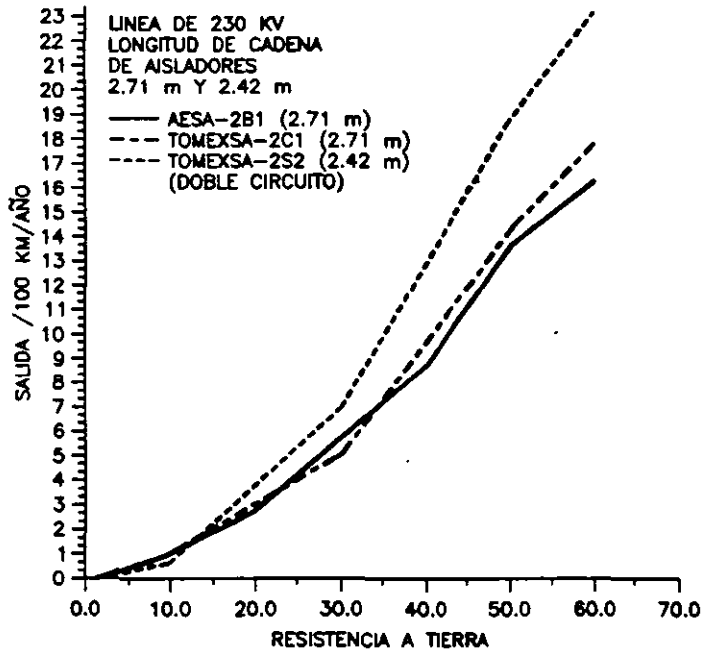


Figura 3.3.- Número de salidas por flameos inversos vs. resistencia de conexión a tierra para torres de transmisión de 230 kv usadas en C.F.E.

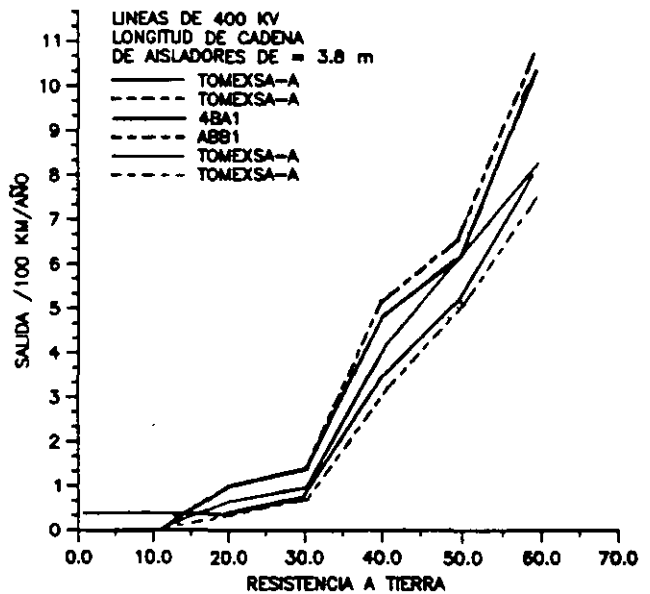
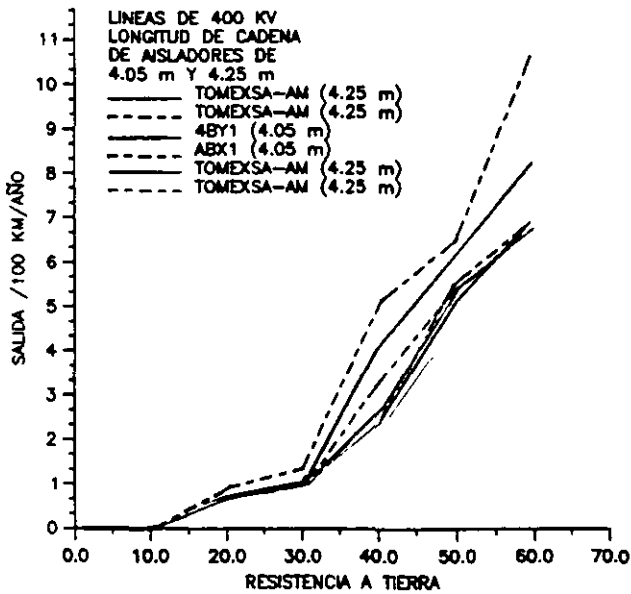


Figura 3.4.- Número de salidas por flameos inversos vs. resistencia de conexión a tierra para torres de transmisión de 400 kv usadas en C.F.E.

### 3.3 Sistemas de Conexión a Tierra, Esquemas y Mejoramiento de los Valores de Resistencia

Las funciones básicas de un sistema de conexión a tierra se pueden resumir en:

- 1) Proveer de una baja resistencia de dispersión de la corriente a tierra para:
  - a) Evitar daños por sobretensiones que se presenten por descargas atmosféricas o maniobras.
  - b) La descarga a tierra de dispositivos de protección (contra sobretensiones atmosféricas o internas)
  - c) Camino a tierra de corrientes de falla
  - d) Conectar los sistemas que usen neutro común aterrizado (más comunes)
  - e) Asegurar que las partes metálicas de los sistemas o equipos se encuentren al mismo potencial de tierra. Esto para protección de personal.
- 2) Disipar y resistir repetidamente las corrientes de falla y de las descargas atmosféricas.

Las **características** de los sistemas de conexión a tierra deben ser:

- a) Tener una resistencia a la corrosión en suelos de variada composición química, de manera que se asegure un comportamiento continuo durante la operación del equipo a proteger.
- b) Tener buenas propiedades de resistencia mecánica.
- c) El diseño de la red de tierras debe ser económico.

Uno de los elementos principales en una instalación de red de tierras es el electrodo de puesta a tierra. La resistencia del electrodo de puesta a tierra, llamado también varilla de tierra, tiene tres componentes:

- Una es su propia resistencia, la cual puede ser despreciable para efectos de cálculo. Pero las conexiones entre electrodo y conductor de bajada pueden llegar a tener una resistencia considerable con el tiempo.
- La resistencia de contacto entre electrodo y suelo, cuando el electrodo está libre de grasa o pintura, es despreciable. Sin embargo la resistencia de contacto puede aumentar significativamente en terrenos secos, aumentando

rápidamente cuando el contenido de humedad disminuye por debajo de un 15%.

- Resistividad del terreno alrededor del electrodo. Introduciendo un electrodo en un terreno uniforme, la corriente se dispersará uniformemente alrededor del electrodo. La resistividad del terreno varía ampliamente según su composición y zonas climáticas, también varía estacionalmente, debido a que la resistividad se determina en gran proporción por el contenido de electrolito, consistente de agua, minerales y sales. Adicionalmente también varía con la temperatura. Algunos valores típicos de resistividades de suelos se resumen en la siguiente **tabla 3.1**.

**Tabla 3.1.- Valores típicos de resistividad en diferentes tipos de suelos.**

TIPO DE SUELO	RESISTIVIDAD ( $\Omega$ -m)
Suelo de superficie, greda, etc	1 - 50
Arcilla	2 - 100
Arena y grava	50 - 1,000
Piedra caliza de superficie	100 - 10,000
Piedra caliza	5 - 4,000
Esquisto o pizarra	5 - 100
Piedra arenisca	20 - 2,000
Granito, basalto	1,000

### 3.3.1 Reducción de Valores de Resistencia de Conexión a Tierra en Torres de Transmisión

Debido a que el valor de resistencia de conexión a tierra se ve afectado por las características del terreno, arreglos de las varillas de tierra y las conexiones entre ellas, los métodos de mejoramiento de los valores de resistencias de conexión a tierra en torres de transmisión hacen uso de los puntos mencionados anteriormente. Para las características del terreno se usan métodos para disminuir la resistividad del terreno por medio de sales o productos químicos. Con los arreglos de varillas de tierra se recomiendan tanto número como disposición de varillas para disminuir la resistencia de conexión para ciertas resistividades de terreno. Y por último, se recomiendan tipos de uniones para asegurar que las conexiones no pierdan sus características.

### 3.3.2 Métodos de Mejoramiento

A continuación se enumeran algunos de los métodos usados para reducir o mejorar los valores de conexiones a tierra:

**1) Electrodo profundos.**- Cuando el terreno es penetrable se puede usar este método para mejorar el valor de resistencia de tierra. A mayor profundidad se tienen mejores valores de resistividad del terreno, especialmente en terrenos donde se tienen los mantos freáticos no muy profundos. Debido a las longitudes de electrodos y los métodos para enterrar las varillas, este método puede resultar antieconómico y muy poco práctico.

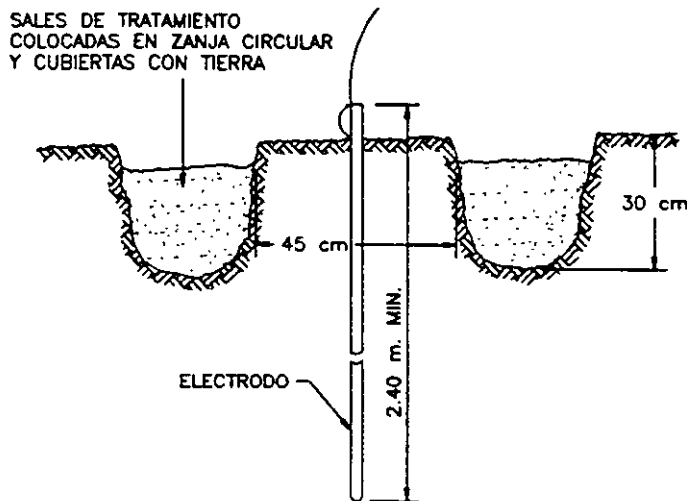
**2) Electrodo múltiples en paralelo.**- Cuando se tienen valores de la resistividad del terreno de las capas superiores más baja que la de las capas más profundas o en casos donde no se puedan obtener las profundidades adecuadas de las varillas de tierra, se recomienda el uso de dos o más electrodos en paralelo.

**3) Contraantenas.**- En terrenos donde no es posible la penetración de varillas teniéndose un manto delgado de suelo sobre subsuelo de roca, se recomienda el uso de conductores enterrados a baja profundidad a lo largo de zanjas construidas específicamente para contener al conductor.

**4) Hormigón armado.**- El hormigón armado puede considerarse como electrodo metálico inmerso en un medio razonablemente homogéneo (el hormigón), cuya resistividad está en el orden de los 30  $\Omega$ -m. El hormigón, a su vez está inmerso en el terreno, cuya resistividad puede variar desde 1 hasta 1,000  $\Omega$ -m. La relación de resistividades de hormigón y terreno determina la resistencia de dispersión a tierra resultante.

**5) Reducción de la resistividad del suelo mediante procedimientos artificiales.**- En algunos terrenos con alta resistividad, las prácticas de los métodos resumidos anteriormente pueden resultar prácticamente imposibles de aplicar para obtener valores de resistencia de conexión a tierra aceptables. En estos casos puede resultar aceptable el uso de procedimientos para reducir artificialmente la resistividad del terreno que circunda al electrodo de tierra. Los métodos más usados se resumen a continuación :

**5.1 Agregado de sales simples.**- Un método simple de tratamiento químico de suelos es mediante sales. Esta se dispersa en una zanja alrededor del electrodo de tierra formando un círculo y tapada con tierra, sin llegar a tener contacto directo con el electrodo, como se muestra en la **figura 3.5**. El sulfato de magnesio, el sulfato de cobre y la sal común (cloruro de sodio), son sales que pueden utilizarse para este propósito. Una de las desventajas de este método es la degradación que existe durante las lluvias, que drenan la sal a través de la porosidad del suelo y la corrosión de la varilla. Por lo que este método no se recomienda.



**Figura 3.5.- Agregado de sales simples en zanja alrededor del electrodo de tierra.**

**5.2 Agregado de coque.-** La resistividad del coque es de aproximadamente  $1.3 \Omega\text{-m}$  y además es independiente del contenido de humedad, pero al colocarse en el terreno se hace dependiente de la humedad debido al resto del terreno. Una de las desventajas del uso del coque y de la sal es su efecto corrosivo, el cual disminuye la vida del electrodo de tierra.

**5.3 Aporte de sales "gel".-** Este método consiste en irrigar el terreno con dos o más sales combinadas con una solución acuosa y acompañadas de catalizadores que reaccionan entre sí formando un precipitado en forma de "gel" estable, con una elevada conductividad eléctrica. Esta mezcla es resistente a los ácidos del terreno y es insoluble en agua, lo que le da al método un mayor tiempo de permanencia.

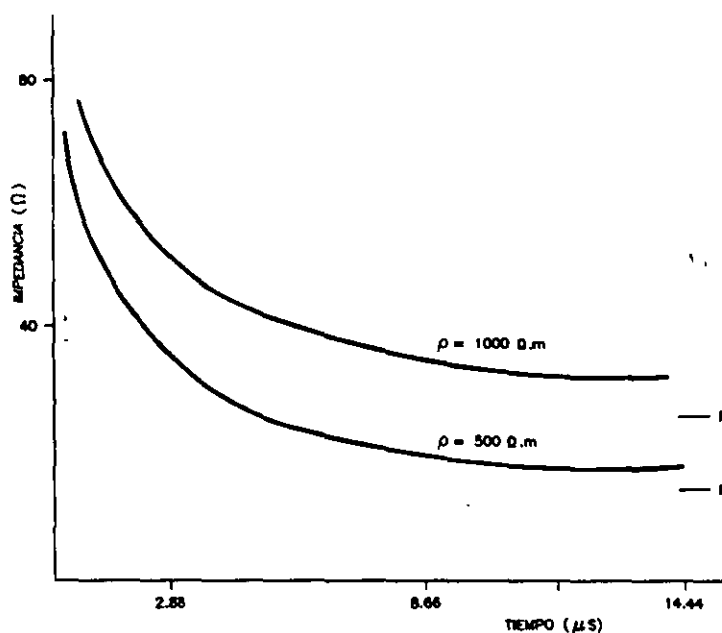
**5.4 Inyección de bentonita.-** Este método consiste en el uso de la bentonita en grietas naturales formadas alrededor del electrodo de tierra o formando una capa alrededor de este. La bentonita es un mineral de composición compleja, básicamente arcilla de notables características higroscópicas, un buen conductor de electricidad y que además protege al electrodo de la corrosión.

### 3.3.3 Recomendaciones para diferentes Resistividades del Terreno

Los métodos básicos de conexiones de tierra en líneas de transmisión son: a) el uso de varillas de conexión de tierra de 19 mm de diámetro y 3 metros de longitud, enterradas verticalmente, interconectadas con longitudes cortas de conductores y unidas a las patas de las estructuras y b) el uso de contraantenas, las cuales consisten de uno o varios conductores enterrados horizontalmente en zanjas de 30 cm de profundidad y unidos a las patas de la estructura.



Desde el punto de vista práctico el método más usado para reducir el valor de resistencia a tierra es el uso de contraantenas. Estas se recomiendan usar en casos en que la resistividad del terreno sea mayor a 200  $\Omega$ -m. Estas se caracterizan por una impedancia inicial entre 150 y 200 Ohms (impedancia característica). Su comportamiento al impulso de rayo presenta esta impedancia inicial que disminuye exponencialmente después de un tiempo aproximado a 1  $\mu$ s, como se muestra en la **figura 3.6**. Después de este tiempo la impedancia decrece a valores de la resistencia de conexión a tierra en estado estable. Este comportamiento al impulso de la impedancia nos da las longitudes máximas efectivas para el diseño de contraantenas, por ejemplo, si consideramos una contraantena de 50 m de largo (considerando un tiempo de viaje de la onda de corriente del rayo de 300 m/ $\mu$ s), se tiene que en 1  $\mu$ s la onda viajará 300 m, 6 veces la longitud de la contraantena.



**Figura 3.6.- Comportamiento al impulso de la impedancia de contraantenas.**

Del comportamiento descrito anteriormente, la longitud de las contraantenas se puede limitar a valores característicos dependientes de la resistividad del terreno. En la **figura 3.7** se muestra la relación entre la longitud eficaz de contraantenas y resistividad del terreno.

La longitud eficaz de contraantenas deberá estar comprendida entre 20 y 70 m y su multiplicidad entre 2 y 4.

El uso de contraantenas en torres de transmisión se puede resumir con la recomendaciones mostradas en la **tabla 3.2 y figuras 3.8 y 3.9**.

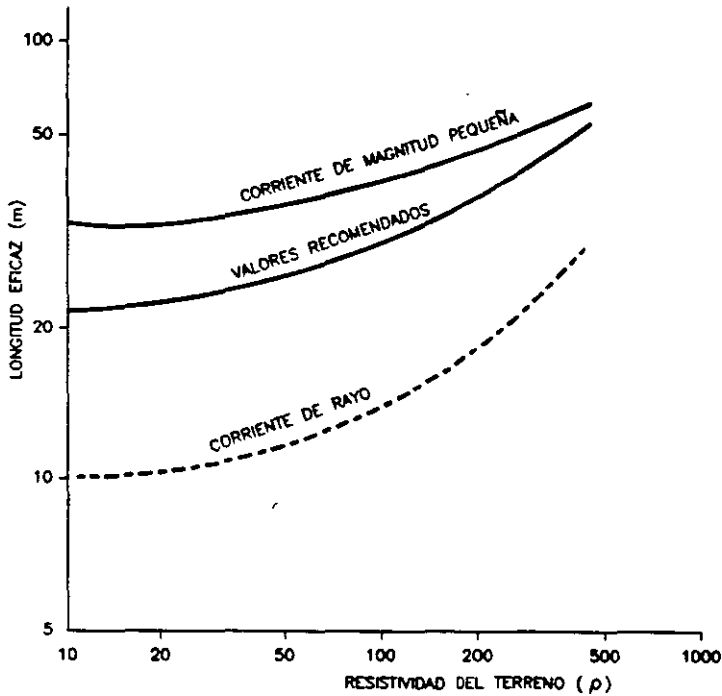
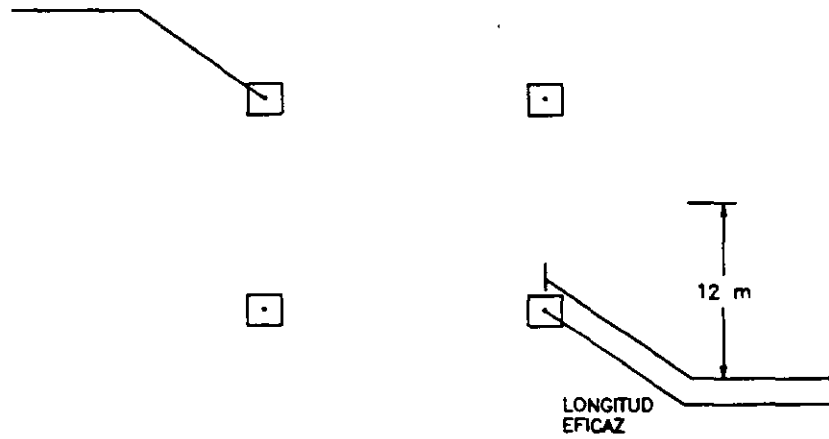


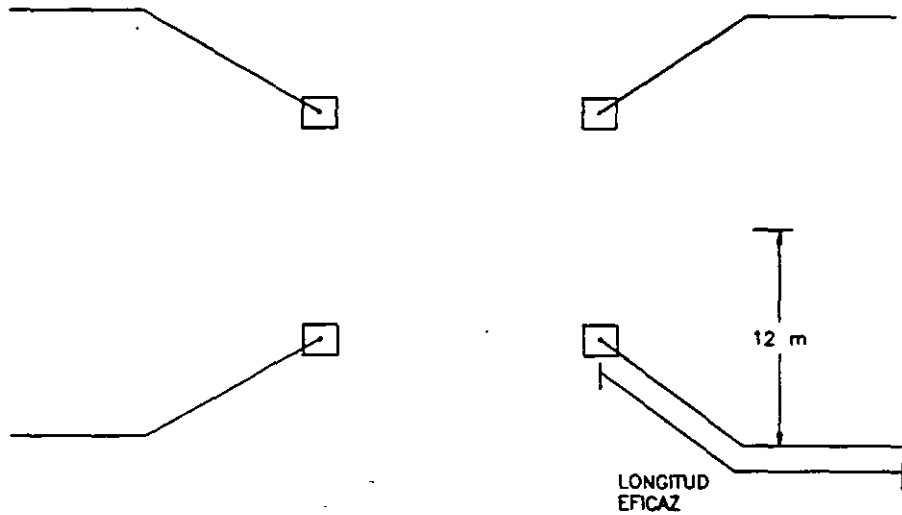
Figura 3.7.- Relación entre la longitud eficaz de contraantenas y resistividad del terreno.

Tabla 3.2.- Configuraciones de contraantenas para diferentes resistividades del terreno.

RESISTIVIDAD DEL TERRENO (Ω-m)	CONFIGURACION DE CONTRAANTENA
<300	Dos contraantenas de 30 m de longitud en patas opuestas (ver fig. 3.8)
300 - 500	Dos contraantenas de 45 m de longitud en patas opuestas (ver fig. 3.8)
500 - 1000	Cuatro contraantenas de 30 m de longitud (ver fig. 3.9)
1000 <	Cuatro contraantenas de 50 m de longitud (ver fig. 3.9)



**Figura 3.8.- Configuración de dos contraantenas.**



**Figura 3.9.- Configuración de cuatro contraantenas.**

Estas recomendaciones dan un enfoque general de las conexiones de tierra en las torres de transmisión, la solución para cada línea dependerá del nivel de confiabilidad deseado, la variación de la resistividad del terreno a lo largo de la línea y de la densidad de rayos a tierra.

4

## **DETERMINACION DE LA LONGITUD DE LA CADENA DE AISLADORES EN AREAS CON DETERMINADA DENSIDAD DE RAYOS A TIERRA**

**4.1 Distancia Conductor-apoyo**

**4.2 Determinación de la Longitud de la Cadena de Aisladores**

## 4. DETERMINACION DE LA LONGITUD DE LA CADENA DE AISLADORES EN AREAS CON DETERMINADA DENSIDAD DE RAYOS A TIERRA

La **distancia de fuga** de un aislador debe escogerse de acuerdo a la operación con la tensión de servicio y de acuerdo a las condiciones que imponga el índice de contaminación de la zona.

La **longitud de la cadena de aisladores**, para un riesgo de falla dado, se debe diseñar para soportar los voltajes a los que se verá sometido. En el diseño se consideran aspectos económicos y de construcción, por ejemplo, para obtener un índice de fallas igual a cero en una línea de transmisión, implicaría longitudes grandes de aislamiento debido a los altos potenciales que se producen por descargas directas a las fases. Por otro lado, la protección contra rayos directos a la línea se puede diseñar con el uso de hilos de guarda o blindaje de la misma.

### 4.1 Distancia Conductor-apoyo

Se pueden tener dos casos de distancias conductor apoyo dependiendo del tipo de arreglo de la cadena de aisladores; en el primer caso se tiene la distancia constante o geometría fija, en el cual se usa una disposición de la cadena de aisladores en "V", y en el segundo caso se tiene la geometría variable, en el que se usa la cadena de aisladores en arreglo vertical. Las **figuras 4.1(a)** y **4.1(b)** muestra los dos tipos de geometría, la fija y la variable respectivamente.

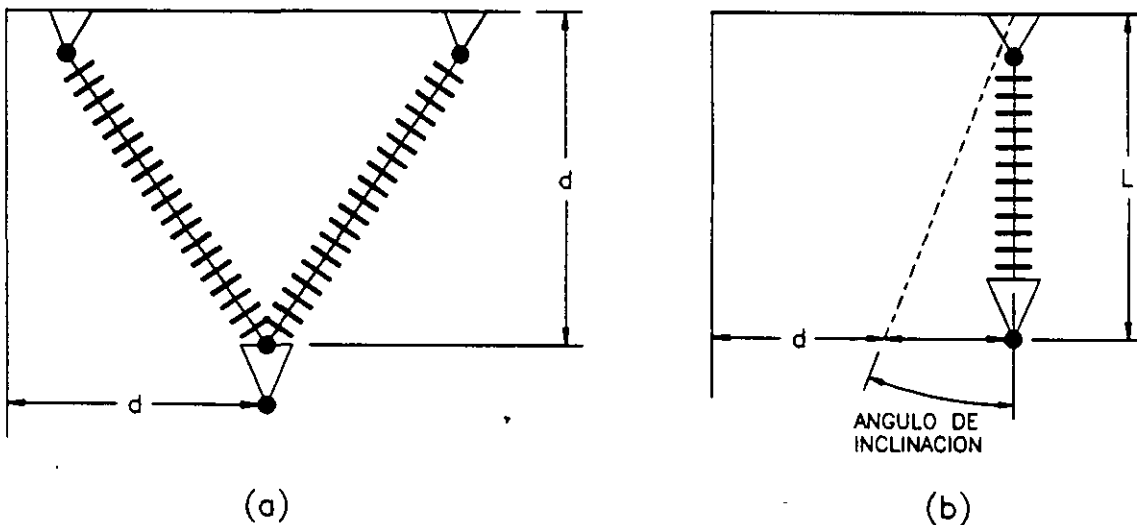


Figura 4.1.- Distancias conductor-apoyo: a) para aisladores de geometría fija y b) de geometría variable

Para el caso de distancias conductor-apoyo del arreglo vertical de la cadena de aisladores o de geometría variable, se consideran ángulos de oscilación de la cadena de aisladores debido a la acción del viento sobre los conductores. Se considera una presión del viento de  $25 \text{ kg/m}^2$  para conductores de diámetro superior a  $16 \text{ mm}$  y de  $30 \text{ kg/m}^2$  para diámetros inferiores a  $16 \text{ mm}$ . El ángulo de inclinación total obtenido por la acción del viento y por la de su propio peso, para claros promedios y diámetros de conductores normalmente en uso son:

- Para líneas de  $115 \text{ kV}$  :  $50^\circ$
- Para líneas de  $230 \text{ kV}$  :  $45^\circ$
- Para líneas de  $400 \text{ kV}$  :  $40^\circ$

## 4.2 Determinación de la Longitud de la Cadena de Aisladores

Para el cálculo de distancias se toma un factor de 1.05 veces la distancia de fase a tierra por herrajes. El voltaje de arqueo entre conductores y estructuras depende de la geometría de los electrodos o elementos que intervienen y su distancia en aire. El voltaje de arqueo en aire de algunas geometrías de electrodos se puede relacionar con la característica del voltaje de arqueo en aire de electrodos de referencia por medio del factor  $K$ , el cual caracteriza al voltaje de arqueo en aire del arreglo geométrico de los electrodos. En la **tabla 4.1** se dan los valores de factores  $K$  para diferentes configuraciones de electrodos en aire y para cada tipo de voltaje ( $k_n$  para voltaje a frecuencia nominal,  $k_m$  para maniobra y  $k_r$  para impulso de rayo).

El voltaje de arqueo para impulsos de rayo se puede obtener con la siguiente formulación como una aproximación:

$$V_{ag}(d) = K_r d$$

donde:

- $V_{ag}$  = es el voltaje de arqueo en aire entre electrodos varilla-plano
- $K_r$  = factor de electrodo en aire
- $d$  = es la distancia en aire entre electrodos

y para sobrevoltaje por maniobras como:

$$V_{ag}(d) = K_m \left( \frac{3400}{1 + \frac{8}{d}} \right)$$

para el cálculo a frecuencia nominal el factor  $K_m$  en la ecuación anterior se sustituye por  $K_n$  obtenido en la **tabla 4.1**.

Para efecto de cálculos se presenta la tabla 4.2 con los valores de niveles básicos de aislamiento al impulso (NBAI) y por maniobra (NBAM), para los diferentes niveles de tensión transmisión.

**Tabla 4.1.- Valores de los factores  $K_n$ ,  $K_m$  y  $K_r$  para diferentes configuraciones de entrehierros**

Configuración de entrehierros	Diagrama	$K_n$	$K_m$	$K_r$
Fase-torre		1.40	1.25	550
Fase-ventana de torre		1.30	1.20	550
Conductor-suelo		1.30	1.10	550
Conductor-objeto		1.45	1.35	550
Varilla-plano		1.20	1.00	480
Conductor-conductor		1.65	1.50	550
Entre anillos (equipotenciales) de conductores		-	1.60	550

**Tabla 4.2.- Niveles básicos de aislamiento por impulso tipo rayo, NBAI y niveles básicos de aislamiento por impulso tipo maniobra, NBAM, de fase a tierra y de fase a fase y distancias mínimas de fase a fase y de fase a tierra, para diferentes niveles de tensión de transmisión.**

Tensión nominal kV	Tensión máxima kV	NBAI fase-tierra kV	NBAM fase-tierra kV	NBAI fase-fase kV	NBAM fase-fase kV	Distancia fase-tierra mm	Distancia fase-fase mm
4.4	4.4	75	-	75	-	120	120
6.9	7.2	95	-	95	-	160	160
13.8	15.5	110	-	110	-	220	220
24.	26.4	150	-	150	-	320	320
34.5	38.	200	-	200	-	480	480
69.	72.5	350	-	350	-	630	630
115.	123.	450 550	-	450 550	-	900 1100	900 1100
138.	145.	450 550 650 550	-	550 650 650 650	-	1100 1300 1100	1100 1300 1300
161.	170.	650 750	-	650 750	-	1300 1500	1500
230	245	650 750 850 950 1050	-	750 850 950 1050 1125	-	1300 1500 1700 1900 2100	1500 1700 1900 2100 2250
400.	420.	1050 1175 1300 1425	950 950 1050	-	1425 1550	2200 <sup>2</sup> , 2900 <sup>3</sup> 2600 <sup>2</sup> , 3400 <sup>3</sup>	3100, 3200 3500, 4100

- 1 Presión barométrica de 760 mm de Hg y temperatura de 20°C
- 2 Para configuraciones conductor-estructura
- 3 Para configuración asimétrica



## 5

## **DETERMINACION DE LA DISTANCIA ESPECIFICA DE FUGA DE CADENA DE AISLADORES EN FUNCION DE LOS TIPOS Y NIVELES DE CONTAMINACION**

- 5.1 Fenómeno de Flameo en Aisladores debido a Contaminación**
- 5.2 Relación entre los Niveles de Contaminación y las Distancias Específicas de Fuga Mínimas Nominales**
  - 5.3 Distancia Específica de Fuga Mínima Nominal en Función del Nivel de Contaminación**
- 5.4 Determinación del Número de Aisladores de una Cadena en Función de la Distancia Específica de Fuga**
  - 5.5 Distancias Específicas de Fuga con Diferentes Opciones de Aislamiento**
- 5.5 Alternativas para Evitar el Flameo en Aisladores debido a Contaminación**

## 5. DETERMINACION DE LA DISTANCIA ESPECIFICA DE FUGA DE CADENA DE AISLADORES EN FUNCION DE LOS TIPOS Y NIVELES DE CONTAMINACION

---

La contaminación del aislamiento consiste en el depósito paulatino de partículas contaminantes sobre su superficie. Cuando la contaminación en el aislador se ve sujeta a procesos de humectación por niebla, rocío o una llovizna muy ligera, dependiendo del tipo de partículas, se llegan a reducir las distancias dieléctricas del aislamiento provocando el flameo.

### 5.1 Fenómeno de Flameo en Aisladores debido a Contaminación

El flameo por contaminación es un fenómeno dinámico que se presenta en varias etapas. En las figuras 5.1a y b, se muestran en forma esquemática estas etapas.

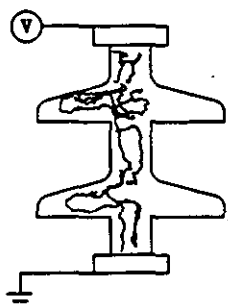
### 5.2 Relación entre los Niveles de Contaminación y las Distancias Específicas de Fuga Mínimas Nominales

De acuerdo a la norma IEC-815, se definen cualitativamente 4 niveles de contaminación. Estos niveles de contaminación se han correlacionado, a través de pruebas en laboratorio, con algunos valores de **Densidad Equivalente de Sal Depositada (DESD)**.

El alcance de la norma IEC-815, para la aplicación del criterio de la distancia específica de fuga, considera a aisladores tipo "long-rod", aisladores de calavera y bola, aisladores tipo poste, aisladores para subestación y boquillas. No se incluye todo tipo de aislamiento con vidriado semiconductor o recubierto. En la **tabla 5.1**, se muestra la relación que existen entre algunos ambientes típicos y los niveles de contaminación establecidos en la publicación IEC-815.

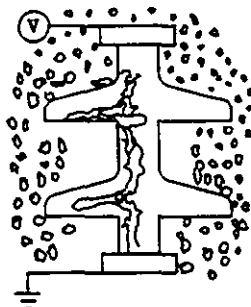
De la **tabla 5.1** es conveniente destacar tres aspectos:

- a) Solamente se da una descripción general de los ambientes típicos.
- b) No se incluyen otras condiciones ambientales extremas como hielo y nieve en ambientes con contaminación alta, zonas áridas o zonas con altos niveles de precipitación pluvial.
- c) Los ambientes típicos pueden estar más identificados con localidades de Europa y Norteamérica.

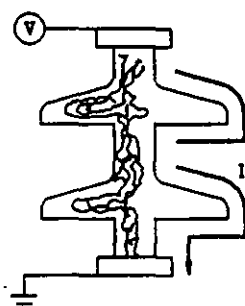


Formación de capa o película contaminante sobre la superficie del aislamiento. La formación de la capa depende de:

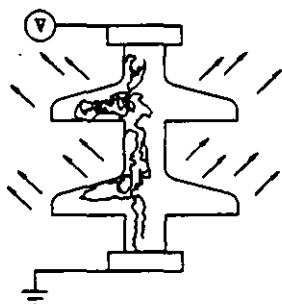
- Tamaño y composición de las partículas
- Fuerzas sobre las partículas
- Acabado superficial del aislamiento
- Propiedades aerodinámicas del aislamiento.



Humectación de la película contaminante por procesos naturales como la niebla, rocío o una llovizna ligera

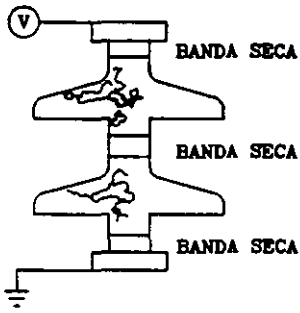


Circulación de corriente de varios microamperes a través de superficies contaminadas húmedas las cuales actúan como medios electrolíticos.

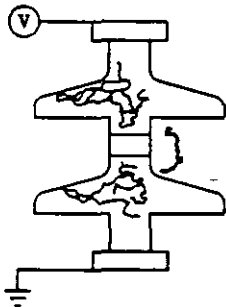


Disipación de energía por efecto Joule ( $I^2R$ ) por circulación de corriente, se manifiesta con la evaporación de zonas húmedas. Donde la circulación de corriente es mayor la evaporación es mayor.

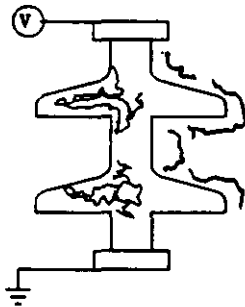
Figura 5.1a.- Procesos de formación de flameo por contaminación de un aislador.



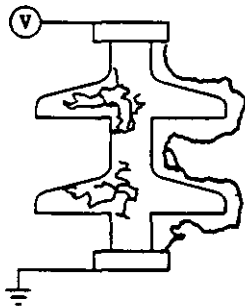
Formación de zonas o bandas secas en donde hubo mayor evaporación de humedad, estas zonas presentan una alta resistencia eléctrica. Se presentan elevados gradientes de voltaje en los extremos de las bandas secas debido a la tensión nominal.



Formación de descargas eléctricas (efluvios) en la superficie del aislamiento, debido a los esfuerzos eléctricos concentrados en los extremos de las bandas secas. Estas descargas implican picos de corriente que pueden mantener o provocar la formación de otras bandas secas.



La formación de otras bandas secas favorecen la creación de nuevas descargas eléctricas superficiales.



Aparición de un arco de potencia cuando las descargas llegan a encadenarse. Esto implica la circulación de una corriente de varios kiloamperes.

Figura 5.1b.- Procesos de formación de flameo por contaminación de un aislador.

Tabla 5.1. Relación de ambientes típicos y niveles de contaminación

NIVEL DE CONTAMINACION	EJEMPLOS DE AMBIENTES TIPICOS
I LIGERA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Areas sin industrias y con baja densidad de casas equipadas con calefacción.</li> <li>- Areas con baja densidad de industrias o casas pero sujetas a frecuentes vientos y/o lluvias.</li> <li>- Areas agrícolas<sup>1</sup>.</li> <li>- Areas montañosas.</li> </ul> <p>Todas estas áreas deben estar situadas por lo menos a 10 o 20 km del mar y no deben estar expuestas a vientos directos del mar<sup>2</sup>.</p>
II MEDIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Areas con industrias que no producen humo particularmente contaminante y/o con una densidad promedio de casas equipadas con calefacción.</li> <li>- Areas con alta densidad de casas y/o industrias pero sujetas a frecuentes vientos y/o lluvias.</li> <li>- Areas expuestas a vientos del mar pero no demasiado cerca de la costa (por lo menos varios kilómetros de distancia)<sup>2</sup>.</li> </ul>
III ALTA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Areas con alta densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con alta densidad de equipos de calefacción que producen contaminación.</li> <li>- Areas cercanas al mar o expuestas a fuertes vientos del mar<sup>2</sup>.</li> </ul>
IV MUY ALTA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Areas de extensión moderada sujetas a polvos conductores y a humos industriales que producen gruesos depósitos de polvos conductores.</li> <li>- Areas de extensión moderada muy cercanas a la costa y expuestas a la brisa del mar o a vientos contaminantes y muy fuertes provenientes del mar</li> <li>- Areas desérticas caracterizadas por grandes periodos sin lluvia, expuestas a vientos muy fuertes que llevan arena y sal y sujetas a condensación regular.</li> </ul>

1 El uso de fertilizantes por aspersión o la quema de residuos de cosechas puede llevar a estas áreas a niveles de contaminación altos, debido a la dispersión por vientos.

2 La distancia al mar depende de la topografía del área costera y de las condiciones extremas de viento.

### 5.3 Distancia Específica de Fuga Mínima Nominal en Función del Nivel de Contaminación

La **distancia de fuga** de un aislador es la distancia más corta, o la suma de las distancias más cortas, a lo largo del contorno de las superficies externas del material aislante (porcelana, vidrio templado, etc.)<sup>1</sup>.

La distancia específica de fuga de fase a fase o de fase a tierra, se define como la relación entre la distancia de fuga total del aislamiento y el voltaje máximo fase a fase del sistema o de fase a tierra, respectivamente.

Para la selección primaria y adecuada del número de aisladores de porcelana o vidrio templado, que se utilizarán en cadenas expuestas a ambientes contaminados, en la publicación IEC-815 se considera que la **distancia específica de fuga** de la cadena debe ser igual o mayor a la **distancia específica de fuga mínima nominal** para cada nivel de contaminación. En la **tabla 5.2** se muestran los valores de la distancia específica de fuga mínima nominal, así como los valores de DESD asociados para cada nivel de contaminación, de acuerdo con la publicación IEC-815..

**Tabla 5.2.- Relación de las distancias de fuga mínima nominal y valores de DESD para cada nivel de contaminación.**

NIVEL DE CONTAMINACION	DESD (mg/cm <sup>2</sup> ) ASOCIADA DE ACUERDO A IEC- 815 <sup>2</sup>	DISTANCIA ESPECIFICA DE FUGA MINIMA NOMINAL <sup>3</sup> (mm/kV)	
		FASE - FASE	FASE - TIERRA
I. LIGERA	0.03 - 0.06	16	28
II. MEDIA	0.10 - 0.20	20	35
III. ALTA	0.30 - 0.60	25	43
IV. MUY ALTA <sup>4</sup>	> 0.80 <sup>5</sup>	31	54

1 En la especificación CFE 52200-02 de 1995, se menciona que, en el caso de aisladores de suspensión de porcelana o vidrio templado, la distancia medida sobre la superficie del cemento no debe considerarse como parte de la distancia de fuga.

2 La relación entre el nivel de contaminación y la Densidad Equivalente de Sal Depositada (DESD) en pruebas de contaminación artificial realizadas de acuerdo al método de la capa sólida (niebla limpia) de la norma internacional IEC-507 es válida solamente para aisladores de calavera y bola y para aisladores tipo "long rod".

3 Las experiencias han mostrado que el criterio de la "distancia específica de fuga mínima nominal", el cual implica, ante la contaminación, un compromiso lineal entre el voltaje de aguante y la distancia de fuga, se puede aplicar a casi todos los aisladores usados o existentes en los sistemas eléctricos (IEC 815).

4 En caso de que la contaminación sea sumamente severa, la distancia específica de fuga mínima nominal de 31 mm/kV puede no ser adecuada. Dependiendo de las experiencias en campo y/o de los resultados de las pruebas de laboratorio, se pueden usar valores superiores a 31 mm/kV, aunque en algunos casos es adecuado considerar la práctica de algún programa de mantenimiento como el lavado o el uso de recubrimientos (IEC 815).

5 Este valor no aparece en la publicación IEC-815 de 1986, sin embargo, está considerado dentro de los documentos de soporte técnico para la revisión de esta publicación. Cfr. R. G. Houlgate "Polluted Insulator Application Guide" CIGRE Task Force 33.04.01. March 1995.

### 5.4 Determinación del Número de Aisladores de una Cadena en Función de la Distancia Específica de Fuga

El cálculo del número de aisladores, tomando en cuenta el efecto de la contaminación, puede realizarse con los valores de la distancia específica de fuga mínima nominal de cada uno de los niveles de contaminación esperados y utilizando las siguientes expresiones:

$$D_{fc} = D_{fmn} V_m k$$

donde:

- $D_{fc}$  = Distancia de fuga total de la cadena en mm  
 $D_{fmn}$  = Distancia de fuga mínima nominal en mm/kV, tomada de la tabla 5.2.  
 $V_m$  = Voltaje máximo del sistema en kV  
 $k$  = Factor de corrección por diámetro que toma el valor de 1 para el caso de aisladores de suspensión.

y

$$NA = \frac{D_{fc}}{D_{cat}}$$

donde:

- $NA$  = Número de aisladores de la cadena  
 $D_{cat}$  = Distancia de fuga del aislador seleccionado, tomado de los datos de catálogo del fabricante, en mm.

Es conveniente aclarar que:

- Aunque se ha observado que, en la mayoría de los casos, hay una mejora operacional del aislamiento cuando se instala en posición inclinada u horizontal, no debe emplearse ningún factor de corrección por posición.
- En caso de aislamiento de equipo, debe usarse el Voltaje Máximo de Diseño del equipo ( $V_d$ ) en lugar de  $V_m$ .
- Cuando se trata de aisladores tipo poste el factor de corrección  $k$  puede adoptar los siguientes valores:

$$\begin{array}{ll}
 k = 1 & \text{para } D_m < 300 \\
 k = 1.10 & \text{para } 300 \leq D_m \leq 500 \\
 k = 1.2 & \text{para } D_m > 500
 \end{array}$$

en donde  $D_m$  es el diámetro promedio del aislamiento.

Aunado a lo anterior, la selección adecuada del número de aisladores, en función de la distancia específica de fuga, debe considerar que:

$$NA = D_{itc} / D_{cat} = 10911.92 / 292 \quad \approx 37 \text{ aisladores tipo 27SVC111}$$

Por limitaciones en las distancias en aire, se usan aisladores con mayor distancia de fuga y conservando un aislador estándar (27SVC111) al final de la cadena (práctica común en C.F.E.), como se muestra a continuación:

$$NA = D_{itc} / D_{cat} = (10911.92 - 292) / 445$$

$$\approx 23 \text{ aisladores tipo 28SV111C y un aislador tipo 27SVC111}$$

**4. Nivel de contaminación muy alto.-** Para este nivel, tenemos que la  $D_{imn}$  (tabla 5.3), debe ser de 54 mm/kV, por lo que:

$$D_{itc} = D_{imn} V_m k = 54 \times 420 / .3 \times 1 = 13094.3 \text{ mm}$$

Entonces, el número de unidades en la cadena de aisladores para una línea de 400 kV y en un nivel de contaminación muy alto, será:

$$NA = D_{itc} / D_{cat} = 13094.3 / 292 \quad \approx 45 \text{ aisladores tipo 27SVC111}$$

Como alternativa por limitaciones en las distancias en aire y usando la práctica de un aislador estándar al final de la cadena de aisladores, tenemos:

$$NA = D_{itc} / D_{cat} = (13094.3 - 292) / 445$$

$$\approx 28 \text{ aisladores tipo 28SV111C y un aislador tipo 27SVC111}$$

$$NA = D_{itc} / D_{cat} = (13094.3 - (2 \times 292)) / 612$$

$$\approx 20 \text{ aisladores tipo 32SPC111 y 2 aisladores tipo 27SVC111}$$



- a) Pueden existir limitaciones en las distancias dieléctricas de fase a tierra de las torres.
- b) Puede resultar poco atractivo, desde el punto de vista económico, instalar el número de aisladores calculados.

En estos casos, resulta conveniente valorar alguna de las opciones que se mencionarán en la sección 5.6.

### **5.5 Distancias Específicas de Fuga con Diferentes Opciones de Aislamiento**

De la **tabla 5.3 a la tabla 5.5** se muestran los valores de las distancias específicas de fuga por kV para cada nivel de tensión y diferentes niveles de contaminación, definidos conforme a la publicación IEC-815. Estos valores se dan considerando desde el mínimo hasta el máximo número de aisladores en las cadenas de 115, 230 y 400 kV, que emplea la CFE en sus líneas de transmisión de potencia. Se incluyen únicamente tres tipos de aisladores, los cuales pueden resultar más adecuados para su instalación, en base a sus características dimensionales. En el caso de las cadenas con aisladores tipo niebla (28SV111C y 32SPC111, dados con la nominación en centímetros), el número de aisladores considerado en la cadena incluye un aislador tipo estándar, conforme a la práctica de CFE para facilitar las labores de mantenimiento de las líneas.

### **5.6 Alternativas para Evitar el Flameo en Aisladores debido a Contaminación**

En el fenómeno de flameo de aisladores contaminados intervienen tres agentes: alta tensión, depósitos contaminantes y humedad. Cuando se inhibe o se minimiza la acción de uno de los tres agentes anteriormente citados, en algunos casos, no existe probabilidad de que se presente el flameo por contaminación.

Las alternativas para evitar el flameo de los aisladores se puede dividir en tres grupos:

- a) Minimización de la acumulación del contaminante.
  - Lavado periódico
  - Perfiles aerodinámicos
- b) Reducción de los esfuerzos eléctricos.
  - Mayor número de aisladores en las cadenas
  - Aisladores con grandes distancias de fuga (aisladores tipo niebla)
  - Extensores de la distancia de fuga
- c) Prevención de la humectación de la capa contaminante

Esto se puede lograr con:

- Aisladores con propiedades semiconductoras
- Aisladores de tipo sintético
- Aisladores recubiertos con grasas de petróleo o silicón
- Aisladores con recubrimiento elastomérico de silicón

Antes de la aplicación de una alternativa, para evitar el flameo de los aisladores, se hace necesario un análisis técnico-económico de diversas opciones.

Para hacer una selección primaria del aislamiento para zonas con contaminación, internacionalmente se ha adoptado el criterio de la **distancia específica de fuga** en función de un nivel de contaminación. Este criterio, que se encuentra contenido en la publicación 815 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), está basado en el valor del esfuerzo eléctrico superficial adecuado para un nivel dado de contaminación.

**Tabla 5.3.- Distancias específicas de fuga para aislamiento en 115 kV.**

TENSION NOMINAL DEL SISTEMA	TENSION MAXIMA DEL SISTEMA	NIVEL DE CONTAMINACION	mm/kV MINIMOS REQUERIDOS	AISLADORES		mm/kV OBTENIDOS DE FASE A TIERRA
				No.	TIPO*	
115 kV	123 kV	LIGERA	28	7	27SVC111	29
					28SC111C	42
					32SPC111	56
		MEDIA	35	8	27SVC111	33
					28SC111C	48
					32SPC111	64
		ALTA	43	9	27SVC111	37
					28SC111C	54
					32SPC111	73
		MUY ALTA	54			

(\*) Tipo de aislador abreviado con: las dos primeras cifras indicando el diámetro del aislador en centímetros, S - tipo suspensión, P - porcelana, V - vidrio, N - niebla, C - calavera y bola y los últimos tres dígitos indican la resistencia electromecánica en kilonewtons.

Tabla 5.4.- Distancias especificas de fuga para aislamiento en 230 kV.

TENSION NOMINAL DEL SISTEMA	TENSION MAXIMA DEL SISTEMA	NIVEL DE CONTAMINACION	mm/kV MINIMOS REQUERIDOS	AISLADORES		mm/kV OBTENIDOS DE FASE A TIERRA
				No.	TIPO	
230	245	LIGERA	28	14	27SVC111	29
					28SC111C	43
					32SPC111	58
		MEDIA	35	15	27SVC111	31
					28SC111C	46
					32SPC111	63
		ALTA	43	16	27SVC111	33
					28SC111C	49
					32SPC111	67
		MUY ALTA	54	16	27SVC111	33
					28SC111C	49
					32SPC111	67

**Tabla 5.5.- Distancias especificas de fuga para aislamiento en 400 kV.**

TENSION NOMINAL DEL SISTEMA	TENSION MAXIMA DEL SISTEMA	NIVEL DE CONTAMINACION	mm/kV MINIMOS REQUERIDOS	AISLADORES		mm/kV OBTENIDOS DE FASE A TIERRA
				No.	TIPO	
400	420	LIGERA	28	22	27SVC111	25
					28SV111C	40
					32SPC111	54
		MEDIA	35	23	27SVC111	28
					28SV111C	41
					32SPC111	57
		ALTA	43	24	27SVC111	29
					28SV111C	43
					32SPC111	59
		MUY ALTA	54	25	27SVC111	30
					28SV111C	46
					32SPC111	62
		MUY ALTA	26	27SVC111	31	
				28SV111C	47	
				32SPC111	64	

**6**

**CORRECCION DEL NIVEL DE AISLAMIENTO POR  
CONDICIONES ATMOSFERICAS DIFERENTES  
A LAS NORMALIZADAS**

**6.1 Factores de Corrección por Condiciones Atmosféricas**

## 6. CORRECCION DEL NIVEL DE AISLAMIENTO POR CONDICIONES ATMOSFERICAS DIFERENTES A LAS NORMALIZADAS

Debido a las diferentes altitudes en las que operan las líneas de transmisión se hace necesario la corrección de los niveles de aislamiento calculados para condiciones normalizadas. Las tensiones de aguante y tensiones críticas en los aislamientos externos o autorrecuperables se ven sometidas a la densidad del aire y contenido de humedad en la zona de operación. Estos factores atmosféricos afectan directamente a los niveles de aislamiento obtenidos para condiciones atmosféricas normalizadas.

Las condiciones atmosféricas normalizadas se definen a continuación:

- Temperatura:  $T_o = 20$  grados centígrados
- Presión:  $b_o = 1013$  mbar (760 mm de Hg)
- Humedad absoluta:  $h_o = 11$  gramos de agua por metro cúbico

para condiciones de prueba con lluvia normalizada se tiene:

- Proporción de lluvia 1.0 a 1.5 mm/min (2.36 a 3.54 plg/hora)
- Resistividad de lluvia  $100 \pm 15$   $\Omega$ -m (corregida a 20° C)
- Angulo de precipitación 45 grados

Las tensiones de soporte calculadas a condiciones normalizadas decrecerán con la presión atmosférica, y esta decrece con el aumento en la altitud y temperatura. Al aumentar la humedad las tensiones de soporte aumentarán hasta antes de que se condense la humedad en la superficie del conductor.

### 6.1 Factores de Corrección por Condiciones Atmosféricas

El factor de corrección por densidad del aire,  $K_{da}$ , se calcula como:

$$K_{da} = \left(\frac{b}{b_o}\right)^m \left(\frac{273+T_o}{273+T}\right)^n$$

donde T es la temperatura ambiente en grados centígrados y b es la presión atmosférica en mbar. En la **tabla 6.1** se muestran los valores de corrección por presión atmosférica a distintas altitudes. Los coeficientes m y n son iguales a la unidad para impulso por rayo.

Tabla 6.1.- Factores de corrección por presión atmosférica a distintas altitudes

Altitud en metros	Presion		Factor de corrección $K_{ca}$	Altitud en metros	Presión		Factor de corrección $K_{ca}$
	mbar	mm Hg			mbar	mm Hg	
0	1013	760	1 00	2500	747	560	0 737
100	1001	751	0.988	2600	739	554	0.728
200	989	742	0.976	2700	728	546	0.718
300	977	733	0.965	2800	720	540	0 710
400	968	726	0.954	2900	708	531	0.698
500	955	716	0.942	3000	701	526	0.692
600	943	707	0.931	3100	692	519	0.683
700	932	699	0.919	3200	683	512	0.674
800	921	691	0.908	3300	675	506	0.665
900	909	682	0.897	3400	665	499	0 656
1000	905	679	0.893	3500	656	492	0 647
1100	888	666	0.876	3600	648	486	0.639
1200	877	658	0.866	3700	639	479	0.629
1300	867	650	0.855	3800	629	472	0.621
1400	856	642	0.845	3900	621	466	0.613
1500	845	634	0 834	4000	613	460	0.605
1600	836	627	0.824	4100	605	454	0 597
1700	825	619	0.814	4200	697	448	0.590
1800	815	611	0 804	4300	691	443	0.583
1900	805	604	0.794	4400	584	438	0.576
2000	795	596	0.784	4500	577	433	0.569
2100	785	589	0.774	4600	571	428	0.562
2200	775	581	0.765	4700	563	422	0.555
2300	765	574	0 756	4800	556	417	0.549
2400	756	567	0 746	4900	549	412	0 542

De acuerdo a la norma IEC-721-2-3 se tiene una corrección de la presión atmosférica con la altitud, dada por:

$$\frac{b_o}{b} = \exp \frac{H}{8150}$$

donde :

$b_o$  = Presión atmosférica de referencia normalizada (=1013.25 mbars)

$b$  = Presión atmosférica en mbars

$H$  = Altitud sobre el nivel del mar en metros

El factor de corrección por humedad,  $K_h$ , se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$K_h = K^w$$

donde "w" es un factor que depende de la geometría de los electrodos y se obtiene de la **tabla 6.2**, y "K" es un factor que depende de la humedad absoluta. Estos valores son solo para impulso por rayo. Para obtener el valor de "K" nos auxiliamos de las gráficas mostradas en las **figuras 6.1 y 6.2**. Para leer el factor de "K" de la gráfica de la **figura 6.1**, se debe conocer la humedad absoluta del sitio en  $\text{gr/m}^3$  que se obtiene de la gráfica de la **figura 6.2**, cuyos parámetros son la temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo del lugar en grados centígrados y la humedad relativa del aire del lugar donde se encontrará la línea de transmisión.

**TABLA 6.2.- Valores del factor w**

FORMA DE ELECTRODO	POLARIDAD POSITIVA	POLARIDAD NEGATIVA
ESFERA-ESFERA	0.0	0.0
PUNTA-PUNTA	1.0	0.8
PUNTA-PLANO	1.0	0.0



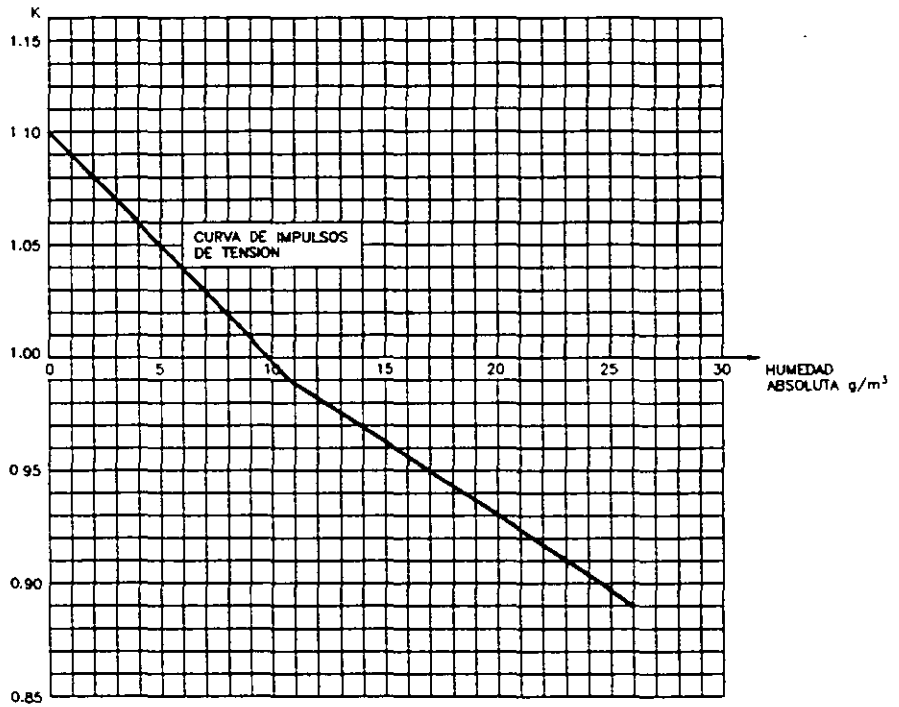


Figura 6.1.- Factor K de corrección por humedad en función de la humedad absoluta.

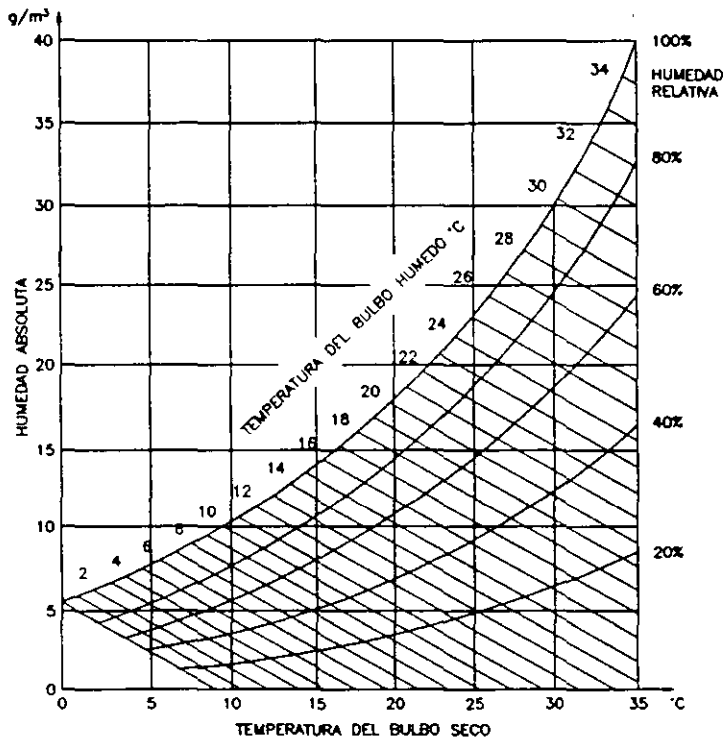


Figura 6.2.- Humedad absoluta del aire en función de las temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo y de la humedad relativa en por ciento.

La tensión de aguante requerida por impulso de rayo considerando los factores de corrección por humedad y por densidad del aire se puede obtener con la relación:

$$V_{ca} = V_{co} \left( \frac{K_{da}}{K_h} \right)$$

donde:

$V_{ca}$  = Voltaje corregido con las condiciones atmosféricas de densidad del aire y humedad

$V_{co}$  = Voltaje obtenido con la coordinación de aislamiento o de pruebas como  $V_{50}$

$K_{da}$  = Factor de corrección por densidad del aire

$K_h$  = Factor de corrección por humedad

Para aisladores donde las distancias entre faldones son pequeñas se deben de tomar en cuenta todos los factores atmosféricos especialmente el de humedad. En los aisladores en que no se tengan estas distancias pequeñas se puede considerar que los factores de humedad y temperatura se cancelan y solo el factor de corrección por presión atmosférica se considera. Por lo que la corrección quedaría de la siguiente manera:

$$V_{ca} = V_{co} \left( \frac{b_o}{b} \right)$$

y la corrección de la distancia en aire por correcciones atmosféricas de presión y humedad quedaría de la siguiente manera:

$$d_{co} = \frac{V_{50\%}}{K_r K_{ca}} = \frac{V_{10\%}}{(1-1.3\sigma) K_r K_{ca}} = \frac{V_{10\%}}{0.961 K_r K_{ca}}$$

donde  $V_{50\%}$  y  $V_{10\%}$  son el voltaje crítico de flameo y el nivel básico de aislamiento al impulso, respectivamente,  $\sigma$  es igual a 3% para impulso por rayo y 6% para impulso por maniobra y el factor de corrección por condiciones atmosféricas  $K_{ca} = K_{da}/K_h$ . En el **APENDICE C** se da un ejemplo de aplicación.

## 7

**CASOS ESPECIALES EN LA OBTENCION DE LAS DISTANCIAS EN AIRE MINIMAS PERMISIBLES**

- 7.1 Distancias Mínimas en Aire
- 7.2 Cruzamiento de una Línea de Transmisión con una Vía de Ferrocarril no Electrificada
- 7.3 Cruzamiento Elevado de una Línea de Transmisión con una Vía de Ferrocarril Electrificada o Tranvía
- 7.4 Cruzamiento de una Línea de Transmisión por una Autopista, Carretera o Calle
- 7.5 Cruzamiento de una Línea de Transmisión con un Río Navegable
- 7.6 Cruzamiento entre Líneas de Transmisión
- 7.7 Líneas de Transmisión de Energía Paralelas
- 7.8 Líneas de Transmisión Paralelas a Líneas de Telecomunicación
- 7.9 Paralelismo entre Líneas de Transmisión y Vías de Comunicación
- 7.10 Líneas Paralelas a Vías de Ferrocarril o Cursos de Agua Navegables
- 7.11 Cruce de Líneas de Transmisión por Zonas de Bosques, Árboles y Masas de Arbolado
- 7.12 Cruce de Líneas de Transmisión por Edificios, Construcciones y Zonas Urbanas
- 7.13 Derechos de Vía Compartidos con Ductos Subterráneos

## 7. CASOS ESPECIALES EN LA OBTENCION DE LAS DISTANCIAS EN AIRE MINIMAS PERMISIBLES

La rigidez dieléctrica es una característica de los aislamientos de equipos eléctricos. ésta se representa con un valor de voltaje que al aplicarlo no produce el rompimiento del dieléctrico o descarga disruptiva. La rigidez dieléctrica se determina con pruebas con la aplicación de voltajes de impulso, como ejemplo tomemos el voltaje  $V_{50}$  el cual corresponde a aquel voltaje que el equipo soportará con un 50% de probabilidad de producir rompimiento del dieléctrico.

La coordinación de aislamiento es el balance entre los esfuerzos eléctricos sobre el aislamiento y el soporte del dieléctrico del aislamiento. El procedimiento de coordinación de aislamiento comprende la selección de voltajes de soporte de equipo eléctrico considerando los voltajes que puedan aparecer como transitorios en el sistema eléctrico. Para obtener una coordinación de aislamiento adecuada se deben de tomar en cuenta las características de los dispositivos que se usarán como protección.

La distancia dieléctrica en aire es uno de los parámetros prácticos de importancia en el diseño de la coordinación de aislamientos, esta distancia se determina a partir de pruebas del rompimiento en aire de diferentes tipos de electrodos bajo impulso por rayo.

Los aislamientos de fase a tierra y de fase a fase se definen de acuerdo a las distancias dieléctricas en aire como son las distancias entre fase y elemento conectado a tierra y entre fases, respectivamente.

El nivel básico de aislamiento al impulso por rayo, NBAI, se define como el voltaje al que se espera un 10% de probabilidad de flameo. El valor del NBAI se obtiene considerando una desviación estandar de 3% ( $\sigma$ ) obtenida de la curva de probabilidad de flameo y a la tensión crítica de flameo al impulso, TCF o  $V_{50}$ . Este se obtiene con la siguiente relación:

$$NBAI = TCF(1.0 - 1.3\sigma)$$

con lo que resultaría como  $NBAI = 0.961 TCF$ , este valor es inferior que el TCF.

### 7.1 Distancias Mínimas en Aire

Las distancias críticas a tierra se calculan en base a la operación con impulso por descargas atmosféricas hasta los niveles de 230 kV, en niveles arriba de 230 kV se considera la operación por impulso de maniobras la predominante para el cálculo de las distancias críticas. En la sección 4.0 se describieron las formulaciones para la obtención de las distancias a tierra para diferentes tipos de entrehierros en aire.

La altura mínima de un conductor de una línea de transmisión con respecto al nivel de tierra se obtiene con la siguiente relación:

$$h=5.0+1.4d$$

donde  $d$  es la distancia de fase a tierra (metros). La longitud de la cadena de aisladores se determina considerando el tipo de configuración, el ángulo de oscilación de la cadena y la flecha (la cual depende del claro y esfuerzo mecánico como peso y fuerza del viento). La distancia mínima entre apoyos o entre aisladores, se puede obtener con la siguiente expresión:

$$D \geq n\sqrt{fL} + 0.012 V$$

donde:

$n$  = factor que depende del material del conductor ( $n = 0.6$  para conductor de aluminio y  $0.5$  para conductor de cobre o ACSR)

$f$  = flecha del conductor (metros)

$L$  = longitud de la cadena de aisladores (metros),  $L = 0.0$  para aisladores tipo alfiler.

$V$  = tensión máxima de operación entre fases (kV)

Para líneas de transmisión que usan cadenas de aisladores en "V", la distancia  $D$  es la distancia entre centros de conductores y  $L$  es la distancia de fase a tierra. En los casos en que se tengan condiciones especiales en donde la suma de la flecha y la longitud de la cadena de aisladores en estructuras de suspensión sea mayor de 40 metros, la distancia  $D$  se obtiene como:

Para conductores de aluminio:  $D \geq 3.80 + 0.012 V$

Para conductores de cobre o ACSR :  $D \geq 3.2 + 0.012 V$

En la operación de líneas de transmisión se consideran diferentes casos especiales para cruzamientos y paralelismo entre líneas de transmisión. En los casos de cruzamiento con líneas de transmisión, calles públicas o carreteras, vías de ferrocarril, ríos navegables y otras líneas de energía o de comunicaciones, se deben de tomar medidas de seguridad en lo que respecta a las distancias mínimas en aire en donde la línea debe operar. También se deben de considerar estas medidas de seguridad para los casos de paralelismo entre líneas de alta tensión, con vías de ferrocarril, calles o carreteras, ríos navegables u otras líneas eléctricas, telegráficas o telefónicas. Estos casos especiales de cruzamiento y paralelismo se resumen a continuación:

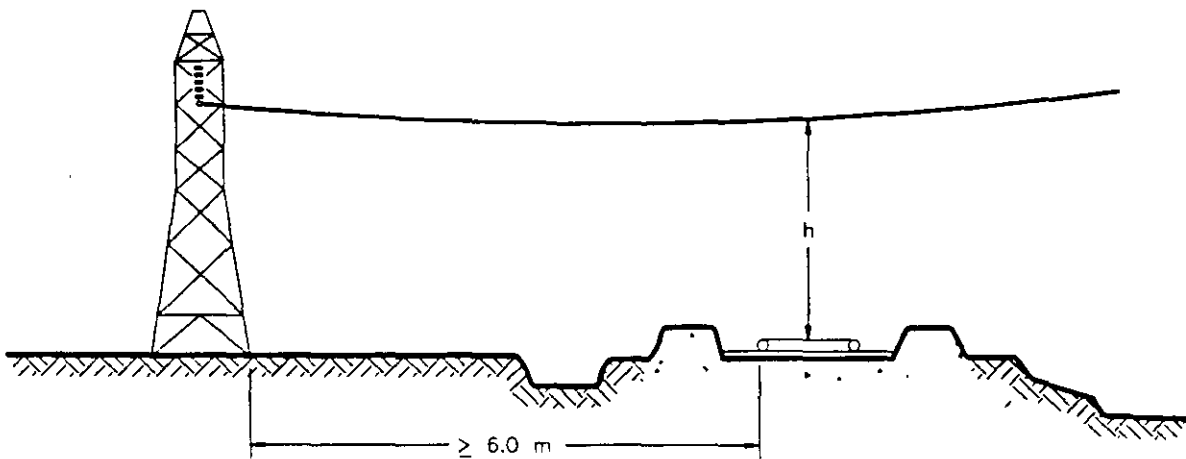
- Línea de potencia
- Zona habitacional
- Río navegable
- Calles o carreteras
- Vías de ferrocarril
- Otras líneas eléctricas o de comunicaciones
- Ductos subterráneos

## 7.2 Cruzamiento de una Línea de Transmisión con una Vía de Ferrocarril no Electrificada

En el caso de líneas que cruzan vías de ferrocarril se debe guardar una distancia horizontal mínima a la vía y una altura de la línea con respecto a la vía, como se muestra en la **figura 7.1**. La altura mínima del conductor se obtiene como:

$$h=8.0+0.015 V$$

donde  $V$  es la tensión nominal de la línea entre fases en kV. Dependiendo de la orografía del terreno se pueden tener distancias horizontales de 3 m como mínimo.



**Figura 7.1.- Cruzamiento de una línea de transmisión con una vía de ferrocarril no electrificada**

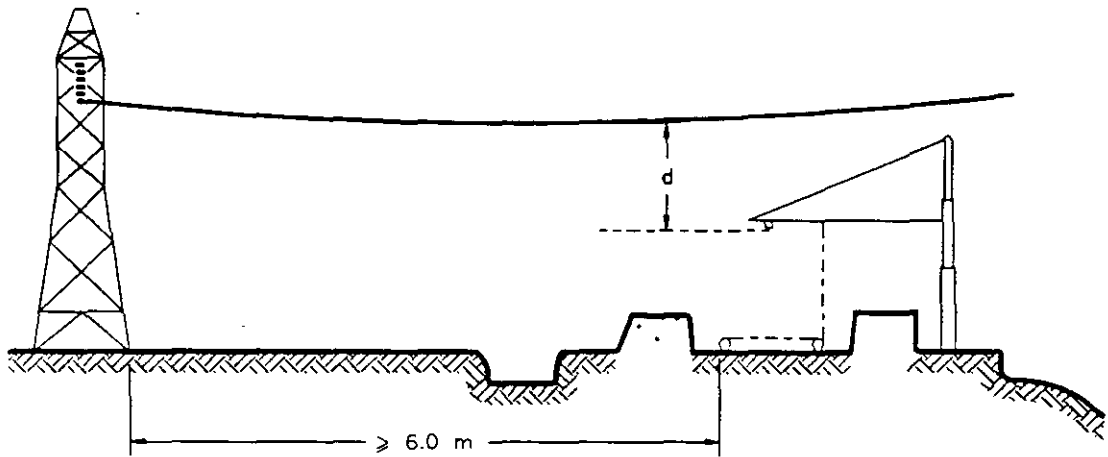
## 7.3 Cruzamiento de una Línea de Transmisión con una Vía de Ferrocarril Electrificada o Tranvía

En la **figura 7.2** se muestra el tipo de cruzamiento y la distancia horizontal mínima requerida. La distancia horizontal se estima como en el inciso anterior ( $\geq 6$  m), la altura mínima del conductor de fase se obtiene de la siguiente fórmula:

$$d=1.5+0.015 V$$

para condiciones especiales se puede sustituir la constante de 1.5 por 1.0, y la distancia  $d$  se obtendría como:

$$d=1.0+0.015 V$$



**Figura 7.2.- Cruce elevado de una línea de transmisión con una vía de ferrocarril electrificada o tranvía**

#### **7.4 Cruce de una Línea de Transmisión por una Autopista, Carretera o Calle**

En estos casos las distancias horizontales se rigen por las disposiciones civiles que se encuentren vigentes en las zonas y por reglamentos de obras públicas e instalaciones eléctricas. En la **figura 7.3** se muestran las distancias de fase a tierra y de estructura a inicio de autopista, carretera o calle. La altura mínima se puede calcular de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$h=7.0+0.005 V$$

Para la distancia A se recomiendan los siguientes valores:

Para autopistas y carreteras: A=15.0 m

Para avenidas o calles principales en ciudades: A = 15.0 m

Para calles en poblados: A= 7.0 m

Para calles de poca importancia en poblados como condición excepcional: A = 3.0 m

En redes de distribución, en derivaciones en esquinas: A=0.2 m

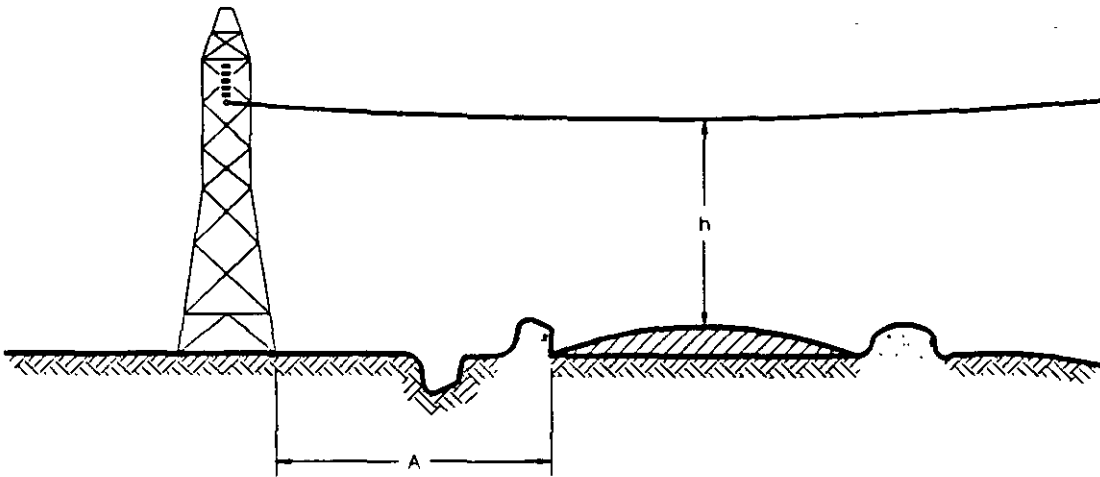


Figura 7.3.- Cruzamiento de una línea de transmisión por una autopista, carretera o calle

7.5 Cruzamiento de una línea de transmisión con un río navegable

En la figura 7.4 se muestra la disposición de las distancias mínimas horizontales de estructura a inicio de río y verticales o de alturas del nivel más alto del río a la fase mas baja. La distancia horizontal mostrada en la figura 7.4 se considera para el caso de rios navegables por pequeñas embarcaciones (como lanchas o lanchones), en donde la altura h está dada por:

$$h=7.0+0.015 V$$

Para el caso de rios navegables por buques de gran calado se debe de tomar la distancia mínima, d, desde la parte más alta del buque (mástil) hasta la fase del conductor mas bajo dada por:

$$d=3.0+0.01 V$$

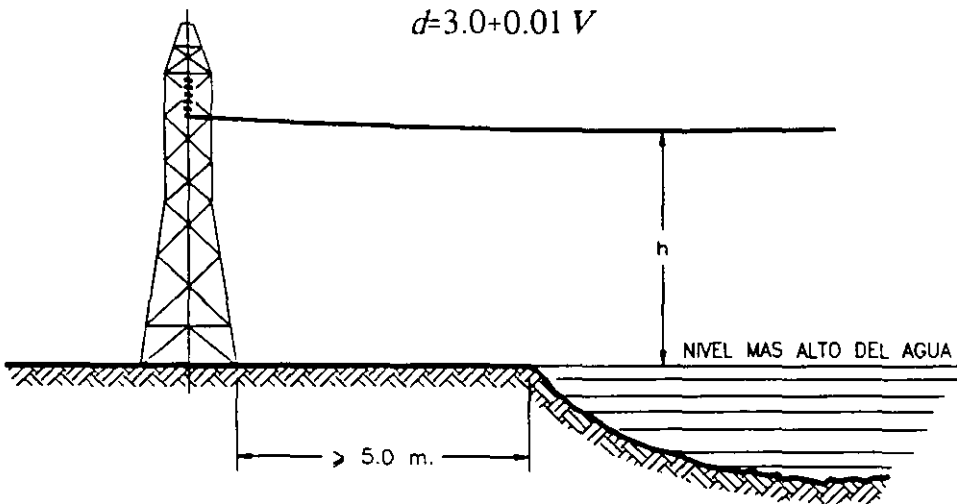
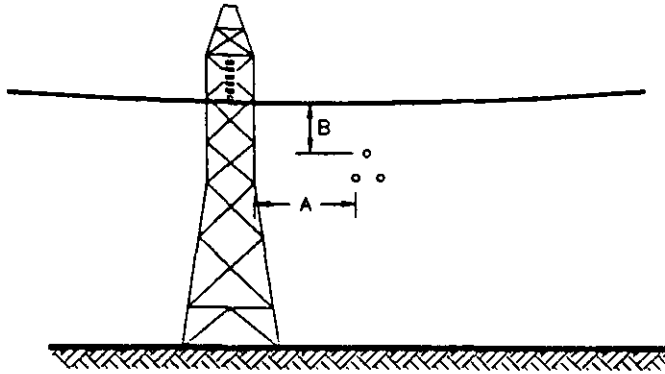


Figura 7.4.- Cruzamiento de una línea de transmisión con un río navegable



## 7.6 Cruzamiento entre Líneas de Transmisión

Se pueden presentar diferentes condiciones para el cruzamiento entre líneas, en general se recomienda que el ángulo de cruce entre líneas no sea menor de  $45^\circ$  entre ellas. En la **figura 7.5** se muestran las distancias entre el conductor más cercano y la estructura, indicada con la letra A y la distancia entre conductores que se cruzan indicada con la letra B.



**Figura 7.5.- Cruzamiento entre líneas de transmisión**

Para líneas de tensión de hasta 161 kV fase a fase (línea que cruza), la distancia A se puede obtener como:

$$A \geq 3.0 + 0.015 V$$

Y para cualquier ángulo de cruzamiento, la distancia entre conductores, B, no debe ser menor a:

$$B \geq 1.5 + 0.02 V$$

donde V es la tensión en kV de fase a fase en la línea de tensión superior. Para líneas de transmisión de 230 kV y de 400 kV se emplean las siguientes expresiones:

$$A \geq 5.0 + \frac{V}{150}$$

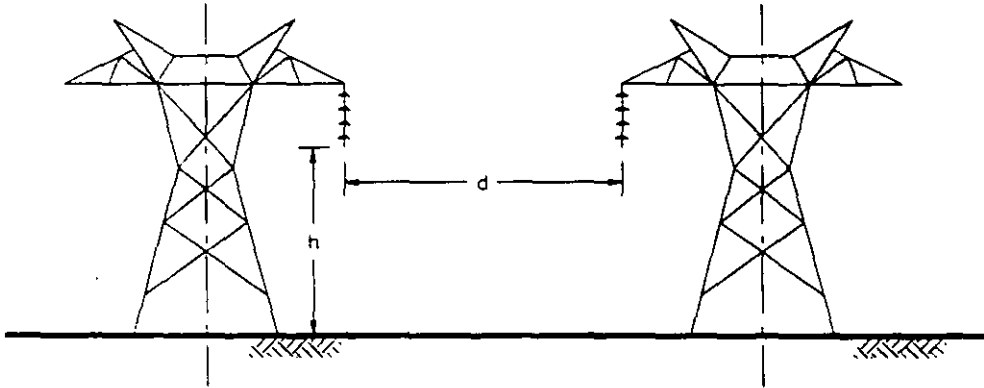
y

$$B \geq 3.3 + \frac{V}{100}$$

donde V es la tensión máxima de diseño entre fases de la línea de transmisión de mayor tensión expresada en kV.

## 7.7 Líneas de Transmisión de Energía Paralelas

Para los casos en que dos líneas de transmisión sigan la misma dirección en secciones de derechos de vías compartidos o próximos se tiene un paralelismo entre líneas. Con excepción de las zonas de acceso a subestaciones eléctricas y plantas generadoras, las distancias mínimas entre líneas construidas en paralelo deben de guardar una distancia mínima entre conductores más próximos de 1.5 veces la altura del conductor más alto. En la **figura 7.6** se muestran las distancias entre conductores más próximos,  $d$ , y la altura del conductor,  $h$ .

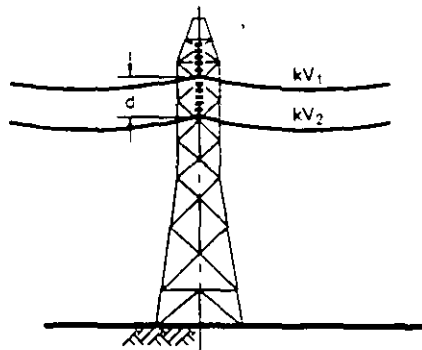


**Figura 7.6.- Líneas de transmisión de energía paralelas**

Para el caso en que se tengan dos sistemas compartiendo las mismas estructuras, como se muestra en la **figura 7.7**, el tendido de estas líneas sobre apoyos comunes se recomienda solo para sistemas de un mismo tipo de corriente (continua o alterna y a la misma frecuencia), la distancia mínima vertical entre conductores de ambas líneas en los puntos de apoyo y en las condiciones más desfavorables se deben obtener con las expresiones siguientes:

Para sistemas de hasta 69 kV:  $d \geq 1.5 + V/100$  (metros)  
 Para sistemas superiores a 69 kV:  $d \geq 3.3 + V/100$  (metros)

donde  $V$  es el voltaje de fase a fase (kV) de la línea de mayor tensión.



**Figura 7.7.- Dos sistemas compartiendo la misma estructura**

### 7.8 Líneas de Transmisión Paralelas a Líneas de Telecomunicación

El paralelismo entre líneas de transmisión de energía y líneas de telecomunicación (telefónicas y telegráficas) debe de evitarse en lo posible. Una de las razones primordiales para esta recomendación es la interferencia electromagnética sobre el sistema de telecomunicaciones producida por el sistema de alto voltaje (categorías B y C). En los casos en que se construyan con estas características se debe de mantener una distancia mínima, entre los trazos de los conductores más próximos de una y otra línea, igual a 1.5 veces la altura del conductor más alto de cualquiera de las líneas, **figura 7.8**. Además de que se tendrá que revisar el diseño y las distancias entre líneas de manera que se tengan los mínimos niveles de interferencia electromagnética permisibles en el sistema de telecomunicaciones. En la **figura 7.8** se muestran las alturas de los conductores de ambos sistemas,  $h_1$  y  $h_2$ , y la distancia entre conductores más próximos de ambos sistemas,  $d$ . En donde la distancia  $d$  (en metros) está dada por:

$$d \geq 1.5h_1$$

y

$$h_1 > h_2$$

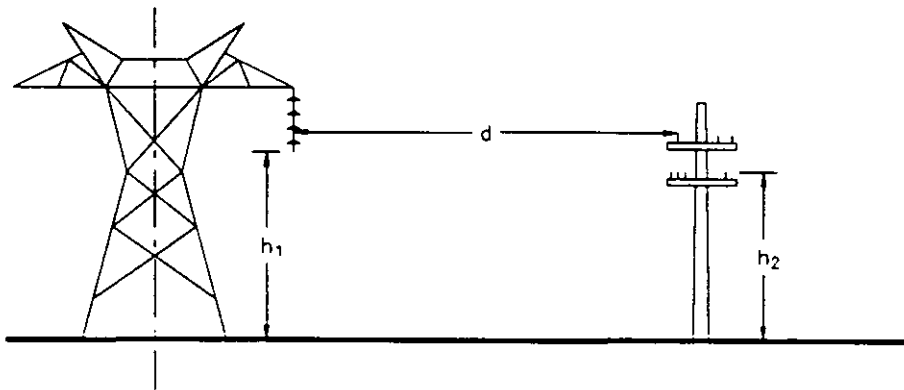


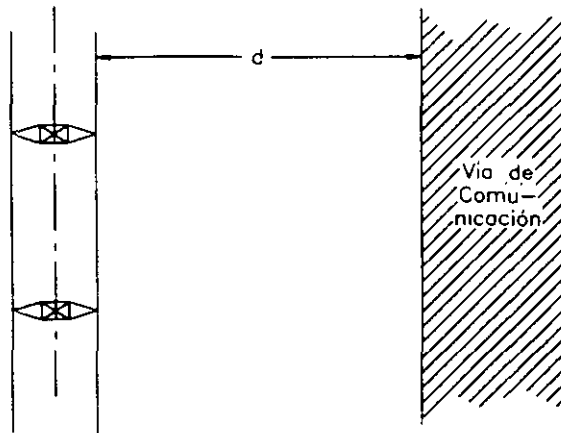
Figura 7.8.- Líneas de transmisión paralelas a líneas de telecomunicación

### 7.9 Paralelismo entre Líneas de Transmisión y Vías de Comunicación

Para el caso de líneas de transmisión que corran paralelas a vías de comunicación, calles, carreteras, autopistas y avenidas importantes en centros urbanos, deberán cumplir con las distancias entre extremos de estructuras y extremo de la calle o avenida. En la **figura 7.9** se muestra la distancia entre extremo de línea y extremo de calle, estas distancias deberán ser mayores a las que se enlistan a continuación :

Para carreteras y autopistas:  $d \geq 25.0$  m

Para carreteras vecinales, avenidas  
y calles principales en zonas urbanas:  $d \geq 15.0$  m



**Figura 7.9.- Paralelismo entre líneas de transmisión y vías de comunicación**

### 7.10 Líneas Paralelas a Vías de Ferrocarril o Cursos de Agua Navegables

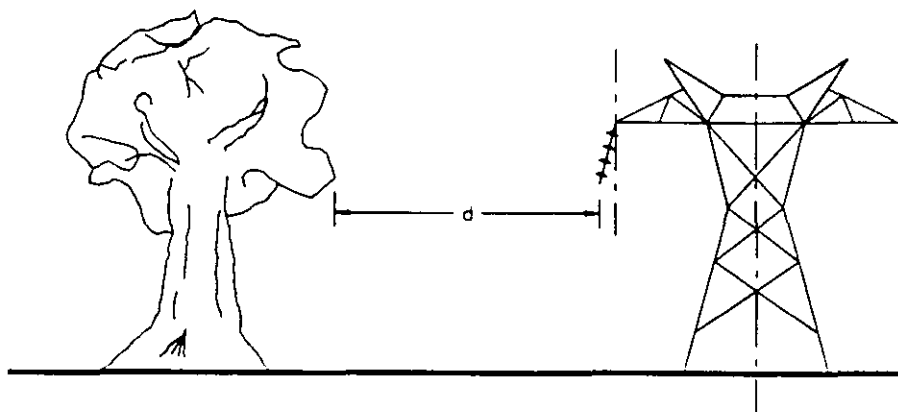
Para estos casos se recomienda una distancia entre conductor extremo y extremo más cercano de la vía, conductor o cauce, superior a 25 metros. Esta distancia se podrá reducir sólo en circunstancias topográficas excepcionales y previa justificación técnica.

### 7.11 Cruce de Líneas de Transmisión por Zonas de Bosques, Árboles y Masas de Arbolado

En la **figura 7.10** se muestra la distancia entre la línea de transmisión y la zona arbolada. la distancia toma en cuenta la posición del conductor con el máximo ángulo de oscilación en la línea de transmisión. Esta distancia se obtiene con la siguiente expresión:

$$d \geq 1.5 + \frac{V}{150}$$

donde V es la tensión nominal de fase a fase en kV. Adicionalmente se recomienda cortar todo árbol que constituya un peligro para la seguridad de la línea, esto puede ser debido a su posición inclinada. Se está considerando el crecimiento de los árboles en un período de 5 años.



**Figura 7.10.- Cruce de líneas de transmisión por zonas de bosques, árboles y masas de arbolado**

### **7.12 Cruce de Líneas de Transmisión por Edificios, Construcciones y Zonas Urbanas**

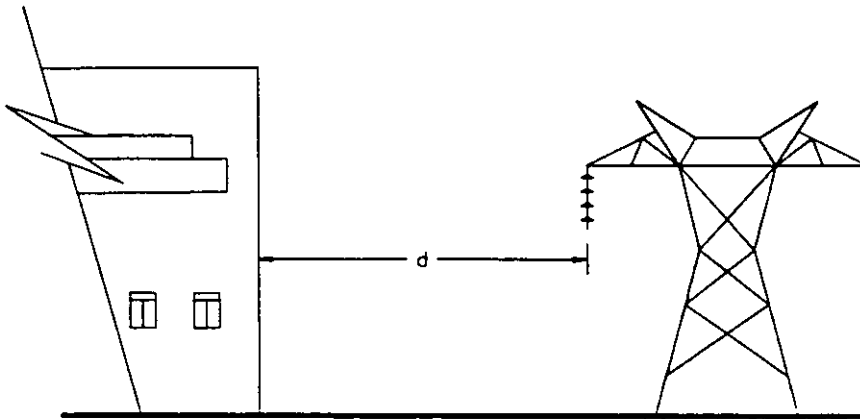
En los casos en que una línea de transmisión atraviese zonas urbanas o construcciones con edificios, se deben conservar distancias entre el conductor más cercano a la construcción y la esquina del edificio más cercana a la línea, como se observa en la **figura 7.11** y se describen con las expresiones siguientes, para puntos accesibles a personas se tiene:

$$d \geq 3.3 + \frac{V}{100}$$

esta distancia debe ser mayor de 2.0 metros para la categoría A (de 4.4 kV a 52 kV); 5.0 m para la categoría B (de 69 kV a 230 kV) y 7.0 m para la categoría C (de 400 kV a 765 kV). Para puntos no accesibles a personas tenemos la expresión:

$$d \geq 3.3 + \frac{V}{150}$$

esta distancia debe ser mayor de 2.0 m para la categoría A: 4.0 m para la categoría B y de 6.0 m para la categoría C.



**Figura 7.11.- Cruce de líneas de transmisión por edificios, construcciones y zonas urbanas**

### 7.13 Derechos de Vía Compartidos con Ductos Subterráneos

Las líneas de transmisión comparten derechos de vía con ductos subterráneos (gasoductos u otro tipo de ducto metálico) en zonas en donde no se puede evitar la separación de derechos de vía. En este ambiente se generan campos electromagnéticos por las corrientes y voltajes de las líneas de transmisión de energía. Cuando el ducto corre paralelo a la línea de transmisión por cierta distancia, se pueden inducir voltajes en el ducto metálico debido al campo electromagnético producido por la o las líneas de transmisión.

Otro de los modos de acoplamiento en derechos de vía compartidos, se puede presentar por conducción a través del terreno. Existe la posibilidad de que corrientes de falla a tierra ocurran en torres cercanas a tuberías enterradas, con la consecuencia de generar potenciales cerca de la superficie del tubo. Estos potenciales son capaces de romper el dieléctrico de la cubierta aislante del tubo. Se puede tomar un valor típico de entre 2.0 a 3.0 kV de rompimiento del dieléctrico de la cubierta del tubo, con fines de evaluación de daño por este tipo de corrientes.

Desde el punto de vista de seguridad de personal se considera un voltaje máximo permisible de 15 V en la tubería. El método más eficiente de reducción del voltaje inducido es aumentar la distancia de separación entre la línea de transmisión y el ducto, cuando esta separación no es práctica, se usan técnicas de aterrizamiento de la tubería.

Para evitar los efectos de altos potenciales debido a condiciones de corriente de falla a tierra, se recomienda una separación de 10 m entre el sistema de tierras de la línea de transmisión (contraantenas y varillas de tierra) y la tubería. Aumentando el aislamiento de la línea no minimiza el efecto de la corriente de falla en la tubería, pero disminuye la probabilidad de que la falla ocurra en estos puntos.

Normalmente los ductos metálicos subterráneos se tienen protegidos contra corrosión con sistemas de protección catódica. Estos sistemas usan ánodos de sacrificio (magnesio o zinc) conectados en intervalos a lo largo de cierta longitud del ducto o concentrados. Si los ánodos son concentrados cerca de la línea de transmisión, esta protección puede producir corrosión de las bases de las torres de transmisión, sistemas de tierra y guías de anclas de torre.

**8**

## **PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES EN LINEAS DE TRANSMISION POR MEDIO DE APARTARRAYOS**

- 8.1 Selección de Apartarrayos de Oxidos Metálicos sin Entrehierro**
- 8.2 Selección de Apartarrayos con Entrehierro Externo en Serie**
- 8.3 Procedimiento para Determinar las Estructuras a Proteger**



## 8. PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES EN LINEAS DE TRANSMISION POR MEDIO DE APARTARRAYOS

---

La protección con apartarrayos de Oxidos Metálicos en líneas de transmisión se realiza en algunos países como una alternativa para reducir los índices de fallas producidas por descargas atmosféricas, particularmente en áreas que combinan niveles elevados de densidad de rayos a tierra y de resistividad del terreno. Es típico encontrar estas aplicaciones en líneas con trayectorias sobre terrenos montañosos.

Existen básicamente dos tipos de apartarrayos a considerar: Los que se conectan directamente a través de las cadenas de aisladores y los que se instalan con un entrehierro externo en serie. Los primeros son el tipo de apartarrayos con el que estamos familiarizados por su extensa utilización en la protección de equipo en subestaciones. Estos se encuentran permanentemente conectados a la tensión de la línea a tierra y en condiciones normales de operación se encuentran sometidos a la circulación de la corriente de fuga. Estos apartarrayos, para su aplicación en líneas de transmisión, deben poseer algunas características particulares como: Ser ligeros en peso, con un diseño que los haga mecánicamente adecuados a las condiciones de intensos vientos a los que se podrán ver sometidos en áreas abiertas, y que no sean susceptibles a daño por impacto de proyectiles lanzados en acciones de vandalismo. Esto prácticamente excluye la utilización de apartarrayos con envoltente de porcelana.

Los segundos son apartarrayos que incluyen en su diseño un entrehierro externo en serie que cumple varias funciones:

Proporcionar un camino a tierra únicamente cuando se produce una sobretensión por impulso de rayo.

Conjuntamente con la acción del apartarrayos, interrumpir la corriente de 60 Hz una vez cesado el transitorio.

Aumentar la vida útil del apartarrayos. Esto se consigue como consecuencia de tener el apartarrayos desconectado de la línea, sin someterlo a los esfuerzos eléctricos asociados con las elevaciones temporales de tensión en la línea y el consiguiente aumento en la corriente de fuga.

### 8.1 Selección de Apartarrayos de Oxidos Metálicos sin Entrehierro

La **figura 8.1** muestra la conexión de un apartarrayos de Oxidos Metálicos sin entrehierro a una cadena de aisladores tipo suspensión.

La selección de la tensión nominal del apartarrayos a instalar debe ajustarse a los procedimientos de CFE, que consideran la selección de un apartarrayos cuyo voltaje de designación sea definido por el voltaje fase a tierra, afectado por un factor que considere las elevaciones de tensión durante una falla de fase a tierra, en las fases no falladas de un sistema multiterrizado. Típicamente, en un sistema multiterrizado se recomienda utilizar un factor de 1.35 en el que ya se incluye un 5% de sobretensión por regulación de voltaje. De esta forma, para sistemas de 115 kV, 230 kV y 400 kV, los apartarrayos a utilizar serán aquellos con voltajes de designación  $V_a$  iguales a:

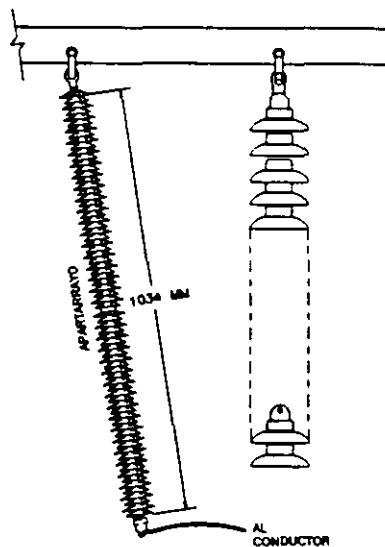
$$V_a = (115/\sqrt{3}) * 1.35 = 89.63 \text{ kV} \quad \text{--- para 115 kV}$$

$$V_a = (230/\sqrt{3}) * 1.35 = 179.26 \text{ kV} \quad \text{--- para 230 kV}$$

$$V_a = (400/\sqrt{3}) * 1.35 = 311.77 \text{ kV} \quad \text{--- para 400 kV}$$

De la especificación CFEVA400-17 para selección de apartarrayos de Oxido de Zinc, se seleccionan los apartarrayos con una tensión igual o mayor a este valores, lo cual resulta en las selecciones de apartarrayos:

- Para 115 kV, apartarrayos de clase 90 kV, con un voltaje máximo de operación continua de 72 kV.
- Para 230 kV, apartarrayos de clase 180 kV, con un voltaje máximo de operación continua de 144 kV.
- Para 400 kV, apartarrayos de clase 312 kV, con un voltaje máximo de operación continua de 250 kV.

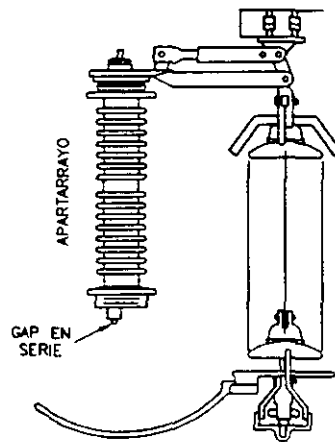


**Figura 8.1.- Instalación de un apartarrayos de Oxidos Metálicos sin entrehierro a una cadena de aisladores.**

## 8.2 Selección de Apartarrayos con Entrehierro Externo en Serie.

Este tipo de apartarrayos, mostrado en la **figura 8.2**, es fabricado hasta ahora únicamente en Japón. Su selección implica un procedimiento más elaborado debido a que su diseño debe adecuarse a las características de las estructuras y condiciones meteorológicas, climáticas y ambientales del sitio en donde se instalarán. El fabricante de este producto comercial ofrece la adecuación de las características de estos dispositivos de protección a cualquier tensión en sistemas de MT y AT (para sistemas de hasta 500 kV). Entre los parámetros que el fabricante solicita, se tienen:

- a) Características particulares de la línea. En ellas se incluye:
  - Voltaje de operación y calibre de conductores.
  - Tipo y diseño de las torres (ya que los herrajes deben adecuarse dependiendo si son torres de suspensión, remate, transposición, etc.). Asimismo, longitud media del claro y flecha media por claro.
  - Tensión de maniobra de diseño de la línea (esta debe calcularse para la línea específica, en función de los parámetros y topología de la red eléctrica), para verificar que la longitud del entrehierro sea adecuada y no se produzca operación del entrehierro por alguna operación de restablecimiento de falla o por otra maniobra.
  - Características y número de aisladores por cadena (ya que el arreglo apartarrayos-entrehierro se coloca justo a través de la cadena de aisladores).
  - Información sobre esfuerzos mecánicos de diseño.
- b) Características ambientales de la(s) regione(s) que atraviesa la línea
  - Altitud sobre el nivel del mar. En realidad se llegan a hacer necesarios los perfiles topográficos para determinar la altitud de cada estructura en donde se instalarán apartarrayos. Este aspecto es importante para definir la longitud requerida del entrehierro, a través de las correcciones por condiciones atmosféricas diferentes a las normalizadas.
  - Nivel y tipo de contaminación de la región que atraviesa la línea. Para determinar las características de la envoltura polimérica del apartarrayos, que resulte más adecuada para proporcionar la distancia de fuga requerida dependiendo del nivel de contaminación.
  - Velocidad del viento (máxima, mínima y promedio)
  - Temperatura ambiente (máxima, mínima y promedio)
  - Humedad ambiente (máxima, mínima y promedio)



**Figura 8.2.- Apartarrayos con entrehierro externo en serie.**

### 8.3 Procedimiento para Determinar las Estructuras a Proteger

- a) Análisis de la información estadística de fallas de la línea, para determinar las estructuras mayormente afectadas por las descargas atmosféricas.

Esta es una información muy valiosa, ya que permite hacer una primer selección en la cual se determina en qué estructuras la experiencia indica la necesidad de instalar apartarrayos para evitar interrupciones por flameo. Generalmente se va a encontrar que torres en puntos elevados o con valores de resistencia de conexión a tierra altos, son las mayormente afectadas por las descargas atmosféricas.

Generalmente CFE conserva registros anuales de salidas por causa de falla, por lo que resulta posible combinar esta información con los registros sobre cadenas de aisladores flameadas durante las tormentas eléctricas. Adicionalmente, CFE conserva también registros de las operaciones del equipo localizador de fallas (SEL), el cual proporciona la localización aproximada de la falla, estableciendo la distancia de la torre fallada hasta cada una de las subestaciones a donde se conecta dicha línea. En algunos casos, de la información analizada, es posible determinar aún las fases involucradas

- b) Una vez seleccionadas las torres, el siguiente paso es decidir cuáles serán las fases a proteger.

Este aspecto va a estar muy influenciado por el tipo de torre y el número de circuitos que lleva. Generalmente, en torres de un solo circuito debe esperarse que las fases que pudieran estar involucradas en cadenas flameadas por rayos, sean las exteriores, que son las más expuestas a fallas de blindaje. Sin embargo, en torres donde la resistencia de conexión a tierra es elevada, la fase central puede también

estar expuesta a fallas por flameo inverso, particularmente en torres con ventanas reducidas.

En líneas de doble circuito de las comunmente utilizadas por CFE, es decir con un circuito a cada lado de la torre en configuración quasi-vertical, es común encontrar que las fases superior e inferior son las mayormente afectadas por las descargas atmosféricas. Este fenómeno se debe por un lado a que durante un proceso de flameo inverso, el voltaje en el copete de la torre afecta principalmente a la fase superior, mientras que el efecto de acoplamiento del hilo de guarda al conductor de la fase inferior, es reducido por la mayor distancia entre los dos conductores. Esto origina que cualquier sobretensión en el conductor inferior tenga muy poca atenuación por la presencia del hilo de guarda.

En los casos en que se hayan registrado recurrentemente fallas en las tres fases, es prudente decidir la instalación de apartarrayos en las tres fases. En forma similar, si las fallas se concentran en las fases superior e inferior, será suficiente proporcionar protección sólo a esos conductores.

- c) Es importante en el caso de líneas de doble circuito proteger ambos circuitos, en aquellas estructuras donde las estadísticas de fallas muestren problemas frecuentes.
- d) Debe considerarse también la posibilidad de que al proteger algunas estructuras elevadas, parte de la corriente del rayo puede afectar a las estructuras adyacentes a las protegidas.

Esto se confirmará con los primeros resultados de la instalación de los dispositivos de protección y en caso necesario, deberán también protegerse esas estructuras, en las mismas fases.

- e) Realizar simulaciones analíticas para confirmar que el esquema de protección fué el adecuado.

Esto es conveniente particularmente en el caso de proteger solo algunos de los conductores en los circuitos. Sin embargo, es también importante para confirmar el efecto de las torres vecinas.

- f) Si partimos de que el mecanismo de operación de los apartarrayos con entrehierro externo es como se ha evaluado y observado en líneas de distribución, podemos esperar que el valor de resistencia de conexión a tierra de estos dispositivos no debe afectar su operación, por lo que se recomienda no realizar mejora alguna a la red de tierras en torres protegidas con este tipo de dispositivo, siempre que se protejan todos los conductores en la torre.
- g) Una vez instalados los apartarrayos con entrehierro, debe registrarse una reducción notable de los índices de fallas en la línea, con respecto a los mayores niveles históricos registrados de fallas por descargas atmosféricas.

## **APENDICE A**

# **MAPAS DE LAS AREAS DE TRANSMISION CON LINEAS DE ISODENSIDAD DE RAYOS A TIERRA**

**AREA DE TRANSMISION BAJA CALIFORNIA**

**AREA DE TRANSMISION NOROESTE**

**AREA DE TRANSMISION NORTE**

**AREA DE TRANSMISION NORESTE**

**AREA DE TRANSMISION OCCIDENTE**

**AREA DE TRANSMISION CENTRAL**

**AREA DE TRANSMISION ORIENTE**

**AREA DE TRANSMISION SURESTE**

**AREA DE TRANSMISION PENINSULAR**

## APENDICE A

### MAPAS DE LAS AREAS DE TRANSMISION CON LINEAS DE ISODENSIDAD DE RAYOS A TIERRA

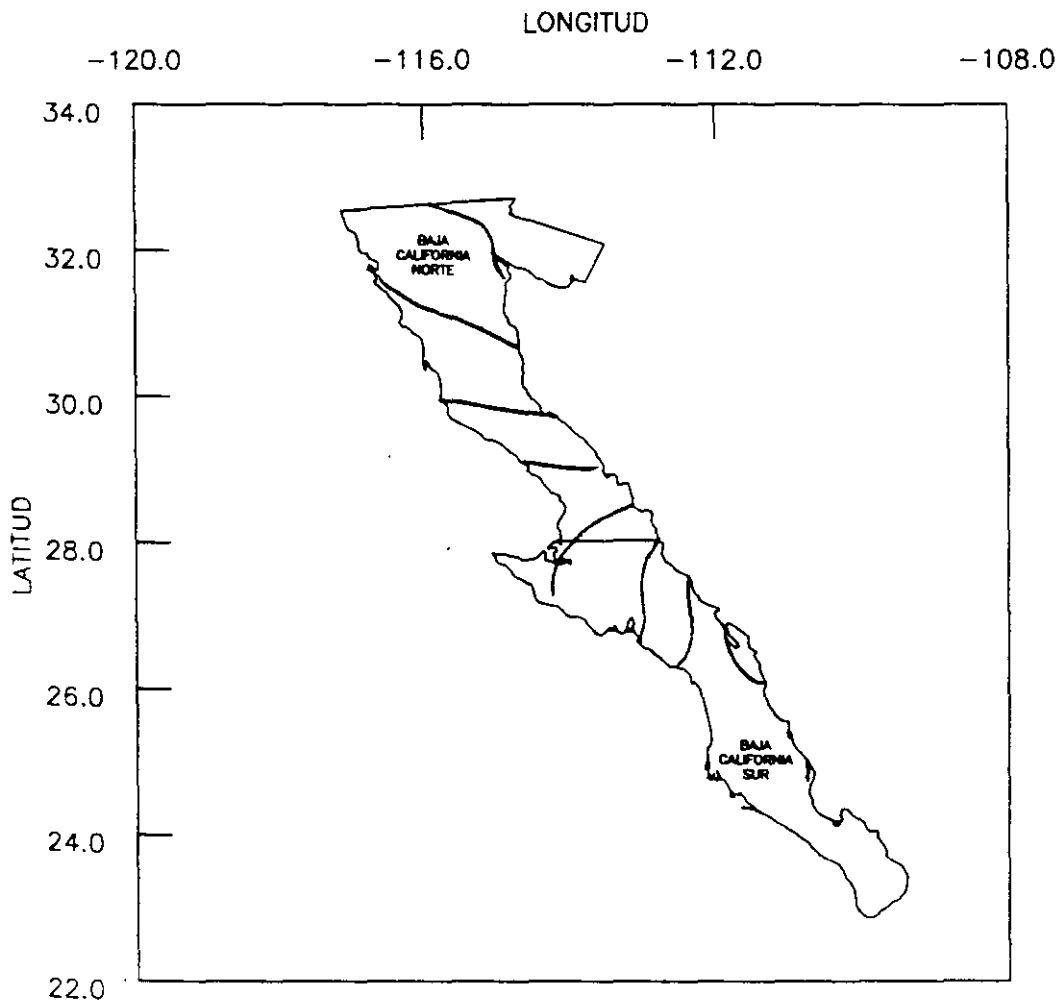
---

En este Apéndice se muestran los mapas de las áreas de transmisión de C.F.E. con las densidades de rayos a tierra indicadas con isolíneas. Estas densidades de rayos a tierra corresponden al promedio de datos obtenidos durante 11 años de observación del número de rayos a tierra en diferentes zonas de la República Mexicana.

Las áreas de transmisión de C.F.E. se enlistan a continuación:

- AREA DE TRANSMISION BAJA CALIFORNIA
- AREA DE TRANSMISION NOROESTE
- AREA DE TRANSMISION NORTE
- AREA DE TRANSMISION NORESTE
- AREA DE TRANSMISION OCCIDENTE
- AREA DE TRANSMISION CENTRAL
- AREA DE TRANSMISION ORIENTE
- AREA DE TRANSMISION SURESTE
- AREA DE TRANSMISION PENINSULAR

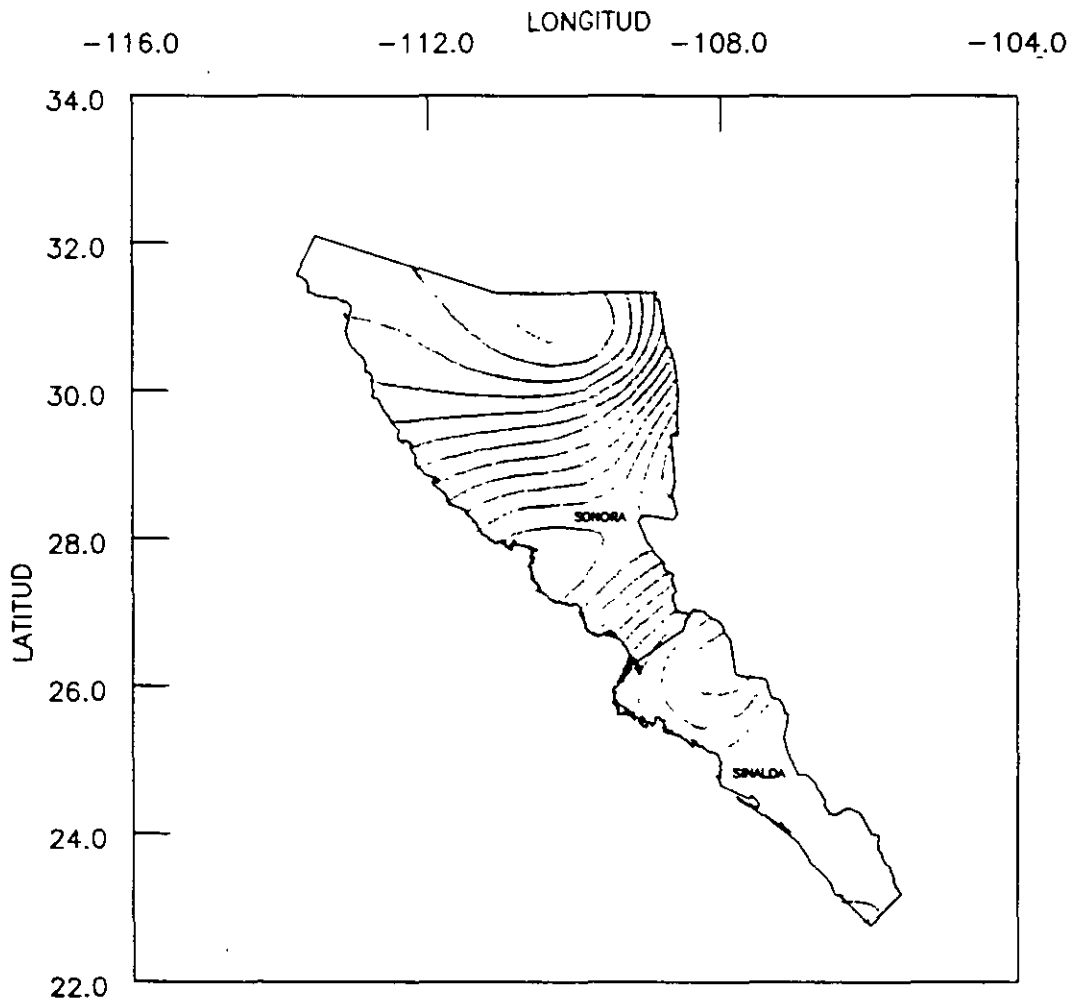
Para cada área de transmisión se muestran los niveles de densidad de rayos a tierra o el número de rayos a tierra por kilómetro cuadrado por año,  $N_g$ . Los niveles de densidad de rayos a tierra se indican con isolíneas de diferentes colores. Adicionalmente, en cada mapa se indican las coordenadas geográficas con sus longitudes y latitudes correspondientes.



NIVELES 0.25 - 2.75  
NIVELES 3.00 - 5.75  
NIVELES 6.00 - 8.75  
NIVELES 9.00 - 9.75

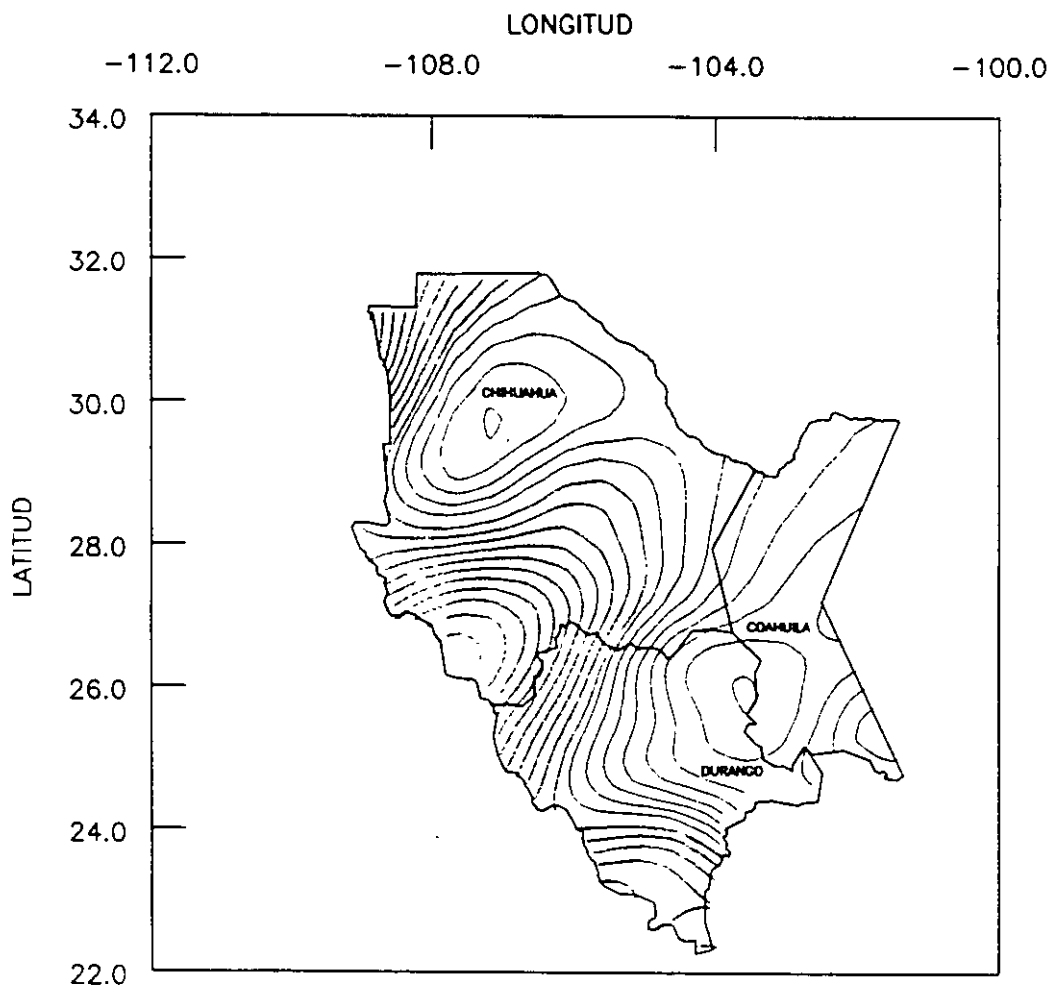
**FIGURA A.1.- AREA DE TRANSMISION BAJA CALIFORNIA**





ELEV. 0.00 - 2.75  
NIVELES 3.00 - 5.75  
NIVELES 6.00 - 8.75  
NIVELES 9.00 - 9.75

FIGURA A.2.- AREA DE TRANSMISION NOROESTE



NIVELES 0.25 - 2.75  
NIVELES 3.00 - 5.75  
NIVELES 6.00 - 8.75  
NIVELES 9.00 - 9.75

FIGURA A.3.- AREA DE TRANSMISION NORTE

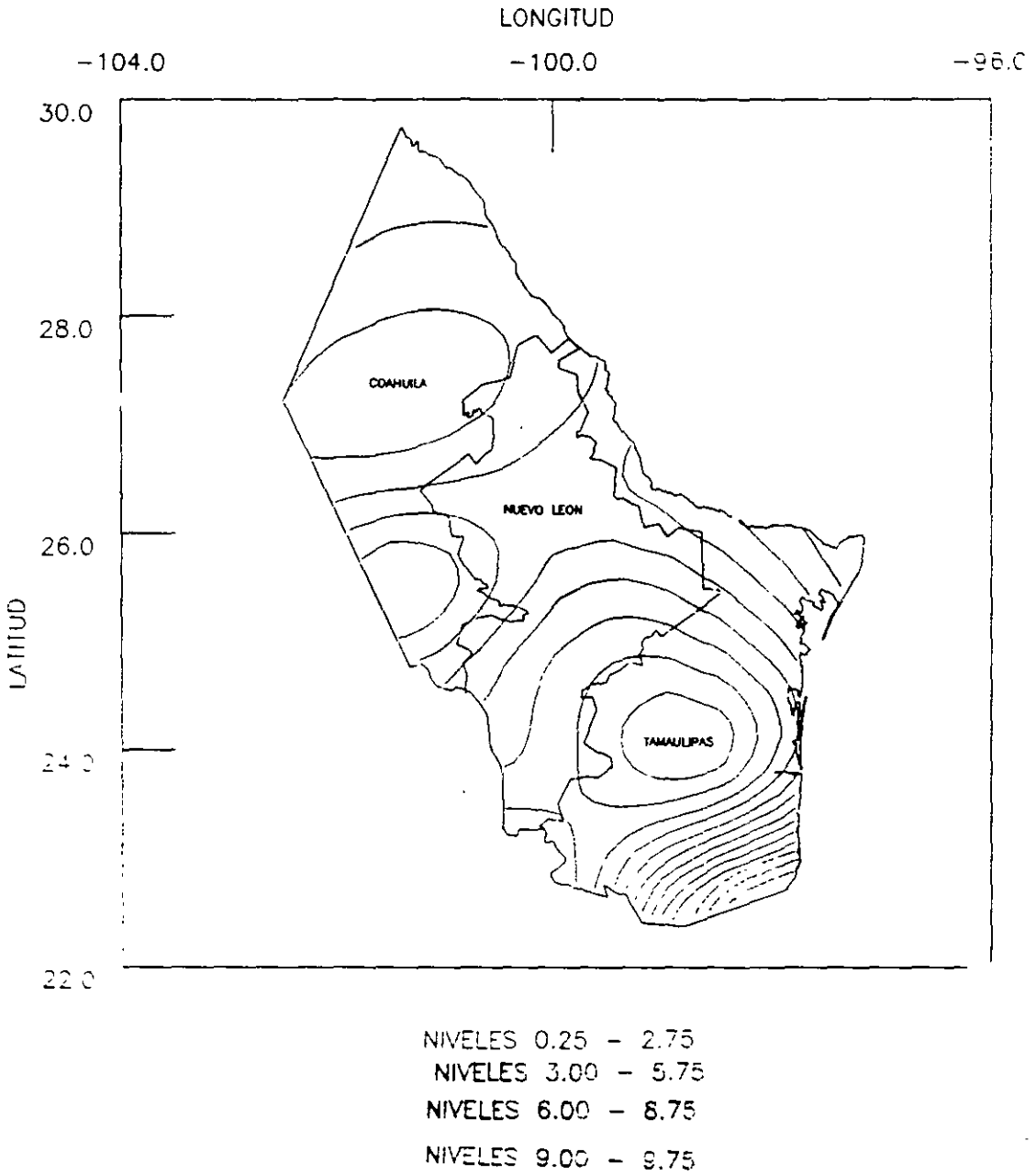
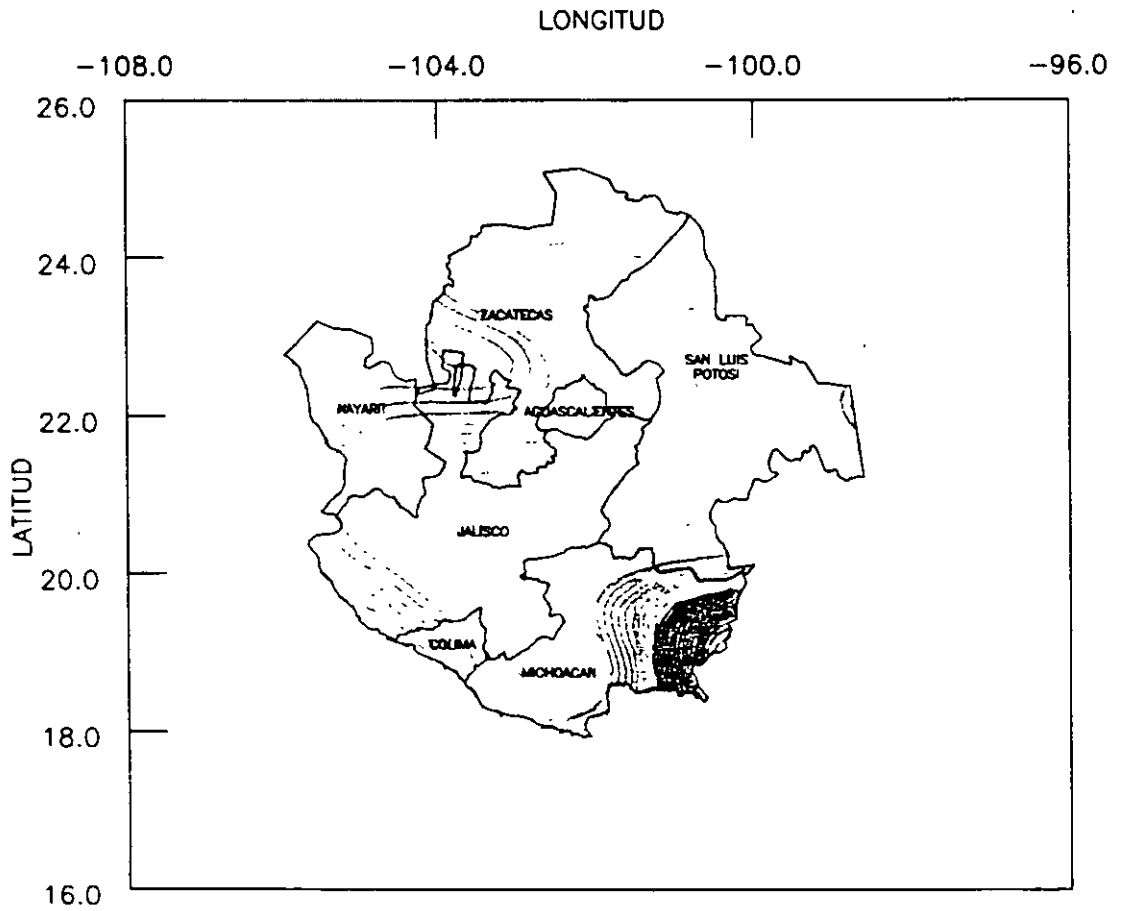
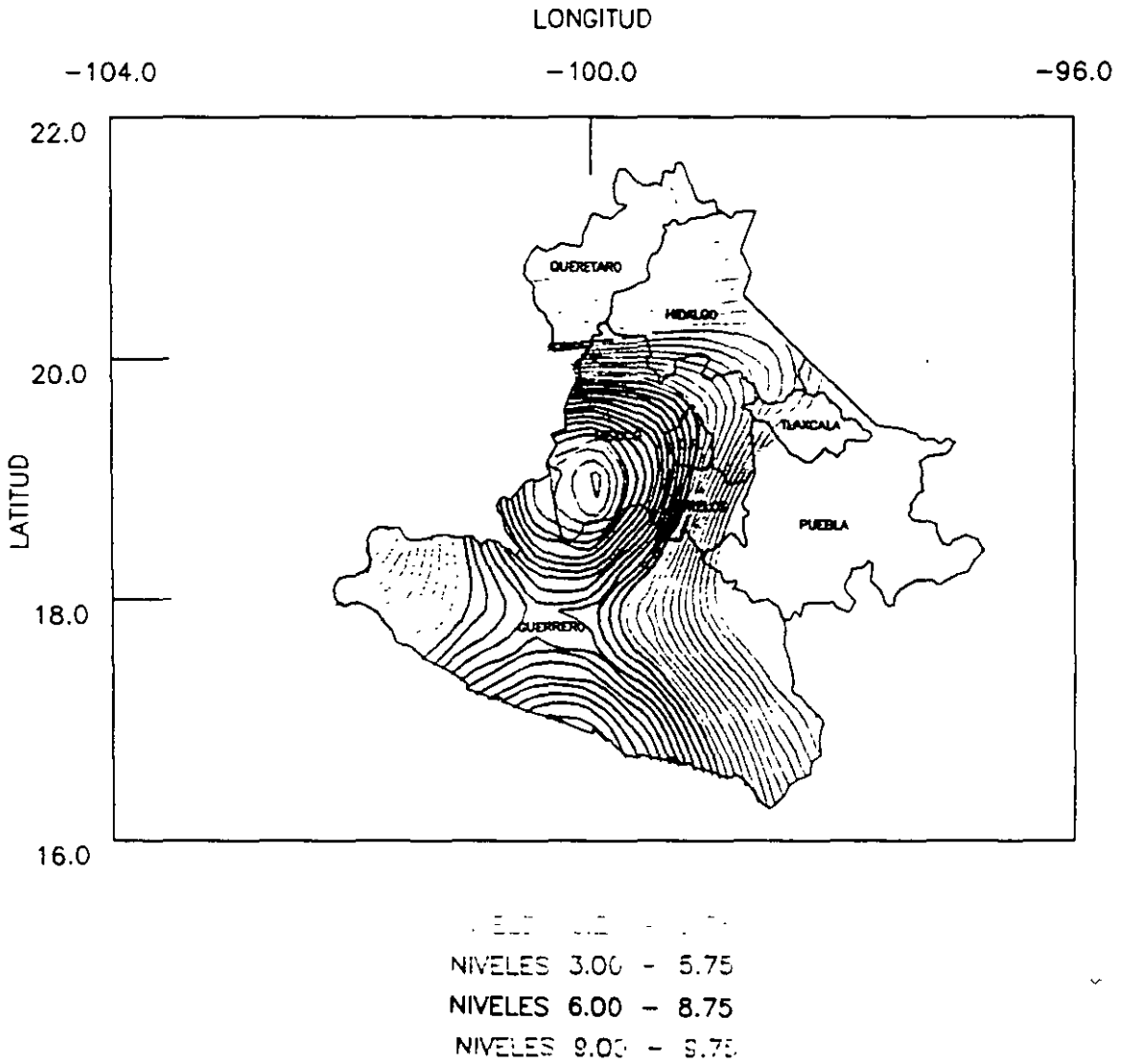


FIGURA A.4.- AREA DE TRANSMISION NORESTE



NIVELES 0.00 - 2.75  
 NIVELES 3.00 - 5.75  
 NIVELES 6.00 - 8.75  
 NIVELES 9.00 - 9.75

FIGURA A.5.- AREA DE TRANSMISION OCCIDENTE



**FIGURA A.6.- AREA DE TRANSMISION CENTRAL**

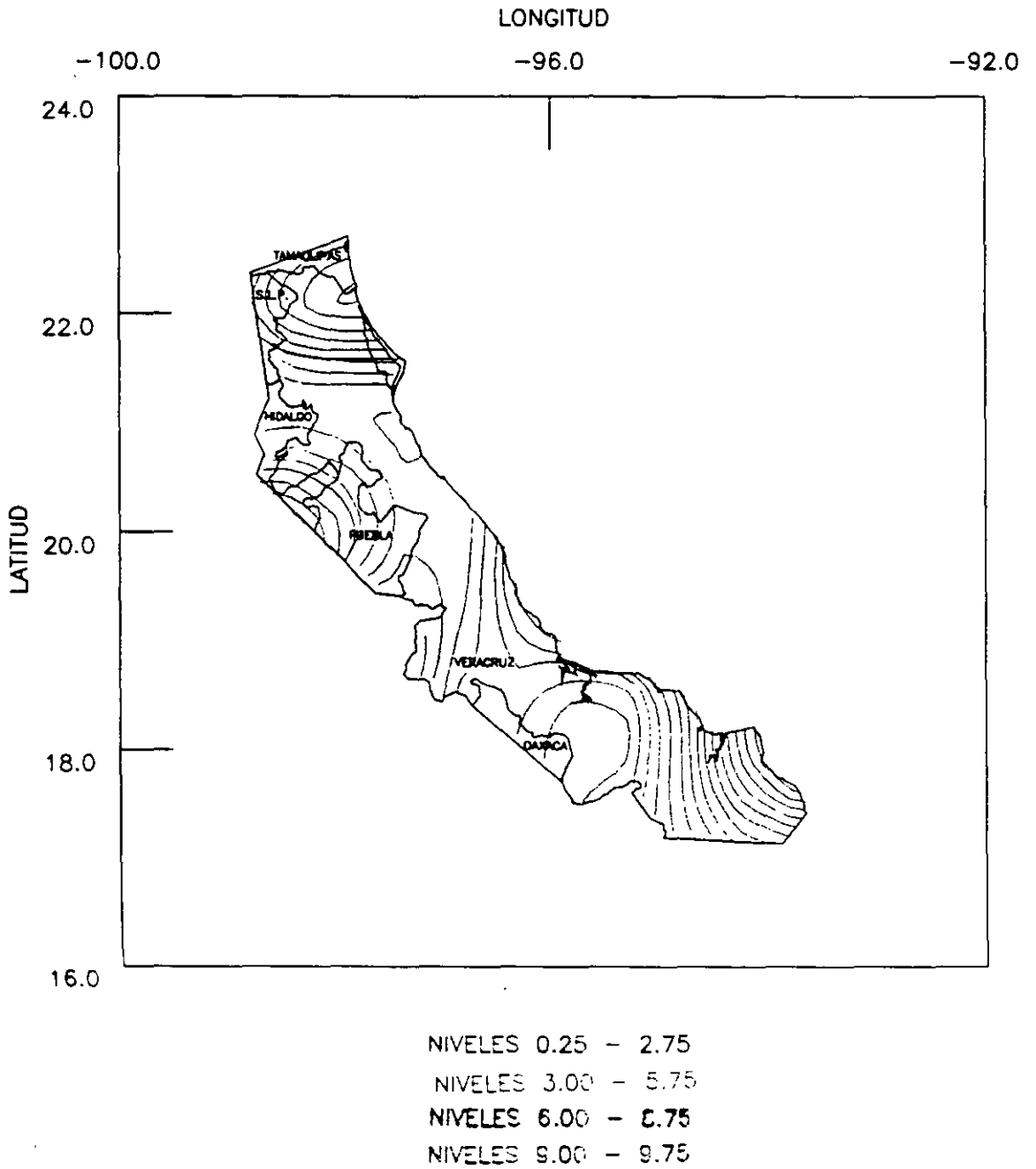
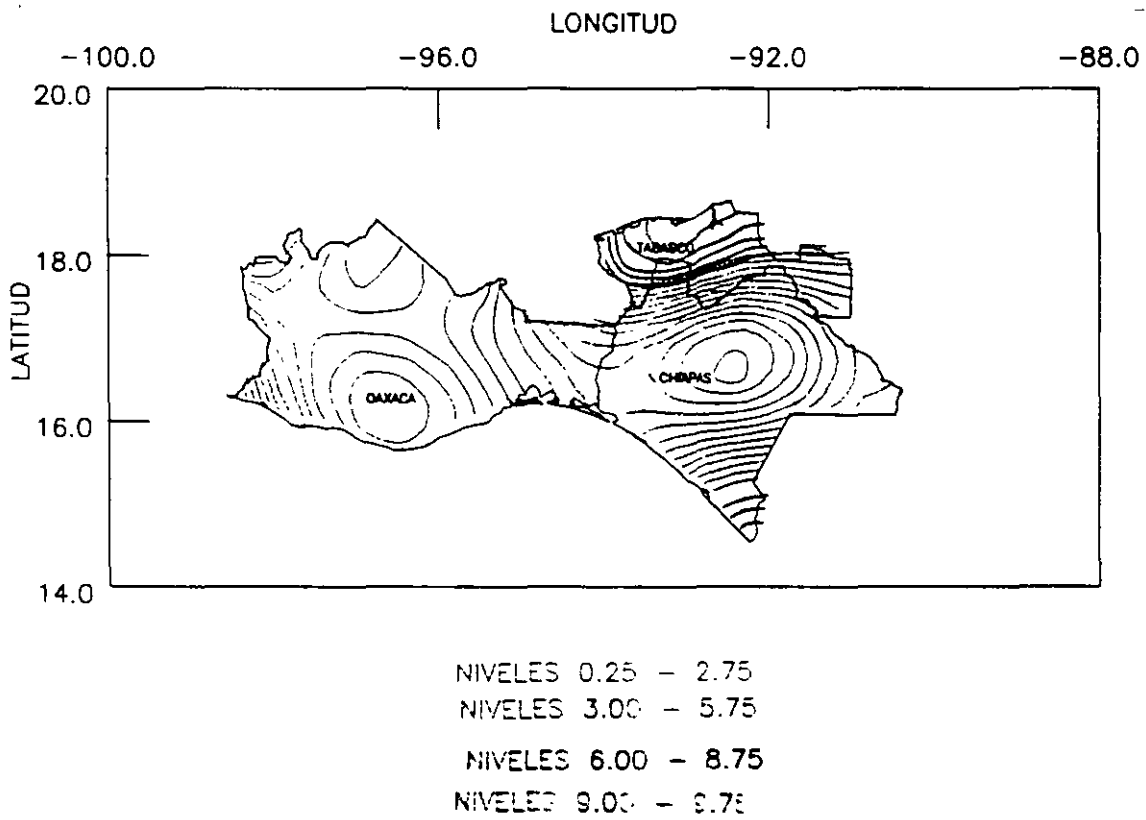
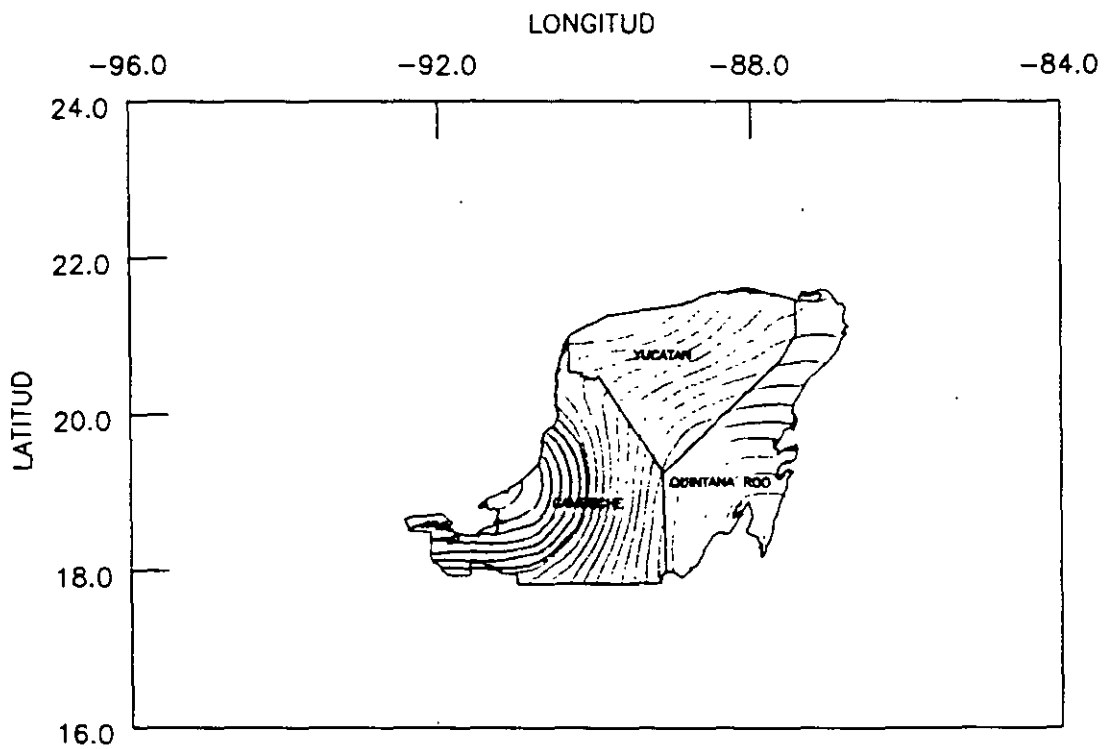


FIGURA A.7.- AREA DE TRANSMISION ORIENTE



**FIGURA A.8.- AREA DE TRANSMISION SURESTE**



NIVELES 1.00 - 2.75  
NIVELES 3.00 - 5.75  
NIVELES 6.00 - 8.75  
NIVELES 9.00 - 9.75

FIGURA A.9.- AREA DE TRANSMISION PENINSULAR



# **APENDICE B**

## **MODELO ELECTROGEOMETRICO**

**B.1 Falla de Blindaje**

**B.2 Cálculo del Angulo de Blindaje**



## APENDICE B

### MODELO ELECTROGEOMETRICO

---

El modelo electrogeométrico se basa en el proceso físico de formación de la guía ascendente, durante una descarga atmosférica, descrito en la **figura 1.2**. En esta etapa de la descarga a tierra se describe el proceso de desarrollo de la carga transportada a tierra por la guía descendente y la formación de guías ascendentes al acercarse la guía descendente a tierra. Los estudios realizados alrededor de este proceso físico y la aplicación de modelos analíticos y empíricos junto con la experiencia ganada en observaciones en aplicaciones prácticas, han motivado una colección de ideas concentradas en el término **Modelo Electrogeométrico**. Con este término se concentra la idea de la obtención del número de rayos a líneas de transmisión y el procedimiento para localizar el blindaje de las mismas líneas y evitar la incidencia de descargas a los conductores de fase.

En este folleto se describe el modelo electrogeométrico simplificado (CIGRE), en donde se considera el proceso de unión entre la guía ascendente y la descendente descrito con el concepto del radio de atracción (ver sección 1.0, figura 1.2).

La **figura B.1** describe el modelo electrogeométrico para el caso de dos hilos de guarda, para un valor específico de corriente y considerando un desarrollo vertical de la guía descendente. Los radios críticos se describen con arcos de círculos para cada conductor de fase y para dos hilos de guarda. El límite obtenido para rayos interceptados por la tierra es marcado por la línea horizontal a una distancia  $R_g$  del nivel de tierra. En el caso en que la guía descendente con una corriente  $I$ , correspondiente a los arcos dibujados (A-B y B-C), toque al arco formado entre A y B, se supone que la descarga incidirá en uno de los conductores de fase. Si la guía toca los arcos B-C la descarga incidirá en uno de los hilos de guarda. Suponiendo que todas las guías son verticales, la distancia marcada por  $D_c$  se tendría como la distancia de exposición para fallas del blindaje. De esta manera obtenemos el número de fallas del blindaje como:

$$FB = N_g L_p D_c$$

donde se considera a la densidad de rayos a tierra,  $N_g$ , la longitud de la línea  $L_p$  y la distancia de exposición para fallas de blindaje,  $D_c$ , para una corriente de rayo determinada. Considerando la distribución de corriente de rayos, el número de fallas por blindaje se afecta por la función de densidad de probabilidad. Así el número de fallas de blindaje se expresa como:

$$FB = 2N_g L_g \int_3^{I_m} D_c f(I) dI$$

donde se tiene que el limite minimo de corriente de rayo considerada es de 3 kA y el máximo valor de corriente,  $I_m$ , con el cual no se tendrán descargas a la línea.

Con el incremento de la corriente el radio de los círculos ( $R_{cr}$  y  $R_g$ ) aumenta y la distancia  $D_c$  se reduce. Finalmente se llega a un valor de corriente  $I_m$  donde el valor de  $D_c$  es cero.

Si se considerará que los voltajes en los conductores de fase producidos por estas fallas de blindaje son menores que el  $V_{50}$  (voltaje crítico de flameo por descargas atmosféricas con polaridad negativa), se considera que no existe falla del blindaje. Para determinar la falla del blindaje que producirá flameo, el limite inferior de 3 kA se reemplaza por la relación entre el  $V_{50}$  y  $Z_T$ , la impedancia transitoria de la línea, como:

$$I_c = 2 \frac{V_{50}}{Z_T}$$

asi las fallas de blindaje que producirán flameos se pueden obtener como:

$$FBF = 2N_g L_g \int_{I_c}^{I_m} D_c f(I) dI$$

de esta ecuación se puede apreciar que para el caso en que  $I_c$  sea igual a  $I_m$ , FBF será igual a cero, esto implica que no se tendrán fallas de blindaje con el ángulo de blindaje calculado, por lo que se tendrá un blindaje efectivo.

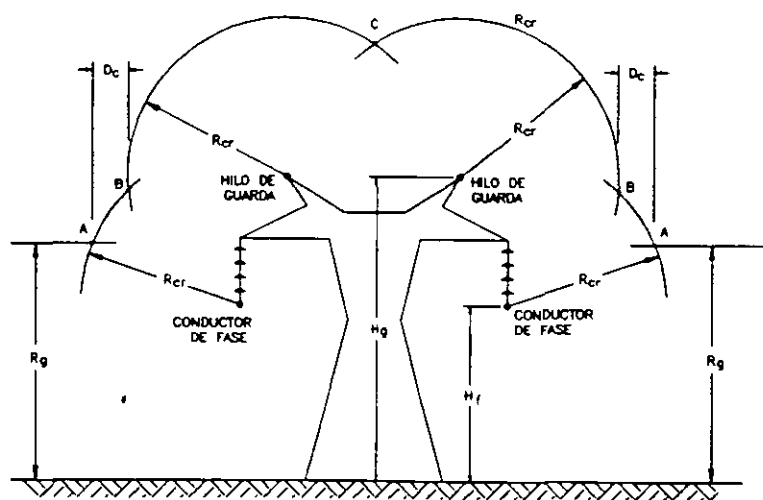
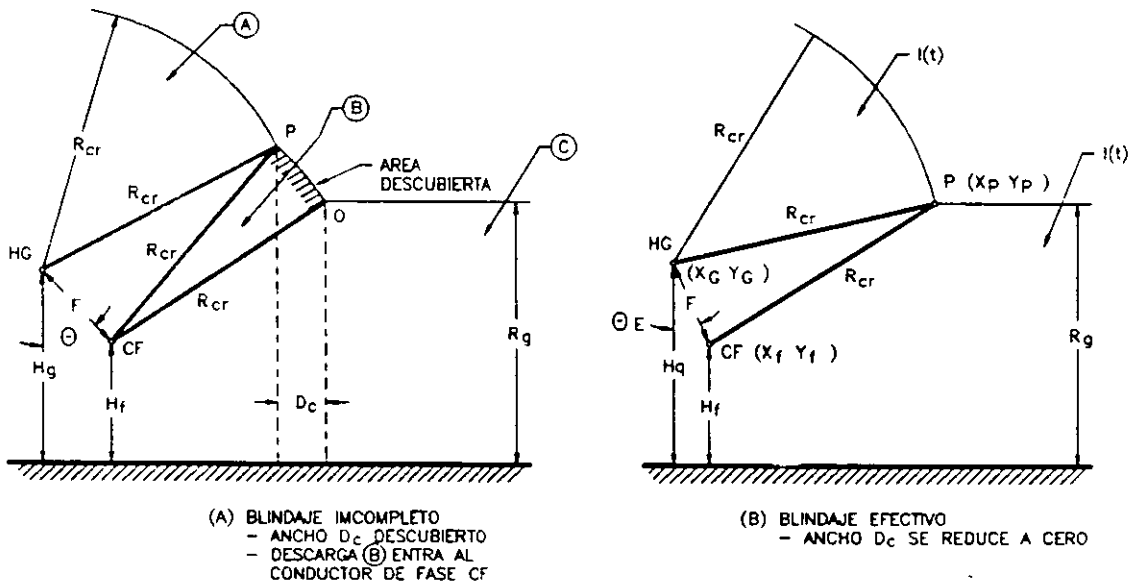


Figura B.1.- Modelo electrogeométrico.

**B.1 Falla de Blindaje**

En la **figura B.2** se muestra esquemáticamente la falla de blindaje para una corriente mínima, figura B.2(a), y un blindaje efectivo, figura B.2(b). En la falla de blindaje, figura B.2(a), se tiene una zona de exposición marcada por la distancia  $D_c$ , obtenida con el arco de círculo P-O, en esta área penetrarán los rayos (marcados por la letra B) al conductor de fase, CF. El rayo marcado por la letra A incidirá en el hilo de guarda y el rayo marcado por la letra C incidirá en la tierra. Reduciendo la distancia  $D_c$  a cero se obtiene un blindaje efectivo, con el cual los rayos incidirán en el hilo de guarda, HG, o en el terreno cercano a la línea.



**Figura B.2.- Concepto de falla de blindaje por penetración de una corriente mínima del rayo a un conductor de fase (a) y ángulo de blindaje efectivo (b).**

**B.2. Cálculo del Ángulo de Blindaje**

Consideremos una línea de transmisión de 115 kV, con el tipo de torre 1B1, la cual tiene un nivel básico de aislamiento al impulso, NBAI, de 550 kV de acuerdo a la tabla 4.2. La línea se encuentra en una zona con una densidad de rayos a tierra,  $N_g$ , de 3 rayos/ $\text{km}^2/\text{año}$ . La altura de los conductores de fase es de 19.0 m y el radio del conductor de 1.388 cm (795 MCM, 2.77 cm de diámetro) y la altura de los conductores de guarda es de 23.0 m. El voltaje crítico de flameo se determina de acuerdo a la sección 7 como:

$$V_{50\%} = NBI/(1 - 1.3\sigma)$$

donde  $\sigma$  es igual 3%, por lo que  $V_{50\%}$  es igual a  $NBI/0.961$ , lo que nos da un valor de 572.32 kV.

La impedancia característica del conductor de fase se calcula de acuerdo a lo establecido en la sección 1.1.4 donde la impedancia del conductor de fase se determina como:

$$Z_c = 60.0 \ln 2h_c/r_c$$

Con los valores de la altura,  $h_c$ , y radio del conductor,  $r_c$ , y usando la fórmula anterior calculamos un valor de 433.3  $\Omega$  de impedancia característica del conductor de fase.

De acuerdo a la expresión dada en la sección 1.1.5 se deduce que la corriente de rayo mínima que producirá flameo es:

$$I_r = 2 V_{50\%}/Z_c$$

lo cual nos da un valor de 2.64 kA que representa a la mínima corriente de rayo que producirá flameos en la línea de transmisión al fallar el blindaje.

En las gráficas de la figura 2.2 se muestran los ángulos de blindaje obtenidos para corrientes de 5 y 10 kA como mínimas y para cuatro diferentes valores de alturas promedio  $H_T = (H_F + H_g)/2$ , la cual, para nuestro caso tiene un valor de 21 m. Considerando el valor mínimo de 5 kA y eligiendo un índice de fallas por blindaje que producirán flameos. FBF, de 0.15 como adecuado para nuestra línea. tenemos una relación de  $FBF/N_g = (0.15/3) = 0.05$ . Con el valor de esta relación entramos a la curva de la figura 2.2 y encontramos un ángulo de blindaje de 30 grados.

## **APENDICE C**

# **CALCULO DE LONGITUDES DE AISLAMIENTO PARA CONDICIONES DE SOBRETENSIONES POR DESCARGAS ATMOSFERICAS, CORRECCIONES AMBIENTALES Y NIVELES DE CONTAMINACION**

## **EJEMPLOS DE APLICACION**

## APENDICE C

### CALCULO DE LONGITUDES DE AISLAMIENTO PARA CONDICIONES DE SOBRETENSIONES POR DESCARGAS ATMOSFERICAS, CORRECCIONES AMBIENTALES Y NIVELES DE CONTAMINACION. EJEMPLOS DE APLICACION

---

En esta sección se da un ejemplo de aplicación sobre la determinación de las distancias mínimas entre conductores de fase y partes aterrizadas, considerando las sobretensiones de origen atmosférico en líneas de transmisión de 115 kV, 230 kV y 400 kV así como la corrección de las distancias por factores ambientales. Posteriormente se realiza el ejemplo para condiciones de contaminación.

#### C.1. Cálculo de la Longitud de Cadena de Aisladores para Condiciones Ambientales Normalizadas

Se consideran las condiciones atmosféricas normalizadas con presión atmosférica de 1013 mbar, humedad absoluta de 11 gr/m<sup>3</sup> y temperatura de 20°C.

##### PARA UNA LINEA DE 115 kV:

1. El nivel básico de aislamiento al impulso por rayo, **NBAI**, se obtiene por medio de la **tabla 4.2** (página 48), en donde encontramos que para una línea de 115 kV tenemos un nivel básico de aislamiento al impulso tipo rayo (NBAI), en un intervalo de aire, de 550 kV.

2. Por otro lado, el nivel básico de aislamiento al impulso debido a sobretensiones de origen atmosférico, (NBAI o  $V_{10\%}$ ) está dada por la expresión:

$$V_{10\%} = V_{50\%}(1 - 1.3\sigma)$$

donde  $\sigma$  es igual a 3%, por lo que el NBAI es igual a  $0.961 \times V_{50\%}$ , donde  $V_{50\%}$  es el voltaje crítico de flameo, obtenido como el 50% de probabilidad de flameo del aislamiento eléctrico para condiciones atmosféricas normalizadas. Por lo que el voltaje crítico de flameo al impulso por rayo se obtiene como:

$$V_{50\%} = V_{10\%} / (1 - 1.3\sigma) = 550 / 0.961 = 572.32 \text{ kV}$$

3. Para el cálculo de la longitud de aislamiento podemos usar la siguiente expresión, (descrita en la sección 4.2, página 46):

$$V_{50\%} = k_r d \quad (\text{kV})$$

donde " $k_r$ " es un factor geométrico de entrehierros que se obtiene de la **tabla 4.1** (página 47) y que depende del tipo de torre empleada; "d" es la distancia mínima entre conductores de fase y partes aterrizadas, expresada en metros. Para nuestro ejemplo tenemos que  $k_r = 550$ . Por lo que la distancia se obtiene como:

$$d = V_{50\%} / k_r = 572.32/550 = 1.04 \text{ m}$$

Por lo que la distancia mínima requerida de fase a tierra para la línea de 115 kV será de 1.04 m.

#### PARA UNA LINEA DE 230 kV:

1. Por medio de la **tabla 4.2** encontramos que para una línea de 230 kV tenemos un nivel básico de aislamiento a impulso por rayo (NBAI) de 1050 kV.

2. El nivel básico de aislamiento al impulso debido a sobretensiones de origen atmosférico, (NBAI o  $V_{10\%}$ ) está dada por la expresión:

$$V_{10\%} = V_{50\%}(1 - 1.3\sigma)$$

donde  $\sigma$  es igual a 3%, por lo que el NBAI es igual a  $0.961 \times V_{50\%}$ . Por lo que el voltaje crítico de flameo al impulso por rayo se obtiene como:

$$V_{50\%} = V_{10\%} / (1 - 1.3\sigma) = 1050/0.961 = 1092.61 \text{ kV}$$

3. Para el cálculo de la longitud de aislamiento podemos usar la siguiente expresión, (descrita en la sección 4.2, página 46):

$$V_{50\%} = k_r d \quad (\text{kV})$$

donde " $k_r$ " es un factor geométrico de entrehierros que se obtiene de la **tabla 4.1** (página 47) y que depende del tipo de torre empleada; "d" es la distancia mínima entre conductores de fase y partes aterrizadas, expresada en metros. Para nuestro ejemplo tenemos que  $k_r = 550$ . Por lo que la distancia se obtiene como:

$$d = V_{50\%} / k_r = 1092.61/550 = 1.986 \text{ m}$$

Por lo que la distancia mínima requerida de fase a tierra para la línea de 230 kV será de 1.986 m.



**PARA UNA LINEA DE 400 kV:**

1. Por medio de la **tabla 4.2** encontramos que para una línea de 400 kV tenemos un nivel básico de aislamiento al impulso (NBAI) de 1425 kV.
2. El nivel básico de aislamiento al impulso debido a sobretensiones de origen atmosférico, (NBAI o  $V_{10\%}$ ) está dada por la expresión:

$$V_{10\%} = V_{50\%}(1 - 1.3\sigma)$$

donde  $\sigma$  es igual a 3%, por lo que el NBAI es igual a  $0.961 \times V_{50\%}$ . El voltaje crítico de flameo al impulso por rayo se obtiene como:

$$V_{50\%} = V_{10\%} / (1 - 1.3\sigma) = 1425 / 0.961 = 1482.83 \text{ kV}$$

3. Para el cálculo de la longitud de aislamiento podemos usar la siguiente expresión, (descrita en la sección 4.2, página 46):

$$V_{50\%} = k_r d \quad (\text{kV})$$

donde "k<sub>r</sub>" es un factor geométrico de entrehierros que se obtiene de la **tabla 4.1** (página 47) y que depende del tipo de torre empleada; "d" es la distancia mínima entre conductores de fase y partes aterrizadas, expresada en metros. Para nuestro ejemplo tenemos que k<sub>r</sub> = 550. Por lo que la distancia se obtiene como:

$$d = V_{50\%} / k_r = 1482.83 / 550 = 2.696 \text{ m}$$

Por lo que la distancia mínima requerida de fase a tierra para la línea de 400 kV será de 2.696 m.

### **C.2. Corrección de la Longitud de Aislamiento por Condiciones Atmosféricas no Normalizadas**

El siguiente paso es corregir los valores del nivel básico de aislamiento a impulso (NBAI), para los distintos niveles de operación, debido a los efectos ambientales en los que operarán las líneas de transmisión. Esto se realiza con base en lo expresado en la sección 6.1. Se consideran dos factores de corrección por condiciones atmosféricas, el primer factor es por la densidad del aire ó por presión atmosférica y el segundo factor es por la humedad del ambiente.

1. El **factor de corrección por la densidad del aire (K<sub>da</sub>)** se obtiene por medio de la ecuación descrita en la sección 6.1 (página 63) como:

$$K_{da} = [ b/b_0 ]^m * [ (273 + T_0)/(273 + T) ]^n$$

donde:

- T = temperatura ambiente en grados centígrados
- b = presión atmosférica en mbar
- T<sub>0</sub> = temperatura ambiente a condiciones estándar (20° C)
- b<sub>0</sub> = presión atmosférica a condiciones estándar (1013 mbar)
- m, n = factores dependientes de la polaridad, tipo de tensión de prueba, forma de los electrodos y distancia disruptiva (igual a 1 para impulso por rayo).

Los factores de "m" y "n" tienen un valor de uno para impulso por rayo. Supongamos que la temperatura ambiente en la cual operará la línea es de 18.5°C y la presión atmosférica de 845 mbar, correspondiente a una altitud de 1500 msnm.

Entonces, el factor de corrección por la densidad del aire queda de la siguiente manera:

$$K_{da} = [845/1013]^1 * [(273+20)/(273+18.5)]^1 \quad K_{da} = 0.8384$$

Con el valor de la altitud y/o de la presión atmosférica se puede obtener el valor del factor de corrección por presión atmosférica, K<sub>da</sub>, tomando directamente el valor de la **tabla 6.1**, página 64. El cual nos da un valor de K<sub>da</sub> = 0.834, aproximadamente igual al calculado.

**2. El factor de corrección por humedad (K<sub>h</sub>)** se obtiene por medio de la ecuación:

$$K_h = K^w$$

donde "w" es un factor que depende de la geometría de entrehierros, el cual se obtiene de la **tabla 6.2**, página 65, para una configuración de electrodos punta-punta w = 1.0.

"K" es un factor que depende de la humedad absoluta, cuyo valor se obtiene de las gráficas mostradas en las **figuras 6.1 y 6.2**, página 66. Para leer el factor de "K" se debe conocer la humedad absoluta del sitio en gr/m<sup>3</sup> que se obtiene de la gráfica en la **figura 6.2**, cuyos parámetros son la temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo del lugar en grados centígrados y la humedad relativa del aire del lugar donde se encontrará la línea de transmisión. Para nuestro ejemplo tomamos los datos correspondientes a una altitud aproximada de 1500 msnm (metros sobre el nivel del mar), obteniendo los siguientes datos:

- \* humedad relativa del aire es del 65%
- \* temperatura de bulbo seco de 18.5°C
- \* temperatura de bulbo húmedo 15°C

Con los valores anteriores y con la **figura 6.2**, obtenemos la humedad absoluta del lugar con un valor de 11 gr/m<sup>3</sup>.

Teniendo el valor de la humedad absoluta del lugar y por medio de la **figura 6.1**, obtenemos el valor de "K":

$$K = 0.995$$

por lo que el factor de corrección por humedad queda de la siguiente manera:

$$K_h = K^* = (0.995)^{1.0} \quad ; \quad K_h = 0.995$$

3. Obtenidos los factores de corrección por condiciones atmosféricas, podemos corregir los valores de las distancias en aire con la expresión descrita en la página 67 como:

$$d_{co} = V_{50\%} / K_r K_{ca} \quad \text{donde } K_{ca} = K_{da} / K_h = 0.8426$$

sustituyendo los valores, tenemos:

**PARA LA LINEA DE 115 kV**

$$d_{co} = 572.32 / (550 \times 0.8426) \quad d_{co} = 1.235 \text{ m} \quad (\text{que sustituye a } 1.04)$$

**PARA LA LINEA DE 230 kV**

$$d_{co} = 1092.61 / (550 \times 0.8426) \quad d_{co} = 2.357 \text{ m} \quad (\text{que sustituye a } 1.986)$$

**PARA LA LINEA DE 400 kV**

$$d_{co} = 1482.83 / (550 \times 0.8426) \quad d_{co} = 3.199 \text{ m} \quad (\text{que sustituye a } 2.696)$$

El número de aisladores tipo 27SVC111, 28SV111C ó 32SPC111 necesarios para cumplir con la distancia mínima establecida, tomando en cuenta las correcciones por efectos ambientales, será:

$$NA = d_{co} / d_{ais}$$

donde "d<sub>ais</sub>" es la distancia longitudinal del aislador, que para estos tipos de aisladores es de 0.146 m. Por lo tanto:

**PARA LA LINEA DE 115 kV**                      NA = 1.235 / 0.146    ≈ 9 unidades

**PARA LA LINEA DE 230 kV**                      NA = 2.357 / 0.146    ≈ 16 unidades

**PARA LA LINEA DE 400 kV**                      NA = 3.199 / 0.146    ≈ 22 unidades

Nota: En estos ejemplos no se consideró el factor de seguridad de 1.05 (por geometría variable)

### C.3. Determinación del Número Mínimo de Aisladores de una Cadena tomando en Cuenta la Contaminación Ambiental de la Zona donde se Encontrará la Línea

#### PARA UNA LINEA DE 115 kV

1. **Nivel de contaminación ligero.**- De la tabla 5.3 (4ª columna), página 58, obtenemos que para un nivel de contaminación ligero la distancia de fuga mínima nominal,  $D_{\text{fmg}}$ , debe ser de 28 mm/kV, mientras que el voltaje máximo del sistema fase a tierra es de  $123/\sqrt{3}$ . Por lo que, de acuerdo a lo expresado en la sección 5.4, página 56, la distancia de fuga total de la cadena ( $D_{\text{fmg}}$ ), debe ser:

$$D_{\text{fmg}} = D_{\text{fmg}} V_m k = (28) (123/\sqrt{3}) (1) = 1988.4 \text{ mm}$$

Mientras que el número de unidades en la cadena dependerá del tipo de aislador a utilizar, tenemos que la distancia de fuga de las unidades ( $D_{\text{cat}}$ ) se obtendrán por catálogos. Para el ejemplo utilizaremos los siguientes tipos:

TIPO	$D_{\text{cat}}$ (mm)
27SVC111	292
28SV111C	445
32SPC111	612

Por lo que el número de unidades necesarias para la cadena de aisladores para una línea de 115 kV y un nivel de contaminación ligero, será calculado con la ecuación descrita en la sección 5.4, página 56, como:

$$NA = D_{\text{fmg}} / D_{\text{cat}}$$

Para el caso de los aisladores tipo 27SVC111 se considera la distancia de fuga del aislador tipo normalizado, por lo que:

$$NA = D_{\text{fmg}} / D_{\text{cat}} = 1988.4 / 292 \approx 7 \text{ aisladores tipo 27SVC111}$$

2. **Nivel de contaminación medio.**- De manera similar que el punto anterior, tenemos que para este nivel la  $D_{\text{fmg}}$  debe ser de 35 mm/kV (tabla 5.3), por lo que:

$$D_{\text{fmg}} = D_{\text{fmg}} V_m k = 35 \times 123/\sqrt{3} \times 1 = 2485.5 \text{ mm}$$

Entonces, el número de unidades en la cadena de aisladores para una línea de 115 kV y en un nivel de contaminación medio, será:

$$NA = D_{\text{fmg}} / D_{\text{cat}} = 2485.5 / 292 \approx 9 \text{ aisladores tipo 27SVC111}$$

**3. Nivel de contaminación alto.-** Para este nivel, tenemos que la  $D_{imn}$  (tabla 5.3), debe ser de 43 mm/kV, por lo que:

$$D_{fic} = D_{imn} V_m k = 43 \times 123/\sqrt{3} \times 1 = 3053.6 \text{ mm}$$

Entonces, el número de unidades en la cadena de aisladores para una línea de 115 kV y en un nivel de contaminación alto, será:

$$NA = D_{fic}/D_{cat} = 3053.6/292 \approx 11 \text{ aisladores tipo 27SVC111}$$

Por limitaciones en las distancias en aire, se usan aisladores con mayor distancia de fuga y conservando un aislador estándar (27SVC111) al final de la cadena (práctica común en C.F.E.), como se muestra a continuación:

$$NA = D_{fic}/D_{cat} = (3053.6 - 292)/445$$

$$\approx 7 \text{ aisladores tipo 28SV111C y un aislador tipo 27SVC111}$$

**4. Nivel de contaminación muy alto.-** Para este nivel, tenemos que la  $D_{imn}$  (tabla 5.3), debe ser de 54mm/kV, por lo que:

$$D_{fic} = D_{imn} V_m k = 54 \times 123/\sqrt{3} \times 1 = 3834.7 \text{ mm}$$

Entonces, el número de unidades en la cadena de aisladores para una línea de 115 kV y en un nivel de contaminación muy alto, será:

$$NA = D_{fic}/D_{cat} = 3834.7/292 \approx 14 \text{ aisladores tipo 27SVC111}$$

Como alternativa por limitaciones en las distancias en aire y usando la práctica de un aislador estándar al final de la cadena de aisladores, tenemos:

$$NA = D_{fic}/D_{cat} = (3834.7 - 292)/445$$

$$\approx 8 \text{ aisladores tipo 28SV111C y un aislador tipo 27SVC111}$$

$$NA = D_{fic}/D_{cat} = (3834.7 - 292)/612$$

$$\approx 6 \text{ aisladores tipo 32SPC111 y un aislador tipo 27SVC111}$$

## PARA UNA LINEA DE 230 kV

**1. Nivel de contaminación ligero.-** De la tabla 5.4 (4ª columna), página 59, obtenemos que para un nivel de contaminación ligero la distancia de fuga mínima nominal,  $D_{imn}$ , debe ser de 28 mm/kV, mientras que el voltaje máximo del sistema fase a tierra es de  $245/\sqrt{3}$ . Por lo que, de acuerdo a lo expresado en la sección 5.4, página 56, la distancia de fuga total de la cadena ( $D_{fic}$ ), debe ser:

$$D_{fic} = D_{imn} V_m k = (28) (245/\sqrt{3}) (1) = 3960.62 \text{ mm}$$

Mientras que el número de unidades en la cadena dependerá del tipo de aislador a utilizar, tenemos que la distancia de fuga de las unidades ( $D_{cat}$ ) se obtendrán por catálogos. Para el ejemplo utilizaremos los tipos enlistados a continuación:

TIPO	$D_{cat}$ (mm)
27SVC111	292
28SV111C	445
32SPC111	612

Por lo que el número de unidades necesarias para la cadena de aisladores para una línea de 230 kV y un nivel de contaminación ligero, será calculado con la ecuación descrita en la sección 5.4, página 56, como:

$$NA = D_{fic} / D_{cat}$$

Para el caso de los aisladores tipo 27SVC111 se considera la distancia de fuga del aislador tipo normalizado, por lo que:

$$NA = D_{fic} / D_{cat} = 3960.6 / 292 \approx 15 \text{ aisladores tipo 27SVC111}$$

**2. Nivel de contaminación medio.-** De manera similar que el punto anterior, tenemos que para este nivel la  $D_{imn}$  debe ser de 35 mm/kV (tabla 5.4), por lo que:

$$D_{fic} = D_{imn} V_m k = 35 \times 245/\sqrt{3} \times 1 = 4950.78 \text{ mm}$$

Entonces, el número de unidades en la cadena de aisladores para una línea de 230 kV y en un nivel de contaminación medio, será:

$$NA = D_{fic} / D_{cat} = 4950.78 / 292 \approx 17 \text{ aisladores tipo 27SVC111}$$

Por limitaciones en las distancias en aire, se usan aisladores con mayor distancia de fuga y conservando un aislador estándar (27SVC111) al final de la cadena (práctica común en C.F.E.), como se muestra a continuación:

$$NA = D_{fic} / D_{cat} = (4950.78 - (12 \times 292)) / 445$$

$$\approx 4 \text{ aisladores tipo 28SV111C y 12 aisladores tipo 27SVC111}$$

**3. Nivel de contaminación alto.-** Para este nivel, tenemos que la  $D_{imn}$  (tabla 5.4), debe ser de 43 mm/kV, por lo que:

$$D_{fic} = D_{imn} V_m k = 43 \times 245/\sqrt{3} \times 1 = 6365.3 \text{ mm}$$

Entonces, el número de unidades en la cadena de aisladores para una línea de 230 kV y en un nivel de contaminación alto, será:

$$NA = D_{fic} / D_{cat} = 6365.3 / 292 \approx 22 \text{ aisladores tipo 27SVC111}$$

Por limitaciones en las distancias en aire, se usan aisladores con mayor distancia de fuga y conservando un aislador estándar (27SVC111) al final de la cadena (práctica común en C.F.E.), como se muestra a continuación:

$$NA = D_{fic} / D_{cat} = (6365.3 - 292) / 445 \\ \approx 13 \text{ aisladores tipo 28SV111C y un aislador tipo 27SVC111}$$

**4. Nivel de contaminación muy alto.-** Para este nivel, tenemos que la  $D_{imn}$  (tabla 5.4), debe ser de 54mm/kV, por lo que:

$$D_{fic} = D_{imn} V_m k = 54 \times 245 / 3 \times 1 = 7638.34 \text{ mm}$$

Entonces, el número de unidades en la cadena de aisladores para una línea de 230 kV y en un nivel de contaminación muy alto, será

$$NA = D_{fic} / D_{cat} = 7638.34 / 292 \approx 26 \text{ aisladores tipo 27SVC111}$$

Como alternativa por limitaciones en las distancias en aire y usando la práctica de un aislador estándar al final de la cadena de aisladores, tenemos:

$$NA = D_{fic} / D_{cat} = (7638.34 - 292) / 445 \\ \approx 17 \text{ aisladores tipo 28SV111C y un aislador tipo 27SVC111}$$

$$NA = D_{fic} / D_{cat} = (7638.34 - (5 \times 292)) / 612 \\ \approx 10 \text{ aisladores tipo 32SPC111 y 5 aisladores tipo 27SVC111}$$

## PARA UNA LINEA DE 400 kV

**1. Nivel de contaminación ligero.-** De la tabla 5.5 (4ª columna), página 60, obtenemos que para un nivel de contaminación ligero la distancia de fuga mínima nominal,  $D_{imn}$ , debe ser de 28 mm/kV, mientras que el voltaje máximo del sistema fase a tierra es de  $420/\sqrt{3}$ . Por lo que, de acuerdo a lo expresado en la sección 5.4, página 56, la distancia de fuga total de la cadena ( $D_{fic}$ ), debe ser:

$$D_{fic} = D_{imn} V_m k = (28) (400/\sqrt{3}) (1) = 6789.64 \text{ mm}$$

Mientras que el número de unidades en la cadena dependerá del tipo de aislador a utilizar, tenemos que la distancia de fuga de las unidades ( $D_{cat}$ ) se obtendrán por catálogos. Para el ejemplo utilizaremos los siguientes tipos:

TIPO	$D_{cat}$ (mm)
27SVC111	292
28SV111C	445
32SPC111	612

Por lo que el número de unidades necesarias para la cadena de aisladores para una línea de 400 kV y un nivel de contaminación ligero, será calculado con la ecuación descrita en la sección 5.5, página 60, como:

$$NA = D_{fic} / D_{cat}$$

Para el caso de los aisladores tipo 27SVC111 se considera la distancia de fuga del aislador tipo normalizado, por lo que:

$$NA = D_{fic} / D_{cat} = 6789.64 / 292 \quad \approx 23 \text{ aisladores tipo 27SVC111}$$

**2. Nivel de contaminación medio.-** De manera similar que el punto anterior, tenemos que para este nivel la  $D_{imn}$  debe ser de 35 mm/kV (tabla 5.5), por lo que:

$$D_{fic} = D_{imn} V_m k = 35 \times 123 / \sqrt{3} \times 1 = 8487.05 \text{ mm}$$

Entonces, el número de unidades en la cadena de aisladores para una línea de 400 kV y en un nivel de contaminación medio, será:

$$NA = D_{fic} / D_{cat} = 8487.05 / 292 \quad \approx 29 \text{ aisladores tipo 27SVC111}$$

Por limitaciones en las distancias en aire, se usan aisladores con mayor distancia de fuga y conservando un aislador estándar (27SVC111) al final de la cadena (práctica común en C.F.E.), como se muestra a continuación:

$$NA = D_{fic} / D_{cat} = (8487.05 - (10 \times 292)) / 445$$

$$\approx 13 \text{ aisladores tipo 28SV111C y 10 aisladores tipo 27SVC111}$$

**3. Nivel de contaminación alto.-** Para este nivel, tenemos que la  $D_{imn}$  (tabla 5.5), debe ser de 43 mm/kV, por lo que:

$$D_{fic} = D_{imn} V_m k = 43 \times 420 / \sqrt{3} \times 1 = 10911.92 \text{ mm}$$

Entonces, el número de unidades en la cadena de aisladores para una línea de 400 kV y en un nivel de contaminación alto, será:





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DE LÍNEAS DE  
TRANSMISIÓN**

**TEMA**

**MATERIALES UTILIZADOS EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

**ING. ESTEBAN DE LA TORRES CABRERA  
PALACIO DE MINERÍA  
JUNIO 1998**

## MATERIALES UTILIZADOS EN LINEAS DE TRANSMISION

### A CONDUCTORES

#### 1.- Calibres normalizados

Los calibres normalizados de conductores para las líneas de transmisión en México son: ACSR 795 kCM Cónдор en 85 y 115 kV y ACSR 1113 kCM Bluejay en 230 y 400 kV con ampacidades de 900 y 1110 A, respectivamente a 75°C de temperatura del conductor.

#### 2.- Número de conductores por fase.

En líneas de 85, 115 y 230 kV se utilizan uno o dos conductores por fase, de acuerdo con la capacidad de transmisión requerida. En 400 kV siempre se utilizan dos conductores por fase como mínimo por razones de efecto corona. Recientemente, en 1995 se construyó en el Edo. de México, un circuito de 400 kV con 3 conductores por fase.

Las separaciones normalizadas entre los conductores de una fase son: 33 cm para líneas de 85, 115 y 230 kV y 45 cm para líneas de 400 kV. Para 85, 115 y 230 kV la separación se basa en los herrajes normales. Para 400 kV la separación se basa en que el gradiente crítico superficiales no debe ser mayor de 15.8 kV/cm y que la reactancia sea la menor posible.

#### 3.- Características mecánicas.

La tabla 1 muestra las características mecánicas de los conductores normalizados.

Tabla 1 - Características mecánicas de conductores.

<u>Características</u>	<u>ACSR 795 kCM, Cónдор</u>	<u>ACSR 1113 kCM, Bluejay</u>
Número de hilos	54/7	45/7
Diámetro, mm	28	32
Area, mm <sup>2</sup>	456	603
Peso unitario, kg/m	1.524	1.870
Carga de ruptura kg	12490	14030
Módulo de elasticidad inicial, kg/mm <sup>2</sup>	5202	5483
Módulo de elasticidad final, kg/mm <sup>2</sup>	6678	6587

Coefficiente de dilatación lineal inicial, - /°C	18.28 x 10 <sup>-6</sup>	20.53 x 10 <sup>-6</sup>
Coefficiente de dilatación lineal final, - - /°C	19.26 x 10 <sup>-6</sup>	20.80 x 10 <sup>-6</sup>

#### 4 - Tensión mecánica máxima.

Para evitar que se presenten vibraciones peligrosas, la tensión mecánica máxima de los conductores debe ser tal que las tensiones inicial y final a 0°C sin carga de viento no exceda de 33 1/3% y 25%, respectivamente, de la carga de ruptura. (1)

Por otra parte debe determinarse cual es la tensión mecánica más económica en función del tipo de estructuras para una línea en particular. La tabla 2 muestra ejemplos de las tensiones normalizadas a -5°C y presión de viento de 24 Kg/m<sup>2</sup>, tanto desde el punto de vista de vibraciones como desde el punto de vista de tensión más económica.

Tabla 2 - Tensiones mecánicas máximas a -5°C y presión de viento de 24 Kg/m<sup>2</sup>.

Tipo de estructura.	85 KV		230 KV		400 KV
	1 Cond. por fase	2 Conds. por fase	1 Cond. por fase	2 Conds. por fase	2 Conds. por fase
	Kg	Kg	Kg	Kg	Kv
Torres	2500	1250	3900	2200	3700
Postes	1000	-	2000	-	-

## B CABLES DE GUARDA

### 1 - Material y calibre normalizados.

Los cables de guarda normalizados para las líneas de transmisión de 85, 115, 230 y 400 kV están formados por 7 hilos de acero alta resistencia mecánica, extragalvanizados, con diámetro total de 9.53 mm.

Recientemente se han estado empezando a emplear cables de acero con hilos de fibra óptica en su interior (OPGW) con características mecánicas similares.

2 - Características mecánicas.

Las características mecánicas de los cable de guarda normalizados para las líneas de transmisión de 85, 115, 230 y 400 kV aparecen en la tabla 3.

Tabla 3 - Características mecánicas de los cable de guarda normalizados.

Número de hilos	7
Diámetro	9.5 mm
Area	51.2 mm <sup>2</sup>
Peso	406 kg/km
Carga de ruptura	4900 kg
Módulo de elasticidad inicial	15747 kg/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad final	18137, kg/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de dilatación lineal	11.52 x 10 <sup>-6</sup> /°C

3 - Tensión mecánica

La tensión mecánica de los cable de guarda debe coordinarse con la tensión de los conductores a fin de llenar los requisitos establecidos de separación a los conductores.

La tabla 4 muestra ejemplos de tensiones máximas normalizadas de los cables de guarda correspondientes a las tensiones normalizadas de conductores.

Tabla 4 - Tensiones normalizadas de los cable de guarda.

<u>ACSR 795</u> <u>MCM, Cándor</u> <u>T máx., kg</u>	<u>Cables de</u> <u>guarda</u> <u>T máx., kg</u>	<u>ACSR 1113</u> <u>MCM, Bluejay</u> <u>T máx., kg</u>	<u>Cables de</u> <u>guarda</u> <u>Tmáx., kg</u>
1000	300	2000	600
2000	600	3700	1000
2500	750	3900	1000

C - CADENAS DE AISLADORES Y HERRAJES.

1 - Aisladores.

Los aisladores normalizados para las líneas de transmisión en México, son del tipo suspensión con calavera y bola.

En las líneas de 85 y 115 kV se utilizan aisladores de 254 Ø x 146 mm con resistencia mecánica y eléctrica combinada de 8165 Kg. En 85 kV las cadenas de suspensión llevan 6 unidades y las de tensión 7. En 115 kV las cadenas de suspensión llevan 8 unidades y las de tensión 9.

En las líneas de 230 kV se utilizan aisladores de 254 Ø x 146 mm con resistencia mecánica y eléctrica combinada de 11340 Kg. Las cadenas de suspensión llevan 16 unidades y las de tensión 2 x 17.

En las líneas de 400 kV se utilizan aisladores de 254 Ø x 146 mm con resistencia mecánica y eléctrica combinada de 11340 kg. Las cadenas de suspensión llevan 23 unidades y las de tensión 2 x 24.

Las cadenas de tensión llevan un aislador más que las cadenas de suspensión con objeto de que la probabilidad de flameo sea mayor en éstas.

La longitud de la línea de fuga de los aisladores depende de las condiciones de contaminación atmosférica. Ver aislamiento.

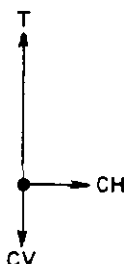
## 2 - Herrajes.

Los herrajes de las cadenas de aisladores para líneas de 85, 115 y 230 kV son del tipo convencional. Para líneas de 400 kV los herrajes de las cadenas de suspensión deben ser "corona free" en tanto que los de las cadenas de tensión son del tipo convencional con anillos equipotenciales.

## 3 - Cargas mecánicas.

### a) Cadenas de suspensión sin deflexión.

- Un conductor por fase.



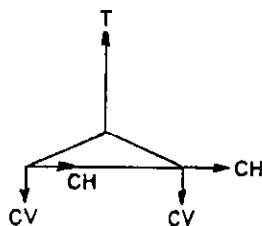
$$T = \sqrt{CV^2 + CH^2}$$

donde T = carga total

CV = carga vertical

CH = carga horizontal

- Dos conductores por fase.



$$T = 2\sqrt{CV^2 + CH^2}$$

## b) Cadenas de suspensión con deflexión.

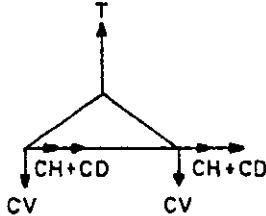
Un conductor por fase.



$$T = \sqrt{CV^2 + (CH + CD)^2}$$

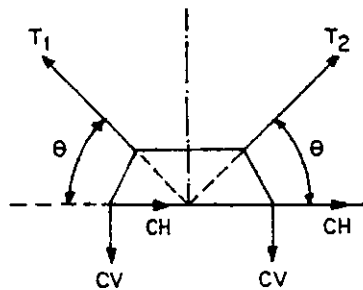
donde CD = carga por deflexión

- Dos conductores por fase.



$$T = 2\sqrt{CV^2 + (CH + CD)^2}$$

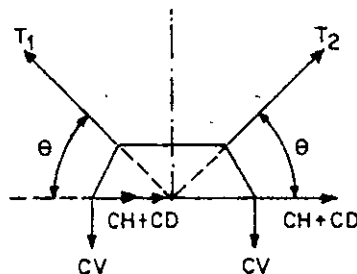
c) Cadenas de suspensión en V sin deflexión, dos conductores por fase.



$$T_1 = \frac{CV}{\text{Sen } \theta} + \frac{CH}{\text{Cos } \theta}$$

$$T_2 = \frac{CV}{\text{Sen } \theta} - \frac{CH}{\text{Cos } \theta}$$

d) Cadenas de suspensión en V con deflexión, dos conductores por fase.



$$T_1 = \frac{CV}{\text{Sen } \theta} + \frac{CH + CD}{\text{Cos } \theta}$$

$$T_2 = \frac{CV}{\text{Sen } \theta} - \frac{CH + CD}{\text{Cos } \theta}$$

e) Cadenas de tensión.

- Un conductor por fase: una vez la tensión máxima de trabajo.
- Dos conductores por fase: dos veces la tensión máxima de trabajo.

#### 4 - Resistencia mecánica.

Las resistencias mecánicas máximas de las cadenas de aisladores normalizados para las líneas de transmisión son:

- a) Cadenas simples: 8165 y 11340 kg.
- b) Cadenas dobles: 16330 y 22680 kg.

La carga máxima a que pueden sujetarse las cadenas de aisladores debe ser tal que el factor de seguridad no sea menor que 3.

La resistencia mecánica máxima de los herrajes de los cables de guarda debe estar coordinada con la carga de ruptura de estos últimos. Por lo tanto, la carga de ruptura de estos herrajes no debe ser inferior a 4900 kg que es la carga de ruptura del cable de acero de alta resistencia mecánica de 9.53 mm de diámetro. Sin embargo, la carga de ruptura de los herrajes estandar para cables de guarda es bastante mayor que el valor de ruptura mencionado.

#### D - ACCESORIOS.

##### 1 - Varillas preformadas.

Para proteger los conductores y limitar hasta cierto punto el efecto de las vibraciones en todos los puntos de sujeción en suspensión se utilizan varillas protectoras preformadas de aleación de aluminio.

Para reparar los conductores en los puntos donde se rompan algunos hilos de aluminio se utilizan varillas de reparación preformadas de aleación de aluminio. Estas varillas, además, restablecen la capacidad de conducción disminuída por efecto de los hilos rotos.

##### 2 - Empalmes.

Los empalmes adoptados para la unión de conductores de las líneas de transmisión son del tipo de compresión para tensión plena (dobles). Los empalmes para los cables de guarda son del tipo preformado, aunque también se usan de compresión.

## 3 - Amortiguadores.

La vibración eólica es un fenómeno producido por el viento sobre los conductores de las líneas de transmisión, el cual al pasar sobre un conductor forma los llamados "vórtices de Karman", creándose diferencias de presión, lo que produce el desplazamiento alterno del conductor. La energía que absorbe un conductor se manifiesta como fricción entre sus hilos, originando un desgaste que los lleva a la ruptura; estas rupturas pueden ser visibles o detectables por medio de rayos X.

Otras manifestaciones de las vibraciones son la pérdida de tornillos, con el consecuente aflojamiento, deformación y desplome de las torres. Los vientos causantes de este fenómeno son del tipo laminar, con una velocidad comprendida entre 3.2 a 12.8 Km/h, que se presentan generalmente en terrenos planos y con escasa vegetación y su efecto es más acentuado en los conductores superiores. Con objeto de disminuir la tendencia a la vibración de un cable, los fabricantes de conductores recomiendan que la tensión máxima de trabajo que se aplique, se mantenga dentro del 25 y 30% del límite de su tensión de ruptura. El tipo de amortiguador que se utiliza más comunmente es el Stockbridge el cual está constituido por alambre mensajero de acero recubierto de neopreno para evitar la corrosión, grapa de sujeción de neopreno y dos contrapesos fijos sobre cada uno de los cuales se ajusta un contrapeso móvil, a fin de cambiar el momento de inercia del amortiguador. La sujeción de la grapa al cable conductor se hace por medio de varillas preformadas.

La instalación de amortiguadores está sujeta al análisis de la cinta registradora del vibrómetro Ontario, que se instala en las líneas bajo estudio de acuerdo a un programa de inspección para detectar vibraciones. Si este análisis indica la presencia de vibraciones con amplitudes iguales o mayores de 10 milésimas de pulgada será necesario amortiguar la línea. Mediante el valor de la frecuencia predominante se calcula la distancia a la que habrá de instalarse el amortiguador con respecto al borde la grapa de sujeción de que se trate, siendo por lo tanto instalados 2 amortiguadores por fase y torre, excepto en los claros con tensiones de remate, en los que no se instalarán.

Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

$$V = \frac{Fd}{3.26} \quad \text{y} \quad K = \frac{0.435}{V} \sqrt{\frac{Td^2}{W}}$$

donde:  $F$  = frecuencia en ciclos/seg.



d = diámetro del conductor en pulgadas.

V = velocidad del viento en millas/horas

T = Tensión del cable en libras.

W = Peso del cable en libras/pié.

K = Longitud de cresta de vibración/2.

La instalación del amortiguador se hará dentro de la mitad intermedia de la longitud de cresta de vibración, es decir, dentro del rango 0.5 K a 1.5 K.

#### 4 - Separadores.

Para mantener la separación entre los conductores de una misma fase, se utilizan separadores con resistencia mecánica suficiente para soportar, sin que se deformen permanentemente, los esfuerzos electrodinámicos de compresión producidos por corrientes de corto-circuito asimétrico y con dispositivos de sujeción que limiten al mínimo el deterioro de los conductores.

La selección de los separadores debe hacerse en base a las condiciones de corto circuito del sistema. En principio, para líneas de 85, 230 y 400 kV, se consideran corto circuitos de 10 000, 15 000 y 20 000 MVA, respectivamente, con tiempo de 5 ciclos para el libramiento de la falla.

#### 5 - Conectores y electrodos de puesta a tierra.

Para la conexión a tierra de las torres, se utilizan enrollamientos de cable de cobre No. 4/0 AWG de 7 hilos, contra antenas de cable de cobre del mismo calibre y varillas copperweld de 16 mm de diámetro, unidos por medio de conectores adecuados. La longitud de los tres elementos mencionados depende de la resistividad del terreno en cada caso.

#### 6 - Boyas señalizadoras.

En el caso de líneas de transmisión cercanas a aeropuertos o bien líneas en terrenos montañosos con claros de 500 m o mayores (cruces con cañadas o ríos) y que se encuentren dentro de rutas de frecuente tránsito aéreo, se utilizan boyas señalizadoras.

Estas se instalan sobre los hilos de guarda aproximadamente a cada 50 m. Son fabricadas comunmente de fibra de vidrio y pintadas con colores llamativos resistentes al intemperismo.

Sus dimensiones son de alrededor de 1 m de diámetro. Se componen de dos medias esferas y si fijan al conductor mediante un preformado para que no se corran

## E - ESTRUCTURAS.

El diseño de las estructuras de las líneas de transmisión se basa en las consideraciones siguientes:

### 1 - Distancia mínima de las partes vivas a tierra.

- a) Estructuras de 85 kV : 0.96 m.
- b) Estructuras de 115 kV: 1.30 m.
- c) Estructuras de 230 kV : 2.14 m.
- d) Estructuras de 400 kV : 3.38 y 2.92 m.

Las distancias mínimas a tierra en estructuras de 85, 115 y 230 kV están definidas por nivel básico de aislamiento. En estructuras de 400 kV se consideran dos distancias: la primera por nivel básico de aislamiento; la segunda por sobretensiones debidas a operación de interruptores; en este caso, la distancia mínima será de 3.70 m. para 400 kV y 2.56 m. para 230 kV.

### 2 - Angulo de desplazamiento de cadenas y puentes.

Las distancias mínimas a tierra se consideran en las siguientes condiciones:

- a) Las cadenas de suspensión desplazadas de 22° a 30° de la vertical en el caso de estructuras de suspensión, sin deflexión.
- b) Las cadenas de suspensión desplazadas de 35° a 45° de la vertical en el caso de estructuras de suspensión con deflexión hasta de 5°.
- c) Los puentes de las estructuras de tensión desplazados de 10° a 15° de la vertical. El ángulo de desplazamiento de las cadenas de aisladores de suspensión y los puentes en las torres de tensión queda determinado por la posición de la resultante de la carga de viento y el peso del conductor.

### 3 - Distancia mínima entre fases.

La distancia mínima entre fases queda determinada, en general, por los requisitos de distancia mínima de las partes vivas a tierra y por limitaciones de efecto corona.

Las distancias mínimas entre fases adoptadas según la disposición de los conductores son:

- a) Disposición vertical.

En 85 kV : 2.50 m  
 En 115 kV: 3.00 m  
 En 230 kV : 5.00 m  
 En 400 kV : 8.50 m

b) Disposición horizontal.

En 85 kV : 3.00 m  
En 115 kV: 4.50 m  
En 230 kV : 6.00 m  
En 400 kV kV : 10.00 m

4 - Altura de las estructuras.

La altura de las estructuras es función del libramiento mínimo al piso, de la flecha de los conductores y de los puntos de sujeción de estos últimos.

En el caso de torres de acero por razones económicas se consideran tres alturas para cada tipo de torre: una altura base para el claro normal, una extensión y una reducción. Estas se utilizan indistintamente según la topografía del terreno y los obstáculos que se encuentren en la ruta de la línea de que se trate.

En el caso de postes de acero solamente se considera una sola altura puesto que éstos se utilizan solamente en zonas urbanas donde el terreno generalmente es plano.

5 - Cargas mecánicas.

a) Torres de suspensión.

Primera suposición: ningún cable roto.

En estas condiciones se consideran las siguientes cargas actuando simultáneamente.

- Carga vertical: Peso de conductores, cables de guarda, equipo de montaje, aisladores, herrajes y peso propio de la torre.
- Carga transversal: Carga máxima de viento sobre conductores, hilos de guarda, aisladores, herrajes y sobre la propia torre.

Segunda suposición: un conductor o un hilo de guarda rotos.

Se consideran las siguientes cargas actuando simultáneamente:

- Carga vertical: Igual que en la primera suposición.
- Carga transversal: Igual que en la primera suposición pero considerando la mitad del claro de viento para el cable roto.

- Carga longitudinal: 100% de la tensión máxima del cable roto.

b) Torres de tensión.

Primera suposición: ningún cable roto.

En estas condiciones se consideran las siguientes cargas actuando simultáneamente:

- Carga vertical: Igual que en la primera suposición de las torres de suspensión.
- Carga transversal: Carga máxima de viento sobre conductores, cables de guarda, aisladores, herrajes y sobre la propia torre, más la resultante de las tensiones máximas de los cables por deflexión de la línea.

Segunda suposición: Dos conductores rotos, o un conductor y un cable de guarda roto, del mismo lado de la torre.

Se consideran las siguientes cargas actuando simultáneamente:

- Carga vertical: Igual que en la primera suposición.
- Carga transversal: Igual que en la primera suposición pero considerando la mitad del claro de viento para los cables rotos.
- Carga longitudinal: 100% de la tensión máxima de los cables rotos.

c) Torres de rematé.

Primera suposición: Ningún cable roto, es decir, todos los cables actuando de un solo lado de la torre.

En estas condiciones se consideran las siguientes cargas actuando simultáneamente:

- Carga vertical: Igual que en la primera suposición de las torres de suspensión.
- Carga transversal: Carga máxima de viento sobre conductores, cables de guarda, aisladores, herrajes y sobre la propia torre.

- Carga longitudinal: 100% de la tensión máxima de todos los cables actuando de un solo lado de la torre.

Segunda suposición: Dos conductores y un hilo de guarda rotos del mismo lado de la torre.

Se consideran las siguientes cargas actuando simultáneamente:

- Carga vertical: Igual que en la primera suposición pero considerando únicamente los cables que soporta la torre.
- Carga transversal: Igual que en la primera suposición pero considerando únicamente los cables que soporta la torre.
- Carga longitudinal: 100% de la tensión máxima de los cables que soporta la torre.

## LOCALIZACION Y SELECCION DE ESTRUCTURAS

### A. CONDICIONES DE CARGA.

Las líneas de transmisión se proyectan actualmente con los requisitos de resistencia mecánica que establece el Reglamento de Instalaciones Eléctricas en vigor, capítulo 22.- Líneas Aéreas

#### 1 - Cargas en los conductores y cables de guarda.

Para calcular la tensión mecánica de los conductores y cables de guarda, se considera como carga total la resultante del peso del conductor o cable y de la fuerza producida por el viento, actuando horizontalmente y en ángulo recto con la dirección de la línea en las condiciones siguientes:

- a) Presión de viento. La fuerza ejercida por el viento se calcula como la correspondiente a una presión de 24 Kg/m<sup>2</sup> de área proyectada de la superficie de los conductores o cables.
- b) Temperatura mínima. Se supone que los conductores están sometidos a una temperatura mínima de -5°C

#### 2 - Cargas en las estructuras.

Las cargas que actúan en las estructuras se calculan en la forma siguiente:

a) Carga vertical.

La carga vertical se considera como el peso propio de la estructura más el peso de los aisladores, herrajes, conductores y cables de guarda.

Para calcular la carga vertical debida a los conductores y cables de guarda se multiplica el claro de peso, definido como la distancia entre los puntos más bajos de dos catenarias adyacentes, por el peso unitario de los conductores o cables.

b) Carga transversal.

La carga transversal es la debida al viento, soplando horizontalmente y en ángulo recto a la dirección de la línea, sobre las estructuras, aisladores, herrajes, conductores y cables de guarda, más la debida a las componentes transversales de tensión mecánica de los conductores por cambio de dirección de la línea.

Para calcular la carga transversal debida al viento sobre conductores y cables de guarda, se multiplica el claro de viento, definido como la semisuma de dos claros adyacentes, por la carga unitaria de viento sobre los conductores o cables.

La carga de viento sobre las estructuras se calcula en función del área expuesta y una presión de viento de  $60 \text{ Kg/m}^2$  ó  $39 \text{ Kg/m}^2$ , según se trate de elementos planos o elementos cilíndricos respectivamente. Tratándose de estructuras de celosía, la carga de viento se calcula en función del área expuesta más 50% para considerar el área del otro lado.

c) Carga longitudinal

La carga longitudinal es la debida a las componentes de las tensiones mecánicas de los conductores y cables de guarda ocasionadas por desequilibrio a uno y otro lado de una estructura, por cambio de tensión de los conductores, por remates o por conductores rotos.

En los remates, la carga longitudinal se considera igual a la suma de todos los conductores que rematen en la estructura.

## B FLECHAS Y TENSIONES.

El cálculo de flechas y tensiones y cables de guarda es un trabajo muy laborioso que requiere mucho tiempo cuando se lleva a cabo por procedimientos gráficos. La utilización de una computadora, para la solución de un problema como éste, reduce ampliamente el tiempo de cálculo requerido.

Existe un programa para el cálculo de flechas y tensiones por medio de una computadora, escrito en FORTRAN y que se puede almacenar en el disco duro para su utilización inmediata.

### 1 - Descripción del programa.

El programa calcula las flechas y tensiones iniciales y finales, para una serie de claros comprendidos entre un mínimo y un máximo variables.

La serie de claros requeridos se define fijando el claro mínimo, el claro máximo y un intervalo entre claros.

Para el cálculo se establecen tres límites de tensión con objeto de limitar el efecto destructivo de las vibraciones producidas por el viento en los conductores:

- Límite de tensión máxima: La tensión máxima de los conductores a  $-5^{\circ}\text{C}$  y presión de viento de  $24 \text{ Kg/m}^2$  no debe ser mayor de 50% de la carga de ruptura.
- Límite de tensión inicial: La tensión inicial de los conductores a  $0^{\circ}\text{C}$  sin viento no debe ser mayor de  $33 \frac{1}{3}\%$  de la carga de ruptura.
- Límite de tensión final: La tensión final de los conductores a  $0^{\circ}\text{C}$  sin viento no debe ser mayor de 25% de la carga de ruptura.

El programa determina automáticamente cual de los tres límites determina el cálculo y por conveniencia para el trazo de las gráficas, encuentra el claro donde ocurre un cambio de límites.

Prácticamente se cuenta con dos programas para el cálculo de flechas y tensiones: FYTCC que se utiliza para cables compuestos, por ejemplo cables de aluminio con alma de acero; FYTCH que se utiliza para cables homogéneos, por ejemplo cables de aluminio, cables de cobre o cables de acero.

## 2 - Datos para el cálculo.

El acceso al programa de flechas y tensiones es por medio de una pantalla en una PC, en la cual aparecen una serie de datos que identifican al conductor de que se trate, así como sus características mecánicas propias.

Para cada conductor corresponde un juego de datos de claros, límites de tensión, temperaturas, características del conductor y constantes de la catenaria.

El orden en que se presentan los datos en la computadora es el que se indica en las tablas 17 y 18, según se trate de conductores compuestos o conductores homogéneos respectivamente.

## 3 - Resultados del programa.

El programa obtiene valores de flechas y tensiones, iniciales y finales, para las siguientes temperaturas y condiciones de carga:

-5°C ó -10°C con presión de viento de 24 ó 39 Kg/m<sup>2</sup> respectivamente.

-5°C ó -10°C sin carga de viento,

0°C sin carga de viento,

10°C sin carga de viento,

20°C sin carga de viento,

30°C sin carga de viento,

40°C sin carga de viento,

50°C sin carga de viento,

16°C sin carga de viento para libramientos y distancias reglamentarias.

Para cada claro se obtienen cuatro renglones de resultados que corresponden sucesivamente a tensiones finales, flechas finales, tensiones iniciales y flechas iniciales, a las temperaturas y en las condiciones indicadas. Las tensiones están dadas en kilogramos y las flechas en metros.

Las tablas 19 y 20 muestran un ejemplo de los datos y los resultados para un cálculo particular de flechas y tensiones.

Las tablas 21, 22, 23 muestran las tensiones límites de trabajo y constantes de la ecuación esfuerzo-deformación.



Tabla 17 - Lista de datos para conductores ACSR.

<u>Símbolo</u>	<u>Descripción</u>	<u>Unidad</u>
-	Tarjeta de identificación	-
SPNX	Claro mínimo	m
SPI	Intervalo entre claros	m
SPNM	Claro máximo	m
TF	Límite de tensión final	Kg.
TI	Límite de tensión inicial	Kg.
TR	Límite de tensión máxima	Kg.
TEMF	Temperatura de TF	°C
TEMI	Temperatura de TI	°C
TEMR	Temperatura de TR	°C
TEMB	Temperatura de referencia	°C
WB	Peso unitario	Kg/m
WR	Peso unitario resultante con viento	Kg/m
AREA	Area de la sección recta	cm <sup>2</sup>
XMES	Módulo de elasticidad del acero	Kg/cm <sup>2</sup>
XNEA	Módulo de elasticidad del aluminio	Kg/cm <sup>2</sup>
EF	Módulo de elasticidad total final	Kg/cm <sup>2</sup>
EI	Módulo de elasticidad total inicial	Kg/cm <sup>2</sup>
COEFS	Coefficiente de dilatación lineal del acero	/°C
COEFI	Coefficiente de dilatación lineal total final	/°C
COEFF	Coefficiente de dilatación lineal total inicial	/°C
GCR	Constante de la curva elástica	
C1	Constante de la ecuación esfuerzo-deformación	
C2	Constante de la ecuación esfuerzo-deformación	
C21	Constante de la ecuación esfuerzo-deformación	
C3	Constante de la ecuación esfuerzo-deformación	

Tabla 17 - Continuación

<u>Símbolo</u>	<u>Descripción</u>	<u>Unidad</u>
C4	Constante de la ecuación esfuerzo-deformación	
C5	Constante de la ecuación esfuerzo-deformación	
C6	Constante de la ecuación esfuerzo-deformación	
CC1	Constante de la catenaria: 224/64,512	
CC2	Constante de la catenaria: 7/640	
CC3	Constante de la catenaria: 1/24	
CC4	Constante de la catenaria: 7/1920	
CC5	Constante de la catenaria: 241/46,080	
CC6	Constante de la catenaria: 7/384	
CC7	Constante de la catenaria: 1/8	
XM1	Constante de la catenaria: 1/720	
XM2	Constante de la catenaria: 1/40,320	

Tabla 18 - Lista de datos para conductores de aluminio, cobre o acero

<u>Símbolo</u>	<u>Descripción</u>	<u>Unidad</u>
-	Tarjeta de identificación	-
SPNX	Claro mínimo	m
SPI	Intervalos entre claros	m
SPNM	Claro máximo	m
TF	Límite de tensión final	Kg
TI	Límite de tensión inicial	Kg
TR	Límite de tensión máxima	Kg
TEMF	Temperatura de TF	°C
TEMI	Temperatura de TI	°C
TEMR	Temperatura de TR	°C
WB	Peso unitario	Kg,
WR	Peso unitario resultante con viento	Kg/m
AREA	Area de la sección recta	cm <sup>2</sup>
EF	Módulo de elasticidad final	Kg/cm <sup>2</sup>
EI	Módulo de elasticidad inicial	Kg/cm <sup>2</sup>
COEF	Coefficiente de dilatación lineal	/°C
C11	Constante de la ecuación esfuerzo-deformación	
C12	Constante de la ecuación esfuerzo-deformación	
C13	Constante de la ecuación esfuerzo-deformación	
C14	Constante de la ecuación esfuerzo-deformación	
CC1	Constante de la catenaria: 224/64,512	
CC2	Constante de la catenaria: 7/640	
CC3	Constante de la catenaria: 1/24	
CC4	Constante de la catenaria: 7/1920	
CC5	Constante de la catenaria: 241/46,080	

Tabla 18 - Continuación

<u>Símbolo</u>	<u>Descripción</u>	<u>Unidad</u>
CC6	Constante de la catenaria: $7/384$	
CC7	Constante de la catenaria: $1/8$	
XM1	Constante de la catenaria: $1/720$	
XM2	Constante de la catenaria: $1/40,320$	

Tabla 19 - Ejemplo de datos para cálculo de flechas y tensiones

## ACSR 1113 KCM, BLUEJAY - FLECHAS Y TENSIONES

+ 50.0000	SPNX
+ 50.0000	SPI
+ 500.0000	SPNM
+3700.0000	TR
+3504.0000	TF
+4672.0000	TI
+.00000000	TEMF
+.00000000	TEMI
+22.220000	TEMB
+1.8700000	WB
+.03198000	DTC
+6.0156293	AREA
+127946.00	XMES
+530765.00	XNEA
+658711.00	EF
+548340.00	EI
+.00001152	COEFS
+.00002053	COEFI
+.00002080	COEFF
+.00003500	GCR
+.00029200	C1
-.00498600	C2
+.74755000	C21
+.00001730	C3
-.00026110	C4
+.01373490	C5
+.00350000	C6
1	JS

Tabla 20 - ACSR 1113 KCM, BLUEJAY - FLECHAS Y TENSIONES

LTM= 3700.KG A -5 GC Y PV DE 24 KG/M2

LTF= 3504.KG A LTI= 4672.KG A 0. GC SV

CARGA TEMP. CLARO	CV -5	SV -5	SV 0	SV 10	SV 20	SV 30	SV 40	SV 50	SV 16
50.	3700.	3683.	3297.	2562.	1913.	1416.	1090.	887.	2157.
50.	0.17	0.16	0.18	0.23	0.31	0.41	0.54	0.66	0.27
50.		3696.	3375.	2752.	2172.	1672.	1289.	1028.	2397.
50.		0.16	0.17	0.21	0.27	0.35	0.45	0.57	0.24
100.	3700.	3642.	3320.	2741.	2270.	1910.	1644.	1447.	2445.
100.	0.68	0.64	0.70	0.85	1.03	1.23	1.42	1.62	0.98
100.		3660.	3383.	2870.	2427.	2064.	1779.	1561.	2595.
100.		0.64	0.69	0.81	0.96	1.13	1.32	1.50	0.90
150.	3700.	3595.	3342.	2901.	2544.	2260.	2035.	1856.	2677.
150.	1.54	1.46	1.58	1.82	2.07	2.33	2.59	2.84	1.97
150.		3615.	3390.	2987.	2645.	2363.	2132.	1944.	2774.
150.		1.46	1.55	1.76	1.99	2.23	2.47	2.71	1.90
200.	3700.	3555.	3361.	3023.	2745.	2514.	2323.	2164.	2849.
200.	2.74	2.63	2.79	3.10	3.42	3.73	4.04	4.34	3.29
200.		3574.	3397.	3082.	2813.	2586.	2395.	2232.	2915.
200.		2.62	2.76	3.04	3.33	3.63	3.92	4.21	3.21
250.	3700.	3524.	3376.	3113.	2891.	2702.	2540.	2400.	2976.
250.	4.28	4.16	4.34	4.71	5.07	5.43	5.78	6.12	4.93
250.		3541.	3403.	3155.	2940.	2755.	2594.	2453.	3022.
250.		4.14	4.20	4.65	4.99	5.33	5.66	5.99	4.85
300.	3700.	3501.	3386.	3179.	3000.	2843.	2705.	2583.	3069.
300.	6.17	6.03	6.24	6.65	7.05	7.44	7.83	8.20	6.89
300.		3516.	3407.	3210.	3036.	2882.	2746.	2625.	3103.
300.		6.01	6.20	6.58	6.96	7.34	7.71	8.07	6.81
350.	3700.	3484.	3394.	3228.	3081.	2950.	2833.	2727.	3138.
350.	8.41	8.26	8.48	8.92	9.35	9.78	10.19	10.59	9.18
350.		3497.	3410.	3251.	3108.	2980.	2864.	2760.	3164.
350.		8.23	8.44	8.86	9.27	9.68	10.07	10.46	9.11
400.	3700.	3472.	3400.	3265.	3143.	3033.	2933.	2840.	3191.
400.	11.00	10.85	11.09	11.54	12.00	12.44	12.88	13.30	11.82
400.		3489.	3413.	3283.	3164.	3056.	2957.	2867.	3210.
400.		10.81	11.04	11.48	11.92	12.35	12.77	13.18	11.74
450.	3700.	3463.	3404.	3293.	3191.	3098.	3011.	2931.	3231.
450.	13.95	13.79	14.03	14.51	14.99	15.45	15.90	16.35	14.80
450.		3472.	3414.	3307.	3208.	3116.	3031.	2952.	3246.
450.		13.75	13.99	14.45	14.91	15.36	15.80	16.23	14.73
500.	3700.	3456.	3407.	3314.	3228.	3149.	3074.	3004.	3262.
500.	17.20	17.09	17.35	17.84	18.33	18.80	19.27	19.74	18.13
500.		3463.	3416.	3326.	3242.	3164.	3090.	3021.	3275.
500.		17.06	17.30	17.78	18.25	18.71	19.17	19.62	18.06

TABLA 21 - TENSIONES LIMITES DE TRABAJO

Material	Condiciones de carga	Iniciales		Finales	
		% de la carga de rotura	Temp °C	% de la carga de rotura	Temp °C
Cobre	Todas	35	16	25	16
Acero	Todas	35	16	25	16
Aluminio y ACSR	Severas	33 1/3	-20	25	-20
	Moderadas	33 1/3	-10	25	-10
	Benignas	33 1/3	0	25	0

La tensión máxima de trabajo es del orden de 60%, 50%, 40% ó 33 1/3% de la carga de rotura.

TABLA 22 - DATOS Y CONSTANTES DE LA ECUACION ESFUERZO-DEFORMACION  
PARA CONDUCTORES DE ACERO, COBRE Y ALUMINIO.

S I M B O L O S

Materia	EF	EI	COEF	C11	C12	C13	C14
<b>Cobre Duro</b>							
Sólido	1,195,100	1,019,350	0.00001692	0.00000241	-0.00012280	0.007418	-0.028440
Cable	1,195,100	984,200	0.00001692	0.00000345	-0.00013880	0.002870	0.092984
18 hilos	1,195,100	984,200	0.00001692	0.00001189	-0.00068460	0.016242	-0.011680
7 a 19 hilos	1,195,100	1,019,350	0.00001692	0.00001025	-0.00071224	0.020093	-0.107848
<b>Cobre Semiduro</b>							
Sólido	1,124,800	984,200	0.00001692	-0.00001058	0.00113285	-0.021980	0.258807
Cable	1,089,650	984,200	0.00001692	-0.00000239	0.00056020	-0.006838	0.138847
<b>Copperweld</b>							
7A a 8A	1,476,300	1,300,550	0.00001453	0.00000190	-0.00019660	0.008516	-0.071380
9A a 9A	1,335,700	1,159,950	0.00001530	0.00000601	-0.00051871	0.015432	-0.058390
tipo D	1,546,600	1,370,850	0.00001404	0.00000026	-0.00000909	-0.000147	0.049260
tipo F	1,265,400	1,054,500	0.00001620	0.00000160	-0.00005069	0.000932	0.105026
<b>Cobre-Acero</b>							
Sólido	1,687,200	1,546,600	0.00001295	0.00000011	-0.00001510	0.000614	0.021800
Cable	1,616,900	1,441,150	0.00001295	0.00000016	-0.00001465	0.000606	0.038772
<b>ACSR</b>							
18/1	688,940	548,340	0.00002106	0.00014355	-0.00450119	0.049189	0.199557
36/1	653,790	541,310	0.00002195	-0.00009759	0.00833046	-0.101506	0.566275
<b>Aluminio Duro</b>							
Sólido	667,850	579,272	0.00002304	-0.00024792	0.01092618	-0.103062	0.395908
7 hilos	657,305	485,070	0.00002304	0.00005708	-0.00034630	0.006690	0.357838
19 a 37 hilos	604,580	456,950	0.00002304	0.00019033	-0.00212983	0.018847	0.314230
<b>Acero</b>							
7 hilos S.M.	1,813,740	1,342,730	0.00001152	0.00000059	0.00000956	-0.000510	0.123557
7 hilos H.S.	1,813,740	1,574,720	0.00001152	0.00000021	-0.00000685	0.000063	0.054725

13  
14

NG



**TABLA 23- DATOS Y CONSTANTES DE LA ECUACION ESFUERZO-DEFORMACION  
PARA CONDUCTORES ACSR.**

Símbolo	C O N S T R U C C I O N Y C A L I B R E						
	6/1	6/1	7/1	24/7	26/7	26/7	30/7
	8 a 2	1 a 4/0	4 a 2	Todos	266 a 556	605 y más	Todos
C1	0.000125	0.000165	0.000117	0.000092	0.000110	0.000142	0.000108
-C2	0.000350	0.003450	0.001501	0.000639	0.001800	0.004750	0.004750
C21	0.624000	0.532000	0.511660	0.590500	0.523000	0.495567	0.353240
C3	0.0000050	0.0000061	0.0000024	0.0000038	0.0000055	0.0000045	0.0000025
-C4	0.0000675	0.0000551	0.0000200	0.0002051	0.0001420	0.0000425	0.0000175
C5	0.0097750	0.0094420	0.0086083	0.0133900	0.0129200	0.0125750	0.0114250
C6	0.00000	0.01600	0.00200	0.00200	0.00000	0.01400	0.00100
<b>XEMS</b>	286,121	281,200	415,473	228,475	279,794	261,516	355,772
<b>XNEA</b>	525,844	514,596	466,792	487,882	455,070	454,138	432,345
<b>EF</b>	811,965	795,796	882,265	716,357	764,864	715,654	700,117
<b>BI</b>	713,545	726,199	800,717	549,934	585,599	534,983	625,070
<b>COEFS</b>	0.00001152	0.00001152	0.00001152	0.00001152	0.00001152	0.00001152	0.00001152
<b>COEPI</b>	0.00001850	0.00001857	0.00001713	0.00001832	0.00001753	0.00001740	0.00001618
<b>COEPP</b>	0.00001897	0.00001895	0.00001762	0.00001936	0.00001892	0.00001882	0.00001753
<b>GCR</b>	0.00000000	0.00015300	0.00002000	0.00002000	0.00000000	0.00014000	0.00000000
<b>TEMP</b>	21.11	21.11	21.11	23.88	23.88	21.1	23.88

TABLA 23 - (Continuación)

Símbolo	CONSTRUCCION Y CALIBRE						
	45/7	54/7	54/19	30/19	8/1	12/7	15/19
	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos	Todos
C1	0.000292	0.000120	0.000150	-0.000083	0.000179	0.000109	0.000013
-C2	0.004986	0.001400	0.003000	-0.003249	0.0008144	0.004665	0.000750
C21	0.747550	0.576000	0.568750	0.379160	0.278020	0.234470	0.142500
C3	0.0000173	0.0000064	0.0000067	-0.0000002	0.0000018	0.0000014	0.0000004
-C4	0.0002611	0.0000421	0.0000601	0.0000650	0.0000314	0.0000506	0.0000162
C5	0.0137349	0.0130490	0.0127338	0.0122667	0.0075690	0.0076187	0.0067812
C6	0.00350	0.00250	0.00150	0.00000	0.01800	0.00100	0.00000
XMES	127,946	219,336	219,336	347,935	516,705	697,376	802,810
XNEA	530,765	448,514	468,901	414,770	442,890	362,748	309,320
EF	658,711	667,850	688,237	762,755	959,595	1,050,124	1,202,130
EI	548,340	520,220	543,419	546,231	938,505	971,897	1,054,500
COEFS	0.00001152	0.00001152	0.00001152	0.00001152	0.00001152	0.00001152	0.00001152
COEPI	0.00002053	0.00001828	0.00001845	0.00001576	0.00001670	0.00001485	0.00001323
COEFF	0.00002080	0.00001926	0.00001936	0.00001778	0.00001683	0.00001546	0.00001449
GCR	0.00003500	0.00002500	0.00001500	0.00000000	0.00015000	0.00001000	0.00000000
TEMB	22.22	21.11	23.88	24.44	21.11	21.11	18.88

25

## C - DISTANCIAS NORMALIZADAS.

Tabla No. 24 - Conductores, tensiones mecánicas, claros y estructuras normalizadas.

	<u>85 kV</u>	<u>230 kV</u>	<u>400 kV</u>
Cable ACSR (KCM)	795	1113	1113
Tensión mecánica en torres (kg).	2500	4300	3700
Tensión mecánica en postes (kg).	1000	2000	-
Claro entre torres (m)	300	470	470
Claro entre postes (m)	140	200	-
Tipo de torres	25SF	42S	53S2
Tipo de postes	MS	36S	-
Altura de la torre de la cruceta inferior al piso (m).	18.54	27.33	32.28
Altura del poste de la cruceta inferior al piso (m).	13.80	22.45	-

En base a los conductores, tensiones mecánicas, claros y estructuras normalizados para las líneas de transmisión de LyFC que se muestran en la tabla 24, las distancias mínimas normalizadas son las siguientes:

- 1 - Distancias mínimas normalizadas de los conductores al piso.

La tabla No. 25 muestra las distancias mínimas normalizadas de los conductores al piso, a 16°C, para diferentes condiciones y tensiones eléctricas nominales de cada línea.

Tabla No. 25 - Distancias mínimas normalizadas de los conductores al piso (m).

<u>Condición</u>	<u>Tensión nominal de las líneas entre fases</u>		
	<u>85 kV</u>	<u>230 kV</u>	<u>400 kV</u>
A lo largo de calles	7.80	10.10	12.10
En cruzamiento con calles y carreteras	8.30	10.60	12.60

En cruzamiento con vías férreas	10.30	12.60	14.60
------------------------------------	-------	-------	-------

Para claros distintos a los normalizados, estas distancias son diferentes, por lo que hay que hacer el estudio correspondiente.

En general, las distancias indicadas en la tabla se aplican a libramientos en cualquier punto del claro normalizado. En condiciones críticas de libramiento, se puede recurrir a los factores de reducción, del Artículo 2204 capítulo 22 Líneas Aéreas, del Reglamento de Instalaciones Eléctricas en vigor (NOM-001-SEDE-1997), para libramientos en un lugar que no sea el punto medio del claro.

2 - Distancias mínimas normalizadas en cruzamiento con otras líneas.

La tabla No. 26 muestra las distancias mínimas normalizadas en cruzamientos con otras líneas a 16°C sin viento, según la tensión nominal.

Tabla No. 26.- Distancias mínimas normalizadas en cruzamientos con otras líneas (m).

#### Conductores superiores

#### Conductores inferiores    Tensión nominal de las líneas entre fases

	<u>85 kV</u>	<u>230 kV</u>	<u>400 kV</u>
Líneas de comunicación	3.10	5.40	7.40
Líneas suministradoras de 0 a 50,000 volts.	2.50	4.80	6.80
Líneas de 85 kV	3.00	5.20	7.20
Líneas de 230 kV	-	7.00	9.10
Líneas de 400 kV	-	-	11.20

Para claros distintos a los normalizados, estas distancias son diferentes, por lo que hay que hacer el estudio correspondiente.

Si el cruzamiento se hace sobre los hilos de guarda de la línea inferior, las distancias que deben considerarse son las correspondientes a líneas suministradoras de 0 a 50,000 volts.

En general las distancias indicadas en la tabla No. 26 se aplican a cruzamientos en cualquier punto del claro. En condiciones críticas de libramiento, se puede recurrir a los factores de reducción, del Artículo 2203, capítulo 22. Líneas Aéreas, del Reglamento de Instalaciones Eléctricas en vigor, (NOM-001-SEDE-1997), para cruzamientos en un lugar que no sea el punto medio del claro.

3 - Distancias entre ejes de líneas paralelas.

La tabla No. 27 muestra las distancias mínimas normalizadas entre ejes de líneas de transmisión paralelas.

Tabla No. 27 - Distancias mínimas entre ejes de líneas paralelas (m).

<u>Tensión nominal de la línea A</u>	<u>Tensión nominal de la línea B</u>				
	<u>Torres</u>			<u>Postes</u>	
	<u>85 kV</u>	<u>230 kV</u>	<u>400 kV</u>	<u>85 kV</u>	<u>230 kV</u>
85 kV	10.70 (9.40)	17.50 (16.00)	23.70 (22.00)	8.20 (7.70)	12.60 (12.00)
230 kV		21.40 (19.90)	27.60 (25.90)		16.00 (15.40)
400 kV			32.60 (30.90)		

Las distancias entre paréntesis corresponden a líneas paralelas con estructuras adyacentes, en terreno plano, generalmente en zona urbana a lo largo de calles.

Para claros distintos a los normalizados, estas distancias son diferentes, por lo que hay que hacer el estudio correspondiente.

4 - Distancia de los conductores al límite del derecho de vía.

La tabla No. 28 muestra las distancias mínimas normalizadas de los conductores al borde del derecho de vía.

Tabla 28 - Distancia de los conductores al límite del derecho de vía (m).

<u>Tensión nominal</u>	<u>Torres</u>	<u>Postes</u>
85 kV	6.20	5.00
230 kV	10.30	7.30
400 kV	10.80	-

Para claros distintos a los normalizados, estas distancias son diferentes, por lo que hay que hacer el estudio correspondiente.

## 5 - Ancho del derecho de vía.

La tabla 29 muestra los anchos normalizados del derecho de vía.

Tabla 29 - Ancho del derecho de vía (m).

<u>Tensión nominal</u>	<u>Torres</u>	<u>Postes</u>
85 kV	17.00	14.00
230 kV	30.00	22.00
400 kV	40.00	-

Para claros distintos a los normalizados, estas distancias son diferentes, por lo que hay que hacer el estudio correspondiente.

## D - LOCALIZACION Y SELECCION.

LyFC utiliza actualmente dos métodos para la localización y selección de estructuras, uno manual y otro por medio de un programa de computadora.

Método manual

La localización y selección de estructuras sobre el perfil topográfico de la ruta de una línea de transmisión consiste en determinar, gráficamente por medio de una plantilla, el emplazamiento de las estructuras y las alturas correspondientes dentro de las alturas disponibles, con objeto de mantener los libramientos necesarios, determinar las cargas en cada estructura y seleccionar el tipo adecuado en cada caso; relacionar las estructuras y cambiar las alturas y tipos de las mismas en aquellos lugares donde la primera localización no sea económica, calculando los costos comparativos entre distintas alternativas con objeto de llegar a la solución más económica posible.

## 1 - Plantilla

La localización gráfica de estructuras se hace por medio de una plantilla de mica en la que se marcan las catenarias que representan al conductor a 16°C y a -5°C. Paralelamente a la catenaria del conductor a 16°C se marcan varias catenarias que corresponden a la distancia al piso y a cada una de las alturas de torres disponibles.

La plantilla se construye con las flechas finales obtenidas por medio de un cálculo de flechas y tensiones, según el conductor de que se trate y en las condiciones de carga que se requieran. Las escalas horizontal y vertical de la plantilla deben corresponder a las escalas de los planos del perfil topográfico sobre los que se va a utilizar.

CABLE ACSR 795 MCM CONDOR  
 TENSION MAXIMA = 2500 Kg. A  $-5^{\circ}\text{C}$   
 Y PRESION DE VIENTO DE  $24\text{ Kg} / \text{m}^2$

<u>CLARO</u> <u>m</u>	<u>FLECHA</u> <u><math>-5^{\circ}\text{C}</math></u>	<u>FLECHA</u> <u><math>16^{\circ}\text{C}</math></u>
50	.19	.32
100	.78	1.11
150	1.79	2.28
200	3.23	3.83
250	5.10	5.78
300	7.40	8.13
350	10.13	10.90
400	13.30	14.10
450	16.92	17.74
500	20.99	21.82

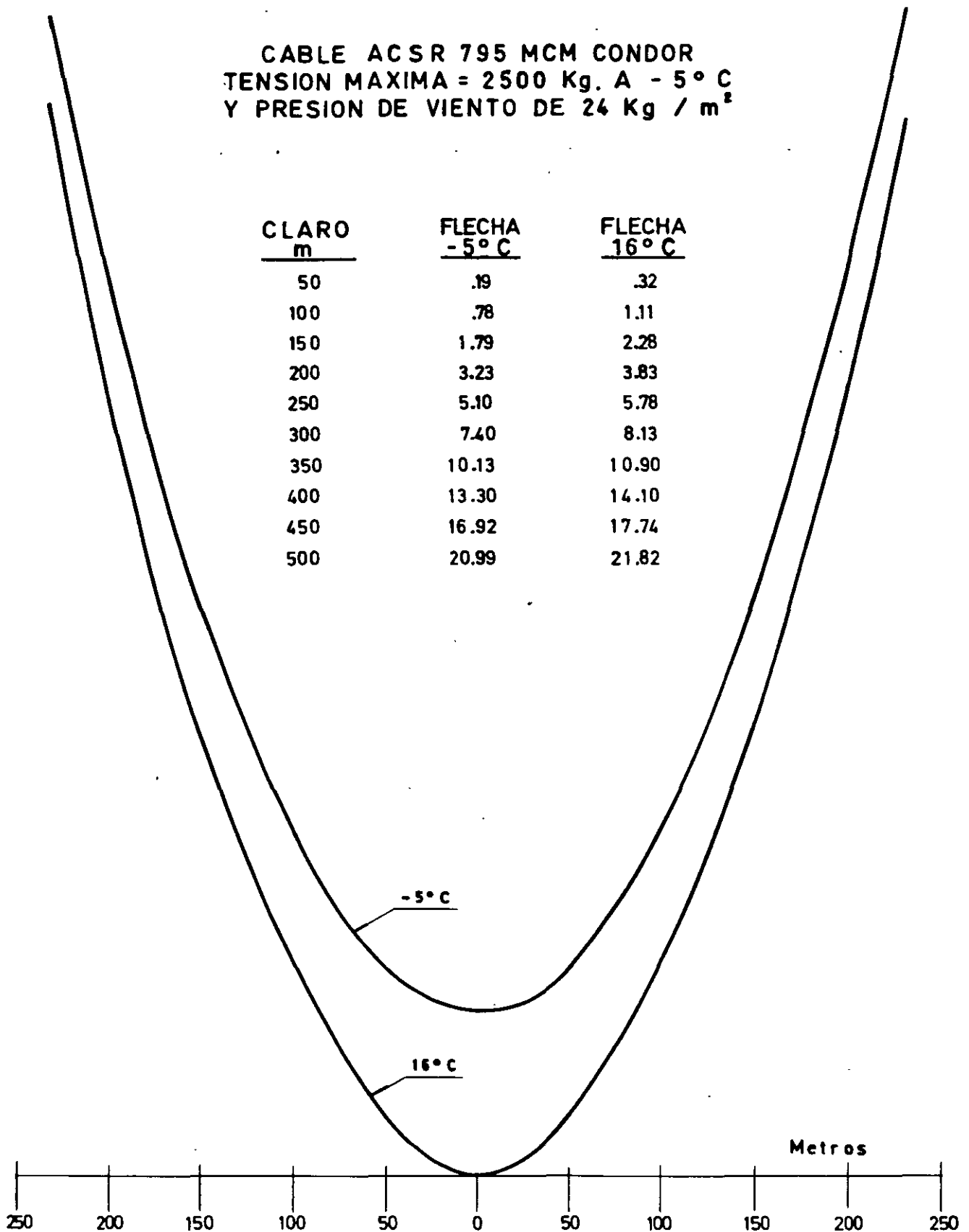


FIG. 15 - TRAZO DE CATENARIAS A  $-5^{\circ}\text{C}$  Y  $16^{\circ}\text{C}$   
 SIN CARGA DE VIENTO.

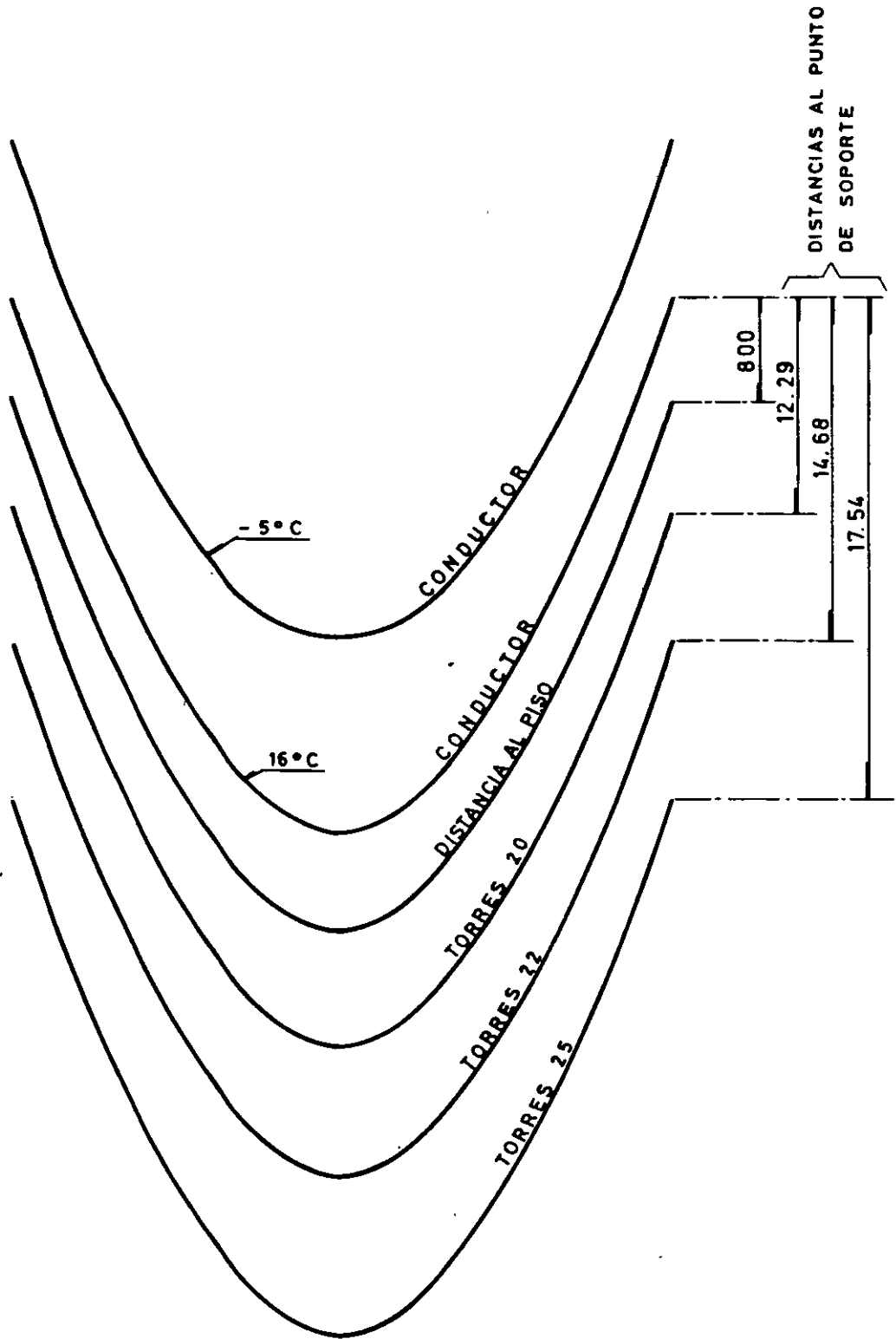


FIG. 16 - CONSTRUCCION DE UNA PLANTILLA PARA LA LOCALIZACION DE TORRES EN LINEAS DE 85 K.V.



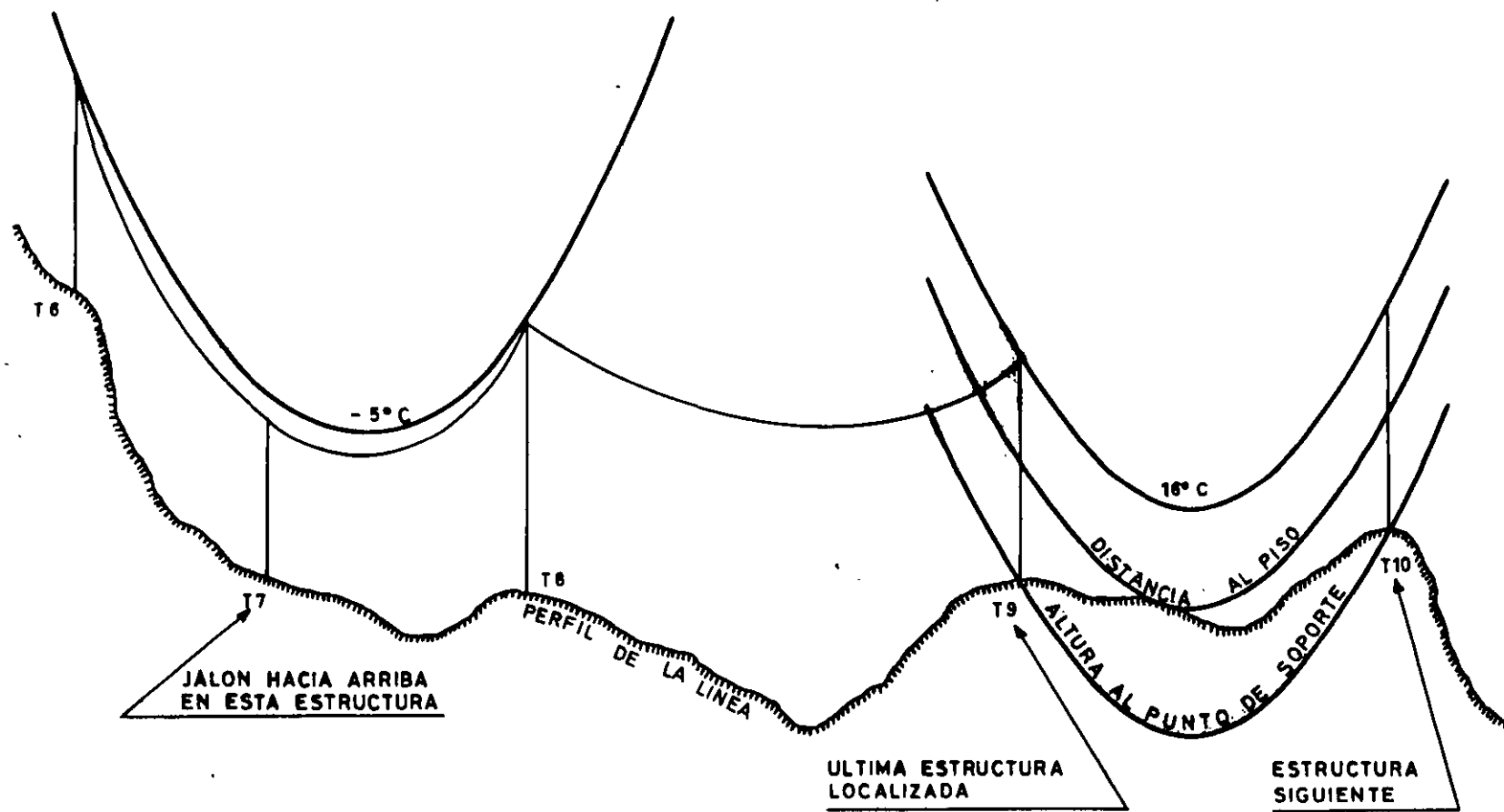


FIG 17 - LOCALIZACION DE ESTRUCTURAS POR MEDIO DE UNA PLANTILLA

Las figuras 15, 16 y 17 muestran un ejemplo de las etapas sucesivas para el trazo de las catenarias, la construcción de la plantilla y el modo de utilizarla para la localización de estructuras en el proyecto de una línea de transmisión.

## 2 - Claro regulador

Para una serie de claros comprendidos entre dos estructuras de tensión, entre las que se tienen varias torres de suspensión, se puede suponer que la tensión del conductor a 16°C es constante y por lo tanto se puede utilizar una sola plantilla. El claro entre dos torres de tensión consecutivas que tendría la misma tensión a 16°C que la serie de claros anterior y que requeriría la misma plantilla, se denomina claro virtual, claro equivalente o claro regulador, y puede calcularse por medio de la fórmula:

$$CR = \sqrt{EL^3/EL}$$

donde CR = claro regulador

L = longitudes de los claros

Estrictamente, para el proyecto de una línea de transmisión se debe contar con una serie de plantillas para varios claros reguladores. La localización de estructuras en una tangente se hará con una plantilla cuyo claro regulador sea de un valor inmediato inferior al del claro regulador real en la tangente de que se trate. Por supuesto el valor del claro regulador real no se conoce hasta que se hace la localización completa entre dos torres de tensión. Si la selección inicial de la plantilla es incorrecta será necesario repetir la localización de estructuras con una plantilla diferente. Sin embargo, la costumbre en LyFC es realizar los proyectos con una sola plantilla trazada con los datos de flechas para una serie de claros obtenidos con el programa de flechas y tensiones y posteriormente verificar con el claro regulador real para cada tangente.

## 3 - Posición y altura de estructuras.

La determinación de la posición y altura de las estructuras sobre el perfil, se realiza haciendo pasar la catenaria que representa al conductor a 16°C por el punto de sujeción de una torre previamente establecida y deslizando la plantilla hasta que la catenaria de libramiento mínimo al piso sea tangente al perfil, Ver figura 17. Para cruzamientos con otras líneas, carreteras o vías férreas donde se requieren libramientos mayores que el mínimo normal, se puede modificar el perfil aumentando la altura real del suelo en esos lugares, de tal modo que el libramiento

mínimo al perfil elevado artificialmente, dé la posición requerida de los conductores sobre las líneas, carreteras y vías férreas cruzadas.

Una vez que se ha hecho la tangencia de la catenaria de libramientos con el perfil, existen varias posibilidades de altura para la estructura siguiente. En el caso de los proyectos de LyFC generalmente se cuenta con tres alturas si se trata de torres y una sola altura si se trata de postes. A mayor altura de las torres mayor longitud de los claros. Una solución económica es seleccionar la altura que dé una carga de viento lo más próxima a la máxima de diseño.

#### 4 - Claro de viento

El claro de viento es igual a la semisuma de los claros a uno y otro lado de una estructura y es proporcional a la fuerza transversal horizontal debida a la carga de viento que actúa sobre los conductores y cables de guarda.

Los cambios de dirección de una línea ocasionan también una fuerza transversal horizontal igual a  $2T \sin \theta/2$ , donde  $\theta$  es el ángulo del cambio de dirección y  $T$  es la tensión del conductor. Esta fuerza puede actuar en la misma dirección que la carga del claro del viento. Para determinar el aumento o la disminución del claro de viento correspondiente a una disminución o aumento en el ángulo de deflexión, se puede usar la fórmula:

$W_w \delta L_w = 2T \sin \delta \theta/2$ , donde  $W_w$  es la carga de viento por metro de conductor y  $\delta L_w$  es la variación del claro de viento. Para los valores de  $\delta \theta$  que se presentan, generalmente es suficientemente exacto suponer que  $\sin \delta \theta/2 = \delta \theta/2$  y por lo tanto  $\delta L_w = T \delta \theta / W_w$ , donde  $\theta$  está en radianes.

#### 5 - Claro de peso

El claro de peso es igual a la distancia horizontal entre los vértices de las catenarias a uno y otro lado de una estructura y es proporcional a la fuerza vertical debida al peso de los conductores y cables de guarda.

El claro de peso máximo permisible generalmente no es la condición crítica para la selección de una estructura en particular. Sin embargo, los claros de peso pequeños pueden ser críticos en lo referente a que se deben evitar jalones hacia arriba en las torres de suspensión y también a que el ángulo de balanceo de las cadenas de aisladores no debe rebasar la distancia mínima a tierra en condiciones de viento máximo.

El ángulo de balanceo de las cadenas de aisladores se calcula con la fórmula:

$$Q = \tan^{-1} \frac{\text{carga de viento}}{\text{carga de peso}}$$

Una forma simple de lograr esta última condición es especificar un valor mínimo de la relación claro de peso/claro de viento que para los conductores normalizados ACSR 795 kCM Cóndor y ACSR 1113 kCM Bluejay es 0.757 y 0.712, respectivamente, para un ángulo de balanceo de las cadenas igual a 30°.

Los claros de peso se deben determinar con los conductores a una temperatura de -5°C debido a que a bajas temperaturas se presenta la condición crítica de carga vertical. Además como a bajas temperaturas la tensión del conductor no varía considerablemente con el claro regulador, se puede utilizar una sola plantilla en lugar de toda la serie que se requiere para el trazo de catenarias a 16°C.

#### 6 - Selección de estructuras.

Una vez determinadas la localización y las alturas de las estructuras, se seleccionan los tipos de estructuras en función del claro de viento, el claro de peso y el ángulo de deflexión en cada caso.

Para las estructuras de suspensión se considera además el ángulo de balanceo de las cadenas de aisladores por medio de la relación claro de peso/claro de viento que debe ser igual o mayor de un mínimo, según se especifica en el inciso anterior. En caso de que esta relación sea menor del mínimo especificado se puede recurrir a:

- a) Utilizar una estructura de tensión.
- b) Aumentar la altura de la estructura y por lo tanto el claro de peso.
- c) Relocalizar las torres en forma diferente.

La tabla 29 muestra los claros de peso, los claros de viento y los ángulos de diseño de los diferentes tipos de estructuras que se utilizan en los proyectos de líneas de transmisión de LyFC.

Tabla 29 - Valores máximos de diseño de estructuras de líneas de transmisión.

Tipo de estructura	Claro de viento m	Claro de peso m	Deflexión
Torres de 85 kV:			
SF	300	300	0°
SA	500	500	2°
T10	300	300	10°
T30	300	300	30°
T45	300	300	45°
T60	300	300	60°
T90	300	300	90°
R	150	150	0°

Postes de 85 kV:

MS	160	160	2°
MT	160	160	30°
TT	160	160	30°
25S (2) *	160	160	0°
25T10 (2) *	160	160	10°
25T30	160	160	30°
31T30	160	160	30°
22T90	160	160	90°
25T90	160	160	90°

\* Dos conductores por fase.

Torres de 230 kV:

S	500	500	0°
SS	500	500	2°
T10	500	500	10°
T20	500	500	20°
T45	500	500	45°
T60	500	500	60°
T90	500	500	90°
R	250	250	0°

Postes de 230 kV:

33S	225	225	1°
36S	225	225	1°
33T10	225	225	10°
33T20	225	225	20°
33T30	225	225	30°
33S2 (2) *	170	170	2°
33T10 (2) *	170	170	10°
45T30 (2) *	250	250	30°

\* Dos conductores por fase.

Tipo de estructura	Claro de viento m	Claro de peso m	Deflexión
--------------------	----------------------	--------------------	-----------

Torres de 400 kV:

S1	400	400	2°
S2	500	900	5°
T10	400	600	10°
T15	400	600	15°
T30	400	600	30°
T60	400	600	60°
R	400	600	0°

7 - Costos

Al hacer la localización gráfica y la selección de los tipos de estructuras, no es práctico obtener los costos de todas las localizaciones posibles; sin embargo, se obtendrá una solución económica si se tienen en cuenta las recomendaciones siguientes:

- Hacer que la catenaria de libramientos coincida con el perfil tanto como sea posible.
- Localizar las estructuras utilizando al máximo posible el claro de viento de las estructuras.
- Las alturas de las torres de tensión deben ser las de menor altura posible.

Existirán algunos casos que por sí mismos obliguen a la comparación detallada de costos, como por ejemplo decidir en un caso específico la utilización de un torre alta o dos bajas.

Método por computadora.

Localización óptima de estructuras de líneas de transmisión por medio de un programa de computadora.

En forma similar al método manual, este programa consiste básicamente en determinar las combinaciones óptimas de tipos y alturas de estructuras disponibles, con objeto de obtener el costo mínimo por kilómetro.

El programa simula matemáticamente los movimientos que se realizan en el método manual con la plantilla de mica sobre el perfil topográfico, es decir, hace la localización para el libramiento al piso del conductor más bajo; calcula las cargas verticales y horizontales; el ángulo de inclinación de la cadena de aisladores; determina el tipo y costo de la estructura; las extensiones a las patas de las estructuras para compensar los desniveles del terreno; las cimentaciones de las estructuras según el tipo de terreno y los costos de extensiones y cimentaciones.

Debido a que el programa trabaja para un libramiento fijo dado por una curva parabólica paralela a la del conductor, en aquellos lugares donde se requieren mayores libramientos como en el caso de cruzamientos de líneas de energía eléctrica o de comunicación, de calles, carreteras y vías férreas, es necesario sobreelevar la ordenada del perfil topográfico lateral del punto considerado y crear una zona de depresión de un ancho igual al derecho de vía del cruzamiento de que se trate, con objeto de que en esa depresión no se localicen estructuras.

Para cruzamientos con zanjas, ríos, barrancas o cualquier otra área donde no se deba localizar una estructura, se crea una depresión cuyos puntos extremos corresponden a puntos fuera de dicha zona y donde sí puede localizarse una estructura. La exclusión de una estructura fuera de la zona de depresión la efectúa el programa cuando detecta ésta y entonces localiza la estructura en el extremo inicial de la depresión.

En las figuras 18 y 19 se muestran los ejemplos de los casos mencionados, donde se indican los valores que deben tener ISP, ICF e ICL índice de supresión de puntos del perfil, índice de carreteras o ferrocarriles e índice de cruzamientos con líneas respectivamente, por medio de los cuales el programa modifica automáticamente el perfil.

Datos de entrada.

El programa de localización de estructuras está alimentado por dos conjuntos de datos: El primer conjunto representa el perfil topográfico de la línea el cual se genera por medio de otro programa de computadora que calcula los puntos de perfil representados por tres coordenadas: la absisa X que establece la distancia horizontal con relación al punto inicial de la línea y las ordenadas Y1 y Y2 referidas al nivel del mar. La ordenada Y1 es la elevación del eje de la línea y se emplea para localizar las estructuras y la ordenada Y2 es la elevación mayor lateral del terreno sobre el cual los conductores deben mantener el libramiento mínimo requerido; además calcula para el punto de coordenadas donde se tiene un cruzamiento con una línea eléctrica o de comunicación el valor de YL que es la elevación del conductor que se cruza. La distancia máxima para el cálculo de los puntos del perfil es de 20.0 m; esta distancia es menor para los lugares donde el perfil topográfico es muy accidentado.

Una vez calculado el perfil topográfico se guarda en un archivo de disco para ser leído y utilizado por el programa de localización de estructuras.

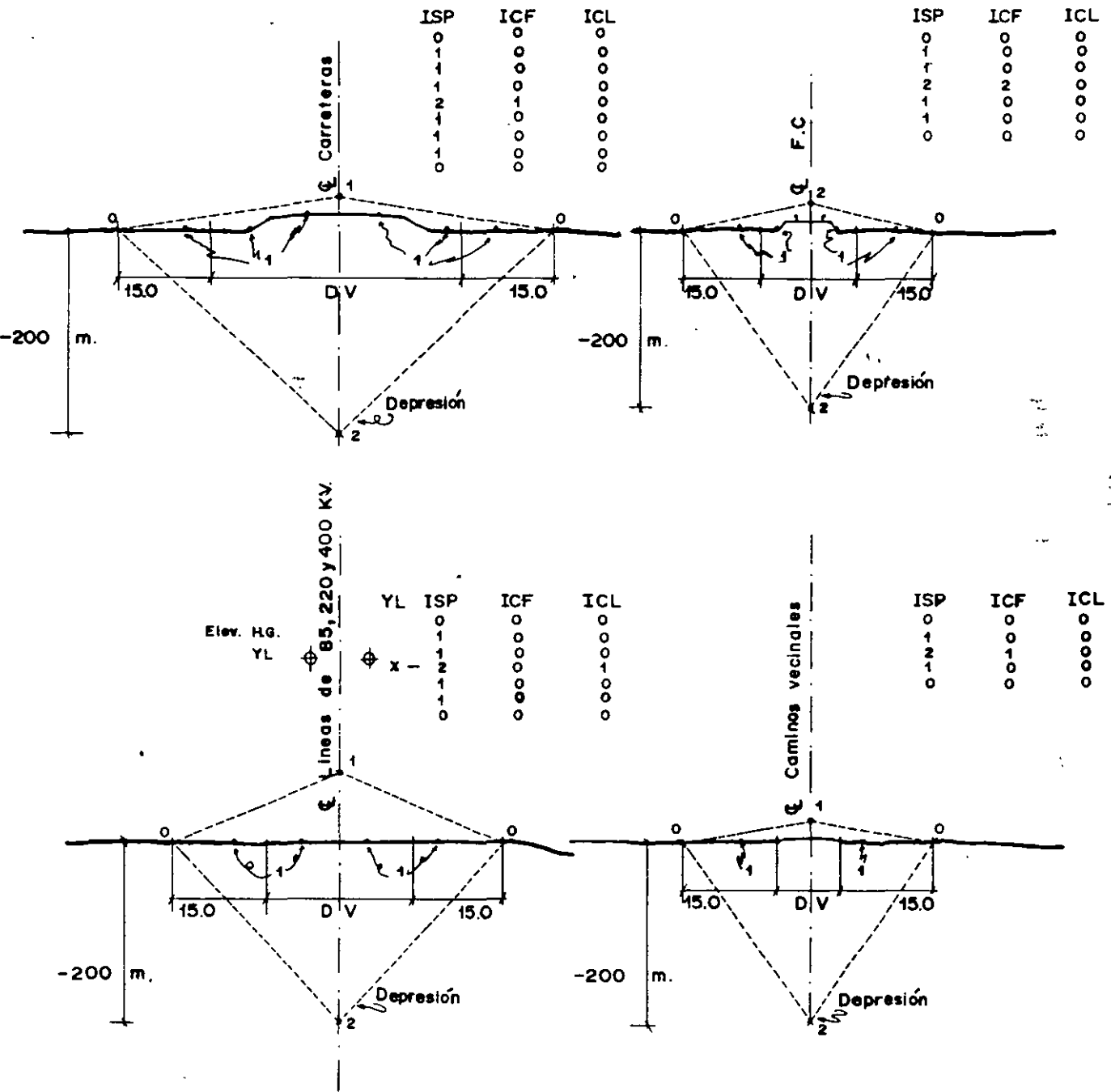


FIG. 18 MODIFICACION DEL PERFIL EN AREAS DONDE NO DEBE LOCALIZARSE UNA ESTRUCTURA



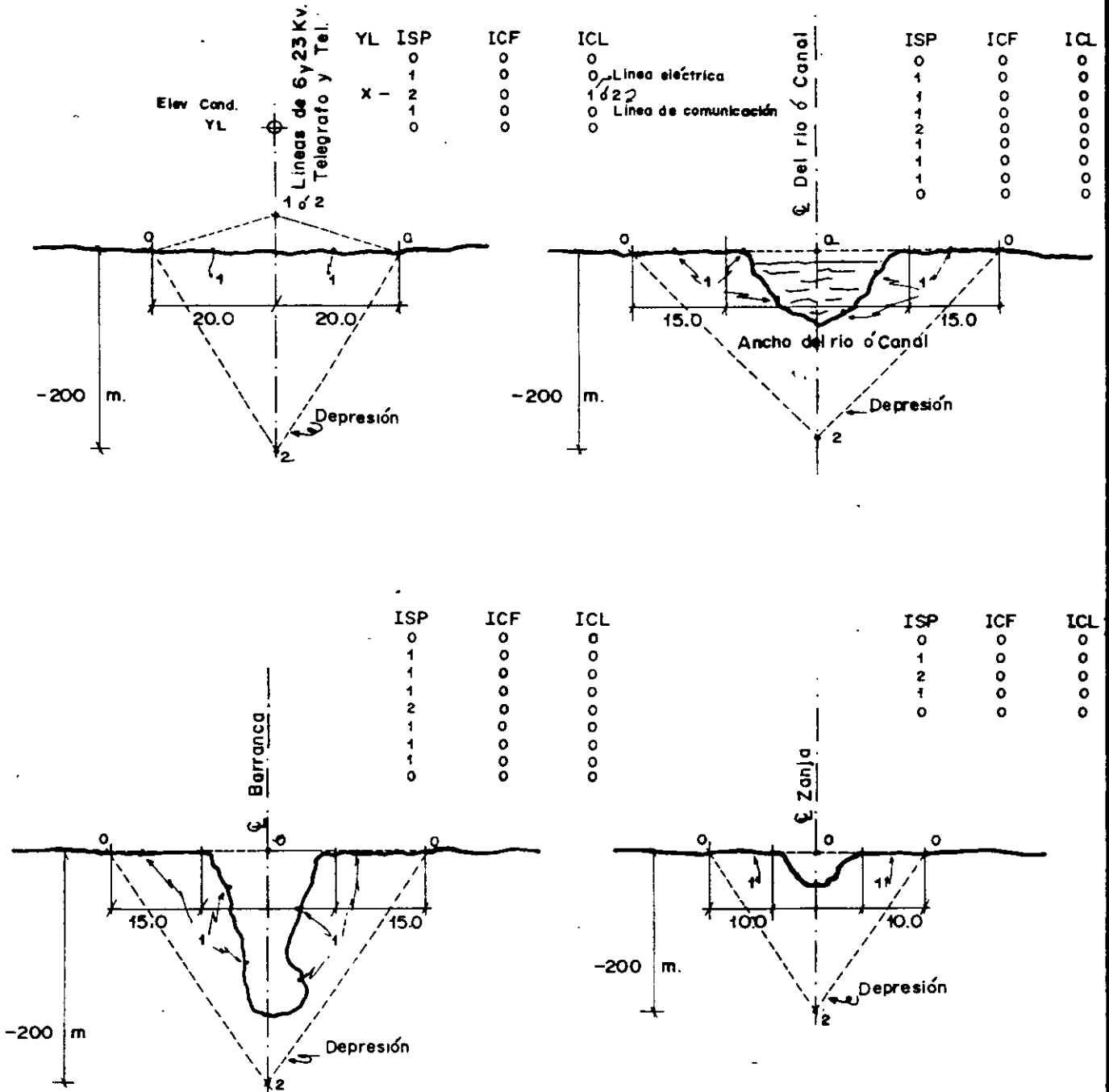


FIG. 19 MODIFICACION DEL PERFIL EN AREAS DONDE-  
NO DEBE LOCALIZARSE UNA ESTRUCTURA

El segundo conjunto de datos define las características generales de la línea que son: características del conductor, alturas de las estructuras, localizaciones, alturas, tipos y extensiones de las patas de la primera y última estructuras de la línea, tensión mecánica del conductor, libramiento al piso, puntos de deflexión de la línea, tipos y costos de las estructuras, y costos de las extensiones de las patas y de las cimentaciones. Este conjunto de datos se dan a la computadora por medio de un diskette. Un listado de este conjunto de datos se muestra en la tabla 30.

Resultados.

Un ejemplo de los resultados del cálculo del perfil se muestra en la tabla 31.

Los resultados de la localización de estructuras se obtienen en forma de listado los cuales se muestran en la tabla 32, donde se indican para cada estructura localizada los siguientes valores:

Número, tipo, altura, contrapeso para la cadena de aisladores, deflexión, distancia al punto inicial de la línea, altitud sobre el nivel del mar, claro entre torres, claro de viento, carga horizontal, claro de peso, carga vertical, tangente del ángulo de balanceo de la cadena de aisladores y claro regulador.

Conclusiones.

La utilización del programa de computadora para la localización de estructuras de líneas de transmisión sobre cualquier perfil topográfico es práctico, más confiable y más económico que el método manual ya que en todas las fases del proyecto se tienen mucho menos posibilidades de errores considerables y los ahorros por kilómetro son hasta de un 9% del costo total de las estructuras y el tiempo y costo de diseño disminuye en un 80% respecto al método manual.

Tabla 30 Datos generales de la línea para la localización de estructuras.

TH (1) - Altura de las estructuras.

a

TH (7)

SBXI - Abscisa del punto inicial S.E.

SBYI - Ordenada del punto inicial S.E.

-2-

CLRI - Claro inicial.

SBXF - Abscisa del punto final S.E.

SBYF - Ordenada del punto final S.E.

CLRF - Claro final.

THP - Altura de la primera estructura.

TBXP - Abscisa de la primera estructura.

TBYP - Ordenada de la primera estructura.

DEFP - Deflexión de la primera estructura.

COSTP - Costo de la primera estructura.

THU - Altura de la última estructura.

TBXU - Abscisa de la última estructura.

TBYU - Ordenada la última estructura.

DEFU - Deflexión de la última estructura.

COSTU - Costo de la última estructura.

EXIP)

a ) Extensiones de las patas de la primera estructura.

EX4P)

EX1U) )

a ) Extensiones de las patas de la última estructura.

EX4U)

XLP - Libramiento al piso.

DLE - Distancia a línea eléctrica.

DLC - Distancia a línea de comunicación.

W - Peso unitario del conductor.

C1 - Constante unitaria de viento.

C2 - Constante unitaria de peso.

- CLRM - Claro máximo.
- TAICM - Valor máximo de la relación carga horizontal a carga vertical en las estructuras de suspensión por diseño.
- TR - Tensión mecánica de la línea a  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $24 \text{ Kg/m}^2$  de P.V.
- FH - Incremento de alturas de las estructuras.
- AC - Amplitud de crucetas.
- CPD - Peso del contrapeso.
- KTTP - Tipo de la primera estructura.
- MTHP - Altura de la primera estructura.
- ICMP - Índice del tipo de terreno para la cimentación de la primera estructura.
- KTTV - Tipo de la última estructura.
- MTHV - Altura de la última estructura.
- ICMV - Índice del tipo de terreno para la cimentación de la última estructura.
- NTD - Número de torre dato.
- NH - Número de alturas.
- NTC - Número de tipos y costos.
- NTC - Número de torres de suspensión.
- NDEF - Número de deflexiones.
- ICRD - Índice del claro regulador dato.
- ICR - 1) Claros reguladores dato, flechas finales a  $16^{\circ}\text{C}$  y flechas.
- ICR -13) finales a  $-5^{\circ}\text{C}$ .
- DEF - 1)
- a ) Deflexión en grados, radianes y su abscisa y ordenada.
- DEF -20) correspondientes.

- S1 - Claro de viento, claro de peso, tangente del ángulo de inclinación de la cadena de aisladores, deflexión, relación de claros adyacentes, abertura entre patas y pendiente para la torre de suspensión ligera.
- S2 - Idem pero para la torre de suspensión pesada.
- T10 - Idem pero para la torre de tensión para deflexión de 10°.
- T15 - Idem pero para la torre de tensión para deflexión de 15°.
- T30 - Idem pero para la torre de tensión para deflexión de 30°.
- T60R - Idem pero para la torre de tensión para deflexión de 60° y remate.
- CTS - S1 Costo de las alturas de las estructuras para la torre de suspensión ligera. Incluye costo de aisladores y herrajes.
- CTS - S2 Idem pero para las torres de suspensión pesada.
- CTS - T10 Idem pero para las torres de deflexión para 10°.
- CTS - T15 Idem pero para las torres de deflexión para 15°.
- CTS - T30 Idem pero para las torres de deflexión para 30°.
- CTS - T60R IDEM pero para las torres de deflexión para 60° y remate.
- CEX-S1 Costo de las extensiones para las patas de las torres de suspensión ligera.
- CEX-S2 Costo de las extensiones para las patas de las torres de suspensión pesada.
- CEX-T10 Costo de las extensiones para las patas de las torres de tensión T10.
- CEX-T15 Costo de las extensiones para las patas de las torres de tensión T15.

- CEX-T30 Costo de las extensiones para las patas de las torres de tensión T30.
- CEX-T60R Costo de extensiones para las patas de las torres de tensión T60R.
- CEX-S1 Costo de las cimentaciones para las diferentes alturas de las torres de suspensión ligera.
- CEX-S2 Idem pero para las torres de suspensión pesada.
- CEX-T10 Idem pero para las torres de tensión T10.
- CEX-T15 Idem pero para las torres de tensión T15.
- CEX-T30 Idem pero para las torres de tensión T30.
- CEX-T60R Idem pero para las torres de tensión T60R.

PLANOS Y DIBUJOS DE PROYECTO

Los planos y dibujos para los proyectos de líneas de transmisión comprenden: planos de conjunto, planta y perfil, planos de cruzamientos con carreteras, vías férreas y ríos, registro de estructuras, lista de materiales, gráficas de flechas y tensiones, dibujos de cadenas de aisladores, dibujos de herrajes, dibujos de cimentaciones, dibujos de conexión a tierra y dibujos de detalles.

A - PLANO DE CONJUNTO.

El plano de conjunto muestra: la localización geográfica de la línea; las subestaciones que interconecta; la tensión eléctrica; el número, el calibre, el material y la corriente máxima de los conductores; la distancia interpostal máxima, media y mínima; el libramiento al piso de los conductores en su punto más bajo a 16°C; las flechas de los conductores para la distancia interpostal máxima, media y mínima a la tensión mecánica máxima.

Respecto a las estructuras de la línea se indica la resistencia máxima, la semisuma máxima de los claros adyacentes y las cargas debidas al peso de los conductores y a la presión del viento. El plano No. 0587-11504-D es un ejemplo de un plano de conjunto.

Tabla 31 perfil topográfico de la línea de 400 KV Tula-Victoria.

KILOMETRAJE INICIAL = 60.25 COTA INICIAL = 2316.52

X INICIAL = 0.00 Y INICIAL = 0.00

X	Y1	Y2	YL	ISP	ICF	ICL
60.25	2316.52	2316.52	0.00	0	0	0
80.75	2316.08	2316.08	0.00	0	0	0
99.23	2315.66	2315.66	0.00	0	0	0
119.22	2315.31	2315.31	0.00	0	0	0
139.22	2315.00	2315.00	0.00	0	0	0
159.22	2314.59	2314.59	0.00	0	0	0
160.21	2314.57	2314.57	0.00	0	0	0
180.21	2314.35	2314.35	0.00	0	0	0
200.20	2314.06	2314.06	0.00	0	0	0
220.20	2313.68	2313.68	0.00	0	0	0
240.20	2313.33	2313.33	0.40	0	0	0
260.20	2312.97	2312.97	0.00	0	0	0
280.20	2312.62	2312.62	0.00	0	0	0
300.20	2312.26	2312.26	0.00	0	0	0
320.20	2311.91	2311.91	0.00	0	0	0
340.20	2311.56	2311.56	0.00	0	0	0
360.20	2311.20	2311.20	0.00	0	0	0
380.20	2310.85	2310.85	0.00	0	0	0
400.20	2310.49	2310.49	0.00	0	0	0
420.20	2310.14	2310.14	0.00	0	0	0
440.20	2309.78	2309.78	0.00	0	0	0
460.12	2309.43	2309.43	0.00	0	0	0
467.68	2308.22	2308.22	0.00	0	0	0
480.66	2308.73	2308.73	0.00	0	0	0
484.68	2308.26	2308.26	0.00	0	0	0
504.68	2307.58	2307.58	0.00	0	0	0
524.68	2307.24	2307.24	0.00	0	0	0
544.68	2306.90	2306.90	0.00	0	0	0
564.68	2306.55	2306.55	0.00	0	0	0
584.68	2306.21	2306.21	0.00	0	0	0
604.68	2305.87	2305.87	0.00	0	0	0
613.43	2305.72	2305.72	0.00	0	0	0
633.43	2305.30	2305.30	0.00	0	0	0
640.42	2305.15	2305.15	0.00	0	0	0
660.42	2304.77	2304.77	0.00	0	0	0
680.42	2304.37	2304.37	0.00	0	0	0
682.41	2304.33	2304.33	0.00	0	0	0
702.41	2303.88	2303.88	0.00	0	0	0
722.41	2303.46	2303.46	0.00	0	0	0
742.41	2303.05	2303.05	0.00	0	0	0
762.41	2302.64	2302.64	0.00	0	0	0

Tabla 31 perfil topográfico de la línea de 400 KV Tula-Victoria (Continúa)

KILOMETRAJE INICIAL = 60.25 COTA INICIAL = 2316.52

X INICIAL = 0.00 Y INICIAL = 0.00

X	Y1	Y2	YL	ISP	ICF	ICL
782.41	2302.22	2302.22	0.00	0	0	0
802.41	2301.81	2301.81	0.00	0	0	0
822.41	2301.40	2301.40	0.00	0	0	0
842.41	2300.99	2300.99	0.00	0	0	0
862.41	2300.57	2300.57	0.00	0	0	0
882.41	2300.16	2300.16	0.00	0	0	0
902.41	2299.75	2299.75	0.00	0	0	0
909.01	2299.61	2299.61	0.00	0	0	0
929.01	2299.27	2299.27	0.00	0	0	0
949.01	2298.92	2298.92	0.00	0	0	0



Tabla 32 .Resultados del programa de localización de estructuras.

LINEA DE 400 KV TULA-VICTORIA  
LOCALIZACION DE ESTRUCTURAS.

TNO	T	A	C	DEFLEX	DISTANCIA	ALTITUD	CLARO	CLR V	CHOR	CLRB	CVER	TABC	CLRR	HAM	AK
SE					560.00	2136.00	0								
1	5	2	0	60.000	560.00	2136.00	388								
2	1	2	0	0.0	948.21	2145.71	403	385	303	366	685	0.443	400	151.77	0.000295
3	1	1	0	0.0	1351.60	2157.08	447	425	326	443	829	0.394	400	132.57	0.000295
4	1	1	0	0.0	1798.20	2170.94	363	405	311	462	865	0.359	400	171.28	0.000295
5	1	7	0	0.0	2162.38	2180.56	259	311	278	269	504	0.474	400	183.88	0.000295
6	1	7	0	0.0	2421.44	2186.04	288	278	213	259	484	0.441	400	83.72	0.000295
7	1	2	0	0.367	2720.00	2190.50	354	328	252	363	680	0.371	400	100.64	0.000295
8	1	2	0	0.0	3078.53	2194.96	363	336	258	382	715	0.361	350	158.50	0.000300
9	1	3	0	0.0	3392.39	2196.00	319	316	243	243	456	0.533	350	177.99	0.000300
10	4	2	0	30.000	3712.00	2199.50	410	365	280	745	646	0.434	350	123.01	0.000300
11	1	1	0	0.0	4122.83	2209.07	415	413	316	454	850	0.373	450	144.34	0.000297
12	4	2	0	24.666	4538.00	2219.50	399	407	312	366	684	0.456	450	188.51	0.000292
13	1	1	0	0.0	4937.06	2228.43	384	391	300	456	853	0.352	450	139.42	0.000292
14	2	2	0	0.0	5321.14	2233.47	576	480	368	437	817	0.451	450	192.24	0.000292
15	2	1	0	0.0	5897.20	2239.00	384	480	368	509	952	0.387	450	256.48	0.000292
16	1	1	0	0.0	6281.36	2234.90	474	429	329	346	647	0.509	450	210.35	0.000292
17	2	1	0	0.0	6755.47	2251.27	453	463	356	455	851	0.418	450	177.95	0.000292

etc.

Tabla 32 (Continuación).

TNO	T	A	C	DEFLEX	DISTANCIA	ALTITUD	CLARO	CLRV	CHOR	CLRP	CVER	TABC	CLRR	HAM	AK
83	2	1	0	0.0	34471.20	2482.92	539	582	447	1075	2010	0.222	450	408.03	0.000292
84	2	2	0	0.0	35011.39	2444.43	528	533	409	336	629	0.651	450	218.43	0.000292
85	2	2	0	0.0	35539.45	2458.50	380	454	348	759	1419	0.246	450	428.66	0.000292
86	2	2	0	0.0	35920.07	2410.49	624	507	389	378	708	0.550	450	376.28	0.000292
87	2	2	0	0.0	36554.73	2393.63	438	536	411	391	732	0.562	450	-67.92	0.000292
88	2	1	0	0.0	36993.45	2462.18	215	327	251	1017	1903	0.132	450	473.05	0.000292
89	1	2	0	0.0	37208.84	2426.29	287	301	231	217	407	0.567	450	355.35	0.000292
90	2	1	0	0.0	37595.96	2379.61	659	523	401	365	683	0.588	450	346.03	0.000292
91	4	2	0	11.730	38255.00	2379.00	0								
S. E.					38255.00	2379.00									

RESUMEN DE TIPOS Y ALTURAS DE ESTRUCTURAS.

	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5	ALT6	ALT7	ALT8	ALT9	ALT10
TIPO 1	18	31	3	0	0	0	0	0	0	0
TIPO 2	17	15	0	0	0	0	0	0	0	0
TIPO 3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
TIPO 4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
TIPO 5	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
TIPO 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TIPO 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TORRES DE SUSPENSION 84

TORRES DE TENSION 7

COSTO 13,852,790.00 PESOS.

**B - PLANOS DE PLANTA.**

Los planos de planta muestran: la línea en toda su longitud con el kilometraje sucesivo; los puntos terminales; los tipos, alturas y números de las estructuras; los tipos de cimentaciones; la amplitud del derecho de vía; los detalles topográficos comprendidos de una franja de 50 m a cada lado del derecho de vía como por ejemplo: barrancas, cauces, caminos, carreteras, vías férreas, líneas suministradoras de energía eléctrica, líneas de comunicación y poblaciones. La escala normalizada para estos planos es de 1:2000 con acotaciones en metros. Los dibujos Nos. 0587-11504-A, B y C son ejemplos de planos de planta.

**C - PLANOS DE PERFIL.**

Los planos de perfil muestran: la línea en toda su longitud con el kilometraje sucesivo; los puntos terminales de la línea; el tipo, la altura y los números de las estructuras; los tipos de cimentaciones; barrancas, cauces, caminos, carreteras y vías férreas atravesadas por la línea; las elevaciones de líneas suministradoras de energía eléctrica y de comunicación atravesadas por la línea; el perfil del eje de la línea y los perfiles laterales abajo de los conductores. Las escalas normalizadas son 1:500 vertical y 1:2000 horizontal, con acotaciones en metros. Los dibujos Nos. 0587-11504-A', B', C', D' y E' son ejemplos de los planos de perfil.

En ocasiones sobre un mismo plano se colocan, haciéndolas coincidir, las vistas tanto de planta como perfil de la línea. Recientemente inclusive se incluyen en el mismo, plantas fotogramétricas de la zona.

**D - PLANOS DE CRUZAMIENTOS CON CARRETERAS, VIAS FERREAS Y RIOS.**

Estos planos muestran: los detalles en planta y perfil de los cruzamientos de líneas con carreteras, vías férreas y ríos; las dimensiones de las estructuras soportadoras, la resistencia máxima y cargas debidas al peso de los conductores y presión de viento; la tensión eléctrica de la línea; el número, el calibre, el material y la corriente máxima de los conductores; la separación entre los conductores; el libramiento del conductor más bajo al hongo del riel, a la rasante de la carretera o al espejo de agua mayor del río, la flecha de los conductores para el claro en cuestión; la tensión

máxima de los conductores, el número y las dimensiones de los aisladores. El plano 0582-8860 es un ejemplo de cruzamiento con vías férreas.

**E - REGISTRO DE ESTRUCTURAS.**

En el registro de estructuras se indican los números progresivos de las estructuras que soportan la línea, el kilometraje, los claros entre estructuras, las cotas de las estructuras y el desnivel entre las mismas, los tipos de cimentaciones, los tipos y alturas de las estructuras, los tipos de cadenas de aisladores y otros detalles. La hojas Nos. Z-508-31188-1 y 2 son un ejemplo de registro de estructuras.

**F - LISTA DE MATERIALES.**

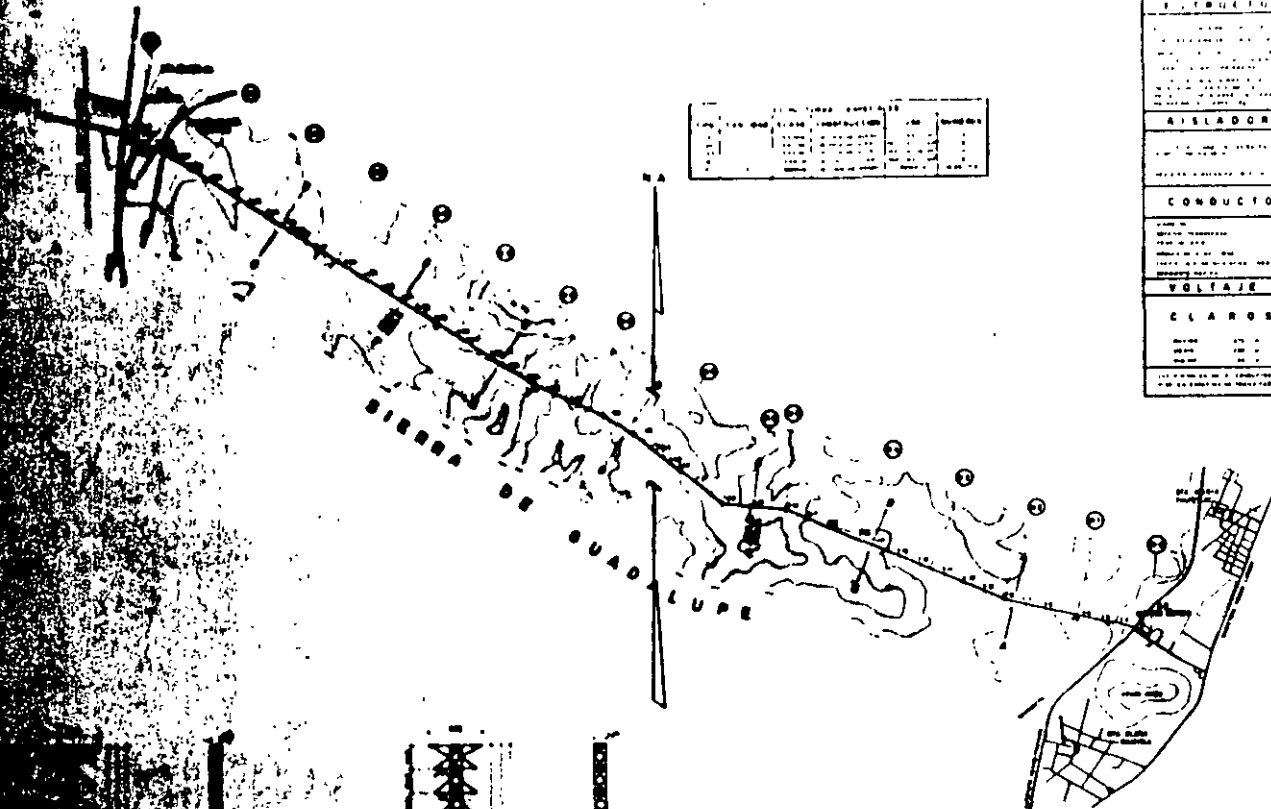
La lista de materiales contiene las cantidades y la descripción de los materiales a utilizar en la construcción de la línea, el nombre del fabricante, el número del pedido, y fecha de entrega. La hoja No. 0508-32826 es un ejemplo de lista de materiales.

**G - GRAFICAS DE FLECHAS Y TENSIONES.**

Estas gráficas muestran las flechas y tensiones, iniciales y finales a -5, 0, 10, 16, 20, 30, 40 y 50°C sin presión de viento y a -5°C con presión de viento de 24 Kg/m<sup>2</sup>. Las flechas y tensiones finales se utilizan para el proyecto. Las flechas y tensiones iniciales se utilizan para el tendido.

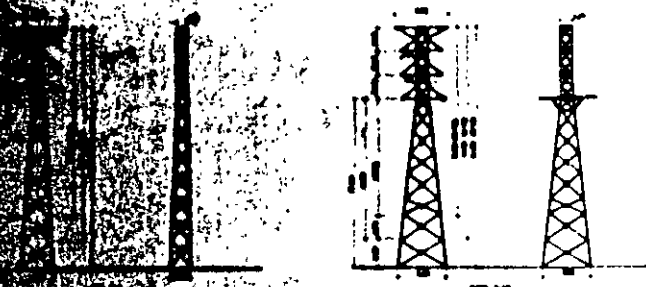
Los dibujos Nos. Z-0509-10700-A y Z-0509-10701-A son ejemplos de gráficas de flechas y tensiones.

**H - Los dibujos Nos. HERRAJES 5, HERRAJES II, L242T20.DWG, 20 y Z-0508-16148, muestran un ejemplo de detalles de los arreglos de cadenas de aisladores, sujeción de hilos de guarda, estructuras, cimentaciones y conexión a tierra, respectivamente, que se utilizan en líneas de transmisión de LyFC.**



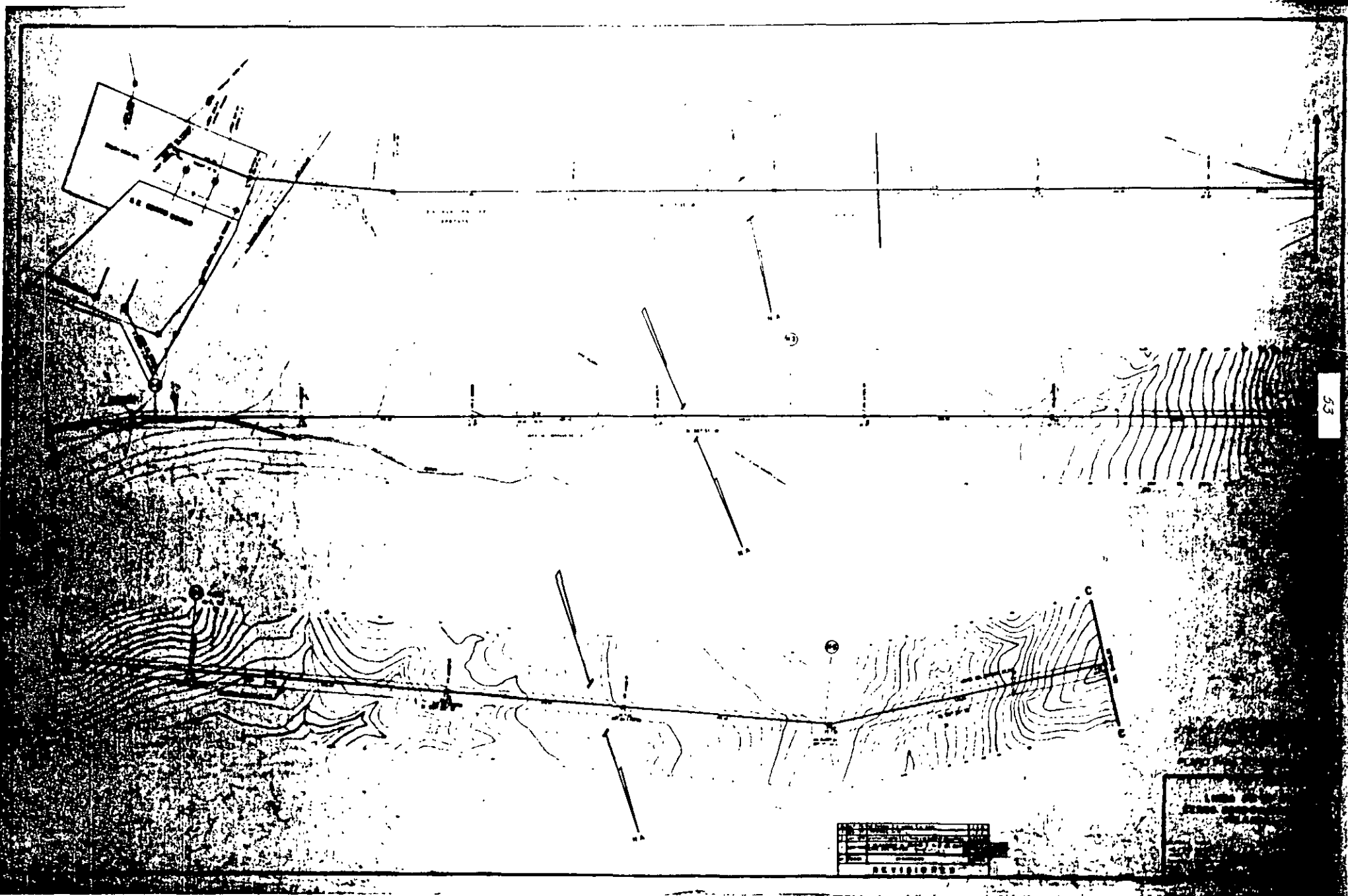
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
1	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...
5	...	...	...	...	...
6	...	...	...	...	...
7	...	...	...	...	...
8	...	...	...	...	...
9	...	...	...	...	...
10	...	...	...	...	...

DATOS GENERALES		
<b>ESTRUCTURAS</b>	<b>TIPO DE ESTRUCTURA</b>	<b>TIPO DE MATERIAL</b>
...	...	...
<b> AISLADORES</b>	<b> TIPO DE AISLADOR</b>	<b> TIPO DE MATERIAL</b>
...	...	...
<b> CONDUCTORES</b>	<b> TIPO DE CONDUCTOR</b>	<b> TIPO DE MATERIAL</b>
...	...	...
<b> VOLTAJE</b>	<b> TIPO DE VOLTAJE</b>	
...	...	
<b> CLAROS</b>	<b> TIPO DE CLARO</b>	
...	...	



DETALLE DE AISLADORES

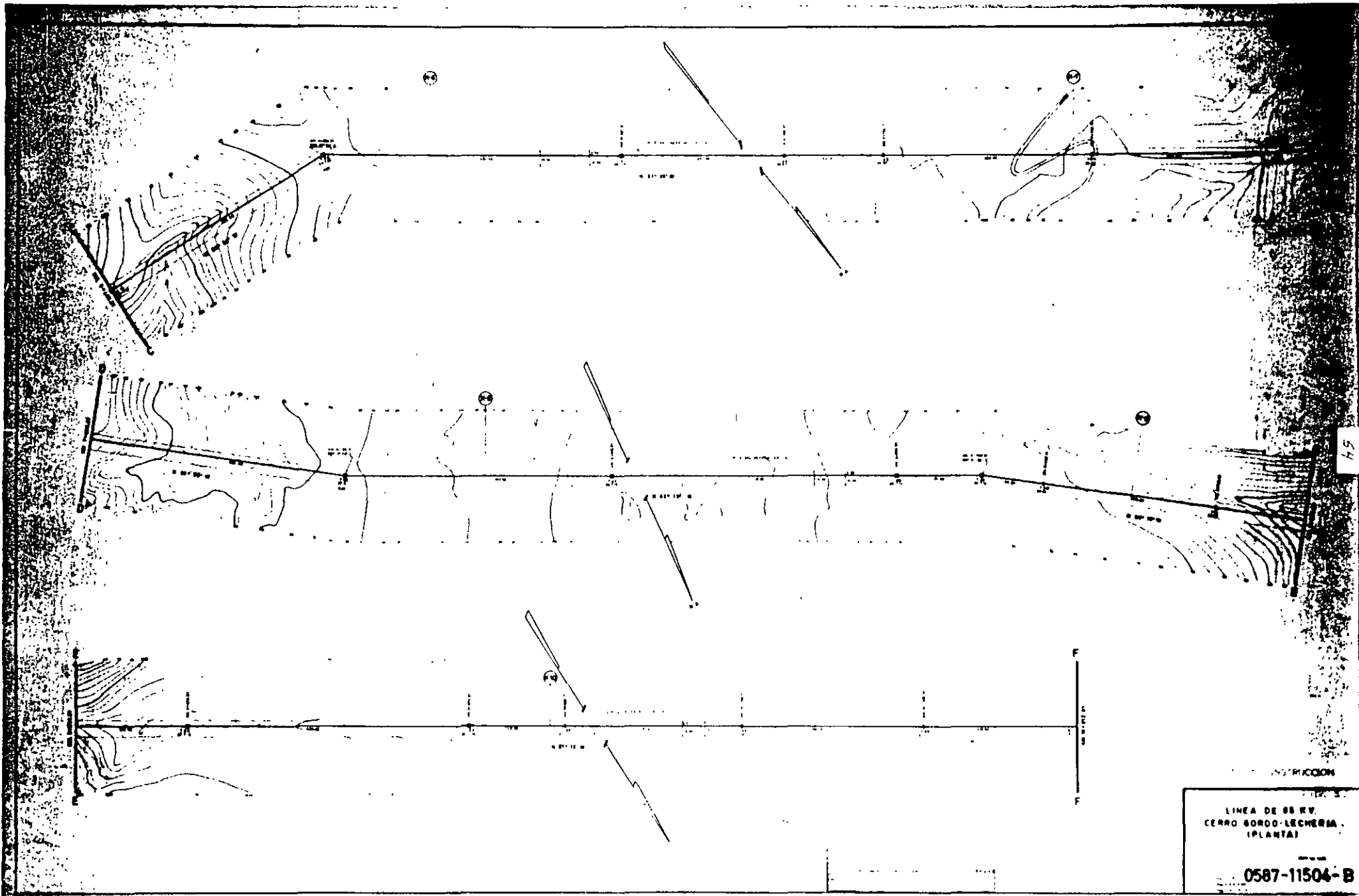
PLANO PARA CONSTRUCCION  
 LINEA DE TRANSMISION  
 CERRO GORDO  
 CONJUNTO



53

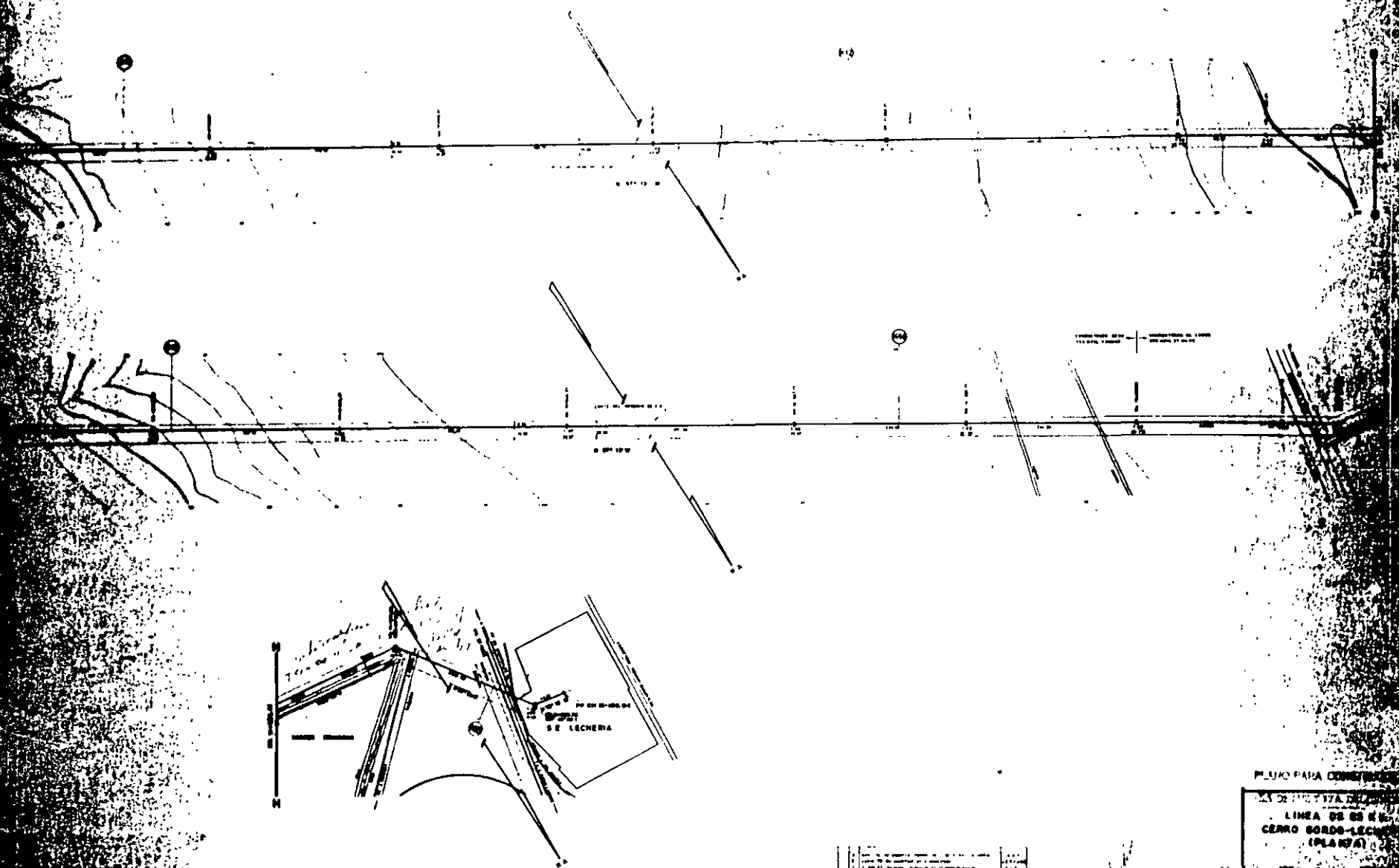
REVISED

0 55



INSTRICCION  
LINEA DE 66 RV.  
CERRO GORDO-LECHERIA  
(PLANTA)

0587-11504-B

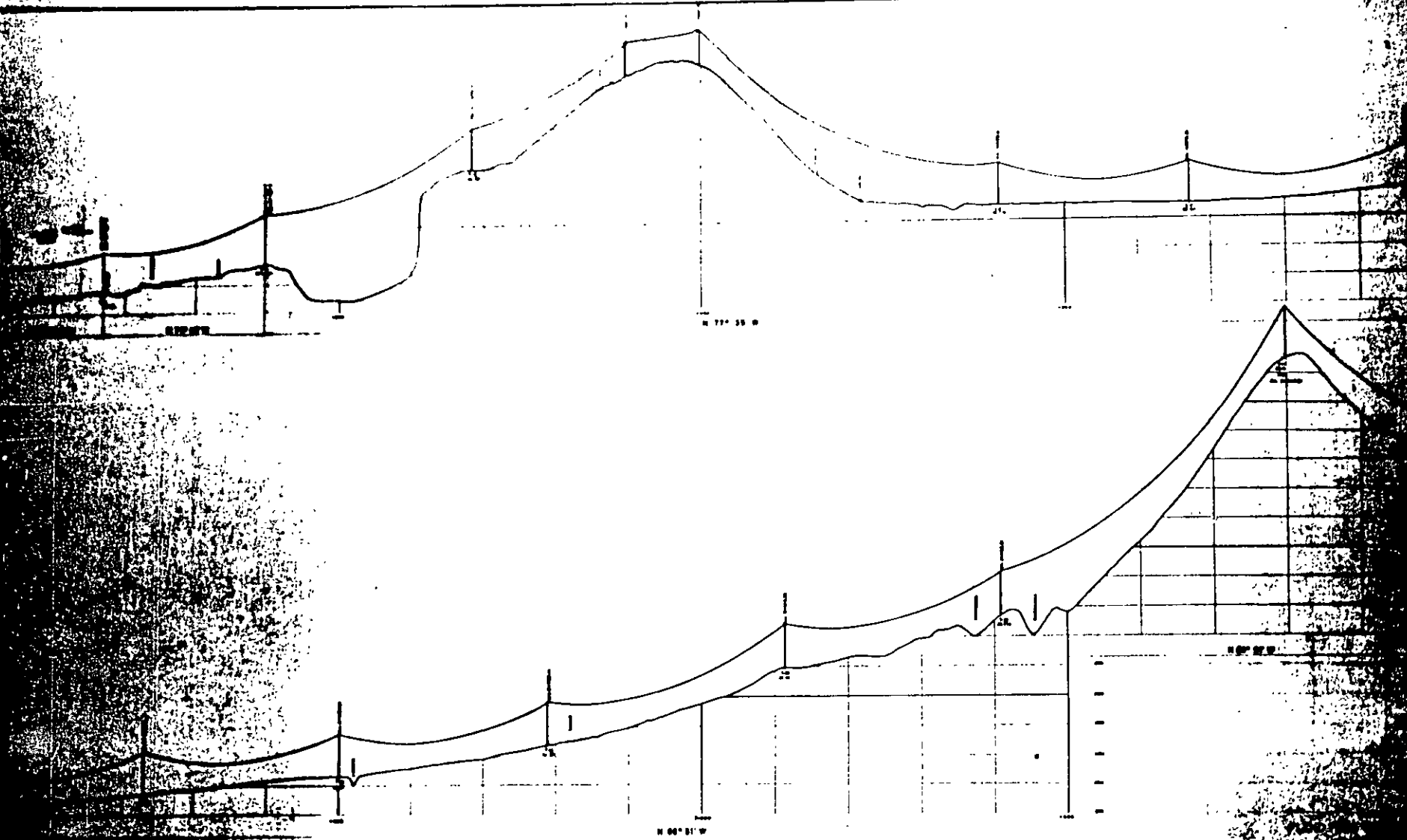


PLANO PARA CONSTRUCCION  
 DE LA LÍNEA DE FERROCARRIL  
 LINEA DE CERRO GORDO-LECHERIA  
 (PLANO A)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



57



NO.	DATE	BY	REVISIONS

58

850

57

N 66° 51' W

N 84° 24' W

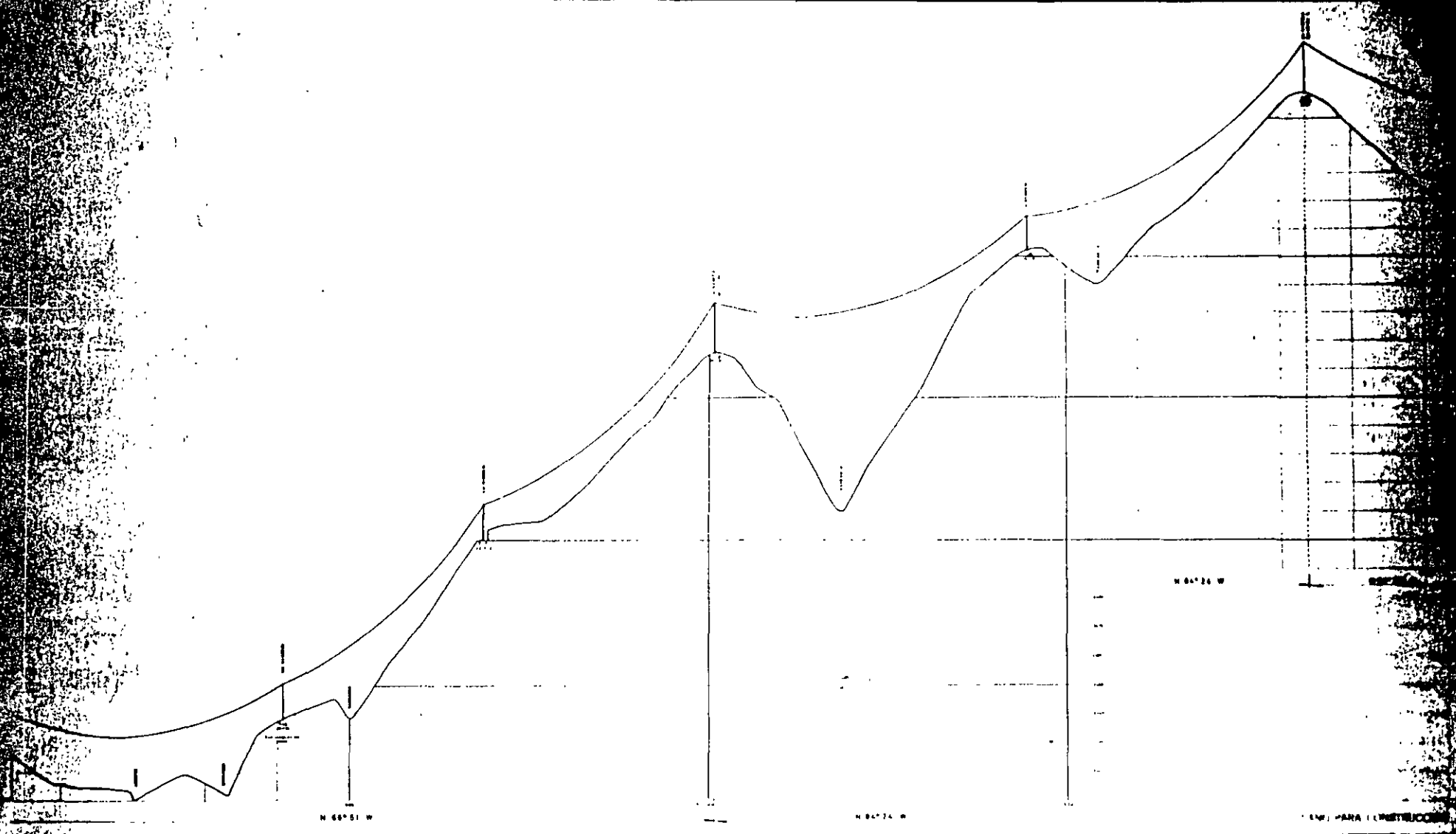
N 84° 24' W

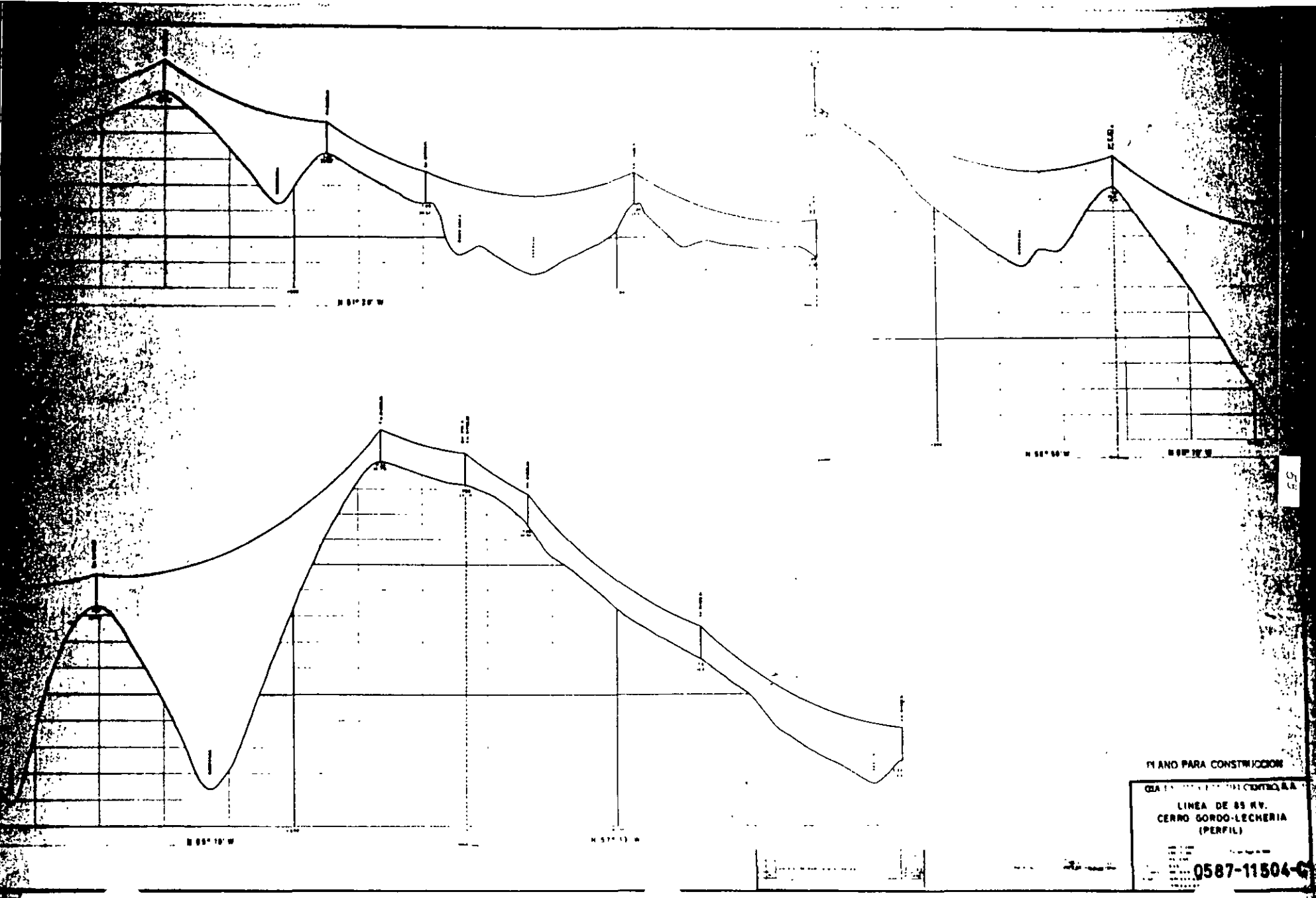
EM) PARA (METRICO)

LINIA DE 65 M.  
CERRO GORDO-LECHERA  
(PERU)

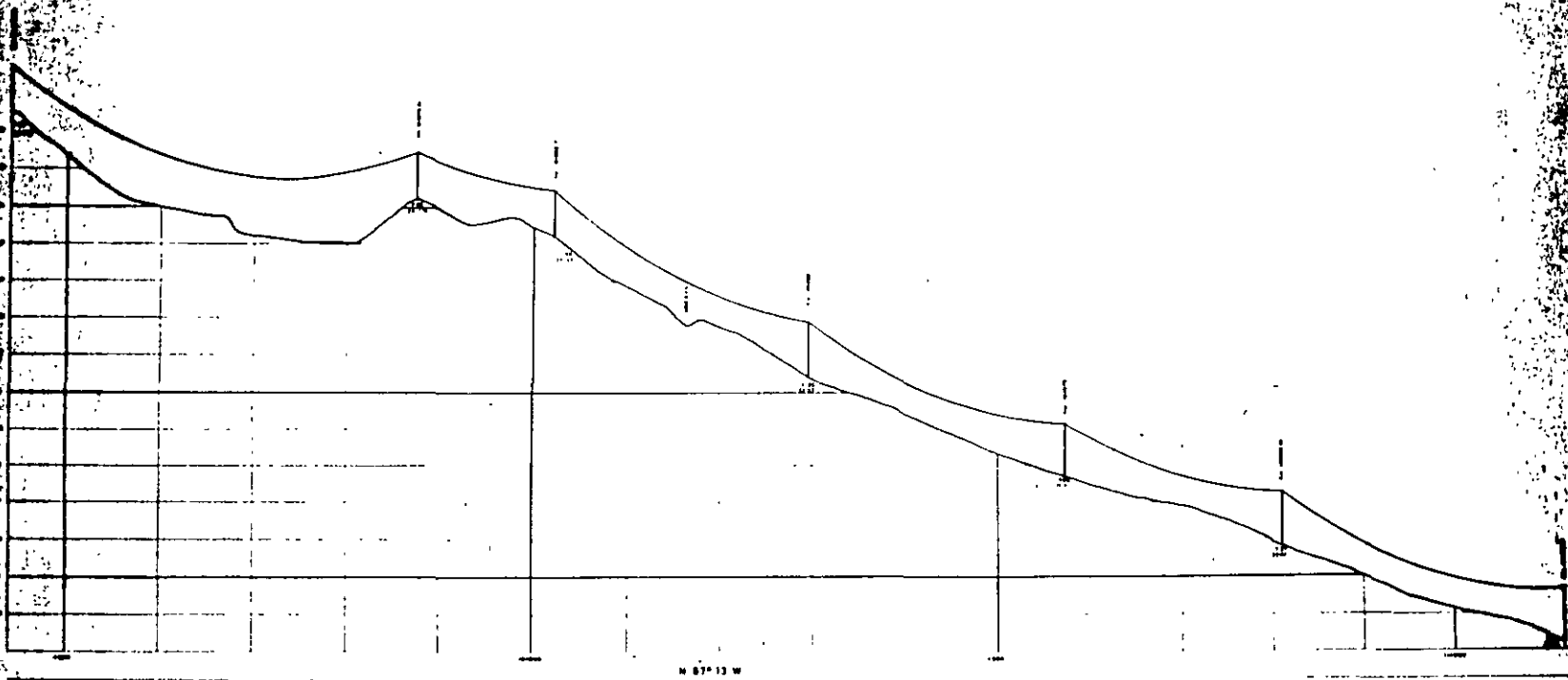
0587-11800

REVISIONES

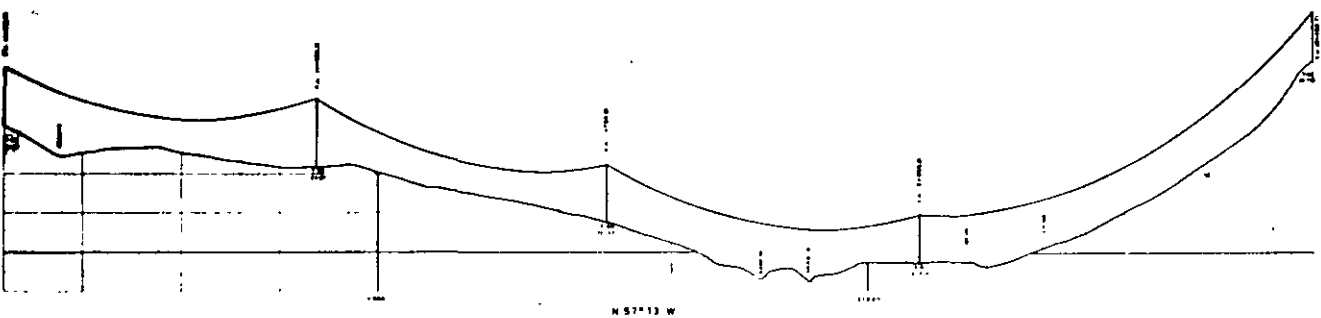




PLANO PARA CONSTRUCCION  
 GEA S.A. CONSULTORIA S.A.  
 LINEA DE 85 KV.  
 CERRO GORDO-LECHERIA  
 (PERFIL)  
 0587-11504-G



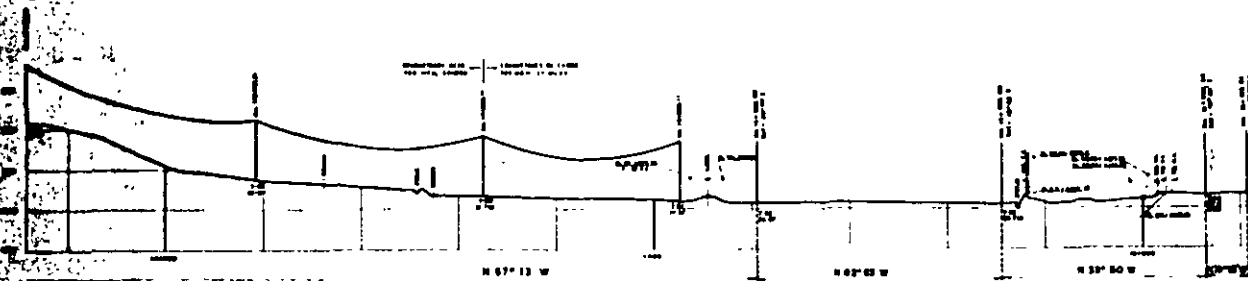
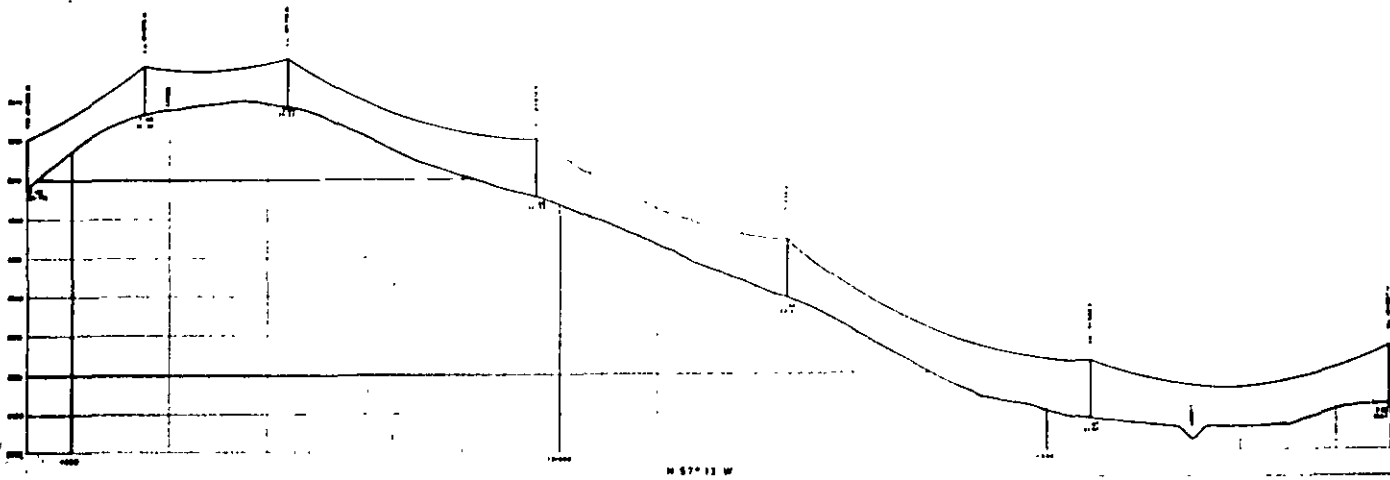
N 87° 13' W



N 87° 13' W

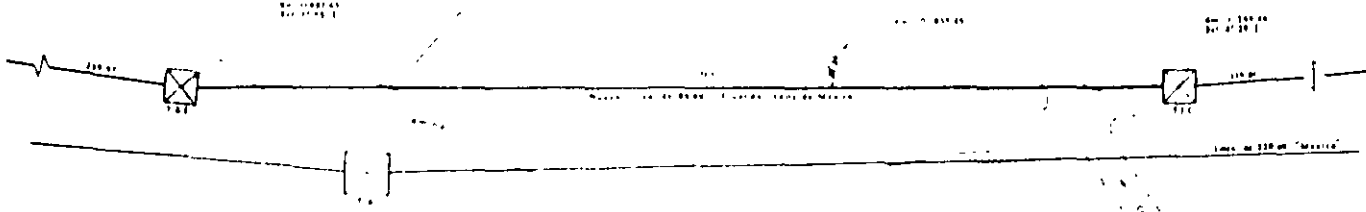
PLANO PARA CONSTRUCCION  
 CUA DE LUZ Y PZA DEL CERRO  
 LINEA DE 66 M.  
 CERRO GORDO-LEONERA  
 (PERFIL)  
 0587-1188

59



PLANO PARA...  
 CIA DE OBRAS PUBLICAS  
 LINHA DE...  
 CANTO...  
 1:1000

...  
 ...  
 ...

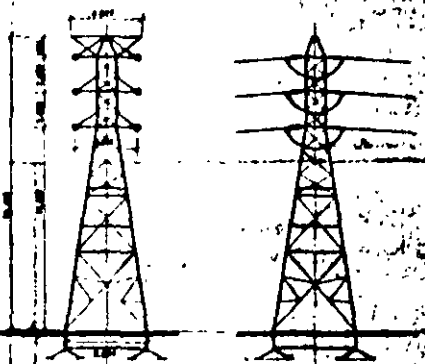


**PLANTA**  
E.C. 1:500



**PERFIL**  
E.C. 1:500

DATOS GENERALES DEL CRUZAMIENTO		
<b>TORRES</b>	<b>TORRE Nº1 (PLAN-O)</b>	<b>TORRE Nº2 (PLAN-O)</b>
Tipos de Torres	1074 kg	2274 kg
Tipos de conductores	3470 kg	2000 kg
Tipos de aisladores	2000 kg	1940 kg
<b>CONDUCTORES</b>	Sección de conductor con alma de acero de 200 mm <sup>2</sup> de sección de aluminio (100 mm <sup>2</sup> )	
Tipos de aisladores: 2000 kg		
Tipos de aisladores de 2000 kg		
DIMENSIONES Y TENSIONES DEL CRUZAMIENTO		
Tipos de cables	Cable de aluminio con alma de acero de 200 mm <sup>2</sup> de sección de aluminio (100 mm <sup>2</sup> )	
Tipos de cables	1000 kg	
Tipos de cables	1000 kg	
Tipos de cables	1000 kg	



**DETALLE DE LAS TORRES**  
E.C. 1:500

**COM**  
De Ing.

CONSTRUCCION DE LA  
LÍNEA DE 220 KV  
CROSSING DE LA  
LÍNEA DE 132 KV

20 C

17

# REGISTRO DE ESTRUCTURAS

IE-90-06-14

TORRE No.	DEFLEX	KILOMETRAJE	CLARO	COTA DE NIVEL	DESNIVEL	TIPO DE ESTRUCT.	AISLA-DORES	CIMEN-TACION	OBSERVACIONES
E R		0+000		2235.60		REMATE			
			81.92		+0.43				S. E. AURORA
1	78°12'D	0+081.92		2236.03		53 T 60	TN		CRUCETAS 230 KV 90° 2 CIRC.
			324.09		-1.72	MODIF			CANAL COMPAÑIA
2	91°27'I	0+406.01		2234.31		53 T 60	TN		CRUCETAS 230 KV 90° 4 CIRC.
			260.00		+1.30	MODIF			CRUCETAS 230 KV 4 CIRC.
3		0+666.01		2235.61		53 SI	SN		" " " "
			310.00		+0.03	MODIF			" " " "
4		0+976.01		2235.64		53 SI	SN		" " " "
			309.96		-0.18	MODIF			" " " "
5		1+285.97		2235.46		53 SI	SN		" " " "
			310.00		-0.07	MODIF			" " " "
6		1+595.97		2235.39		53 SI	SN		" " " "
			310.00		-0.01	MODIF			" " " "
7		1+905.97		2235.38		53 SI	SN		" " " "
			310.00		-0.29	MODIF			" " " "
8		2+215.97		2235.09		53 SI	SN		" " " "
			300.00		+0.26	MODIF			" " " "
9		2+515.97		2235.35		53 SI	SN		" " " "
			300.00		+0.60	MODIF			" " " "
10		2+815.97		2235.95		53 SI	SN		" " " "
			300.00		+1.91	MODIF			L. 23 KV
11		3+115.97		2237.86		53 SI	SN		CRUCETAS 230 KV 4 C.
			280.00		+0.33	MODIF			" " " "
12		3+395.97		2238.19		53 SI	SN		" " " "
			308.28		+0.99	MODIF			" " " "
13	54°00'D	3+704.25		2239.18		53 T 60	TN		CRUCETAS 230 KV 60° 4 CIRC.
			206.98		-2.21	MODIF			VIA F.F.C.C. TELEGRAFOS
14		3+911.23		2236.97		53 SI	SN		CRUCETAS 230 KV 4 CIRC.
			252.98		+0.39	MODIF			" " " "
15		4+164.21		2237.36		53 SI	SN		" " " "
			259.97		+0.64	MODIF			AVE. PANTITLAN
16	0°52'D	4+424.18		2238.00		53 SI	SN		CRUCETAS 230 KV 4 CIRC.
			218.04		+0.70	MODIF			L. 23 KV TEL. TG. B.T.
17	94°20'I	4+642.22		2236.70		53 T 60	TN		CRUCETAS 230 KV 90° 4 CIRC.
			423.13		+3.29	MODIF			L. 23 KV TG. TL VIA FFCC ESPUELA
18	16°41'I	5+065.35		2241.99		37 T 20	TN		
			337.56		-1.47				
19	81°21'D	5+402.91		2240.52		42 T 90	TN		
			203.16		+0.15				
19A	9°33'I	5+606.07		2240.67		37 T 10	TN		SOBRE ELEV. DE LA CIM 1m.
			250.11		+2.78	MODIF			BT, TL, L-23 KV CARRETERA
20	19°03'D	5+856.18		2243.45		53 T 30	TN		CRUCETAS 230 KV 2 CIRCUITOS DE UN SOLO LADO
			249.98		+1.07	MODIF			

\* LA CIMENTACION PARA LAS TORRES Nos. 3 A 17 Y 20 TENDRAN UNA SOBRE ELEVACION DE 1.00 m SOBRE EL NIVEL DEL TERRENO NATURAL

3	MAY-90	SE MODIFICO LOCALIZACION DE TORRE No. 20	FLM	CIA DE LUZ Y FZA. DEL CENTRO, S. A. <b>LINEA DE 230 KV AURORA - AYOTLA</b> REGISTRO DE ESTRUCTURAS LEV. JRA/ALH Z-0508-31188
2	ABR-90	SE MODIFICARON T-33 Y T-34	FLM	
1	DIC-89	SE MODIFICO LOCALIZACION DE TORRE No. 12	FLM	

# REGISTRO DE ESTRUCTURAS

IE-90-06-14

TORRE No.	DEFLEX	KILOMETRAJE	CLARO	COTA DE NIVEL	DESNIVEL	TIPO DE ESTRUCC.	AISSA-DORES	CIMEN-TACION	OBSERVACIONES
20A	10°12' I	6+106.16		2244.52		37 T 10			SOBRE ELEV. DE LA CIM. 1.00m
			295.40		-0.70				
21	30°53' I	6+401.06		2243.82		53 T 30	TN		REMATE, CRUCETAS 230KV 2CIRC
			212.65		-0.13	MODIF			SOBRE ELEV. DE LA CIM. 2.00m
22	16°19' D	6+614.21		2243.69		E. R.	TN		MARCO PARA 2 CTOS.
			145.83		+2.33				L. 400KV TEXCOCO-STA. CRUZ
23	4°32' I	6+760.04		2246.02		42 R	TN		
			440.00		+1.61				
24		7+200.04		2247.63		42 S	SN		
			440.00		-0.64				
25		7+640.04		2246.99		42 T 90D	TN		DERIVACION A S.E. CHALCO
			427.18		+0.77				( FUTURA )
26	4°36' I	8+067.22		2247.76		42 T 10	TN		
			330.24		+1.98				TEL. L 23KV AVE. ARIES
27	58°36' D	8+397.46		2245.78		32 T 60	TN		
			225.00		-1.36				L 23KV CAMINO CANAL CIA.
28	8°31' I	8+622.46		2244.42		42 T 10	TN		CARR. L 23KV TEL
			390.90		-5.01				TEL CANAL CIA L 23KV
29	13°57' I	9+013.36		2239.41		42 T 20	TN		COMIENZA CANAL GENERAL
			400.00		-0.01				
30		9+413.36		2239.40		42 S	SN		
			410.00		-0.87				L S 23KV
31	0°14' I	9+823.36		2238.53		42 S	SN		
			393.19		+0.75				AUTOPISTA CAMINO 2L 23KV
32	0°07' I	10+216.55		2239.28		42 S	SN		
			420.53		+1.12				
33	0°27' D	10+637.08		2238.16		42 S	SN		CAMINO, CALLE L 85KV LOS REYES-CHALCO
			419.74		-1.31				CANAL GENERAL
34	4°12' D	11+056.82		2236.85		42 T 10	TN		SOBRE ELEV. DE CIM 2.00 m
			441.20		+0.14				
35	58°42' I	11+408.02		2236.99		42 T 60	TN		SOBRE ELEV. DE CIM 2.00m
			350.07		-0.33				CANAL CH. CAMINO L. 23KV
36		11+848.09		2236.66		37 S	SN		
			287.56		-0.32				
37	83°59' I	12+135.65		2236.34		32 T 90	TN		
			46.00		+0.18				
E. R.		12+181.65		2236.22		REMATE	TN		S.E. AYOTLA

\* SE SOBRE ELEVA LA CIMENTACION 1.00m 15-MARZO-1990

	<p>CIA. DE LUZ Y FZA DEL CENTRO, S. A</p> <h2>LINEA DE 230 KV</h2> <h3>AURORA - AYOTLA</h3> <p>REGISTRO DE ESTRUCTURAS ( )</p> <p>LEV. JRA/ALH PROY. ELM</p> <p>Z-0508-31188</p>
--	--



No.	CANTIDAD	DESCRIPCION	FABRICANTE	CATALOGO O TIPO	FECHA Y No. MEMO A COMPRAS	MUM. DEL PEDIDO ORETRIRADAS DE	FECHA DEL PEDIDO	FECHA PROBABL DE ENTREGA
1	28PZAS	TORRES DE SUSPENSION TIPO 535I MODIF.-4C			C O N S	T R U C C I O N		
2	3PZAS	TORRES DE TENSION TIPO 53T30-4C-MODIF.						
3	2PZAS	TORRES DE TENSION TIPO 53T60-4C-MODIF. 90°						
4	2PZAS	TORRES DE TENSION DE 230 KV TIPO 32T90						
5	1PZA	TORRE DE TENSION DE 230 KV TIPO 32T90D						
6	126Km	CONDUCTOR ACSR III3 KCM "BLUEJAY"	NACEL	74 Km.		91-1-0278		OCTUBRE-91
7	21Km.	CABLE DE ACERO GALVANIZADO A.R. 9.53 mm. Ø	C. MONTERREY CAMESA	52 Km.		91-1-0277 91-1-0340-1		OCTUBRE-91 RECIBIDO
8	9000PZAS	AISLADORES DE SUSPENSION CLASE 52-5 IUSA N-12				91-1-215-1		RECIBIDO
9	360PZAS	GANCHO CON BOLA SIM. OB-78420	IND. ANVARS	GBC 51		91-1-0652-1		DICIEMBRE-91
10	360PZAS	CALAVERA CON OJO SIM. OB-82896	IND. ANVARS	30L		PED 91-1-0652-2		DICIEMBRE-91
11	360PZAS	GRAPA DE SUSPENSION SIM. OB-87204	IND. ANVARS	GSL 52		91-1-0652-9		DICIEMBRE-91
12	179PZAS	GRAPA DE TENSION SIM. OB-86562				REQ 91-8-105		
13	179PZAS	BOLA CON OJO SIM OB-70776	IND ANVARS	OBL2551		91-1-0652-5		DICIEMBRE-91
14	179PZAS	CALAVERA CON OJO SIM. OB-93607				REQ 91-8-105		
15	179PZAS	GRILLETE SIM. OB-70709	IND. ANVARS	G2289-2		PED91-1-0652-16		DICIEMBRE-91
16	38PZAS	HORQUILLA RECTA SIM. OB-79608	IND. ANVARS	GA1		91-1-0652-14		DICIEMBRE-91
17	38PZAS	GRAPA DE TENSION SIM. OB-83834				REQ.91-8-105		
18	60PZAS	HORQUILLA TORCIDA SIM. OB-97280				REQ.91-8-105		LOTE 27
19	60PZAS	ESLABON SIM. OB-79271	IND. ANVARIS	ER132557		91-1-0652-17		DICIEMBRE-91
20	60PZAS	GRAPA DE SUSPENSION SIM. OB-83044	IND. ANVARIS	F-3		91-1-0652-10		DICIEMBRE-91
21	152PZAS	EMPALME DE COMPRESION SIM. ALCAN TJA-651				REQ 91-8-033-1		
22	13PZAS	EMPALME PARA ACERO GALV. 3/8" SIM. PLP-GLS-2107	PREF DE MEXICO	GLS-2107		90-1-0330-4 ATTA.NOTA 2-JUN-89 063001-43-89		RECIBIDO
23	8PZAS	EMPALME DE ONDA DE COMPRESION SIM. BURNDY YCS-49R						
24	3PZAS	EMPALME DE ONDA DE COMPRESION SIM BURNDY YDS-375H	FONKEL MEXICANA	YDS 375H		90-2-0344-7		IBIDO
25	389PZAS	JGOS DE VARILLAS PROTECTORAS SIM PLP-AR-0144				REQ 91-8-033		
26	24PZAS	JGOS DE VARILLAS DE REPARACION SIM. PLP-MG-0158	VERSANEX			PED 56755-2		RECIBIDO
27	3000m.	CABLE DE CUD 4/0 AWG.	NAL.COND.ELEC.			PED 90-1-0033-1		RECIBIDO
28	168PZAS	CONECTOR PARA SISTEMA DE TIERRA SIM. BURNDY GBM-29 CON TORNILLO.		MHOTWK25		88-1-633-4		RECIBIDO
		NOTA: SE CONSIDERA UNA RESERVA DE 5% CABLES 10% AISLADORES Y HERRAJES 20% EMPALMES, PREFORMADOS Y MATERIAL DE TIERRAS						

REVISIONES							

ANEXO AL MEMORANDUM

No. \_\_\_\_\_

DE FECHA \_\_\_\_\_

CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENT A.

LISTA DE MATERIAL ELECTRICO

LINEA DE 230 KV.

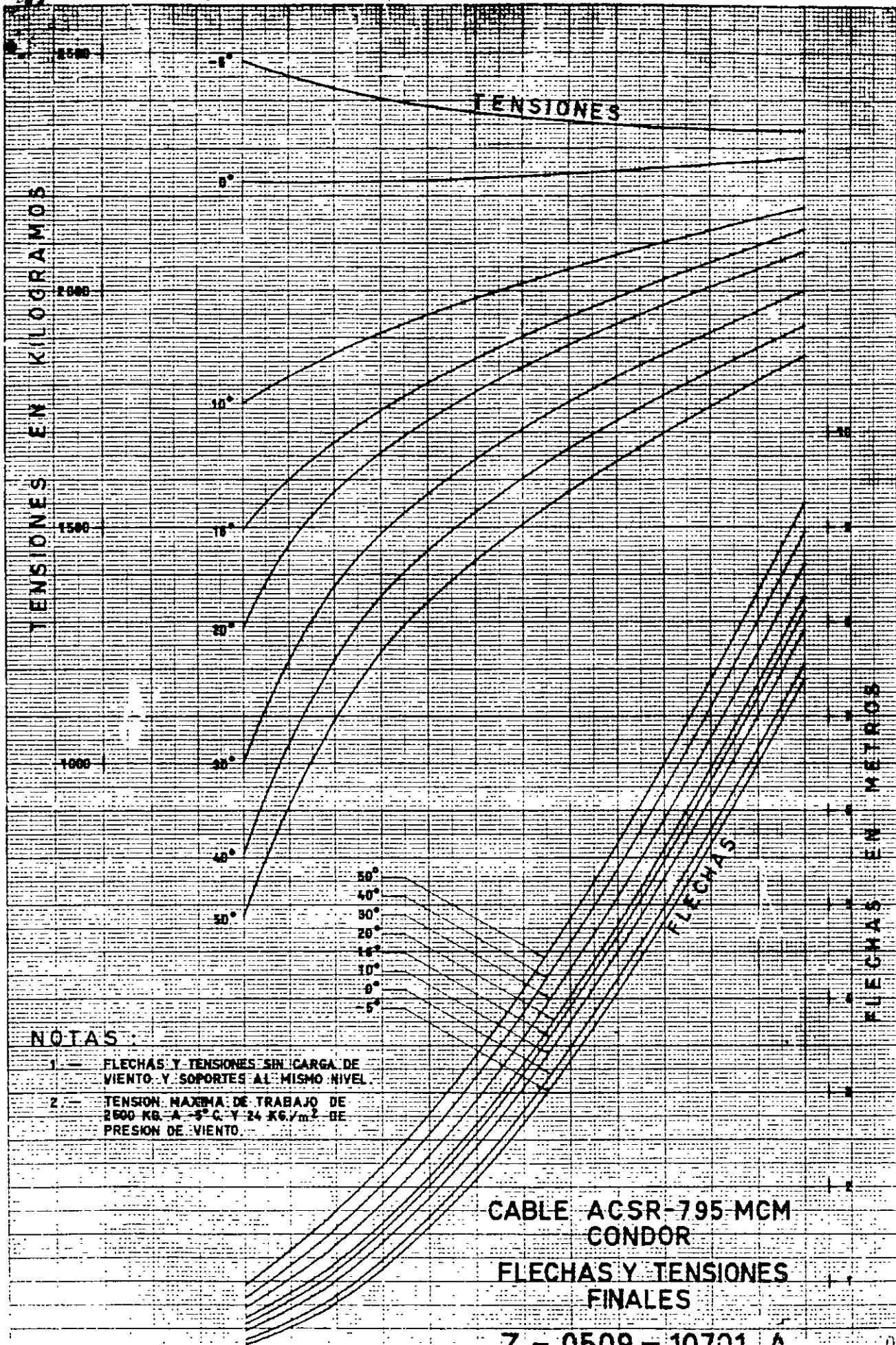
DERIVACION CHALCO

FECHA JULIO-91

MOJA DE 1

PROY. FLM

0508-32826



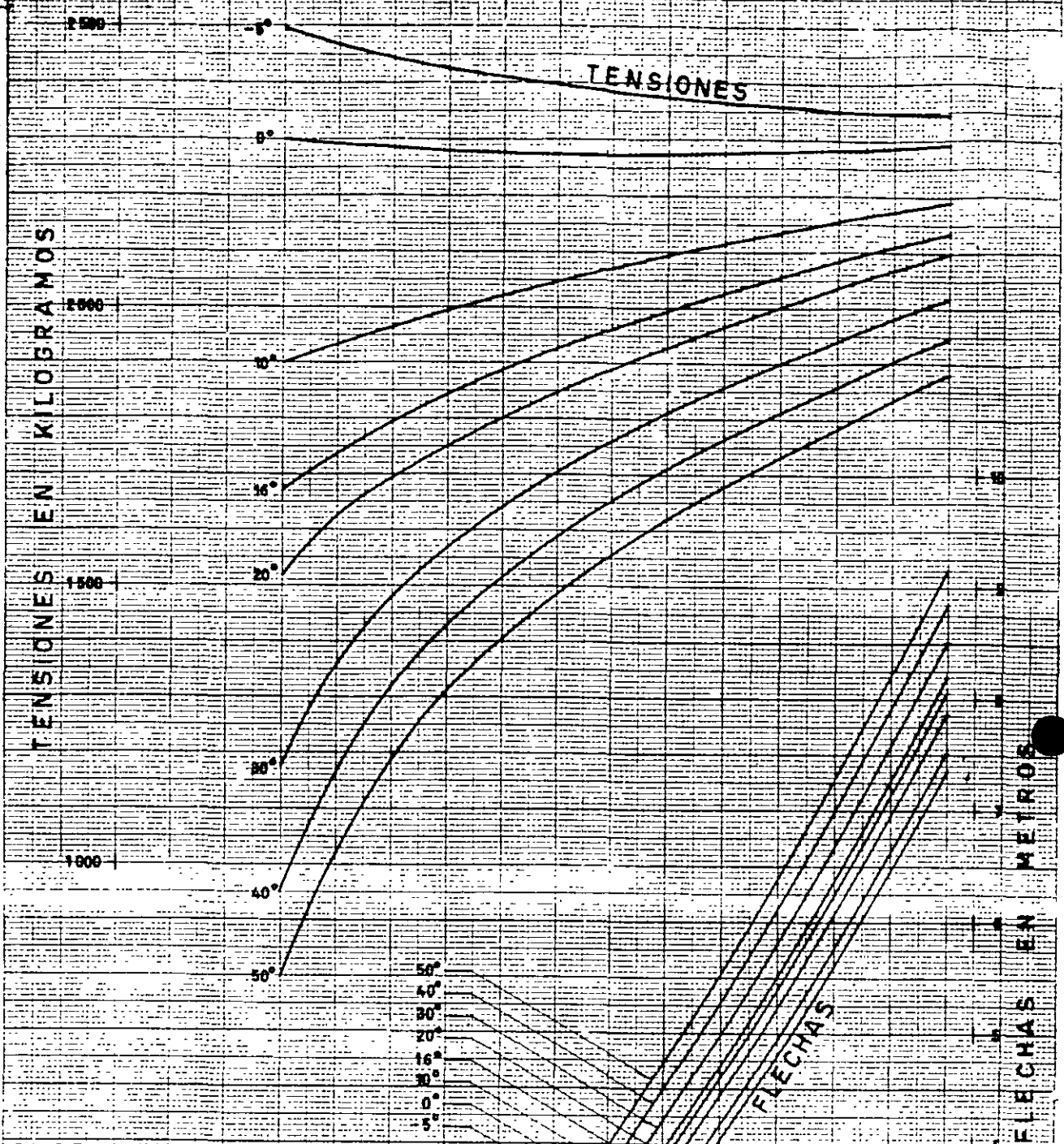
**NOTAS:**

- 1. — FLECHAS Y TENSIONES SIN CARGA DE VIENTO Y SOPORTES AL MISMO NIVEL.
- 2. — TENSION MAXIMA DE TRABAJO DE 2600 KG. A -5° C. Y 24 KG./m<sup>2</sup> DE PRESION DE VIENTO

**CABLE ACSR-795 MCM  
CONDOR**

**FLECHAS Y TENSIONES  
FINALES**

**Z - 0509 - 10701 A**



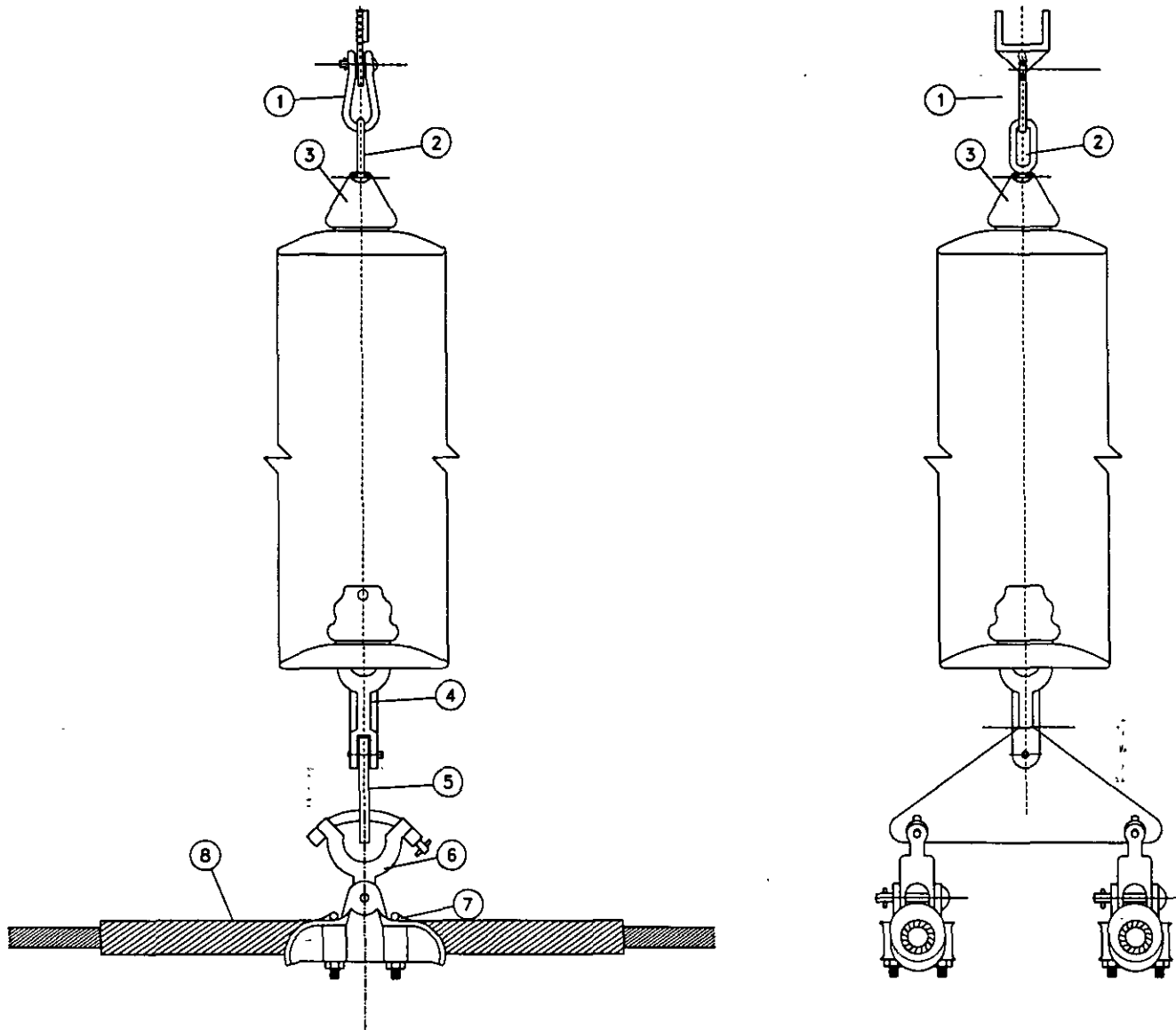
**NOTAS:**

- 1. — FLECHAS Y TENSIONES SIN CARGA DE VIENTO Y SOPORTES AL MISMO NIVEL.
- 2. — TENSION MAXIMA DE TRABAJO DE 2500 KG. A 5° C. Y 24 KG./m<sup>2</sup> DE PRESION DE VIENTO.

**CABLE ACSR-795-MCM  
CONDOR**

**FLECHAS Y TENSIONES  
INICIALES**

**Z-0509 - 10700 A**



L I S T A D E M A T E R I A L

No. DE IDENTIFICACION	CANTIDAD	DESCRIPCION	ESPECIFICACION	REFERENCIA
1	1	HORQUILLA RECTA	LFC-ING-024	Fig.3, R-2
2	1	BOLA CON OJO	LFC-ING-026	Fig.1, OB-1
* 3	16	AISLADOR DE SUSPENSION	LFC-ING-057	Clase 52-5, Fig. 2 y 4
4	1	HORQUILLA CON CALAVERA	LFC-ING-021	Fig.2, CH-1
5	1	YUGO DE ACERO	LFC-ING-023	Fig.2, YT-2A
6	2	HORQUILLA "Y" CON OJO	LFC-ING-024	Fig.2b, 0-3
7	2	GRAPA DE SUSPENSION	LFC-ING-020	Fig.2, S-4A
* 8	2	VARILLAS PROTECTORAS	PLP-AR-0144	6.13

NOTA :  
EL FABRICANTE DE HERRAJES NO DEBERA INCLUIR EN SU COTIZACION LAS PARTIDAS 3 Y 8.

LUZ Y FUERZA DEL CENTRO

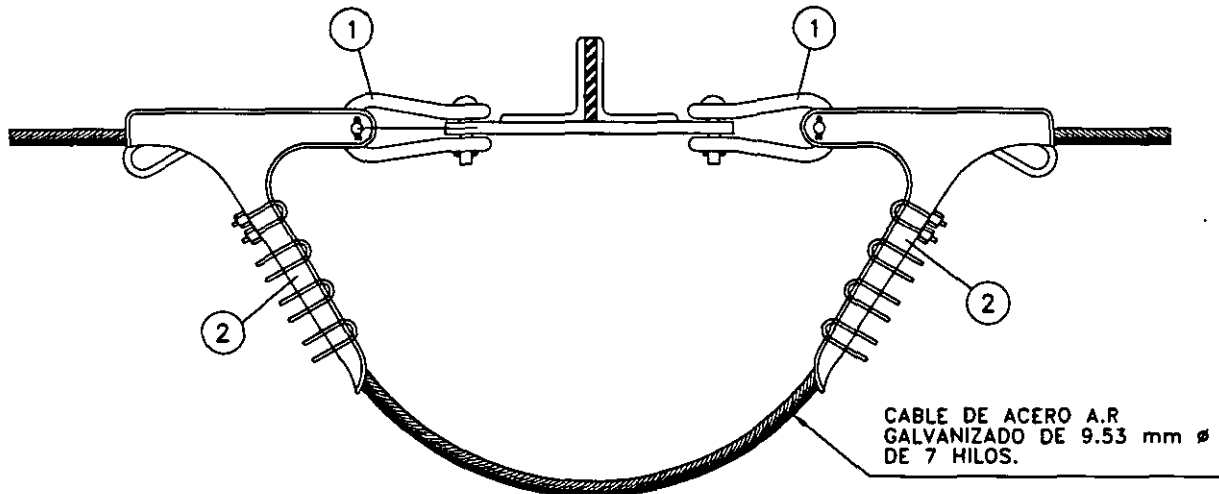
LINEAS DE 230 KV  
CADENA EN SUSPENSION  
DOS CONDUCTORES POR FASE  
ACSR 1113 KCM BLUEJAY

PROY. HGAM/FJST

DIBUJO: CGSP

HERRAJES 5

No.	FECHA	DESCRIPCION	FIRMA
2	06/10/97	REVISION GENERAL	HGAM/FJST
1	02/05/97	REVISION GENERAL	HGAM/RRB
REVISIONES			



LISTA DE MATERIAL

No. DE IDENTIFICACION	CANTIDAD	DESCRIPCION	ESPECIFICACION	REFERENCIA
1	1	HORQUILLA RECTA	LFC-ING-024	FIG.3, R-1
2	1	CLEMA DE TENSION	LFC-ING-022	FIG.1, P-H

No.	FECHA	DESCRIPCION	FIRMA
2	6/10/97	REVISION GENERAL	HGAM/FJST
1	2/5/97	REVISION GENERAL	HGAM/RRB
REVISIONES			

LUZ Y FUERZA DEL CENTRO

LINEAS DE 85 Y 230 KV  
SUJECION DEL CABLE DE GUARDA  
A LAS TORRES DE TENSION

PROY. HGAM/FJST

DIB. CGSP      HERRAJES 11



ECTRICA

GERENCIA

SUBDIRECCION TECNICA  
INGENIERIA ELECTRICA

HOJA

TITULO

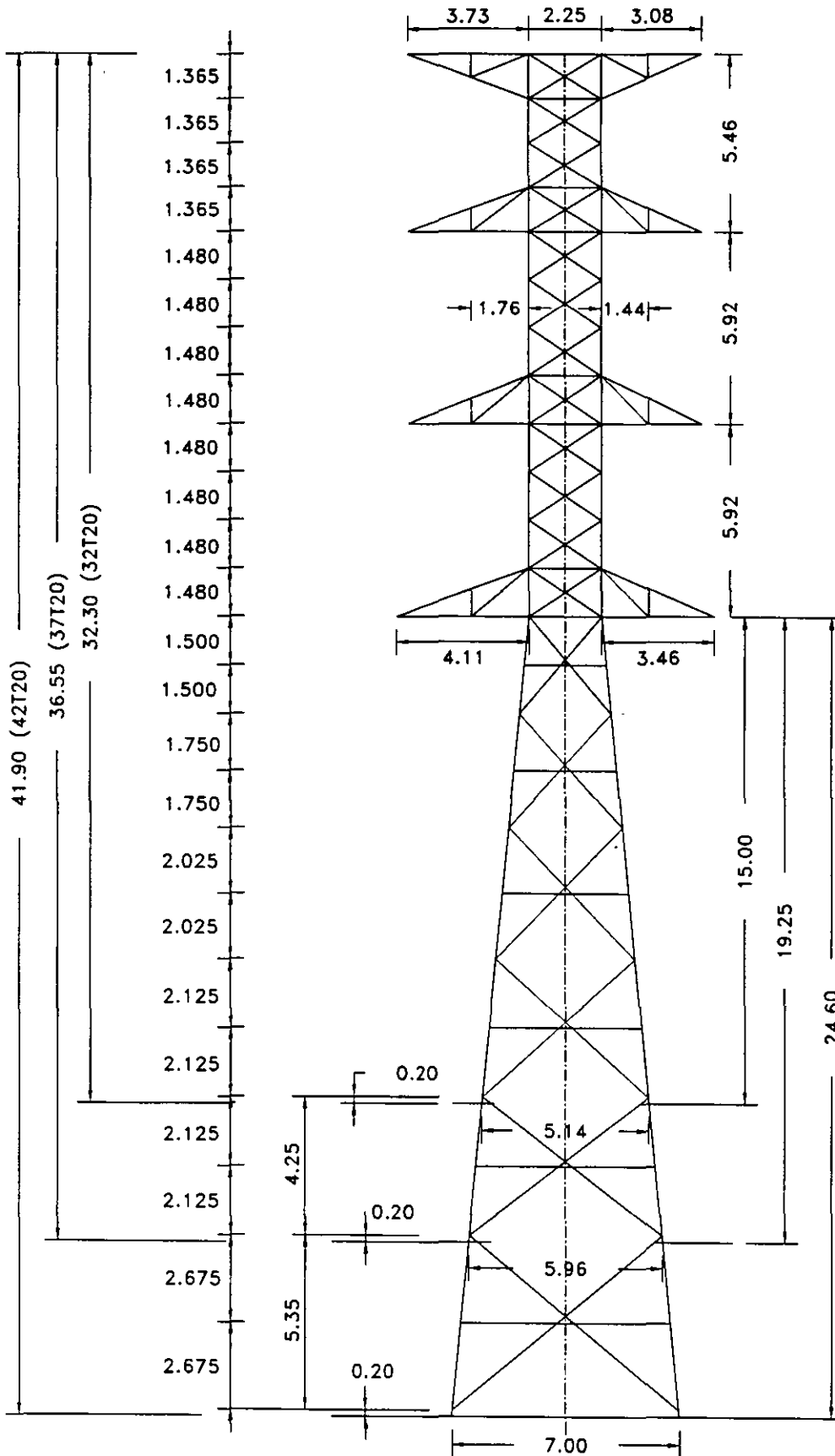
LINEAS DE 230 KV

SUBTITULO

TORRES 32T20, 37T20 y 42T20

PROY: ETC/MAL

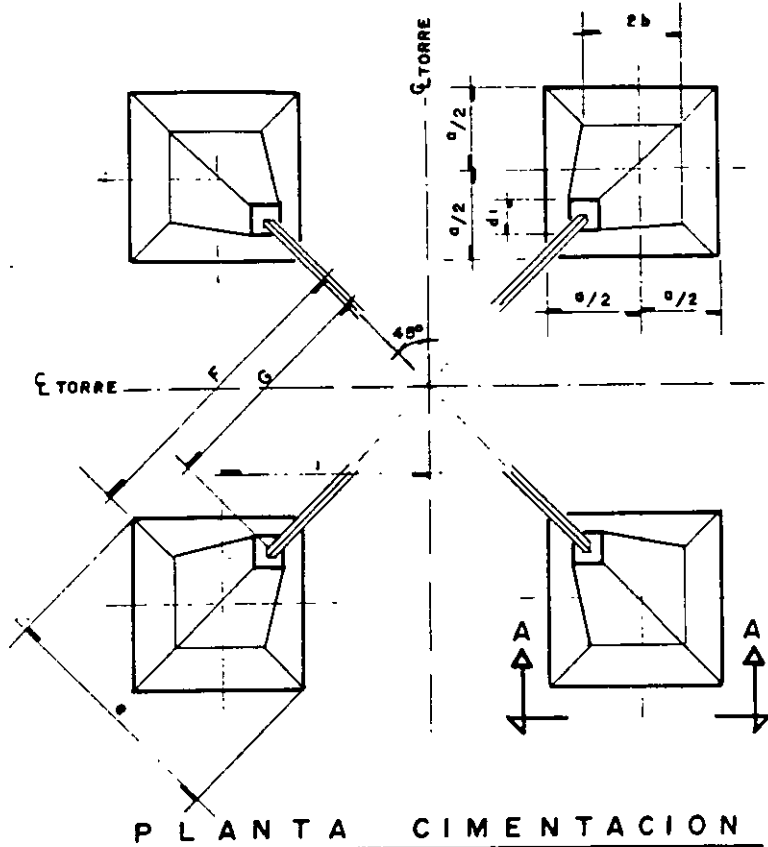
FECHA FEB/96



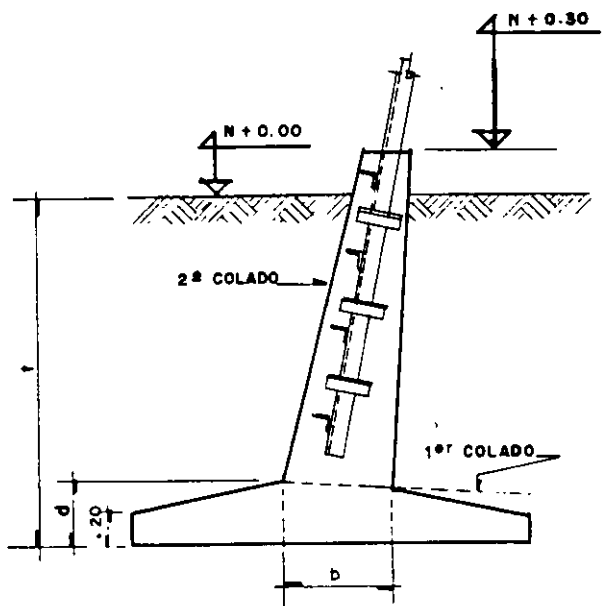
ESC: 1=200  
ACOT. MTS

DIB. CARI

# INGENIERIA CIVIL



**PLANTA CIMENTACION**



**CORTE A-A  
ELEVACION**

D A T O S			
TORRE	PLANO N°	TIPO SUELO	CARACTERISTICAS
A	0508-9163-C	AR-17	RIGIDO
A	" "	AS-5	SUAVE
C, A= 20°	" "	R-17	RIGIDO
C, A= 20°	" "	S-5	SUAVE
C, A= 45°	" "	R-17	RIGIDO
C, A= 45°	" "	S-5	SUAVE
A	" "	R-10	RIGIDO
A	" "	S-3	SUAVE
C, A= 20°	" "	R-10	RIGIDO
C, A= 20°	" "	S-3	SUAVE
C, A= 45°	" "	R-10	RIGIDO
CT =ALTA	" "	R-17	RIGIDO
C, A= 60°	" "	R-17	RIGIDO
CG	" "	R-17	RIGIDO
GATO	" "	R-17	RIGIDO
C, A= 90°	" "	R-10	RIGIDO

ACOTACIONES EN m

*Andrés*

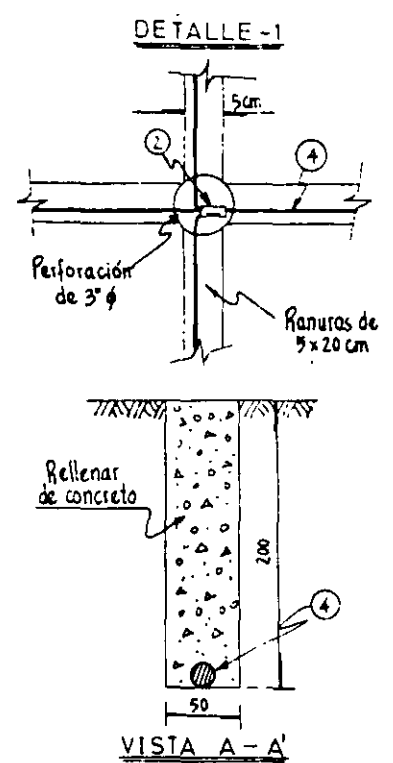
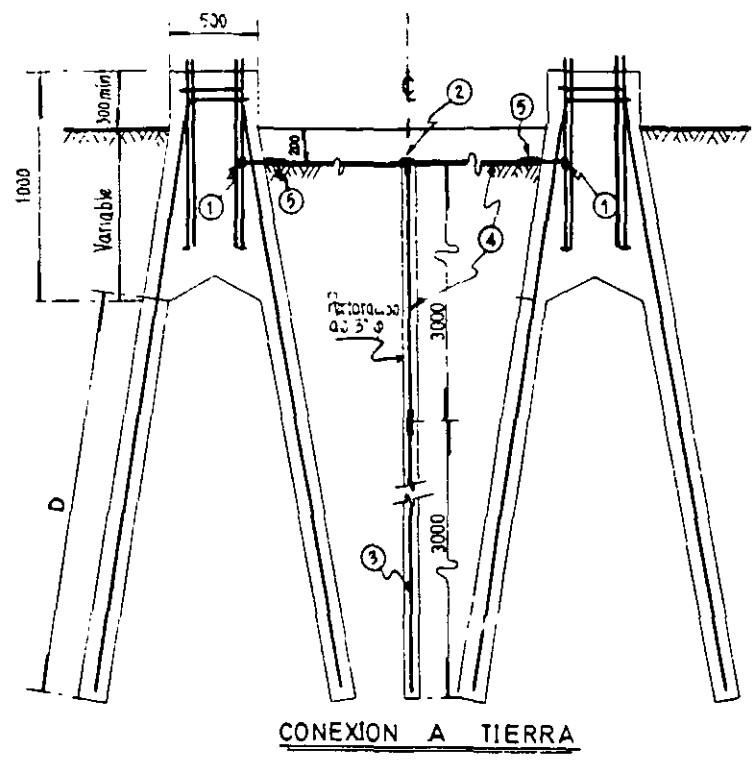
COMPANIA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO S A

LINEA 230 KV

CIMENTACIONES PARA TORRES DE LINEAS DE 230 KV 2 CIRCUITOS

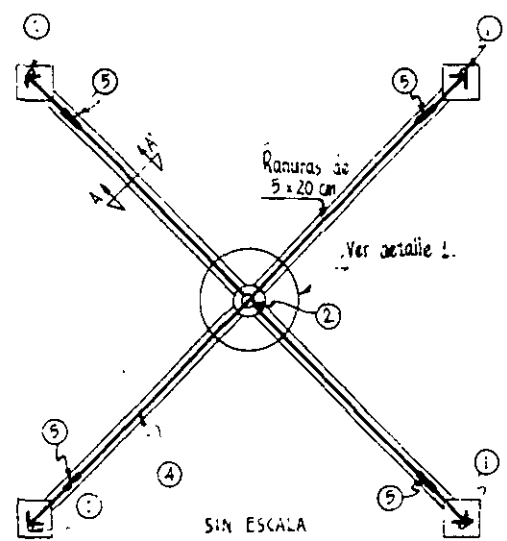
Ing Civil

ESC SIN	LEV DIB. R.D.S.	PROY ING. A.N.R.	20
FECHA	REV	APROBO	
DICIEMB. 79	ING. J.T.B.	ING. A.L.R.	



**CONEXION A TIERRA**

**VISTA A-A'**



TIPO DE TORRE	PROFUNDIDAD D	
	EN ROCA FIJA	EN TEPETATE
T-10	2750	3850
T-20	2750	3850
T-45	2800	3900
T-60	2800	3900
R	3000	4200
T-90	3200	4500

PARTIDA	CANTIDAD	DESCRIPCION	CATALOGO
1	4 Pzas.	Grapa de sujeción a varilla de fierro galv. de 1 1/4" φ (Para T90) de 1 1/2" φ	BURNDY GAR No 1629 No.1729
2	1 Pza.	Conector "T" para cable de cobre.	BURNDY YYT-3428
3	1 Pza.	Electrodo de varilla copper-weld 5/8" φ x 3.00m. long.	
4	25 m.	Cable de Cu. desnudo No 3/0	
5	4 Pzas.	Conector para cable de Cu.	BURNDY YS28

0508-16045	L 230 KV. Cimientos para torres en terreno muy resistente.		
NUMERO	TITULO		
	DIBUJOS RELACIONADOS		
No.	FECHA	DESCRIPCION	FIRMAS
REVISIONES			

CIA. DE LUZ Y FZA. DEL CENTRO, S.A.  
 LINEAS DE 230 KV  
 CONEXION A TIERRA PARA TORRES DE TENSION EN TERRENO MUY RESISTENTE  
 Septiembre 1971.  
**Z-0508-16148**  
 PROY. M.M.V  
 DIB. E.M.B.  
 REV. J.G.Z





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

**TEMA**

**MATERIALES: CONDUCTORES - AISLADORES - HERRAJES**

**ING. ARTURO TRUJILLO AYALA  
PALACIO DE MINERÍA  
JUNIO 1998**

# **INDICE**

## **CONDUCTORES**

- 1        OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN**
- 2        NORMAS QUE SE APLICAN**
- 3        DEFINICION**
- 4        ESPECIFICACIONES**
- 5        MUESTREO**
- 6        METODOS DE PRUEBA**
- 7        EMPAQUE**
- 8        MARCADO**

## 1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

La presente especificación establece las características que deben cumplir los cables ACSR/AS, que utiliza la Comisión en los sistemas eléctricos ubicados en zonas con problemas de corrosión.

## 2 NORMAS QUE SE APLICAN

NOM-EE-161-1983	Carretes de Madera para Conductores Eléctricos y Telefónicos.
CFE E0000-13-1979	Procedimientos de Muestreo Estadístico para Conductores Eléctricos.
ANSI/ASTM B 549-71	Concentric - Lay - Stranded Aluminum Conductors, Aluminum - Clad. Steel Reinforced (ACSR/AW). (Conductores de Aluminio con cableado concéntrico, reforzados con acero recubierto de aluminio soldado)
ANSI/ASTM B 502-70	Aluminum-Clad Steel Core Wire For Aluminum Conductors. Aluminum-Clad Steel Reinforced. (Alambres de Acero con recubrimiento de aluminio soldado, para conductores de aluminio reforzados con acero recubierto de aluminio soldado)

## 3 DEFINICION

### 3.1 Cable ACSR/AS

Es el cable constituido por un núcleo central de alambre(s) de acero recubierto(s) de aluminio soldado, rodeado(s) por una (o más) capa(s) de alambre de aluminio dispuesto helicoidalmente.

## 4 ESPECIFICACIONES.

Todos los cables ACSR/AS que utiliza la Comisión deben cumplir con lo indicado en las normas ANSI/ASTM B 549 y ANSI/ASTM B 502 última revisión. Sus características principales se indican en la tabla 1.

La unión aluminio-acero en los alambres del núcleo, se debe efectuar por el proceso controlado de soldadura a nivel molecular.

### 4.1 Tensiones Nominales

Las tensiones nominales de operación en las que se utilizan normalmente los cables ACSR/AS, se indican en la tabla 2.

**TABLA 1- Características generales de los cables ACSR/AS**

Descripción corta	Area Total de AL mm <sup>2</sup> (kCM)	Area de los alambres de AL mm <sup>2</sup>	No. de alambres		Diámetros mm		
			AL	AS	Alambres		Total cable (D)
					AL (d1)	AS (d2)	
Cable ACSR/AS 2	39.25 ( 69.14)	33.64	6	1	2.67	2.67	8.01
Cable ACSR/AS 1/0	62.46 ( 109.9)	53.52	6	1	3.37	3.37	10.11
Cable ACSR/AS 3/0	99.16 ( 174.8)	84.95	6	1	4.25	4.25	12.75
Cable ACSR/AS 4/0	125.10 ( 220.4)	107.20	6	1	4.77	4.77	14.31
Cable ACSR/AS 266	157.23 ( 277.7)	135.13	26	7	2.57	2.00	16.28
Cable ACSR/AS 336	198.39 ( 350.1)	170.60	26	7	2.89	2.25	18.31
Cable ACSR/AS 477	281.29 ( 496.4)	241.81	26	7	3.44	2.68	21.80
Cable ACSR/AS 795	468.58 ( 827.4)	402.93	26	7	4.44	3.45	28.14
Cable ACSR/AS 900	515.16 ( 929.2)	455.95	54	7	3.28	3.28	29.51
Cable ACSR/AS 1113	103.22 ( 1132 )	564.05	45	7	3.99	2.66	31.98

Descripción corta	Resistencia mínima a la ruptura kN (kgf)	Resistencia C.D. a 20°C Ω/km	Masa aproximada kg/km	Clave
Cable ACSR/AS 2	12 (1252)	0.820	129	EV0EA00261
Cable ACSR/AS 1/0	19 (1928)	0.515	206	EV0EA00D61
Cable ACSR/AS 3/0	28 (2858)	0.324	326	EV0EA09861
Cable ACSR/AS 4/0	34 (3488)	0.257	412	EV0EA00A61
Cable ACSR/AS 266	48 (4899)	0.206	520	EV0EA099G7
Cable ACSR/AS 336	60 (6124)	0.163	657	EV0EA0ATG7
Cable ACSR/AS 477	84 (8573)	0.115	931	EV0EA0CRG7
Cable ACSR/AS 795	136 (13835)	0.069	1 551	EV0EA0CNG7
Cable ACSR/AS 900	138 (14062)	0.062	1 654	EV0EA0BKL7
Cable ACSR/AS 1113	130 (13290)	0.050	1 822	EV0EA0BUK7

Abreviaturas:

AL - ALUMINIO

AS - ACERO CON RECUBRIMIENTO DE ALUMINIO SOLDADO.

## 5 MUESTREO

Debe seguirse el procedimiento de muestreo indicado en las especificaciones CFE E0000-13-1979

6/1 HILOS      26/7 HILOS      54/7 HILOS      45/7 HILOS

### FIGURA 1-Cables ACSR/AS

**TABLA 2-Tensiones nominales de operación, en las que se usan normalmente los cables ACSR/AS**

Descripción corta	Baja tensión 240 V	Mediana tensión kV			Alta tensión kV			
		13.8	24	34.5	6.9	115	230	400
Cable ACSR/AS 2	X	X	X	X				
Cable ACSR/AS 1/0	X	X	X	X				
Cable ACSR /AS 3/0		X	X	X	X			
Cable ACSR/AS 4/0		X	X	X	X			
Cable ACSR/AS 266			X	X	X	X		
Cable ACSR/AS 336				X	X	X		
Cable ACSR/AS 477					X	X		
Cable ACSR/AS 795						X	X	
Cable ACSR/AS 900							X	
Cable ACSR/AS 1113							X	X

## 6 METODOS DE PRUEBA

Deben realizarse las pruebas indicadas en la norma ANSI/ASTM-8 549, ANSI/ASTM B 502, última revisión.

## 7 EMPAQUE

### 7.1 Carretes

Deben utilizarse carretes como los indicados en la norma NOM-EE-161

### 7.2 Tramos de embarque y sus penalizaciones

La longitud nominal del tramo de embarque debe ser como se indica en la tabla 3. Se acepta la entrega de tramos con longitud diferente aplicando las penalizaciones mostradas en la tabla 4.

El tramo de embarque que contenga cada carrete, debe ser continuo en su longitud completa.

**TABLA 3-Tramos de embarque de los cables ACSR/AS**

Descripción corta	Masa kg	Longitud Nominal m
Cable ACSR/AS 2	537	4 160
Cable ACSR/AS 1/0	538	2 610
Cable ACSR/AS 3/0	535	1 640
Cable ACSR/AS 4/0	536	1 300
Cable ACSRtAS 266	1 903	3 660
Cable ACSR/AS 336	1 912	2 910
Cable ACSR/AS 477	1 909	2 050
Cable ACSR/AS 795	1 908	1 230
Cable ACSR/AS 900	2 266	1 370
Cable ACSR/AS 1113	1 822	1 000

**TABLA 4- Penalizaciones de tramos con longitud diferente a la nominal**

Para todos los cables excepto el 1113 kCM		Para el cable 1113 kCM	
Longitud en % de lo especificado	Descuento al precio en %	Longitud en % de lo especificado	Descuento al precio en %
Mayor de 105	30*	Mayor de 102.5	30*
105 - 95	0	102.5 - 97.5	0
94.9 - 85	10	97.4 - 85	10
84.9 - 75	15	84.9 - 75	15
74.9 - 65	20	74.9 - 65	20
64.9 - 55	25	64.9 - 55	25
54.9 - 50	30	54.9 - 50	30

Nota:

\* al tramo excedente.

## 8 MARCADO

Cada carrete debe tener una placa metálica con los siguientes datos marcados en relieve.

- Número progresivo del carrete,
- Nombre o símbolo del fabricante del cable,
- Clave y descripción corta,
- Longitud en m y masa en kg, del tramo de embarque,
- Número de pedido,
- Año de fabricación.

**Table 3.3.3**  
**CHARACTERISTICS OF MULTILAYER ALUMINUM-CONDUCTOR-STEEL-REINFORCED (ACSR)**

Code	Cross Section			Stranding		Diameter		L a y e r s	wt (lbs per 1000 ft)	STRG (Kips)	DC 25 C	Resistance (Ohms/Mile) AC at 60 HZ					Reactance 1 ft Rad. 60 HZ	
	(kcmil)	(sq mm) Al	(sq mm) Tot	Aluminum	Steel	Cond (in.)	Core (in.)					25 C	50 C	75 C	100 C	GMR (ft)	X <sub>s</sub> (Ohm/ Mile)	X <sub>s</sub> (Megohm -Mile)
	Al	Al	Tot	Aluminum	Steel	(in.)	(in.)											
Joree	2776.	1407.	1521.	84x.1818	19x.1091	2.000	.546	4	3219	81.6	.0338	.0395	.0421	.0452	.0482	.0667	.329	.0736
Thrasher	2312.	1171.	1235.	76x.1744	19x.0814	1.802	.407	4	2526	57.3	.0397	.0446	.0482	.0518	.0554	.0595	.342	.0767
Kiwi	2167.	1098.	1146.	72x.1735	7x.1157	1.735	.347	4	2303	49.8	.0424	.0473	.0511	.0550	.0589	.0570	.348	.0778
Bluebird	2156.	1092.	1181.	84x.1602	19x.0961	1.762	.480	4	2511	60.3	.0426	.0466	.0505	.0544	.0584	.0588	.344	.0774
Chukar	1781.	902.	976.	84x.1456	19x.0874	1.602	.437	4	2074	51.0	.0516	.0549	.0598	.0646	.0695	.0534	.355	.0802
Falcon	1590.	806.	908.	54x.1716	19x.1030	1.545	.515	3	2044	54.5	.0578	.0602	.0657	.0712	.0767	.0521	.358	.0813
Lapwing	1590.	806.	862.	45x.1880	7x.1253	1.504	.376	3	1792	42.2	.0590	.0622	.0678	.0734	.0790	.0497	.364	.0821
Parrot	1510.	765.	862.	54x.1672	19x.1003	1.505	.502	3	1942	51.7	.0608	.0631	.0689	.0748	.0806	.0508	.362	.0821
Nuthatch	1510.	765.	818.	45x.1832	7x.1221	1.465	.366	3	1702	40.1	.0622	.0652	.0711	.0770	.0830	.0485	.367	.0828
Plover	1431.	725.	817.	54x.1628	19x.0977	1.465	.489	3	1840	49.1	.0642	.0663	.0725	.0787	.0849	.0494	.365	.0828
Bobolink	1431.	725.	775.	45x.1783	7x.1189	1.427	.357	3	1613	38.3	.0656	.0685	.0747	.0810	.0873	.0472	.371	.0836
Martin	1351.	685.	772.	54x.1582	19x.0949	1.424	.475	3	1737	46.3	.0680	.0700	.0765	.0831	.0897	.0480	.368	.0837
Dipper	1351.	685.	732.	45x.1733	7x.1155	1.386	.347	3	1522	36.2	.0695	.0722	.0788	.0855	.0922	.0459	.374	.0845
Pheasant	1272.	645.	726.	54x.1535	19x.0921	1.382	.461	3	1635	43.6	.0722	.0741	.0811	.0881	.0951	.0466	.372	.0846
Bittern	1272.	644.	689.	45x.1681	7x.1121	1.345	.336	3	1434	34.1	.0738	.0764	.0835	.0906	.0977	.0445	.378	.0854
Grackle	1192.	604.	681.	54x.1486	19x.0892	1.338	.446	3	1533	41.9	.0770	.0788	.0863	.0938	.1013	.0451	.376	.0855
Bunting	1193.	604.	646.	45x.1628	7x.1085	1.302	.326	3	1344	32.0	.0787	.0811	.0887	.0963	.1039	.0431	.382	.0863
Finch	1114.	564.	636.	54x.1436	19x.0862	1.293	.431	3	1431	39.1	.0825	.0842	.0922	.1002	.1082	.0436	.380	.0866
Bluejay	1113.	564.	603.	45x.1573	7x.1049	1.258	.315	3	1255	29.8	.0843	.0866	.0947	.1029	.1111	.0416	.386	.0873
Curlew	1033.	523.	591.	54x.1383	7x.1383	1.245	.415	3	1331	36.6	.0909	.0924	.1013	.1101	.1190	.0420	.385	.087
Otloian	1033.	523.	560.	45x.1515	7x.1010	1.212	.303	3	1165	27.7	.0909	.0930	.1018	.1106	.1195	.0401	.390	.086
Merganser	954.	483.	596.	30x.1785	7x.1783	1.248	.535	2	1493	46.0	.0987	.0995	.1092	.1189	.1286	.0430	.382	.0876
Cardinal	954.	483.	546.	54x.1329	7x.1329	1.196	.399	3	1229	33.8	.0984	.0998	.1094	.1191	.1287	.0404	.389	.0889
Rail	954.	483.	517.	45x.1456	7x.0971	1.165	.291	3	1075	25.9	.0984	.1004	.1099	.1195	.1291	.0385	.395	.0896
Baldpate	900.	456.	562.	30x.1732	7x.1732	1.212	.520	2	1410	43.3	.1046	.1054	.1156	.1259	.1362	.0417	.385	.0885
Canary	900.	456.	515.	54x.1291	7x.1291	1.162	.387	3	1159	31.9	.1043	.1056	.1158	.1260	.1362	.0392	.393	.0897
Ruddy	900.	456.	487.	45x.1414	7x.0943	1.131	.283	3	1015	25.4	.1043	.1062	.1163	.1265	.1367	.0374	.399	.0905
Crane	875.	443.	501.	54x.1273	7x.1273	1.146	.382	3	1126	31.4	.1073	.1086	.1191	.1296	.1401	.0387	.395	.0901
Willet	874.	443.	474.	45x.1394	7x.0929	1.115	.279	3	987	25.0	.1073	.1092	.1196	.1301	.1406	.0369	.400	.0909
Skimmer	795.	403.	497.	30x.1628	7x.1628	1.140	.488	2	1246	38.3	.1183	.1191	.1307	.1423	.1540	.0392	.393	.0903
Mallard	795.	403.	495.	30x.1628	19x.0977	1.140	.489	2	1235	38.4	.1183	.1191	.1307	.1423	.1540	.0392	.393	.0903
Drake	795.	403.	469.	26x.1749	7x.1360	1.108	.408	2	1094	31.5	.1180	.1190	.1306	.1422	.1538	.0375	.399	.0911
Condor	795.	403.	455.	54x.1213	7x.1213	1.092	.364	3	1024	28.2	.1181	.1193	.1309	.1425	.1541	.0368	.401	.0916
Cuckoo	795.	403.	455.	24x.1820	7x.1213	1.092	.364	2	1024	27.9	.1181	.1193	.1308	.1424	.1540	.0366	.402	.0916
Tern	795.	403.	431.	45x.1329	7x.0886	1.063	.266	3	896	22.1	.1181	.1197	.1313	.1428	.1544	.0352	.406	.0923
Coot	795.	403.	414.	36x.1486	1x.1486	1.040	.149	3	805	16.5	.1175	.1197	.1311	.1426	.1540	.0337	.411	.0930
Buteo	715.	362.	447.	30x.1544	7x.1544	1.081	.463	2	1119	34.4	.1316	.1322	.1452	.1581	.1711	.0372	.399	.0919
Redwing	715.	362.	445.	30x.1544	19x.0926	1.081	.463	2	1111	34.6	.1316	.1322	.1452	.1581	.1711	.0372	.399	.0919
Starling	716.	363.	422.	26x.1659	7x.1290	1.051	.387	2	985	28.4	.1312	.1321	.1450	.1579	.1707	.0355	.405	.0927
Crow	715.	362.	409.	54x.1151	7x.1151	1.036	.345	3	921	26.3	.1312	.1323	.1452	.1580	.1709	.0350	.407	.0931
Stilt	716.	363.	410.	24x.1727	7x.1151	1.036	.345	2	922	25.5	.1311	.1322	.1451	.1579	.1708	.0347	.408	.0931
Grebe	716.	363.	388.	45x.1261	7x.0841	1.009	.252	3	807	20.6	.1312	.1327	.1455	.1583	.1712	.0334	.413	.0939
Gannet	666.	338.	393.	26x.1601	7x.1245	1.014	.374	2	917	26.6	.1409	.1417	.1555	.1694	.1832	.0343	.409	.0937
Gull	667.	338.	382.	54x.1111	7x.1111	1.000	.333	3	858	24.5	.1408	.1418	.1557	.1695	.1833	.0337	.411	.0942
Flamingo	667.	338.	382.	24x.1667	7x.1111	1.000	.333	2	859	23.7	.1407	.1418	.1556	.1694	.1832	.0335	.412	.0942
Scoter	636.	322.	397.	30x.1456	7x.1456	1.019	.437	2	993	30.8	.1480	.1486	.1631	.1777	.1923	.0351	.406	.0936
Egret	636.	322.	396.	30x.1456	19x.0874	1.019	.437	2	988	31.5	.1480	.1485	.1631	.1777	.1923	.0351	.406	.0936
Grosbeak	636.	322.	375.	26x.1564	7x.1216	0.990	.365	2	875	25.2	.1476	.1484	.1629	.1774	.1920	.0335	.412	.094
Goose	636.	322.	364.	54x.1085	7x.1085	0.977	.326	3	819	23.6	.1477	.1486	.1631	.1776	.1922	.0330	.414	.09
Rook	636.	322.	364.	24x.1628	7x.1085	0.977	.326	2	819	22.0	.1476	.1485	.1630	.1775	.1920	.0327	.415	.094
Kingbird	636.	322.	340.	18x.1880	1x.1880	0.940	.188	2	691	15.7	.1468	.1484	.1627	.1771	.1915	.0304	.424	.0960
Swift	636.	322.	331.	36x.1329	1x.1329	0.930	.133	3	644	13.4	.1469	.1487	.1630	.1774	.1918	.0302	.425	.0963

Table 3.3.3 (Cont.)

## CHARACTERISTICS OF MULTILAYER ALUMINUM-CONDUCTOR-STEEL-REINFORCED

Code	Cross Section			Stranding		Diameter		L a y e r s	wt ( lbs per 1000 ft)	STRG (Kips)	DC 25 C	Resistance (Ohms/Mile)				GMR (ft)	Reactance 1 ft Rad. 60 HZ	
	(kcmil) Al	(sq mm) Al	(sq mm) Tot	Aluminum	Steel	(in.) Cond	(in.) Core					AC at 60 HZ					X <sub>a</sub> (Ohm/ Mile)	X <sub>b</sub> (Megohm -Mile)
												25 C	50 C	75 C	100 C			
Wood Duck	605.	307.	378	30x.1420	7x.1420	0.994	426	2	947	29.4	1556	.1561	1714	1868	2021	0342	.410	.0943
Teal	605.	307.	376	30x.1420	19x.0852	0.994	426	2	940	30.0	1556	.1561	1714	1868	2021	0342	.410	.0943
Squab	605.	306	356	26x.1525	7x.1186	0.966	356	2	833	23.6	1552	.1560	1713	1866	2018	0327	.415	.0952
Peacock	605.	307.	346	24x.1588	7x.1059	0.953	318	2	780	21.6	1551	.1560	1712	1865	2018	0319	.418	.0956
Duck	606.	307.	347	54x.1059	7x.1059	0.953	318	3	779	22.5	1550	.1559	1711	1864	2016	0322	.417	.0956
Eagle	557.	282.	348.	30x.1362	7x.1362	0.953	409	2	872	27.2	1691	1696	1863	2029	2196	0328	.415	.0956
Dove	556.	282.	328	26x.1463	7x.1136	0.927	341	2	766	22.4	1687	1694	1860	2026	2192	0313	.420	.0964
Parakeet	557.	282.	319.	24x.1523	7x.1015	0.914	305	2	717	19.8	1686	1695	1860	2026	2192	0306	.423	.0968
Osprey	556.	282.	298.	18x.1758	1x.1758	0.879	176	2	604	13.7	1679	1693	1857	2022	2187	0284	.432	.0980
Hen	477	242.	298	30x.1261	7x.1261	0.883	378	2	747	23.8	1973	1977	2171	2366	2560	0304	.424	.0979
Hawk	477.	242.	281	26x.1354	7x.1053	0.858	316	2	657	19.5	1969	1975	2169	2363	2557	0290	.430	.0987
Flicker	477.	242.	273.	24x.1410	7x.0940	0.846	282	2	615	17.2	1967	1975	2168	2362	2556	0283	.432	.0991
Pelican	477.	242	255.	18x.1628	1x.1628	0.814	163	2	518	11.8	1958	1970	2162	2355	2547	0263	.441	1003
Lark	397.	201.	248	30x.1151	7x.1151	0.806	345	2	623	20.3	2368	2371	2605	2838	3072	0277	.435	1006
Tit	397.	201.	234	26x.1236	7x.0961	0.783	288	2	547	16.3	2363	2368	2601	2834	3067	0265	.441	1014
Brant	398	201.	228.	24x.1287	7x.0858	0.772	257	2	512	14.7	2361	2367	2600	2833	3066	0259	.444	1018
Chickadee	397.	201.	213	18x.1486	1x.1486	0.743	149	2	432	9.9	2350	2360	2591	2822	3054	0240	.452	1030
Oriole	336	170	210.	30x.1059	7x.1059	0.741	318	2	527	17.0	2797	2800	3076	3352	3628	0255	.445	1030
Linnet	336.	170.	198.	26x.1137	7x.0884	0.720	265	2	463	14.0	2793	2797	3072	3348	3623	0243	.451	1039
Widgeon	336.	170	193.	24x.1184	7x.0789	0.710	237	2	433	12.5	2790	2795	3070	3345	3621	0238	.454	1043
Merlin	336.	170	180	18x.1367	1x.1367	0.684	137	2	366	8.6	2777	2785	3059	3332	3606	0221	.463	1054
Piper	300	152.	187	30x.1000	7x.1000	0.700	300	2	470	15.5	3137	3139	3449	3758	4068	0241	.452	1047
Ostrich	300	152.	177	26x.1074	7x.0835	0.680	251	2	413	12.7	3130	3134	3443	3751	4060	0230	.458	1056
Gadwall	300	152	172.	24x.1118	7x.0745	0.671	224	2	386	11.2	3129	3134	3442	3751	4060	0225	.461	1060
Phoebe	300.	152.	160.	18x.1281	1x.1291	0.646	129	2	326	7.7	3114	3121	3428	3735	4042	0209	.469	1071
Junco	267	135	167	30x.0943	7x.0943	0.660	283	2	418	13.7	3527	3530	3878	4226	4574	0227	.459	1065
Partridge	267	135	157	26x.1013	7x.0788	0.642	236	2	367	11.3	3518	3522	3869	4216	4563	0217	.465	1073
Waxwing	267.	135.	143	18x.1217	1x.1217	0.609	122	2	289	6.9	3504	3510	3856	4201	4547	0197	.477	1089



# **INDICE**

## **AISLADORES**

- 1            OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN**
- 2            NORMAS QUE SE APLICAN**
- 3            DEFINICIONES**
- 4            CLASIFICACION**
- 5            ALCANCE DEL SUMINISTRO**
- 6            CARACTERISTICAS GENERALES**
- 7            MARCADOR DEL AISLADO**
- 8            DESCRIPCION DE LAS ABREVIATURAS EN LA  
DESCRIPCION CORTA**
- 9            EMPAQUE Y EMBARQUE**
- 10          CONTROL DE CALIDAD**
- 11          GARANTIA**
- 12          INFORMACION REQUERIDA**

## **1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION**

Esta especificación establece los requerimientos principales para la adquisición, así como las características electromecánicas que deben cumplir los aisladores tipo suspensión de porcelana o de vidrio templado para uso en las instalaciones de Comisión.

## **2 NORMAS QUE APLICAN**

CFE 52000-51-1991	Pruebas para Evaluar las Propiedades de la Porcelana Utilizada en Aisladores Eléctricos
CFE L0000-11-1988	Empaque, Embarque, Recepción, Manejo y Almacenamiento de Bienes Adquiridos por CFE.
CFE L0000-15-1992	Código de Colores.
CFE L0000-31-1993	Requisitos de Aseguramiento de Calidad para Proveedores de Bienes y Servicios.
NOM 008-SCFI-1993	Sistema General de Unidades de Medida.
NMX B-381-1976	Pasadores y Chavetas Series Métricas.
NMX H-004-1995	Recubrimientos de Zinc por el Proceso de Inmersión en Caliente para Sujetadores y Herrajes de Hierro y Acero.
ANSI C29.1-1988	Electrical Power Insulators-Test Methods.
ANSI C-29.2-1992	Insulators-Wet-Process Porcelain and Toughened Glass Suspension Type.
ASTM A-668/A668 M-1993	Standard Specification for Steel Forging, Carbon and Alloy, for General Industrial Use.
IEC-575-1977	Thermal-Mechanical Performance Test and Mechanical Performance Test on String Insulator Units.
MIL-STD-105 E-1989	Military Standard Sampling Procedures and Tables for Inspection By Attributes.

**NOTA:** En caso de que los documentos anteriores sean revisados o modificados debe tomarse en cuenta la edición en vigor o la última edición en la fecha de apertura de las ofertas de la licitación, salvo que la Comisión indique otra cosa.

### **3 DEFINICIONES**

#### **3.1 Aislador**

Aislador es un soporte no conductor para un conductor eléctrico.

#### **3.2 Aislamiento Tipo Suspensión**

Es un conjunto de unidades de aisladores de suspensión adecuados para soportar no rígidamente conductores eléctricos.

#### **3.3 Distancia de Fuga**

La distancia de fuga de un aislador es la distancia más corta o la suma de las distancias más cortas a lo largo del contorno de las superficies externas de partes de vidrio o porcelana del mismo, entre estas partes, en las que normalmente se tiene la tensión de operación entre ellas.

Una distancia medida sobre la superficie del cemento u otro material de unión conductora, no debe ser considerado como parte de la distancia de fuga.

#### **3.4 Unidad de Aislador de Suspensión**

Es un arreglo de un esbozo y herrajes para el acoplamiento no rígido con otras unidades o al herraje de sujeción.

#### **3.5 Cadena de Aisladores de Suspensión**

Es un conjunto de dos o más aisladores de suspensión montados en serie.

#### **3.6 Tensión Crítica de Flameo (TCF)**

Es el valor de cresta de tensión de una onda de impulso por rayo para el cual se tiene una probabilidad de flameo de 50%.

#### **3.7 Zona Contaminada**

Es la localidad en la que existen niveles de contaminación ambiental en grado tal, que altere las condiciones normales de operación del aislador.

#### **3.8 Zona Normal**

Es la localidad donde existen niveles mínimos de contaminación ambiental, que no afectan las condiciones normales de operación del aislador.

#### **3.9 Zona Corrosiva**

Es la localidad donde existen ambientes industriales de alta humedad y marinos que afectan en grado tal que aceleran la degradación en partes metálicas del aislador.

#### **3.10 Manguito de Zinc**

Parte metálica de refuerzo que actúa como ánodo de sacrificio que retarda la corrosión en el vástago.

## **4 CLASIFICACION**

### **4.1 Por su Acoplamiento**

Los aisladores de suspensión se clasifican de acuerdo a lo indicado en la tabla 1.

**TABLA 1 - Clasificación de los aisladores**

Por su acoplamiento.
a) Horquilla y ojo anular.
b) Clavera y bola.
Por su aplicación.
a) Normal.
b) Corrosión.
c) Contaminación.

## **5 ALCANCE DEL SUMINISTRO**

El alcance del suministro debe incluir el diseño, materiales, fabricación, pruebas, empaque y embarque de los aisladores tipo suspensión. A continuación se mencionan las partes, accesorios y servicios que integran el suministro.

- a) Cuerpo del aislador.
- b) Herrajes y chavetas para el acoplamiento entre aisladores y el herraje de sujeción.
- c) Pruebas de rutina.
- d) Pruebas de aceptación.
- e) Empaque (cuando así se indique.)
- f) Embarque.

## **6 CARACTERISTICAS GENERALES**

### **6.1 Aisladores de Porcelana o de Vidrio Templado**

Los aisladores de suspensión de porcelana o de vidrio templado deben satisfacer las características electromecánicas y dimensiones indicadas en las figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6 y especificaciones particulares correspondientes. Su fabricación y acabado debe realizarse conforme a lo indicado en la norma ANSI C29.2.

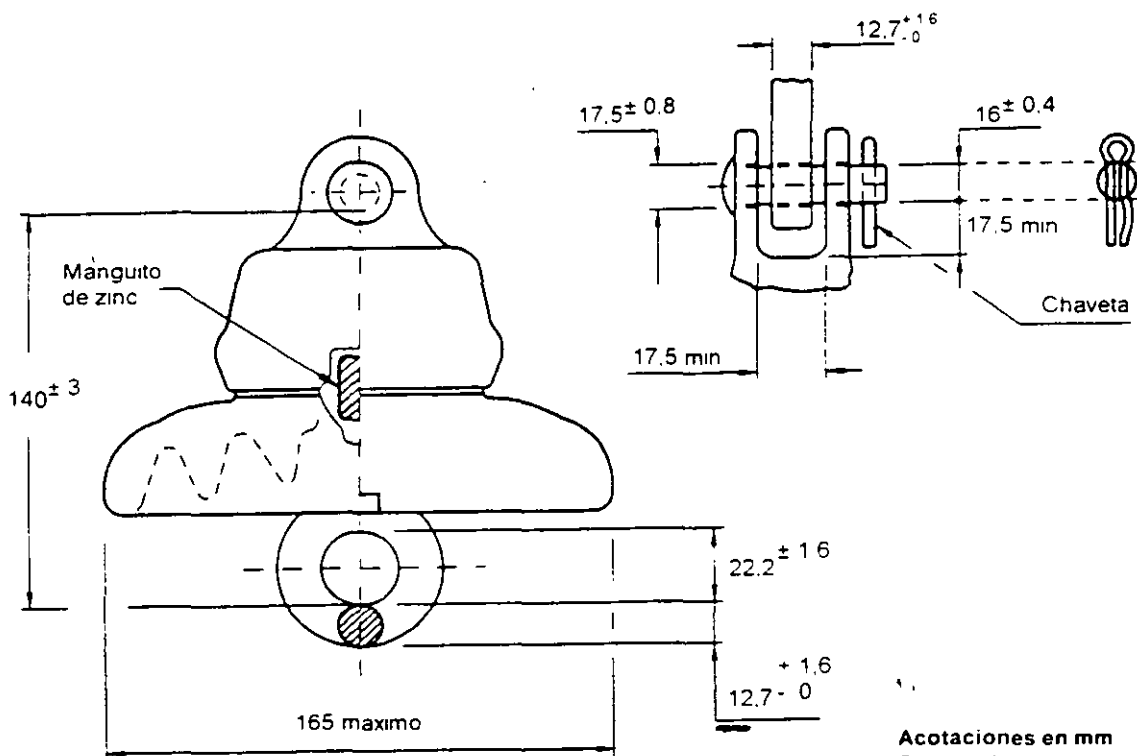
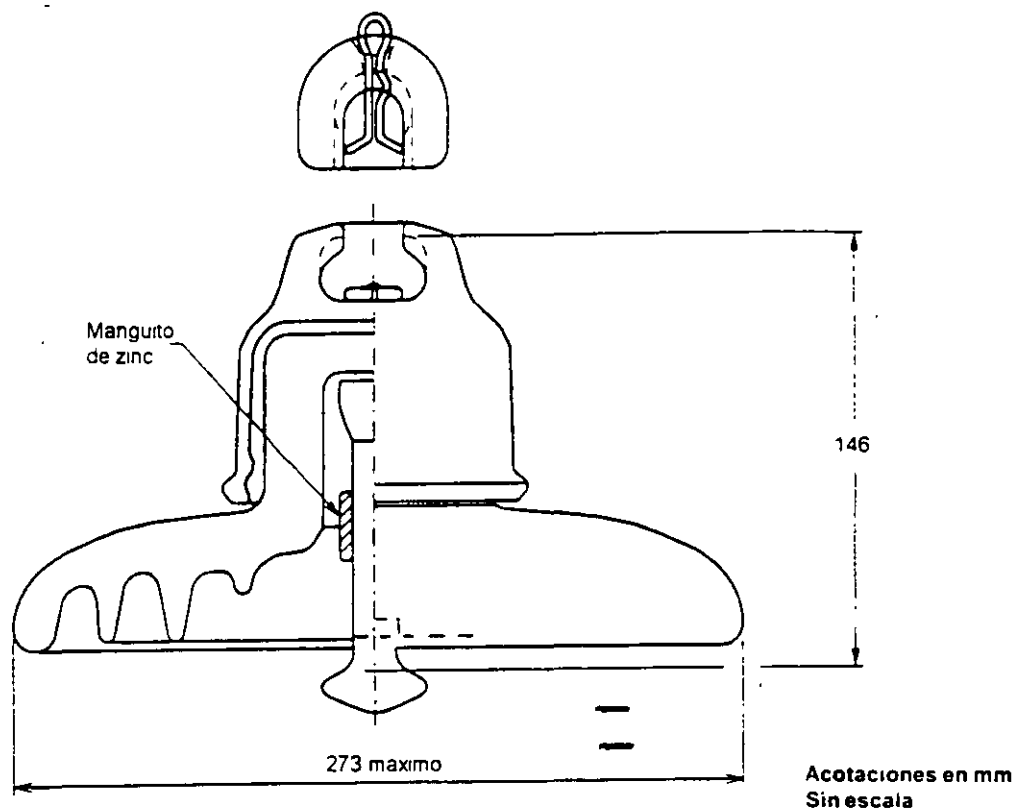


FIGURA 1 - Aislador 16S

- NOTAS:
- 1- La geometría del aislador es orientativa, no limitativa
  - 2- El código es para uso administrativo

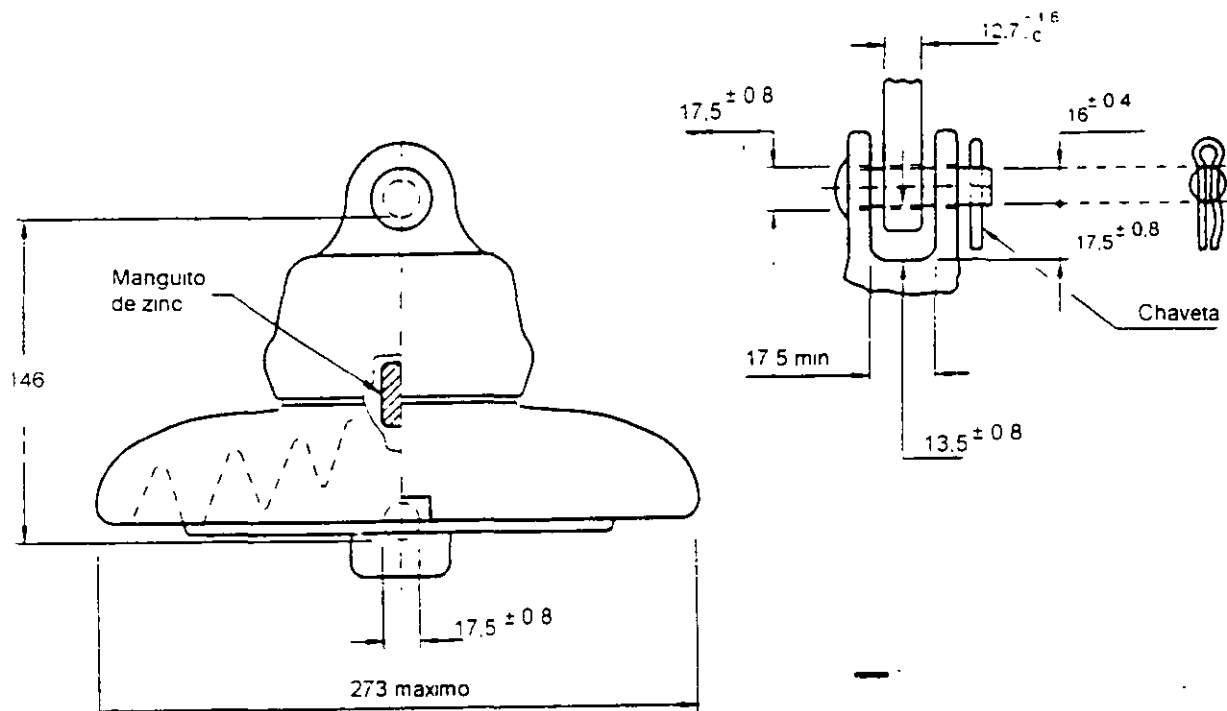
Características		Clase	52 -1	52-1	52-1	52-1	
		Código	201300	2013X2	2013X3	2013X4	
		Descripción corta.	16SVH044	16SPH044	16SVH044C	16SPH044C	
Dimensiones	Diametro y espaciamento	mm	165 x 140	165 x 140	165 x 140	165 x 140	
	Distancia mínima de fuga	mm	178	178	178	178	
Electricas	Flameo a baja frecuencia	en seco	kV	60	60	60	60
		en humedo	kV	30	30	30	30
	Tension critica de flameo	al impulso positivo	kV	100	100	100	100
		al impulso negativo	kV	100	100	100	100
	Tension de perforacion a baja frecuencia	kV	80	80	80	80	
Mecanicas	Resistencia electromecanica	kN	44	44	44	44	
	Resistencia al impacto	Nm	5	5	5	5	
	Resistencia a la tension (durante 3 s)	kN	22	22	22	22	
De radio Interferancia	Tension de prueba a baja frecuencia (rnc a tierra)	kV	7.5	7.5	7.5	7.5	
	Tension maxima de radio interferencia 1000 kHz	µV	50	50	50	50	
Material			Vidrio templado	Porcelana	Vidrio templado	Porcelana	
					Con manguito de zinc		
Uso	Soporta y aísla conductores aéreos en zonas		Normales		Corrosivas		
Abreviaturas en la descripción corta		Vease capítulo 8 de esta especificación					



**FIGURA 2 - Aislador 27S**

- NOTAS:**
- 1- La geometría del aislador es orientativa, no limitativa
  - 2- El código es para uso administrativo

Características		Clase		52-5	52-5	52-5	52-5
		Código		2028A4	2028A3	2028X2	2028X1
		Descripción corta		27SVC111	27SPC111	27SPC111C	27SPC111C
Dimensiones	Diámetro y espaciamento		mm	273 x146	273 x146	273 x146	273 x146
	Distancia mínima de fuga		mm	279	279	279	279
Eléctricas	Flameo a baja frecuencia	en seco	kV	80	80	80	80
		en humedo	kV	50	50	50	50
	Tensión crítica de flameo	al impulso positivo	kV	125	125	125	125
		al impulso negativo	kV	130	130	130	130
Tensión de perforación a baja frecuencia		kV.	110	110	110	110	
Mecánicas	Resistencia electromecánica		kN	111	111	111	111
	Resistencia al impacto		Nm	7	7	7	7
	Resistencia a la tensión (durante 3 s)		kN	55.5	55.5	55.5	55.5
De radio Interferencia	Tensión de prueba a baja frecuencia (nmc a tierra)		kV	10	10	10	10
	Tensión máxima de radio interferencia 1000 kHz		µV	50	50	50	50
Herraje de acoplamiento		Calavera y bola ANSI tipo		J	J	J	J
Material			Vidrio templado	Porcelana	Vidrio templado	Porcelana	
					Con manguito de zinc		
Uso	Soporta y aísla conductores aéreos en zonas		Normales		Corrosivas		
Abreviaturas en la descripción corta		Véase capítulo 8 de esta especificación					

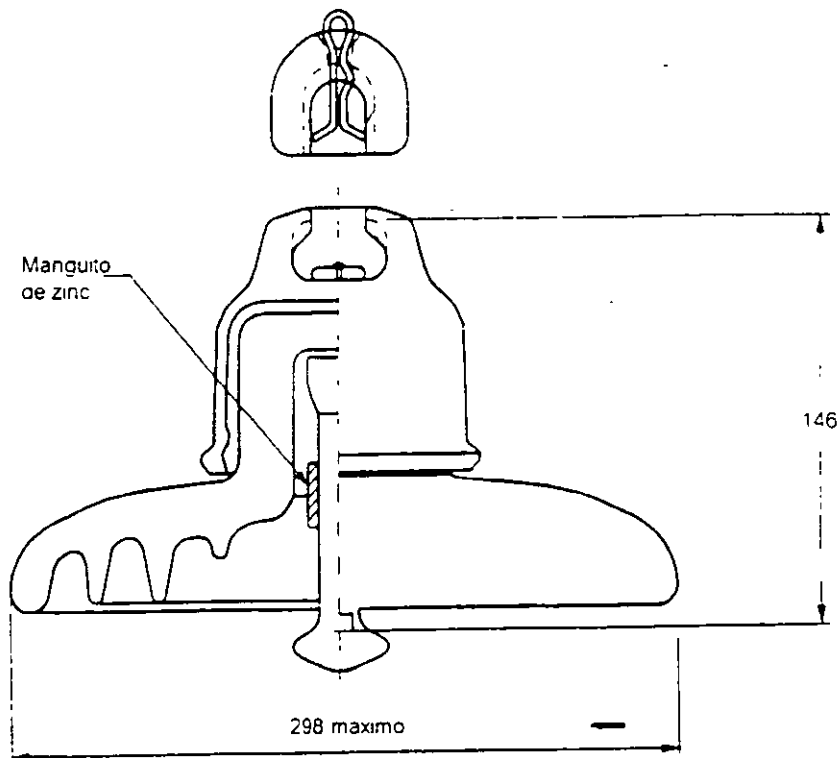


Acotaciones en mm  
Sin escala

FIGURA 3 - Aislador 275

- NOTAS:
- 1- La geometría del aislador es orientativa, no limitativa
  - 2- El código es para uso administrativo

Características		Clase		52-6	52-6	52-6	52-6
		Codigo		2013X1	2013X5	2013X6	2013X7
		Descripcion corta.		27SVH111	27SPH111	27SVH111C	27SPH111C
Dimensiones	Diámetro y espaciamento	mm	273 x146	273 x146	273 x146	273 x146	273 x146
	Distancia mínima de fuga	mm	279	279	279	279	279
Eléctricas	Flameo a baja frecuencia	en seco	kV	80	80	80	80
		en humedo	kV	50	50	50	50
	Tension crítica de flameo	al impulso positivo	kV	125	125	125	125
		al impulso negativo	kV	130	130	130	130
Tension de perforacion a baja frecuencia		kV	110	110	110	110	
Mecánicas	Resistencia electromecánica	kN	111	111	111	111	
	Resistencia al impacto	Nm	7	7	7	7	
	Resistencia a la tension (durante 3 s)	kN	55.5	55.5	55.5	55.5	
De radio Interferencia	Tension de prueba a baja frecuencia (rnc a tierra)	kV	10	10	10	10	
	Tension máxima de radio interferencia 1000 kHz	µV	50	50	50	50	
Material			Vidrio templado	Porcelana	Vidrio templado	Porcelana	
			Con manguito de zinc				
Uso	Soporta y aísla conductores aéreos en zonas		Normales		Corrosivas		
Abreviaturas en la descripción corta		Véase capítulo 8 de esta especificación					



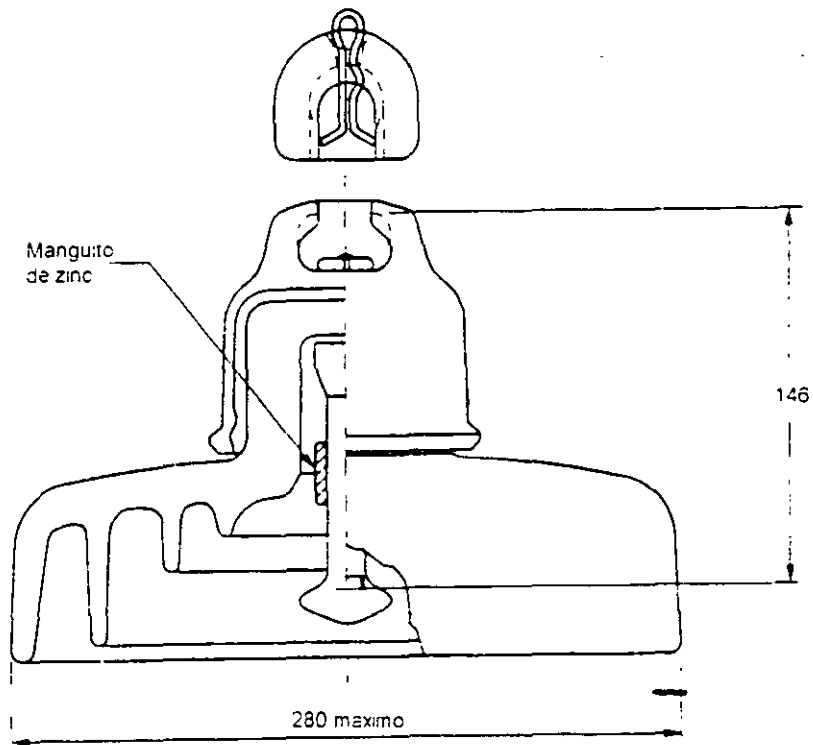
Acotaciones en mm  
Sin escala

FIGURA 4 - Aislador 29S

- NOTAS:
- 1- La geometría del aislador es orientativa, no limitativa
  - 2- El código es para uso administrativo

Características		Código		2028X3	2028X4
		Descripción corta:		28SPC111C	28SVC111C
Dimensiones	Diámetro y espaciamiento		mm	280x146	280x146
	Distancia mínima de fuga		mm	445	445
Eléctricas	Flameo a baja frecuencia	en seco	kV	100	100
		en húmedo	kV	60	60
	Tensión crítica de flameo	al impulso positivo	kV	140	140
		al impulso negativo	kV	140	140
Tensión de perforación a baja frecuencia		kV	130	130	
Mecánicas	Resistencia electromecánica		kN	111	111
	Resistencia al impacto		Nm	11	11
	Resistencia a la tensión (durante 3 s)		kN	55.5	55.5
	Resistencia de carga sostenida-tiempo		kN	67.7	67.7
De radio Interferencia	Tensión de prueba a baja frecuencia (mmc a tierra)		kV	10	10
	Tensión máxima de radio interferencia 1000 kHz		µV	50	50
Herraje de acoplamiento		Calavera y bola ANSI tipo		J	J
Material			Porcelana	Vidrio templado	
			Con manguito de zinc		
Uso	Soporta y aísla conductores aéreos en zonas		Corrosivas y contaminación		
Abreviaturas en la descripción corta		Véase capítulo 8 de esta especificación			



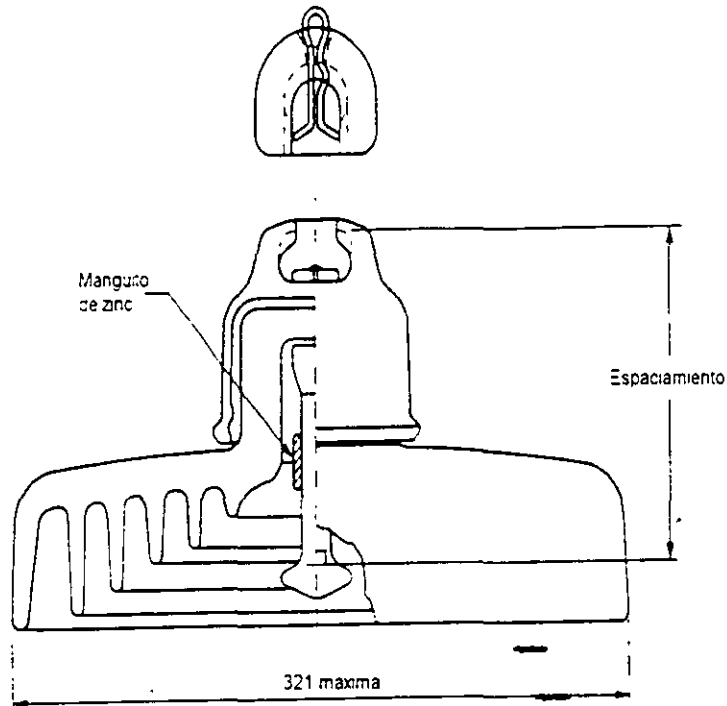


Acotaciones en mm  
Sin escala

FIGURA 5 - Aislador 28S

- NOTAS:
- 1- La geometría del aislador es orientativa, no limitativa
  - 2- El código es para uso administrativo

Características		Clase	52-8	52-8	52-8	52-8	
		Código	2028X6	2028X5	2028X8	2028X7	
		Descripción corta:	29SVC160	29SPC160	29SVC160C	29SPC160C	
Dimensiones	Diámetro y espaciamiento	mm	298x146	298x146	298x146	298x146	
	Distancia mínima de fuga	mm	279	279	279	279	
Eléctricas	Flameo a baja frecuencia	en seco	kV	80	80	80	80
		en humedo	kV	50	50	50	50
	Tensión crítica de flameo	al impulso positivo	kV	125	125	125	125
		al impulso negativo	kV	130	130	130	130
Tensión de perforación a baja frecuencia		kV	110	110	110	110	
Mecánicas	Resistencia electromecánica		kN	160	160	160	160
	Resistencia al impacto		Nm	10	10	10	10
	Resistencia a la tensión (durante 3 s)		kN	80	80	80	80
De radio Interferencia	Tensión de prueba a baja frecuencia (rnc a tierra)		kV	10	10	10	10
	Tensión máxima de radio interferencia 1000 kHz		µV	50	50	50	50
Herraje de acoplamiento		Calavera y bola ANSI tipo		K	K	K	K
Material				Vidrio templado	Porcelana	Vidrio templado	Porcelana
						Con manguito de zinc	
Uso	Soporta y aísla conductores aéreos en zonas			Normales		Corrosivas	
Abreviaturas en la descripción corta		Véase capítulo 8 de esta especificación					

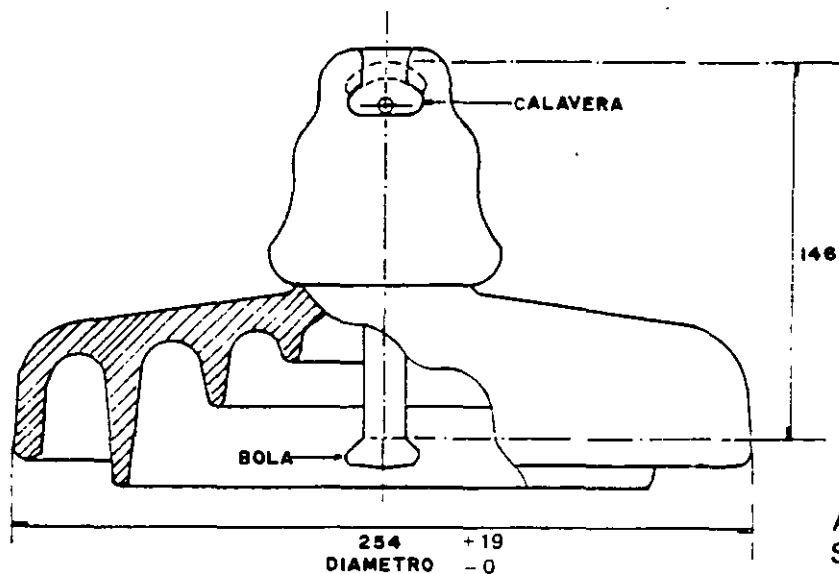


Acotaciones en mm  
Sin escala

FIGURA 6 - Aislador 32S

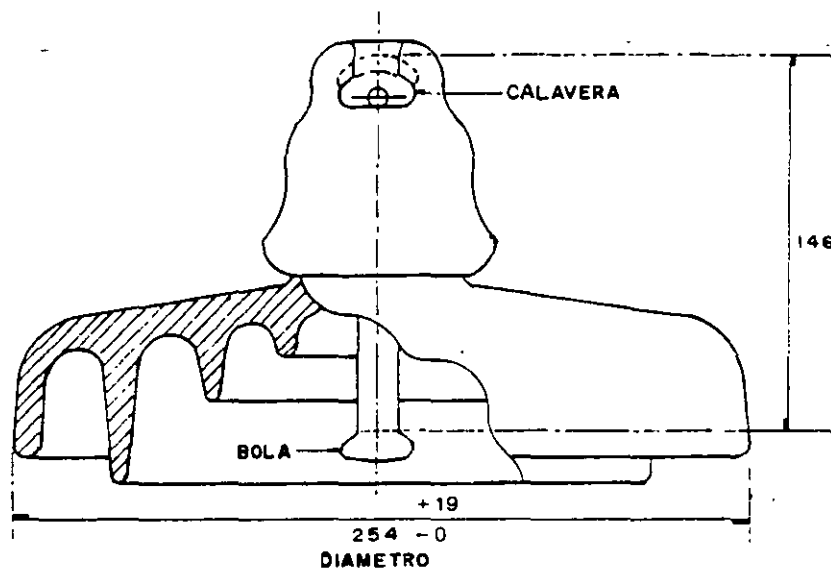
- NOTAS:**
- 1- La geometría del aislador es orientativa, no limitativa
  - 2- El código es para uso administrativo
  - 3- Estos valores no tienen referencia normalizada, son características particulares requeridas por CFE.

Características		Código	2028Y1	2028Y3	2028Y2	-2028X9	
		Descripción corta	32SVC111CM	325VC160CC	32SVC111CM	32SPC160CC	
Dimensiones	Diametro y espaciamento	mm	321x146	321x171	321x146	321x171	
	Distancia mínima de fuga	mm	612	540	612	540	
Eléctricas	Flameo a baja frecuencia	en seco	kV	110	100	110	100
		en húmedo	kV	60	65	60	65
	Tensión crítica de flameo	al impulso positivo	kV	160	170	160	170
		al impulso negativo	kV	170	160	170	160
	Tensión de perforación a baja frecuencia	kV	130	130	130	130	
Mecánicas	Resistencia electromecánica	kN	111	160	111	160	
	Resistencia al impacto	Nm	11	45	11	45	
	Resistencia a la tensión (durante 3 s)	kN	55.5	80	55.5	80	
	Resistencia de carga sostenida-tiempo	kN	66.5	110	66.5	110	
De radio Interferencia	Tensión de prueba a baja frecuencia (rnc a tierra)	kV	10	10	10	10	
	Tensión máxima de radio interferencia 1000 kHz	µV	50	50	50	50	
Herraje de acoplamiento	Calavera y bola ANSI tipo		J	K	J	K	
Material			Vidrio templado		Porcelana		
			Con maguilo de zinc				
Uso	Soporta y aísla conductores aéreos en zonas		Corrosivas y contaminación				
Abreviaturas en la descripción corta	Véase capítulo 8 de esta especificación						



Características					
Las dimensiones del vástago, bola y calavera deben cumplir con la clase 52.5					
Dimensiones	Diámetro y altura mm			Distancia mínima de fuga mm	
		254 x 146			420
Mecánicas	Resistencia combinada electromecánica N (kgf)		Resistencia al impacto N - cm (kgf - cm)	Resistencia a la tensión durante 3s en N (kgf)	Resistencia de carga sostenida tiempo N (kgf)
	111200 (11340)		1000 (104)	55600 (5670)	66700 (6804)
Eléctricas	Flameo en seco a baja frecuencia kV	Flameo en húmedo a baja frecuencia kV	Flameo al impulso positivo kV	Flameo al impulso negativo kV	Tensión de perforación a baja frecuencia kV
	100	60	150	155	130
De radio interferencia	Tensión de prueba a baja frecuencia (rnc a tierra) kV			Tensión máxima a 1000 kHz, $\mu$ V	
	10			50	
<b>Material y acabado:</b>	10SPNC25 - Porcelana vidriada 10SVNC25 - Vidrio templado Partes metálicas de hierro maleable galvanizado				
<b>Especificación general:</b>	CFE 52200-02 Aisladores de Suspensión				
<b>Uso:</b>	Acoplado a la estructura a (s) conductores aéreos en zonas contaminadas.				
<b>Descripción corta:</b>	Aislador 10SPNC25		Aislador 10SVNC25		
<b>Clave:</b>	522E4G1310		522E4G2310		
<b>Abreviatura en la descripción corta:</b>	10 - Diámetro del aislador en pg; S - Suspensión; P - Porcelana; V - Vidrio; N - Niebla; C - Calavera y bola; 25 - Resistencia electromecánica en lb X 1000				

**Nota:** La longitud de sujeción de una cadena de 6 aisladores seleccionada al azar debe ser igual a 6 veces la longitud nominal de cada aislador  $\pm$  19 mm.

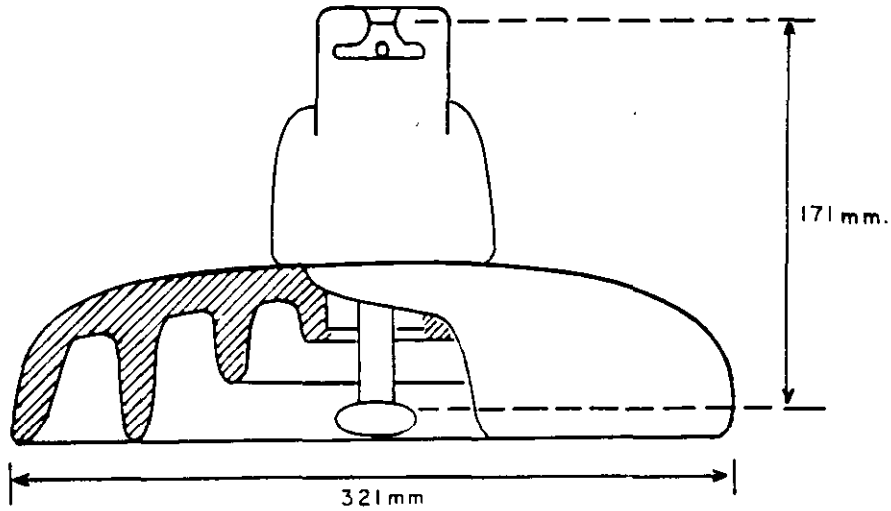


Acotaciones en mm  
Sin escala

Características					
Las dimensiones del vástago, bola y calavera deben cumplir con la clase 52.3					
Dimensiones	Diámetro y altura mm		Distancia mínima de fuga mm.		
		254 x 146		420	
Mecánicas	Resistencia combinada electromecánica N (kgf)	Resistencia al impacto N - cm (kgf - cm)	Resistencia a la tensión durante 3s en N (kgf)	Resistencia de carga sostenida-tiempo N (kgf)	
	66700 (6804)	1000 (104)	33400 (3402)	44500 (4536)	
Eléctricas	Flameo en seco a baja frecuencia kV	Flameo en húmedo a baja frecuencia kV	Flameo al impulso positivo kV	Flameo al impulso negativo kV	Tensión de perforación a baja frecuencia kV
	100	60	150	155	130
De radio interferencia	Tensión de prueba a baja frecuencia (rnc a tierra) kV		Tensión máxima a 1000 kHz, $\mu$ V		
	10		50		

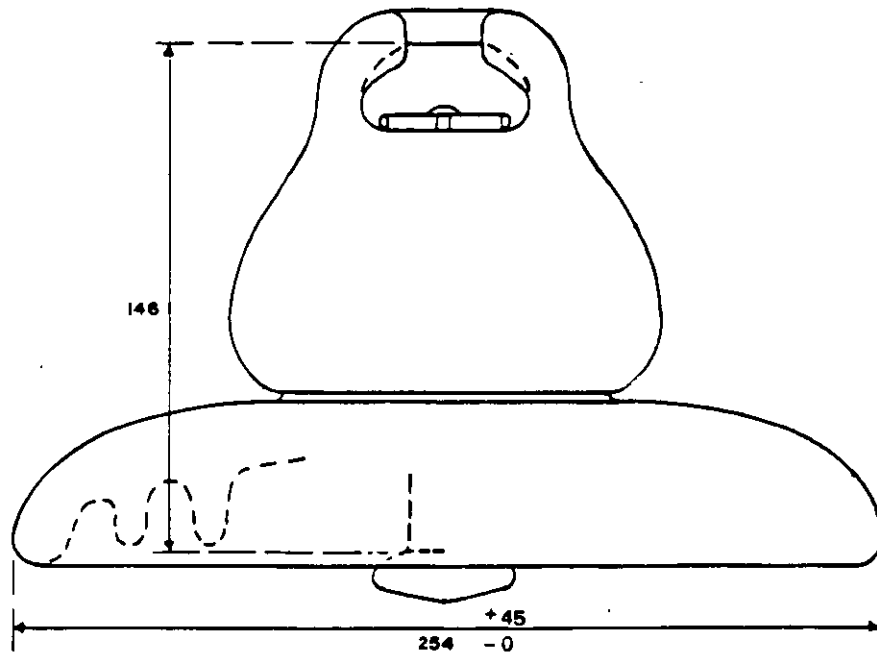
<b>Material y acabado:</b>	10SPNC 15 - Porcelana vidriada 10SVNC 15 - Vidrio templado Partes metálicas de hierro maleable galvanizado	
<b>Especificación general:</b>	CFE 52200-02 Aisladores de Suspensión	
<b>Uso:</b>	Acoplado a la estructura, aísla conductores aéreos en zonas contaminadas	
<b>Descripción corta:</b>	Aislador 10SPNC15	Aislador 10SVNC15
<b>Clave:</b>	522E3G1310	522E3G2310
<b>Abreviaturas en la descripción corta:</b>	10 - Diámetro del aislador en pg; S - Suspensión; P - Porcelana; V - Vidrio; N - Niebla; C - Calavera y bola; 15 - Resistencia electromecánica en lb X 1000	

Nota: La longitud de sujeción de una cadena de 6 aisladores seleccionada al azar debe ser igual a 6 veces la longitud nominal de cada aislador  $\pm$  19 mm.



Acotaciones en mm

Características 10					
Clase 52.8					
Dimensiones	Diámetro y altura (mm)			Distancia mínima de fuga (mm)	
	321 X 171			540	
Mecánicas	Resistencia combinada electromecánica N (kgf)	Resistencia al impacto N-cm (kgf-cm)	Resistencia a la tensión durante 3s en N (Kgf)	Resistencia de carga sostenida tiempo N (kgf)	
	160143 (16330)	4511(460)	80071 (8165)	106755(10886)	
Eléctricas	Flameo en seco a baja frecuencia kV	Flameo en húmedo a baja frecuencia kV	Flameo al impulso positivo kV	Flameo al impulso negativo kV	Tensión de perforación a baja frecuencia kV
	110	65	170	160	130
De radio interferencia	Tensión de prueba a baja frecuencia (rnc a tierra) kV		Tensión máxima a 1000 kHz, $\mu$ V		
	10		90		
Material y acabado:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vidrio templado</li> <li>- Manguito de zinc, fundido sobre el vástago.</li> </ul>				
Especificación general:	CFE 52200-02 Aisladores de Suspensión				
Uso:	Acoplado a la estructura aísla conductores aéreos en zonas contaminadas				
Descripción corta:	Aislador 12SVNC36				
Abreviaturas en la descripción corta:	12-Diámetro del aislador en pg; S.- Tipo suspensión; V- Vidrio N-Niebla; C-Calavera 36- Resistencia electromecánica en lb x 1000.				
Nota aclaratoria:	Solo para reposición de aisladores similares en líneas ya existentes. No debe considerarse en nuevos proyectos.				

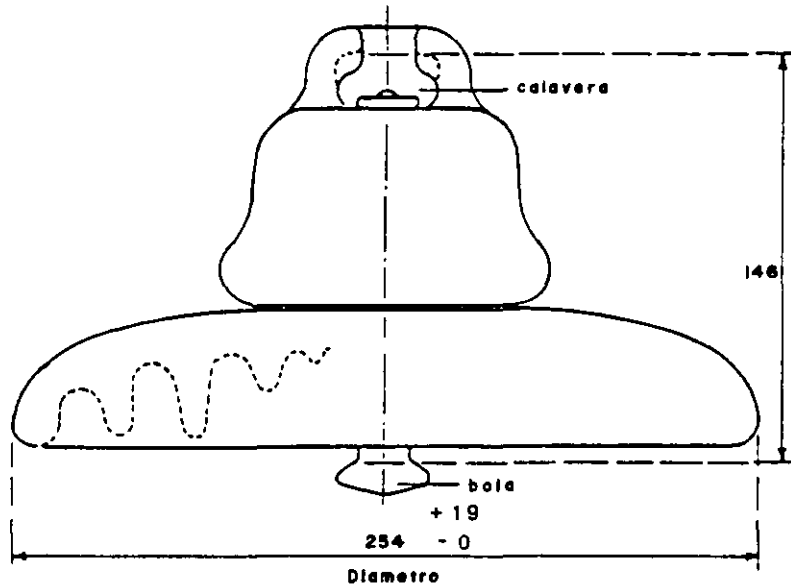


Acotaciones  
en mm.

Sin escala

Características					
Clase 52-8					
Dimensiones	Diámetro y altura mm			Distancia mínima de fuga mm	
	254 X 146			279	
Mecánicas	Resistencia combinada electromecánica N (kgf)		Resistencia al impacto N - cm (kgf - cm)	Resistencia a la tensión durante 3s en N (kgf)	Resistencia de carga sostenida tiempo N (kgf)
	160200 (16330)		1000 (104)	80100 (8165)	106800 (10886)
Eléctricas	Flameo en seco a baja frecuencia kV	Flameo en húmedo a baja frecuencia kV	Flameo al impulso positivo kV	Flameo al impulso negativo kV	Tensión de perforación a baja frecuencia kV
	80	50	125	130	110
De radio interferencia	Tensión de prueba a baja frecuencia (rme a tierra) kV			Tensión máxima a 1000 kHz, $\mu V$	
	10			50	
Material y acabado:	10SPC36 - Porcelana vidriada 10SVC36 - Vidrio templado Partes metálicas de hierro maleable galvanizado				
Especificación general:	CFE 52200 - 02 Aisladores de Suspensión				
Uso:	Acoplado a la estructura aísla conductores aéreos en zonas normales.				
Descripción corta:	Aislador 10SPC36		Aislador 10SVC36		
Clave:	522E631110		522E632110		
Abreviaturas en la descripción corta:	10 - Diámetro del aislador en pg; S - Suspensión; P - Porcelana; V - Vidrio; C - Calavera y bola; 36 - Resistencia electromecánica en lb X 1000				

Nota: La longitud de sujeción de una cadena de 6 aisladores seleccionada al azar debe ser igual a 6 veces la longitud nominal de cada aislador  $\pm 19$  mm.

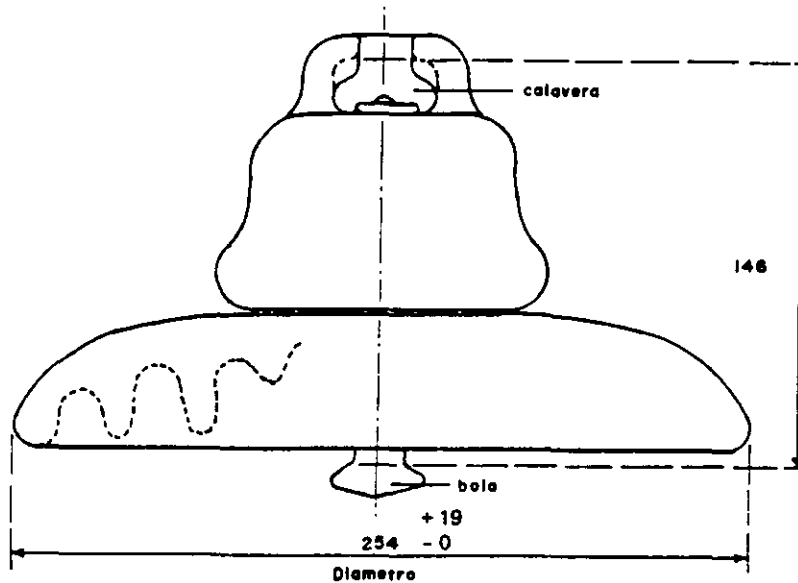


Acotaciones en mm

Sin escala

Características					
Clase 52.5					
Dimensiones	Diámetro y altura mm			Distancia mínima de fuga mm	
	254 X 146			279	
Mecánicas	Resistencia combinada electromecánica N(kgf)	Resistencia al impacto N · cm ( kgf-cm )	Resistencia a la tensión durante 3s en N (kgf)	Resistencia de carga sostenida tiempo N (kgf)	
	111200 (11340)	700 (69)	55600 (5670)	66700 (6804)	
Eléctricas	Flameo en seco a baja frecuencia kV	Flameo en húmedo a baja frecuencia kV	Flameo al impulso positivo kV	Flameo al impulso negativo kV	Tensión de perforación a baja frecuencia kV
	80	50	125	130	110
De radio interferencia	Tensión de prueba a baja frecuencia (rnc a tierra) kV			Tensión máxima a 1000 kHz, $\mu$ V	
	10			50	
Material y acabado:	10SPC25 - Porcelana vidriada 10SVC25 - Vidrio templado Partes metálicas de hierro maleable galvanizado				
Especificación general:	CFE 52200 - 02 Aisladores de Suspensión				
Uso:	Acoplado a la estructura aísla conductores aéreos en zonas normales				
Descripción corta:	Aislador 10SPC25		Aislador 10SVC25		
Clave	522E431110		522E432110		
Abreviaturas en la descripción corta:	10 - Diámetro del aislador en pg; S - Suspensión; P - Porcelana; V - Vidrio; C - Calavera y bola; 25 - Resistencia electromecánica en lb X 1000				

Nota: La longitud de sujeción de una cadena de 6 aisladores seleccionada al azar debe ser igual a 6 veces la longitud nominal de cada aislador  $\pm$  19 mm.

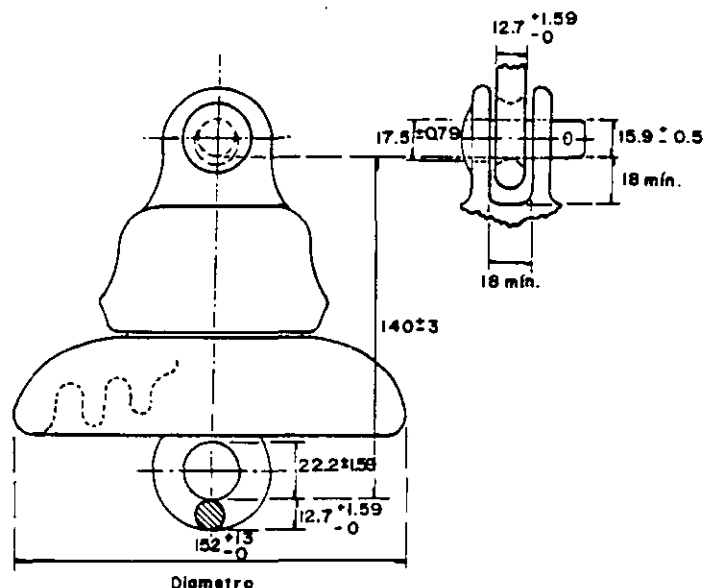


Acotaciones en mm  
Sin escala

Características					
Clase 52.3					
Dimensiones	Diámetro y altura mm			Distancia mínima de fuga mm	
	254 X 146			292	
Mecánicas	Resistencia combinada electromecánica N(kgf)		Resistencia al impacto N - cm (kgf - cm)	Resistencia a la tensión durante 3s en N(kgf)	Resistencia de carga sostenida- tiempo N (kgf)
	66700 (6804)		600 (63)	33400 (3402)	44500 (4536)
Eléctricas	Flameo en seco a baja frecuencia kV	Flameo en húmedo a baja frecuencia kV	Flameo al impulso positivo kV	Flameo al impulso negativo kV	Tensión de perforación a baja frecuencia kV
	80	50	125	130	110
De radio interferencia	Tensión de prueba a baja frecuencia (rnc a tierra) kV			Tensión máxima a 1000 kHz. $\mu$ V	
	10			50	
Material y acabado:	10SPC15 - Porcelana vidriada 10SVC15 - Vidrio templado Partes metálicas de hierro maleable galvanizado				
Especificación general:	CFE 52200-02 Aisladores de suspensión				
Uso:	Acoplado a la estructura aísla conductores aéreos en zonas normales				
Descripción corta:	Aislador 10SPC15		Aislador 10SVC15		
Clave:	522E331110		522E332110		
Abreviaturas en la descripción corta :	10 - Diámetro del aislador en pg; S - Suspensión; P - Porcelana; V - vidrio; C - Calavera ybola; 15 - Resistencia electromecánica en lb X 1000				

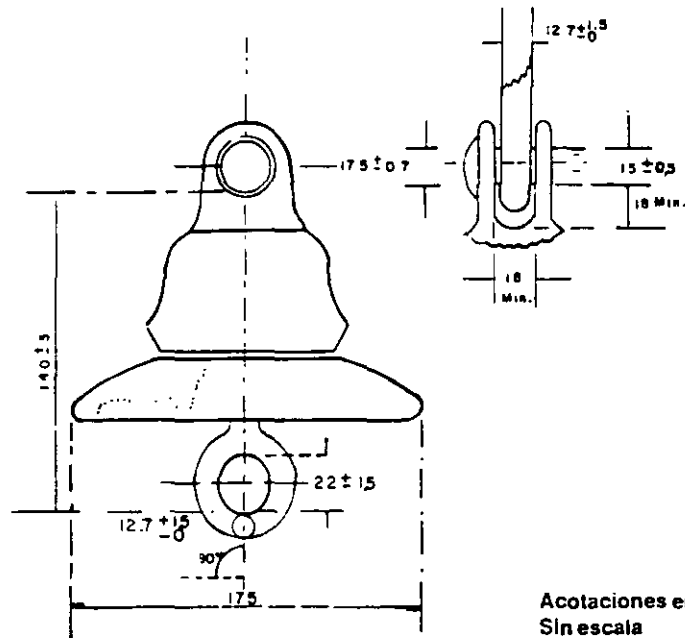
Nota: La longitud de sujeción de una cadena de 6 aisladores seleccionada al azar debe ser igual a 6 veces la longitud nominal de cada aislador  $\pm 19$  mm.





Acotaciones en mm  
Sin escala

Características					
Clase 52-1					
Dimensiones	Diámetro y altura mm			Distancia mínima de fuga mm	
	152 X 140			178	
Mecánicas	Resistencia combinada electromecánica N(kgf)	Resistencia al impacto N-cm (kgf-cm)	Resistencia a la tensión durante 3s en N (kgf)	Resistencia de carga sostenida tiempo N (kgf)	
	44500 (4536)	500 (52)	22200 (2268)	26700 (2722)	
Eléctricas	Flameo en seco a baja frecuencia kV	Flameo en húmedo a baja frecuencia kV	Flameo al impulso positivo kV	Flameo al impulso negativo kV	Tensión de perforación a baja frecuencia kV
	60	30	100	100	80
De radio interferencia	Tensión de prueba a baja frecuencia (rnc a tierra) kV		Tensión máxima a 1000 kHz, $\mu$ V		
	7.5		50		
Material y acabado:	6SPH10 - Porcelana vidriada 6SVH10 - Vidrio templado Partes metálicas de hierro maleable galvanizado				
Especificación general:	CFE 52200 - 02 Aisladores de Suspensión				
Uso:	Acoplado a la estructura aísla conductores aéreos en zonas normales				
Descripción corta:	Aislador 6SPH10		Aislador 6SVH10		
Clave	522A111130		522A112130		
Abreviaturas en la descripción corta:	6 - Diámetro del aislador en pg; S - Tipo suspensión; P - Porcelana; V - vidrio H - Horquilla y ojo anular; 10 - Resistencia electromecánica en lb X 1000.				



Acotaciones en mm  
Sin escala

Nota: Las tolerancias deben ser verificadas después del galvanizado

### Características

Clase 52.1

Dimensiones	Diámetro y altura (mm)		Distancia mínima de fuga (mm)		
	175 X 140		178		
Mecánicas	Resistencia combinada electromecánica N (kgf)	Resistencia al impacto N - cm (kgf-cm)	Resistencia a la tensión durante 3 s en N (kgf)	Resistencia de carga sostenida tiempo N (kgf)	
	44500 (4538)	4511 (460)	22200(2268)	26700 (2722)	
Eléctricas	Flameo en seco a baja frecuencia kV	Flameo en húmedo a baja frecuencia kV	Flameo al impulso positivo kV	Flameo al impulso negativo kV	Tensión de perforación a baja frecuencia kV
	60	35	88	90	80
De radio interferencia	Tensión de prueba a baja frecuencia (rmc a tierra) kV			Tensión máxima a 1000 kHz, $\mu$ V	
	75			50	

Material y acabado:

Vidrio templado  
Partes metálicas de hierro maleable galvanizado

Especificación general:

CFE 52200-02 Aisladores de Suspensión

Uso:

Acoplado a la estructura aisla conductores aéreos en zonas normales

Descripción corta:

Aislador 7SVH10

Abreviaturas en la descripción corta

7.- Diámetro del aislador en pg; S.- Tipo suspensión; V - vidrio  
H.- Horquilla y ojo anular; 10 - Resistencia electromecánica en lb X 1000

Nota aclaratoria: Sustituye al aislador 6SVH10 que actualmente esta fuera del mercado nacional

## **6.2 Materiales**

La porcelana debe cumplir con lo indicado en la especificación CFE 52000-51.

El vidrio debe cumplir con lo indicado en el inciso 8.4 de la norma ANSI C-29.2.

## **6.3 Acabado**

El aislador debe tener un acabado vidriado y liso; de constitución homogénea compacta y libres de porosidades. La homogeneidad debe ser de alta calidad para evitar la absorción de humedad. En los aisladores de porcelana el color debe ser gris y los límites son los colores 25 gris y 5 gris claro de la especificación CFE L0000-15 y para los de vidrio templado debe ser verde translúcido, y los límites son los colores 13 verde hoja y 15 verde claro de acuerdo a la misma especificación.

## **6.4 Cemento**

Debe estar libre de cavidades y no presentar agrietamiento en las partes expuestas al ambiente.

## **6.5 Vástago**

La posición del vástago (ojo anular o bola) debe ser perpendicular al plano del esbozo del aislador, y estar alineado con respecto al eje central del esbozo y calavera como se muestra en las figuras correspondientes. Debe ser de acero de acuerdo con la norma ASTM A-668/A668 M con galvanizado tipo especial de acuerdo con la norma NMX H-004.

## **6.6 Chavetas**

Deben ser de acero inoxidable tipo AISI 316, de acuerdo a la norma NMX B-381, diseñadas de manera que una vez instaladas por el fabricante no tengan movimientos en condiciones normales. Para la calavera del aislador debe ser del tipo R y debe tener ambos extremos alabeados de tal forma que impidan su extracción completa. Para el perno de acoplamiento tipo horquilla, la chaveta debe ser del tipo R (Joroba) véanse las figuras de la 1 a la 6.

Cuando se realicen trabajos en línea energizada, deben operarse con facilidad, para retirar el aislador.

## **6.7 Perno**

Debe ser de acero forjado de acuerdo a la norma ASTM A-668 con galvanizado tipo especial de acuerdo a la norma NMX H-004.

## **6.8 Galvanizado**

Debe ser del tipo especial de acuerdo a la norma NMX H-004.

## **7 MARCADO DEL AISLADOR**

### **a) Calavera.**

- valor de la resistencia eléctricomecánica en kN,
- año de fabricación,

- identificación del fabricante.
- b) Esbozo de porcelana o vidrio.
- año de fabricación,
- identificación del fabricante,

## **8 DESCRIPCION DE LAS ABREVIATURAS EN LA DESCRIPCION CORTA**

Estas se indican en las tablas de las características técnicas de las figuras de la 1 a la 6.  
10 caracteres alfanuméricos.

## **9 EMPAQUE Y EMBARQUE**

### **9.1 Empaque**

Los aisladores deben cumplir con lo indicado en la especificación CFE L0000-11.

Los aisladores deben empacarse en cajas de madera tratada que resista el manejo rudo sin dañar el contenido y almacenaje a la intemperie, con una cantidad máxima de 6 piezas.

Adicionalmente a lo anterior estos se deben entregar sobre flejados y debidamente ordenados para efectuar un conteo rápido; la masa total del conjunto debe ser menor a 1000 kg para mover cada tarima con una cargador frontal (montacargas.)

Se permite además, que en una tarima se acomoden debidamente ordenados y flejados dos o más tipos de aisladores, cuando las cantidades de cada uno de ellos no sea suficiente para completar la carga de una tarima.

### **9.2 Marcado en el Empaque**

Para la identificación del empaque este debe tener las siguientes leyendas en un lugar visible.

- a) Propiedad de CFE.
- b) Identificación del fabricante y del proveedor en su caso.
- c) Indicación de manejo de que es un producto frágil.
- d) Número de contrato de CFE.
- e) Número de lote de fabricación.
- f) Cantidad de piezas contenidas.
- g) Masa bruta y neta en kg y volumen en m<sup>3</sup>.
- h) Destino.

- i) País de origen.
- j) Posición y condición de almacenamiento.
- k) Descripción corta del producto.

## **10 CONTROL DE CALIDAD**

El control de calidad del aislador, así como sus partes constitutivas debe ser supervisado por la Gerencia de LAPEM de Comisión de acuerdo con los procedimientos que esta tenga establecidos y cumplir con la especificación CFE L0000-31.

### **10.1 Prueba de Prototipo**

Los aisladores deben cumplir con las pruebas de diseño establecidas en el inciso 8.2 de las normas ANSI C29.1 y ANSI C29.2 y la prueba termomecánica de acuerdo con lo establecido en la norma IEC 575, estas pruebas deben ser sancionadas y aprobadas por la Gerencia de LAPEM.

**NOTA:** CFE se reserva el derecho de exigir el cumplimiento de las pruebas siguientes.

#### **10.1.1 Resistencia de arco de potencia**

De acuerdo al método de prueba siguiente:

Dos cadenas de aisladores seleccionados al azar con 6 aisladores cada uno se deben someter a 6 arcos de potencia cada uno de 6 kA durante 0,2 s a una tensión mínima de 13,8 kV y una frecuencia de 60 Hz.

Durante la prueba se debe aplicar una carga mecánica a la cadena de 0,4 veces la carga nominal electromecánica y el tiempo máximo entre arcos debe ser de 5 min.

Se considera satisfactorio el resultado de esta prueba si no se rompen más de dos esbozos por cadena y si el valor promedio de resistencia mecánica menos 3 desviaciones estándar es mayor al 60% del valor especificado de resistencia electromecánica.

#### **10.1.2 Prueba de perforación al impulso de frente de onda**

Los parámetros en forma preliminar, se consideran los establecidos en la publicación IEC SC-36B.WG6.

### **10.2 Pruebas de Aceptación**

Son las indicadas en el inciso 8.3 de la norma ANSI C29.2, el muestreo se debe llevar a cabo en base a los lineamientos indicados en la norma MIL-STD-105 E y al procedimiento de inspección de la Gerencia de LAPEM, el cual debe considerar el comportamiento operativo en campo, cuya información será proporcionada por el área usuaria para fijar el nivel de inspección correspondiente.

### **10.3 Pruebas de Rutina**

El proveedor debe realizar las pruebas al 100% de su producción de acuerdo a lo indicado en el inciso 8.4 de la norma ANSI C29.2.

## **11 GARANTIA**

Todos los aisladores tipo suspensión que se indican en esta especificación deben garantizarse en todas sus partes de cualquier problema derivado de vicios ocultos, ocurridos durante su vida útil, la cual no debe ser menor de 30 años. Esta garantía es adicional a la garantía comercial.

## **12 INFORMACION REQUERIDA**

### **12.1 Con la Oferta**

El licitante debe incluir en su propuesta técnica la información siguiente:

- a) El cuestionario técnico contestado (el licitante tiene opción de utilizar otro formato siempre y cuando contenga toda la información requerida y el orden establecido en dicho cuestionario.)
- b) Debe presentar los reportes de prueba de caracterización de la porcelana de acuerdo a lo indicado en las especificación CFE 52000-51 avalados por la Gerencia de LAPEM.
- c) Planos prototipos aprobados por el área usuaria.
- d) Reporte de pruebas de prototipo aprobados por la Gerencia de LAPEM.
- e) Catálogo descriptivo de los aisladores en español.
- f) Descripción de la garantía.

# **INDICE**

## **HERRAJES**

- 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN**
- 2. NORMAS QUE APLICAN**
- 3. DEFINICIONES**
- 4. CLACIFICACION DEL MATERIAL**
- 5. PROCESOS DE FABRICACION**
- 6. ENSAMBLE Y ACABADO**
- 7. CONTROL DE CALIDAD**
- 8. MARCADO**
- 9. ENPAQUE Y ALMACENAMIENTO**

## **1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Esta especificación establece las características mecánicas, dimensionales, tolerancias de fabricación y métodos de prueba, que deben satisfacer los herrajes de material ferroso, con sus accesorios utilizados en la construcción y mantenimiento de redes y líneas aéreas de distribución y subtransmisión, que utiliza la Comisión.

## **2 NORMAS QUE SE APLICAN**

CFE L0000-11-1988	Empaque, Embarque, Recepción, Manejo y Almacenamiento de Bienes Adquiridos por CFE.
NOM-008-SCFI-1993	Sistema General de Unidades de Medida.
NMX B-252 -1988	Requisitos Generales para Planchas, Perfiles, Tablaestacas y Barras de Acero Laminado, para Usos Estructurales.
NMX B-254-1987	Acero Estructural.
NMX H-004-1995	Recubrimientos de Zinc por el Proceso de Inversión en Caliente para Sujetadores de Herrajes de Hierro y Acero.
NMX H-076-1990	Arandelas Planas.
NMX H-118-1988	Sujetadores Roscados de Acero al Carbono.
NMX H-124-1990	Tornillo de Alta Resistencia para Uniones de Acero Estructural.
NMX H-131-1990	Sujetadores Tipo Máquina - Cabeza Hexagonal.
NMX H-132-1990	Tuercas y Contratuerzas Hexagonales Grado Dos.
NMX H-148-1991	Arandelas Helicoidales de Presión Tipo Regular.
NMX H-172-1990	Procedimiento para Soldar Acero Estructural.
NMX J-151-1976	Productos de Hierro y Acero Galvanizados por Inmersión en Caliente.



NMX Z-012/1-1987	Muestreo para Inspecciones por Atributos - Parte 1 -Información General y Aplicaciones.
NMX Z-012/2-1987	Muestreo para la Inspección por Atributos - Parte 2 - Método de Muestreo, Tablas y Gráficas.
NMX Z-012/3-1987	Muestreo para la Inspección por Atributos - Parte 3 - Regla de Cálculo para la Determinación de Planes de Muestreo.
ANSI C135.17-1979	American National Standard for Galvanized Ferrous Bolt-Type Insulator Pins With Lead Threads for Head.
ASTM A47M-1990	Standard Specification for Ferritic Malleable Iron Castings. (Metric).
ASTM A213/A213M REV B-1994	Standard Specification for Seamless Ferritic and Austenitic Alloy-Steel Boiler, Superheater, and Heat - Exchanger Tubes.
ASTM A563-1991	Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nots.
ASTM A668-1990	Steel Forgings, Carbon and Alloy for General Industrial Use.
NEMA CC1-1984	Electric Power Conectors for Substations.

**NOTA:** En caso de que los documentos anteriores sean revisados o modificados debe tomarse en cuenta la edición en vigor o la última edición en la fecha de apertura de las ofertas de la licitación, salvo que la Comisión indique otra cosa.

### **3 DEFINICIONES**

#### **3.1 Acero Estructural**

Barras, perfiles, tubos y otras formas de acero, usadas con propósito de construcción.

#### **3.2 Área sin Galvanizar**

Áreas de un artículo galvanizado que no han reaccionado con el zinc durante el proceso de galvanizado.

#### **3.3 Centrifugado**

Acción de mover el exceso de zinc fundido, inmediatamente después del galvanizado, mediante el uso de fuerza centrífuga.

### **3.4 Decapado**

La remoción de la cascarilla y óxido de las piezas por inmersión de las mismas en reactivos apropiados, tales como ácido sulfúrico o clorhídrico.

### **3.5 Doble Inmersión**

En caso donde la pieza es demasiado grande para permitir el galvanizado en una sola inmersión, se efectúa una segunda inmersión para galvanizar las áreas no sumergidas en la primera inmersión.

### **3.6 Asentamiento de Impurezas (dross)**

Aleación de hierro-zinc que se forma en el fondo de las tinas, durante el proceso de galvanizado, también se le conoce como escoria.

### **3.7 Fragilización**

Una reducción de la ductilidad normal del metal base como resultado de un cambio físico o químico.

### **3.8 Galvanizar**

Recubrir con una capa de zinc cualquier producto de hierro o acero, para protegerlo contra la corrosión.

### **3.9 Galvanizar por Inmersión en Caliente**

Recubrir con zinc fundido, los productos de hierro o acero, después de que han sido sometidos a un proceso de preparación para lograr que se adhiera en ellos una capa de este metal.

### **3.10 Hierro Maleable**

Hierro fundido convertido estructuralmente por un tratamiento térmico con una matriz de ferrita o perlita que contiene nódulos de grafito revenido (rosetas).

### **3.11 Hierro Forjado**

Es el proceso de formado a productos por golpe o presión.

### **3.12 Masa de Recubrimiento**

La masa del recubrimiento de zinc por unidad de área en el metal base.

### **3.13 Metal Base**

Hierro o acero a recubrir o que ha sido recubierto.

### **3.14 Trabajo en Frío**

Deformación permanente de un metal, abajo de su temperatura de recristalización.

### **3.15 Defecto Crítico**

Defecto que puede producir condiciones inseguras o peligrosas, impide el desempeño o funcionamiento correcto.

### **3.16 Defecto Mayor**

Defecto que puede provocar una falla o reducir en forma drástica la utilidad del producto para el que se destina.

## **4 CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL**

Todos los herrajes y accesorios deben cumplir con lo que se especifica a continuación a menos que se indique otra cosa en la especificación CFE particular del producto.

El proveedor debe recurrir antes de iniciar la fabricación de cualquier componente, con el área usuaria y/o Gerencia de LAPEM de Comisión.

### **4.1 Acero Estructural**

Las formas o perfiles de acero estructural que se empleen en la fabricación de los herrajes y accesorios, deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- las dimensiones generales deben estar de acuerdo con la norma NMX B-252,
- las propiedades físicas, químicas y mecánicas deben estar de acuerdo con la norma NMX B-254.

### **4.2 Hierro Maleable**

Los productos de hierro maleable o fundido deben cumplir con lo establecido para este material en la norma ASTM A47M.

### **4.3 Hierro Forjado**

Los productos de hierro forjado en los que así se requiera, deben cumplir con la norma ASTM A668.

## **5 PROCESOS DE FABRICACIÓN**

En los procesos de manufactura del producto terminado los herrajes y accesorios deben estar libres de cualquier defecto.

### **5.1 Cortes**

Los cortes que se ejecuten en el material durante la fabricación de los herrajes deben ser estrictamente ortogonales.

## **5.2 Barrenos**

Los barrenos deben ser efectuados por medio de taladro o punzonado.

## **5.3 Doble**

El doblez en los herrajes que lo requieran, se debe efectuar en caliente o en frío, y en cualquier caso las piezas terminadas deben estar libres de agrietamiento o abolsamiento en las zonas afectadas.

## **5.4 Roscas**

Las roscas internas y externas, ajuste y dimensiones generales de los tornillos y tuercas, deben cumplir con la norma ASTM A-563.

Las roscas pueden ser roladas, tarrajadas o maquinadas, manteniéndose en los tres casos el diámetro nominal de la cuerda.

## **5.5 Soldadura**

Cuando se requieran uniones soldadas, se debe cumplir con la norma NMX H-172 y con lo siguiente:

- a) Las uniones soldadas se deben hacer con soldadura de arco o por resistencia. El tipo de unión y la preparación de los extremos en las piezas a soldar, deben cumplir con lo indicado en las especificaciones del producto.
- b) Las superficies de unión de las piezas por soldar deben estar libres de oxidación, escamas de laminación, grasa o cualquier otra impureza.
- c) Los cordones deben ser corridos alrededor o longitudinalmente a toda el área de contacto entre las piezas, de tal manera que se evite la oxidación en los socabados donde es difícil el flujo de zinc durante el proceso de galvanizado.
- d) Los cordones deben ser uniformes y estar exentos de porosidades, carbón y escoria, antes de aplicar cualquier recubrimiento protector.
- e) El uso de electrodos deja frecuentemente residuos que presentan problemas para el proceso de decapado con las soluciones usuales, por lo que todos los residuos de la soldadura se deben eliminar por medio de chorro de arena o cepillo de alambre de acero.
- f) El cordón de soldadura debe estar libre de grietas, escamas, traslapes o porosidades, debiendo presentar además buena apariencia.

## **5.6 Galvanizado**

Todos los herrajes, accesorios y tornillos, deben ser galvanizados por inmersión en caliente, excepto en los casos que se indique otro tipo de acabado en la especificación del producto. Dicho galvanizado debe ser del tipo especial y cumplir con lo indicado en las normas NMX-J-151 y NMX-H-004, tomando en cuenta lo siguiente:

- a) El galvanizado de los herrajes y accesorios se debe efectuar una vez terminadas las operaciones de manufactura.
- b) Las tuercas se deben repasar después del galvanizado, con un machuelo de 0,4 mm mayor en diámetro que el correspondiente al diámetro nominal de la cuerda.
- c) A todos los productos roscados, excepto las tuercas, después de la galvanización, se les debe efectuar una operación de centrifugación para eliminar los excesos que afectan el ajuste de sus partes.
- d) Las tuercas y tornillos deben ser acabados en tal forma, que después de su galvanizado conserven su ajuste y las tuercas puedan atornillarse con los dedos en toda la longitud de la cuerda del tornillo.
- e) La apariencia de la superficie en los productos galvanizados debe ser uniforme y libre de escurrimientos, exceso de áreas sin recubrimiento y burbujas, libre de dross, figuras, rallas, golpes, escamas, rebabas e imperfecciones que afecten las propiedades mecánicas o que presenten rugosidad, ya que deben tener un aspecto terso al tacto.
- f) Se requiere un certificado de calidad, que garantice el acabado de las piezas sometidas al galvanizado.

## **6 ENSAMBLE Y ACABADO**

### **6.1 Piezas y Componentes**

El componente de cada herraje o accesorio debe estar formado por elementos de una sola pieza, a menos que se indique otra cosa en las especificaciones particulares del producto. En este último caso, deben ser complementados con los materiales descritos como componentes adicionales del producto, por lo cual cada proveedor debe suministrar armados o ensamblados dichos componentes completos con cada producto.

### **6.2 Tornillos y Tuercas**

#### **6.2.1 Material**

Los tornillos y tuercas que se suministren para el ensamble de los herrajes y sus accesorios deben ser de acero, de bajo contenido carbón SAE grado A, de acuerdo a las normas NMX-H-118, NMX-H-131 y NMX-H-132, fabricados en frío o en caliente.

Para las tuercas consultar y cumplir con todo lo establecido en la norma ASTM A563.

#### **6.2.2 Forma y Dimensiones**

El diámetro, longitud y forma de cabeza de tuerca y tornillos, deben cumplir con lo indicado en la especificación particular del producto.

Las cabezas de tornillos deben cumplir con la norma NMX H-131. Las tuercas deben corresponder a las de tipo regular de la norma NMX H-132 . Los tornillos y pernos de los herrajes y accesorios, se deben suministrar con tuerca y chaveta, cuando así lo indique la especificación particular del producto correspondiente.

### **6.3 Accesorios**

#### **6.3.1 Arandelas Planas**

Las arandelas planas deben ser conforme a la norma NMX H-124 y cumplir dimensionalmente con lo indicado en la norma NMX-H-76.

#### **6.3.2 Arandelas de Presión**

Las arandelas de presión deben ser de acero al carbón, endurecido, tipo resorte helicoidal y cumplir con lo indicado en la norma NMX-H-148.

#### **6.3.3 Alfileres**

Los alfileres para aisladores deben cumplir con la norma ANSI C135.17 y con las especificaciones correspondientes del producto en particular.

#### **6.3.4 Chavetas**

Deben ser de acero inoxidable de AISI-316, de acuerdo a lo indicado en la norma ASTM A-213.

### **6.4 Masa**

La masa de los herrajes en ningún caso debe variar más del 5% de la masa indicada en las especificaciones correspondientes de cada producto.

### **6.5 Dimensiones y Tolerancias**

Las dimensiones de los herrajes y accesorios, deben ajustarse a lo establecido en las especificaciones de producto correspondiente y en su caso a las tolerancias indicadas en la tabla 1 de esta especificación.

### **6.6 Acabado de Herrajes y Accesorios**

El acabado de los herrajes y accesorios no deben presentar grietas, escamas, porosidades o cualquier otra imperfección que afecte la resistencia mecánica o la apariencia de los mismos.

**TABLA 2 - Referencia de los materiales forjados y de fundición**

<b>Materiales forjados (1)</b>
Bola y Ojo
Calavera y Ojo
Calavera y Horquilla
Eslabón para grapa de tensión a compresión
Gancho Bola
Gancho Ojo
Grapas Paralelas
Grilletes
Horquillas
Pija 13
Tornillos Máquina
Tuercas de Ojo
Yugos
<b>Materiales de fundición (2)</b>
Aro 84
Marco 84
Tapa 84
Dados
Grapa Amortiguador
Grapa Remate
Grapa Suspensión
Guardacabo de Aluminio
Amortiguador

**NOTA:** Los materiales enlistados en esta tabla, son orientativos no limitativos.

## **7 CONTROL DE CALIDAD**

### **7.1 Certificados de Calidad**

**a) Material.**

El proveedor debe entregar antes de las pruebas los certificados de calidad del metal empleado en la fabricación de los herrajes y sus accesorios. No se aceptan reparaciones ni resanes y las partes deben estar libres de defectos de fundición.

**b) Galvanizados.**

El proveedor debe entregar antes de las pruebas, el certificado de calidad del galvanizado.

## **7.2 Muestreo**

Se debe llevar a cabo de acuerdo con lo indicado en las normas NMX-Z-12/1, NMX-Z-12/2 y NMX -Z-12/3, usando un nivel de inspección II para un plan de muestreo simple normal con los niveles de calidad indicados a continuación:

	Nivel de calidad
- defectos críticos	1,0
- defectos mayores	4,0
- defectos menores	N/A

### **7.2.1 Clasificación de defectos**

En las tablas 3,4,5 y 6 se muestran los defectos críticos, mayores y menores que se consideran al llevar a cabo la inspección y pruebas por el inspector del LAPEM de la Comisión. La inspección comprende detectar lo siguiente:

- defectos en los herrajes en su acabado final,
- defectos en los herrajes fabricados por forja,
- defectos en los herrajes fabricados por fundición,
- defectos en los herrajes fabricados por maquinado y troquelado.

### **7.2.2 Inspección**

El proveedor debe proporcionar al personal de Comisión las facilidades para tener libre acceso a sus instalaciones, a fin de inspeccionar la materia prima, procesos de fabricación, precisión de los instrumentos de control y medición, así como los productos terminados, incluyendo los procedimientos y registros que apoyan estas actividades.

## **7.3 Pruebas**

Deben efectuarse todas las pruebas indicadas en las normas que se citan en el capítulo 2 de esta especificación, aplicando los métodos de prueba que las mismas señalan.

### **7.3.1 Pruebas mecánicas**

Los herrajes y accesorios deben cumplir con las pruebas que marcan las normas citadas en el capítulo 2 de esta especificación, así como con las indicadas en las especificaciones correspondientes de cada producto.

### **7.3.2 Pruebas eléctricas**

Cuando la especificación del producto así lo indique, éste debe ser sometido a las pruebas siguientes:



- a) Elevación de temperatura.
- b) Efecto corona visual.
- c) Radiointerferencia.

Los valores de prueba que deben cumplir, son los indicados en la norma NEMA CC1.

**TABLA 3 - Clasificación de defectos del acabado final**

Inciso	Galvanizado fuera de especificación	Crítico	Mayor
a	Espesor	x	
b	Escamas		x
c	Escurrimiento		x
d	Exceso de material	x	
e	Burbujas		x
f	Aristas filosas *		x
g	Gotas		x
h	Roscas		x
i	Tuercas	x	
j	Escorias	x	
k	Limpieza		x
l	Manchas por fundente		x
m	Crispones		x
n	Grumos	x	
o	Asentamiento de impurezas (dross) *		x
p	Adherencia	x	
q	Áreas sin galvanizar	x	

**TABLA 4 - Clasificación de defectos del acabado por forja**

Inciso	Concepto	Crítico	Mayor
a	Año y número de lote		x
b	Logotipo o identificación		x
c	Tensión mecánica	x	
d	Limpieza		x
e	Pliegues	x	
f	Burbujas		x
g	Manchas por fundente		x
h	Cristales		x
i	Grumos *	x	
j	Espesor	x	
k	Adherencia	x	
l	Áreas desnudas	x	

NOTA: \* para defectos de cualquier tamaño

**TABLA 5 - Clasificación de defectos en los herrajes fabricados por fundición**

<b>Inciso</b>	<b>Tipo de defecto</b>	<b>Crítico</b>	<b>Mayor</b>
a	Año y número de lote		x
b	Logotipo o identificación		x
c	Dimensiones internas	x	
d	Dimensiones externas	x	
e	Posición y tamaño de barreno	x	
f	Poros *	x	
g	Aristas filosas *	x	
h	Grietas *	x	
i	Tensión mecánica	x	
j	Dureza	x	
k	Ensamble	x	

**TABLA 6 - Clasificación de defectos en los herrajes fabricados por maquinado y troquelado**

<b>Inciso</b>	<b>Concepto</b>	<b>Crítico</b>	<b>Mayor</b>
a	Año y número de lote		x
b	Logotipo o identificación		x
c	Dimensiones internas	x	
d	Dimensiones externas	x	
e	Grietas visibles*	x	
f	Tensión mecánica	x	
g	Rebaba *		x
h	Arista filosas*	x	
i	Filo	x	

## **8 MARCADO**

### **8.1 En el Producto**

Para facilitar la identificación de cada producto debe ser marcado con el logotipo o marca de fabricación indicando además el número de lote y año de fabricación. En los productos fabricados en acero forjado o maleable, se deben marcar además la resistencia mecánica de ruptura. Las marcas deben ser estampadas en alto o bajo relieve antes de galvanizar, a fin de quedar perfectamente visibles después del acabado del producto.

### **8.2 En el Empaque**

Cuando el herraje o accesorio requiera empaque, deben aparecer en un lugar visible y en español, los siguientes datos que faciliten su identificación: nombre genérico, (descripción

corta), especificación del producto correspondiente, marca o logotipo del proveedor, cantidad y masa, así como las precauciones que se deben observar en el manejo del producto.

El empaque debe proteger al producto durante el viaje desde el lugar de fabricación hasta el sitio, incluyendo seis (6) meses de almacenamiento en el nivel y bajo las condiciones que se recomienden y que hayan sido aprobadas por la entidad de Comisión que lo haya adquirido.

El empaque debe hacerse de tal forma que permita un recuento rápido sin destruir o vaciar el empaque.

### **8.3 Nomenclatura**

La designación y codificación de los herrajes y accesorios, para efectos de requisitos, pedidos, entrega y manejo por almacenes, se debe hacer conforme se describe en la especificación CFE del producto correspondiente.

## **9 Empaque y Almacenamiento**

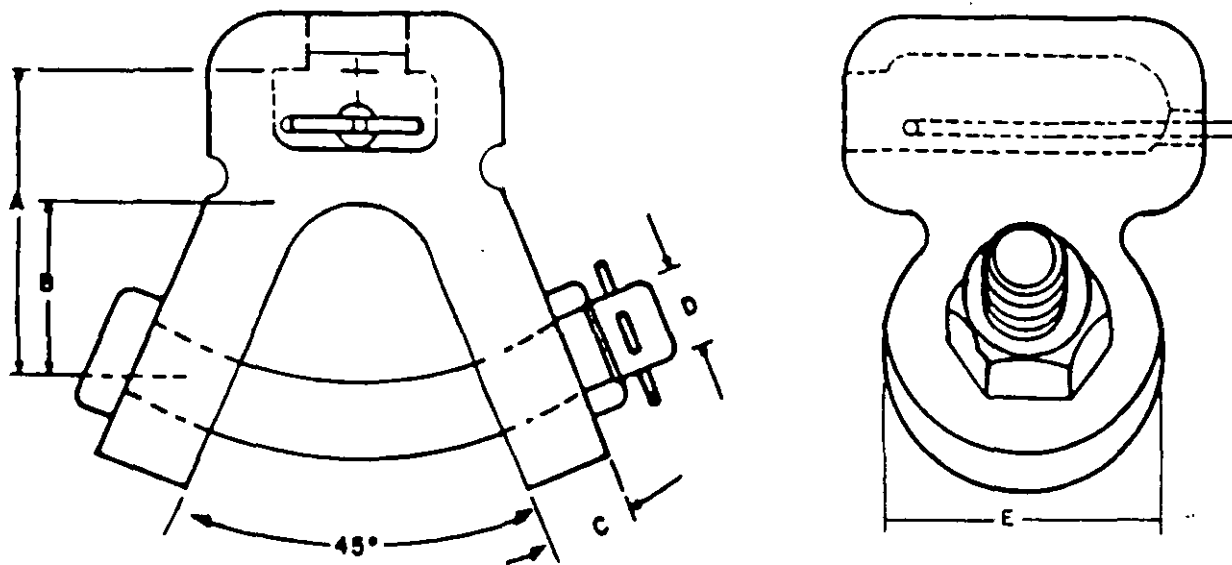
El empaque requerido, así como las recomendaciones de almacenamiento para cada material, se estipulan en la especificación del producto correspondiente. En términos generales, el empaque solicitado debe ser lo suficientemente fuerte para soportar un manejo rudo, presentar la resistencia necesaria para su transporte hasta los puntos de almacenamiento y de utilización, cumpliendo con lo indicado en la especificación CFE L0000-11, indicando la cantidad que ampara cada partida, con identificación clara y permanente.

Adicionalmente a lo anterior, para piezas menores de 3 m y masas hasta 50 kg, éstas se deben entregar sobre tarima (para mover con cargador frontal o montacarga), flejadas y debidamente ordenadas para efectuar un conteo rápido.

Se permite además, que en una tarima se acomoden debidamente ordenados y flejados dos o más tipos de herrajes, cuando las cantidades de cada uno de ellos no sea suficiente para completar la carga de una tarima.

Solo se permite el uso de alambre o fleje galvanizado en amarres o atados de empaques, salvo lo que se indique en la especificación particular del producto.

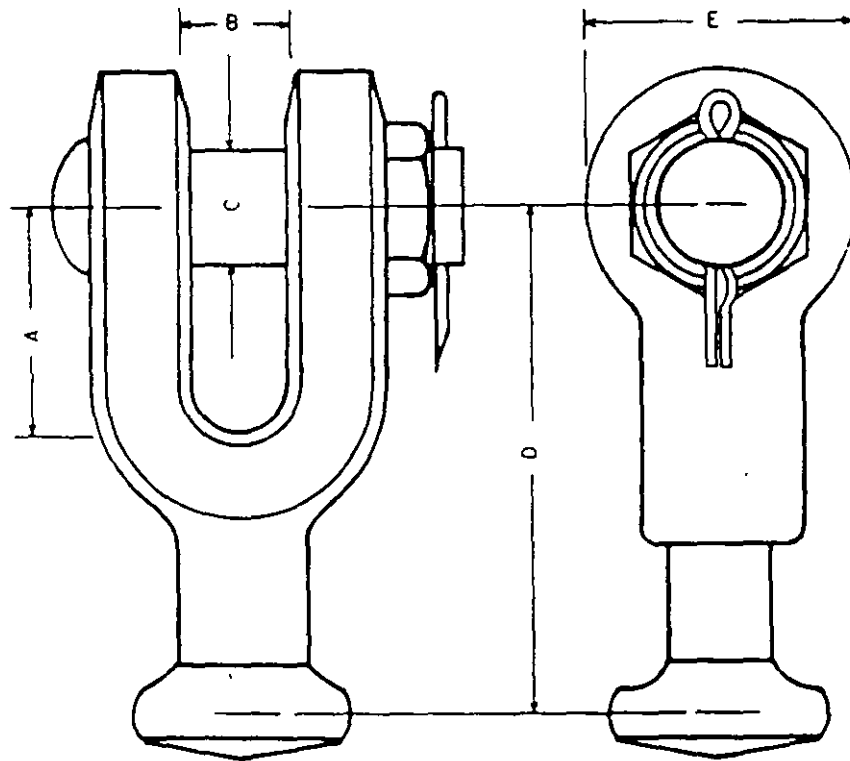
Cuando se usen cajas para empaque estas deben ser de plástico, lámina galvanizada o madera con espesor mínimo de 13 mm.



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	E	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN (kg)	MASA kg	CLASE
2C2AC73382	58	30	13	19	48	133.6 (13620)	1.13	52.5
2C2A684392	63	35	16	22	60	222.7 (22700)	2.27	52.8
2C2AD14392	69	39	16	22	60	222.7 (22700)	2.27	52.8

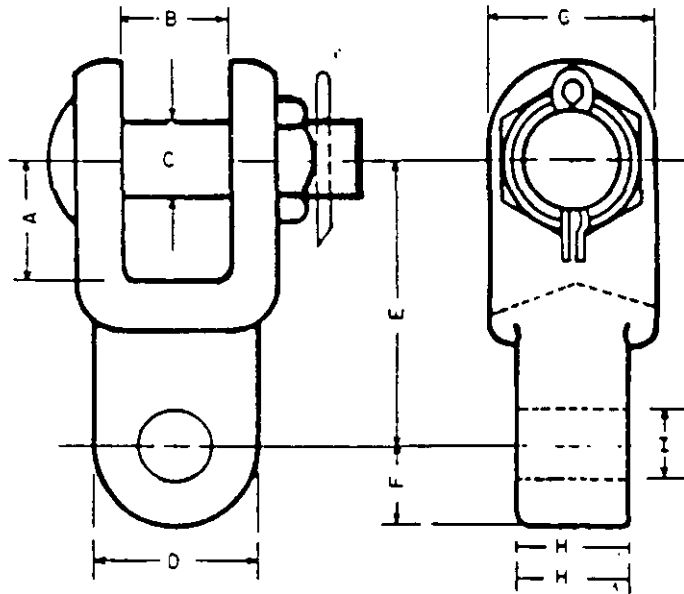
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero forjado o hierro maleable galvanizado  Holgura entre tuerca y horquilla de 2 mm
ESPECIFICACION GENERAL:	CFE. - 20000-01 Herrajes y Accesorios CFE. - 2 HILT-01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	Conjuntos de suspensión vertical 2 conductores por fase Conjuntos de suspensión en "V" 1 y 2 conductores por fase
ACCESORIOS:	Chaveta tipo "R" de acero inoxidable o bronce
ACOTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	E	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN (kg)	MASA EN kg	CLASE
2H3B021111	49	24	22	106	56	160.2 (16380)	1.2	52.8

MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero forjado y galvanizado Holgura entre tuerca y horquilla de 2 mm -
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT-01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjuntos de tensión para 2 conductores por fase
ACCESORIOS:	Chaveta tipo R de acero inoxidable o bronce
ACOTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	E	F	G	H	I	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN	MASA kg
2H3BC72211	35	21	16	44	70	22	45	30	18	112.2 (11340)	1.247
2H3BU72451	35	21	16	44	70	22	45	42	18	222.7 (22700)	1.361

MATERIAL, FORMA Y ACABADO:

Acero forjado y galvanizado

Holgura entre tuerca y horquilla 2 mm

ESPECIFICACION GENERAL:

C.F.E. - 20000 - 01 Herrajes y Accesorios

C.F.E. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión

USO:

Resistencia de ruptura menor: Líneas de 115 kV; 1 conductor

Resistencia de ruptura mayor: líneas de 230 kV; 1 ó 2 conductores

PRUEBAS:

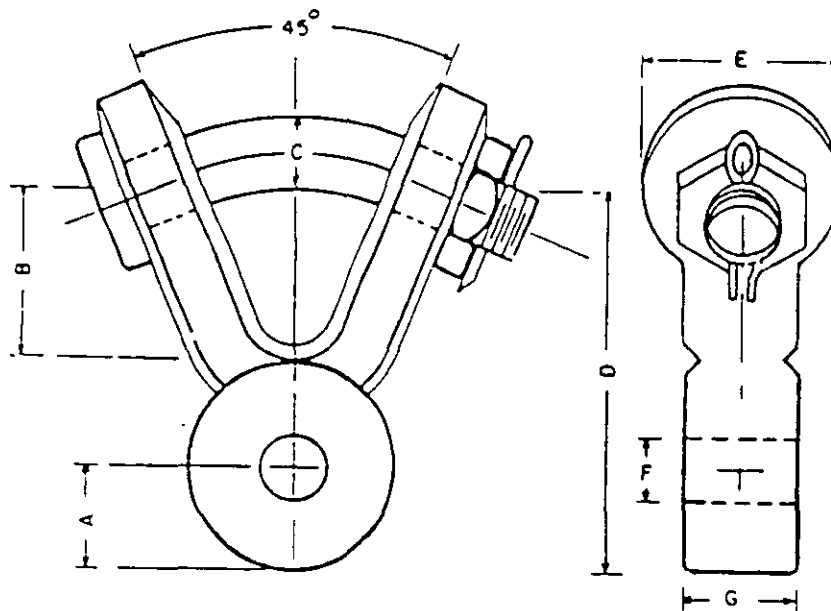
Debe pasar pruebas eléctricas

ACCESORIOS:

Chaveca tipo "R" de acero inoxidable o bronce

ACOTACIONES:

En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	E	F	G	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN (kg)	MASA EN kg.
2H3D091331	21	41	22	62	45	21	44	133.6 (13620)	104

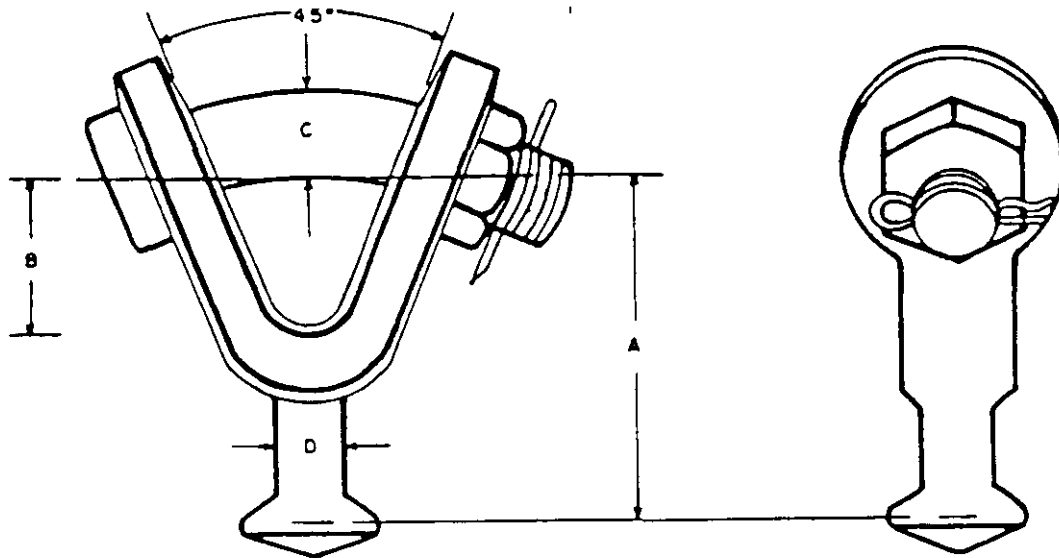
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero forjado o hierro maleable galvanizado  Holgura entre tuerca y horquilla de 2 mm
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT-01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjuntos de suspension vertical; 2 conductores por fase En conjuntos de suspension en "V"; 1 y 2 conductores por fase
ACCESORIOS:	Chaveta tipo R de acero inoxidable o bronce
ACOTACIONES:	En milímetros

HORQUILLA "Y" BOLA

ESPECIFICACION

CFE 2H1LT-06

1 de 1

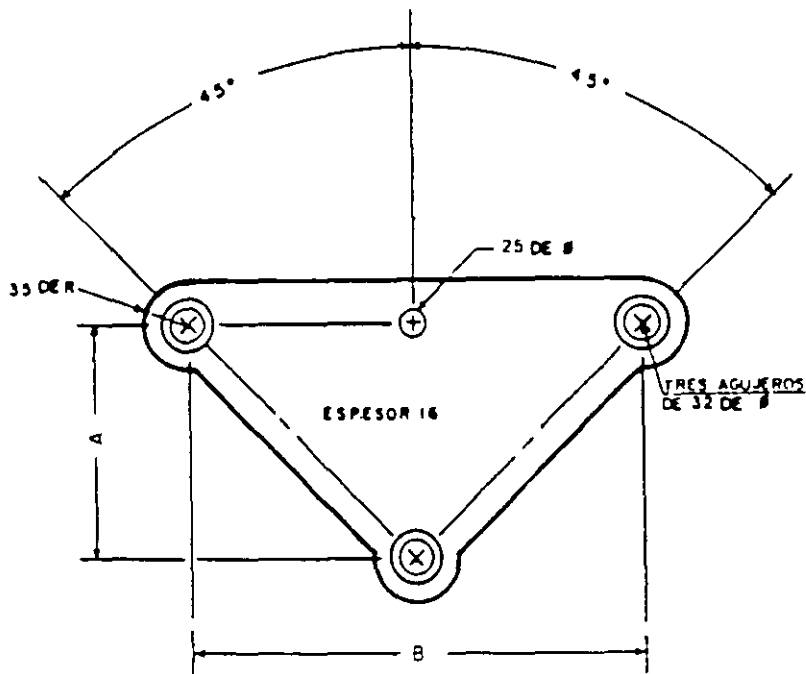


DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN KN (kg.)	MASA kg	CLASE
2H3D093261	76	38	19	18	111.2 (11340)	0.86	52.5
2H3D091111	100	46	22	23	160 (16360)	1.27	52.8

MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero forjado galvanizado  Holgura entre fuerza y horquilla de 2 mm
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000 - 01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjuntos de suspensión vertical: 1 y 2 conductores por fase En conjuntos de suspensión en "Y": 1 y 2 conductores por fase En conjuntos de tensión: 1 y 2 conductores por fase
ACCESORIOS:	Chaveta tipo "R" de acero inoxidable o bronce
ACOTACIONES:	En milímetros

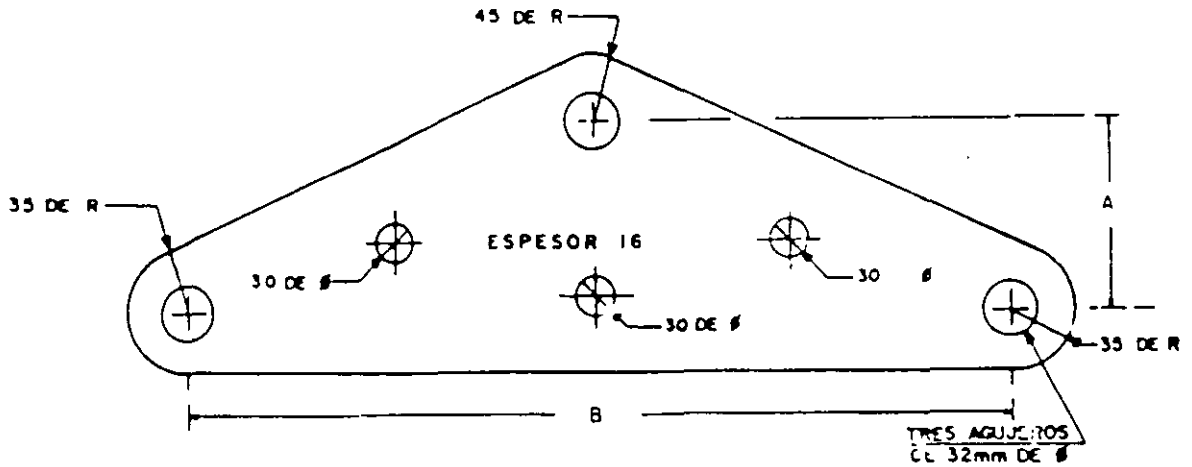




DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN (kg)	M A S A EN kg
2Y11211011	108	216	112.2 (11340)	2

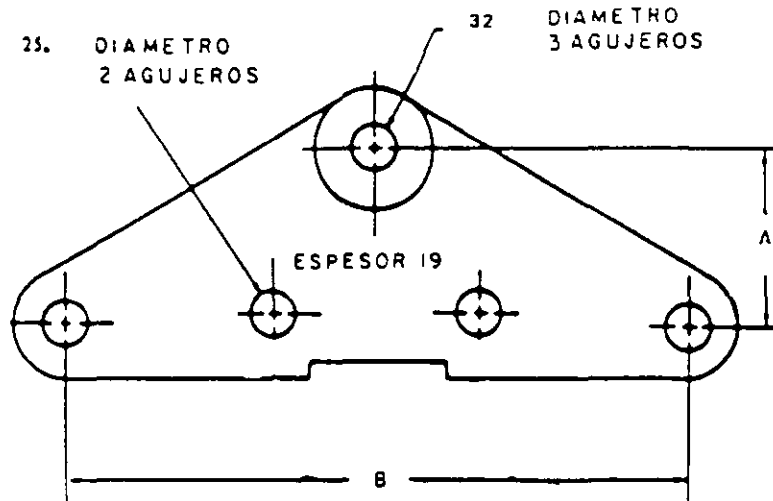
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero estructural o hierro maleable galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT-01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjunto de suspensión en "V": 1 conductor por fase
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas eléctricas
ACOTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN (kg)	M A S A EN kg
2Y.1221011	108	450	111.2 (11340)	12.7

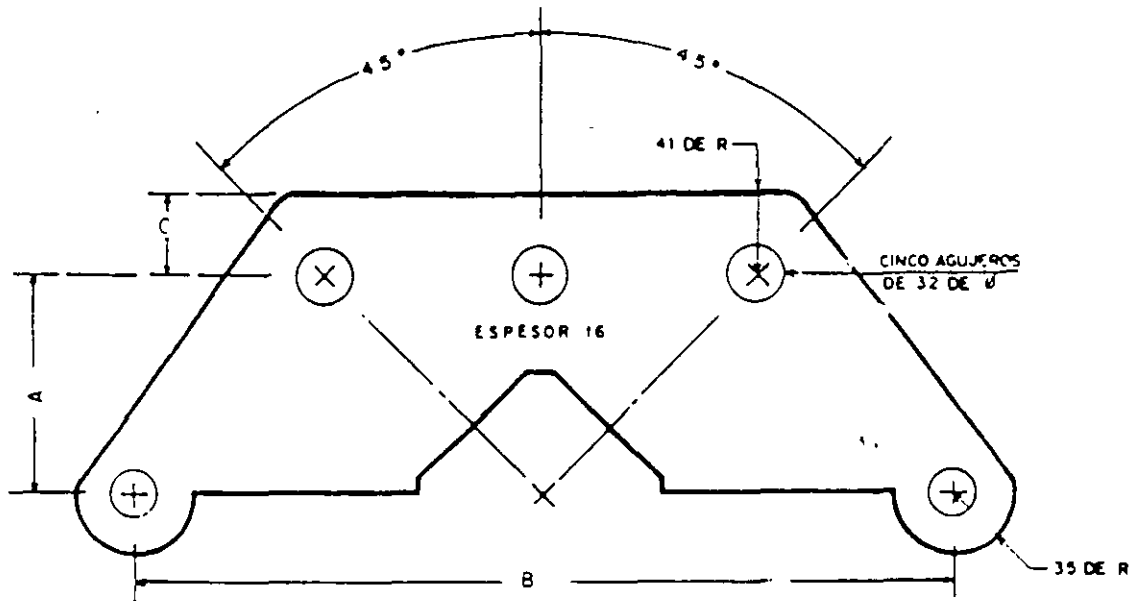
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero estructural o hierro maleable galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjunto de suspensión vertical para 2 conductores por fase
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas eléctricas
ACOTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN (kg)	M A S A EN kg
2Y11220221	127	457	267 (27240)	15.22

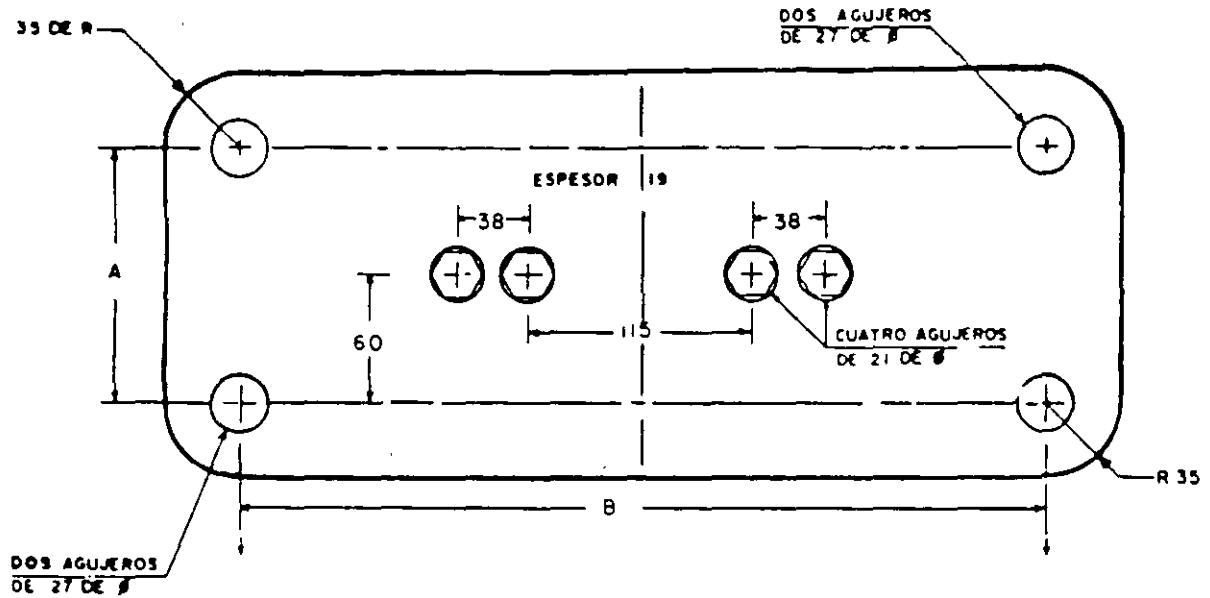
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero estructural o hierro maleable galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT-01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjunto de tensión para 2 conductores por fase
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas eléctricas
ACUTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN (kg)	M A S A EN kg
2Y11624011	127	450	41	111.2 (11340)	8

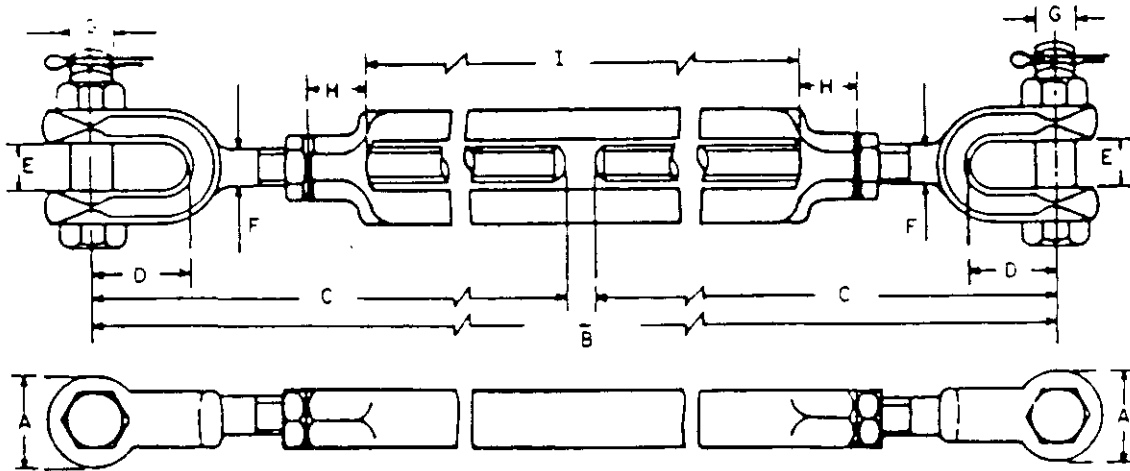
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero estructural o hierro maleable galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E - 20000 - 01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjunto de suspensiones en "V" para 2 conductores por fase
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas eléctricas
ACOTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	RESISTENCIA A LA RUPTURA kN (kg)	M	A	S	A
					EN	kg	
2Y11626042	140	450	222.7 (22700)			15.2	

<b>MATERIAL, FORMA Y ACABADO:</b>	Acero estructural o hierro maleable galvanizado
<b>ESPECIFICACION GENERAL:</b>	C.F.E. - 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
<b>USO:</b>	En conjunto de tensión para dos conductores por fase.
<b>PRUEBAS:</b>	Debe pasar pruebas eléctricas.
<b>ACOTACIONES:</b>	En milímetros.



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

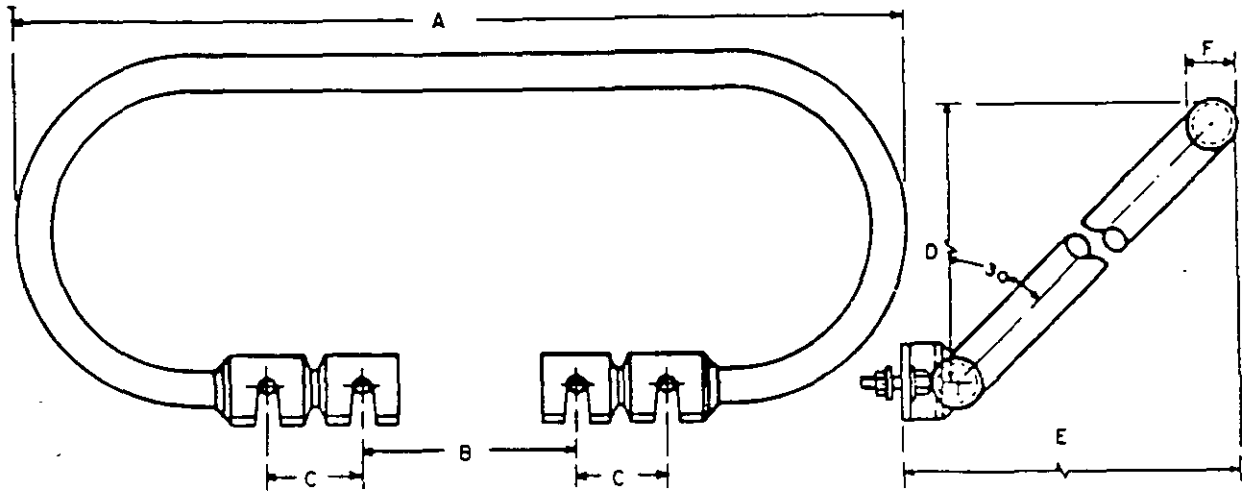
CLAVE	A	B	C	D	E	F	G	H	I	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN(kg)	MASA kg.
2T3EUVY731	46	413-	206	54	29	22	22	33	152	160.2 (16330)	2.0
2T3EQVY831	46	565	206	54	29	22	22	33	152	160.2 (16330)	2.0

MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero estructural o hierro maleable galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000 - 01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjunto de tensión para dos conductores por fase
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas eléctricas
ACOTACIONES:	En milímetros

ANILLO EQUIPOTENCIAL

ESPECIFICACION  
CFE 2HILT-13

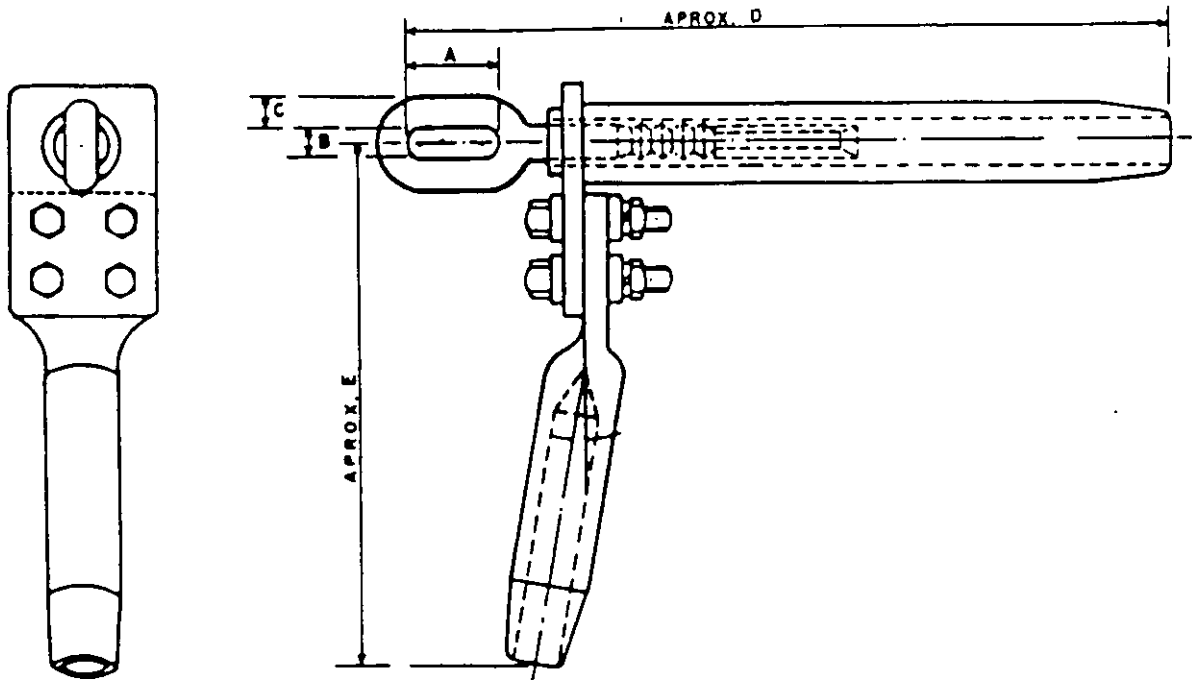
1 de .



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	E	F	Pi	S	A
51A0.0:IAL	930	115	38	275	300	48		EN kg	1.60

MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Aluminio ( ASTM - B108 )
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000 - 01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjuntos de tensión para dos conductores por fase
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas eléctricas
ACOTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	E	CABLE kCM	RESISTENCIA A LA RUPTURA
2621600012	55	20	18	480	280	477	95% De la del cable
2621600112	60	26	24	590	300	795	95% De la del cable
2621600012	60	26	24	610	310	900	95% De la del cable
2621600012	60	26	24	620	325	1113	95% De la del cable

MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Cuerpo: Aluminio Eslabon Acero
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000 - 01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjuntos de tension de uno y dos conductores por fase
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas eléctricas
ACOTACIONES:	En milímetros

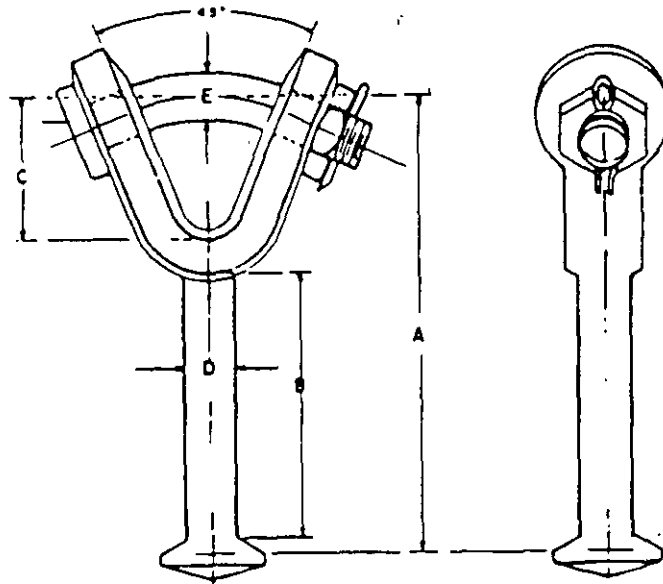


HORQUILLA "Y" BOLA LARGA

ESPECIFICACION

CFE 2HILT-15

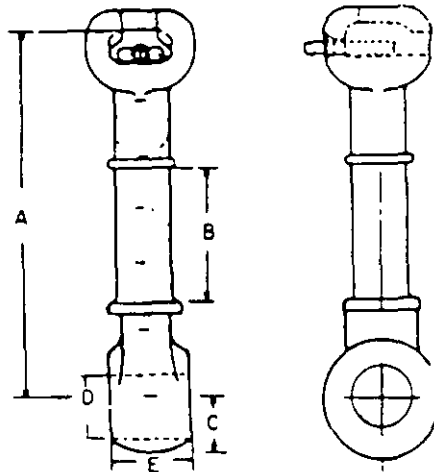
1 de



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	E	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN (kg.)	MASA kg	CLASE
2H3B081311	246	149	48	22	19	133.6 (13620)	1.27	52.5
2H3B061441	259	152	48	22	22	222.7 (22700)	1.68	52.8

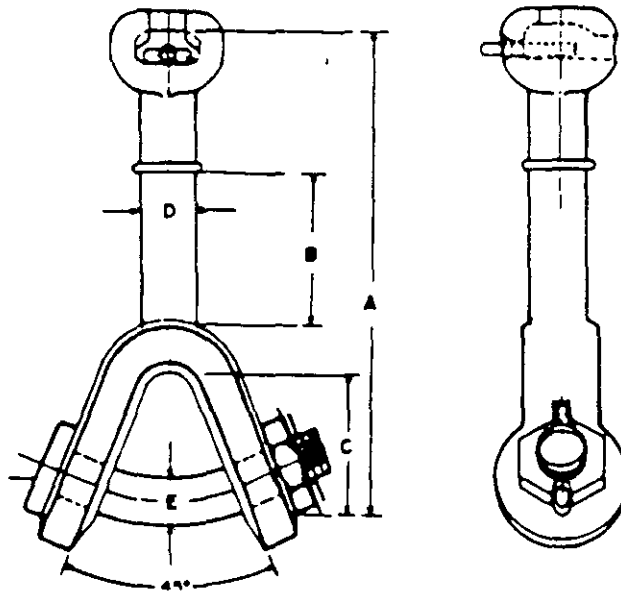
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero forjado y galvanizado Holgura entre tuerca y horquilla de 2 mm
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT-01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En todos los conjuntos de suspensión y tensión de 1 y 2 conductores por fase
ACCESORIOS:	Chaveta tipo "R" de acero inoxidable o bronce
ACOTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	E	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN (kg.)	MASA kg.	CLASE
2C3AC85501	254	152	25	30	32	133.6 (13620)	1.406	52.5

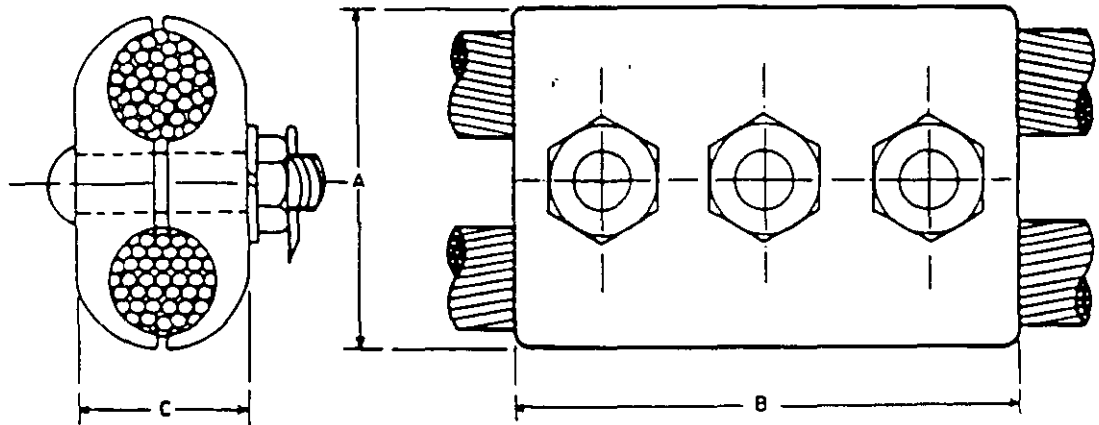
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero forjado o Hierro maleable galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000 -01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT -01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjunto de suspensión vertical para un conductor por fase
ACCESORIOS:	Chaveta tipo "R" de acero inoxidable o bronce
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas eléctricas
ACOTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	E	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN (kg)	MASA EN kg.	CLASE
2C2A593382	262	152	49	22	19	133.6 (13620)	1.6	52.5
2C2A174392	273	150	52	30	22	222.7 (22700)	3.4	52.8

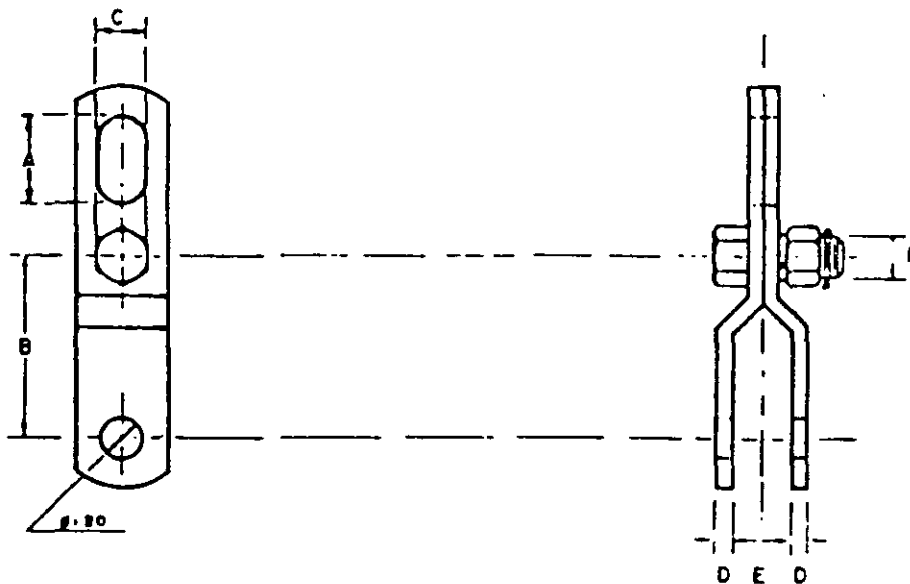
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero forjado o hierro maleabe galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000-01 Herrajes y Accesorios CFE - 2 HILT-01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En todos los conjuntos de suspensión y tensión de uno y dos conductores por fase
ACCESORIOS:	Chaveta tipo "R" de acero inoxidable o bronce
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas eléctricas
ACOTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	DESIGNACION	DIAMETRO CABLE kCM	A	B	C
552000A66A	CONECTOR 477	477	74	140	60
552000B66A	CONECTOR 795	795	105	165	80
552000B66A	CONECTOR 900	900	105	165	80
552000C66A	CONECTOR 1113	1113	128	180	95

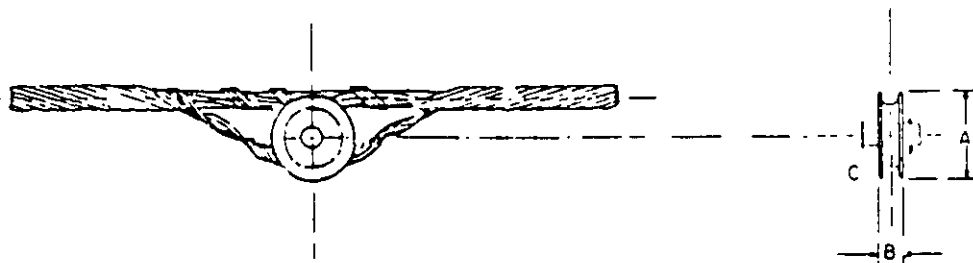
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Aleacion de Aluminio-Silicio, alta resistencia mecánica
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT-01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	Conexión de cable a cable ACSR en transposiciones y puentes en torres de tensión
ACCESORIOS:	Arandela de presión
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas eléctricas y mecánicas de acuerdo con la norma NEMA CCI o NOM-J-383
ACOTACIONES:	En milímetros.



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	E	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN (kg)	MASSA EN kg
2E1AP00032	44	90	17	13	32	111.2 (11340)	1.06

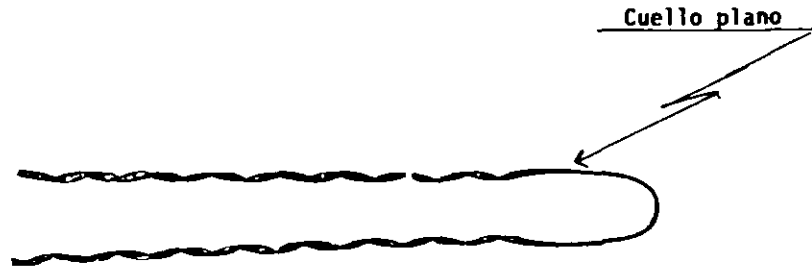
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero estructural galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT-01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjunto de suspensión preformado para el cable de guarda
ACCESORIOS:	Chaveta tipo "R" de acero inoxidable o bronce
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas eléctricas
ACOTACIONES:	En milímetros.



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN (kg)
8TLA000000	86	28	21	111.2 (11340)

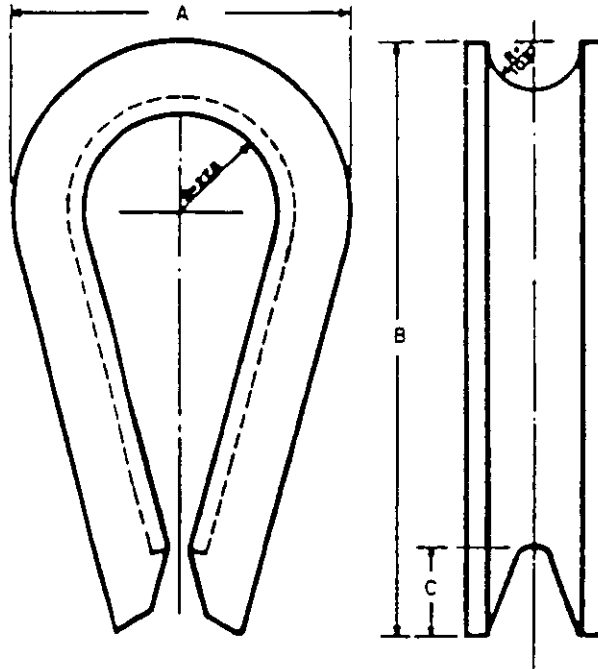
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Polea: Acero estructural galvanizado Preformado: Acero galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000 - 01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjunto de suspensión preformado para el cable de guarda
ACCESORIOS:	Chaveta tipo "R" de acero inoxidable o bronce
ACOTACIONES:	En milímetros.



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	DESIGNACION	LONGITUD mm	DIAMETRO DEL CABLE
517H58627P	REMATE PA 9.5	889	9.5

MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Varillas preformadas de acero galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT-01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	Rematar cable de guarda
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas mecánicas: Debe soportar una carga de deslizamiento no menor del 95% de la carga de ruptura del c
ABREVIATURAS:	Remate PA 9.5 Remate preformado de acero 9.5

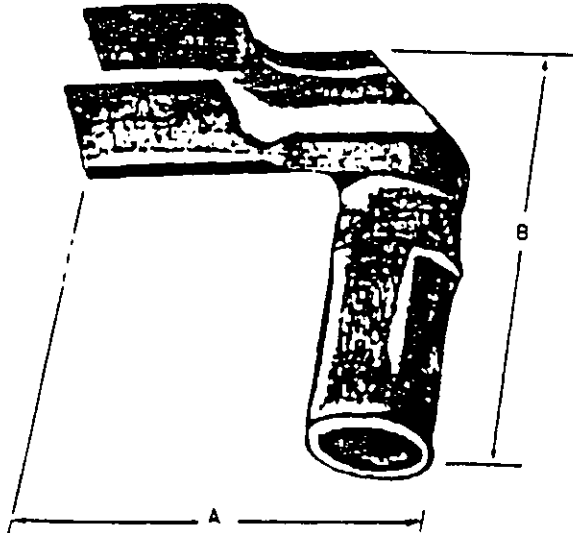


DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	MASA EN kg
2R3A21C08E	79	122	24	0.085

MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Lamina de acero, galvanizado calibre No 12 USG
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT- 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En remates de cable de guarda
ACOTACIONES:	En milímetros

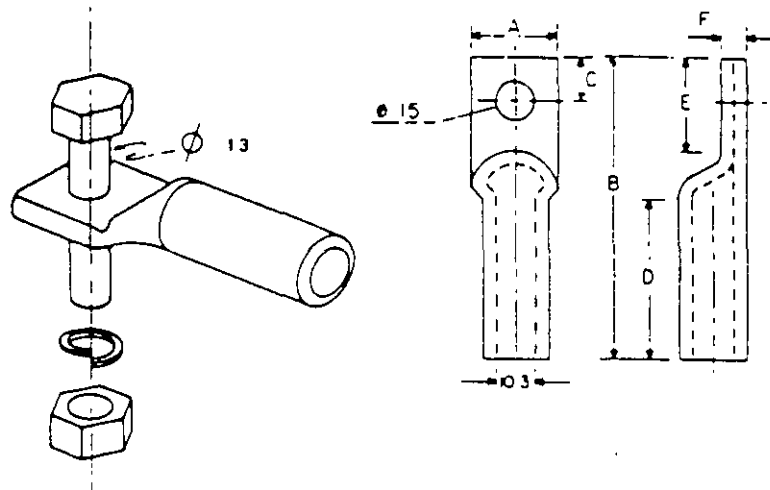




DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	MASA kg
5590003003	79	79	0.15

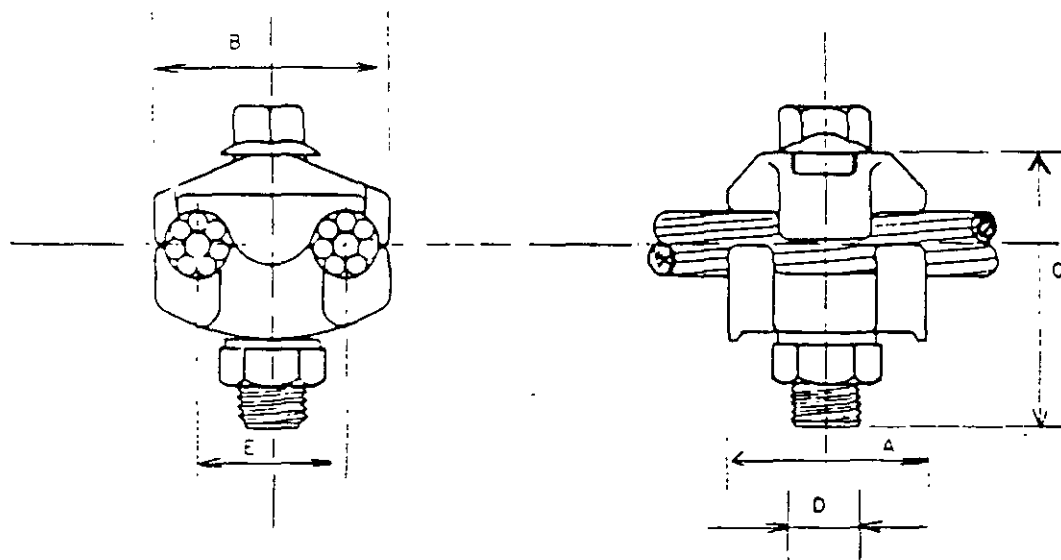
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Aleacion de aluminio o acero galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT -01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	Conexion de cable a cable de guarda de acero galvanizado, 9.5 mm o 7 No.8 AAS
PRUEBAS:	Carga de deslizamiento del cable, mínimo 5% de la carga de ruptura del cable
ACOTACIONES:	En milímetros
ABREVIATURAS:	AAS Acero con aluminio soldado



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	E	F	M A S A kg
5580007033	32	92	13	41	35	8	.0022

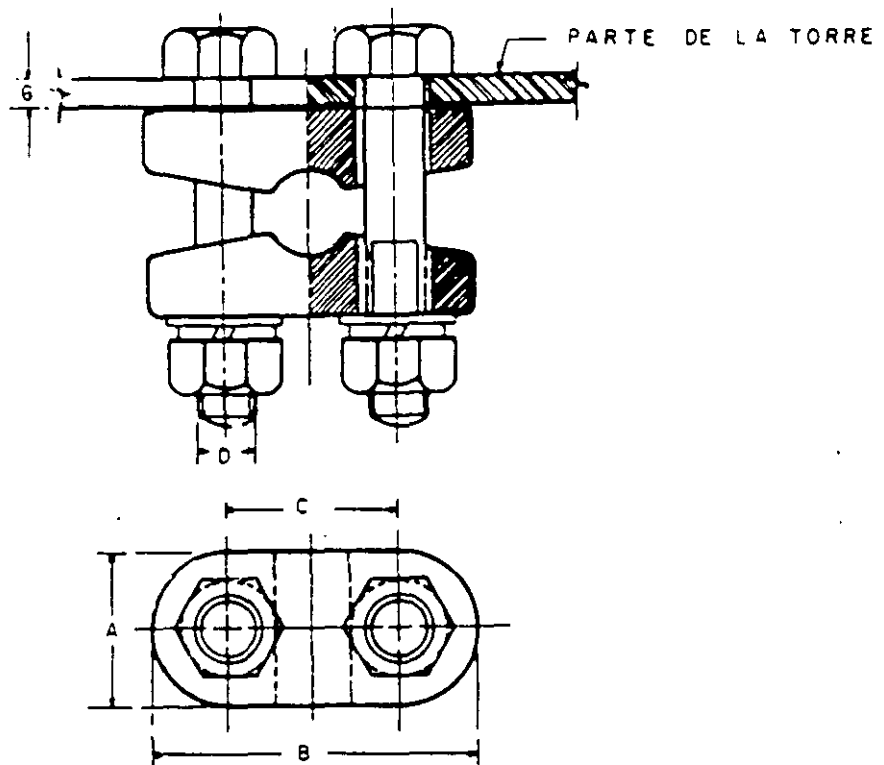
MATERIAL, FORMA Y ACABADO	Aleación de aluminio o acero galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL	CFE. - 20000 - 01 Herrajes y Accesorios CFE. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	Conexión de bajada del cable de guarda con las torres (acero galvanizado 9.5mm. o 7 N° 8 AAS)
ACCESORIOS:	Un tornillo de acero galvanizado de 13 mm de diámetro y longitud específica, con arandela de presión y tuerca
ACOTACIONES:	En milímetros.
ABREVIATURAS:	AAS Acero con aluminio soldado



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	E	MASA EN kg.
5520066BNB	50	41	40	9.5	21	0.26

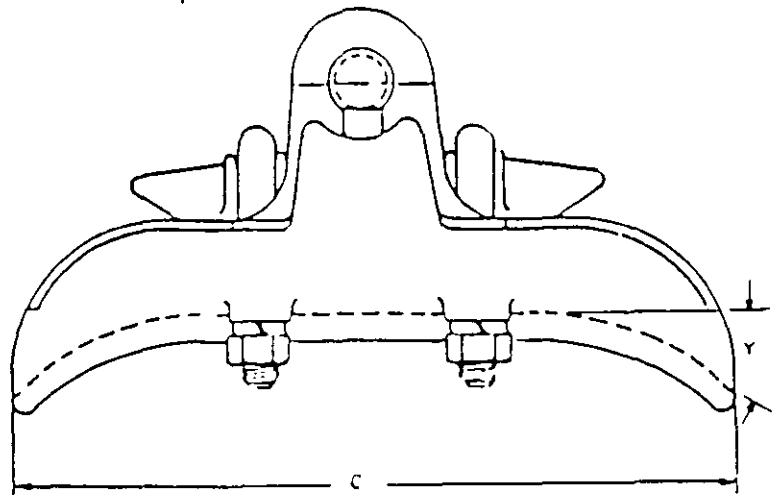
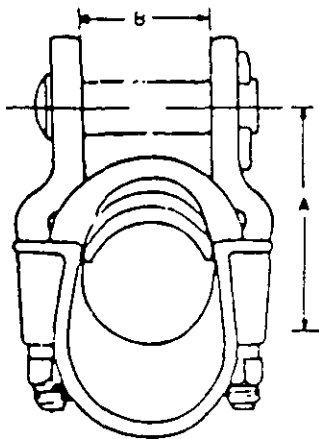
MATERIAL, FORMA Y ACABADO	Cuerpo del conector: acero forjado galvanizado  Tornillo, Arandela y Tuerca: acero galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E - 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	Conexión de dos cables a superficie plana
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas mecánicas
ACOTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	MASA EN kg
55B000A04A	30	64	34	13	0.26

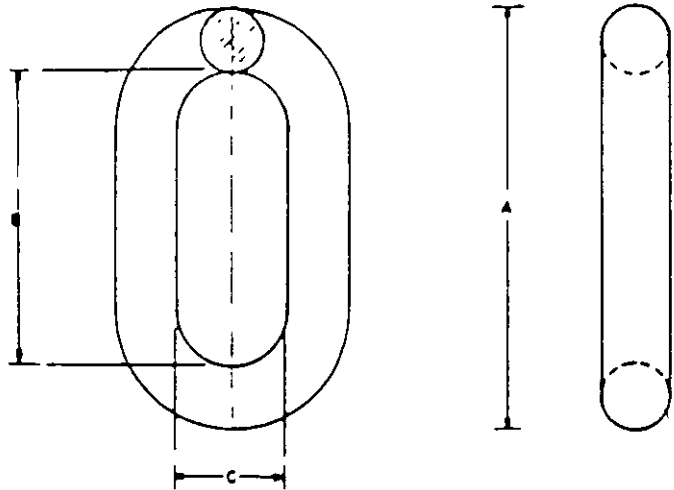
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Acero forjado galvanizado o hierro maleable galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000 - 01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjuntos de tensión para el cable de guarda
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas mecánicas
ACOTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	Y	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN (kg)	MASA EN kg
ZCSAF2V100	52	19	171	30°	75714 (7718)	0.86

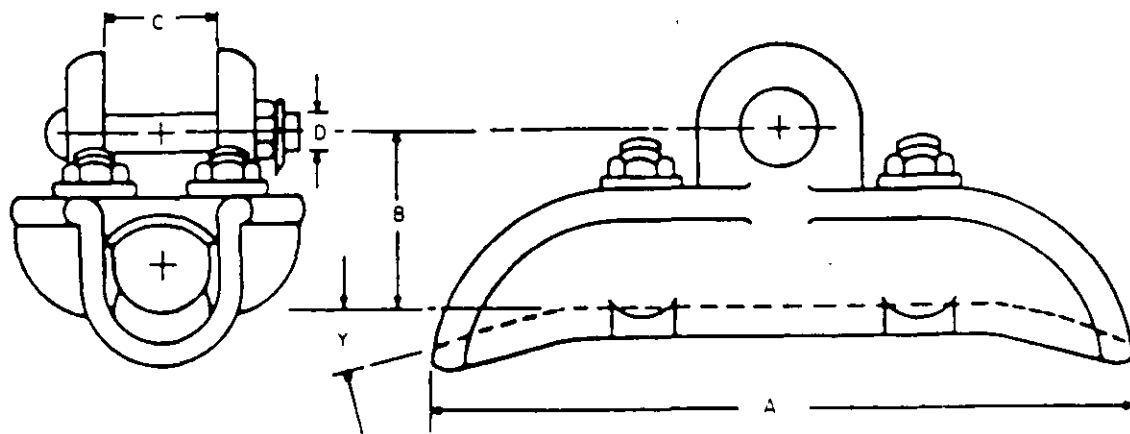
MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Aleación de Aluminio-Silicio, alta resistencia mecánica o hierro mateable galvanizado.
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000-01 Herrajes para accesorios CFE - 2 HILT-01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjunto de suspensión para el cable de guarda
ACCESORIOS:	Chaveta tipo "R" de acero inoxidable o bronce
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas eléctricas y mecánicas
ACOTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN(kg)	MASA kg
2EiAR01060	82	57	25	135.6 (13620)	0.20

MATERIAL, FORMA Y ACABADO	Acero forjado galvanizado
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. - 20000 - 01 Herrajes y Accesorios C.F.E. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjunto de suspensión para el cable de guarda
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas mecánicas
ACOTACIONES:	En milímetros



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	A	B	C	D	Y	RESISTENCIA A LA RUPTURA EN kN(kg.)	MASA kg
2C5AF4CK00	270	89	55	16	20°	111.2 (11350)	2.22

MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Aleación aluminio - Silicio, alta resistencia mecánica
ESPECIFICACION GENERAL:	CFE. - 20000-01 Herrajes y Accesorios CFE. - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjuntos de suspensión vertical y de suspensión en "V": 2 conductores por fase
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas mecánicas
ACOTACIONES:	En milímetros

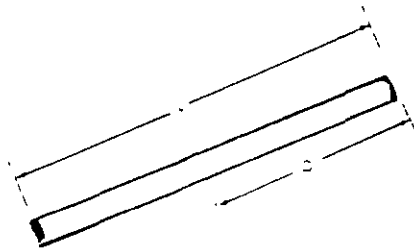


DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	DESIGNACION	VARILLAS			PARA CABLE ACSR KCM
		Número	Diámetro	Longitud	
513A7Y82LF	VARILLAS PREFORMADAS ACSR 1113	12	9.27	2540	1113

MATERIAL, FORMA Y ACABADO:	Aleacion de aluminio, con los extremos en forma de pico de loro. ("Parrot bill")
ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. 20000-01 Herrajes y Accesorios C.F.E. 2HILT-01 Herrajes para Líneas de Transmisión
USO:	En conjuntos de suspensión vertical y de suspensión en "V": 2 conductores por fase
ACOTACIONES:	En milímetros.





DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	DESIGNACION	RANGO DEL CABLE	L mm	D mm	MASA kg
512KA9710A	EMPALME CA 8	CABLE DE ACERO 8	187	92	0.25
512KIM008Z	EMPALME CAAS 3N <sub>0</sub> 8	CABLE AAS	165	81	0.20
512KAB012A	EMPALME CA 9.5	CABLE DE ACERO 9.5	343	170	0.77
512KIROARA	EMPALME CAAS 7N <sub>0</sub> 8	CABLE AAS 7N <sub>0</sub> 8			

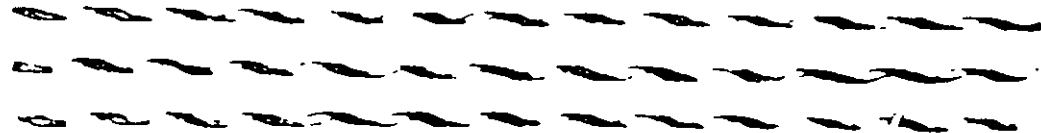
MATERIAL, FORMA Y ACABADO Tubo de acero codminizado recubierto interiormente con partículas de carburo de silicio.

ESPECIFICACION GENERAL. CFE. - 20000-01 Herrajes y Accesorios  
CFE - 2 HILT -01 Herrajes para Líneas de Transmisión

USO. Para unir dos cables de acero galvanizado o dos cables de acero aluminio soldado

PRUEBAS. Debe pasar pruebas eléctricas y mecánicas.

ABREVIATURAS. CA 8 Cable de acero de 8 mm de diámetro, alta resistencia  
CA 9.5 Cable de acero de 9.5 mm de diámetro, Siemens-Martín  
AAS: Acero aluminio soldado



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

CLAVE	DESIGNACION	Nº DE SUB JUEGOS	LONGITUD DE LAS VARILLAS	PARA CABLE
512DA972K3	EMPALME PA 8	3	1067 mm	CABLE DE ACERO DE 8 mm DE DIAMETRO ALTA RESISTENCIA
512DA97313	EMPALME PA 9.5	3	1270 mm	CABLE DE ACERO DE 9.5 mm DIAMETRO SIEMENS - MARTIN

MATERIAL, FORMA Y ACABADO: Varillas preformadas de acero galvanizado, agrupadas en 3 subjuegos

ESPECIFICACION GENERAL: CFE - 20000 - 01 Herrajes y Accesorios  
CFE - 2 HILT - 01 Herrajes para Líneas de Transmisión

USO: Para unir dos cables de acero galvanizado

PRUEBAS: Debe pasar pruebas eléctricas y mecánicas

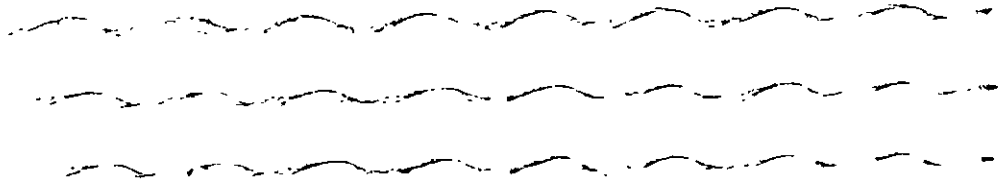
ABREVIATURAS: EMPALME PA 8: Preformado para cable de acero de 8 mm de diámetro  
EMPALME PA 9.5: Preformado para cable de acero de 9.5 mm de diámetro



DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS

Clave	Designación	Para conductor ACSR	Longitud (mm)		M A S A Kg
			ALUMINIO	ACERO	
512H31H1FA	EMPALME 336 4 (26/7)	336.4 KCM (26/7)	635	165	1.32
512H3BH1GA	EMPALME 477 (26/7)	477 KCM (26/7)	654	187	1.45
512H5BH1RA	EMPALME 795 (26/7)	795 KCM (26/7)	724	165	1.90
512H5HT2AA	EMPALME 900 (54/7)	900 KCM (54/7)	954	343	2.40
512H5PR1BA	EMPALME 1113 (45/7)	1113 KCM (45/7)	787	187	1.77

MATERIAL, FORMA Y ACABADO	Manguito exterior Aleación de aluminio Manguito interior Acero cadminizado
ESPECIFICACION GENERAL	CFE - 20000-01 Herrajes y Accesorios - CFE - 2 HILT-01 Herrajes para Ls de T
USO	Para unir dos conductores ACSR
PRUEBAS:	Debe pasar pruebas eléctricas y mecánicas
ABREVIATURAS:	Ls de T = Líneas de transmisión



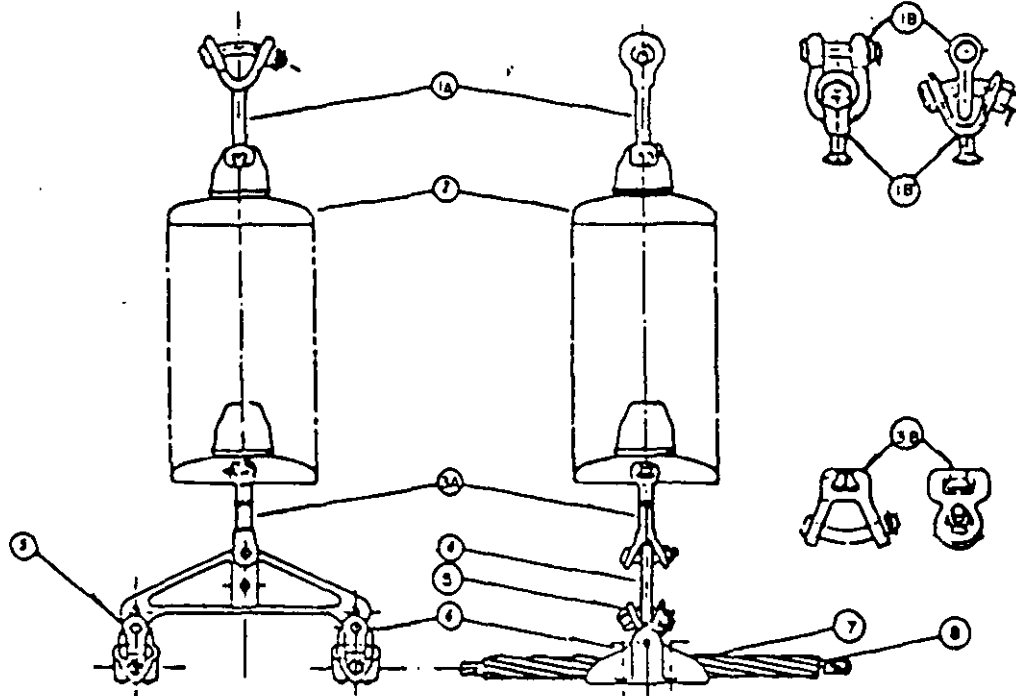
DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS

Clave	Designación	Número de subjuegos	Longitud de las varillas	Para cable
5 2 F 43 43	Empalme PAAS 3 / 8	3	71 mm	CABLE AAS CAL BRE 3/8
512F1R72SB	Empalme PAAS 7 / 8	3	166 mm	CABLE AAS CAL BRE 7 N° 8

MATERIAL, FORMA Y ACABADO	Varillas preformadas de acero recubiertas de aluminio soldado, agrupadas en 3 juegos
ESPECIFICACION GENERAL	CFE - 20000 - O Herrajes y Accesorios CFE - 2 HILT - O Herrajes para Ls de T
USO	Para unir dos cables de acero recubiertos de aluminio soldado
PRUEBAS	Debe pasar pruebas eléctricas y mecánicas
ABREVIATURAS:	EMPALME PAAS: Empalme preformado de acero recubierta de aluminio soldado

ALTERNATIVA "A"

ALTERNATIVA "B"



LISTA DE PARTES Y MATERIALES

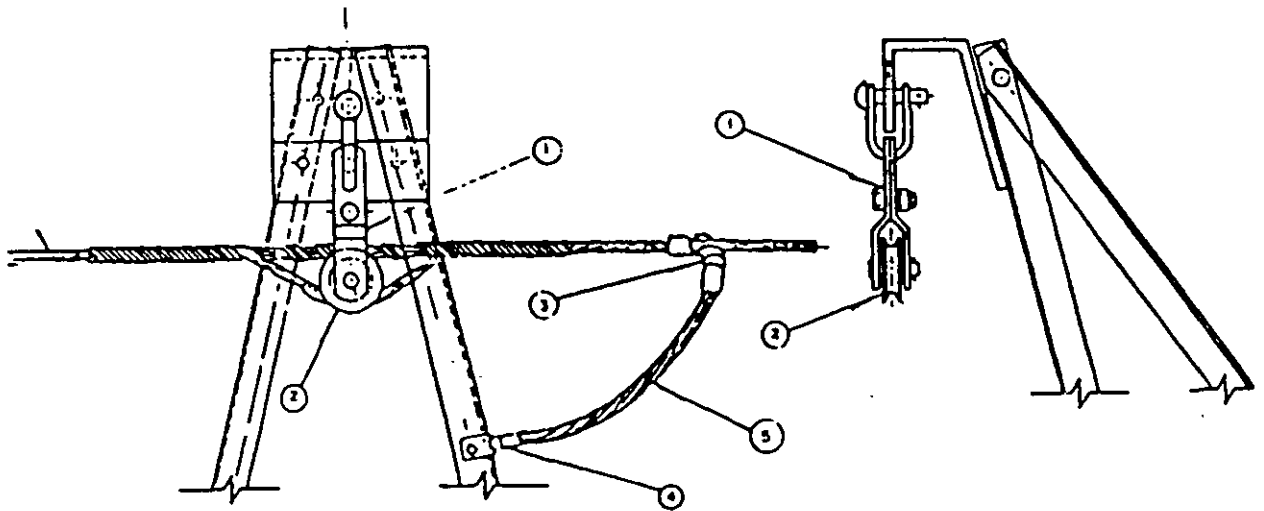
PART	DESCRIPCION	CANT	MATERIAL	ESPECIFICACION
1A	Horquilla "Y" Bola larga	1	Acero forjado galvanizado	2 HILT-15
2	Aisladores		Se adquieren por separado	
3A	Colavera horquilla en "Y" larga	1	Acero forjado o hierro maleable galvanizado	2 HILT-17
4	Yugo triangular I 2	1	Acero estructural o hierro maleable galvanizado	2 HILT-08
5	Horquilla "Y" ojo corta	2	Acero forjado galvanizado	2 HILT-05
6	Grapa de suspensión III3	2	Aleación aluminio y silicio	2 HILT-29
7	Verillos protectores	2	Aluminio	2 HILT-30
8	Cable conductor ACSR		Se adquiere por separado	
1B	Grillete	1	Acero forjado galvanizado	2 G300-84
1B'	Horquilla "Y" Bola corta	1	Acero forjado galvanizado	2 HILT-06
3B	Colavera horquilla en "Y" corta	1	Acero forjado o hierro maleable galvanizado	2 HILT-02

ESPECIFICACION GENERAL:	C.F.E. 20 000 - 01 Herrajes y accesorios
	C.F.E. 2 HILT - 01 Herrajes para Ls. de T.
	C.F.E. 2 HILT - 41 Conjuntos de herrajes para Ls. de T.
CARACTERISTICAS PARTICULARES: (la CFE las definirá)	Alternativa:
	Esfuerzo electromecánico
	Calibre del conductor:
ABREVIATURAS:	Ls. de T. = Líneas de Transmisión

CONJUNTO DE SUSPENSION PREFORMADO  
PARA EL CABLE DE GUARDA

ESPECIFICACION  
C.F.E. 2HILT-48

1 de 1



LISTA DE PARTES Y MATERIALES

PART.	DESCRIPCION	CANT.	MATERIAL	ESPECIFICACION
1	Eslobón para Cable de Guarda	1	Acero estructural galvanizado	2 HILT-19
2	Juego de Suspensión Tipo Polea	1	Acero galvanizado	2 HILT-20
3	Conector o Compresión Cable o Cable	1	Lámina de acero galvanizado	2 HILT-23
4	Conector o Compresión de Cable o Solera	1	Aleación de aluminio y acero galvanizado	2 HILT-24
5	Cable de Guarda	Se adquiere por separado		

ESPECIFICACION GENERAL:

C.F.E. 20000-01 Herrajes y Accesorios

C.F.E. 2HILT-01 Herrajes para Ls. de T.

C.F.E. 2HILT-41 Conjuntos de Herrajes para Ls. de T.

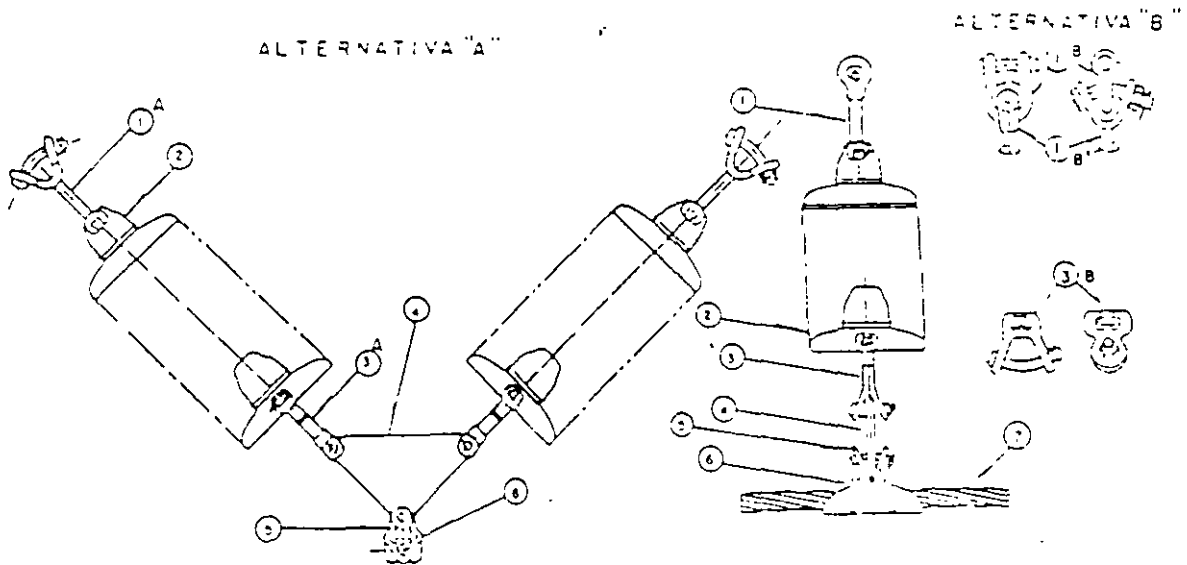
CARACTERISTICAS PARTICULARES  
(la CFE las definirá)

Esfuerzo electromecánico

Calibre del conductor:

ABREVIATURAS:

Ls. de T. = Líneas de Transmisión



LISTA DE PARTES Y MATERIALES

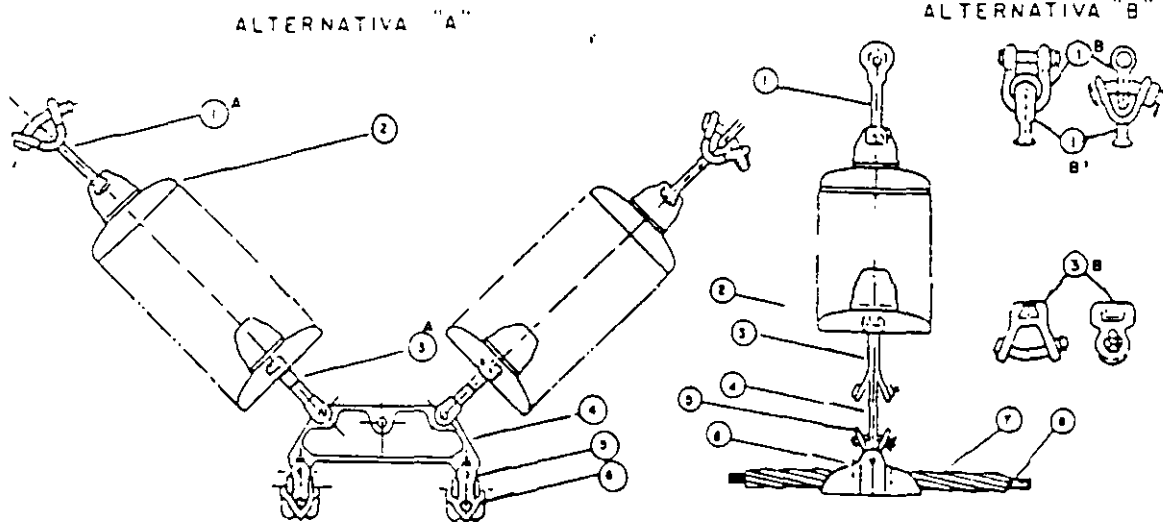
PART	DESCRIPCION	CANT	MATERIAL	ESPECIFICACION
1A	Horquilla "Y" Bola Larga	2	Acero forjado galvanizado	2 HILT-15
2	Aisladores	Se adquiere por separado		
3A	Colavera Horquilla en "Y" Largo	2	Acero forjado o hierro maleable galvanizado	2 HILT-17
4	Yugo Triangular VI	1	Acero estructural o hierro forjado galvanizado	2 HILT-07
5	Horquilla Ojo Revirado	1	Acero forjado galvanizado	2 HILT-04
6	Grapa de Suspensión	1	Aleación aluminio-silicio	2 C 500-69
7	Cable conductor ACSR	Se adquiere por separado		
1B	Grillete	2	Acero forjado galvanizado	2G 300-84
1B'	Horquilla "Y" Bola Corta	2	Acero forjado galvanizado	2 HILT-06
3	Colavera Horquilla "Y" Corta	2	Acero forjado o hierro maleable galvanizado	2 HILT-02

ESPECIFICACION GENERAL	CFE. 2000-01 Herrajes y Accesorios
	C.F.E. 2HILT-01 Herrajes para Ls. de T.
	C.F.E. 2HILT-41 Conjuntos de Herrajes para Ls. de T.
CARACTERISTICAS PARTICULARES (la CFE las definirá)	Alternativa:
	Esfuerzo electromecánico:
	Calibre del conductor:
ABREVIATURAS	Ls. de T = Líneas de Transmisión

CONJUNTO DE SUSPENSION EN "V" PARA  
DOS CONDUCTORES POR FASE.

ESPECIFICACION  
C.F.E. 2HILT-45

1 de 1



LISTA DE PARTES Y MATERIALES

PART.	DESCRIPCION	CANT.	MATERIAL	ESPECIFICACION
1 A	Horquilla "Y" Bolo Largo	2	Acero forjado galvanizado	2 HILT-15
2	Aisladores	Se adquiere por separado		
3 A	Calavera Horquilla "Y" Largo	2	Acero forjado o hierro maleable galvanizado	2 HILT-17
4	Yugo Trapezoidal V2	1	Acero estructural o hierro maleable galvanizado	2 HILT-10
5	Horquilla Ojo Revirado	2	Acero forjado galvanizado	2 HILT-04
6	Grapa de Suspensión 1113	2	Aleación aluminio-silicio	2 HILT-29
7	Varillas Protectoras Preformadas	2	Aluminio	2 HILT-30
8	Cable Conductor ACSR.	Se adquiere por separado		
1 B	Grillele	2	Acero forjado galvanizado	2 G300-84
1 B'	Horquilla "Y" Bolo Corta	2	Acero forjado galvanizado	2 HILT-06
3 B	Calavera Horquilla "Y" Corta	2	Acero forjado o hierro maleable galvanizado	2 HILT-02

ESPECIFICACION GENERAL	C.F.E. 2000-01 Herrajes y Accesorios
	C.F.E. 2HILT-01 Herrajes para Ls. de T.
	C.F.E. 2HILT-41 Conjuntos de herrajes para Ls. de T.
CARACTERISTICAS PARTICULARES (la CFE las definirá)	Alternativa;
	Esfuerzo electromecánico:
	Calibre del conductor:
ABREVIATURAS	Ls. de T. = Líneas de Transmisión



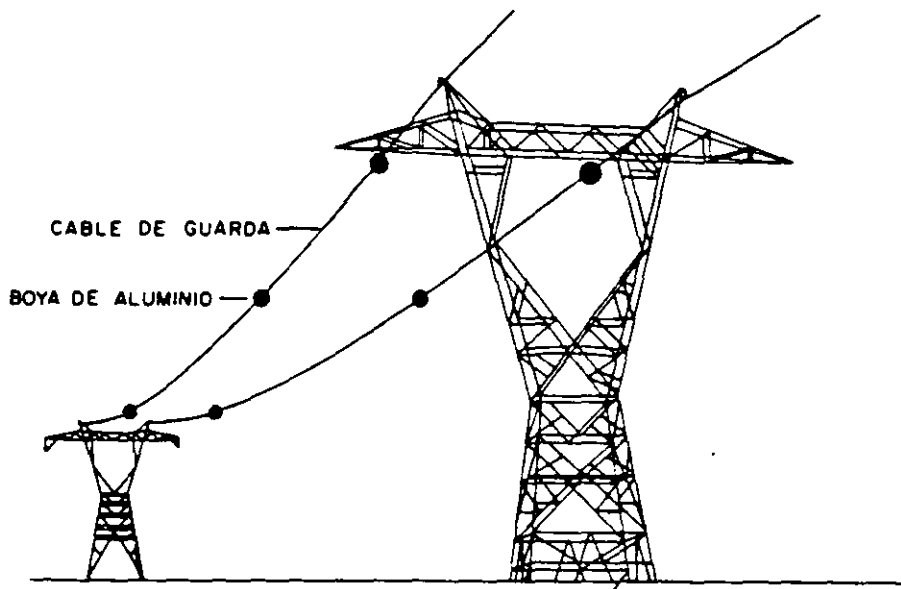


FIGURA 7 - Ubicación de la boya

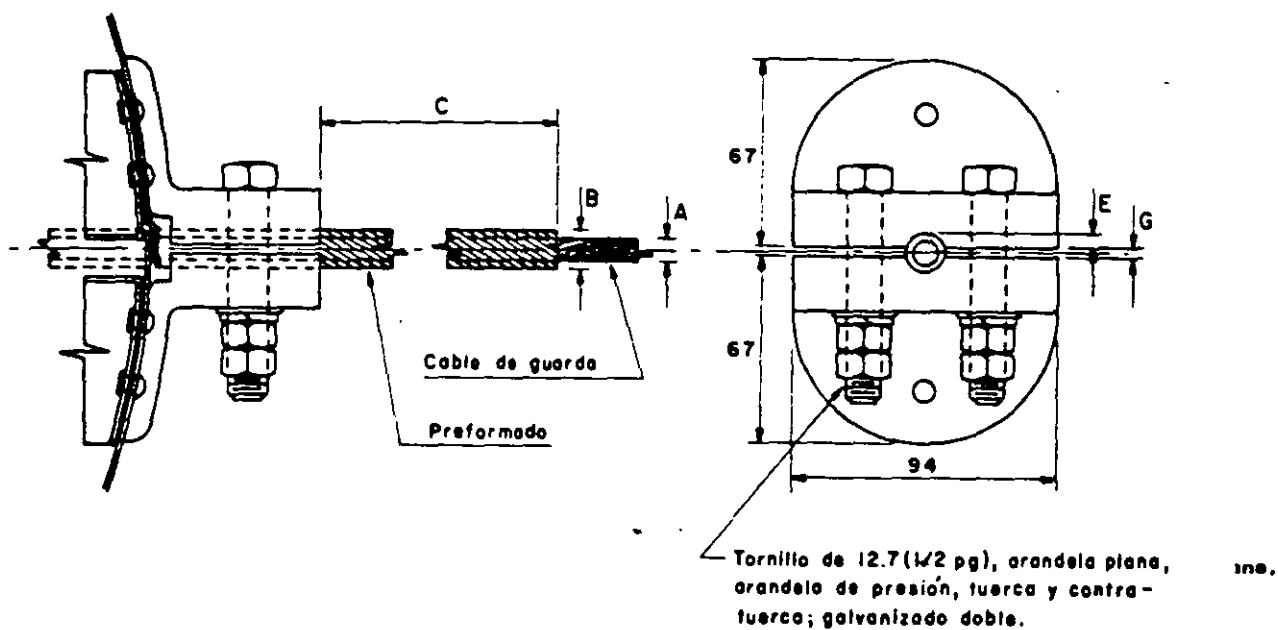


Figura 8 - Detalle de montaje



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

**TEMA**

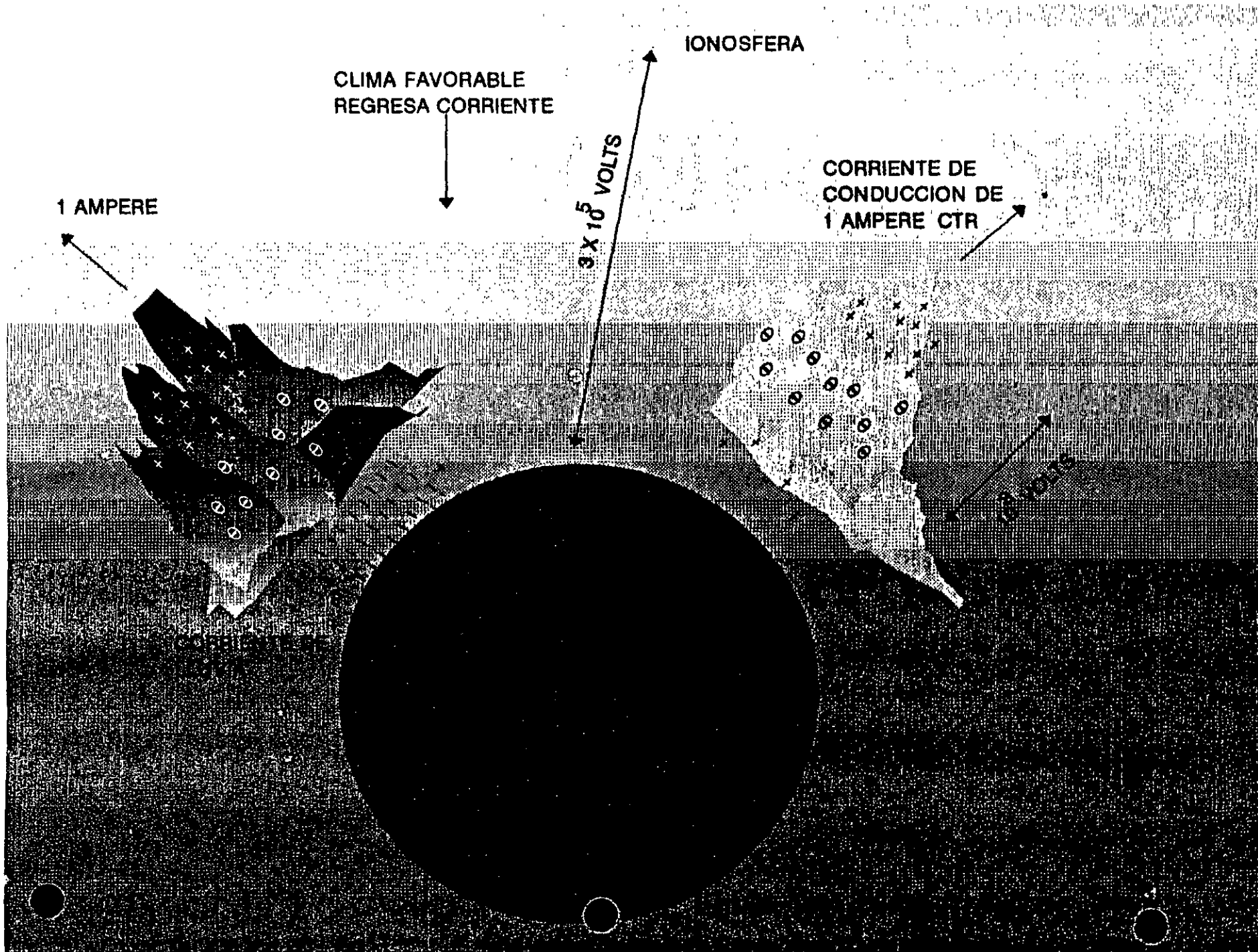
**EFFECTOS DE LAS DESCARGAS EN  
LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS**

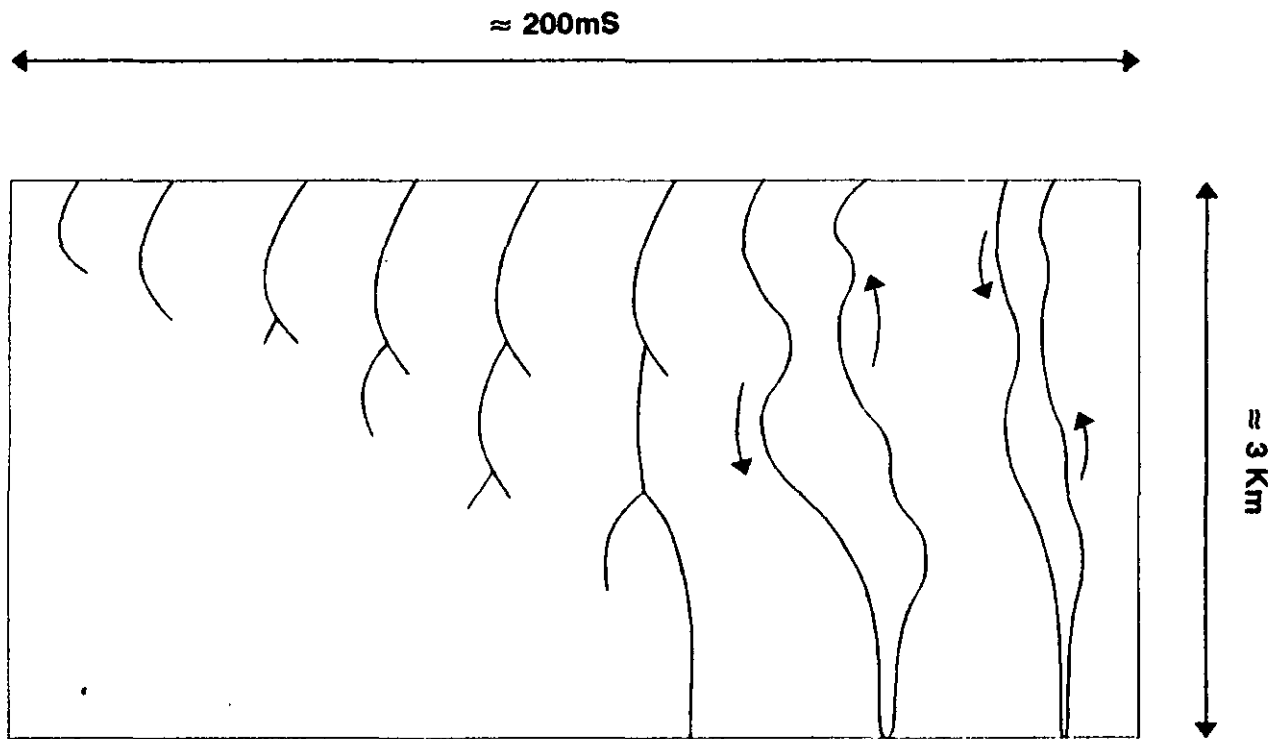
**ING. ANTONIO PANIAGUA SILVA  
PALACIO DE MINERÍA  
JUNIO 1998**

# **DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

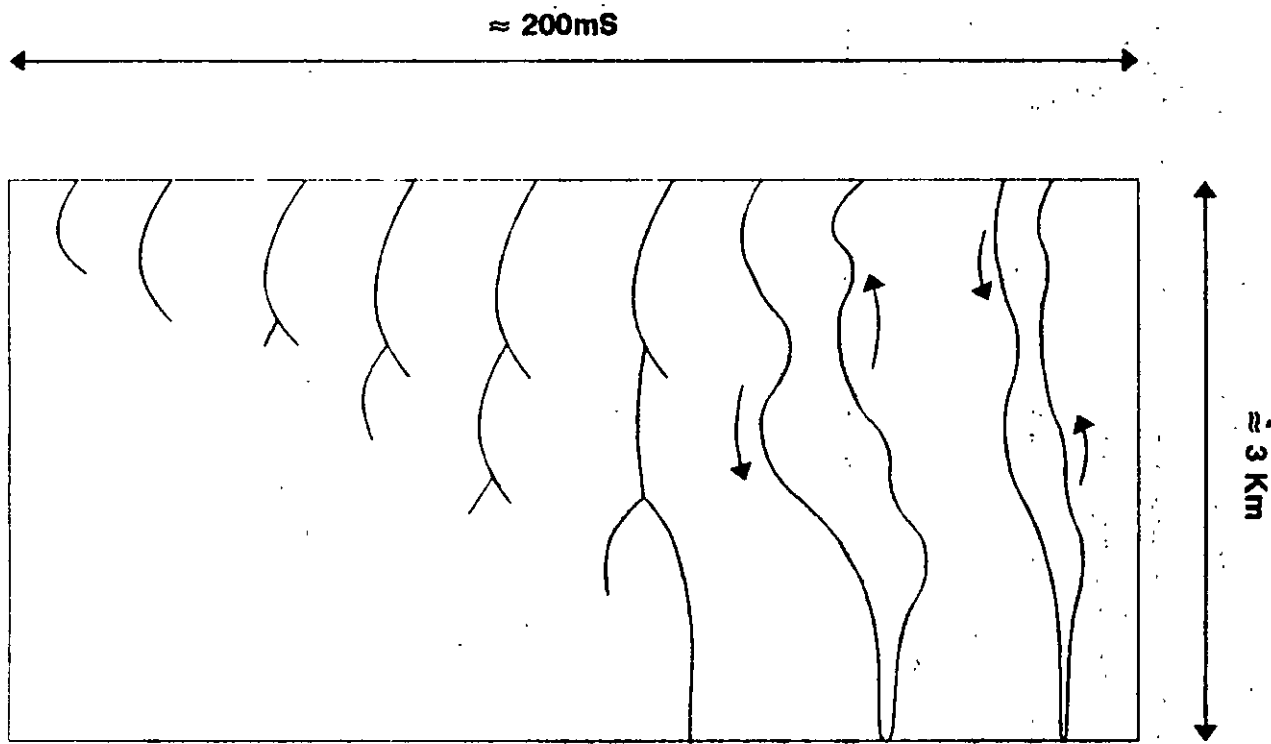
**EFECTOS DE LAS  
DESCARGAS EN LOS  
SISTEMAS ELÉCTRICOS**

**JUNIO-98**

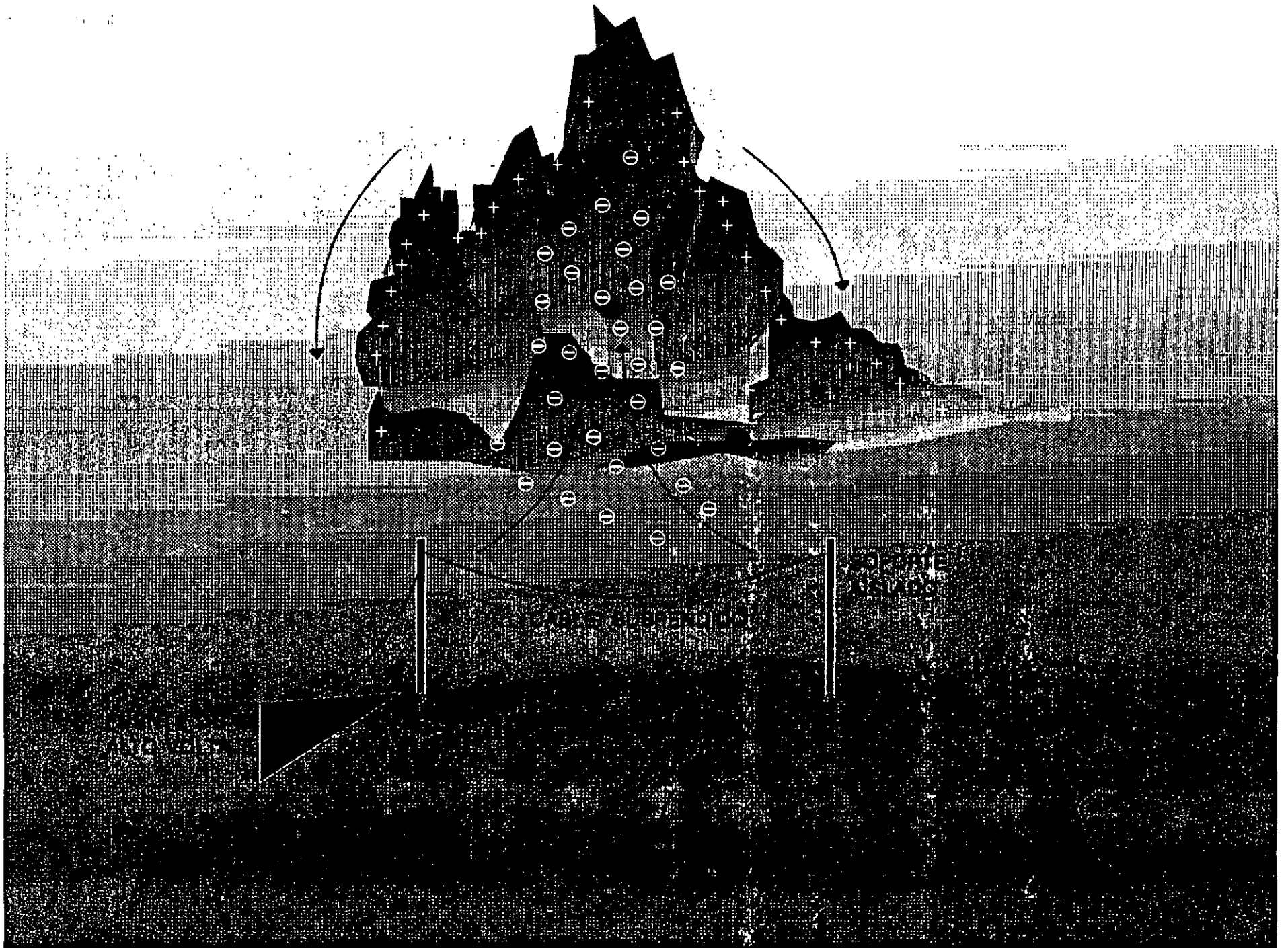


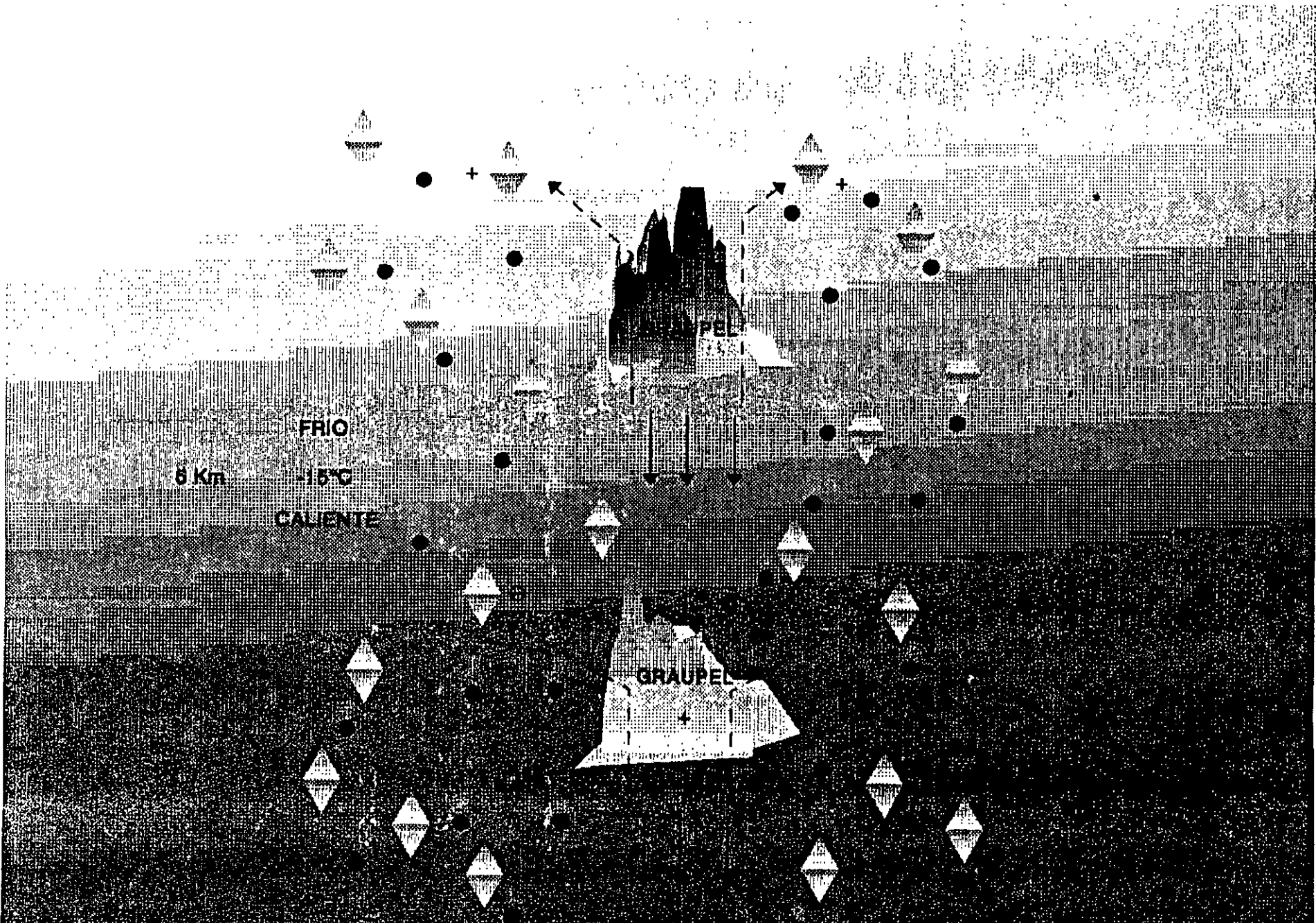


**ETAPAS EN EL DESARROLLO DE UN RAYO MULTIPLE**

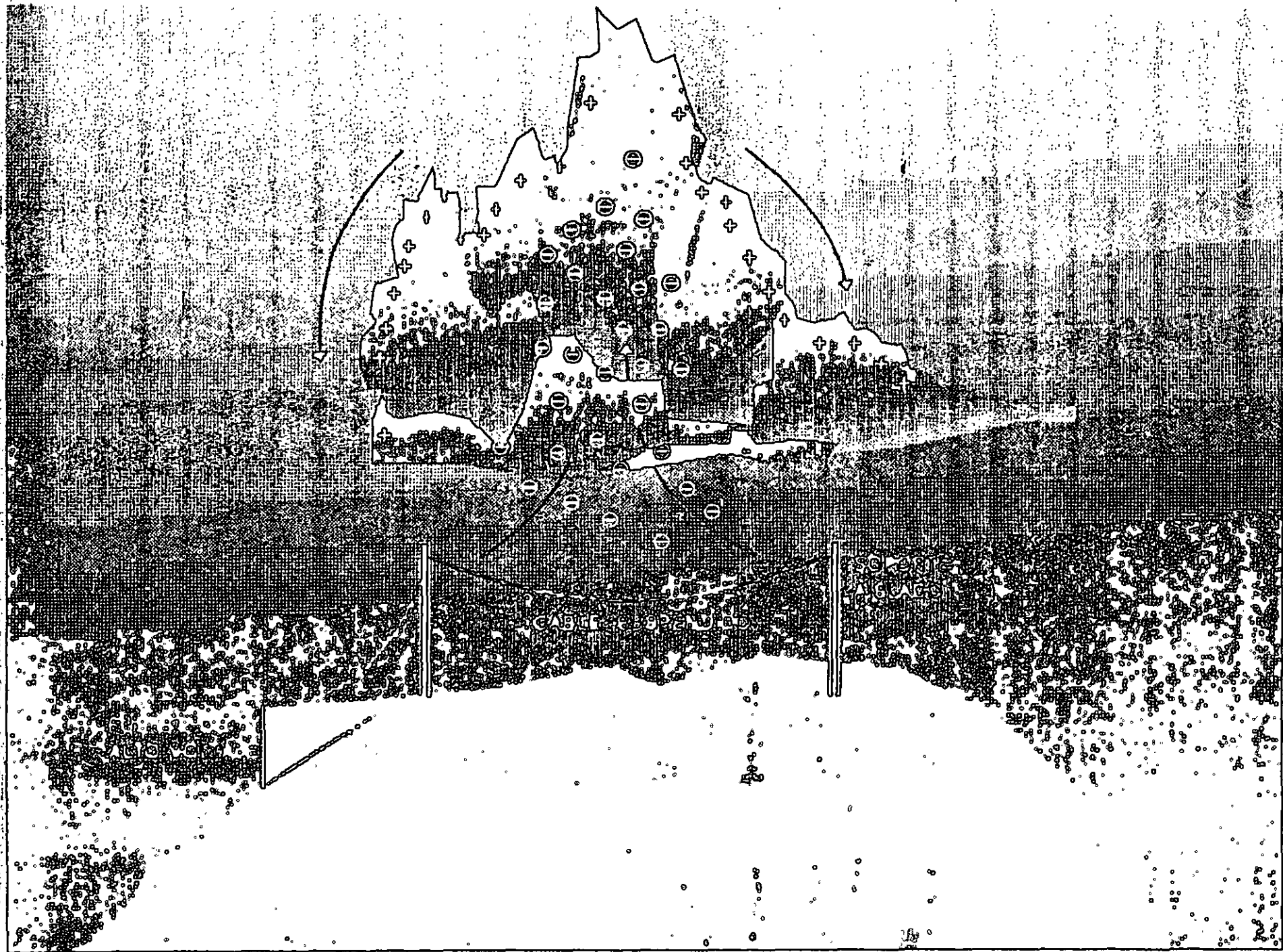


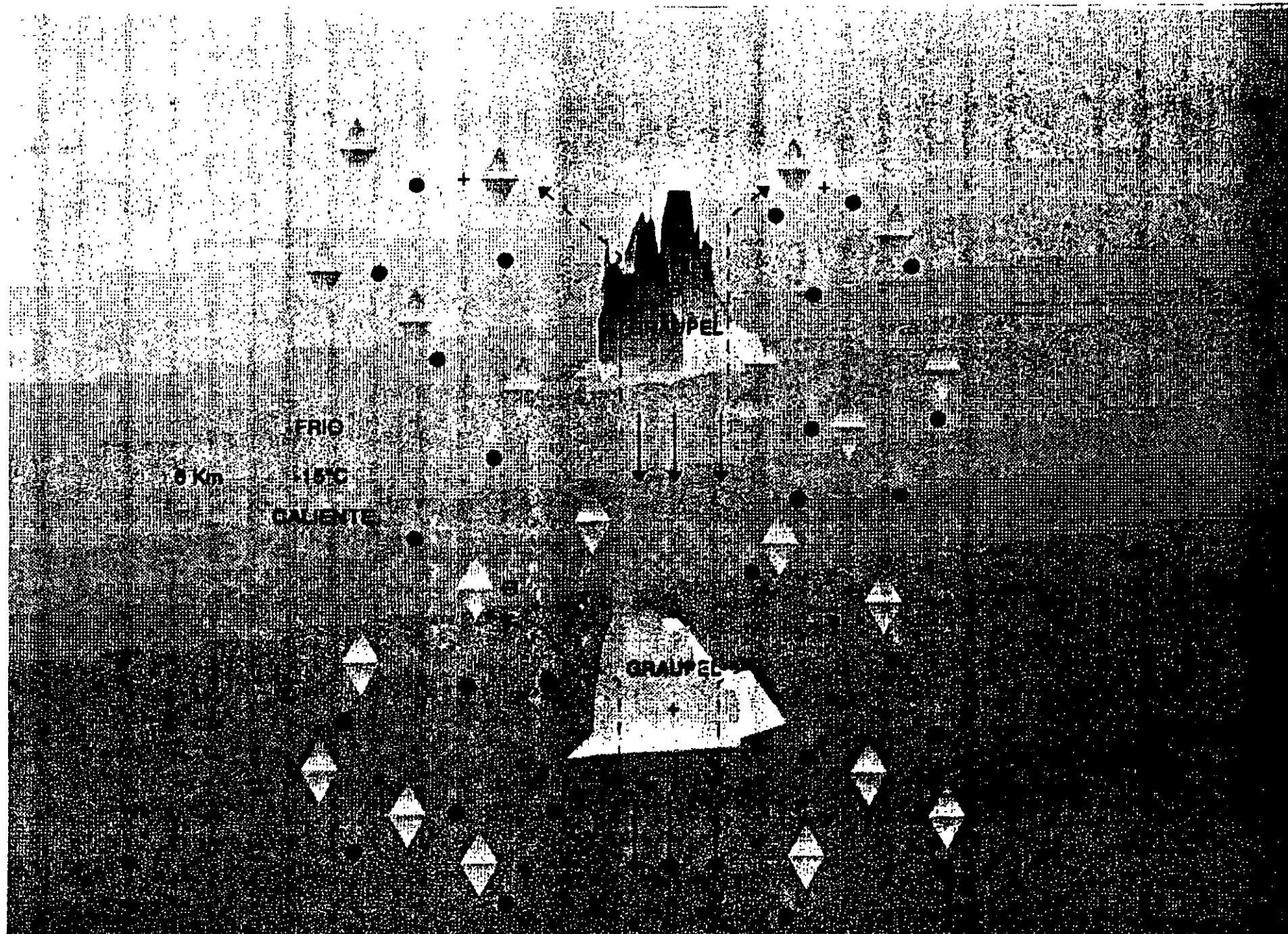
**ETAPAS EN EL DESARROLLO DE UN RAYO MULTIPLE**











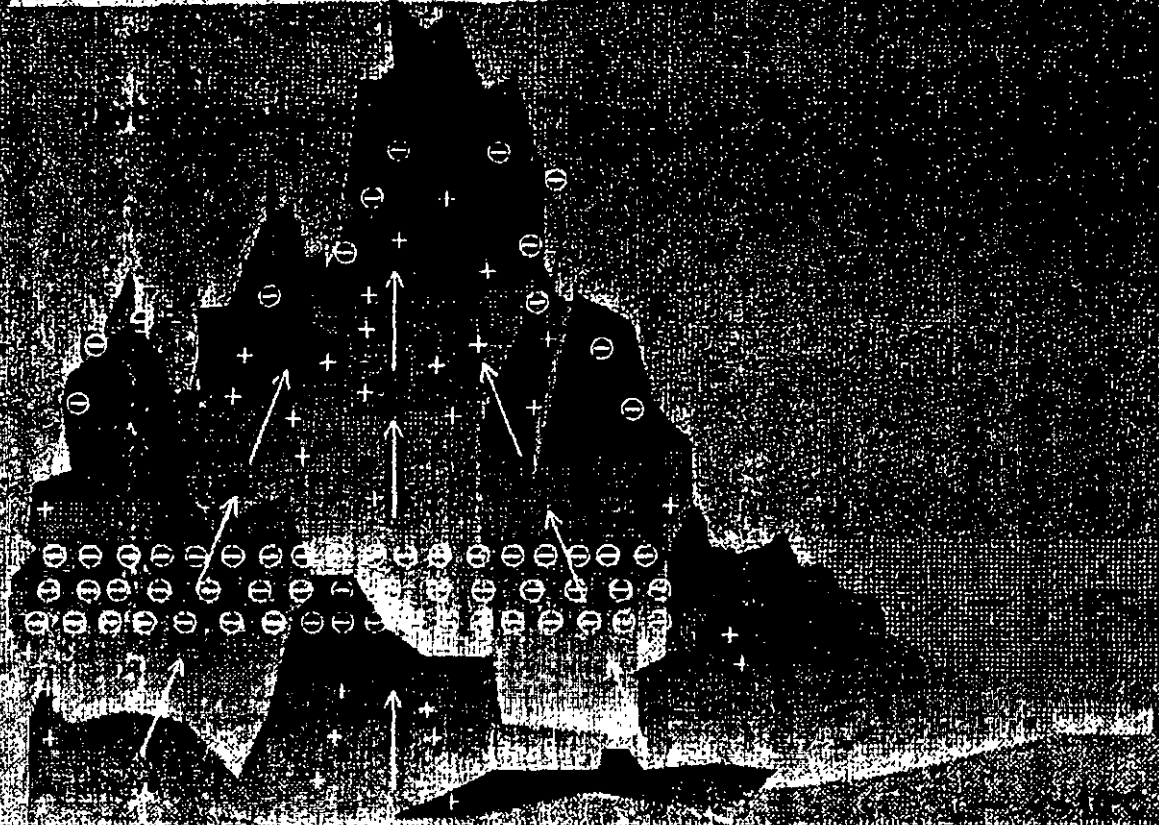


\*\*\*\*\*  
CARGA DEL ESPACIO CORONA

# MODELO DE NUBE TORMENTA MADURA

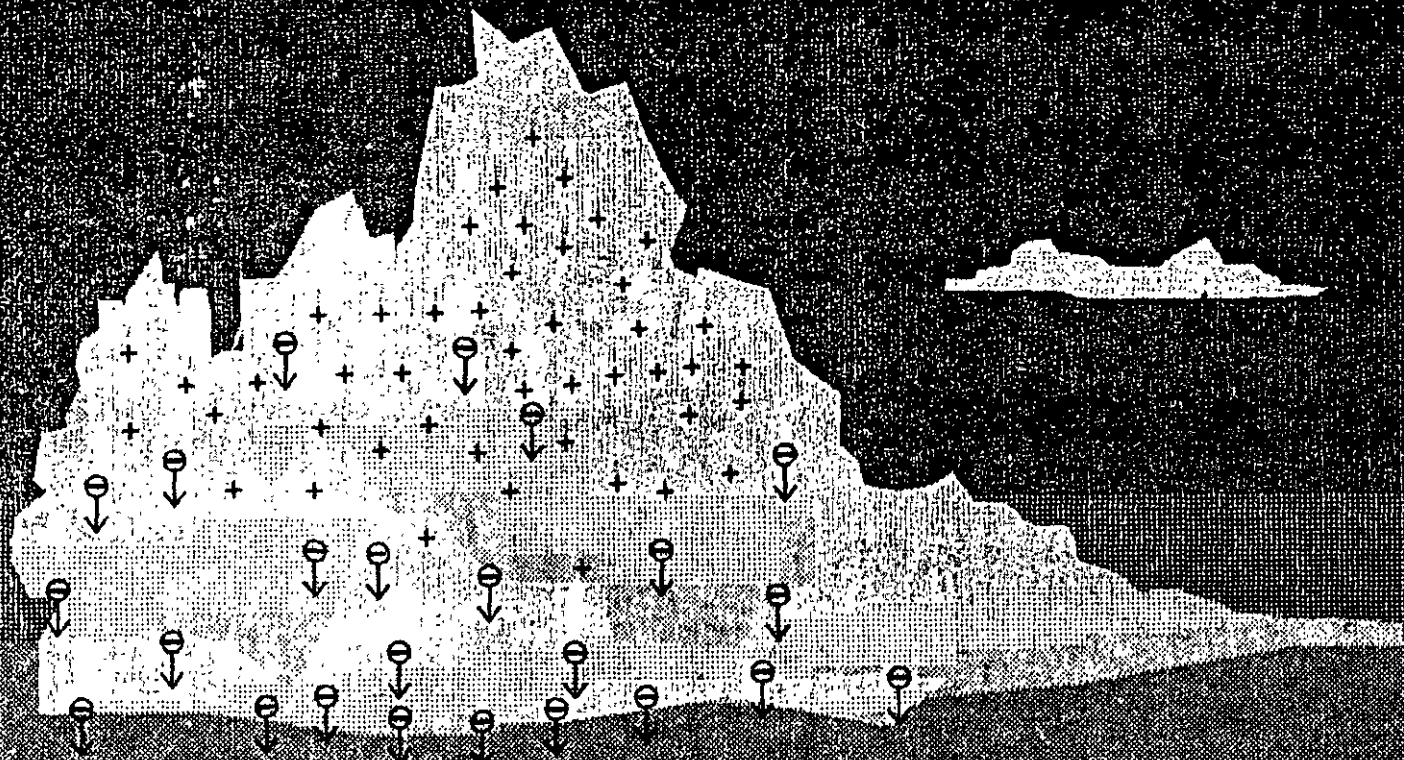


3 Km

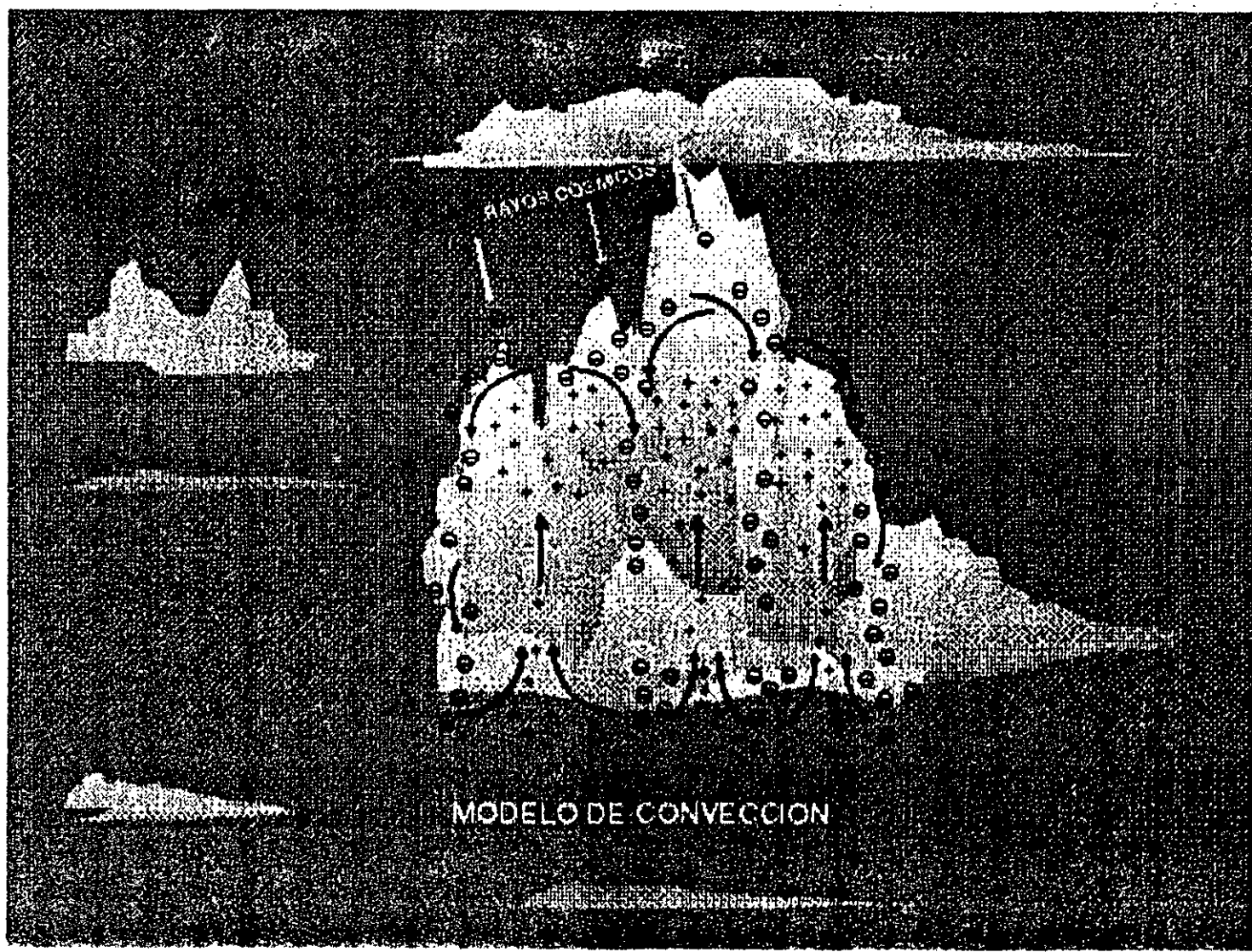


CARGA DEL ESPACIO CORONA

MODELO DE NUBE TORMENTA MADURA



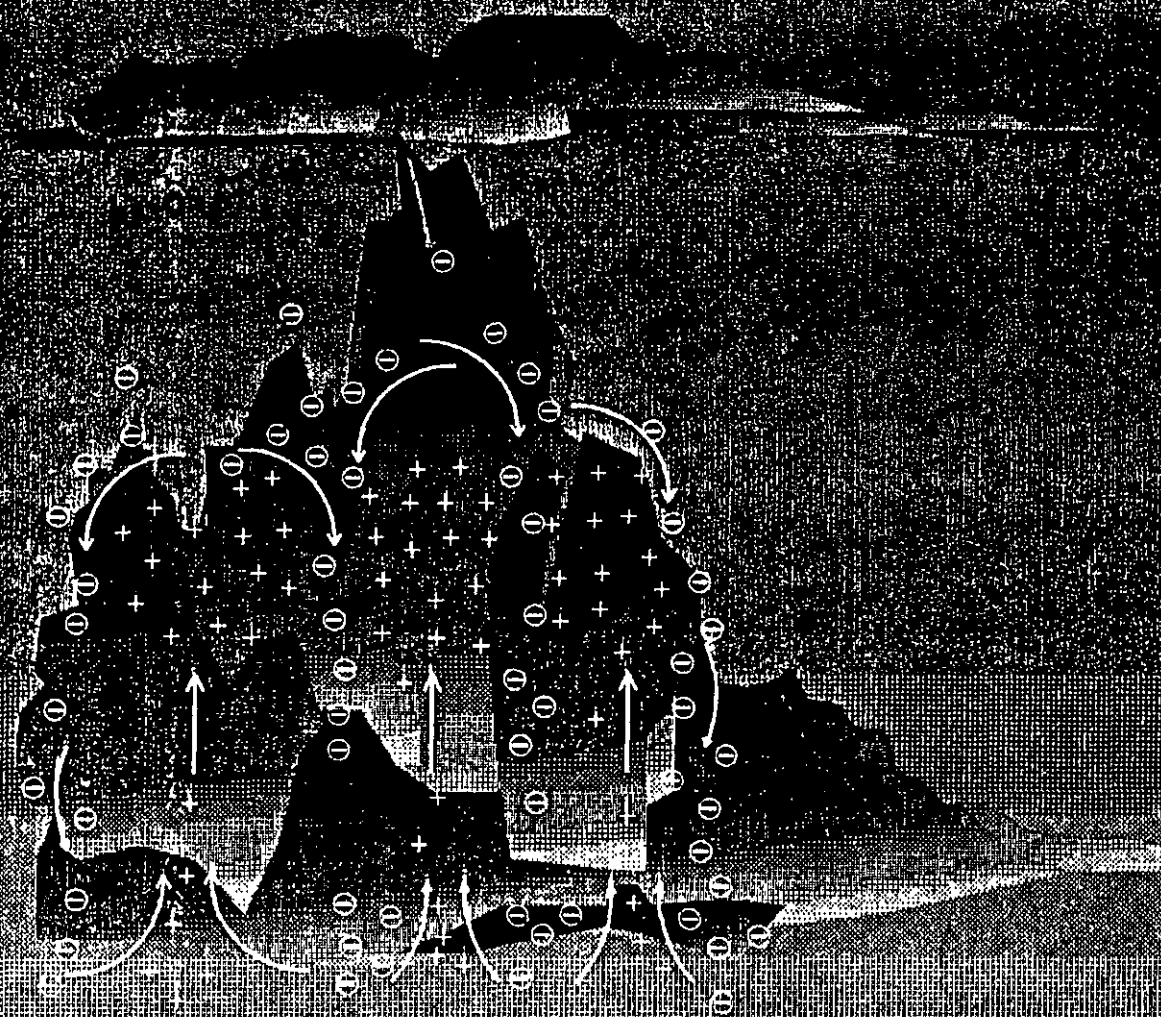
**MODELO DE PRECIPITACION**



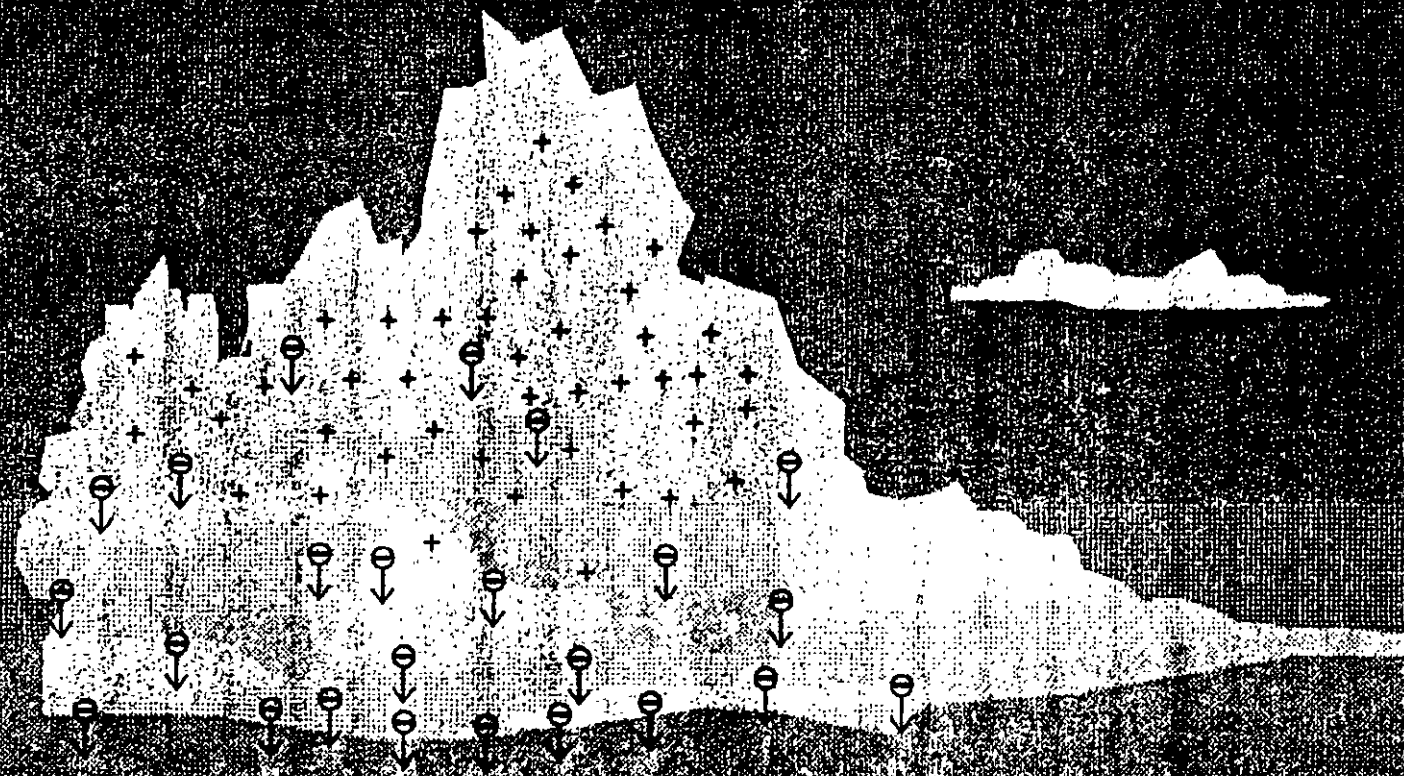
RAYOS COSMICOS

MODELO DE CONVECCION

MAGNETIC FIELD

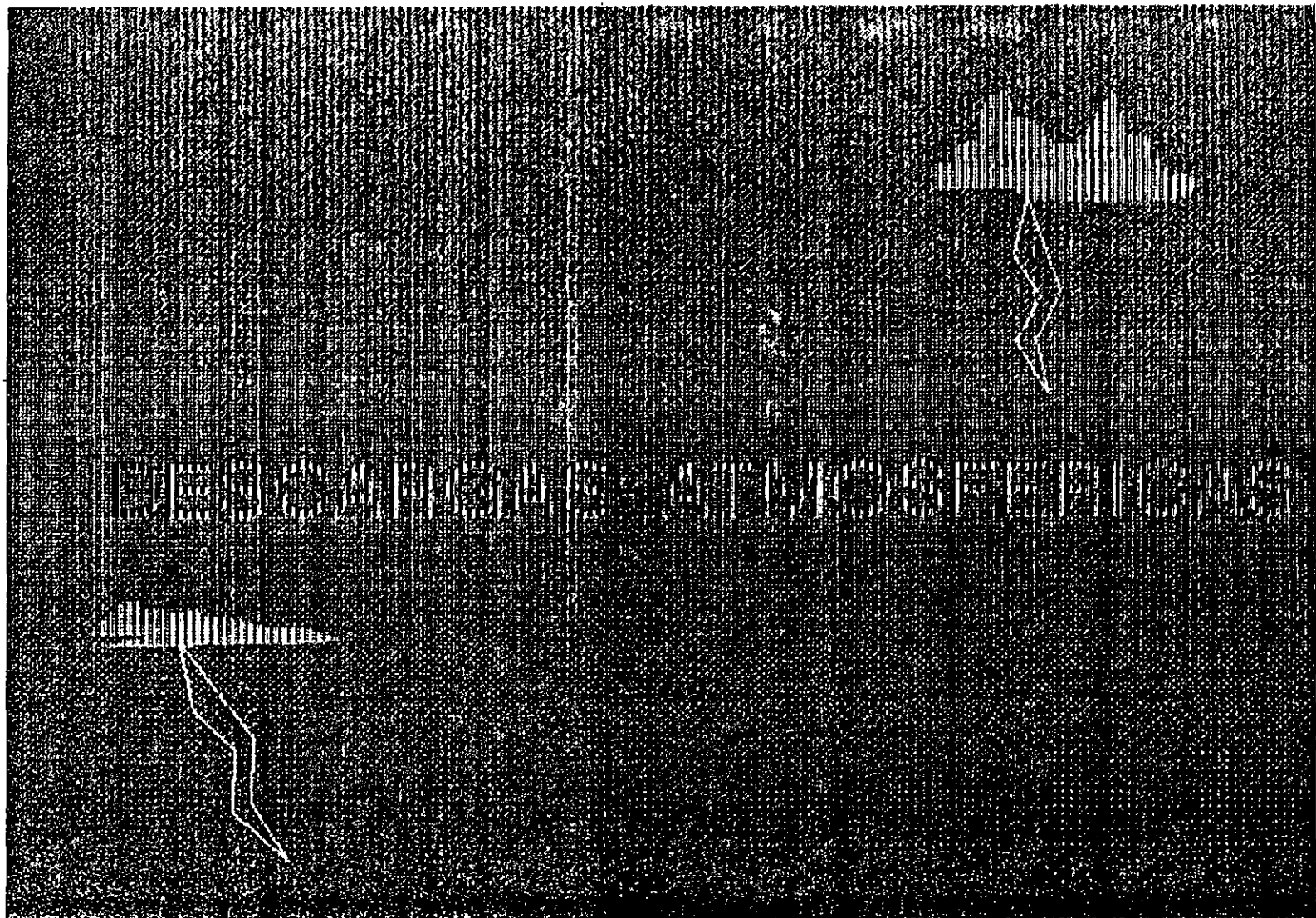


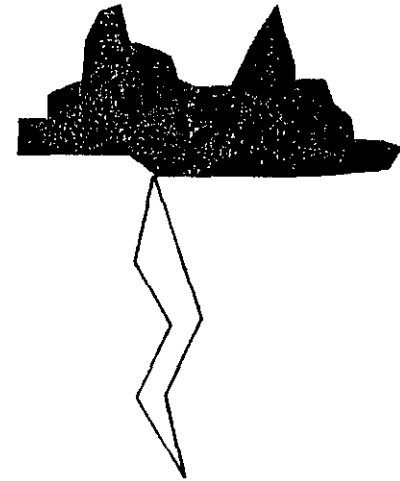
**MODELO DE CONVECCION**



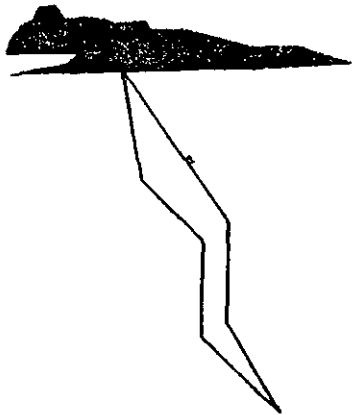
MODELO DE PRECIPITACION







# DESCARGAS ATMOSFERICAS



# **DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

**DISTANCIAS DIELECTRICAS**

**JUNIO-98**

# DESCARGAS EN LOS CABLES DE GUARDA

$$V_f = 60 I_f (\ln 2 H_f / R_f) + 60 I_g (\ln d' / d)$$

$$V_g = 60 I_f (\ln d' / d) + 60 I_g (\ln 2 H_g / R_g)$$

Como la descarga (rayo) ocurre sobre el cable de guarda, entonces momentáneamente la corriente en el conductor de fase es cero, es decir:  $I_f = 0$ , además se sabe que la corriente es  $I/2$  a partir del punto de impacto.

$$V_f = 60 I_g / 2 (\ln d' / d)$$

$$V_g = 60 I_g / 2 (\ln 2 H_g / R_g)$$

Al realizar la división de  $V_f/V_g$  resulta el coeficiente de acoplamiento C:

$$C = (\ln d' / d) / (\ln 2 H_g / R_g)$$

# DESCARGAS EN LOS CABLES DE GUARDA

$$V_f = 60 I_f (\ln 2 H_f / R_f) + 60 I_g (\ln d' / d)$$

$$V_g = 60 I_f (\ln d' / d) + 60 I_g (\ln 2 H_g / R_g)$$

Como la descarga (rayo) ocurre sobre el cable de guarda, entonces momentaneamente la corriente en el conductor de fase es cero, es decir:  $I_f = 0$ , además se sabe que la corriente es  $I/2$  a partir del punto de impacto.

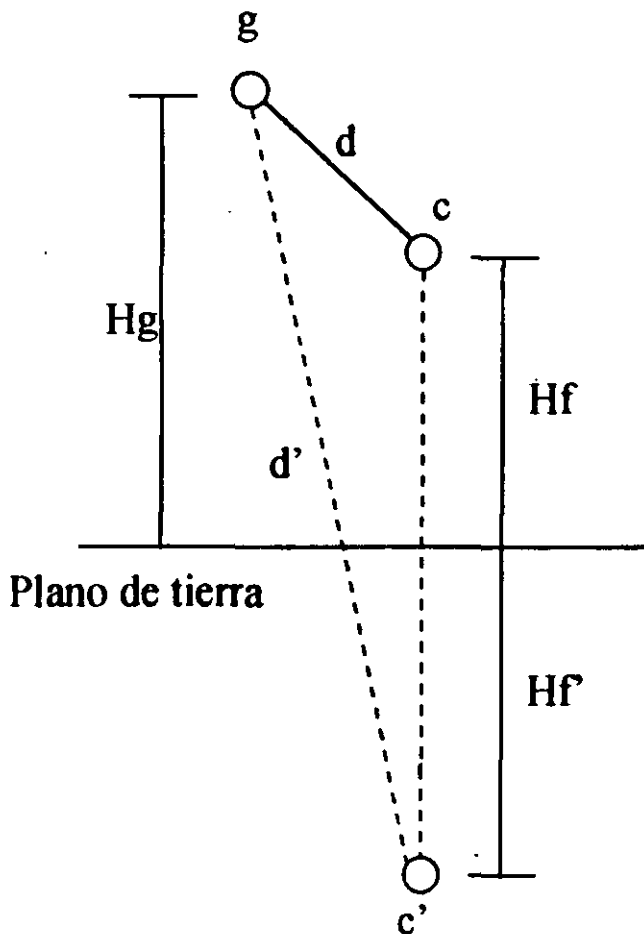
$$V_f = 60 I_g / 2 (\ln d' / d)$$

$$V_g = 60 I_g / 2 (\ln 2 H_g / R_g)$$

Al realizar la división de  $V_f/V_g$  resulta el coeficiente de acoplamiento C:

$$C = (\ln d' / d) / (\ln 2 H_g / R_g)$$

# DESCARGAS EN LOS CABLES DE GUARDA



$c'$  = Imagen del conductor de fase

Para determinar el factor de acoplamiento ( $c$ ) se puede considerar una fase de la línea ya que se supone simetría en la disposición geométrica de los conductores de fase.

Considerando el efecto de una de las fases se establece la siguiente relación:

$$V_f = Z_{ff} I_f + Z_{fg} I_g$$

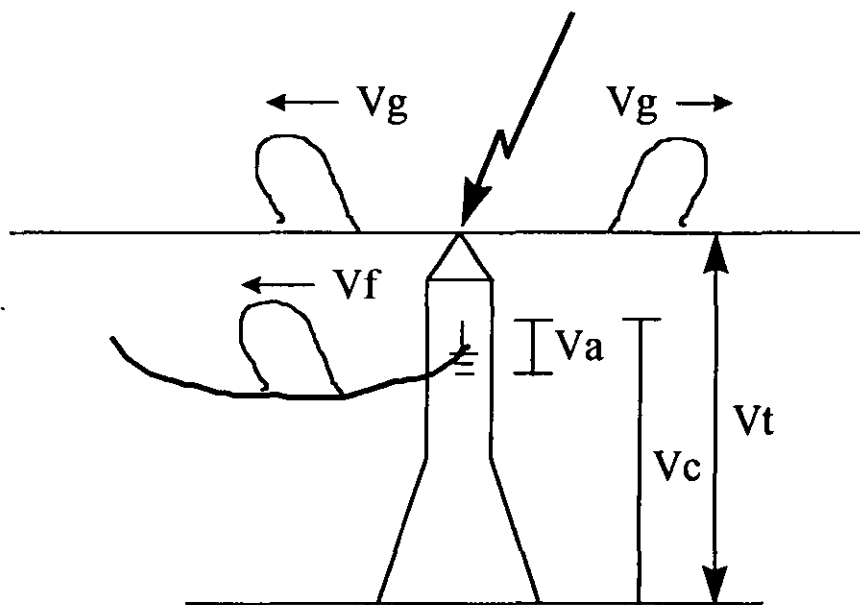
$$V_g = Z_{fg} I_f + Z_{gg} I_g$$

$$Z_{ff} = 60 \ln(2 H_f / R_f) \text{ ohms}$$

$Z_{fg} = Z_{gf}$  = Impedancia mutua entre el conductor de fase y el cable de guarda

$$Z_{fg} = Z_{gf} = 60 \ln(d' / d) \text{ ohms}$$

# DESCARGAS EN LOS CABLES DE GUARDA



$V_t$  = Voltaje medido de tierra a la parte superior de la torre

$V_f$  = Voltaje inducido en los conductores de fase

$V_c$  = Voltaje medido de tierra a la cruceta

$V_a$  = Voltaje a través de la cadena de aisladores

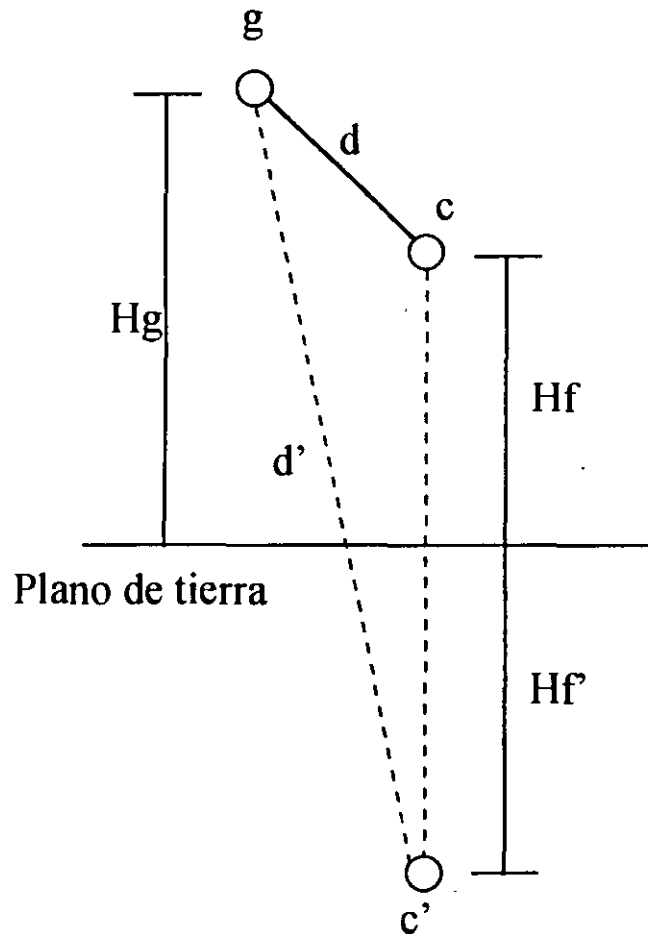
$V_t \cong V_c$

$C$  = Coeficiente de acoplamiento entre el conductor de fase y de guarda

El voltaje en la cadena de aisladores es:

$$V_a = V_c - V_f = V_t - V_f = V_t (1 - C)$$

# DESCARGAS EN LOS CABLES DE GUARDA



$c'$  = Imagen del conductor de fase

Para determinar el factor de acoplamiento ( $c$ ) se puede considerar una fase de la línea ya que se supone simetría en la disposición geométrica de los conductores de fase.

Considerando el efecto de una de las fases se establece la siguiente relación:

$$V_f = Z_{ff} I_f + Z_{fg} I_g$$

$$V_g = Z_{fg} I_f + Z_{gg} I_g$$

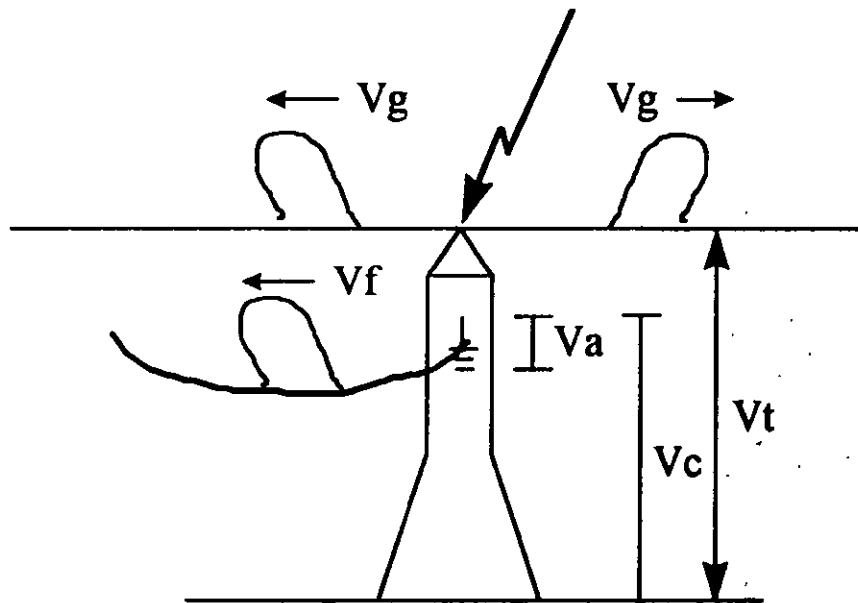
$$Z_{ff} = 60 \ln(2 H_f / R_f) \text{ ohms}$$

$Z_{fg} = Z_{gf}$  = Impedancia mutua entre el conductor de fase y el cable de guarda

$$Z_{fg} = Z_{gf} = 60 \ln(d' / d) \text{ ohms}$$



# DESCARGAS EN LOS CABLES DE GUARDA



$V_t$  = Voltaje medido de tierra a la parte superior de la torre

$V_f$  = Voltaje inducido en los conductores de fase

$V_c$  = Voltaje medido de tierra a la cruceta

$V_a$  = Voltaje a través de la cadena de aisladores

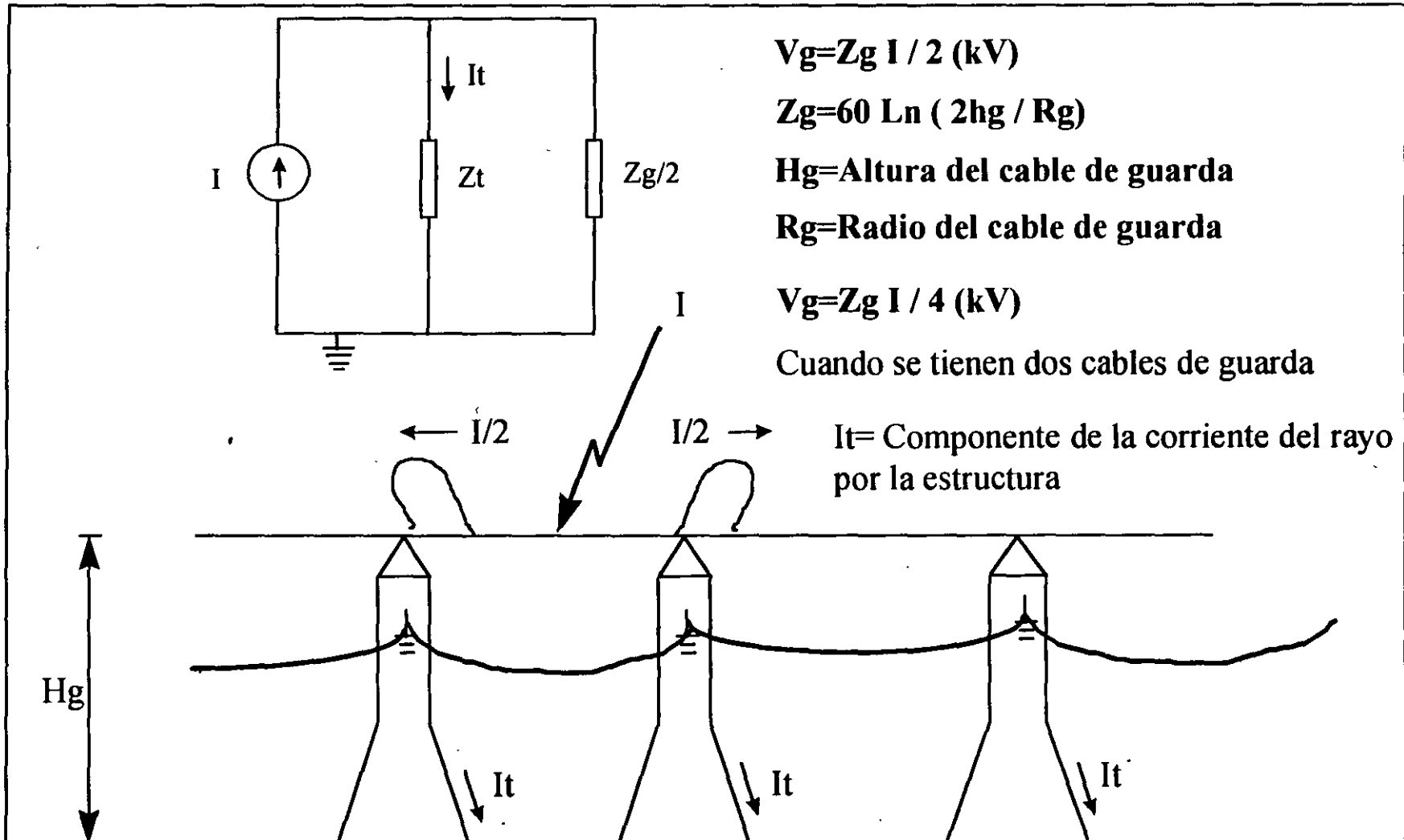
$V_t \cong V_c$

$C$  = Coeficiente de acoplamiento entre el conductor de fase y de guarda

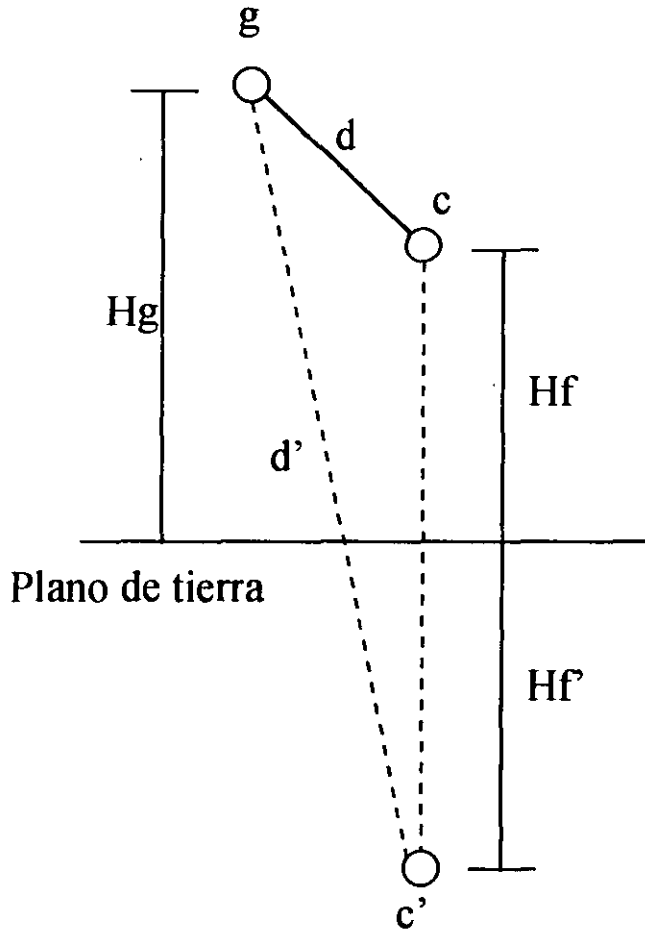
El voltaje en la cadena de aisladores es:

$$V_a = V_c - V_f = V_t - V_f = V_t (1 - C)$$

# DESCARGAS EN LOS CABLES DE GUARDA



# DESCARGAS EN LOS CABLES DE GUARDA



$c'$  = Imagen del conductor de fase

Para determinar el factor de acoplamiento ( $c$ ) se puede considerar una fase de la línea ya que se supone simetría en la disposición geométrica de los conductores de fase.

Considerando el efecto de una de las fases se establece la siguiente relación:

$$V_f = Z_{ff} I_f + Z_{fg} I_g$$

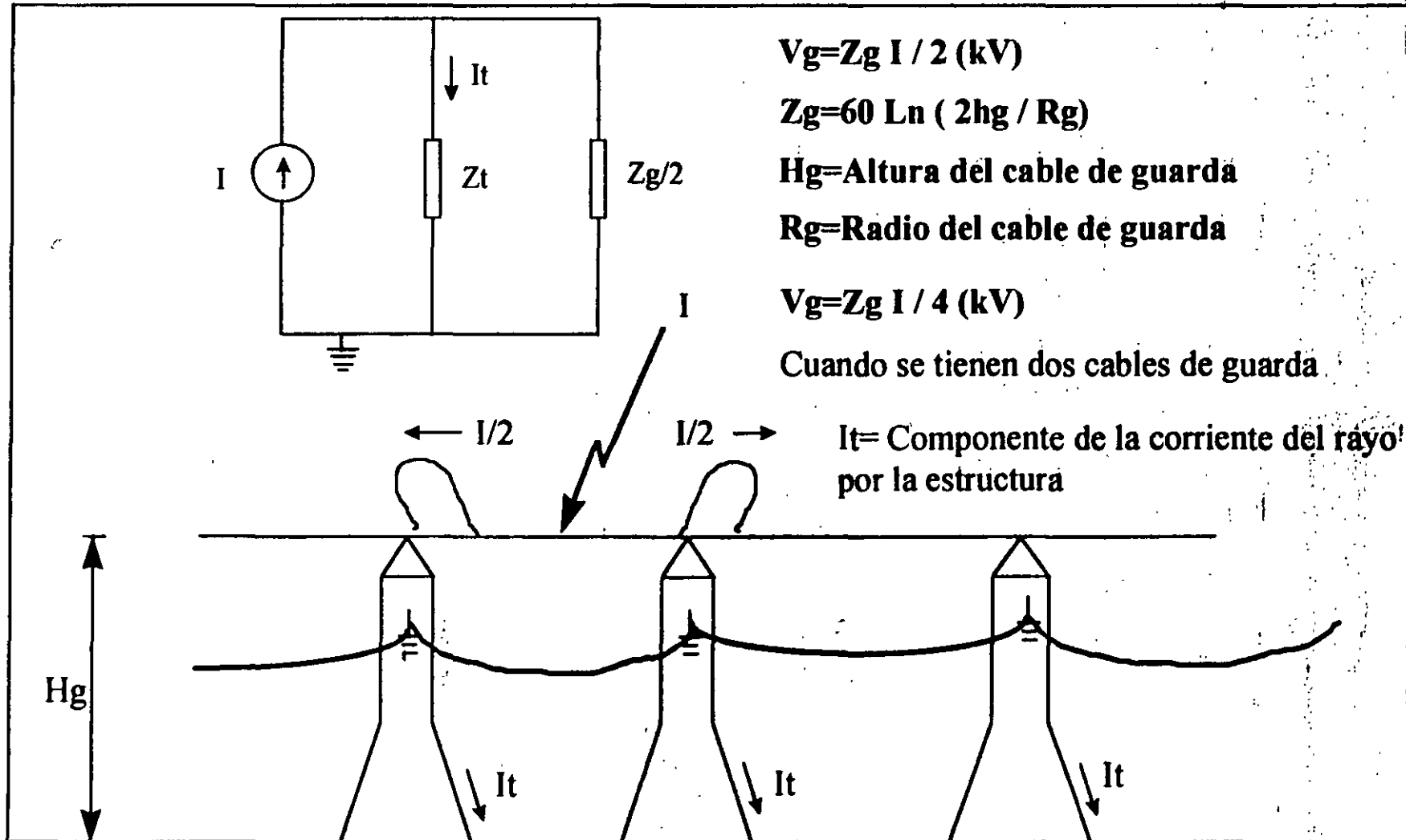
$$V_g = Z_{fg} I_f + Z_{gg} I_g$$

$$Z_{ff} = 60 \ln(2 H_f / R_f) \text{ ohms}$$

$Z_{fg} = Z_{gf}$  = Impedancia mutua entre el conductor de fase y el cable de guarda

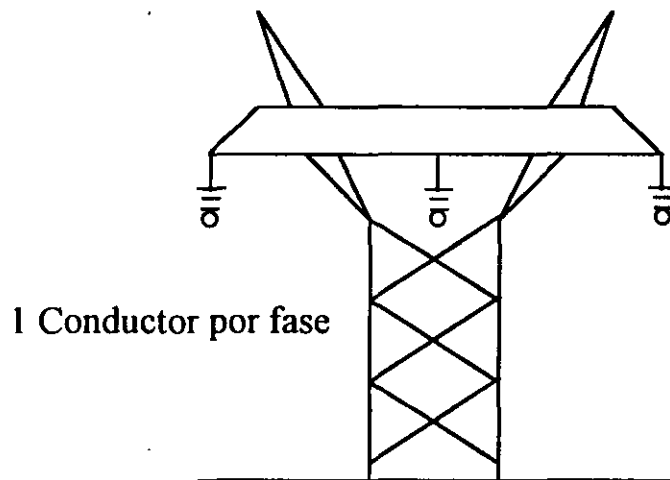
$$Z_{fg} = Z_{gf} = 60 \ln(d' / d) \text{ ohms}$$

# DESCARGAS EN LOS CABLES DE GUARDA

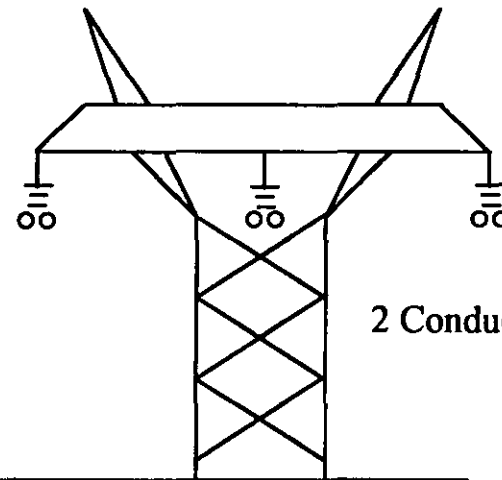


# EFEECTO DE LAS DESCARGAS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

**Re=Radio del conductor (para 1 conductor por fase) o radio equivalente del conductor (cuando se usa mas de un conductor por fase)**



1 Conductor por fase



2 Conductores por fase

$$R_e = R_n \sqrt[n]{n r / R_n}$$

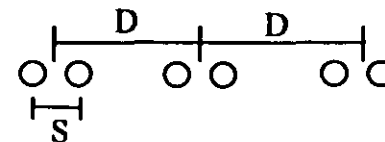
**r**= radio de un conductor del haz

**n**= número de conductores por fase que forman el haz

**R<sub>n</sub>**= radio del haz de conductores

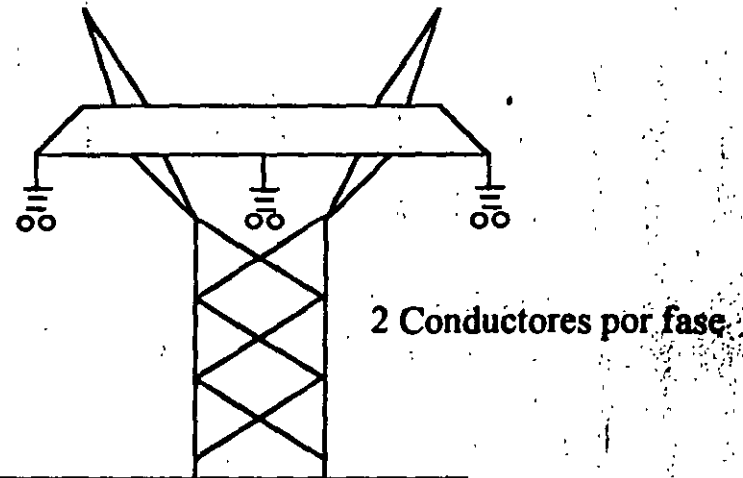
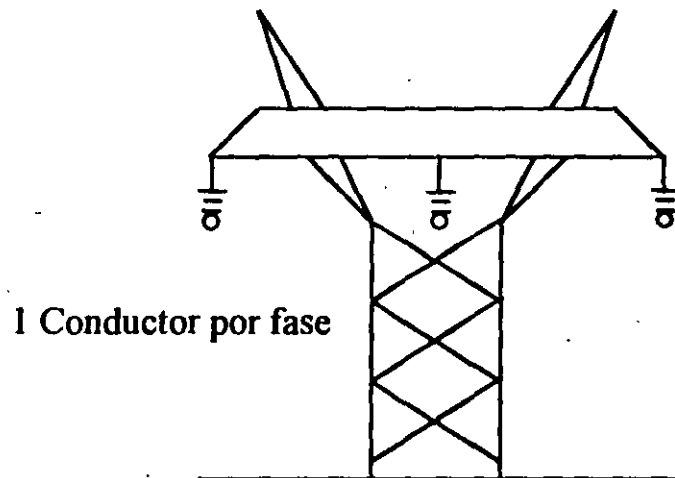
$$R_n = S / (2 \text{ sen } \pi/n)$$

**S**= Separación entre los conductores del haz



# EFECTO DE LAS DESCARGAS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

**Re=Radio del conductor (para 1 conductor por fase) o radio equivalente del conductor (cuando se usa mas de un conductor por fase)**



$$R_e = R_n \sqrt[n]{(n r / R_n)}$$

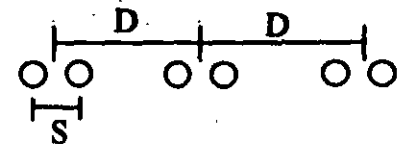
**r=** radio de un conductor del haz

**n=** número de conductores por fase que forman el haz

**Rn=** radio del haz de conductores

$$R_n = S / (2 \text{ sen } \Pi/n)$$

**S=** Separación entre los conductores del haz

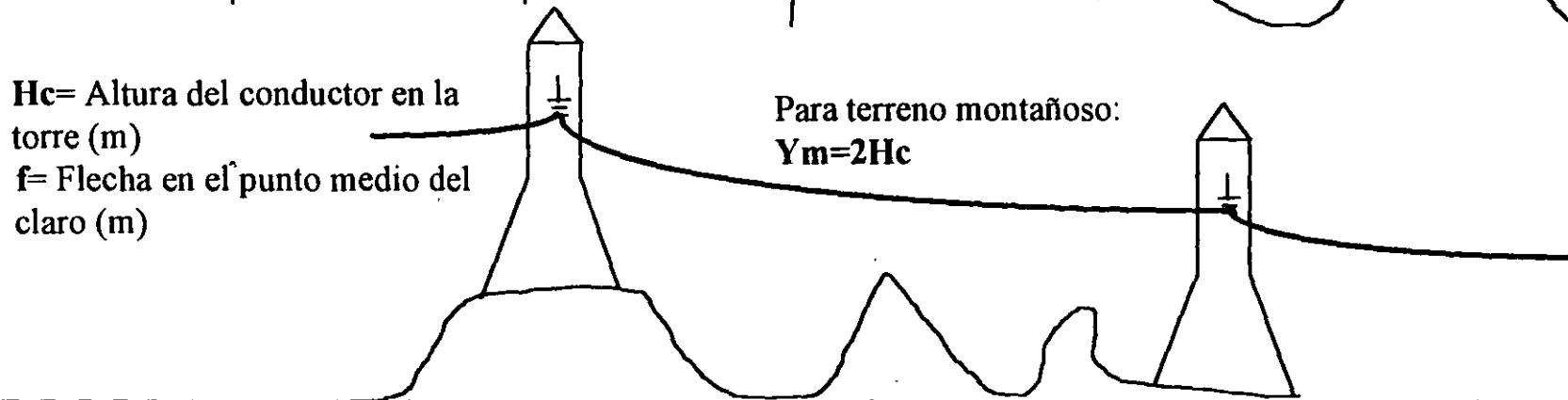
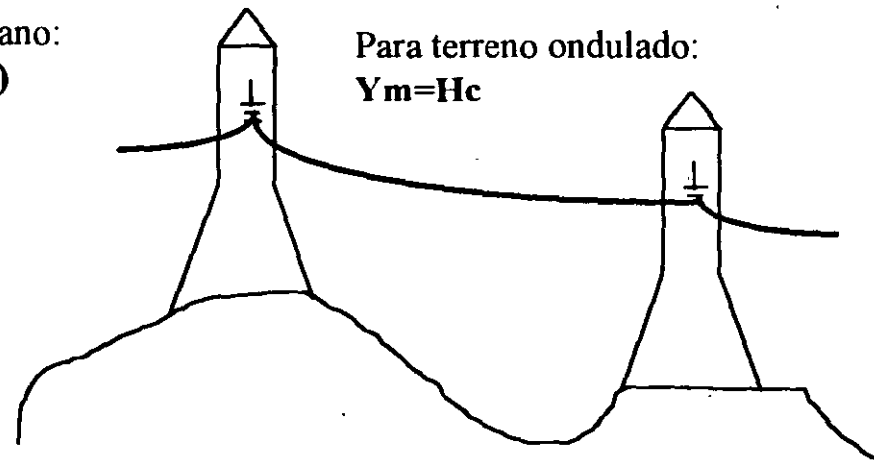
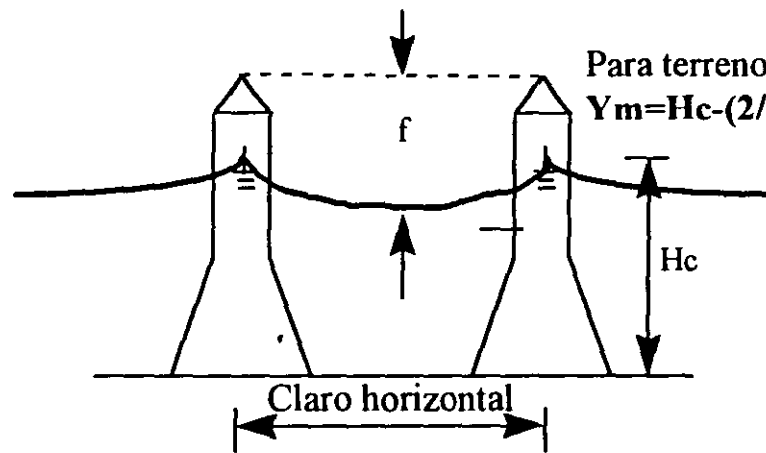


# EFECTO DE LAS DESCARGAS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

$$Z_c = 60 \ln(2Y_m / R_e) \text{ ohms}$$

$Z_c$  = Impedancia característica de las L.T's a partir de su disposición geométrica de los conductores, tomando en consideración su posición en el punto medio del claro.

$Y_m$  = Altura media del conductor de fase considerando su posición con respecto al suelo, dependiendo de la naturaleza del terreno donde se construye la línea.



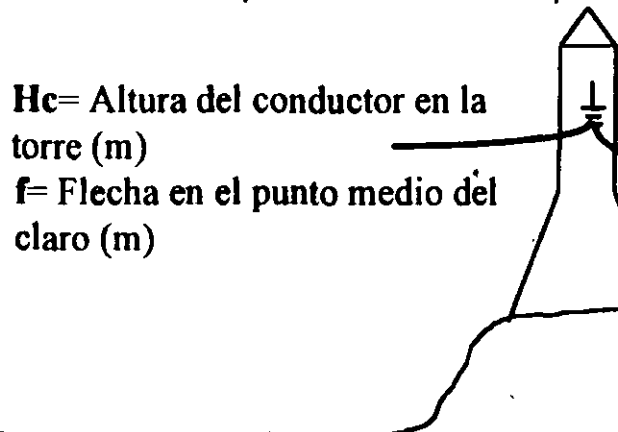
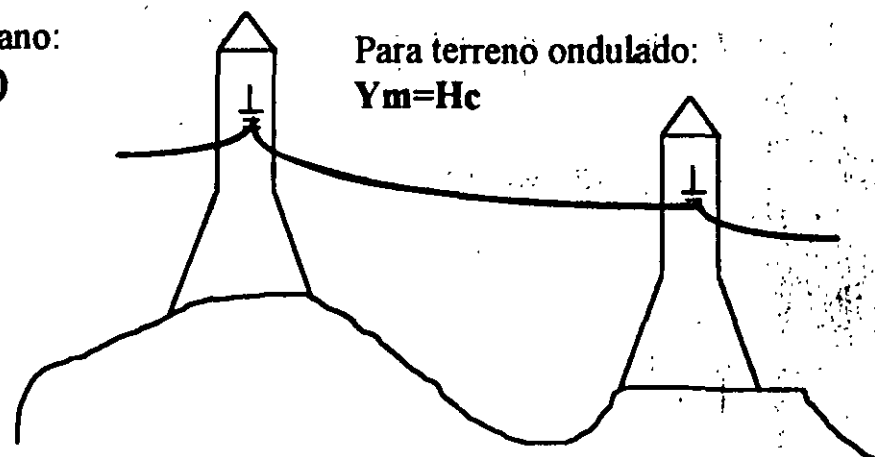
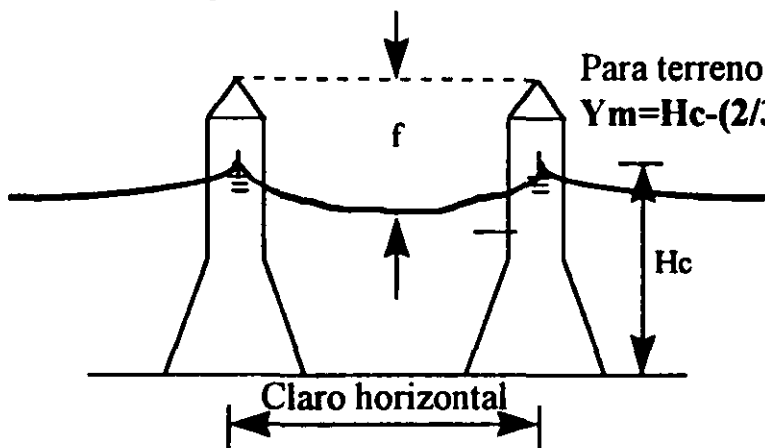
$H_c$  = Altura del conductor en la torre (m)  
 $f$  = Flecha en el punto medio del claro (m)

# EFECTO DE LAS DESCARGAS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

$$Z_c = 60 \ln(2Y_m / R_e) \text{ ohms}$$

$Z_c$  = Impedancia característica de las L.T's a partir de su disposición geométrica de los conductores, tomando en consideración su posición en el punto medio del claro.

$Y_m$  = Altura media del conductor de fase considerando su posición con respecto al suelo, dependiendo de la naturaleza del terreno donde se construye la línea.



$H_c$  = Altura del conductor en la torre (m)  
 $f$  = Flecha en el punto medio del claro (m)



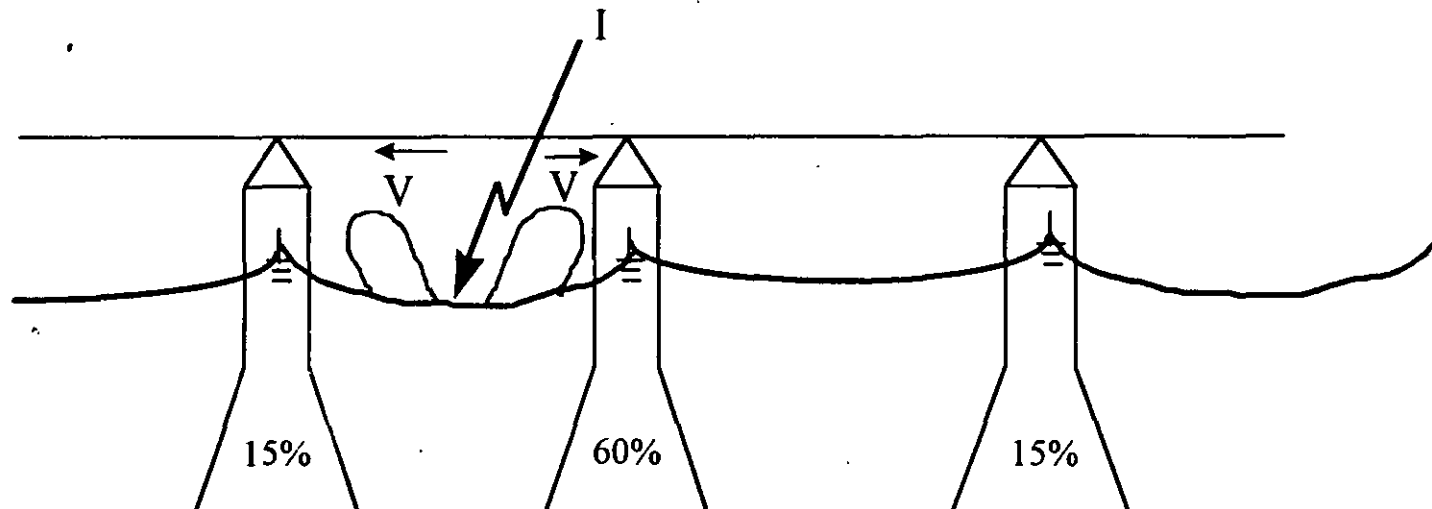
# EFECTO DE LAS DESCARGAS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

$$V_c = Z_c I / 2$$

$Z_c$  = IMPEDANCIA  
CARACTERISTICA DE LA LINEA  
EXPRESADA EN OHMS

$I$  = MAGNITUD DE LA CORRIENTE  
DEL RAYO EN kA

$V_c$  = VOLTAJE DEL CONDUCTOR DE  
FASE CON RESPECTO A TIERRA



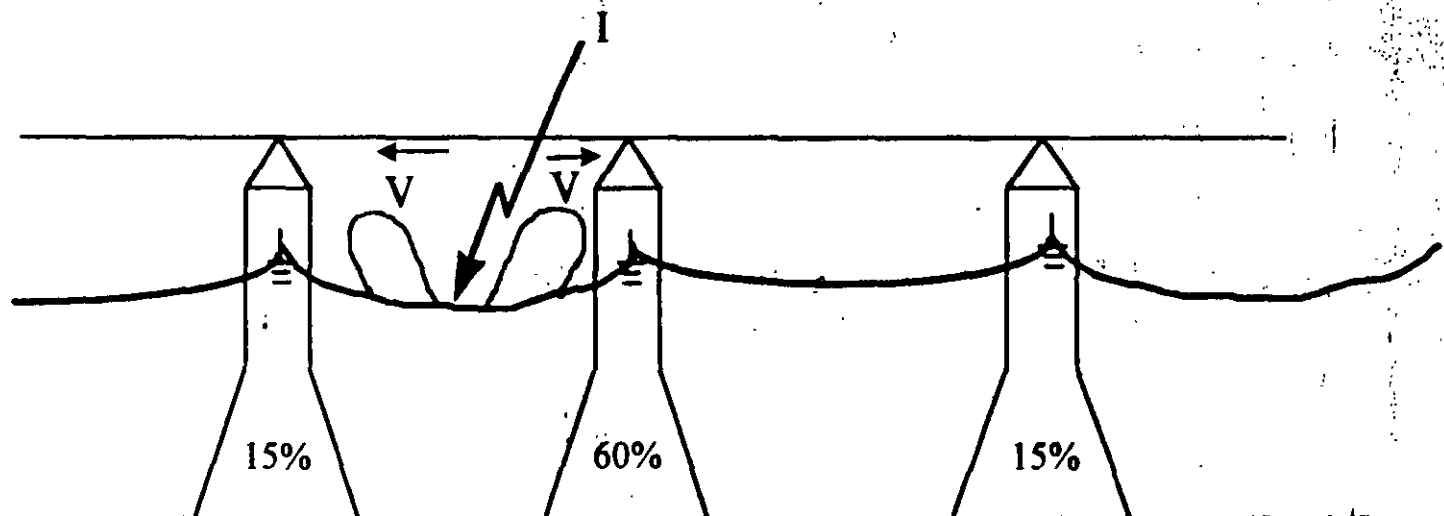
# EFEECTO DE LAS DESCARGAS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

$$V_c = Z_c I / 2$$

$Z_c$  = IMPEDANCIA  
CARACTERISTICA DE LA LINEA  
EXPRESADA EN OHMS

$I$  = MAGNITUD DE LA CORRIENTE  
DEL RAYO EN kA

$V_c$  = VOLTAJE DEL CONDUCTOR DE  
FASE CON RESPECTO A TIERRA



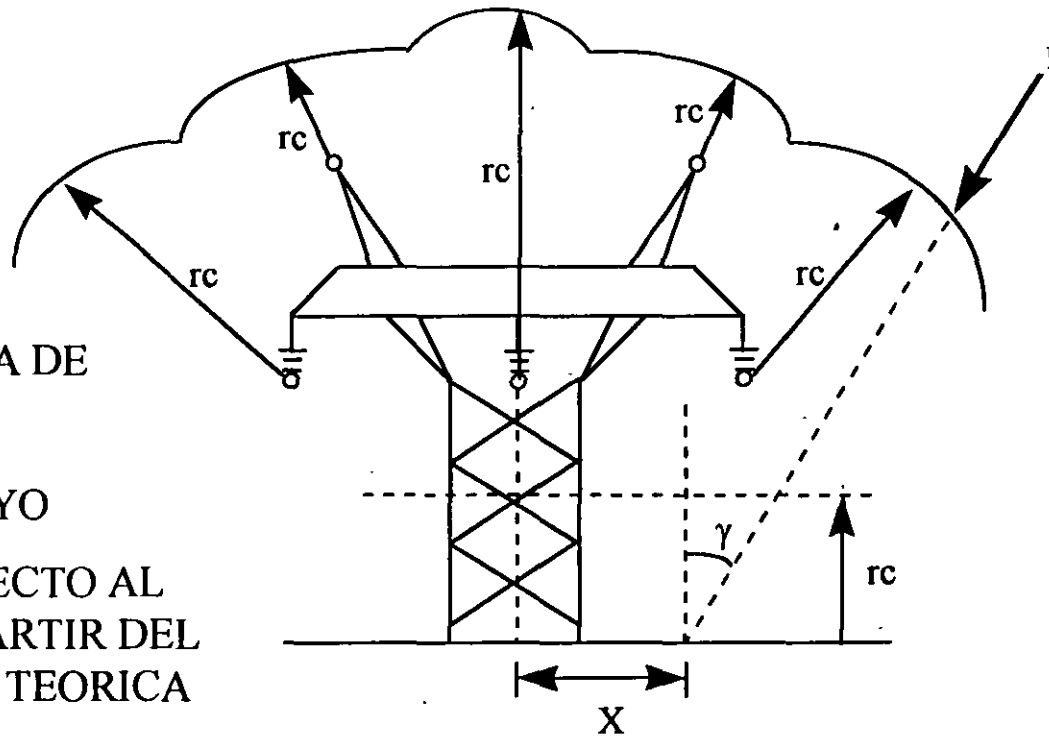
# EFECTO DE LAS DESCARGAS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

$r_c$  = DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO EN METROS

$I$  = CORRIENTE DEL RAYO

$X$  = ABSCISA CON RESPECTO AL CENTRO DE LINEA A PARTIR DEL PUNTO DE INCIDENCIA TEORICA DEL RAYO A TIERRA

$\gamma$  = ANGULO DE INCIDENCIA DEL RAYO EN TIERRA



# EFEECTO DE LAS DESCARGAS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

$r_c$  = DISTANCIA CRITICA DE ARQUEO EN METROS

$I$  = CORRIENTE DEL RAYO

$X$  = ABSCISA CON RESPECTO AL CENTRO DE LINEA A PARTIR DEL PUNTO DE INCIDENCIA TEORICA DEL RAYO A TIERRA

$\gamma$  = ANGULO DE INCIDENCIA DEL RAYO EN TIERRA

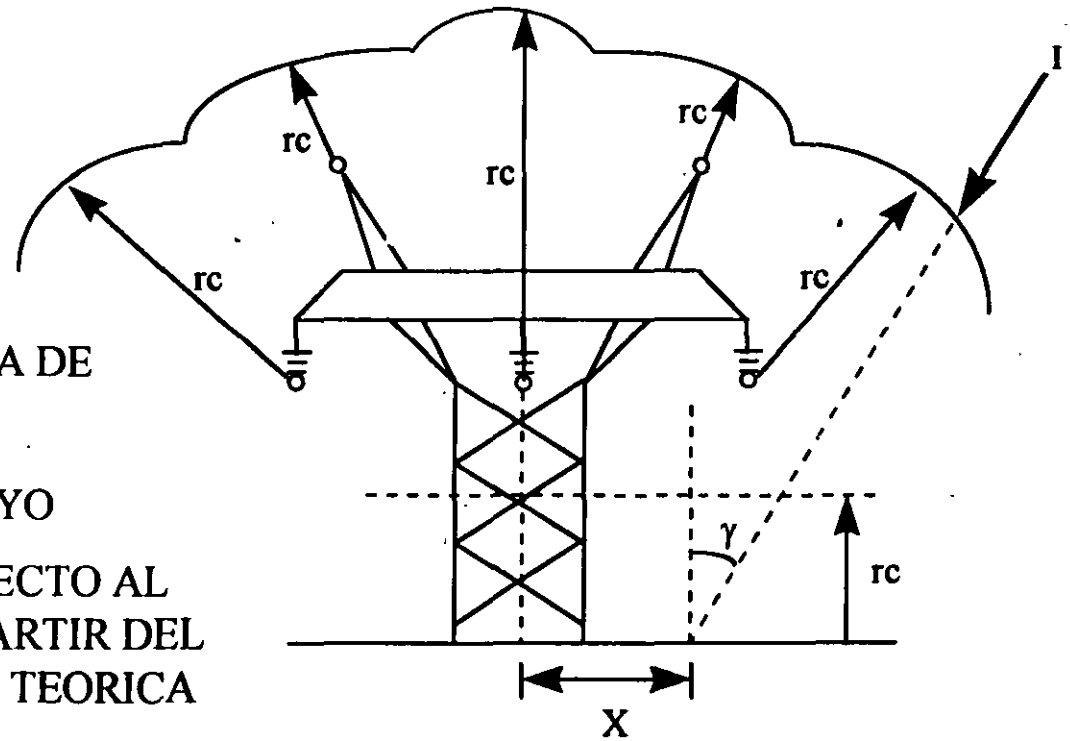


Tabla 1.2.- Impedancias características de torres usadas en CFE

TORRE TIPO	NIVEL DE TENSION (KV)	IMPEDANCIA TRANSITORIA ( $\Omega$ )	TORRE TIPO	NIVEL DE TENSION (KV)	IMPEDANCIA TRANSITORIA ( $\Omega$ )
A	400	247.83	2M1	230	243.3
AM	400	249.4	2S1	230	241.1
C	400	211.7	2B1	230	232.2
CM	400	237.3	2B2	230	154.9
D	400	216.12	2R2	230	148.0
DM	400	241.0	2S2	230	154.6
4BC1	400	229.7	2Z1	230	234.1
4BB1	400	233.14	2D1	230	243.8
4BA1	400	232.23	1M1	115	294.2
2B1	230	245.8	1B1	115	283.1
2C1	230	239.0			

La impedancia transitoria de conexión a tierra al pie de la torre puede considerarse constante (resistencia al pie de torre) para efectos de simplificación de cálculos. En realidad este valor de impedancia transitoria de conexión a tierra varía en forma no lineal.

### 1.1.5 Propagación de Ondas en Cables de Blindaje y Conductores de Fase

Al incidir una descarga atmosférica en un cable de blindaje o conductor de fase, figura 1.8, se inyectará la corriente del rayo en el conductor y se producirá una onda de voltaje proporcional al producto de la impedancia transitoria del conductor y la mitad de la corriente del rayo, como:

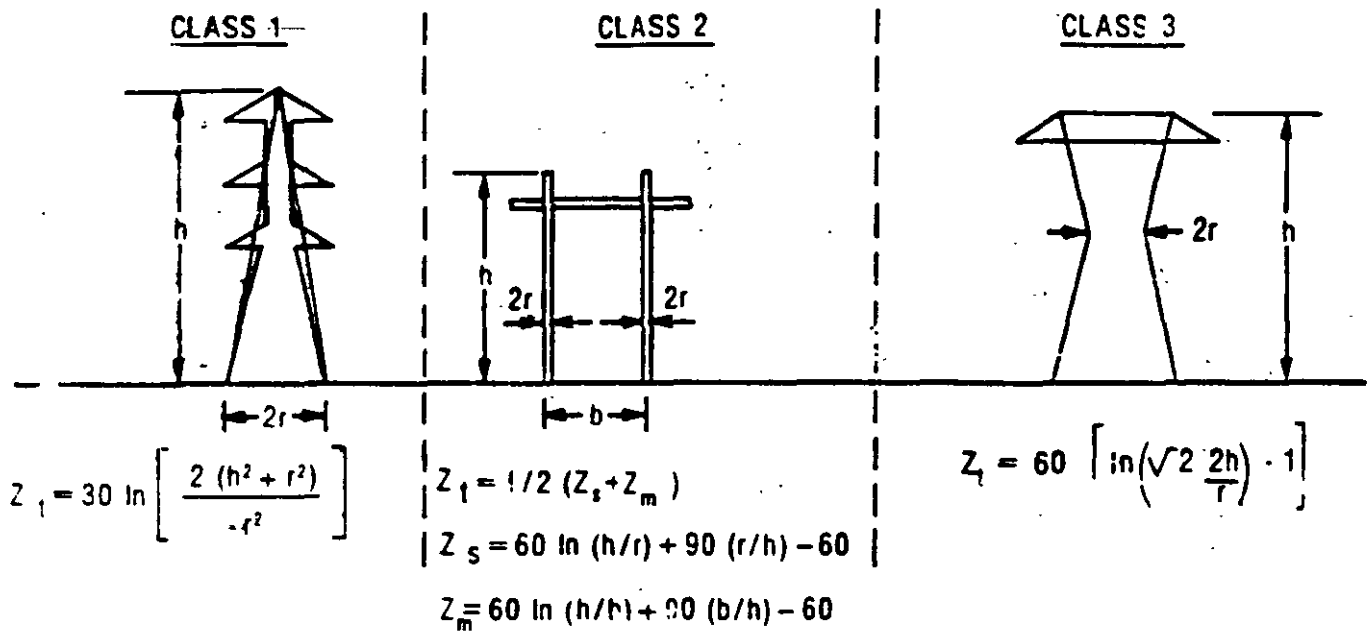
$$V_{\lambda}(t) = \frac{I_{\lambda}(t)}{2} Z_t$$

donde:

$V_{\lambda}(t)$  = voltaje transitorio (V)

$I_{\lambda}(t)$  = corriente del rayo (A)

$Z_t$  = impedancia transitoria del conductor ( $\Omega$ )



FOR EACH CASE, THE TRAVEL TIME  $T$  FROM TOWER TOP TO GROUND IS:  $T = h / 300 \mu s$

Figure 12.5.5. Approximations for tower surge impedance.

**DETERMINATION OF COUPLING FACTORS FOR PHASE CONDUCTORS**

That portion of the stroke current flowing outward over the shield wires induces a voltage called the coupled voltage in each phase conductor, and the ratio of the total induced voltage on phase conductor  $n$  to the tower top voltage is known as the coefficient of coupling,  $K_n$ . It is derived from the classical conductor equations in Appendix 12.3 and is expressed for the case of two shield wires at equal height above ground as

$$K_n = \frac{Z_{n1} + Z_{n2}}{Z_{11} + Z_{12}} \tag{12.5.7}$$

where  $Z_{mn}$  is the mutual impedance between conductor  $m$  and conductor  $n$  and  $Z_{11}$  is equal to  $Z_{22}$  which equals  $Z_{mm}$ , the self-surge impedance of each shield wire (1 and 2 are the shield wires, and  $n$  is the phase conductor). If only a single shield wire exists, then

$$K_n = \frac{Z_{1n}}{Z_{11}} \tag{12.5.7A}$$

If propagation effects are to be assumed up and down the tower, their consistency requires that propagation effects also be assumed to occur for the coupling effects. This ensures that one is not using one time scale for one effect and a different time scale for the other. A simple approximation is to use as the shield wire voltage, not the tower top voltage,  $V_T$ , at a time,  $t$ , but the voltage  $V_T(t - T_{pm})$  that existed at a previous time,  $t - T_{pm}$ , where  $T_{pm}$  is the propagation time down the tower from the tower top to the insulator crossarm,  $m$ . This same travel time,  $T_{pm}$  is also used to derive the crossarm potentials, which may differ significantly from the tower top potentials for tall towers or fast stroke currents.

**SELECTION OF FOOTING RESISTANCE**

The tower footing resistance is an extremely important parameter in the determination of lightning flashover rates. Unfortunately, it is a fluctuating statistical variable the magnitude of which is governed not only by geography but also by nonlinear conduction physics in the earth. It may swing over a two to one range or more owing to changes in stroke current, and even with constant current it will change with time. An advantage of the Monte Carlo method of analysis (7) is that these widely fluctuating values may easily be accounted for, but in the analytical approach necessary for a hand calculator, an equivalent fixed value of footing resistance must be selected. Prior to making this selection, some of the fundamentals are reviewed. The following is a condensation of material in the first edition of this book — material organized primarily by F. A. Fisher (10).

The simplest electrode configuration to analyze is a spherical electrode that either is buried completely in the ground or has only the lower hemisphere buried (30). In the latter case, assuming uniform soil resistivity, a current,  $I$ , flowing from the hemisphere into the ground produces a current density in the surrounding soil of

$$i = \frac{I}{2\pi\lambda^2} \tag{12.5.8}$$

where  $i$  is the current density,  $I$  is the total current, and  $\lambda$  is the distance from the center line of the electrode. According to Ohm's law, such a current produces in the soil an electric field strength of

$$E = \rho i = \frac{\rho I}{2\pi\lambda^2} \tag{12.5.9}$$

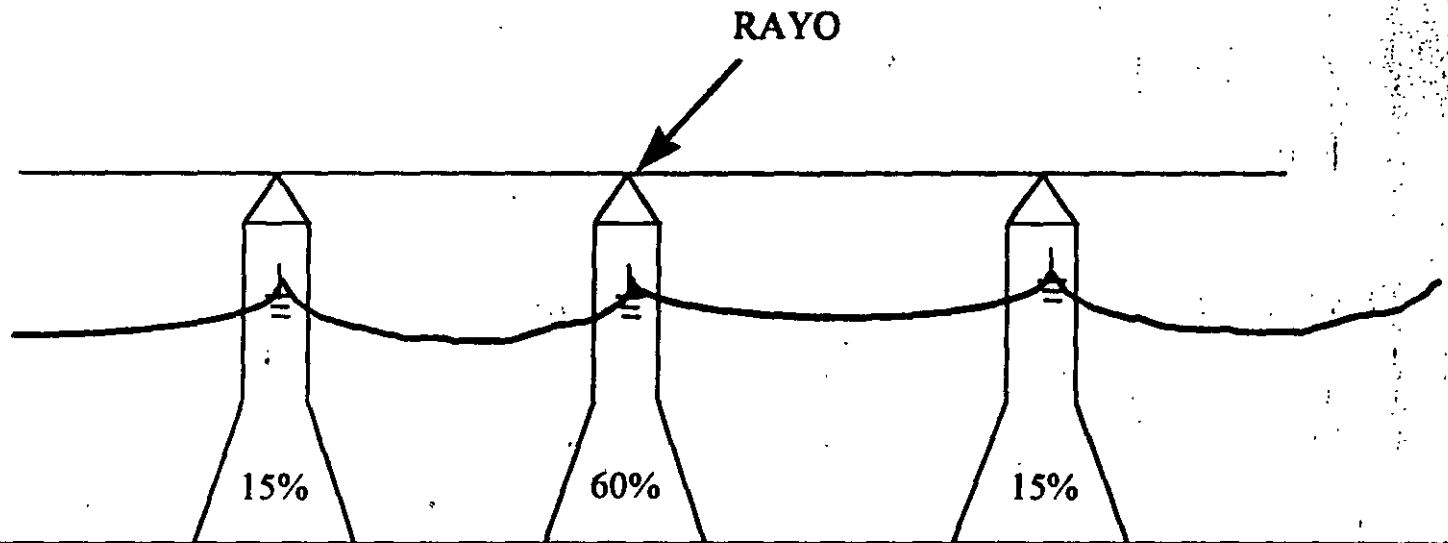
# EFFECTO DE LAS DESCARGAS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

$$Z_t = 60 \ln(2\sqrt{2} H_t/R_t) \text{ OHMS}$$

$H_t$  = ALTURA DE LA TORRE EN METROS

$R_t$  = RADIO EQUIVALENTE DE LA TORRE EN METROS

$d$  = SEPARACION ENTRE PATAS DE LA TORRE EN METROS



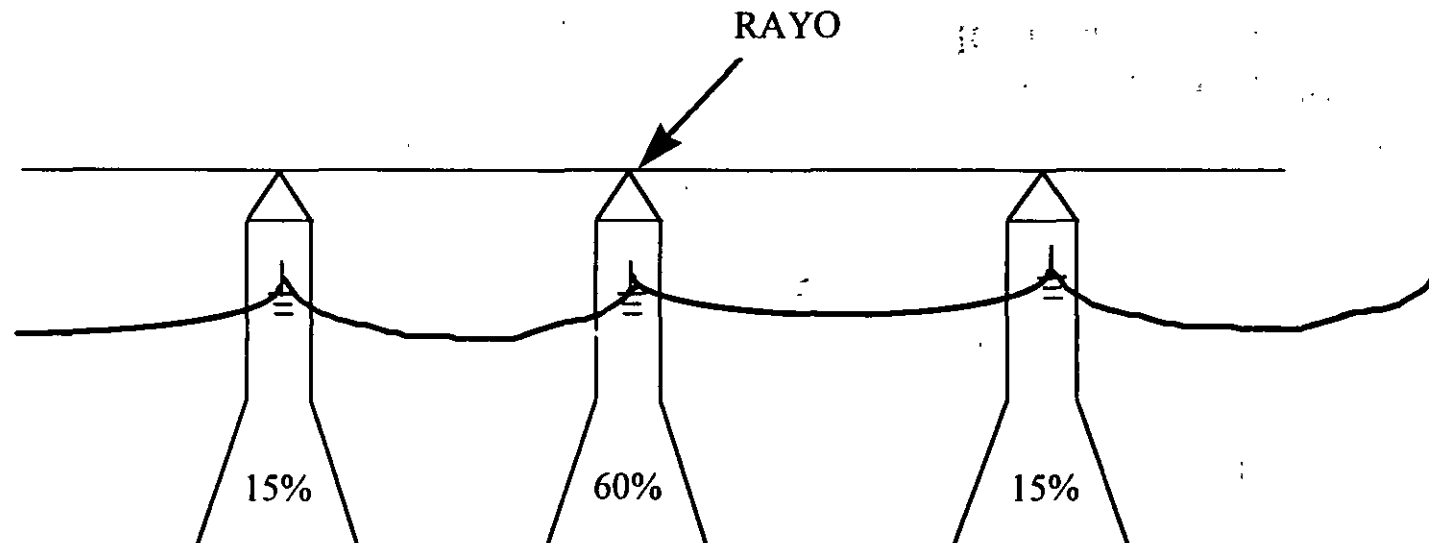
# EFECTO DE LAS DESCARGAS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

$$Z_t = 60 \ln(2\sqrt{2} H_t/R_t) \text{ OHMS}$$

$H_t$  = ALTURA DE LA TORRE EN METROS

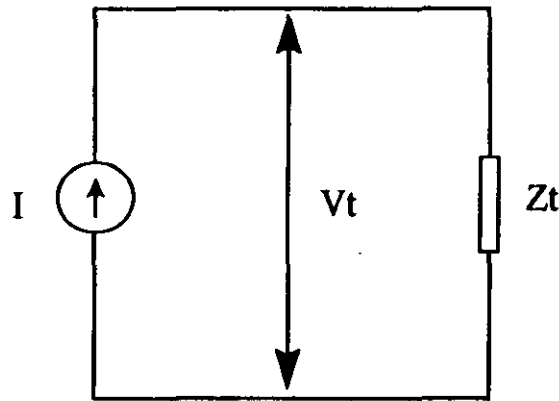
$R_t$  = RADIO EQUIVALENTE DE LA TORRE EN METROS

$d$  = SEPARACION ENTRE PATAS DE LA TORRE EN METROS





# EFECTO DE LAS DESCARGAS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

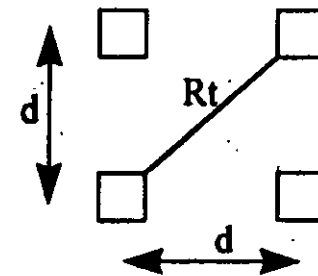
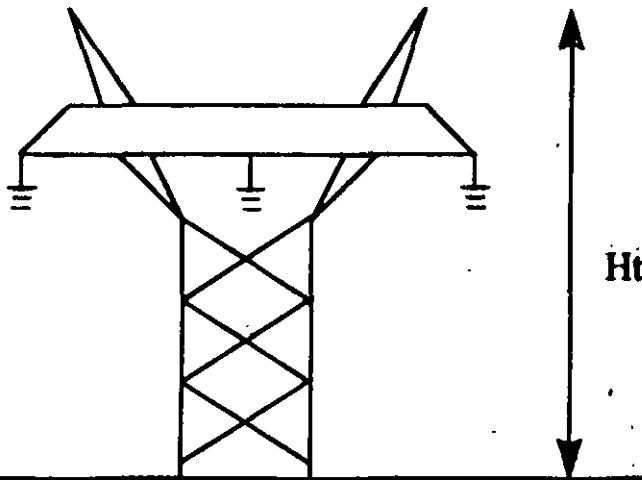


$$V_t = Z_t I$$

$V_t$  = VOLTAJE EN LA PARTE SUPERIOR DE LA TORRE

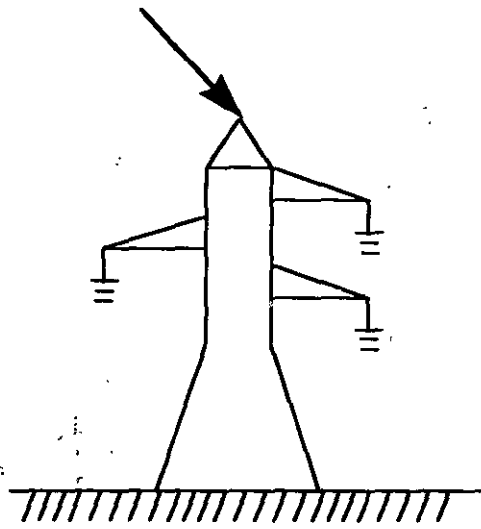
$Z_t$  = IMPEDANCIA CARACTERISTICA O APARENTE DE LA TORRE

$I$  = CORRIENTE DEL RAYO QUE CIRCULA POR LA TORRE

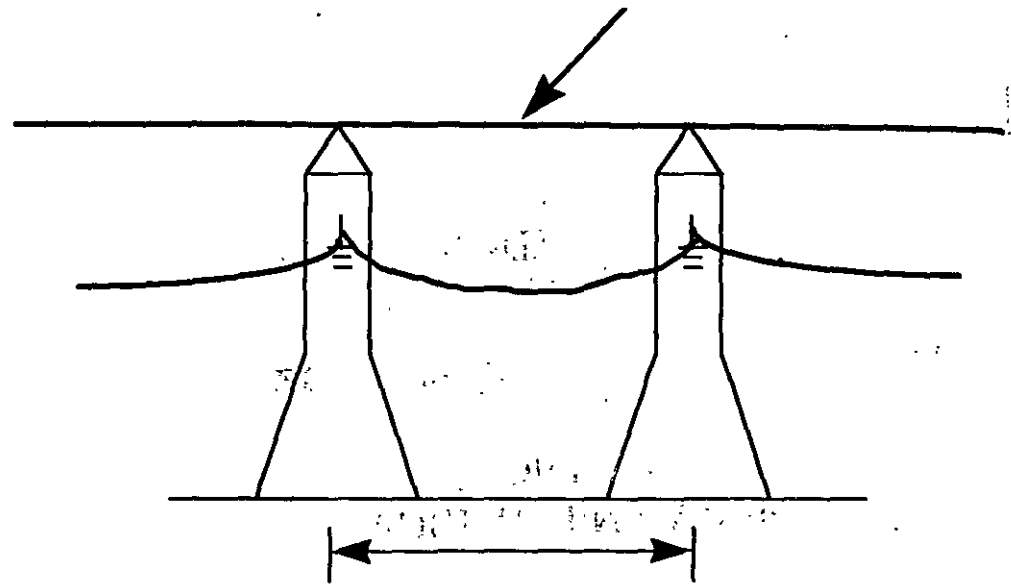


VISTA EN PLANTA DE LAS PATAS DE LA TORRE

# DESCARGAS EN LAS TORRES



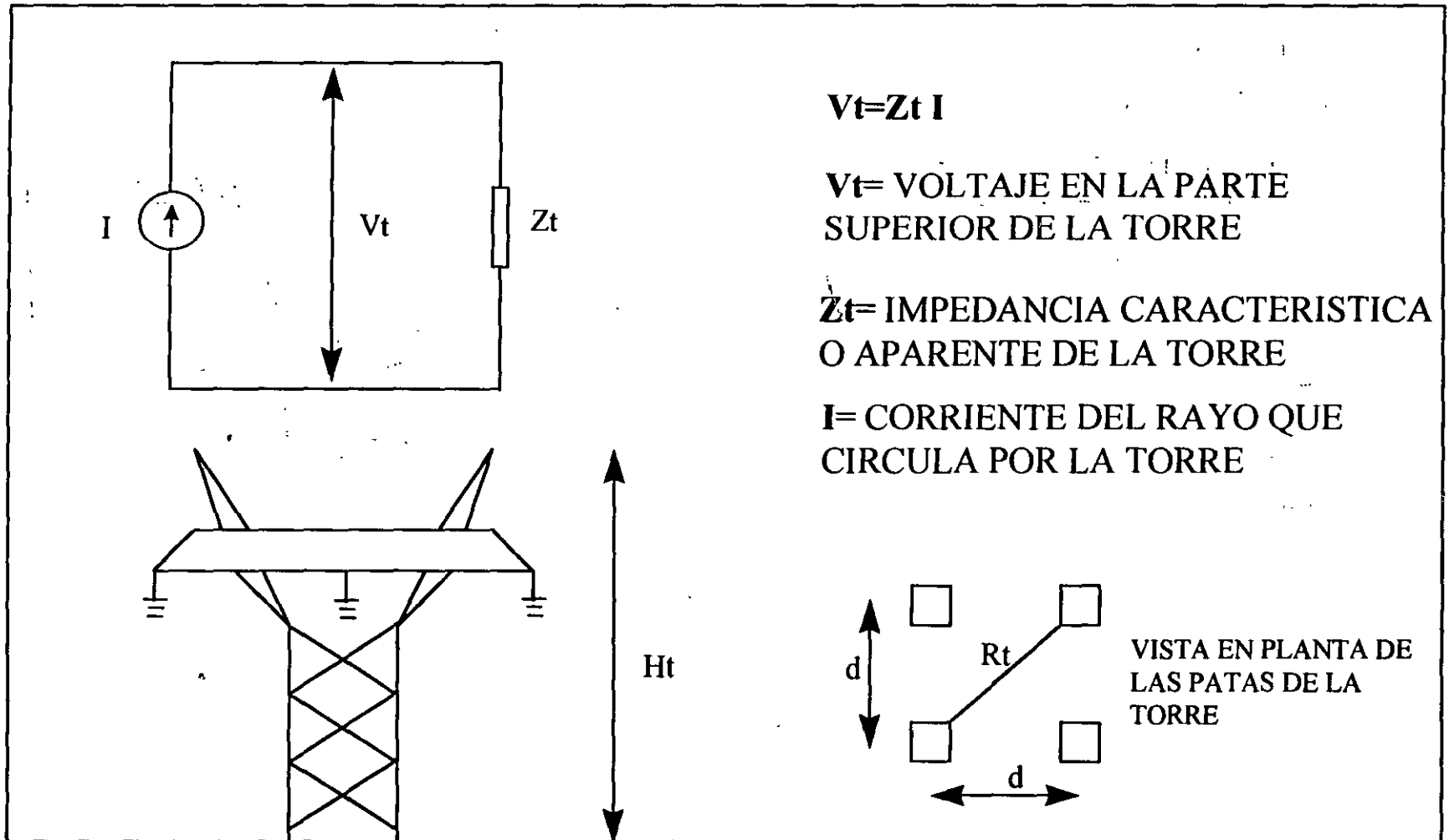
**EN LAS TORRES  
70% DE LAS DESCARGAS INCIDEN**



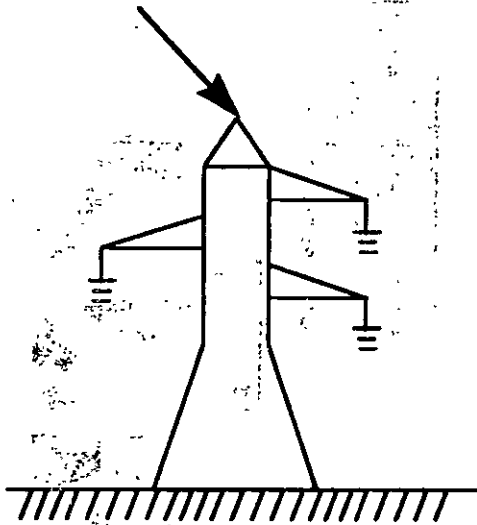
**CLARO O DISTANCIA ENTRE TORRES**

**30% DE LOS RAYOS INCIDEN EN EL  
PUNTO MEDIO DEL CLARO**

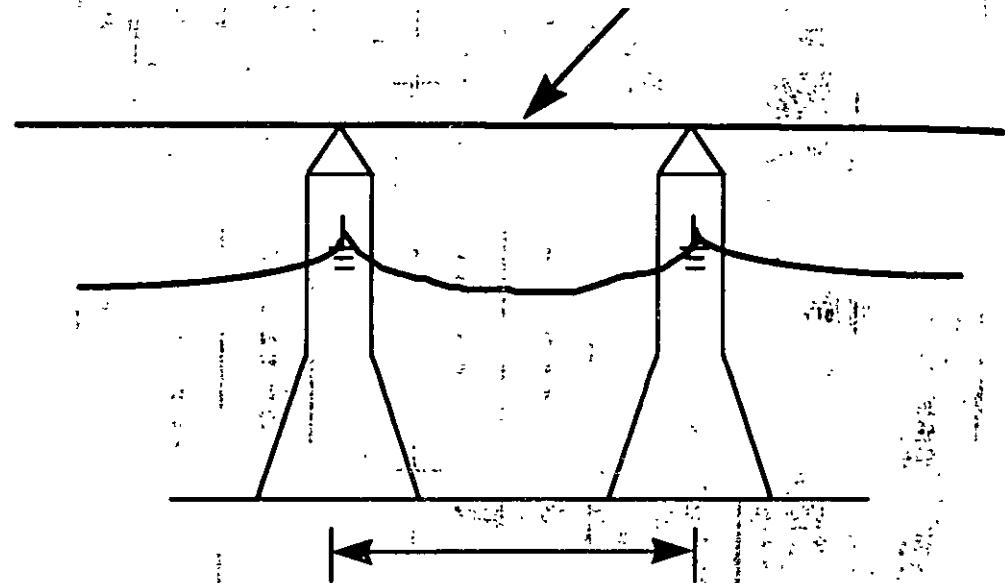
# EFFECTO DE LAS DESCARGAS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS



# DESCARGAS EN LAS TORRES



**EN LAS TORRES  
70% DE LAS DESCARGAS INCIDEN**



**CLARO O DISTANCIA ENTRE TORRES**

**30% DE LOS RAYOS INCIDEN EN EL  
PUNTO MEDIO DEL CLARO**

**SUBDIRECCION DE TRANSMISION, TRANSFORMACION Y CONTROL**  
**COORDINADORA DE TRANSMISION Y TRANSFORMACION**  
**GERENCIA DE SUBESTACIONES Y LINEAS**  
**SALIDAS DE LINEAS DE TRANSMISION POR FALLA PROPIA**  
**1997**

NOROESTE	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	251.00	0.79
NORTE	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	296.00	0.88
NORESTE	0	1	0	0	1	0	1	11	1	0	3	2	19	2,391.11	0.79
OCCIDENTE	0	0	0	0	0	2	0	22	1	2	4	3	34	3,112.00	1.09
CENTRAL	0	0	0	0	0	4	2	10	0	0	0	1	25	1,468.50	1.70
ORIENTE	0	0	0	1	0	1	0	18	0	2	0	0	21	3,141.00	0.70
SURESTE	0	0	1	0	2	1	1	10	0	0	2	2	19	1,247.50	1.52
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>74</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>123</b>	<b>11,908.11</b>	<b>1.03</b>

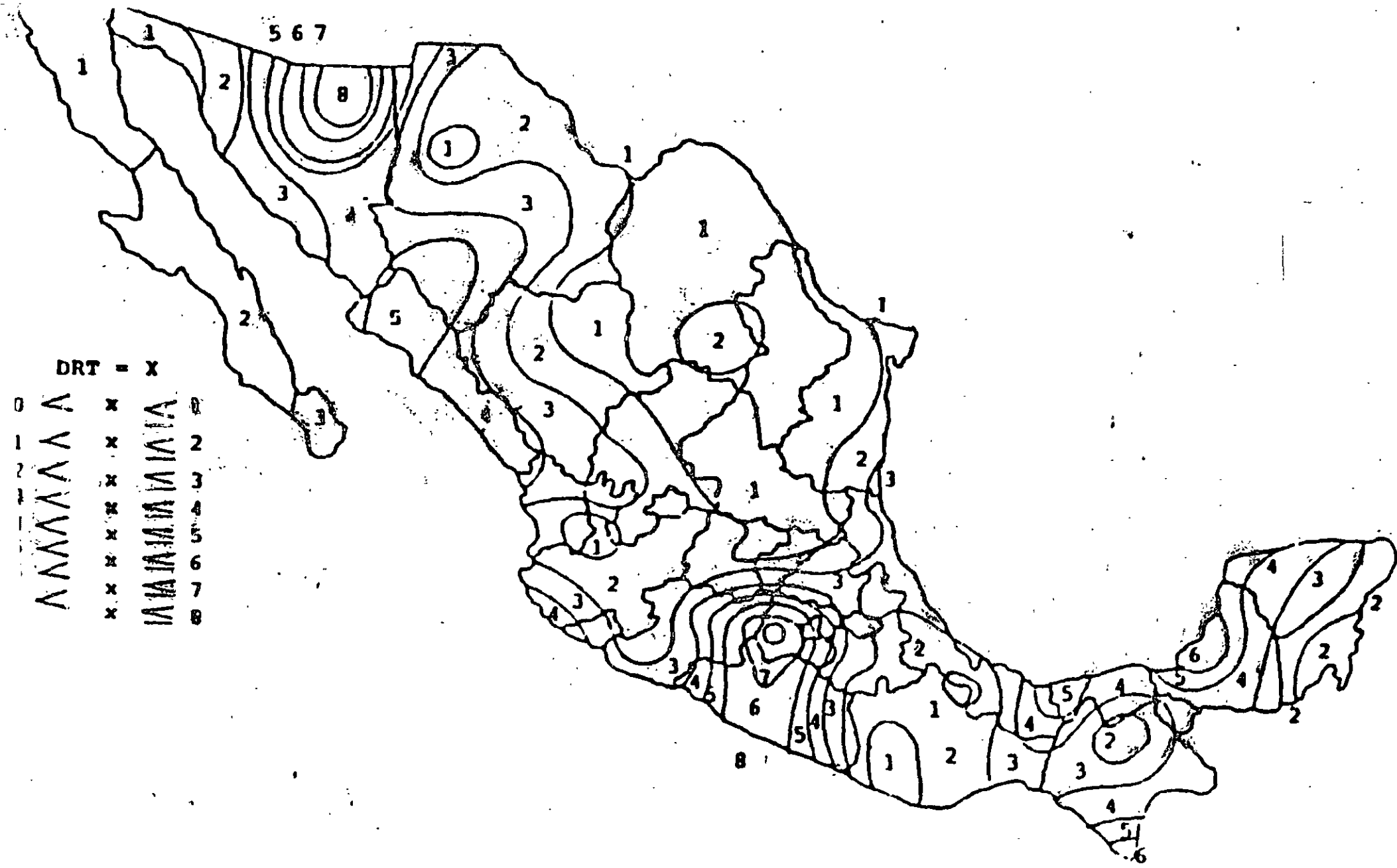
B. CALIFORNIA	0	1	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	5	689.00	0.73
NOROESTE	0	2	1	0	1	3	20	20	0	0	9	4	56	4,884.43	1.37
NORTE	0	0	0	0	0	1	11	15	2	0	1	1	31	3,244.04	0.96
NORESTE	0	0	0	0	0	0	4	11	0	0	1	1	17	2,028.10	0.84
OCCIDENTE	0	0	0	0	1	6	5	19	0	1	3	1	36	3,214.40	1.12
CENTRAL	0	0	0	2	0	3	1	25	1	1	8	3	44	2,659.10	1.65
ORIENTE	0	0	0	0	2	2	4	11	0	3	0	0	22	1,406.10	1.56
SURESTE	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	1	4	15	1,260.21	1.19
PENINSULAR	0	1	0	0	3	0	0	13	0	0	3	0	20	790.00	2.53
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>46</b>	<b>124</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>22</b>	<b>14</b>	<b>246</b>	<b>19,375.41</b>	<b>1.27</b>

B. CALIFORNIA	0	3	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	3	228.70	1.31
OCCIDENTE	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	1	0	7	169.00	4.14
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>397.70</b>	<b>2.51</b>

150	CENTRAL	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	66.00	3.03
	<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>66.00</b>	<b>3.03</b>

<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>25</b>	<b>59</b>	<b>349</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>39</b>	<b>23</b>	<b>545</b>	<b>35,914.82</b>	<b>1.52</b>
--------------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	------------	----------	-----------	-----------	-----------	------------	------------------	-------------

<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>25</b>	<b>59</b>	<b>349</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>39</b>	<b>23</b>	<b>545</b>	<b>35,914.82</b>	<b>1.52</b>
-----------------------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	------------	----------	-----------	-----------	-----------	------------	------------------	-------------



Mapa de isodensidad de rayos a tierra (DRT) promedio (1983-1989)