



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

CRITERIOS PARA SELECCIÓN, DISEÑO, MONTAJE Y
COMPARACIÓN DE COSTOS EN PARARRAYOS PARA
EDIFICACIONES APLICADOS EN GUATEMALA

José Estuardo Molina Castañeda

Asesorado por el Ing. Edgar Rolando Preti Jorquín

Guatemala, enero de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

CRITERIOS PARA SELECCIÓN, DISEÑO, MONTAJE Y COMPARACIÓN DE
COSTOS EN PARARRAYOS PARA EDIFICACIONES APLICADOS EN
GUATEMALA

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSÉ ESTUARDO MOLINA CASTAÑEDA

ASESORADO POR INGENIERO EDGAR ROLANDO PRETI JORQUÍN
AL CONFERIRLE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ENERO DE 2004

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

CRITERIOS PARA SELECCIÓN, DISEÑO, MONTAJE Y COMPARACIÓN DE
COSTOS EN PARARRAYOS PARA EDIFICACIONES APLICADOS EN
GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela
De Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 28 de octubre de 1998

José Estuardo Molina Castañeda

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vídes Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
EXAMINADOR	Ing. Edgar Florencio Montufar Urizar
EXAMINADOR	Ing. Juan Fernando Morales Mazariegos
SECRETARIA	Ing. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

Ing. Edgar Preti Jorquin
TELÉFONOS N.º. 341-3197 334-4043 334-4043 FAX: 333-3181
GUATEMALA, C. A.

24 de octubre de 2003

Ingeniero
Edwin Efraín Segura Castellanos
Coordinador de área Electrotécnica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Segura Castellanos:

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he asesorado el trabajo de graduación titulado "CRITERIOS PARA SELECCIÓN, DISEÑO, MONTAJE Y COMPARACIÓN DE COSTOS EN PARARRAYOS PARA EDIFICACIONES APLICADOS EN GUATEMALA" que previo a obtener el título de Ingeniero Electricista, ha desarrollado el señor José Estuardo Molina Castañeda (carné número 48716).

Le manifiesto que encuentro el trabajo satisfactorio y en mi opinión llena los requisitos para su aceptación, haciéndome co-responsable del contenido del mismo.

Por lo anterior, le agradecería que revise el trabajo a fin de dar visto bueno para que el estudiante Molina Castañeda pueda someterse al examen respectivo.

Agradeciendo su atención a la presente,

Atentamente,



Edgar Rolando Preti Jorquin
Asesor
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 1505

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 14 de noviembre 2003.

Señor Director
Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: **Criterios para selección, diseño, montaje y comparación de costos en pararrayos para edificaciones aplicados en Guatemala**, desarrollado por el estudiante José Estuardo Molina Castañeda. por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Erwin Efraín Segura Castellanos
Coordinador Área de Electrotécnica

EESC/mro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: José Estuardo Molina Castañeda titulado: **Criterios para selección, diseño, montaje y comparación de costos en pararrayos para edificaciones aplicados en Guatemala**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

DIRECTOR



Guatemala, 25 noviembre de 2,003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
DECANATO

Ref. DTG. 022-2004.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **CRITERIOS PARA SELECCIÓN, DISEÑO, MONTAJE Y COMPARACIÓN DE COSTOS EN PARARRAYOS PARA EDIFICACIONES APLICADOS EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **José Estuardo Molina Castañeda** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
DECANO



Guatemala, enero 27 de 2,004

/gdech

AGRADEZCO SINCERAMENTE A TODAS LAS PERSONAS Y ENTIDADES QUE HICIERON POSIBLE LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO DE GRADUACIÓN.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MIS PADRES

Efraín y Lily (en su memoria)

A MIS HERMANOS

Jorge Mario y Efraín

A MI ESPOSA

Carolina

A MIS HIJAS

Cristina y Michelle

A CONCEL, S. A.

A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VI
GLOSARIO.....	X
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV

1. MARCO TEÓRICO	
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Explicación del fenómeno tempestuoso.....	2
1.3 El fenómeno de descarga.....	2
1.4 Clasificación de los distintos tipos de rayos.....	3
1.4.1 Los rayos descendentes negativos.....	3
1.4.2 Los rayos ascendentes positivos.....	3
1.4.3 Los rayos descendentes positivos.....	3
1.4.4 Los rayos ascendentes negativos.....	3
1.5 El efecto del rayo.....	3
1.5.1 Efectos térmicos.....	3
1.5.2 Efectos debido a los cebados.....	4
1.5.3 Efectos electrodinámicos.....	4
1.5.4 Efectos electroquímicos.....	4

1.5.5	Efectos acústicos (trueno).....	4
1.5.6	Efectos de inducción.....	5
1.5.7	Efectos luminosos.....	5
1.5.8	Efectos indirectos.....	5
1.6	Los medios de protección.....	5
1.6.1	Protección de edificios.....	5
1.6.1.1	Los pararrayos con puntas.....	6
	a) Con dispositivos ionizados.....	6
	b) Sin dispositivos ionizados.....	6
1.6.1.2	Los pararrayos con jaulas malladas.....	6
1.6.2	Protección de los equipos eléctricos.....	6
1.6.2.1	Líneas telefónicas.....	7
1.6.2.2	Cables de señales.....	7
1.6.2.3	Antenas de TV y radio.....	7
1.6.2.4	Canalizaciones de transporte de productos inflamables o explosivos.....	8
1.7	Criterios para selección de los medios de protección.....	8
1.7.1	Las posibilidades técnicas.....	8
1.7.2	El costo	8
1.7.3	Lo estético de las realizaciones.....	8
1.7.4	La evaluación del riesgo del rayo.....	8
1.8	Diseño con los medios de protección usados en Guatemala.....	15
1.8.1	Pararrayos Franklin.....	16
1.8.2	Jaula de Faraday.....	19
1.8.3	Pararrayos de puntas ionizantes.....	19
1.8.3.1	Evaluación del nivel de riesgo del rayo.....	22
1.8.3.2	Pulsar de Helita.....	23
1.8.3.3	Piezoeléctricos de Saint Elmo.....	28
1.8.3.4	Ingesco PDC.....	32

1.8.3.5	Erico.....	36
1.9	Criterios de montaje y mantenimiento para medios de protección utilizados en Guatemala.....	41
1.9.1	Criterios de montaje.....	41
1.9.1.1	Disposiciones particulares.....	41
1.9.1.1.1	Antenas.....	41
1.9.1.1.2	Techos de palma o paja.....	42
1.9.1.1.3	Chimeneas de fábricas.....	42
1.9.1.1.4	Áreas de almacenamiento de productos inflamables o explosivos	43
1.9.1.1.5	Edificios altos.....	43
1.9.1.1.6	Estructuras ubicadas en puntos elevados.....	44
1.9.1.1.7	Zonas abiertas, áreas de ocio o deportivas.....	44
1.9.1.1.8	Árboles.....	45
1.9.1.2	Conductores de bajada.....	45
1.9.1.2.1	Número de bajantes.....	45
1.9.1.2.2	Trayectoria del bajante.....	46
1.9.1.2.3	Materiales y dimensiones de los bajantes.....	47
1.9.1.2.4	Unión de comprobación de tierras.....	48
1.9.1.2.5	Contador de Impactos de rayos..	49
1.9.1.3	Equipotencialidad de las masas metálicas exteriores.....	49
1.9.1.3.1	Unión equipotencial.....	50

1.9.1.3.2	Distancia de seguridad.....	50
1.9.1.3.3	Equipotencialidad de las masas metálicas exteriores.....	52
1.9.1.3.4	Unión equipotencial mediante conductores.....	52
1.9.1.3.5	Equipotencialidad por unión directa o protector contra sobre- tensiones.....	52
1.9.1.3.6	Equipotencialidad de las masas metálicas embebidas en las paredes.....	53
1.9.1.3.7	Equipotencialidad de las masas metálicas interiores.....	53
1.9.1.4	Tomas de tierra.....	54
1.9.1.4.1	Diferentes tipos de tomas de tierra.....	55
1.9.1.4.2	Equipotencialidad de las tierras.....	56
1.9.1.4.3	Condiciones de proximidad.....	57
1.9.1.4.4	Materiales y dimensiones.....	57
1.9.1.5	Protección contra la corrosión.....	58
1.9.1.5.1	Precauciones y medidas por tomar.....	59
1.9.2	Criterios de mantenimiento.....	60
1.9.21	Procedimiento de verificación.....	61
1.10	Comparación de costos para los medios de protección utilizados en Guatemala.....	62

2.	METODOLOGÍA	
2.1	Investigación de campo.....	67
2.2	Definición del problema.....	69
2.3	Delimitación del problema.....	70
2.4	Puesta a prueba de la hipótesis.....	70
2.5	Recomendaciones que se deben efectuar en instalaciones deficientes visitadas durante la investigación de campo.....	71
3.	PRESENTACIÓN DE ANÁLISIS Y RESULTADOS	
3.1	Características de la muestra.....	73
3.2	Modelo de la boleta utilizada para investigación de campo.....	73
3.3	Presentación y análisis.....	75
	CONCLUSIONES.....	100
	RECOMENDACIONES.....	102
	BIBLIOGRAFÍA.....	104
	ANEXO.....	106

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Cálculo típico de Ae para un edificio rectangular.....	11
2	Cálculo típico de Ae para un edificio con una parte prominente.....	12
3	Diseño del modelo por medio de pararrayos Franklin.....	17
4	Punta Franklin.....	18
5	Diseño del modelo por medio de jaula mallada.....	20
6	Jaula de Faraday.....	21
7	Diseño del modelo por medio de puntas ionizantes Pulsar de Helita...	26
8	Punta Pulsar de Helita.....	27
9	Diseño del modelo por medio de puntas ionizantes con excitador piezoeléctrico de Saint Elmo.....	30
10	Punta Saint Elmo.....	31
11	Diseño del modelo por medio de puntas ionizantes PDC de Ingesco..	34
12	Punta PDC de Ingesco.....	35
13	Diseño del modelo por medio de puntas ionizantes Dynasphere de Erico.....	37
14	Reporte del diseño del modelo por medio de puntas ionizantes Dynasphere de Erico.....	38
15	Punta Interceptor de Erico.....	39
16	Punta Dynasphere de Erico.....	40

17	Ubicación de las edificaciones muestreadas por zonas.....	78
18	Área de protección para las edificaciones muestreadas.....	79
19	Año en que fueron puestas en servicio las edificaciones muestreadas.....	80
20	Pararrayos en edificaciones muestreadas.....	81
21	Modificaciones después de la instalación del pararrayos, en edificaciones muestreadas.....	82
22	Práctica de mantenimiento a pararrayos de edificaciones muestreadas.....	83
23	Tipos de pararrayos que poseen las edificaciones muestreadas.....	84
24	Tipo de puntas que poseen los pararrayos de las edificaciones muestreadas.....	85
25	Energía para cebado que utilizan los pararrayos ionizantes de las edificaciones muestreadas.....	86
26	Fabricación de las puntas sin dispositivos ionizantes de los edificios muestreados.....	87
27	Separación entre la parte más prominente por proteger y el pararrayos, en las edificaciones muestreadas.....	88
28	Apariencia del estado de las puntas de los pararrayos de las edificaciones muestreados.....	89
29	Número de bajantes de pararrayos, de las edificaciones muestreadas.....	90
30	Material de los bajantes de los pararrayos de las edificaciones muestreados.....	91
31	Tipo de material de los bajantes de los pararrayos de las edificaciones muestreados.....	92
32	Apariencia de los bajantes de los pararrayos de las edificaciones muestreados.....	93

33	Puesta a tierra de los pararrayos de las edificaciones muestreadas....	94
34	Existencia en áreas de protección de pararrayos de las edificaciones muestreadas de instalaciones especiales.....	95
35	Fueron consideradas las instalaciones especiales en el diseño del pararrayos de las edificaciones muestreadas.....	96
36	Consideración sobre la protección de los pararrayos en las edificaciones muestreadas.....	97
37	Recomendaciones en caso de inadecuada protección para los pararrayos de las edificaciones muestreadas.....	98
38	Recomendaciones de tipo de pararrayos que se van a emplear en edificaciones muestreadas que tengan que hacerse de nuevo.	99
39	Mapa cerámico de la república de Guatemala.....	108

TABLAS

I	Determinación del coeficiente ambiental C1.....	10
II	Determinación del coeficiente estructural C2.....	13
III	Determinación del coeficiente de contenido de estructura, C3.....	13
IV	Determinación del coeficiente de ocupación de estructura, C4.....	14
V	Determinación del coeficiente de consecuencias de la caída de un rayo, C5.....	14
VI	Valores críticos de E inefectivo correspondientes al límite entre el nivel de protección y el nivel de protección correspondiente al E Inefectivo calculado.....	15
VII	Radios de protección del pararrayos Pulsar de Helita, según la norma NF C17-102.....	25
VIII	Radios de protección del pararrayos Saint Elmo, según la norma NF C17-102.....	29
IX	Radios de protección del pararrayos Ingescos PDC, según	

	la norma UNE 21186 y NF C 17-102.....	33
X	Conductores de bajada.....	48
XI	Electrodo de tierras.....	58
XII	Periodicidad de verificación de los componentes de un pararrayos de puntas ionizantes.....	60
XIII	Relámpagos y truenos por estación del INSIVUMEH.....	106

GLOSARIO

Bajante	Parte de la instalación exterior de protección contra el rayo, destinada a conducir la corriente del rayo desde la punta captora a la toma o puesta a tierra
Cebado	Fenómeno físico comprendido entre la aparición de los efluvios del efecto corona y la propagación continua del trazador ascendente
Cerámico	Es el número de días promedio, por año con tormenta eléctrica en una región específica
Equipotencial	Que pone al mismo potencial
Ionización	Es la producción de iones en un gas o un electrolito
Mástil	Soporte de sujeción donde se coloca una punta captora

RESUMEN

En función de la dirección del primer efluvo eléctrico y de polaridad nube-tierra, los rayos se pueden clasificar en rayos descendentes negativos, rayos ascendentes positivos, rayos descendentes positivos y rayos ascendentes negativos.

Los principales efectos del rayo son: efectos térmicos, efectos debido a los cebados, efectos electrodinámicos, efectos electroquímicos, efectos acústicos (trueno), efectos de inducción, efectos luminosos y efectos indirectos.

De lo anterior, deviene la importancia de los pararrayos, que están destinados a preservar edificaciones, estructuras y zonas de terreno donde los impactos directos del rayo y sus descargas atmosféricas son canalizados hasta el suelo.

Los pararrayos los hay de tipo jaula de Faraday y con puntas. Los de puntas pueden ser con dispositivos ionizantes o de cebado y sin dispositivos ionizantes.

La selección de los métodos de protección dependerá de las posibilidades técnicas ofrecidas por cada sistema, el costo, lo estético de las realizaciones y la evaluación del riesgo del rayo.

Para un pararrayos, deben de tomarse ciertos criterios de montaje como son: asegurar la ubicación de las puntas, naturaleza y sección de los materiales utilizados para los bajantes, trayectoria de los bajantes, fijación mecánica de los diferentes elementos de la

instalación, respetar las distancias de seguridad y/o la presencia de uniones equipotenciales, resistencia de las tomas de tierra e interconexión de las tomas de tierra. Como tratar disposiciones particulares como: antenas, techos de palma o paja, chimeneas, áreas de almacenamiento de materiales inflamables o explosivos, edificios altos, estructuras ubicadas en puntos elevados, zonas abiertas, áreas de ocio o deportivas, árboles.

Criterios para conductores de bajadas, equipotencialidad, tomas de tierra y protección contra la corrosión.

Normas para el mantenimiento como son periodicidad, inspección visual y realizar medidas, para verificar la continuidad eléctrica de los conductores no visibles y la resistencia de las tomas de tierra.

OBJETIVOS

❖ General

Planear una guía con parámetros para ayudar al lector interesado en el tema de utilización de pararrayos para edificaciones

❖ Específicos

1. Elegir tipos y tecnología de que se dispone en el medio
2. Calcular de dispositivos necesarios para obtener la cobertura deseada
3. Adecuar para que se obtenga la protección esperada
4. Ejemplificar costos de las distintas tecnologías en un proyecto específico, para poder comparar costos y evaluar ventajas y desventajas, entre las distintas tecnologías y tipos de pararrayos

HIPÓTESIS

Los pararrayos generalmente no son utilizados en las edificaciones de Guatemala y cuando sí se utilizan no siempre son bien instalados

INTRODUCCIÓN

El campo de estudio fue delimitado por área metropolitana de la ciudad de Guatemala; tiene la limitación de que hay muchas edificaciones, por lo que fue necesario efectuar un muestreo que da la tendencia.

La muestra formada por 36 edificaciones escogidas al azar, en las que estuviera representada la mayoría de las edificaciones como son bancarios o financieros, comerciales, deportivos, educativas, estatales, iglesias, industriales, hospitales y/o clínicas, hoteles, oficinas, residenciales y otras consideradas especiales.

Este trabajo de tesis ha sido efectuado con la finalidad de determinar los criterios para la selección, importancia del diseño, realización de un montaje adecuado, así como el mantenimiento de las instalaciones de sistemas de protección contra rayos.

Este estudio se elaboró para establecer las instalaciones de pararrayos inadecuadas o inexistentes para edificaciones dentro del área metropolitana de la ciudad de Guatemala, como un peligro a los usuarios y a las inversiones de los propietarios de las edificaciones.

Esta labor presenta, en el capítulo 1, una base teórica sobre el rayo y los medios de protección, los criterios para selección, el diseño para dichos medios de protección, así como criterios de montaje y mantenimiento, además de una referencia de costos entre las distintas opciones.

El capítulo 2 trata sobre la metodología utilizada para la realización de la investigación y describe el procedimiento para la puesta a prueba de la hipótesis.

El capítulo 3 es la representación analítica y gráfica de los resultados obtenidos en el estudio realizado; se incluye el modelo de la boleta de encuesta utilizada

Al final, se presentan las conclusiones, recomendaciones, así como un anexo con un mapa de niveles ceráunicos para la republica de Guatemala y resumen de valores sobre relámpagos y truenos para todas las estaciones climatológicas que posee el INSIVUMEH

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades

Las descargas atmosféricas eléctricas conocidas como relámpago o tormentas eléctricas (de nube a nube o de nube a tierra) han capturado la imaginación y el temor de la raza humana desde los primeros tiempos. Los antiguos creían que el relámpago era la herramienta de Zeus para castigar la mala conducta de los humanos o para demostrar su furia.

No fue sino hasta tiempos de Benjamín Franklin, cuando se tuvo el primer conocimiento científico del fenómeno de los rayos. Desde entonces, el rayo se ha estudiado con gran interés, y se han desarrollado muchas teorías que explican razonablemente el fenómeno. Además de estas teorías, existe una cantidad enorme de datos medidos de las características de los rayos. Estos datos son útiles para el diseño de esquemas de protección contra rayos.

Como un ejemplo, se adjunta la siguiente estadística de la estación climatológica INSIVUMEH correspondiente a la ciudad de Guatemala en un año (01 de septiembre del 97 al 31 de agosto de 1998), así:

Relámpago visible sin trueno: 22 días

Tormenta eléctrica con o sin precipitación: 39 días

Sin embargo hay otras zonas de Guatemala como las costas y boca-costas, donde estos valores son muchísimos más altos en el orden de hasta 6 a 7 veces más.

1.2 La explicación de fenómeno tempestuoso

La nube tempestuosa de tipo cúmulo-nimbus es la originaria de la producción de rayos. Su parte superior está constituida de cristales de hielo cargados positivamente, mientras que la sub-base está formada de gotitas de agua cargadas negativamente. Las turbulencias atmosféricas engendran esta separación de cargas que cuando el límite disruptivo es alcanzado, provoca descargas eléctricas entre las nubes o áreas de nubes (relámpagos) o entre las nubes y el suelo (rayos).

Cuando hay buen tiempo, el campo eléctrico al suelo es del orden de 100 Voltios / metro y en la proximidad de la tempestad alcanza valores de 15 a 20 Kilovoltios / metro. Entonces la diferencia de potencial entre la nube y el suelo es de algunas decenas de megavoltios.

1.3 El fenómeno de descarga

De la base de la nube generalmente cargada negativamente, se escapa una predescarga llamada trazador, débilmente luminosa y cuya progresión hasta el suelo se hace por saltos de algunas decenas de metros, siguiendo las descargas a tomar el camino ionizado de la antecedente, entrecortadas en intervalos de entre 40 y 100 micro segundos.

A la proximidad del suelo la extremidad del trazador o dardo fuertemente cargado engendra a su vertical un importante crecimiento del campo eléctrico pudiendo alcanzar valores de entre 400 y 500 kilovoltios / metro. Cuando el punto de ionización del aire es alcanzado (30KV/M), efluvios que se transforman en descargas ascendentes positivas, por valores de campos superiores. El efluvio que ofrecerá las mayores características de cebado o que progrese más rápidamente, volverá a juntar el trazador.

El canal ionizado está entonces perfectamente establecido y se produce un ascenso de las cargas desde el suelo hasta la nube y tiende a neutralizar sus propias cargas.

En el espacio de 0.2 a 1 segundo, varios rayos pueden ser intercambiados, su progresión está entonces continuada y su velocidad de propagación es del orden de 10,000 kilómetros / segundo

1.4 Clasificación de los distintos tipos de rayos

Los rayos se pueden clasificar en función de la dirección del primer efluvo eléctrico y de polaridad nube-tierra.

1.4.1 Los rayos descendentes negativos

Son los más frecuentes en nuestras regiones y en planes; estos representan alrededor del 80 al 90% de todos los rayos

1.4.2 Los rayos ascendentes positivos

Éstos se originan en las prominencias y se encuentran frecuentemente en las montañas.

1.4.3 Los rayos descendentes positivos

1.4.4 Los rayos ascendentes negativos

1.5 Los efectos del rayo

Los principales efectos del rayo son:

1.5.1 Efectos térmicos:

Estos efectos están atados a las cantidades de carga puestas en juego de los golpes del rayo. Se traducen por puntos de fusión más o menos importantes al nivel de los

impactos cuando se trata de materiales conductores y por una evaluación de la temperatura a los lugares de mal contacto o para material de gran resistividad. Sobre material mal conductor, una gran energía es liberada bajo la forma de calor, la humedad que contienen provoca entonces una depresión brutal hasta su estallido.

1.5.2 Efectos debido a los cebados

La resistividad de los suelos hace que las tomas de tierra sean resistentes y que no puedan impedir que cuando la corriente de rayo pase, de una ascensión brutal en el potencial de la instalación. Por eso, se crean diferencias de potencial entre algunos elementos metálicos, por lo que es muy importante las tomas de tierra y la conexión de las masas metálicas cercanas a las bajadas.

1.5.3 Efectos electrodinámicos

De tal efecto, pueden producirse cuando una parte del camino recorrido por la corriente del rayo está en el campo magnético de otra parte. Fuerzas de repulsión y de atracción pueden surgir por ejemplo sobre conductores muy cercanos.

1.5.4 Efectos electroquímicos

Muy despreciables y sin influencias sobre tomas de tierra (comparativamente a las corrientes parásitas en el suelo)

1.5.5 Efectos acústicos (trueno)

Este es debido a la brusca elevación de presión (entre 2 y 3 Atmósferas) del canal de la descarga contactada por las fuerzas electrodinámicas durante la duración del relámpago. La duración del trueno está en función de la longitud del canal ionizado. La propagación por las frecuencias elevadas, de las componentes espectrales engendradas por la onda de choque que se hace perpendicularmente al canal, mientras que para frecuencias bajas, ésta es omni-direccional, de donde las diferentes formas de estruendo o

chasquido recogidos globalmente por un observador, que sigue la distancia y la orientación de los canales sucesivos del relámpago.

1.5.6 Efectos de inducción

Son aquellos que a menudo son los más difíciles de protegerse. La proximidad de un rayo sobre un sitio y su salida a través de los conductores crean un flujo magnético generador de tensiones inducidas elevadas a veces destructoras. Los cierres electromagnéticos pueden crearse entre las bajadas de los pararrayos y los circuitos de las instalaciones y particularmente la utilización de dispositivos de protección complementarios.

1.5.7 Efectos luminosos

La proximidad de una caída de rayo engendra sobre la retina de un observador una impresión de tal manera, que el ojo queda durante algunos segundos deslumbrado.

1.5.8 Efectos indirectos, potenciales desfasados o tensiones de paso

La dispersión de la corriente de rayo en el suelo depende de la naturaleza de los terrenos. En un suelo homogéneo, diferencias de potenciales peligrosas pueden establecerse entre dos puntos vecinos.

1.6 Los medios de protección

Los distintos medios de protección son:

1.6.1 Protección de edificaciones

Los pararrayos están destinados a preservar los edificios, estructuras y zonas de terreno donde los impactos directos del rayo y sus descargas atmosféricas son canalizados hasta el suelo. Las instalaciones de pararrayos se comportan de manera obligatoria: uno o algunos captadores, una o algunas bajadas, una o algunas tomas de tierra.

1.6.1.1 Los pararrayos con punta

Estas instalaciones se encuentran en las partes altas de las edificaciones o estructuras que se van a proteger de puntas atusadas juntadas a la tierra por el camino más directo. La protección ofrecida depende de su implantación y se basa en el principio de la distancia de cebado; el método del trazado electro-geométrico propuesto permite una determinación rigurosa de la protección.

a) Las puntas con dispositivos ionizados

Siguen las mismas reglas, sus distancias de cebado; el método del trazado electro-geométrico propuesto permite una determinación de la protección.

b) Las puntas sin dispositivos ionizados

Siguen las mismas reglas; sus distancias de cebado están un poco aminoradas (entre 1.5 y 3 veces) debido a la disminución de su retraso de cebado. El interés de eso reside en el esfuerzo de la eficacia, particularmente en el encuentro de los golpes de rayo de débil intensidad y en la limitación de alturas de las puntas, que podrían a veces alcanzar valores de medidas difícilmente admisibles.

1.6.1.2 Los pararrayos con jaulas malladas

Ésta consiste en la realización en el área de la edificación que se va a proteger, de una jaula de Faraday con largas mallas unidas al suelo y a tomas de tierra. Puntas de pequeñas dimensiones (0.3 a 0.6M), llamadas puntas de choque, las cuales están dispuestas en el contorno de las mallas de las azoteas y sobre todo los salientes (chimeneas, extractores, etc.)

1.6.2 La protección de los equipos eléctricos

La protección no se limita a la de los edificios, pero igualmente a la protección de las instalaciones y del material generalmente, por los cuales los efectos secundarios del

rayo y más particularmente los efectos de inducción y de tensiones, que son a menudo destructores.

En efecto, la proximidad del rayo sobre un sitio y su salida, a través de conductores crea un flujo magnético generador de tensiones inducidas elevadas que acaban en cierres electromagnéticos entre bajadas de pararrayos y circuitos eléctricos. De donde hay un cierto número de precauciones que se van a tomar en la realización de las instalaciones. Es lo mismo para las numerosas sobre tensiones propagadas por las canalizaciones de transporte, donde las disposiciones deben estar tomadas, como añadiduras de aparatos de protección complementarios.

1.6.2.1 En las líneas telefónicas

Pueden viajar a la casa del abonado ondas impulsionales, provenientes no solamente de la tormenta, pero igualmente de inducciones electromagnéticas o de contactos con líneas de transporte de energía. Se recomienda poner sobre el cable de llegada cajas de protección que compartan pararrayos y fusibles.

1.6.2.2 Para cables de señales

Pueden viajar sobre tensiones de origen atmosférico introduciendo a casa de los usuarios. Se previene con cajas de protección equipadas para sobre-tensiones y de varistancias, concebidas para decrecer los picos de tensión.

1.6.2.3 Para las antenas de TV y los equipos eléctricos de azoteas

Por su forma y prominencia, hacen el objeto de descargar electricidad estática atmosférica, por lo que hay que prever una toma de tierra, a través del pararrayos.

1.6.2.4 Para las canalizaciones de transporte de productos inflamables o explosivos

Que a pesar de una protección catódica, las corrientes parásitas del suelo no son el abrigo del cebado o de chispas debidas a efectos atmosféricos; los pararrayos fueron estudiados para terminar con eso.

Se puede entender, en una época en que la tecnología es cada vez más sofisticada en la que la utilización de componentes electrónicos, es por todas partes invadida. Es indispensable de prever una protección eficaz, pero mejor es pensar en la prevención.

1.7 Criterios para selección de los medios de protección

La selección de los métodos de protección dependerá de:

1.7.1 Las posibilidades técnicas

Ofrecidas por uno u otro de los métodos, sabiendo la limitación que una jaula puede proteger sólo lo que encierra

1.7.2 El costo

Siempre es un factor determinante

1.7.3 Lo estético de las realizaciones

En vista de que un sistema de protección contra rayos puede competir con la arquitectura de la edificación

1.7.4 La evaluación del riesgo del rayo

Esta evaluación está hecha conforme al siguiente método:

Frecuencia aceptable de un rayo directo sobre un edificio (Nd)

El promedio anual de la frecuencia N_d de un rayo directo sobre un edificio está calculado usando la siguiente ecuación:

$$N_d = N_{g \max} * A_e * c_1 \times 10^{(exp -6)} / \text{año} \quad \text{donde:}$$

$$N_{g \max} = 2 N_g$$

N_g : significa la densidad anual de relámpagos en la región donde está ubicado el edificio (número de caída de rayos / año / Km^2) En el caso que no se disponga de un mapa de N_g , se puede también obtener usando el nivel cerámico (N_k) - ver anexo-

$$N_{g \max} = N_k / 10$$

A_e : es el área de captura equivalente del edificio aislado; es definido como el área de tierra que tiene la misma posibilidad anual de un relámpago directo, que un edificio.

Para estructuras rectangulares con largo L , ancho W y altura H , el área de captura es igual a:

$$A_e = LW + 6H(L + W) + 9 \pi H^2$$

La topografía del sitio y los objetos localizados a menos de una distancia $3H$ de la estructura afectan significativamente el área de captura.

Este efecto es tomado en cuenta aplicando el coeficiente ambiental C_1 , según la tabla I.

Tabla I. **Determinación del coeficiente ambiental C_1**

Localización relativa de estructuras	C1
Estructura localizada en un espacio donde hay otras estructuras o árboles de la misma altura o más alto	0.25
Estructuras rodeadas por estructuras bajas	0.5
Estructuras aisladas: no hay otras estructuras en una distancia menor de 3H	1
Estructura aislada en la cumbre de una colina o promontorio	2

Fuente: **tabla B2, NF C 17-102**

Cuando el área de captura equivalente de la estructura es cubierta completamente por otra estructura, ésta no será considerada.

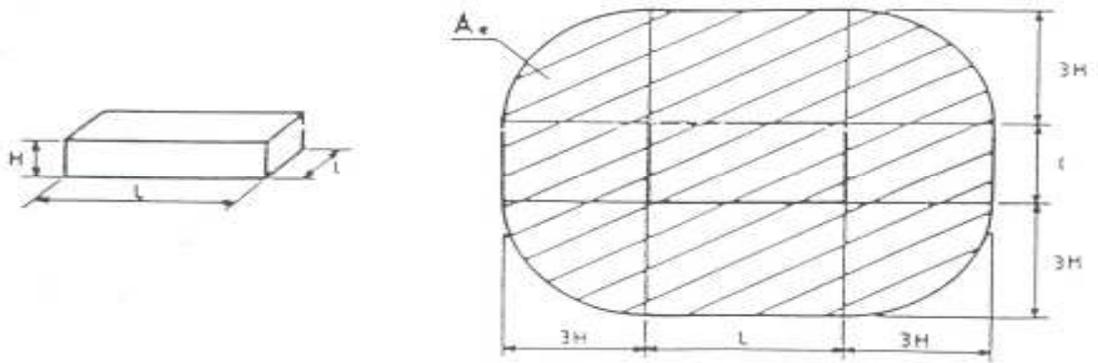
Cuando el área de captura de varias estructuras esta traslapada, la correspondiente área de colección común es considerada como un área de colección sencilla.

Otros sofisticados métodos pueden ser utilizados para evaluar el área de captura equivalente, con mayor exactitud.

a) Para edificios rectangulares

$$A_e = LW + 6H(L + W) + 9\pi H^2$$

Figura 1. **Cálculo típico de A_e para un edificio rectangular**

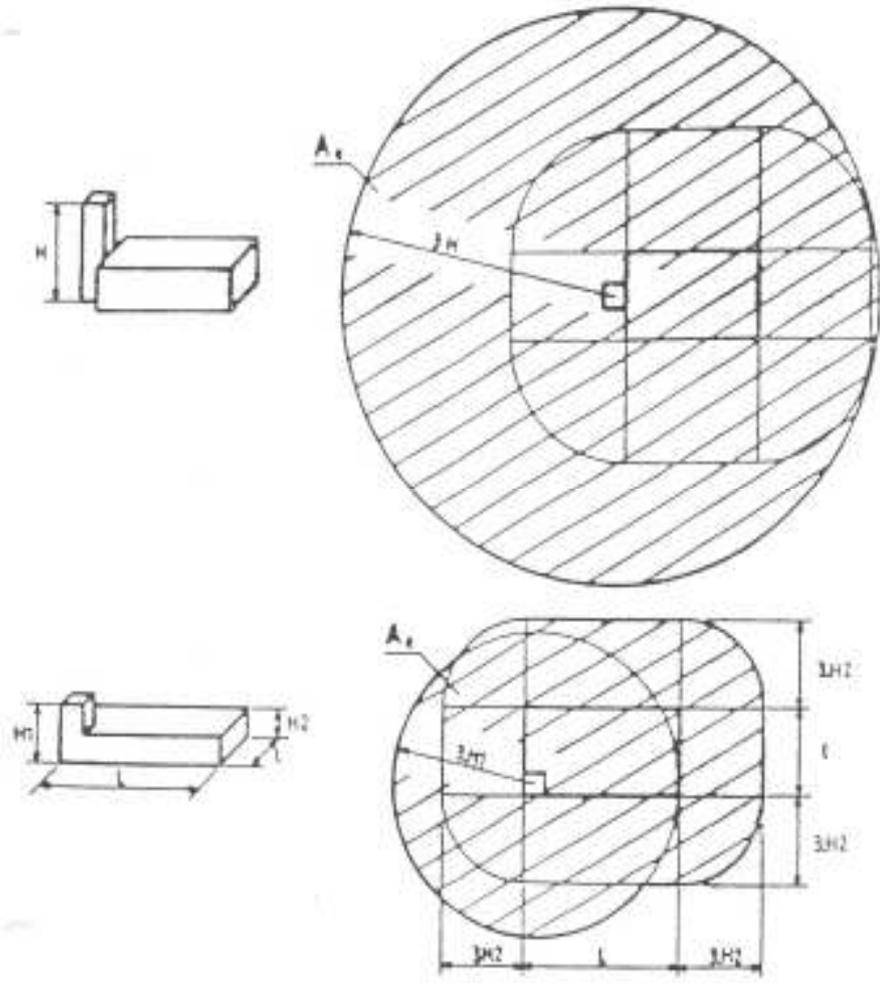


b) Para edificios con partes prominentes

El área equivalente de la parte prominente encierra todo o parcialmente la parte baja

$$A_e = 9 \pi H^2$$

Figura 2. Cálculo típico de A_e para un edificio con una parte prominente



Frecuencia N_c aceptable de un rayo sobre un edificio

Los valores de N_c se equiparan a través del análisis de riesgo de daño, tomando en cuenta los factores aprobados como:

- Tipos de construcción
- Contenido de estructura
- Ocupación de estructura
- Consecuencias de la caída de un rayo

La frecuencia N_c aceptable está calculada usando la siguiente ecuación:

$N_c = 5.5 \times 10^{(exp -3)} / c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot C_5$ en donde

C2 representa el tipo de construcción

C3 representa el material y equipo contenido en el edificio

C4 representa la ocupación de un edificio

C5 representa las consecuencias de la caída de un rayo

Tabla II. **Determinación del coeficiente estructural C2**

C2, Coeficiente estructural			
Techo	Metal	Común	Inflamable
Estructura			
Metal	0.5	1	2
Común	1	1	2.5
Inflamable	2	2.5	3

Fuente: **tabla B5, NF C 17-102**

Tabla III. **Determinación del coeficiente de contenido de estructura, C3**

C3, Contenido de estructura	
Sin valor y no inflamable	0.5
Valor común o normalmente inflamable	1
Alto valor o particularmente inflamable	2
Valor excepcional, irremplazable o altamente inflamable, explosivo	3

Fuente: **tabla B6, NF C 17-102**

Tabla IV. **Determinación del coeficiente de ocupación de estructura, C4**

C4, Ocupación de estructura	
Desocupada	0.5
Normalmente ocupada	1
Evacuación dificultosa o riesgo de pánico	3

Fuente: **tabla B7, NF C 17-102**

Tabla V. **Determinación del coeficiente de consecuencias de la caída de un rayo, C5**

C5, Consecuencias de la caída de un rayo	
Continuidad de servicio no requerido y ninguna consecuencia en el ambiente	1
Continuidad de servicio requerido y ninguna consecuencia en el ambiente	5
Consecuencias en el ambiente	10

Fuente: **tabla B8, NF C 17-102**

El resultado de la comparación de N_c y N_d es usado para decidir si un sistema de protección contra rayos es requerido y el nivel de protección que deberá de ser usado.

- Si $N_d \leq N_c$ el sistema de protección contra rayos no es requerimiento obligatorio
- Si $N_d > N_c$ el sistema de protección de rayos de rendimiento $E \geq 1 - N_c/N_d$ debe de ser instalado y asociado el nivel de protección seleccionado de la tabla VI

Tabla VI. Valores críticos de E inefectivo correspondientes al límite entre el nivel de protección y el nivel de protección correspondiente al E inefectivo calculado

E Inefectivo calculado	Nivel de protección asociado	Corriente pico I (KA)	Distancia de iniciación D (metros)
$E > 0.98$	Nivel I + Medidas adicionales	---	---
$0.95 < E \leq 0.98$	Nivel I	2.8	20
$0.80 < E \leq 0.95$	Nivel II	9.5	45
$0 < E \leq 0.80$	Nivel III	14.7	60

Fuente: **tabla B10, NF C 17-102**

El sistema de protección contra rayos diseñado deberá encontrar las especificaciones dadas en los criterios de los niveles de protecciones seleccionados

Cuando un sistema de protección contra rayos con un inefectivo factor E más pequeño que el valor E calculado es instalado, deben de ser tomadas las medidas de protección adicionales. Las medidas típicas de protección son:

- Limitar el paso de contacto de voltaje
- Restricción de propagación de fuego
- Reducción de los efectos de fuentes de voltaje inducidos por un rayo en equipos sensitivos

1.8 Diseño con los medios de protección usados en Guatemala

Sobre una edificación determinada, se procederá a calcular una protección con pararrayos con los distintos métodos que se conocen en Guatemala, los cuales serán costeados para determinar la opción más económica.

Los medios de protección usados en Guatemala son:

1.8.1 Pararrayos Franklin

En este tipo de pararrayos, la descarga ascendente se propaga hacia el trazador descendente de la nube tras una larga fase de transición. Es el sistema más sencillo y más económico cuando se trata de proteger áreas pequeñas.

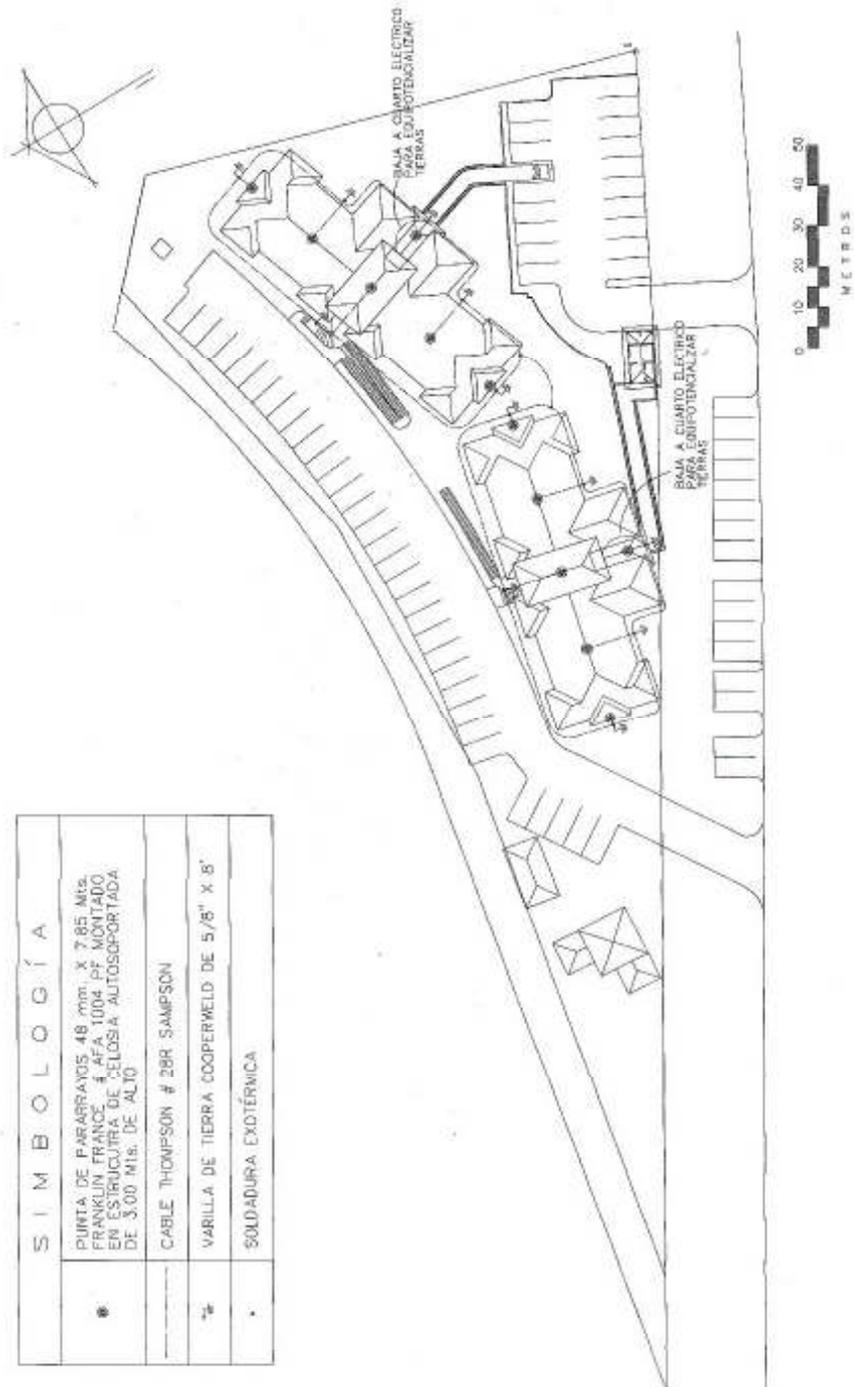
Debido a que su zona de protección es pequeña, se hace necesario instalar un gran número de puntas para proteger las edificaciones, y traen consigo instalaciones muy costosas y un deterioro de la estética de las mismas.

Con las desventajas mencionadas, prácticamente ya no se utiliza; se observó solo en edificaciones antiguas con más de 25 años construidas.

La zona de protección de este pararrayos se limita al volumen del cono, cuyo radio de la base, es igual a la altura, de donde el ángulo de protección es de 45°

No es recomendado para aplicar al proyecto modelo, ya que como puede verse en la figura 3, se necesitarían unas puntas con grandes columnas.

Figura 3. Diseño del modelo por medio de pararrayos franklin



S I M B O L O G Í A	
●	PUNTA DE PARARRAYOS 48 mm. x 7.65 Mts. FRANKLIN FRANCE 4 AFA 1004 PF MONTADO EN ESTRUCTURA DE CELOSIA AUTOSPORTADA DE 3.00 Mts. DE ALTO
—	CABLE THOMPSON # 2BR SAMPSON
⊕	VARILLA DE TIERRA COOPERWELD DE 5/8" x 8'
•	SOLDADURA EXOTÉRMICA

Figura 4. **Punta franklin**



1.8.2 Jaula de Faraday

Es un sistema muy eficaz; su base es la eliminación de cargas eléctricas en el interior de la jaula, independientemente de la carga externa existente; su objetivo es crear un cuerpo conductor, en el cual toda la carga se encuentra en la superficie y consiste en una malla bien distribuida en la superficie de la edificación que va a proteger, conectadas entre sí y provistos en los extremos superiores de pequeñas puntas y en su parte inferior por tomas a tierra.

La eficiencia de este sistema es buena; se limita al área de construcción de la edificación y no a sus alrededores.

Es un sistema oneroso, difícil de instalar por la cantidad de mano de obra requerida

Para su instalación, hay que referirse al *Lightning Protection Institute Standard of practice* LPI 175

De acuerdo con lo anterior, los requerimientos para el modelo se pueden ver en la figura 5.

1.8.3 Pararrayos de puntas ionizantes

Es un sistema de fácil y rápida instalación, que puede llegar en ciertos casos y condiciones a cubrir áreas de más de 100 metros de radio con una sola punta

Figura 5. Diseño del modelo por medio de jaula mallada o jaula de Faraday

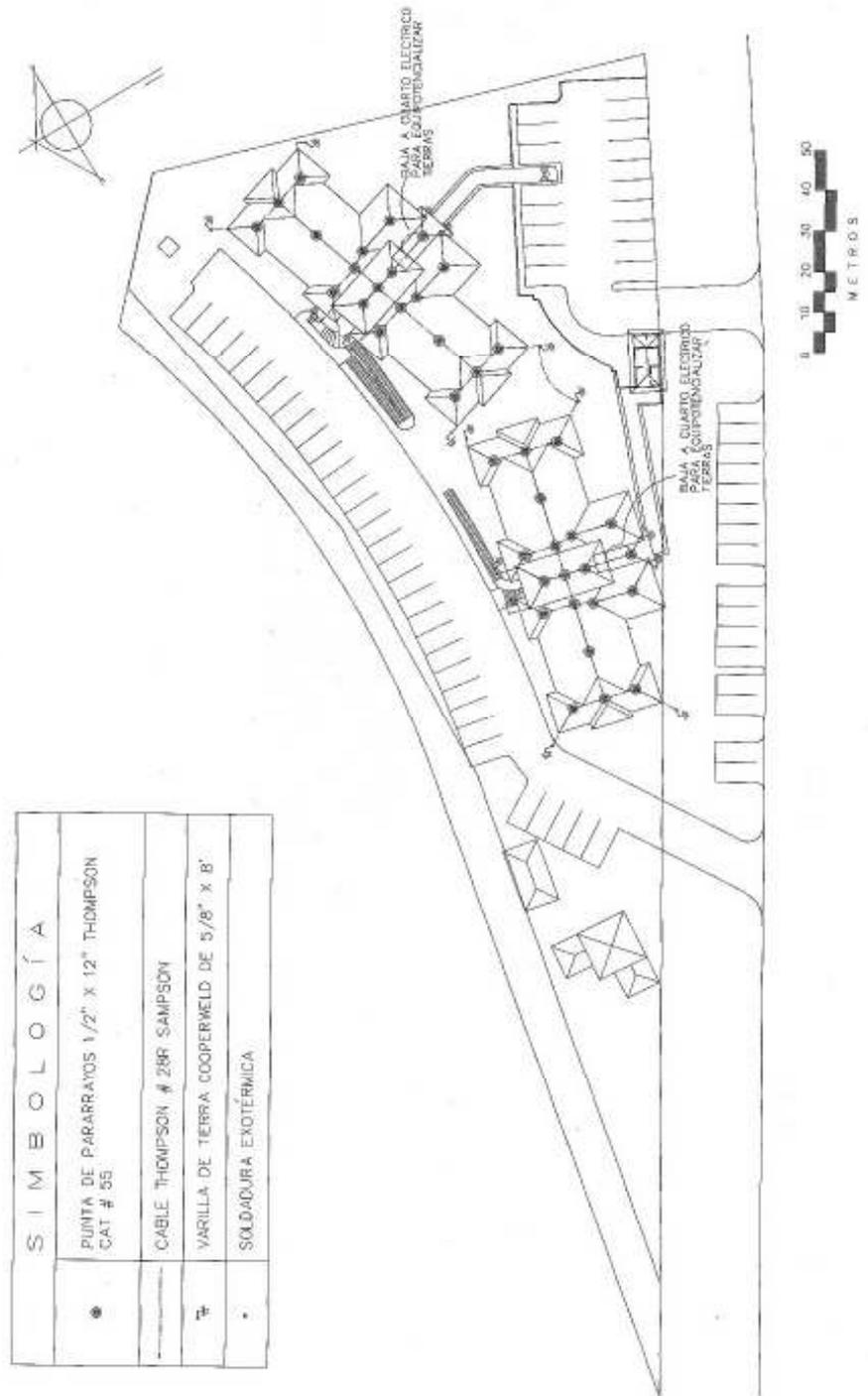
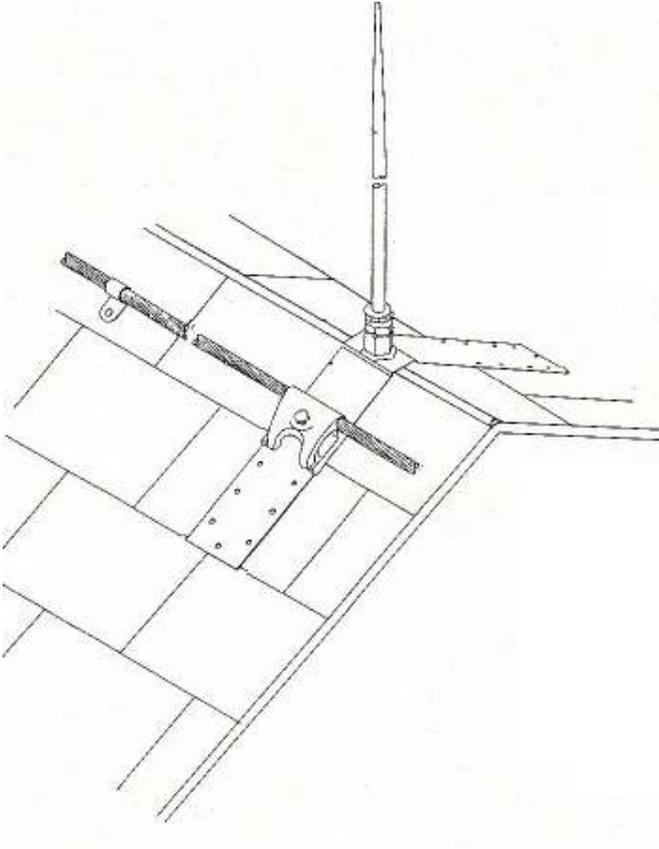


Figura 6. Punta para jaula de Faraday



1.8.3.1 Evaluación del nivel de riesgo del rayo

Datos del modelo

Ubicación : kilómetro 9 carretera a El Salvador, Santa Catarina P.

Tipo de edificación: complejo de apartamentos

Localización de estructura: está rodeada por estructuras pequeñas

Techo : *shingle*

Estructura : una mampostería y concreto

Contenido de estructura: es normalmente inflamable

Evacuación : dificultosa y con riesgo de pánico

Continuidad de servicio: requerido

Radio de protección requerido: 64 metros

Altura de la edificación: 30 metros

De acuerdo con el modelo, se procede así:

$$N_g \max = N_k / 10 = 31/10 = 3.1$$

$$A_e = LW + 6H(L + W) + 9\pi H^2$$

$$A_e = 37*16 + 6*30(37+16) + 9*3.14*(30)^2$$

$$A_e = 592 + 180(53) + 9*3.14+900$$

$$A_e = 592 + 9540 + 35434$$

$$A_e = 35566$$

Como son dos edificios $A_e = 71132$

$$N_d = N_g \max * A_e * c_1 \times 10^{(exp -6)} / \text{año}$$

$$N_d = 3.1*71132*0.5 \times 10^{(exp -6)}$$

$$N_d = 1.10 \times 10^1 \text{ (exp -1)}$$

$$N_c = 5.5 \times 10^3 \text{ (exp -3) / } c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot c_5$$

$$N_c = 5.5 \times 10^3 \text{ (exp -3) / (1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5)}$$

$$N_c = 5.5 \times 10^3 \text{ (exp -3) / 15}$$

$$N_c = 3.66 \times 10^2 \text{ (exp -2)}$$

$N_d > N_c$, entonces

$$E = 1 - N_c / N_d$$

$$E = 1 - 3.66 \times 10^2 \text{ (exp -2) / } 1.10 \times 10^1 \text{ (exp -1)}$$

$$E = 1 - 0.403 \times 10^3 \text{ (exp -3)}$$

$$E = 0.99$$

Para $E > 0.98$ es requerido un sistema de protección Nivel 1 + medidas adicionales

1.8.3.2 Pulsar de Helita

En el momento de que el rayo se acerca del suelo, se crea una descarga sobre toda la estructura conductora. El dispositivo de cebado pulsar le permite reducir el tiempo necesario para la formación y prolongación continua de la descarga ascendente y le asegura así una mayor eficiencia en la captura del rayo, que el pararrayos de tipo Franklin. Este emite una señal en impulsos de alta tensión de amplitud y frecuencias determinadas y controladas. Asegura su eficiencia mediante la rápida formación de un trazador ascendente que se prolonga de manera continua hacia el trazador descendente, mientras reduce el desarrollo de las cargas de espacio que pueden entorpecer el proceso natural.

Los pararrayos Pulsar, totalmente autónomos desde el punto de vista energético, toman la energía eléctrica necesaria para la generación de los impulsos de alta tensión del campo ambiente, que existe en el momento de la tormenta.

El dispositivo de cebado funciona en cuanto el campo ambiental supera un valor correspondiente al riesgo mínimo de rayo. Para el cálculo de este sistema, se utiliza la tabla VII

Es un requisito del fabricante que la punta deba de quedar a una distancia ≥ 2 metros encima de la superficie por proteger

Por consiguiente, aplicándolo al modelo (ver la figura 7), se necesita un pararrayos Pulsar 60 montado a 4 metros de la parte más alta por proteger

Tabla VII. **Radios de protección del pararrayos Pulsar de Helita, según la norma NF C17-102**

Radios de protección de pararrayos Pulsar, según la norma NF C 17-102									
Nivel .de protección	Nivel I			Nivel II			Nivel III		
	D = 20 metros			D = 45 metros			D = 60 metros		
PULSAR	25	40	60	25	40	60	25	40	60
T (µs)	25	40	60	25	40	60	25	40	60
H (metros)	Rp (metros)								
2	17	24	32	23	30	40	26	33	44
3	25	35	48	34	45	59	39	50	65
4	34	46	64	46	60	78	52	57	87
5	42	58	79	57	75	97	65	84	107
6	43	58	79	58	57	97	66	84	107
8	43	59	79	59	77	98	67	85	108
10	44	59	79	61	77	99	69	87	109
15	45	59	80	63	79	101	72	89	111
20	45	60	80	65	81	102	75	92	113
45	45	60	80	70	85	105	84	98	119
60	45	60	80	70	85	105	85	100	120
Nivel de protección calculado, según el anexo B de la norma NF C 17-102 D : distancia de cebado T : avance en el cebado resultado de las pruebas de evaluación, según el anexo C de la norma NF C17-102 H : altura de la punta Pulsar encima del área a proteger Rp : radio de protección dentro de un plano horizontal localizado a una distancia vertical h de la punta del Pulsar									

Fuente: **Catálogo Helita**

Figura 7. Diseño del modelo por medio de puntas ionizantes Pulsar de Helita

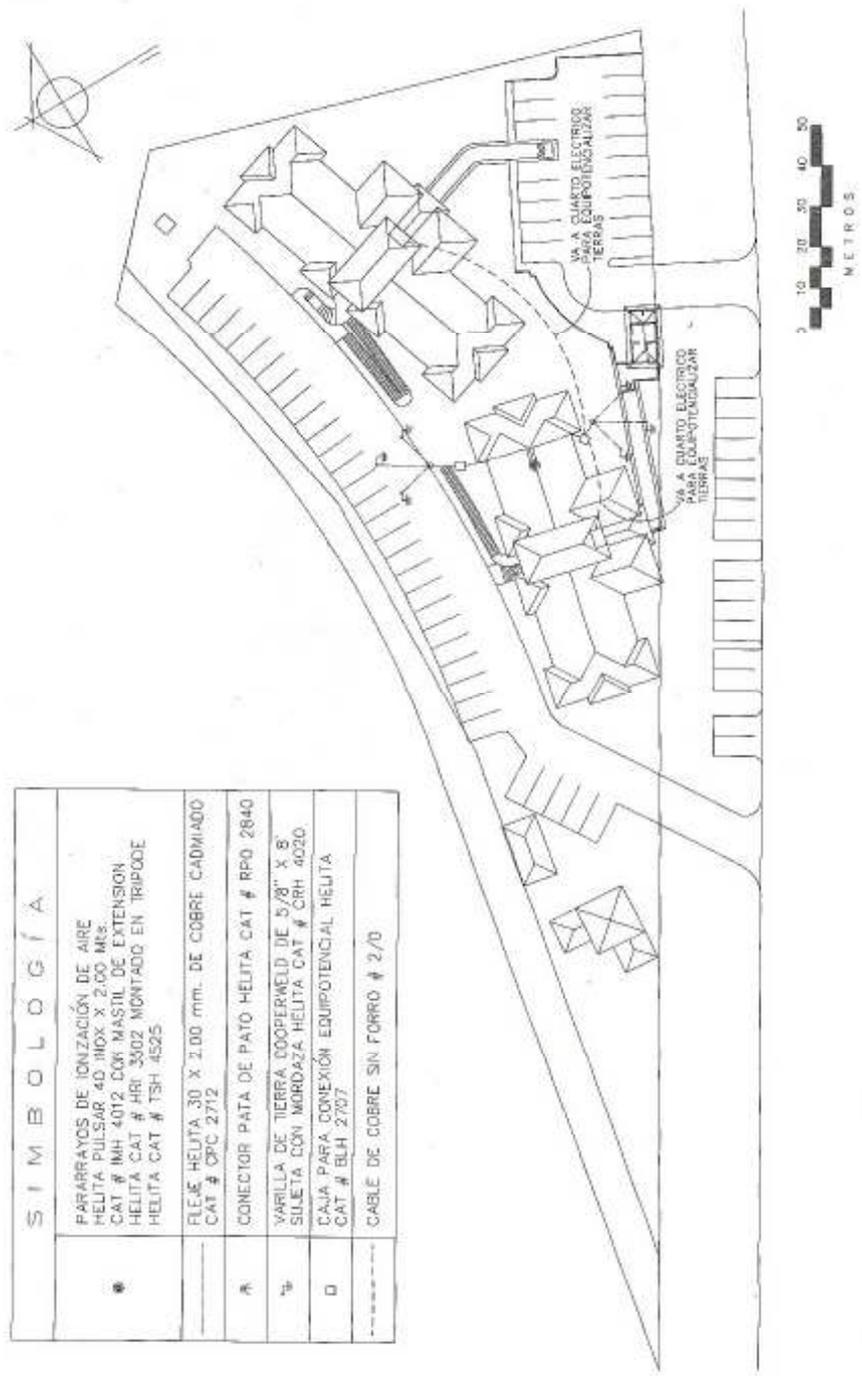


Figura 8. Punta ionizante Pulsar de Helita



1.8.3.3 Piezoeléctricos de Saint Elmo

El sistema piezoeléctrico de ionización tiene por efecto principal la disminución del tiempo de cebado del efecto corona; así al favorecer el aumento del campo eléctrico, la presencia de un electrón germen en la punta captora (electrón raro en la atmósfera indispensable para el proceso de cebado). La creación de un canal de aire ionizado ascendente en la prolongación del pararrayos formando un *streamer* o rayo trazador ascendente, que al encuentro con la descarga se convierte en líder conduciendo el rayo por un canal ionizado sin provocar daños a las estructuras

Se actuara favorablemente sobre la disminución del retraso de cebado, las condiciones iniciales de activación del efecto corona y la velocidad ascendente de la carga atmosférica. Para escoger el adecuado, se aplica la tabla VIII; por lo tanto, para el modelo, (ver la figura 9), se necesita un pararrayos Saint Elmo SE 15, subido a 6 metros de la parte más alta por proteger

Tabla VIII. Radios de protección del pararrayos Saint Elmo según la norma NF C17-102

Radios de protección de pararrayos Saint Elmo, según la norma NF C 17-102												
Modelo	SE 6			SE 9			SE 12			SE 15		
	T = 15 metros			T = 30 metros			T = 45 metros			T = 60 metros		
Nivel de protección	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
D (metros)	20	45	60	20	45	60	20	45	60	20	45	60
H (metros)	Rp (metros)											
2	13	18	20	19	25	28	25	32	36	31	39	43
4	25	36	41	38	51	57	51	65	72	63	78	85
6	32	46	52	48	64	72	63	81	90	79	97	107
8	33	47	54	49	65	73	64	82	91	79	98	108
10	34	49	56	49	66	75	64	83	92	79	99	109
20	35	55	63	50	71	81	65	86	97	80	102	113
30	35	58	69	50	73	85	65	89	101	80	104	116
60	35	60	75	50	75	90	65	90	105	80	105	120
Nivel de protección calculado, según el anexo B de la norma NF C 17-102 D : distancia de cebado T : avance en el cebado resultado de las pruebas de evaluación, según el anexo C de la norma NF C17-102 H : altura de la punta Saint Elmo encima del área por proteger Rp : radio de protección dentro de un plano horizontal localizado a una distancia vertical h de la punta Saint Elmo												

Fuente: **Catálogo Saint Elmo**

Figura 9. Diseño del modelo por medio de puntas ionizantes con exitador piezoeléctrico de Saint Elmo

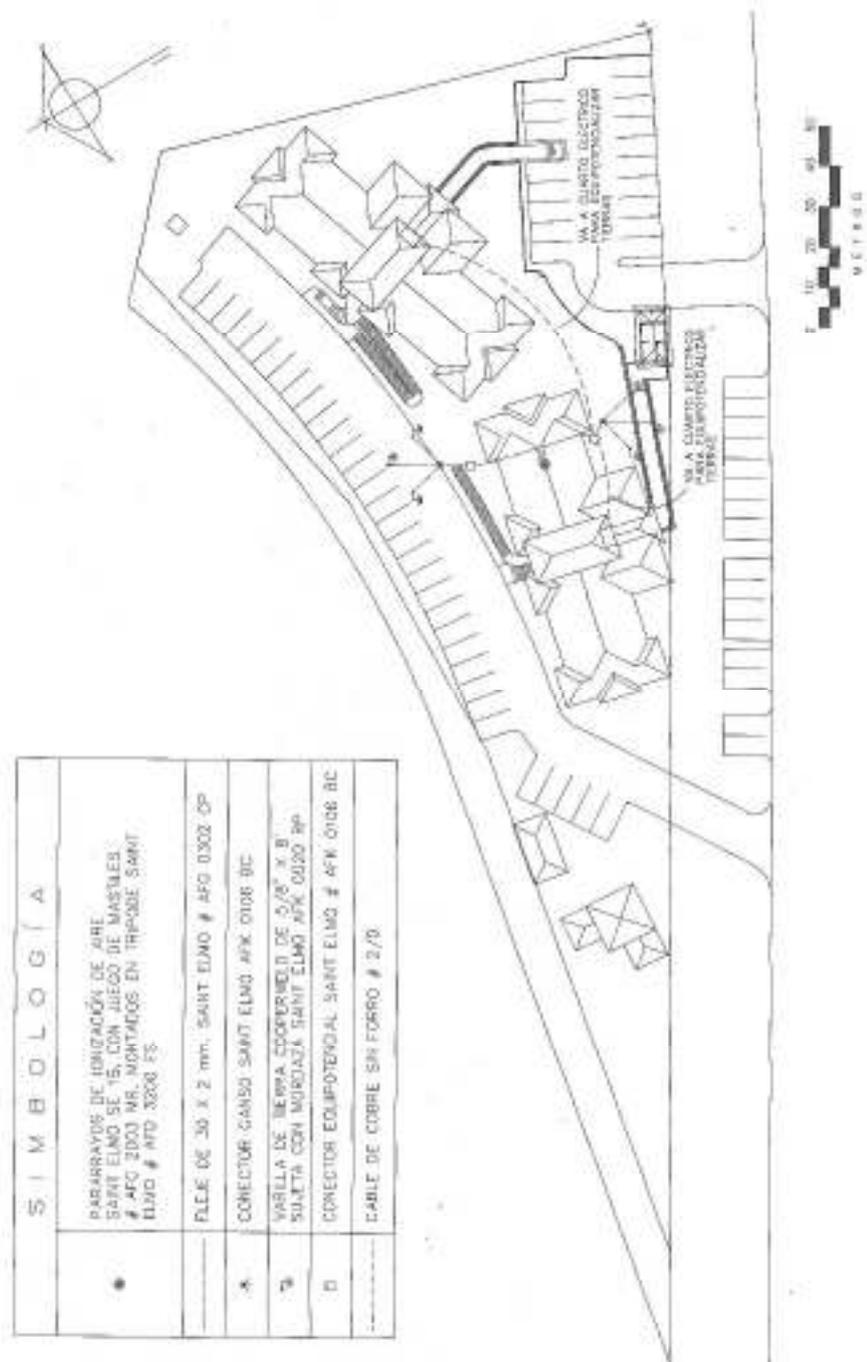
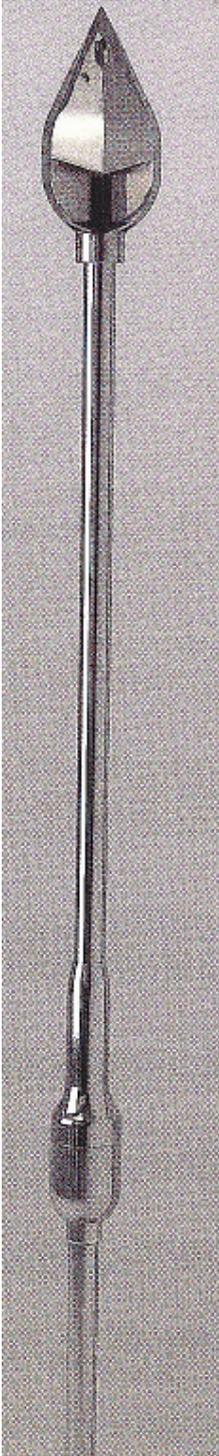


Figura 10. **Punta Saint Elmo**



1.8.3.4 Ingesco PDC

La función específica es la de producir una ionización dirigida hacia la nube, canalizando desde su origen, la posible descarga eléctrica

Entre el conjunto excitador, que se encuentra al mismo potencial que el aire circundante, la punta y el conjunto deflector que se hallan a igual potencial que la tierra, se establece una diferencia de potencial que es tanto más elevada, cuanto más alto es el gradiente de potencial atmosférico y por ende, cuanto más inminente se halla la formación del rayo. Para seleccionar el conveniente, hay que aplicar la tabla VIII.

Los radios de protección de los distintos modelos de las puntas Ingesco PDC son considerados con un mástil de 6 metros de altura, por lo que, ajustándolo al modelo (ver la figura 11), se requiere un pararrayos Ingesco PDC 6.3, colocado a 6 metros de la parte más alta por proteger.

Tabla IX. **Radio de protección del pararrayos Ingesco PDC, según la norma UNE 21186 y NF C 17-102.**

Radios de protección de pararrayos Ingesco PDC, según las normas UNE 21186, NF C 17-102, UNE-EN 50164-1					
Modelo	PDC 3.1	PDC 3.3	PDC 4.3	PDC 5.3	PDC 6.3
Nivel I D = 20 metros	25 metros	45 metros	54 metros	63 metros	70 metros
Nivel II D = 45 metros	43 metros	65 metros	74 metros	84 metros	92 metros
Nivel III D = 60 metros	50 metros	75 metros	85 metros	95 metros	102 metros
referencia	101000	101001	101003	101005	101008

Nivel de protección calculado, según el anexo B de las normas UNE 21186 y NF C 17-102

D : distancia de cebado

radio de protección dentro de un plano horizontal, localizado a una distancia vertical h de la punta del Ingesco PDC

Fuente: **Catálogo Ingesco**

Figura 11. Diseño del modelo por medio de puntas ionizantes PDC de Ingesco

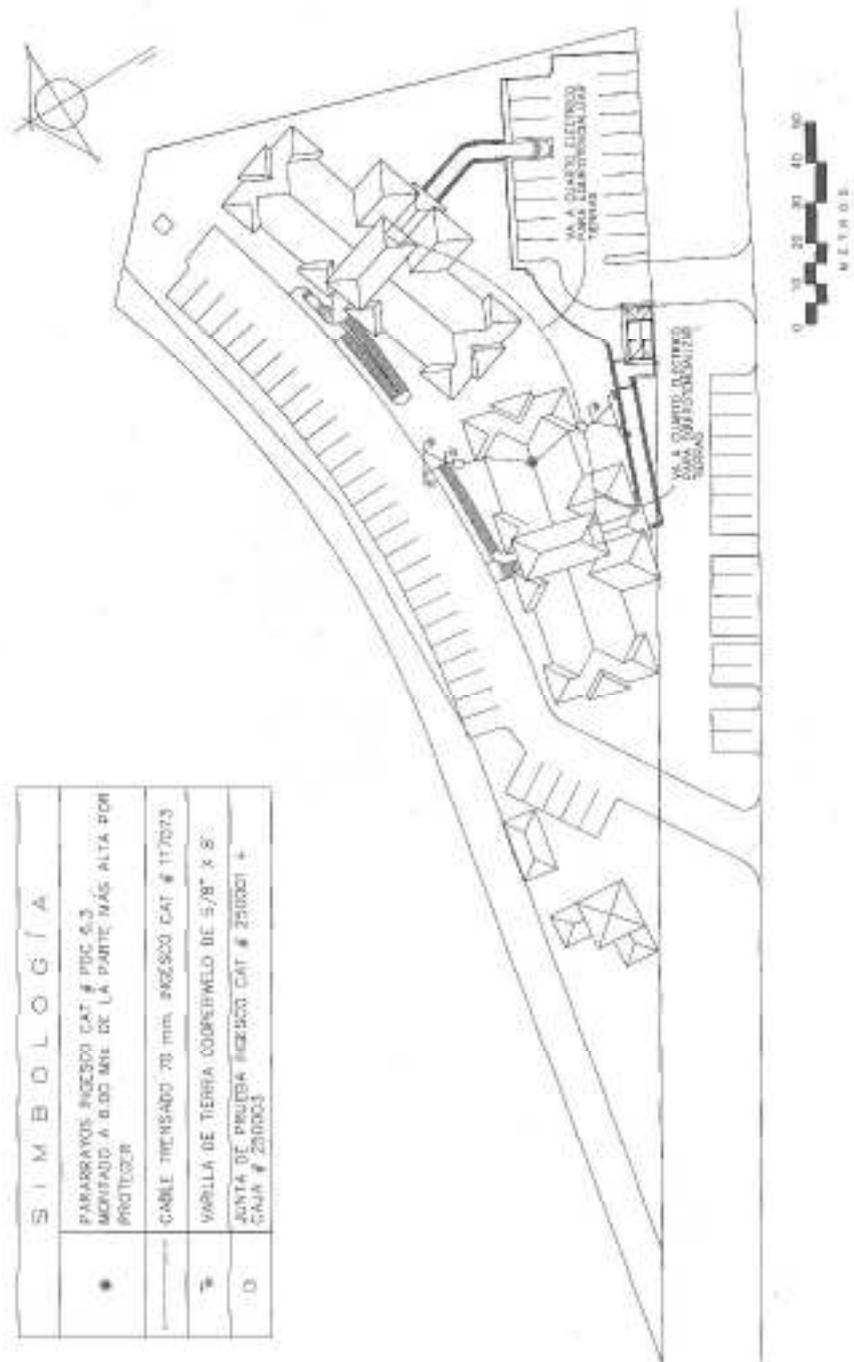
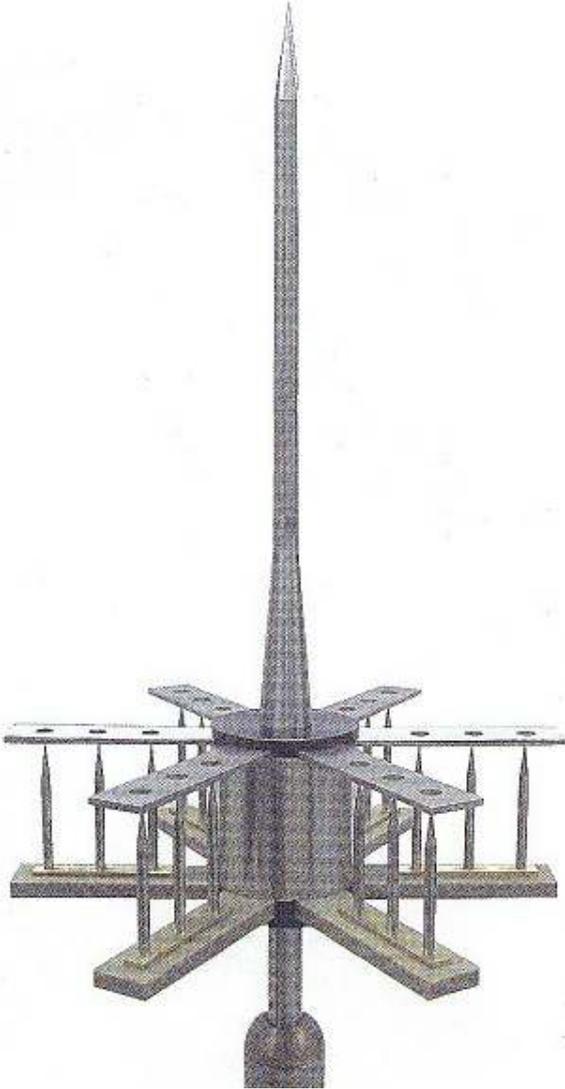


Figura 12. Punta PDC de Ingesco



1.8.3.5 Erico

Dynasphere e Interceptor

Las terminales aéreas ionizantes Dynasphere e interceptor producen una chispa que se genera por proceso natural de la esfera que disminuye el efecto corona en la punta del terminal, y facilitar de esta manera que el *streamer* o rayo trazador ascendente salga más rápido del terminal Dynasphere e interceptor que cualquier otra punta que compite por atraer el rayo; provee un radio de atracción de los rayos que garantizan la seguridad tanto de la instalación como del personal; con esto, se logra gran efectividad en la captura de la descarga en el volumen de protección.

Las diferencias entre el Dynasphere y el Interceptor, son que el Interceptor es para alturas que no superen los 30 metros y utiliza cable de cobre trenzado de 28 hilos.

El Dynasphere no tiene restricción de alturas y utiliza únicamente cable blindado Ericore, que tiene muy baja inductancia e impedancia

Para el cálculo de Erico, se utiliza un programa llamado Benji Procalc, el cual fue corrido para los datos del modelo, cuyo resultado fue que se debe de utilizar un Dynasphere , instalado a 6 metros sobre la parte más alta a proteger (ver figura 13 y repote en la figura 14).

Figura 13. Diseño del modelo por medio de puntas ionizantes Dynasphere de Erico

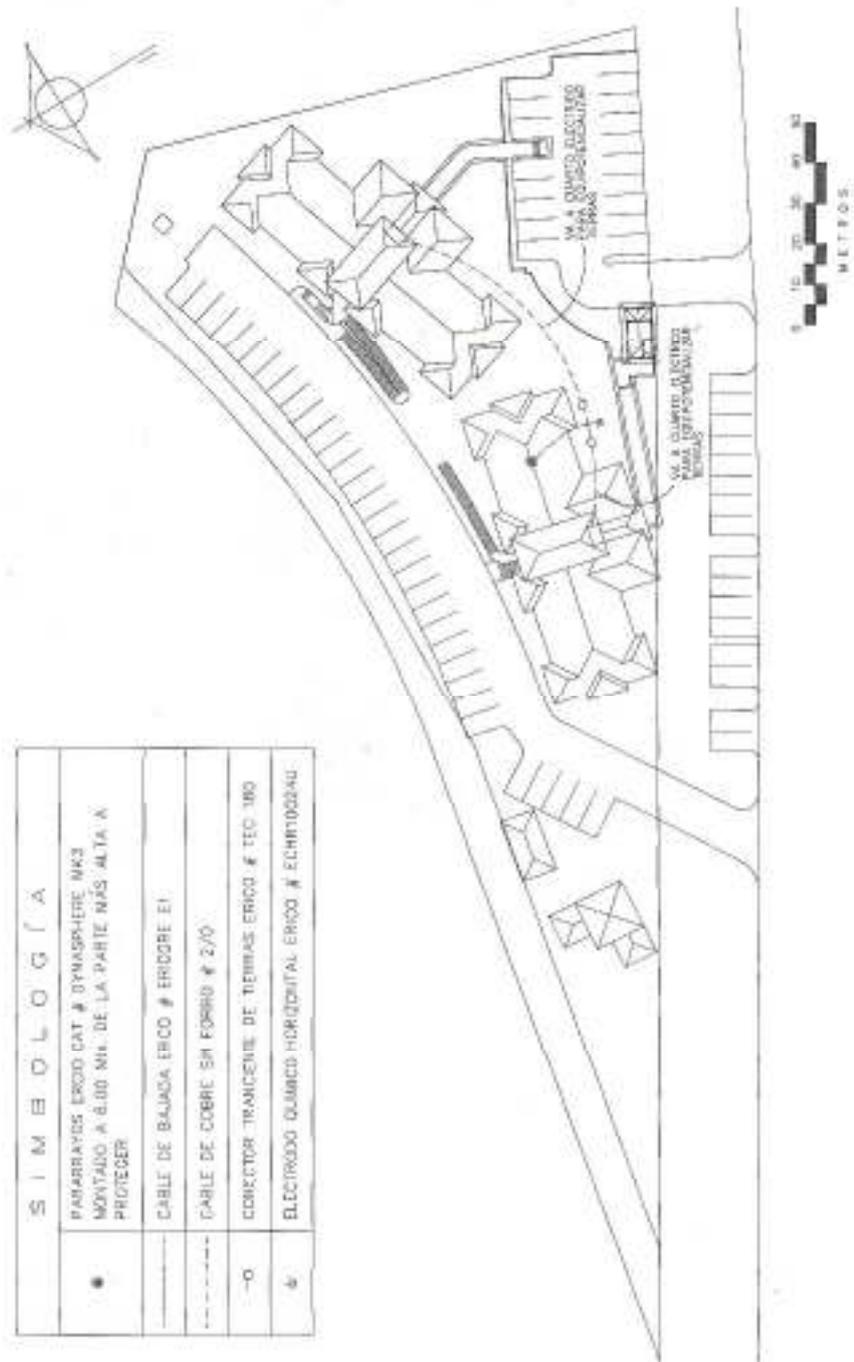


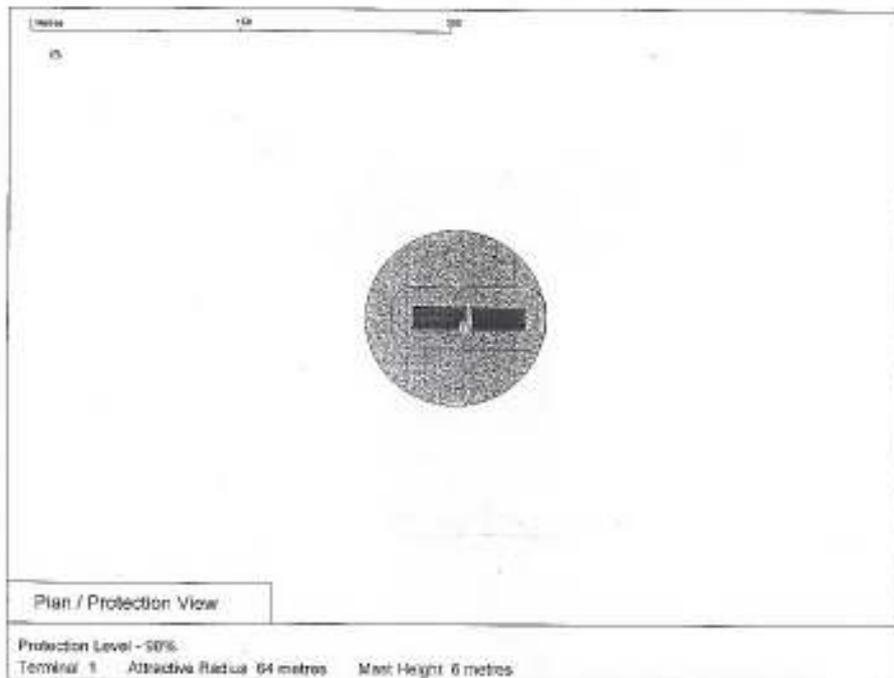
Figura 14. Reporte del diseño del modelo por medio de puntas ionizantes Dynasphere de Erico

Benji Procalc

System 3000 Lightning Protection Design - Tesis José Estuardo Molina Castañeda

Date: 28/09/03

Project Name: modelo



Benji Procalc is an abridged version of the Benji Design program.
Any structure collection volume shown cross-hatched is UNPROTECTED.

Due to the conservative limitations of Benji Procalc and the fact that structure parameters may vary significantly for each project, a detailed analysis using Benji Procalc is for determining approximate protection requirements and thus has the following limitations:

- 1) Only square and rectangular structures can be analyzed.
- 2) Dynasphere mounting mast can be no lower than 4 meters.
- 3) The highest structure that can be analyzed by Benji Procalc is 150 meters.

(C) ERICO(R) Inc. 2001, 2002
Phone: 440-248-0100
Fax: 440-519-1875
email: application-eng@erico.com

ERICO Facility Electrical Protection,
34500 Solon Road,
Solon,
OH 44139.

Figura 15. **Punta Interceptor de Erico**

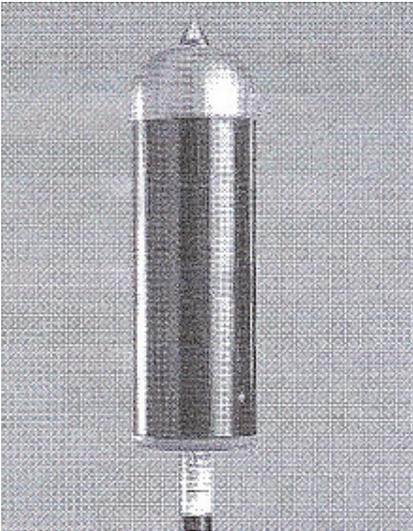
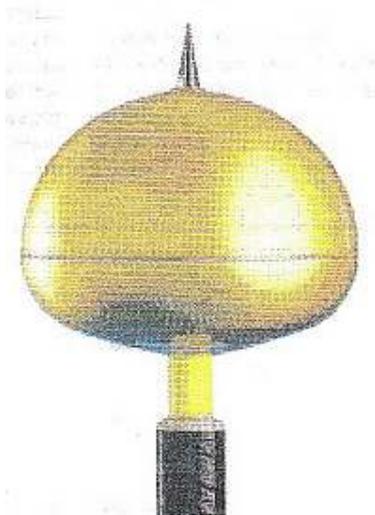


Figura 16. Punta Dynasphere de Erico



1.9 Criterios de montaje y mantenimiento para medios de protección utilizados en Guatemala

1.9.1 Criterios de montaje

Para un pararrayos de puntas ionizantes deben de verificarse los siguientes puntos:

- a) Asegurar que la punta esté por lo menos a 2 metros por encima de cualquier elemento de la zona por proteger
- b) Naturaleza y sección de los materiales utilizados para los conductores de bajada
- c) Trayectoria, emplazamiento y continuidad eléctrica de los conductores de bajada
- d) Fijación mecánica de los diferentes elementos de la instalación
- e) Respetar las distancias de seguridad y/o la presencia de uniones equipotenciales
- f) Resistencia de las tomas de tierra
- g) Interconexión de las tomas de tierra

En cualquier caso, cuando la totalidad o parte de un conductor no sea visible, es aconsejable realizar una medida de su continuidad eléctrica.

1.9.1.1 Disposiciones particulares

1.9.1.1.1 Antenas

La existencia de una antena sobre el tejado de un edificio aumenta los riesgos de impacto de rayo y éste puede convertirse en el primer elemento susceptible de recibir la descarga.

Cuando se trata de una antena receptora, el mástil que soporta la antena debe de estar unido directamente o por medio de una vía de chispas a los conductores de bajada de la instalación, mediante un conductor adecuado, excepto sí la antena está fuera de la zona protegida o sobre otro techo. El cable coaxial deberá de protegerse con protector contra sobre tensiones.

Se puede utilizar un mástil común, cuando se cumpla todas las condiciones siguientes:

- El mástil común está constituido por tubos de sujeción lo suficientemente resistentes para no necesitar vientos.
- Los pararrayos de puntas ionizantes están fijados en la punta del mástil
- La punta del pararrayos de ionización sobrepasa, por lo menos en dos metros la antena más próxima
- La fijación del conductor de bajada está efectuada por medio de una abrazadera de unión fijada directamente sobre la punta
- La trayectoria del cable coaxial de la antena se realiza por el interior del mástil de la antena.

En el caso de una torreta, es preferible pasar el cable coaxial por el interior de un tubo metálico.

1.9.1.1.2 Techos de palma o paja

En tales casos, la opción es la protección mediante un pararrayos con puntas de ionización, instalado sobre la cumbrera. La bajante recorrerá el techo sobre soportes aislantes separados entre sí de 0.20 a 0.25 metros, y baja sobre las rampas de palma o paja, según el caso.

1.9.1.1.3 Chimeneas de fábricas

Por su gran altura y la ionización del aire que produce los humos y los gases calientes, las chimeneas de las fábricas son puntos de impacto preferentemente de la descarga.

La parte alta de la chimenea debe estar provista de una punta ionizante, preferentemente de material adaptable a un ambiente corrosivo y a la temperatura de los desechos, y está ubicada del lado del viento dominante.

Para las chimeneas de altura igual o superior a 40 metros, se dispondrán, por lo menos dos bajantes igualmente distanciadas, una de ellas expuesta del lado de los vientos

dominantes. Estas bajantes se unirán entre sí en la parte alta y en la base de la chimenea mediante un anillado. Cada bajante estará provisto de una toma de tierra.

Los elementos metálicos externos e internos se unirán al conductor de bajada en el punto más próximo.

1.9.1.1.4 Áreas de almacenamiento de productos inflamables o explosivos

Los depósitos que contengan líquidos inflamables deben estar conectados a tierra, pero sólo esta puesta a tierra no es suficiente para sustituir una protección contra descargas atmosféricas. Por lo tanto, es necesario un pararrayos con dispositivos ionizantes.

Los pararrayos con dispositivos ionizantes se sitúan sobre mástiles, postes, pilares o cualquier estructura exterior al perímetro de seguridad, de manera que domine las instalaciones por proteger. Su instalación debe tener en cuenta los radios de protección conforme el fabricante.

Las tomas de tierra se sitúan en la zona opuesta a las instalaciones de almacenamiento. Las tomas de tierra de los pararrayos de puntas ionizantes y de las instalaciones por proteger deben estar unidas mediante un conductor equipotencial.

Nota: se recomienda la instalación de un contador de descargas

1.9.1.1.5 Edificios altos

Los campanarios y torres son puntos de impactos preferentes de la descarga, debido a su prominencia.

- a) La o las prominencias deben estar provistas de pararrayos con puntas ionizantes unidas al suelo por un bajante directo realizado a lo largo de la torre principal.

- b) Prever la realización de una segunda bajante recorriendo en horizontal el techo de la nave, siempre que al menos una de estas condiciones se cumpla:
- La altura total del campanario sea superior a 40 metros
 - Por su longitud la nave se salga de la zona de protección del pararrayos de punta ionizante

En este segundo caso, se colocarán el o los pararrayos de puntas ionizantes adicionales necesarios conforme a lo establecido. Su bajante se conectará con la segunda bajante que comienza en la cima de la torre

En el caso de una iglesia con dos bajantes, si hay una cruz o una estatua no metálica en la extremidad de la nave, ésta será provista de una punta de captación.

Las dos tomas de tierra del pararrayos, así como la tierra eléctrica se unirán entre sí preferentemente mediante un conductor de tierra.

1.9.1.1.6 Estructuras ubicadas en puntos elevados

Los restaurantes, los refugios, las estaciones telefónicas, etc. situadas en puntos elevados están particularmente expuestos a la caída de rayos. El pararrayos de puntas ionizantes se instalará como lo establecido. La realización de las uniones equipotenciales y de las tomas de tierra deben ser especialmente cuidadas.

1.9.1.1.7 Zonas abiertas, áreas de ocio o deportivas

Terrenos de deporte, áreas campestres, parques de caravanas, piscinas, hipódromos, circuitos automovilísticos, parques de atracciones, campos de golf, etc, se les debe de instalar pararrayos de puntas ionizantes sobre mástiles de banderas, los postes de alumbrado o toda otra estructura existente, cuyo número e instalación debe de cumplir con lo ya establecido

1.9.1.1.8 Árboles

Ciertos árboles aislados constituyen potenciales puntos de impacto preferentes del rayo, debido a su altura y forma.

En aquellos lugares en los que exista un riesgo para la seguridad del entorno (por ejemplo: proximidad de un edificio) o cuando el árbol sea de interés estético o histórico, se puede proteger el árbol de forma efectiva instalando un pararrayos d puntas ionizante en el punto más elevado del mismo, conforme a lo ya establecido.

Para un montaje del bajante más sencillo, no se debe entorpecer el crecimiento del árbol y dañarlo lo menos posible, el conductor debe de ser fijado de forma flexible a los medios de fijación, adaptados a lo largo del trono del árbol por un trazado lo más directo posible.

1.9.1.2 Conductores de bajada

Los conductores de bajada están destinados a conducir la corriente del rayo desde los dispositivos de captación hasta las tomas de tierra. Se sitúan en el exterior de la estructura

1.9.1.2.1 Número de bajantes

Cada pararrayos de puntas ionizantes estará unido a tierra, al menos por una bajante.

Se necesitarán por lo menos dos bajantes en los casos siguientes:

- Si la trayectoria horizontal del conductor es superior a su trayectoria vertical
- En el caso de realización de instalaciones sobre estructuras de altura superior a 28 metros

Las dos bajantes deben de realizarse sobre dos fachadas distintas, siempre que esto sea posible

1.9.1.2.2 Trayectoria del bajante

El conductor de bajada se instalará de tal forma que su recorrido sea lo más directo posible. Su trazado tendrá en cuenta el emplazamiento de la toma de tierra y deberá de ser lo más rectilíneo posible, siguiendo el camino más corto, evitando cualquier acodamiento brusco o remonte. Los radios de curvatura no serán inferiores a 0.2 metros. Para la desviación de los cables de bajada, se utilizarán preferentemente los codos formados por las esquinas.

El trazado de los conductores de bajada debe de ser elegido de manera que evite la proximidad de conducciones eléctricas y su cruce. En todo caso cuando no se pueda evitar un cruce, la conducción debe de ubicarse en el interior de un blindaje metálico que se prolongue 1 metro a cada parte del cruce. El blindaje deberá de unirse al bajante.

Se ha de evitar el contorno de cornisas o elevaciones. Se preverán lugares de paso lo más directos posible para los conductores. En cualquier caso, se admite una remontada de un máximo de 0.4 metros para franquear una elevación con una pendiente menor o igual a 45 grados.

Las fijaciones de los conductores de bajada se realizarán, tomando como referencia 3 fijaciones por metro. Estas fijaciones deben de ser apropiadas para los soportes y realizadas, de manera que no afecten a la impermeabilidad del techo. Deben de permitir una posible dilatación de los conductores.

La unión de diferentes conductores entre sí se realiza a presión con la ayuda de piezas de unión de la misma naturaleza, mediante remaches, empalmes o soldadura. Se debe de evitar, en la medida de lo posible, la perforación de los cables.

Los conductores de bajada deben de estar protegidos contra eventuales choques mecánicos mediante un tubo de protección, hasta una altura superior a 2 metros a partir del suelo.

Cuando sea imposible realizar un bajante exterior, el cable de bajada podrá ir dentro de un tubo, destinado especialmente a tal efecto, que recorra la pared en toda su altura o solo en parte.

La utilización de fundas aislantes y no inflamables es posible siempre que éstas tengan una sección interior superior a 2000 mm². En cualquier caso, se deben de respetar las condiciones de proximidad. La eficacia del sistema de bajantes puede estar disminuida en el caso de que la trayectoria sea interior. El proyectista debe ser consciente de esa reducción de la eficacia del sistema de protección contra el rayo, de las dificultades de realizar la verificación y el mantenimiento, así como de los riesgos resultantes de la penetración de sobre tensiones en el interior de los edificios.

Cuando el exterior de un edificio o estructura está provisto de elementos metálicos, o de un elemento fijo de revestimiento, el conductor de bajada se puede fijar detrás del revestimiento sobre el concreto o la estructura que lo soporta.

En este caso, los elementos conductores del revestimiento y de la estructura que lo soporta deben estar unidos equipotencialmente a la bajada, tanto en la parte superior como en la base.

1.9.1.2.3 Materiales y dimensiones de los bajantes

Los conductores de bajada podrán ser flejes, trenza plana, cable trenzado o redondo. La sección mínima ha de ser de 50mm² y está definida por la tabla X

Tabla X. **Conductores de bajada**

Conductores de bajada		
Material	Observaciones	Dimensiones
Cobre electrolítico desnudo o estañado (1)	Recomendado por su buena conductividad y su resistencia a la corrosión	Fleje 30X2 mm Trenza plana 30X3.5 mm Cable trenzado 50 mm ² Redondo 8 mm (2)
Acero inoxidable 18/10, 304	Recomendado en ciertos ambientes corrosivos	Fleje 30X2 mm Redondo 8 mm (2)
Aluminio A 5/L	Debe ser utilizado sobre superficies de aluminio (barandas, muros, etc.)	Fleje 30X3 mm Redondo 10 mm (2)

Fuente: **tabla 2.3.4, NF C 17-102**

1. Se recomienda cable estañado debido a sus propiedades físicas, mecánicas y eléctricas (conductividad, maleabilidad, resistencia a la corrosión, etc.)
2. Dado el carácter del impulso de la corriente del rayo, el conductor plano es preferible al conductor redondo, ya que ofrece una mayor superficie exterior para una sección idéntica

1.9.1.2.4 Unión de comprobación de tierras

Cada conductor de bajada estará provisto de un manguito seccionador, junta o toma de control o puente de comprobación, que permita desconectar la toma de tierra a fin de efectuar la medición.

Generalmente las juntas de control se intercalan en las bajantes a 2 metros por encima del suelo. Para las instalaciones sobre paredes metálicas, o que no estén provistas de

una bajante específica, las juntas de control se intercalarán entre cada toma de tierra y el elemento metálico del edificio al que estén unidas; estarán emplazadas en el interior de un registro de inspecciones

1.9.1.2.5 Contador de impactos de rayos

Cuando esté prevista la instalación de un contador de impactos, éste debe de estar instalado sobre el conductor de bajada más directo, por encima de la junta de control y en todos los casos, aproximadamente a 2 metros por encima del suelo

1.9.1.3 Equipotencialidad de las masas metálicas

Al pasar la corriente del rayo por el conductor, aparecen diferencias de potencial entre éste y las masas metálicas conectadas a tierra que se encuentran próximas. Se pueden formar entonces chispas peligrosas entre los dos extremos del bucle que se ha creado

En función de la distancia que separa los dos extremos del bucle abierto (el o los conductores de bajada por una parte y la masa metálica conectada a tierra por otra), se realizará o no la conexión equipotencial. La distancia mínima, en la que no existe riesgo de chispas peligrosas, se denomina distancia de seguridad (d_s) y depende del nivel de protección elegido, del número de bajantes, del material que se encuentra entre los extremos del bucle y de la distancia desde la masa metálica considerada hasta la toma de tierra.

A menudo es difícil asegurar el aislamiento en el momento de instalar un sistema de protección contra rayos (falta de información cuando se toma la decisión) o asegurarlo con el paso del tiempo (modificaciones en la estructura, obras, etc.) Así pues, es preferible realizar la conexión equipotencial.

Sin embargo, en ciertos casos no se realiza la conexión equipotencial (conductor inflamable o explosivo) En estos casos, el o los conductores de bajada se instalarán a una distancia mayor que la distancia de seguridad d_s .

1.9.1.3.1 Unión equipotencial

La unión equipotencial se realizará mediante conductores de equipotencialidad, vías de chispas o protectores contra sobre-tensiones, en el punto de mayor proximidad entre el conductor de bajada el pararrayos de puntas ionizantes, por el que pasa la corriente del rayo, y el elemento que se pondrá al mismo potencial situado sobre la estructura, en sus paredes o en el interior de las mismas.

Se consigue una equipotencialidad uniendo el sistema de protección contra rayos, la estructura metálica de la estructura, la instalación metálica, los elementos conductores externos y los circuitos eléctricos y telefónicos del espacio por proteger, con ayuda de conductores de equipotencialidad o de limitadores de sobre corriente

Nota siempre que todo lo anterior sea posible constructivamente.

1.9.1.3.2 Distancia de seguridad

Es la distancia mínima entre el conductor de bajada por el que pasa la corriente del rayo y una masa conductora próxima unida a tierra, en la que hay formación de chispas peligrosas.

Para que exista aislamiento, en relación con las chispas peligrosas, es necesario que la distancia que separa el sistema de protección contra el rayo del elemento conductor considerado sea superior a d_s .

Distancia de seguridad: $A_s(\text{metros}) = \frac{A_n \cdot K_i \cdot L}{K_m}$

Donde

A_n depende del número de bajantes por pararrayos de puntas ionizantes antes del punto de contacto considerado:

$A_n = 1$ cuando hay un bajante

$A_n = 0.6$ cuando hay dos bajantes

$A_n = 0.4$ cuando hay tres o más bajantes

K_i depende del nivel de protección elegido

$K_i = 0.1$ para el nivel I

$K_i = 0.075$ para el nivel II

$K_i = 0.05$ para el nivel III

K_m depende del material existente entre los dos extremos del bucle:

$K_m = 1$ para el aire

$K_m = 0.5$ cuando esté relleno de material (a excepción de metal)

L es la distancia vertical desde el punto en que se considera la proximidad, hasta la toma de tierra de la masa metálica o la unión equipotencial más próxima

Nota: cuando la masa conductora próxima no está eléctricamente unida a tierra, no se realizará unión equipotencial.

En el caso de que el sistema de protección contra rayos esté conectado a estructuras de concreto armado con armaduras de acero interconectadas, o a estructuras de carpintería metálica, las condiciones de proximidad son respetadas habitualmente.

1.9.1.3.3 Equipotencialidad de las masas metálicas exteriores

En la mayoría de los casos, es posible una unión directa mediante conductores de equipotencialidad. En el caso de que no sea posible o no esté autorizada por los servicios competentes, se deberá realizar la unión mediante protectores contra sobre-corriente o vía de chispas.

1.9.1.3.4 Unión equipotencial mediante conductores

Se realiza una unión equipotencial en los siguientes entornos:

- A nivel del suelo o en el subsuelo

Las diferentes tomas de tierra de la estructura deben ser unidas entre sí

- Cuando no se respeten las exigencias de proximidad ($d < d_s$)

En este caso, los conductores de equipotencialidad serán del mismo tipo que aquellos utilizados para realizar las bajantes y su longitud será la más corta posible.

En el caso de sistemas de protección contra rayos aislados, la unión equipotencial, se realizará únicamente a nivel del suelo

En el caso de canalizaciones de gas, $d_s = 3$ metros

1.9.1.3.5 Equipotencialidad por unión directa o protector contra sobre tensiones

Una antena o poste de líneas eléctricas se unirá a la bajante en el punto más próximo directamente o mediante un protector contra sobre tensiones, por ejemplo, tipo vía de chispas para mástil de antena

En el caso de canalizaciones (agua, gas, etc.), que incluyan partes aislantes dentro del espacio considerado, aquéllas deben de ser cortocircuitadas mediante un protector contra sobre tensiones.

1.9.1.3.6 Equipotencialidad de las masas metálicas embebidas en las paredes

La unión equipotencial se realizará, de acuerdo con las reglas del apartado 1.9.1.3.3.1; es allí donde se hallan previsto bornes de conexión para tal efecto.

1.9.1.3.7 Equipotencialidad de las masas metálicas interiores

Los conductores de equipotencialidad unen las masas metálicas interiores a una barra de equipotencialidad fabricada y dispuesta, de tal forma que permite una desconexión fácil para la comprobación. Estos conductores tendrán una sección mínima de 16 mm² cuando sea de cobre o aluminio, y de 50 mm², si son de acero. La barra de equipotencialidad será instalada lo más cerca posible de la toma general de tierra de la estructura. En el caso de grandes estructuras, se pueden instalar varias tomas de tierra, siempre que éstas estén interconectadas. Cada una de las barras de equipotencialidad será de cobre o de material idéntico al conductor equipotencial y de una sección mínima de 75 mm²

En el caso de instalaciones eléctricas o de telecomunicaciones, si los conductores están apantallados o dispuestos en el interior de un conducto metálico, puede ser suficiente con unir únicamente la pantalla o los conductores metálicos a tierra.

En caso contrario, los conductores se unirán al sistema de protección contra el rayo mediante protectores contra sobre tensiones.

1.9.1.4 Tomas de tierra

Se realizará una toma de tierra por cada conductor bajante.

Dado el carácter de impulso de la corriente del rayo y para asegurar el camino más fácil posible hacia tierra, minimizando siempre el riesgo de aparición de sobretensiones peligrosas en el interior del volumen a proteger, es importante ocuparse de la forma y dimensiones de la toma de tierra, así como del valor de la resistencia.

Se deberá asegurar una mínima superficie de contacto del electrodo de tierra con el terreno, a fin de facilitar la dispersión de la corriente del rayo en la tierra en un espacio de tiempo muy corto.

Las tomas de tierra deben de responder a los criterios siguientes:

- Resistencia medida por los medios convencionales

Debe ser lo más bajo posible (inferior a 10 Ohms) Se debe de medir este valor sobre la toma de tierra aislada de todo otro elemento de naturaleza conductora.

- Valor de impedancia de onda o inductancia

Debe ser lo más bajo posible, para minimizar la fuerza contraelectromotriz que se añade al potencial óhmico en el momento de la descarga del rayo. A este efecto, es conveniente evitar las tomas de tierras constituidas por un único elemento de gran longitud, horizontal o vertical.

Así la utilización de electrodos profundos, buscando gran profundidad en terrenos húmedos, sólo es interesante si la resistividad de la superficie es particularmente elevada y es sólo compatible con la existencia de estratos inferiores del terreno de elevada conductividad o reducida resistividad, por lo que es adecuado para la toma de decisiones en este sentido, disponer de una herramienta de predicción de estratigrafía del terreno, a partir de medidas en su superficie.

Sin embargo, es de señalar que tales tomas de tierra a profundidad presentan una impedancia de onda elevada cuando la profundidad es superior a 20m metros. Se debe entonces aumentar el número de picas o varillas horizontales y verticales que deben estar siempre perfectamente unidas eléctricamente entre sí. Igualmente, son preferibles los conductores de cobre a los de acero, ya que para estos últimos la sección necesaria para obtener una conductividad equivalente haría impracticable su montaje en obra.

Salvo absoluta imposibilidad, las tomas de tierra deberán estar siempre orientadas hacia el exterior de los edificios.

1.9.1.4.1 Diferentes tipos de tomas de tierra

Las dimensiones de las tomas de tierra dependen de la resistividad del suelo en el que están realizadas. La resistividad puede variar considerablemente, según la naturaleza del terreno (arcilla, arena, roca, etc.)

La resistividad puede estimarse, según tablas o ser medida por un método apropiado con la ayuda de un medidor de tierras.

Por ejemplo, las tomas de tierra podrán estar constituidas para cada conductor de bajada:

- Por conductores de la misma naturaleza y sección que los bajantes, salvo para el aluminio, dispuestos en forma de pata de pato de grandes dimensiones y al menos a 0.50 metros de profundidad

Ejemplo: tres conductores de 7 a 8 metros de longitud, horizontalmente, al menos a 0.50 metros de profundidad

- Por la unión de muchas picas o varillas verticales en una longitud total mínima de 6 metros
- Dispuestas en línea o triángulo y espaciadas entre sí por una distancia, por lo menos igual a su longitud enterrada
- Unidas entre si por un conductor, idéntico o compatible en sus características a aquel utilizado en la bajante, enterrado en una zanja, al menos a 0.50 metros de profundidad.

Cuando con las disposiciones habituales indicadas la resistividad elevada del terreno no permite obtener una tierra inferior a 10 Ohms, se pueden realizar las siguientes medidas complementarias:

- Poner alrededor de los conductores de tierra un material no corrosivo que mejora la conductividad del terreno
- Añadir varillas de tierra en forma de parta de pato o conectar con varillas ya existentes
- Multiplicar el número de tierras, uniéndolas entre sí
- Aplicar un tratamiento que permita una disminución de la impedancia y posea un alto poder de disipación
- Si tras la aplicación de las disposiciones enunciadas no se consigue disponer de una resistencia menor de 10 Ohms, se considera que la toma de tierra asegura un paso aceptable de la corriente del rayo, siempre que esté constituida por un mínimo de 100 metros de electrodo enterrado, si se sabe que la longitud de cada elemento vertical u horizontal no sobrepasa los 20 metros

1.9.1.4.2 Equipotencialidad de las tierras

Cuando el edificio o el volumen por proteger disponga en la cimentación de una toma de tierra para las masas de las instalaciones eléctricas, las tomas de tierra de las instalaciones del pararrayos se unirán a ellas mediante un conductor normalizado anteriormente.

Para instalaciones nuevas, se debe tener en cuenta esta disposición desde el estudio inicial, y realizar la interconexión con el circuito de tierra en el fondo de la excavación, directamente al pie de cada bajante, mediante un dispositivo que permita la desconexión y que esté emplazado en un registro de inspección.

Para instalaciones y registros ya existentes, se deberán realizar las interconexiones preferentemente sobre las partes enterradas y deberá existir la posibilidad de desconexión para controles posteriores.

En el caso de una interconexión en el interior del edificio, la trayectoria del conductor de unión se debe de realizar, de manera que evite una eventual inducción sobre los cables y materiales situados en las inmediaciones.

Cuando otras estructuras separadas se incluyan dentro del volumen a proteger, la toma d tierra del pararrayos de puntas ionizantes se interconectará a la red de tierra equipotencial enterrada, que une las diferentes estructuras.

1.9.1.4.3 Condiciones de proximidad

Los elementos constitutivos de las tomas de tierra de los pararrayos deben distar al menos 2 metros de toda canalización metálica o eléctrica enterrada, siempre que estas canalizaciones no estén eléctricamente conectadas a la unión equipotencial principal del edificio.

Para los terrenos de resistividad superior a 500 ohms*metro, la distancia mínima será de 5 metros

1.9.1.4.4 Materiales y dimensiones

Los materiales y dimensiones mínimos de los electrodos de tierra se dan en la tabla XI

Tomando en cuenta las propiedades físicas, mecánicas y eléctricas (conductividad, maleabilidad, resistencia a la corrosión, etc.), se recomienda el cobre estañado

Tabla XI. **Electrodo de tierras**

Electrodos de tierra		
Material	Observaciones	Dimensiones
Cobre electrolítico desnudo o estañado	Recomendado por su buena conductividad eléctrica y su resistencia a la corrosión	Fleje 30X2 mm Redondo 8 mm Trenza plana 30X3.5mm Cable trenzado 50 Mm. Rejilla en hilo de sección mínima 10 mm ² Varilla maciza 14 mm, L =2 metros Varilla tubular 25mm, L = 2 metros Placa 500X500X2
Acero cobrizado (250μ)		Varilla maciza 14, L= 2 metros
Acero inoxidable 18/10, 304	Recomendado en ciertos ambientes corrosivos	Fleje 30X2 mm Redondo 10 mm Varilla maciza 14 mm, L =2 metros Varilla tubular 25mm, L = 2 metros
Acero galvanizado en caliente (50 μ)	Reservado para instalaciones provisionales y de corta vida debido a su mala resistencia a la corrosión	Fleje 30X3.5 mm Redondo 10 mm Varilla maciza 19 mm, L =2 metros Varilla tubular 21mm, L = 2 metros

Fuente: **tabla 4.6, NF C 17-102**

1.9.1.5 Protección contra la corrosión

La corrosión de los metales depende del tipo de metal utilizado y de la naturaleza del ambiente. Factores como el moho, las sales solubles (electrolitos), grado de aireación,

temperatura y evolución de la electrólisis constituyen condiciones verdaderamente complejas.

El efecto de contacto entre materiales diferentes, unido a los fenómenos de electrólisis debidos al entorno, provocan un aumento de la corrosión del metal más anódico o activo y una disminución de la corrosión dl metal más catódico o inerte. Se debe de impedir la corrosión del metal más catódico. El electrolito de esta reacción puede ser un suelo húmedo, o una condensación retenida en las fisuras.

1.9.1.5.1 Precauciones y medidas que se deben tomar

Para reducir la corrosión, es necesario:

- Evitar el uso de metales no apropiados dentro de un ambiente agresivo
- Evitar el par galvánico producido por la unión de metales diferentes
- Utilizar la sección adecuada de los conductores y fijaciones resistentes a la corrosión
- Proveer en los casos críticos los revestimientos protectores adecuados a las influencias externas

Para satisfacer las condiciones dichas anteriormente, sirvan las siguientes precauciones como ejemplo:

- Las uniones podrán realizarse mediante protectores contra sobre tensiones, por ejemplo, tipo vía de chispas, cuando exista necesidad de protección catódica.
- El espaciado o el diámetro mínimo de un elemento conductor debe cumplir las disposiciones ya mencionadas
- Los conductores de aluminio no deben estar directamente enterrados o encerrados dentro de concreto, salvo si están enfundados en forma perdurable y adecuada

- Las uniones cobre / aluminio deben, si es posible, ser evitadas. En caso contrario, las uniones se realizarán mediante la conexión bimetálica apropiada
- Generalmente el cobre es apropiado, para toda la toma de tierra, salvo en ciertas condiciones ácidas, en presencia de oxígeno o de sulfato
- Los conductores de bajada necesitan un revestimiento, si están sometidos a humus de naturaleza sulfúrica o amoniacal
- Las fijaciones de los conductores se harán en inoxidable o en material sintético apropiado en el caso de ambiente corrosivo.

1.9.2 Criterios de mantenimiento

El mantenimiento de cualquier sistema de protección contra rayos es indispensable. En efecto, ciertos componentes pueden perder su eficiencia con el transcurso del tiempo, debido a la corrosión, inclemencias atmosféricas, golpes mecánicos e impactos del rayo. Las características mecánicas y eléctricas de un sistema de protección contra el rayo deben de ser mantenidas durante toda su vida.

La periodicidad de la verificación de un pararrayos de puntas ionizantes viene recomendada por el nivel de protección, así:

Tabla XII. **Periodicidad de verificación de los componentes de un pararrayos de puntas ionizantes**

Periodicidad de verificación de los componentes de un pararrayos de puntas ionizantes		
	Periodicidad normal	Periodicidad especial
Nivel I	2 años	1 año
Nivel II	3 años	2 años
Nivel III	3 años	2 años

Fuente: **sección 7.2, NF C 17-102**

Nota: en caso de ambiente corrosivo, es aconsejable aplicar la periodicidad especial

Además, un sistema de protección contra rayos deberá de ser verificado cuando se produzca cualquier modificación o reparación de la estructura protegida, o tras cualquier impacto de rayo registrado sobre la estructura

Nota: este registro puede hacerse mediante un contador de impactos de rayo instalado en una de las bajantes

1.9.2.1 Procedimiento de verificación

Se debe de realizar una inspección visual para asegurar que:

- Cualquier extensión o modificación de la estructura protegida necesita o no la instalación de disposiciones complementarias de protección.
- La continuidad eléctrica de los conductores sea adecuada.
- La fijación de los distintos componentes y las protecciones mecánicas estén en buen estado.
- Ninguna parte este afectada por la corrosión.
- Las distancias de seguridad sean respetadas y las uniones equipotenciales sean suficientes y estén en buen estado.

Se deben realizar medidas para verificar:

- La continuidad eléctrica de los conductores no visibles
- La resistencia de las tomas de tierra (se debe analizar toda evolución)

Cuando una verificación muestre que existen deficiencias o anomalías en el sistema de protección contra rayos, es conveniente realizar la reparación con el menor retraso, a fin de mantener la eficiencia óptima del sistema.

1.10 Comparación de costos para los medios de protección utilizados en Guatemala

Integración de costos para el modelo con pararrayos tipo Franklin

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO U. US\$	COSTO TOTAL US\$
Estructuras metálicas de celosía auto-soportadas + anclaje	12	\$ 465.00	\$ 5,580.00
Puntas 48mm X 7.85 metros Franklin France # AFA 1004 PF	12	\$ 285.00	\$ 3,420.00
Soportes laterales para montaje en estructura de celosía	24	\$ 125.00	\$ 3,000.00
Varillas de tierra cooperweld de 5/8"X8'	12	\$ 4.87	\$ 58.44
Cable Thompson No. 28R SAMPSON (metros)	790	\$ 7.05	\$ 5,569.50
Abrazaderas de cobre Thompson No. 166	500	\$ 0.33	\$ 165.00
Tarugos para tornillo de 1/4" Thompson No. 208	500	\$ 0.35	\$ 175.00
Tornillos de bronce de 1/4"X1" cabeza redonda Thompson No. 205X	500	\$ 0.27	\$ 135.00
Soldaduras cadweld variedad	12	\$ 22.00	\$ 264.00
Protector de cable Thompson No. 242 X	6	\$ 50.00	\$ 300.00
Mano de obra	28	\$ 50.00	\$ 1,400.00
Equipo	4	\$ 150.00	\$ 600.00
			\$20,666.94

Integración de costos para el modelo con pararrayos tipo Jaula de Faraday o mallada

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO U. US\$	COSTO TOTAL US\$
Cable Thompson No. 28R SAMPSON (metros)	810	\$ 7.05	\$ 5,710.50
Puntas de cobre Thompson 1/2"X12" niqueladas No. 55	40	\$ 10.26	\$ 410.40
Bases de cobre para cumbrera Thompson No. 71X	40	\$ 15.65	\$ 626.00
Abrazaderas de cobre Thompson No. 166	900	\$ 0.33	\$ 297.00
Tarugos para tornillo de 1/4" Thompson No. 208	900	\$ 0.35	\$ 315.00
Tornillos de bronce de 1/4"X1" cabeza redonda Thompson No. 205X	900	\$ 0.27	\$ 243.00
Varillas de tierra cooperweld de 5/8"X8'	16	\$ 4.87	\$ 77.92
Soldaduras cadweld variedad	30	\$ 22.00	\$ 660.00
Protector de cable Thompson No. 242 X	16	\$ 50.00	\$ 800.00
Mano de obra	21	\$ 50.00	\$ 1,050.00

Equipo	3	\$ 150.00	\$ 450.00
			\$ 10,639.82

Integración de costos para el modelo con pararrayos tipo Pulsar de Helita

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO U. US\$	COSTO TOTAL US\$
Puntas Pulsar 45 INOX X2m Helita # IMH 4512	1	\$ 1,802.00	\$ 1,802.00
Mástil de 35mmX2M Helita # HRI 3502	1	\$ 119.38	\$ 119.38
Trípode Helita # TSH 4525	1	\$ 163.98	\$ 163.98
Tarugos de expansión de ½"	3	\$ 0.88	\$ 2.64
Tornillos de 1/2"X2" galvanizados	3	\$ 0.41	\$ 1.23
Arandelas planas de 1/2" galvanizadas	3	\$ 0.15	\$ 0.45
Roldanas de presión de ½" galvanizadas	3	\$ 0.15	\$ 0.45
Fleje de 30X2 mm Helita # cpc 2712 (metros)	100	\$ 6.49	\$ 649.00
Coplas múltiples de cobre Helita # BRX 3780	4	\$ 24.47	\$ 97.88
Ruberalu Helita # HBR 2717	20	\$ 0.84	\$ 16.80
Lañas Helita # HCM 2704	180	\$ 1.32	\$ 237.60
Tarugos de plomo Helita # HCC 2696	180	\$ 0.28	\$ 50.40
Abrazaderas Helita # HCI 2419	4	\$ 3.47	\$ 13.88
Juntas de control # Helita JCH 2708	2	\$ 31.78	\$ 63.56
Protectores planos Helita # TPH 2705	2	\$ 31.78	\$ 63.56
Ganchos Helita # HTP 2782	6	\$ 4.28	\$ 25.68
Cajas para conexión equipotencial Helita # BLH 2707	2	\$ 67.45	\$ 134.90
Patatas de pato Helita # RPO 2840	2	\$ 48.75	\$ 97.50
Varillas de tierra cooperweld de 5/8"X8'	6	\$ 4.87	\$ 29.22
Mordazas Helita # CRH 4020	6	\$ 16.17	\$ 97.02
Soldaduras cadweld variedad	6	\$ 22.00	\$ 132.00
Cable de cobre sin forro No. 2/0 (metros)	75	\$ 2.43	\$ 182.25
Mano de obra	14	\$ 50.00	\$ 700.00
Equipo	2	\$ 150.00	\$ 300.00
			\$ 4,981.38

Integración de costos para el modelo con pararrayos de Saint Elmo

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO U. US\$	COSTO TOTAL US\$
Puntas Saint Elmo # SE 15	1	\$ 2,700.00	\$ 2,700.00
Juego de mástiles Saint Elmo # AFC 2003 MR	1	\$ 327.96	\$ 327.96
Tripode Saint Elmo # AFD 3200 FS	1	\$ 179.38	\$ 179.38
Tarugos de expansión de 1/2"	3	\$ 0.88	\$ 2.64
Tornillos de 1/2"X2" galvanizados	3	\$ 0.41	\$ 1.23
Arandelas planas de 1/2" galvanizadas	3	\$ 0.15	\$ 0.45
Roldanas de presión de 1/2" galvanizadas	3	\$ 0.15	\$ 0.45
Fleje de 30X2 mm Saint Elmo # AFG 0302 CP	100	\$ 8.56	\$ 856.00
Coplas multiples Saint Elmo # AFJ 0005 RC	4	\$ 26.18	\$ 104.72
Mamouth Saint Elmo # AFH 6032 BM	20	\$ 1.00	\$ 20.00
Lañas Saint Elmo # AFH 2030 CM	180	\$ 1.22	\$ 219.60
Tarugos de plomo Saint Elmo # AFH 8030 CC	180	\$ 0.28	\$ 50.40
Abrazaderas Saint Elmo # AFH 1051 CS	180	\$ 3.81	\$ 685.80
Juntas de control Saint Elmo # AFK 0080 BC	2	\$ 34.48	\$ 68.96
Tubo protector con abrazaderas # AFK 4200 FP	2	\$ 50.00	\$ 100.00
Conector equipotencial Saint Elmo # AFK 0106 BC	2	\$ 78.00	\$ 156.00
Conector multiple pata de ganso # AFK 0004 RM	2	\$ 47.29	\$ 94.58
Varillas de tierra cooperweld de 5/8"X8'	6	\$ 4.87	\$ 29.22
Mordaza Saint Elmo # AFK 0020 RP	6	\$ 17.60	\$ 105.60
Soldaduras cadweld variedad	6	\$ 22.00	\$ 132.00
Cable de cobre sin forro No. 2/0 (metros)	75	\$ 2.43	\$ 182.25
Mano de obra	14	\$ 50.00	\$ 700.00
Equipo	2	\$ 150.00	\$ 300.00
			\$ 7,017.24

Integración de costos para el modelo con pararrayos tipo PDC de Ingesco

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO U. US\$	COSTO TOTAL US\$
Punta Ingesco # PDC 6.3	1	\$ 1,690.00	\$ 1,690.00
Adaptador cabeza-mástil de 2", Ingesco # 111013	1	\$ 70.00	\$ 70.00
Mástil de 5.8 metros, Ingesco # 114041	1	\$ 192.00	\$ 192.00
Base soporte de 2", Ingesco # 113032	1	\$ 43.00	\$ 43.00
Tarugos de expansión de 1/2"	4	\$ 0.88	\$ 3.52
Tornillos de 1/2"X2" galvanizados	4	\$ 0.41	\$ 1.64
Arandelas planas de 1/2" galvanizadas	4	\$ 0.15	\$ 0.60
Roldanas de presión de 1/2" galvanizadas	4	\$ 0.15	\$ 0.60
Cable trenzado 70mm, Ingesco # 117073	175	\$ 7.05	\$ 1,233.75
Coplas para cable tipo X, Ingesco # 115053	4	\$ 38.00	\$ 152.00
Coplas para cable tipo T, Ingesco # 115052	1	\$ 36.00	\$ 36.00
Abrazaderas de cable M-8, Ingesco # 118081	100	\$ 14.00	\$ 1,400.00
Junta de prueba, Ingesco # 250001	2	\$ 134.00	\$ 268.00
Caja para junta de prueba, Ingesco # 250003	2	\$ 70.00	\$ 140.00
Varillas de tierra cooperweld de 5/8"X8'	6	\$ 4.87	\$ 29.22
Soldaduras cadweld variedad	12	\$ 22.00	\$ 264.00
Protector de cable	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Mano de obra	14	\$ 50.00	\$ 700.00
Equipo	2	\$ 150.00	\$ 300.00
			\$ 6,574.33

Integración de costos para el modelo con pararrayos tipo Dynasphere de Erico

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO U. US\$	COSTO TOTAL US\$
Punta o terminal aérea ionizante Dynasphere MK3	1	\$ 1,850.00	\$ 1,850.00
Mástil de fibra de vidrio 60mmX 2 metros	1	\$ 342.80	\$ 342.80
Mástil de aluminio de 4 mts	1	\$ 451.89	\$ 451.89
Acople entre mástiles	1	\$ 249.31	\$ 249.31
Juego de abrazaderas para mástil	1	\$ 8.00	\$ 8.00
Base para mastil de aluminio	1	\$ 46.00	\$ 46.00
Cable de bajada Ericore tipo E1 (metros)	50	\$ 46.75	\$ 2,337.50
Conjunto de tensores de fibra anticonductora de 7 mts	1	\$ 210.36	\$ 210.36
Abrazaderas para cable de bajada	50	\$ 0.15	\$ 7.50
Tarugos para tornillo de 1/4"	50	\$ 0.20	\$ 10.00
Tornillos de 1/4"X1 1/2"	50	\$ 0.10	\$ 5.00
Electrodo químico horizontal 10'X3"	1	\$ 1,135.35	\$ 1,135.35
Platina equipotencial de cobre 12"X1/4"X4" + aisladores	1	\$ 60.00	\$ 60.00
Conector transiente de tierras TEC 180	2	\$ 400.00	\$ 800.00
Soldaduras cadweld variedad	6	\$ 22.00	\$ 132.00
Protector de cable	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Cable de cobre sin forro No. 2/0 (metros)	75	\$ 2.43	\$ 182.25
Mano de obra	7	\$ 50.00	\$ 350.00
Equipo	1	\$ 150.00	\$ 150.00
			\$ 8,377.96

Como se puede ver de las integraciones de costos, la más económica resulta ser la del Pulsar de Helita.

En segundo puesto el PDC de Ingesco que cuesta el 132% de la de Helita.

En tercer lugar, el piezoeléctrico de Saint Elmo con un valor del 141% de Helita

El cuarto sitio lo ocupa el Dynasphere de Erico representando el 168% de Helita

La quinta plaza es para la jaula de Faraday o mallada con un monto del 214% de Helita

La sexta y última posición es para el sistema Franklin con el 414% del Helita

2. METODOLOGÍA

2.1 Investigación de campo

El campo de estudio fue definido como el área metropolitana de la ciudad de Guatemala; tiene la limitación de que hay muchas edificaciones, por lo que fue necesario efectuar un muestreo, que aunque no es exacto, dará la tendencia.

Se propuso una muestra formada por 33 edificaciones escogidas al azar, en las que estuviera representada la mayoría de las aplicaciones clásicas como son los siguientes tipos de edificaciones

- a) Bancarios o financieros, representados por:
 - Edificio Banco Agromercantil
 - Edificio Banco Reformador
 - Edificio Banco de Guatemala

- b) Comerciales, representados por:
 - Gran Portal de Petapa
 - Centro Comercial Los Próceres
 - Plaza Decorísima

- c) Deportivos, representados por:
 - Estadio de la Pedrera

- Hacienda Nueva *Contry Club*
 - Campo de Marte
- d) Educativos, representados por:
- Facultad de Ingeniería USAC
 - Colegio El Shaday San Gaspar
 - Museo Popol Vuh UFM
- e) Estatales, representados por:
- Ministerio de Finanzas
 - Palacio Nacional
 - Centro Cultural Miguel Ángel Asturias
- f) Iglesias, representadas por:
- La Catedral Metropolitana
 - Templo Central Iglesia de Jesucristo de los últimos Días
 - La Casa de Dios, Carretera a San José Pinula
- g) Industriales, representados por:
- Embotelladora La Mariposa
 - Planta de asfaltos Ecoasfaltos, Mixco
 - Planta Precon, San Miguel Petapa
- h) Hospitales y/o clínicas, representados por:
- Edificio de Clínicas Hospital Bella Aurora
 - Hospital Centro Médico
 - IGSS Pamplona

- i) Hoteles, representados por:
 - Sol Meliá Guatemala
 - Westin Camino Real Guatemala
 - Conquistador Ramada

- j) Oficinas resentadas por:
 - Edificio Paladium
 - Edificio Topacio Azul
 - Edificio Aseguradora General

- k) Residenciales representadas por:
 - El Jardín de Oakland
 - Edificio Las Mercedes
 - Condominio La Solana

Además se consideraron varias edificaciones especiales que no se encuentran representadas en ninguno de los grupos anteriores, las cuales llamaremos:

- l) Especiales representadas por:
 - Edificio Torre de Parqueos
 - La torre del Reformador
 - Parque de Diversiones IRTRA Petapa

2.2 Definición del problema

Es un tema del que no se dispone de suficiente literatura ni información técnica. Se conoce de casos de representantes y/o distribuidores en el país de los fabricantes que no tienen la suficiente base técnica, para poder asesorar y diseñar un sistema adecuado y conocen tan poco del tema que ni siquiera se preocupan por importar y vender la gama de los insumos adecuados para que el interesado pueda realizar una instalación adecuada

Además de ser las descargas atmosféricas un riesgo contra el que la mayoría de los diseñadores, instaladores y usuarios, no les dan importancia por la falta de conocimientos, carencia de tecnología actualizada y, en algunos casos, por costos de inversión iniciales relativamente altos, que se resumen en instalaciones inadecuadas.

2.3 Delimitación del problema

Instalaciones de pararrayos inadecuadas o inexistentes para edificaciones dentro del área metropolitana de la ciudad de Guatemala, como un peligro a los usuarios y propietarios de las edificaciones en el año 2003

2.4 Puesta a prueba de la hipótesis

2.4.1 Información requerida para identificar posibles problemas:

- a) Área por proteger.
- b) Identificar el tipo de edificación.
- c) Indagar la edad de las instalaciones de las edificaciones para tener parámetros de referencia.
- d) Comprobar si las edificaciones tienen pararrayos.
- e) Investigar si ha habido modificaciones físicas posteriores a la instalación del pararrayos.

- f) Averiguar si se le da algún tipo de mantenimiento y su frecuencia.
- g) Establecer el tipo de pararrayos utilizado.
- h) Mirar distancia entre la parte más prominente a proteger y la punta del pararrayos.
- i) Determinar visualmente el estado de las puntas.
- j) Verificar el número de bajantes y su estado.
- k) Revisar el material y el tipo de los bajantes.
- l) Localizar puestas a tierra y definir su tipo.
- m) Observar en azotea existencia de instalaciones especiales, como chimeneas, antenas, extractores, luces de obstrucción aérea, etc.
- n) Aclarar si en la instalación del pararrayos se consideraron las instalaciones especiales.
- o) Dictamen de la protección del pararrayos instalado.

2.4.1 Elaboración de la boleta para encuesta

2.4.2 Recopilación de información sobre la base de inspección física

2.4.3 Evaluación de la información recopilada, clasificándola estadísticamente

2.4.4 Análisis de la información ya clasificada

2.4.5 Señalamiento de las similitudes entre la mayoría de las edificaciones

2.4.6 Identificación de las tendencias

2.4.7 Elaboración de conclusiones

2.5 Recomendaciones que se deben efectuar en instalaciones deficientes visitadas

durante la investigación de campo

- 2.5.1 En el caso de que se determinen instalaciones con problemas, se deben dar recomendaciones para mejorar las mismas.

- 2.5.2 Cuando se determine que es necesario hacer un sistema completamente nuevo, establecer cuál será el sistema más recomendado.

3. PRESENTACIÓN DE ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1 Características de la muestra

Durante el estudio de campo, se tuvieron algunas limitaciones, las cuales se dan a conocer:

- No fue posible obtener un dato exacto del tiempo que llevan en funcionamiento todas las edificaciones; únicamente se obtuvieron datos aproximados.
- No se pudo establecer en varios casos el estado de los bajantes.
- No fue posible verificar el sistema de puesta a tierra en todos los casos.

3.2 Modelo de la boleta utilizada para investigación de campo

Ver página siguiente

**ENCUESTA SOBRE INSTALACIONES DE PARARRAYOS
EN EDIFICACIONES DE LA
CIUDAD DE GUATEMALA**

Edificación No. <input type="text"/>		Zona: <input type="text"/>
Área de la edificación a proteger en metros cuadrados:		<input type="checkbox"/> < de 1000 <input type="checkbox"/> > de 1000
Tipo de edificación:	<input type="checkbox"/> deportiva	<input type="checkbox"/> bancaria o financiera
<input type="checkbox"/> comercial	<input type="checkbox"/> iglesia	<input type="checkbox"/> educativa
<input type="checkbox"/> estatal	<input type="checkbox"/> hotel	<input type="checkbox"/> industrial
<input type="checkbox"/> hospital y/o clínica	<input type="checkbox"/> otra	<input type="checkbox"/> oficinas
<input type="checkbox"/> residencial	<input type="text"/> especificar:	
Esta edificación ha estado en servicio desde el año:		<input type="checkbox"/> antes de 1970
<input type="checkbox"/> entre 1970 y 1985	<input type="checkbox"/> entre 1985 y 2000	<input type="checkbox"/> después de 2000
Cuenta con sistema de protección contra pararrayos:		<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no
Se han efectuado algunas modificaciones físicas después de su instalación:		<input type="checkbox"/> no se sabe <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no
Se da algún tipo de mantenimiento al sistema de pararrayos:		<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no se sabe <input type="checkbox"/> no
En caso se le dé mantenimiento, frecuencia:		<input type="checkbox"/> semestral <input type="checkbox"/> anual <input type="checkbox"/> otra
Qué tipo de pararrayos posee la edificación:		<input type="checkbox"/> con puntas <input type="checkbox"/> con jaula mallada <input type="checkbox"/> no posee <input type="checkbox"/> otra
Si son puntas:		<input type="checkbox"/> con dispositivos ionizantes <input type="checkbox"/> sin dispositivos ionizantes
El dispositivo ionizante utiliza energía con sistema:		<input type="checkbox"/> de cebado <input type="checkbox"/> piezoeléctrico <input type="checkbox"/> radioactivo <input type="checkbox"/> fotovoltaico
Las puntas sin dispositivos ionizantes son:		<input type="checkbox"/> de fabricación industrial <input type="checkbox"/> de fabricación casera
<input type="text"/> Separación en metros entre la parte más prominente a proteger y la punta del pararrayos:		
Apariencia del estado de las puntas:		<input type="checkbox"/> buena <input type="checkbox"/> mala
<input type="text"/> Número de bajantes:		
Material de los bajantes:		<input type="checkbox"/> cobre <input type="checkbox"/> aluminio
<input type="checkbox"/> acero	<input type="checkbox"/> cobre cadmiado	
Tipo del material de los bajantes:		<input type="checkbox"/> cable entorchado <input type="checkbox"/> conductor plano
<input type="checkbox"/> cable trenzado	<input type="checkbox"/> cable blindado <input type="checkbox"/> conductor redondo	
Apariencia del estado de los bajantes:		<input type="checkbox"/> buena <input type="checkbox"/> mala
Puesta a tierra con:		<input type="checkbox"/> conectores especiales <input type="checkbox"/> otro
<input type="checkbox"/> varillas	<input type="checkbox"/> no visible <input type="checkbox"/> mallas	
Existen en la azotea, instalaciones especiales como:		<input type="checkbox"/> antenas <input type="checkbox"/> otro
<input type="checkbox"/> chimeneas	<input type="checkbox"/> luces indicadoras de obstrucción aérea	
Para el pararrayos las instalaciones especiales fueron consideradas:		<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no
Cómo se considera la protección del sistema de pararrayos de la edificación?		
<input type="checkbox"/> buena protección	<input type="checkbox"/> mala protección	<input type="checkbox"/> sin protección
En caso de mala protección:		<input type="checkbox"/> se puede enmendar <input type="checkbox"/> hay que hacerla de nuevo
En caso de que la instalación de un nuevo sistema de pararrayos sea requerida para la protección adecuada, se recomienda por sus características		
<input type="checkbox"/> puntas ionizantes	<input type="checkbox"/> puntas franklin	<input type="checkbox"/> con jaula mallada

3.3 Presentación y análisis

De la figura 17, se pudo observar según el muestreo que la zona que más aparece fue la zona 10, lo cual es representativo, ya que es la zona de más se ha desarrollado y donde se encuentran las edificaciones de mayor altura.

Según la figura 18, la mayor parte de las edificaciones tienen áreas que superan los 1000 metros cuadrados, lo que se considera real

Por la figura 19, se pudo confirmar que de las edificaciones muestreadas, la mayoría fueron puestas en servicio entre los años 1985 y 2000, lo cual es congruente porque es el periodo de mayor crecimiento y aunque después de éste, se están manifestando muchas nuevas edificaciones; es un período corto que incluye solo 3 años.

La figura 20 muestra que más del 50% no tiene ninguna protección

Con la figura 21 se confirma que después de que fue instalado el pararrayos en la mayoría de edificaciones hubo ciertas modificaciones, y en una buena parte de los casos, alteran la protección que se instaló inicialmente.

Respecto al mantenimiento se puede ver en la figura 22, que prácticamente no se realiza mantenimiento en los sistemas de pararrayos de las edificaciones que los poseían.

Considerando la figura 23, se aprecia que la mayoría de las edificaciones poseía protecciones con puntas en vez de mallas

Las puntas sin dispositivos ionizantes predominaron en el muestreo, de acuerdo con la figura 24.

La energía para el cebado de las protecciones con puntas ionizantes, estuvo más representada por las que trabajan con electrónica, seguidas de las de estimulación piezoeléctrica, según la figura 25, lo cual confirma el orden en que estas tecnologías han llegado a nuestro país.

Se pudo comprobar que la mayoría de las puntas sin ionizantes son de fabricación industrial, pero se detectó que también las hay de fabricación artesanal o casera, según la figura 26.

Tomando la separación que hay entre las puntas y las partes más prominentes por proteger, se encontraron que una buena parte tienen alturas de más de 5 metros, conforme la figura 27.

Con la figura 28, se establece que la mayoría de las puntas tiene buena apariencia.

Se determinó que la mayoría de las edificaciones tienen solo un bajante, de acuerdo con la figura 29.

Con la figura 30, se determina que el material más utilizado para los bajantes es el cobre, y de la misma forma con la figura 31, se fija que el tipo del material predominante es cable entorchado.

Con la figura 32, se concluye que la mayoría de los bajantes tenían buena apariencia, aunque también los había en estado lamentable.

Las varillas de tierra son las más utilizadas para hacer las puestas a tierra, según la figura 33.

Se encontró que existían en las azoteas y planos por proteger, la existencia de instalaciones especiales tales como antenas, chimeneas, luces de obstrucción, máquinas de aires acondicionados, como muestra la figura 34, las cuales en más de la mitad de los casos, no fueron consideradas como lo marca la figura 35.

Como un análisis general se demuestra, según la figura 36, que sólo el 41% de la muestra de las edificaciones con pararrayos tienen protecciones adecuadas, ya que el 35% de la muestra, aunque tiene pararrayos, las protecciones no se están dando; además en el 24% de la muestra hay que hacerles modificaciones en sus componentes para corregir malas instalaciones, para que sus protecciones trabajen en forma conveniente al área deseada.

En el caso de mala protección en más de la mitad de los casos, es necesario hacer de nuevo los sistemas, ya que lo que tiene no se puede aprovechar como se ve en la figura 37.

Por la figura 38, se asegura que cuando hay que hacer de nuevo las protecciones en todos los casos por sus condiciones y por las ventajas de este sistema, se recomienda que se utilicen puntas ionizantes en todos los casos.

Figura 17. Ubicación de las edificaciones muestreadas en Guatemala

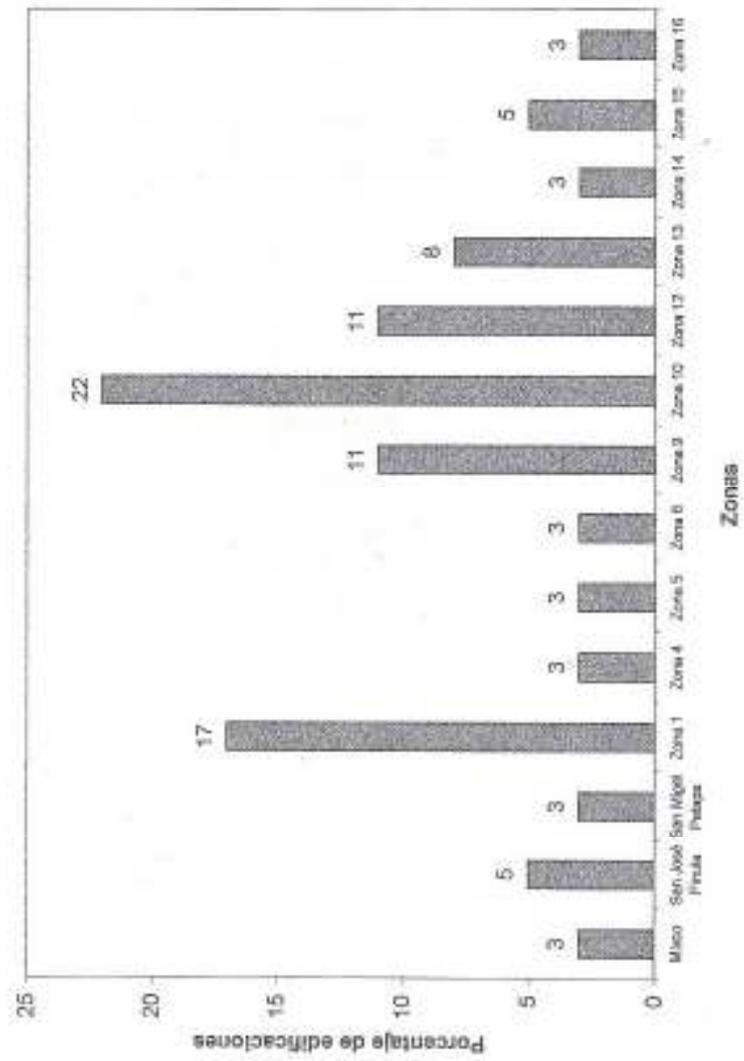


Figura 18. Área de protección de las edificaciones muestreadas en Guatemala

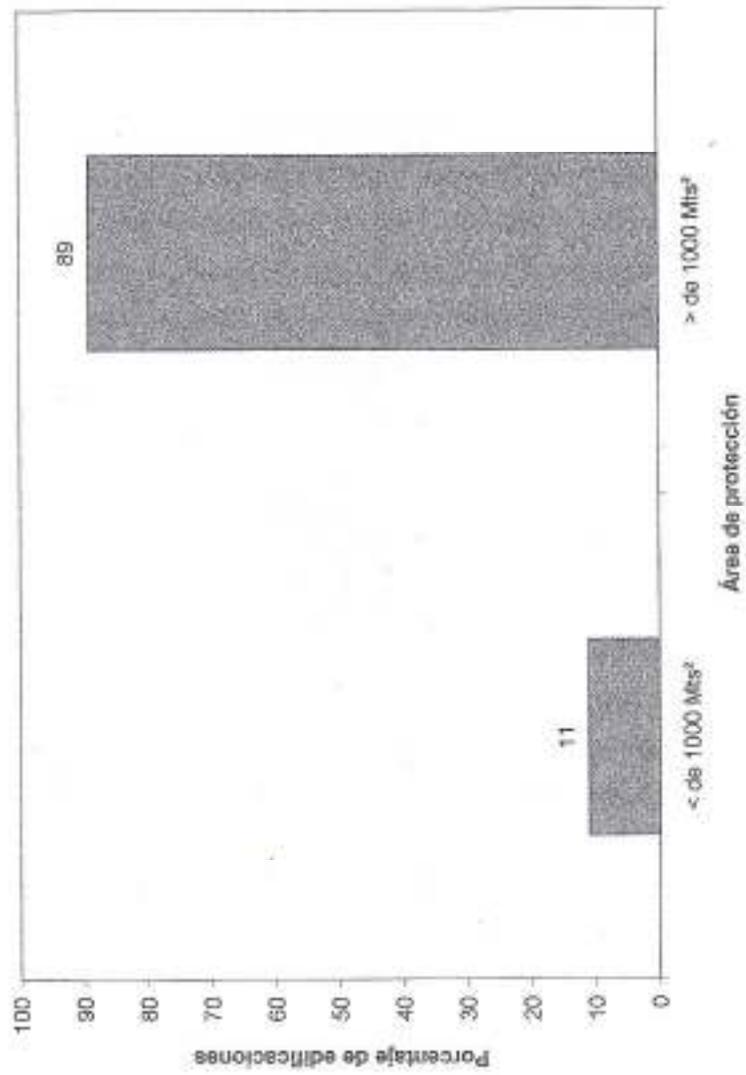


Figura 19. Año en que fueron puestas en servicio las edificaciones muestreadas

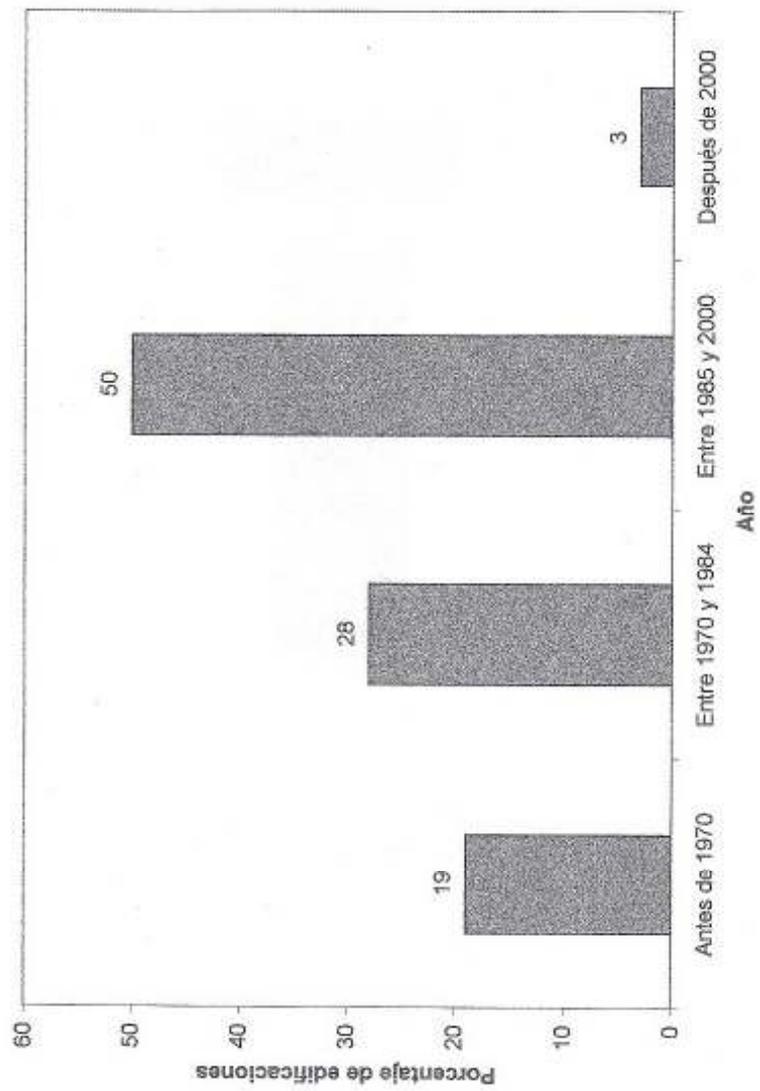


Figura 20. Pararrayos en edificaciones muestreadas

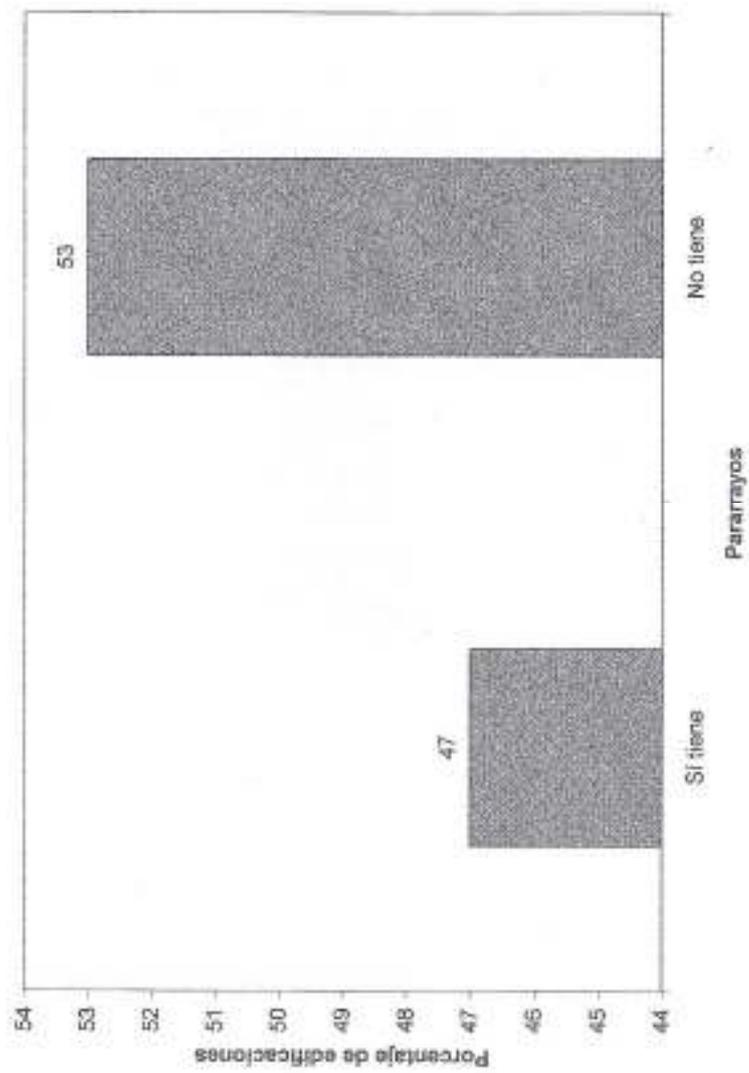


Figura 21. **Modificaciones después de la instalación del pararrayos, en edificaciones muestreadas**

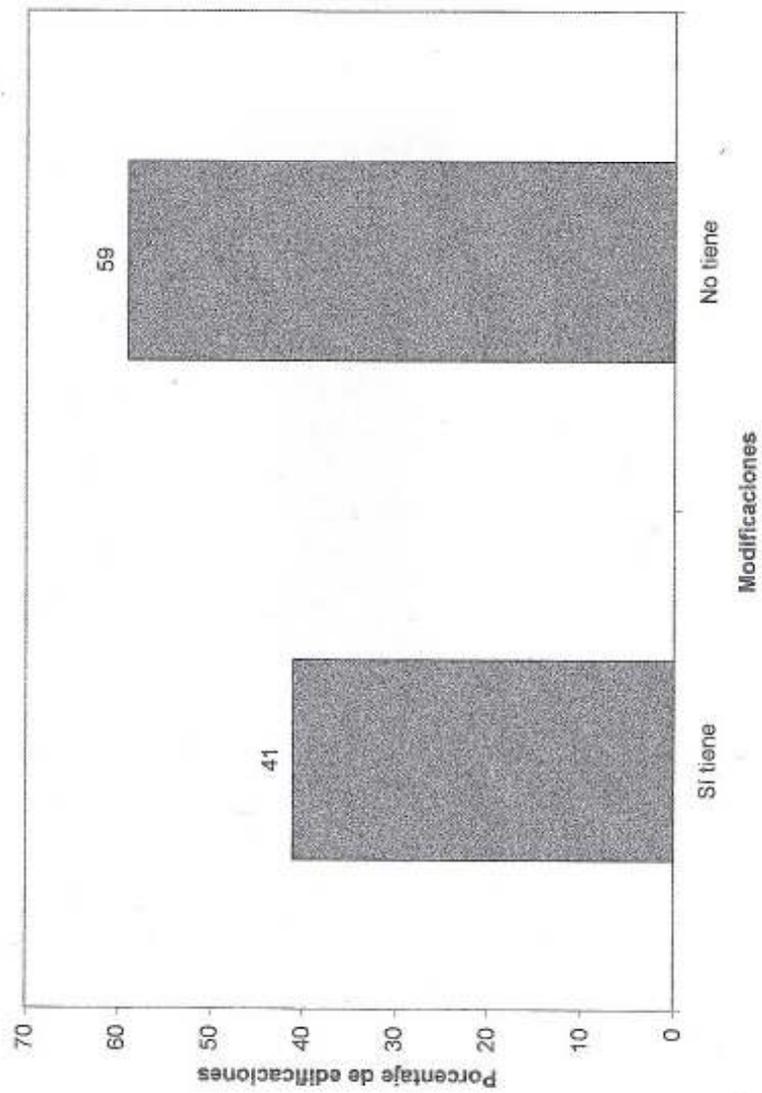


Figura 22. Práctica de mantenimiento a pararrayos de edificaciones muestreadas

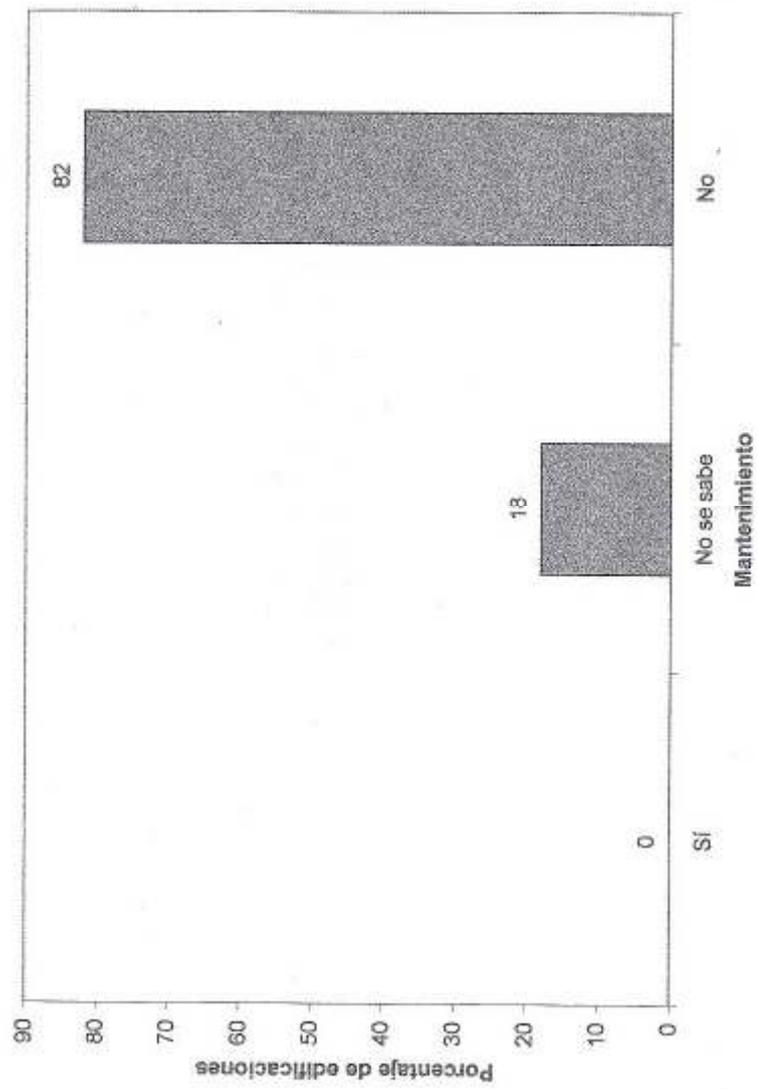


Figura 23. Tipos de pararrayos que poseen las edificaciones muestreadas

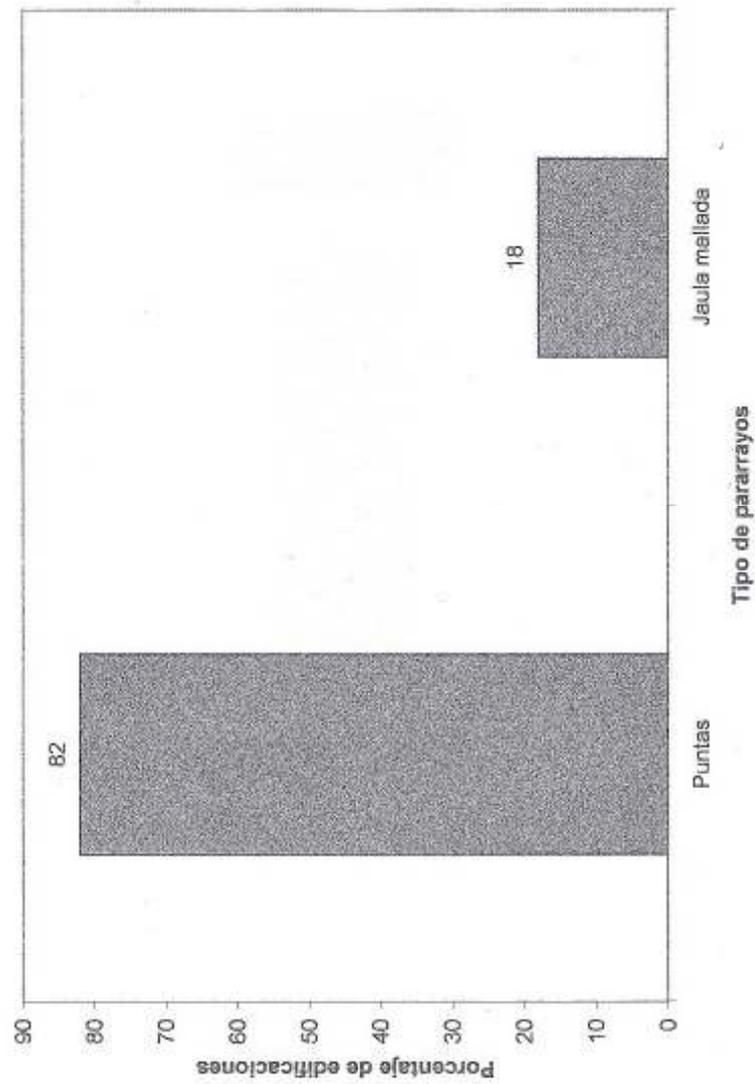


Figura 24. Tipo de puntas que poseen los pararrayos de las edificaciones muestreadas

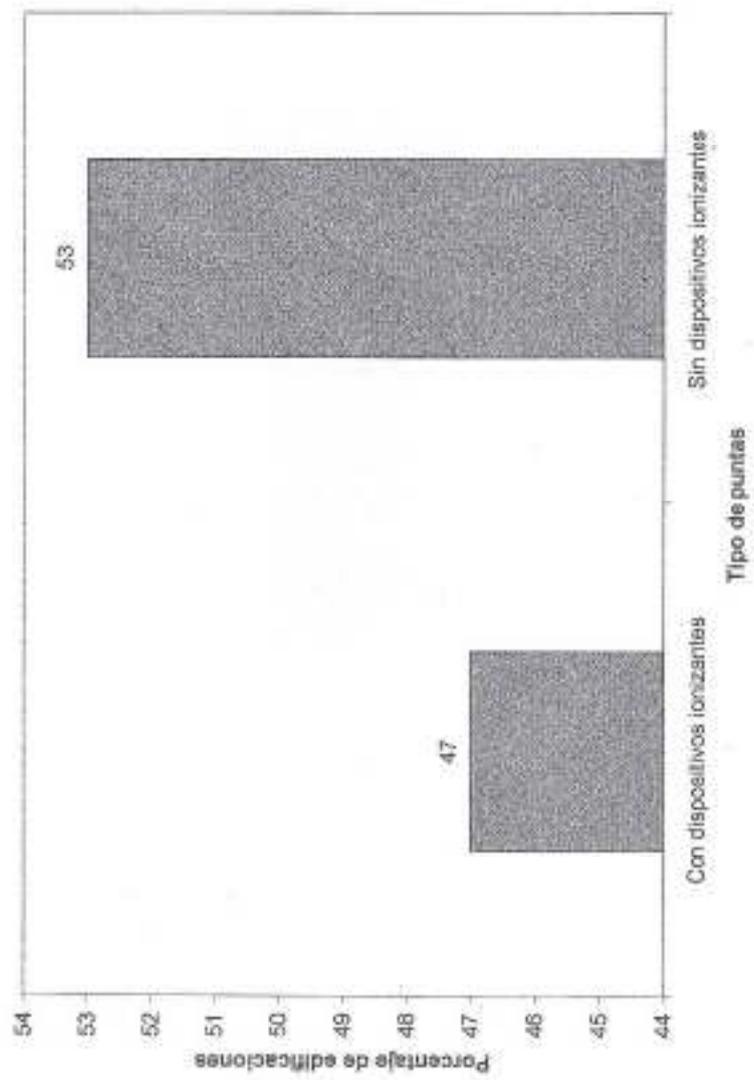


Figura 25. Energía para cebado que utilizan los pararrayos ionizantes de las edificaciones muestreadas

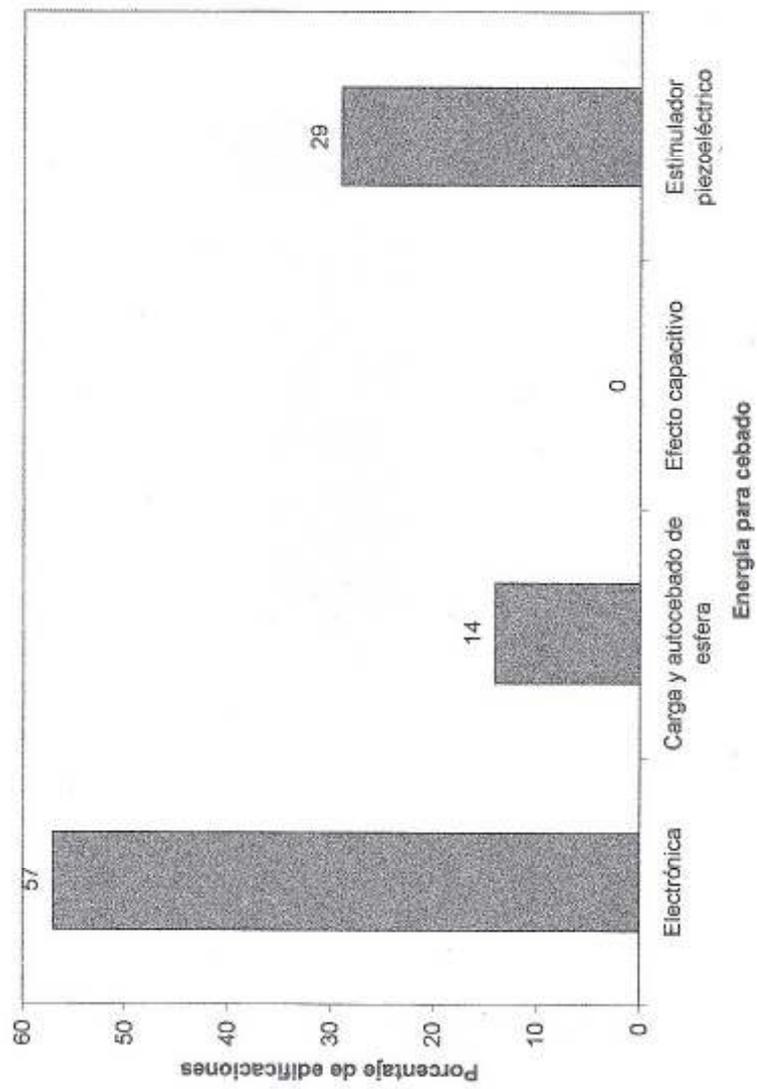


Figura 26. Fabricación de las puntas sin dispositivo ionizantes de los edificios muestreados

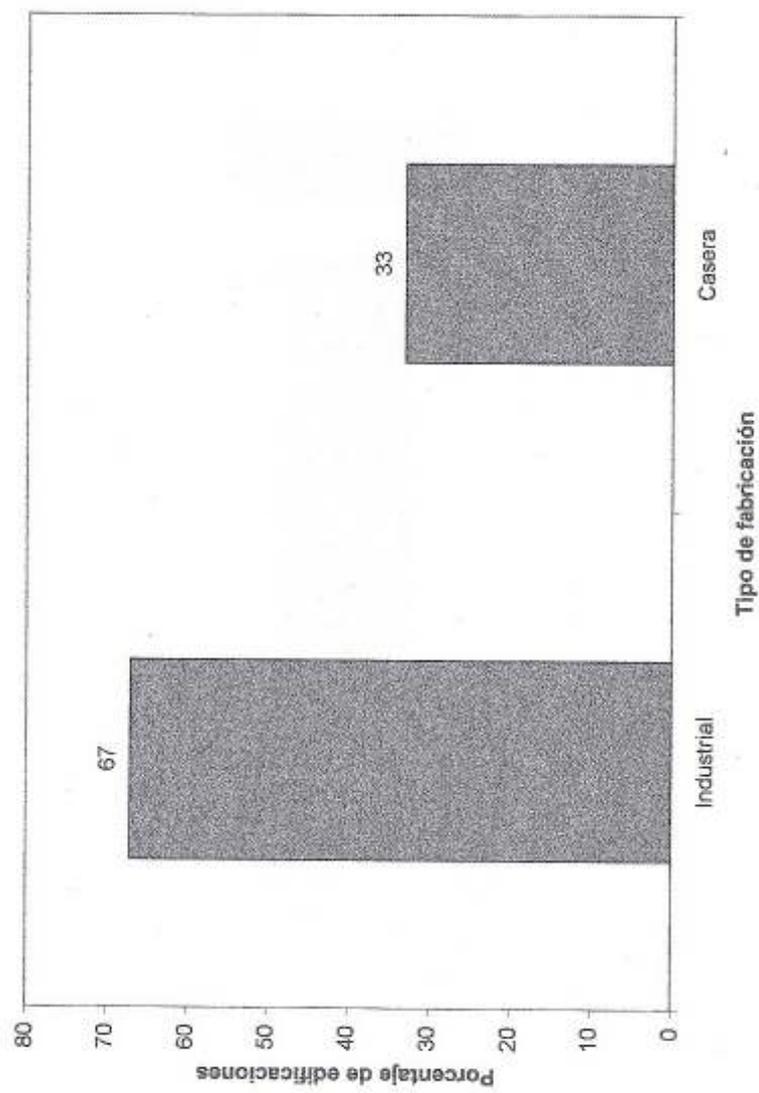


Figura 27. Separación entre la parte más prominente por proteger y el pararrayos, en las edificaciones muestreadas

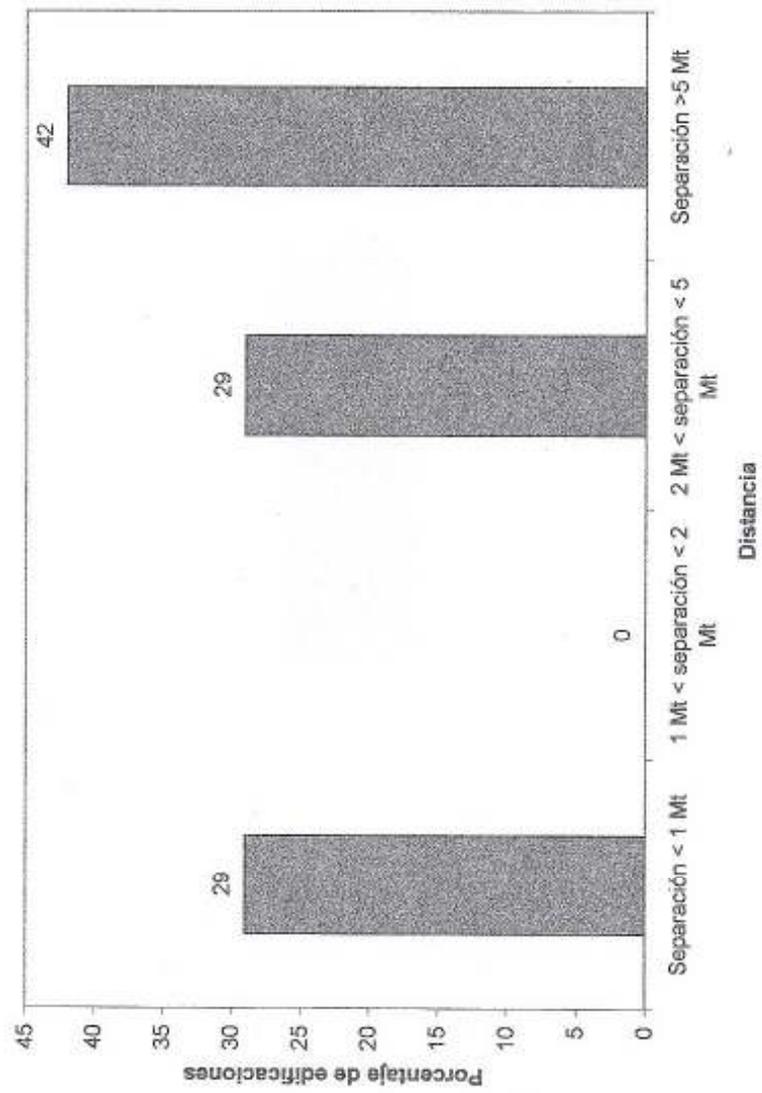


Figura 28. Apariencia del estado de las puntas de los pararrayos de las edificaciones muestreadas

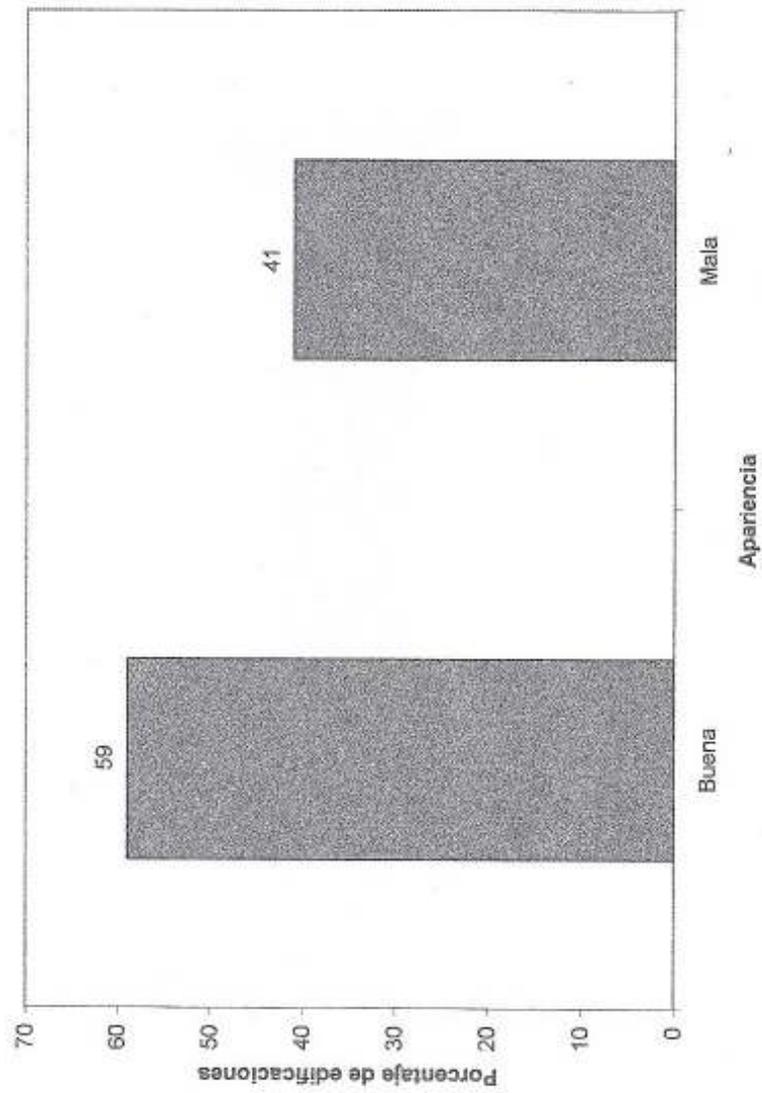


Figura 29. Número de bajantes de pararrayos, de las edificaciones muestreadas

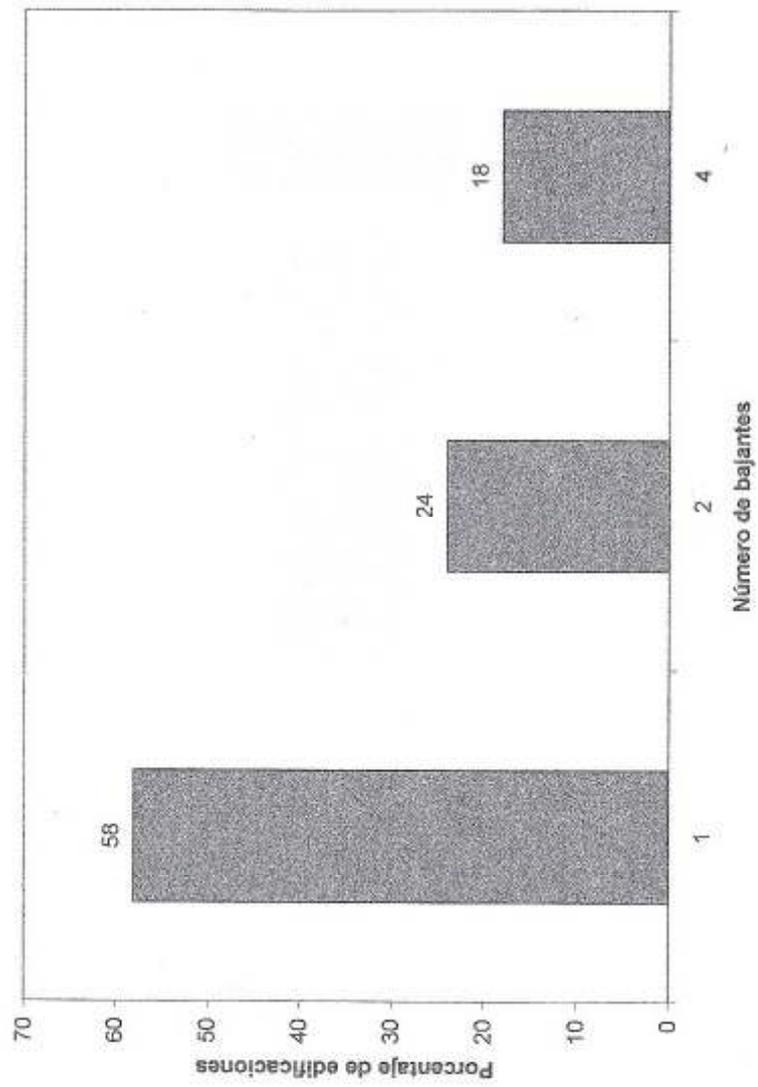


Figura 30. **Material de los bajantes de los pararrayos de las edificaciones muestreadas**

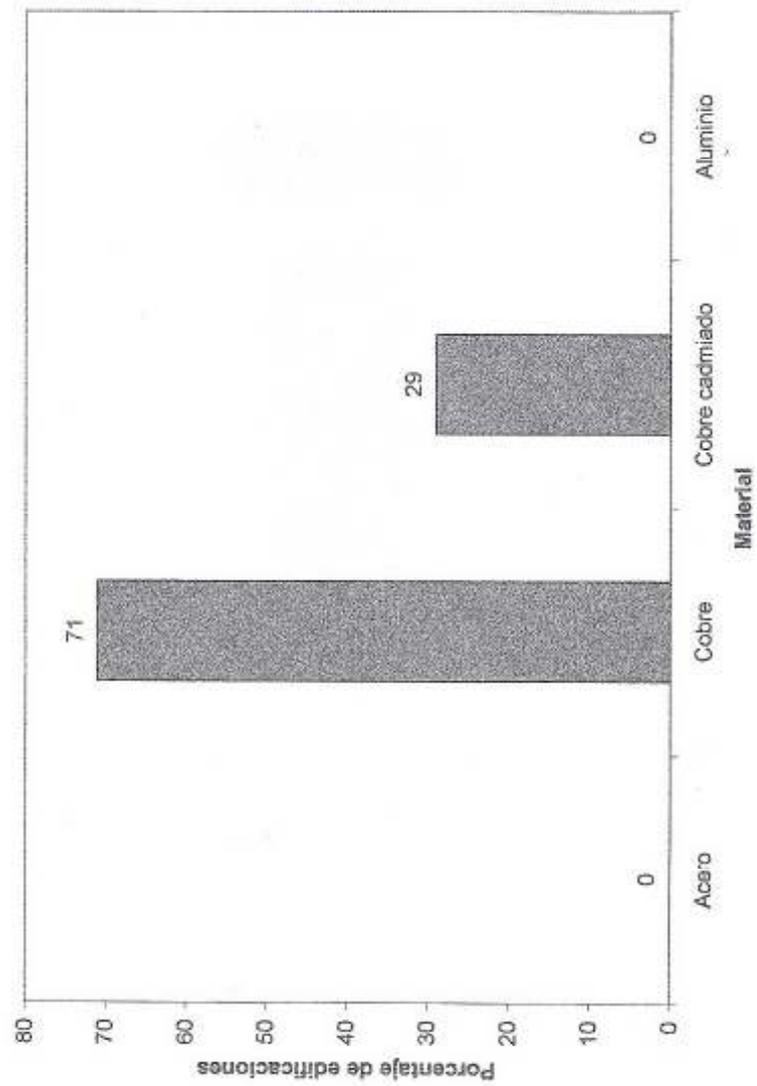


Figura 31. Tipo de material de los bajantes de los pararrayos de las edificaciones muestreadas

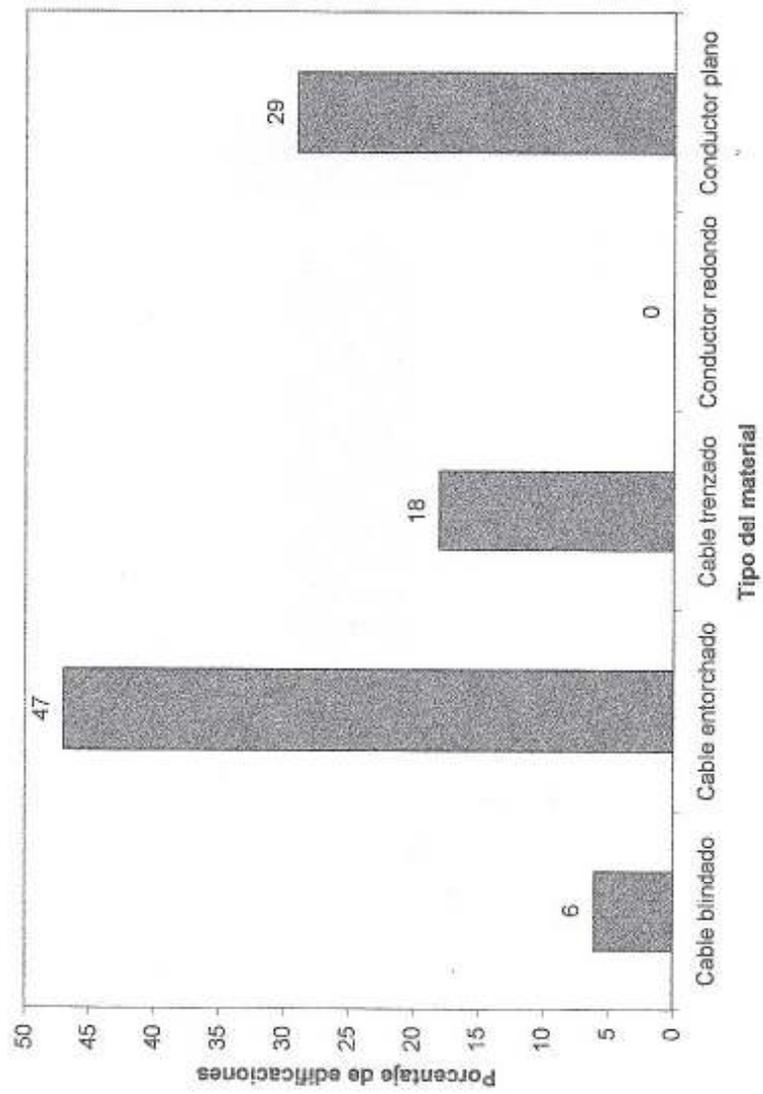


Figura 32. Apariencia de los bajantes de los pararrayos de las edificaciones muestreadas

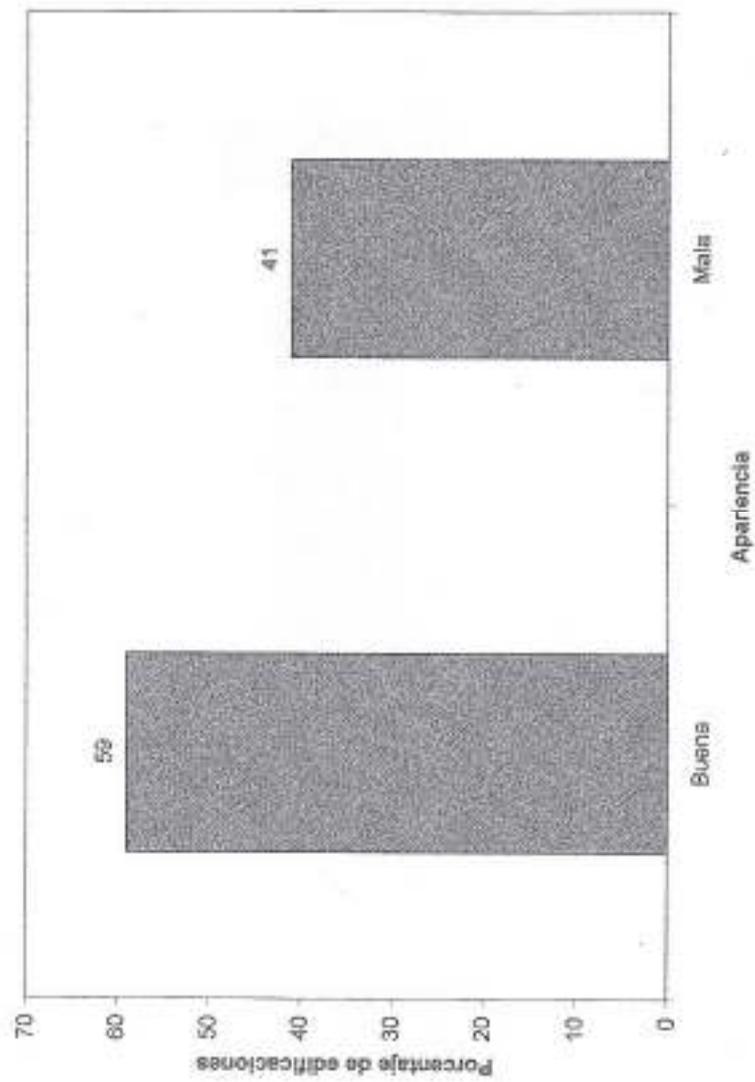


Figura 33. Puesta a tierra de los pararrayos de las edificaciones muestreadas

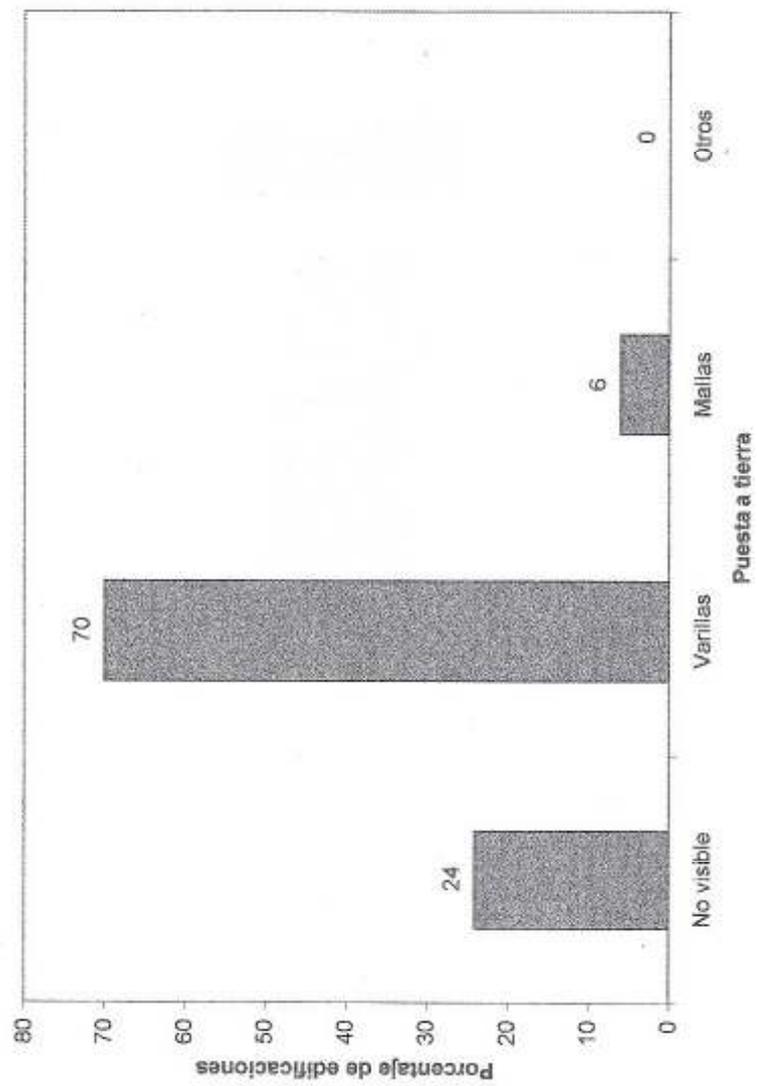


Figura 34. Existencia en el área de protección de pararrayos de las edificaciones muestreadas, de instalaciones especiales por considerar

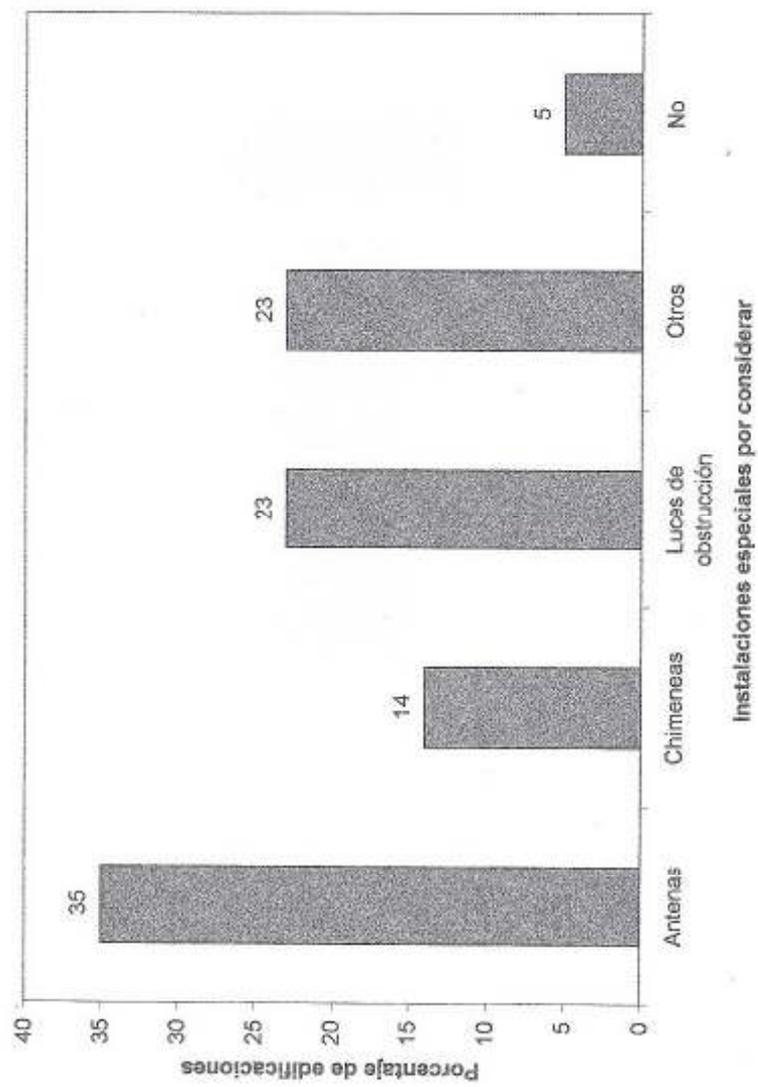


Figura 35. **Fueron consideradas las instalaciones especiales en el diseño del pararrayos de las edificaciones muestreadas**

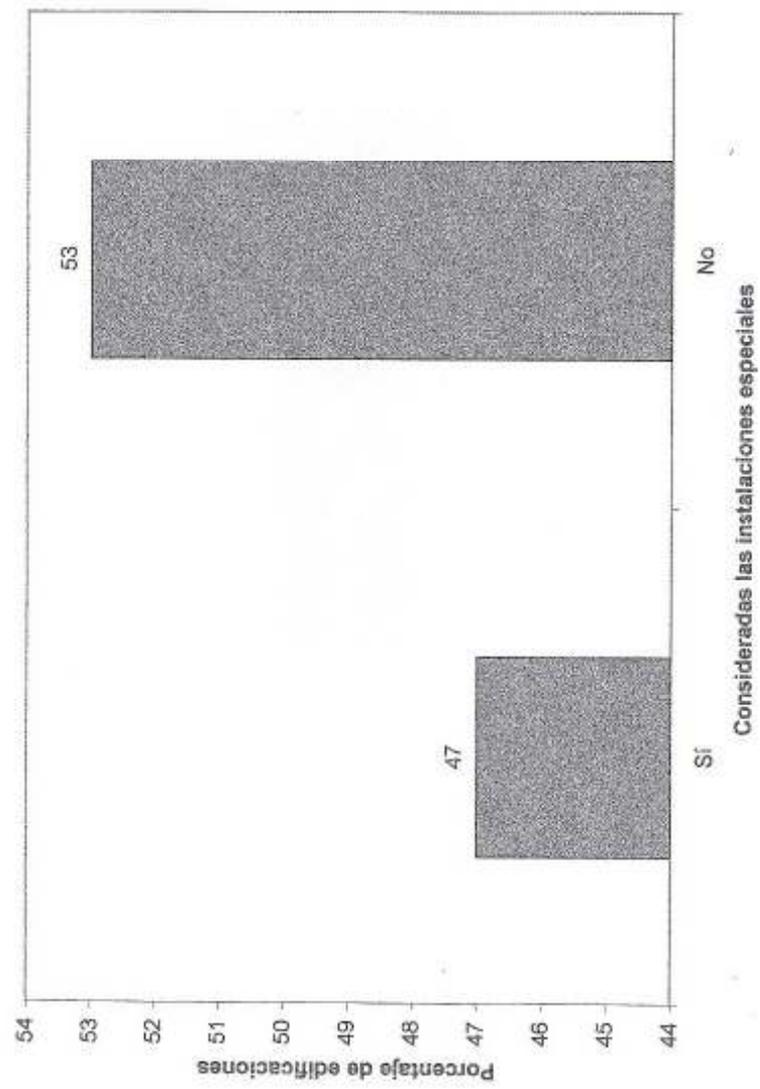


Figura 36. Consideración sobre la protección de los pararrayos en las edificaciones muestreadas

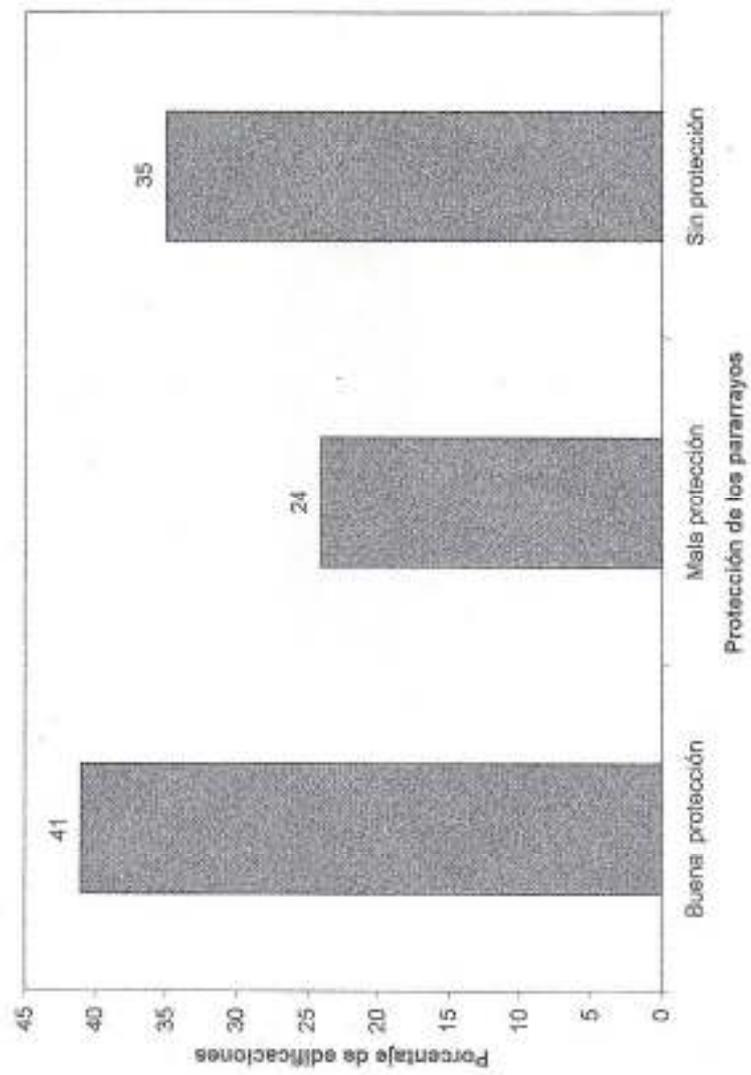


Figura 37. Recomendaciones en caso de inadecuada protección para los pararrayos de las edificaciones muestreadas

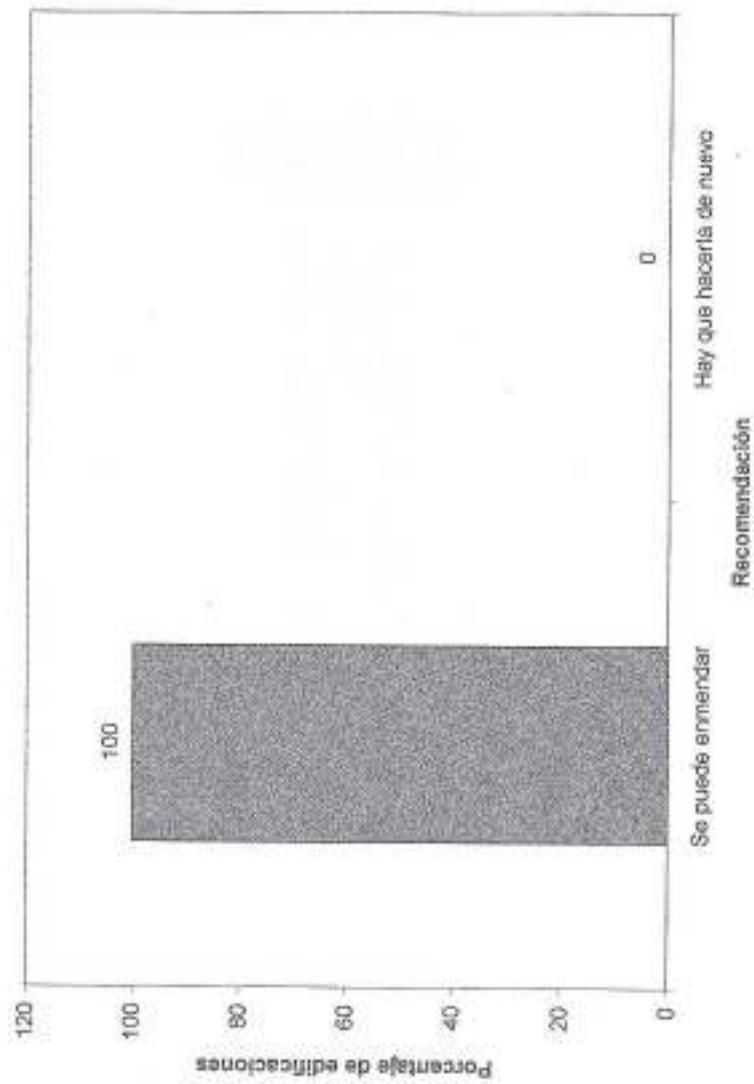
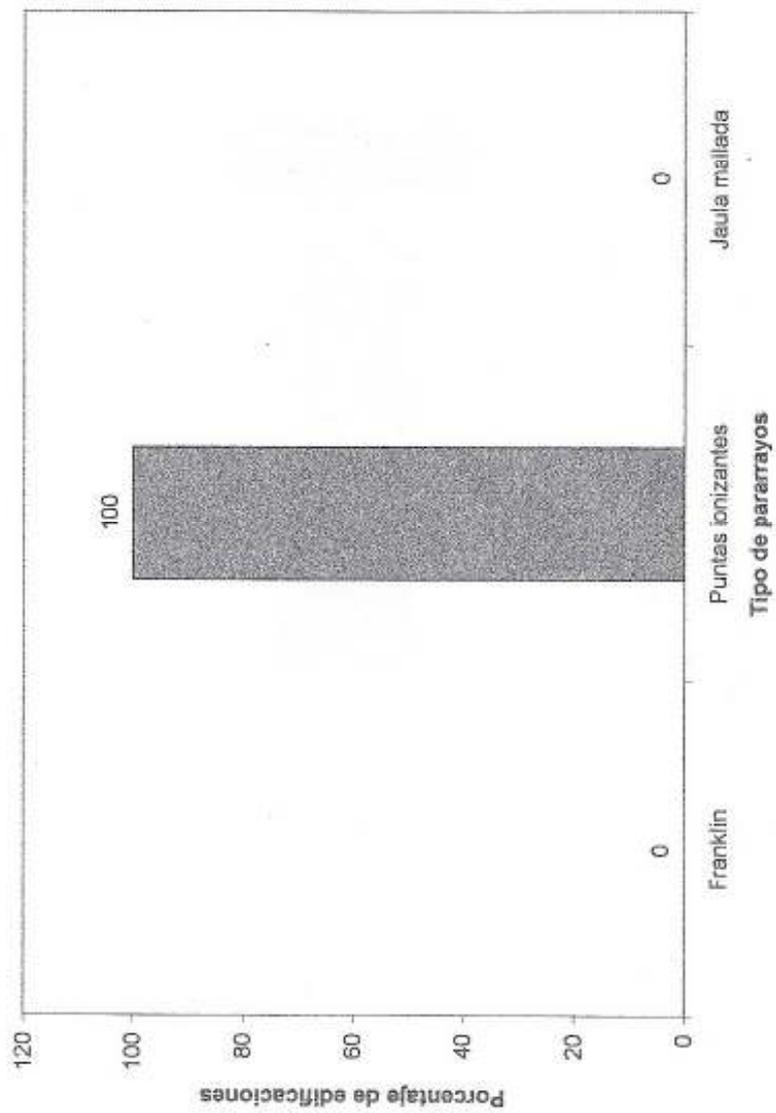


Figura 38. Recomendaciones de tipo de pararrayos que se van a emplear en edificaciones muestreadas, que tengan que hacerse de nuevo



CONCLUSIONES

1. Los pararrayos generalmente no son utilizados en las edificaciones de Guatemala.
2. Cuando se utilizan pararrayos en las edificaciones, con frecuencia no son bien instalados, en parte por desconocimiento del tema y también porque realizan modificaciones en las áreas protegidas y no evalúan si las protecciones de éstos, se mantienen vigentes después de los cambios.
3. Los pararrayos Franklin son muy caros para utilizarse en edificaciones, ya que éstos necesitan gran cantidad de puntas y estructuras para colocarlos; están reservados sólo para áreas muy pequeñas.
4. Los pararrayos de jaula mallada tienen la desventaja de que protegen sólo lo que encierra.
5. Los pararrayos de puntas ionizantes son más fáciles de instalar; se pueden calcular para proteger áreas adyacentes y hasta varias edificaciones con una sola punta y son más estéticos, porque tienen menos elementos que compitan con la arquitectura de la edificación.

6. El costo siempre es un factor determinante y entre los de puntas ionizantes, según el modelo, el sistema de protección más accesible es el de los pararrayos Pulsar de Helita.

7. La evaluación del riesgo del rayo es importantísima para decidir el nivel de protección por emplear, y esto casi nunca se ha utilizado en Guatemala.

RECOMENDACIONES

1. El diseño de los sistemas de protección contra rayos (impacto directo) debe de ser efectuado por un diseñador con experiencia y conocimiento sobre este tipo especial de instalaciones.
2. La captura del rayo se debe de hacer en los puntos determinados, según el diseño, mediante puntas o terminales aéreas diseñadas para ese propósito.
3. La conducción segura del rayo a tierra se debe de hacer mediante un conductor de bajada, diseñado especialmente para éste propósito.
4. Disipación de la energía del rayo a tierra debe ser con mínima elevación de potencial, con aterrizamiento de baja impedancia (≤ 10 Ohms).
5. Hay que eliminar los retornos y diferenciales de tierra por medio de la creación de un sistema equipotencial de baja impedancia.
6. Es conveniente proteger los equipos eléctricos contra sobre tensiones en líneas de acometida eléctrica, para prever daños en los equipos y costosas pérdidas operacionales.

7. Es necesario dar protección a los equipos de comunicaciones contra sobre tensiones en líneas de telecomunicaciones y señales, para prever daños en los equipos y costosas pérdidas operacionales.

8. Los pararrayos son instalaciones sujetas de mantenimiento, como toda instalación eléctrica.

9. Se debe de crear un ente gubernamental o municipal, que pueda verificar que las edificaciones estén debidamente protegidas contra impactos directos de rayos, para salvaguardar al ser humano y el daño económico que pueda provocar a los inmuebles y equipos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Duque Ortiz, Herbert Alberto. Protección contra descargas atmosféricas por medio de pararrayos ionizantes. Tesis Ing. Elec. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1990. 88pp.
2. **Erico, six point plan CD Rom version 3.0.** U.S.A.: 2002
3. **Helita, your lightning protection.** Francia: 1996.
4. **Ingesco lightning protection products catalogue.** España: 2003
5. **Lightning protection, french standard NF C 17-102.** Francia:1995
6. **Lightning protection Franklin France.** Francia: 1997.
7. **Lightning protection institute standard of practice LPI-175.** 3ª ed, U.S.A.: 1987.
8. **Manual NEC 1999.** 8ª Ed, U.S.A.: NFPA, 1999. 1225pp.
9. **Niveles cerámicos.** Guatemala: Departamento de climatología-INSIVUMEH, 2003
10. **Norma UNE 21.186, Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivos de cebado.** España: Asociación española de normalización y certificación, 1996

11. Robb Louis A. **Diccionario para ingenieros**. México: C.E.C.S.A., 1975.
664pp.

12. **Thompson lightning protection inc, Class I & II Heavy Duty Equipment catalog**. U.S.A.: 1993.

ANEXO

Tabla XIII. **Relámpagos y truenos por estación del INSIVUMEH**

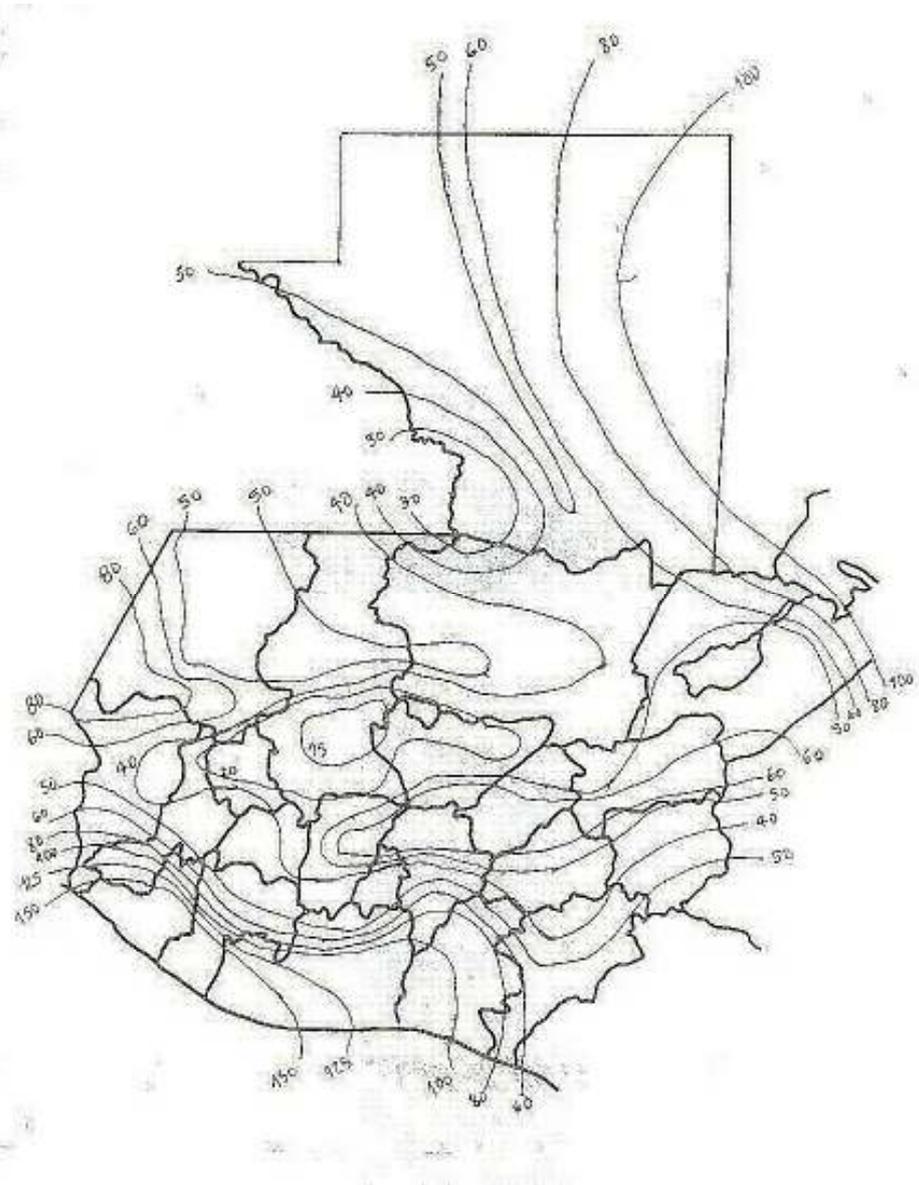
Estación	Relámpago	Trueno
La Ceibita, Chimaltenango	156.00	34.00
Santa Cruz Balanyá, Chimaltenango	19.00	55.67
ICTA Chimaltenango	162.88	65.89
San Martín Jilotepeque, Chimaltenango	75.22	58.45
Quezada, Jutiapa	48.67	46.38
Santiago Atitlán, Sololá	2.22	39.56
El Tablón, Sololá	35.00	39.29
Chinique, Quiché	12.00	16.00
Chixoy Chicamán, Quiché	3.08	14.83
Nebaj, Quiché	63.64	53.80
Sacapulas, Quiché	5.33	15.33
Chiguilá Chichicastenango, Quiché	3.75	18.00
Morazán, El Progreso	182.92	114.09
Suiza Contenta, Sacatepequez	22.6	30.50
Los Esclavos, Santa Rosa	85.75	87.75
Pasabién Río Hondo, Zacapa	129.17	11.00
La Unión, Zacapa	117.67	64.82
Las Vegas, Izabal	52.75	42.78
Tikal, Petén	158.00	107.4
El Porvenir La Libertad, Petén	35.60	31.00
Sabana Grande, Escuintla	5.67	17.00
Chupadero, Escuintla	107.80	113.40
Camantulul, Escuintla	39.11	68.90
Chojolá Mazatenango, Suchitepéquez	36.29	52.80
San Jerónimo, Baja Verapaz	4.38	13.75
Cubulco, Baja Verapaz	72.33	23.00
Camotán, Chiquimula	120.25	33.32
Cahabón Alta Verapaz	34.80	40.00
San Agustín Chixoy, Alta Verapaz	49.00	29.00
Catalina, San Marcos	81.00	62.83

Estación	Relámpago	Trueno
San Marcos, San Marcos	1.00	25.50
Cuilco, Huehuetenango	4.67	96.83
San Miguel Acatán, Huehuetenango	58.00	47.5
San Pedro Necta, Huehuetenango	6.40	71.11
Soloma San Pedro, Huehuetenango	28.00	56.20
INSIVUMEH Guatemala	7.86	23.00
Cobán, Alta Verapaz	38.40	53.17
Esquipulas, Chiquimula	37.00	67.75
La Aurora, Guatemala	57.67	69.00
Labor Ovalle, Quetzaltenango	12.00	65.71
La Fragua, Zacapa	49.90	64.42
Montúfar, Jutiapa	29.30	60.33
Puerto Barrios, Izabal	77.75	116.75
Puerto San José, Escuintla	84.70	119.33
Retalhuleu, Retalhuleu	20.00	157.92
Huehuetenango	57.70	63.50

Fuente: Gilberto Tomas, **Estudio cerámico en la republica de Guatemala**

Para determinar el número de rayos del área de la estación, se deben de sumar los relámpagos y los truenos de la estación requerida.

Figura 39. Mapa cerámico de la república de Guatemala



Fuente: Departamento de climatología, INSIVUMEH

