



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN DE DESCARGA ATMOSFÉRICA Y SOBRE TENSIONES PARA UN EDIFICIO DE APARTAMENTOS**

Elaborado Por:

Arlen Yamileth Donaire Martínez

María Cristina Gago Maldonado

Tutor:

Mcs.Ing. Augusto César Palacios Rodríguez

Noviembre 2018

## CONTENIDO

DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTOS .....	VI
LISTA DE TABLAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
ANTECEDENTES .....	1
JUSTIFICACIÓN .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
OBJETIVOS .....	5
CAPITULO 1.....	6
1.1.MARCO TEORICO .....	6
1.1.1.¿Qué es una Descarga Atmosférica? .....	6
1.1.2.Elementos de un Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) .....	7
1.1.3.¿Qué es una sobretensión por descargas eléctricas atmosféricas? .....	7
1.1.4.Modos de Propagación .....	8
1.2. DEFINICIONES .....	9
1.2.1. Definición del Rayo.....	9
1.2.2. Cumulonimbus .....	10
1.2.2.1.Cumulonimbus Incus .....	11
1.2.2.2.Cumulonimbus Calvus.....	12
1.2.2.3.Cumulonimbus Pileus .....	13
1.2.3.Descargas Atmosféricas .....	14
1.2.4.Tipos de Fenómenos Eléctricos Atmosféricos .....	15
1.2.5.Mecanismo de Generación de una Descarga.....	16
1.2.6.¿Cómo se Forman los Rayos? .....	17
1.2.7.Evolución de la Descarga .....	17
1.2.8.Nivel Cerámico.....	20
1.2.9.Número de Descargas en una Línea .....	21
1.2.10.Densidad de Descargas.....	21

1.2.11.Pararrayos.....	22
1.2.11.1. Historia del Pararrayos.....	22
1.2.11.1.2. Concepto.....	23
1.2.11.1.3. Estructura y Funcionamiento.....	23
1.2.11.1.4.Tipos de Pararrayos.....	25
1.2.12.Dispositivos de Protección Contra Descarga Atmosférica.....	30
1.2.13.Sistema de Protección Contra el Rayo.....	30
1.2.14.Índice de Riesgo.....	30
CAPITULO 2.....	32
2.1. NORMATIVAS DE APLICACION.....	32
2.1.1.Aclaraciones Sobre la Norma NFPA 780.....	32
2.1.2.Origen y Desarrollo de la Norma NFPA 780.....	32
2.1.3.Capítulos Considerados para el Diseño.....	35
2.1.3.1.Capítulo 4 de NFPA.....	35
2.1.3.2.Capítulo 5 de NFPA.....	40
CAPITULO 3.....	42
3.1. METODO DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO SEGÚN NORMAS.....	42
3.1.1.Evaluación y Cálculo de Riesgo.....	42
3.1.2.Análisis de Riesgo de Rayos Según la Norma NFPA-780.....	43
3.1.3.Análisis de Riesgo de Rayos Según la Norma NFC17-102-UNE21186.....	50
CAPITULO 4.....	59
4.1. DISEÑO DEL PARARRAYO.....	59
4.1.1. Cálculo del Índice de Riesgo.....	65
4.1.2.Cálculo del Radio de Protección.....	66
4.1.3.Mantenimiento de un Sistema de Protección de Descarga Atmosférica.....	71
CAPITULO 5.....	74
5.1. CONCLUSIONES.....	74

CAPITULO 6.....	76
6.1. ANEXO.....	76
Anexo 1: Encuesta a Distribuidores de Pararrayos .....	76
Anexo 2: Planta de Techo con Ubicación de Pararrayo .....	79
Anexo 3: Elevación con Ubicación de Pararrayo.....	80
Anexo 4: Detalles de Pararrayo.....	81
Anexo 5: Fotos de Edificios con PDC Instalados .....	82
CAPITULO 7 .....	83
7.1. BIBLIOGRAFIA.....	83

## DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo monográfico a todas aquellas personas que nos han brindado su apoyo incondicional, por incentivarlos y habernos dado tiempo, paciencia, fuerza y fortaleza para culminar nuestra carrera.

Una especial mención al Ing. Fidel Ernesto Molina Carrillo, quien, a lo largo del camino hacia la culminación de nuestra carrera, nos ha brindado su apoyo dando todo su conocimiento posible para que ejerzamos como profesionales de la ingeniería, la aplicación de nuestros conocimientos en base a normativas, con ética y valores.

A los maestros que influyeron en nuestra educación y que cumplieron con su vocación de compartir sus conocimientos, para el inicio de nuestra carrera y formación como ingenieras, a nuestro tutor por su apoyo y motivación para finalizar nuestros estudios y elaboración de nuestra monografía.

A nuestros padres que con mucho esfuerzo brindaron su granito de arena, dándonos amor, paciencia, comprensión y ánimo, así mismo dedicamos este trabajo monográfico a aquellas personas especiales en nuestras vidas que a pesar de las adversidades nos motivaron para que pudiéramos concretar su elaboración.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos hacer mención y agradecer a aquellas personas que sin pensarlo dos veces nos brindaron su conocimiento, tiempo y apoyo para que este trabajo monográfico fuera posible.

A nuestros colegas, que con sus recomendaciones y experiencias hicieron posible nuestra motivación por el tema de Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

Ing. Leonardo Sempe, Ing. Fidel Molina, y todos aquellos que directa e indirectamente participaron en la elaboración de este proyecto monográfico. Muchas Gracias a todos.

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Ventajas y Desventajas de los tipos de Pararrayos
- Tabla 2. Requisitos Mínimos de los Materiales Clase I
- Tabla 3. Requisitos Mínimos de los Materiales de Clase II
- Tabla 4. Fuentes de Daños, Tipos de Daños y Tipos de Pérdidas en Función del Tipo de Impacto.
- Tabla 5. Determinación del Coeficiente Ambiental C1
- Tabla 6. Determinación del Coeficiente Estructural C2
- Tabla 7. Determinación del Coeficiente de Contenido de estructura, C3
- Tabla 8. Determinación del Coeficiente de Contenido de Estructura, C4
- Tabla 9. Determinación del Coeficiente de Consecuencias de la Caída de un Rayo, C5
- Tabla 10. Frecuencia Media Anual Permitida de Rayos Directos Sobre Estructuras Comunes
- Tabla 11. Fuentes de Daño Tipos de Daño y Tipos de Pérdida de Acuerdo con el Lugar de Impacto del Rayo
- Tabla 12. Componentes del Riesgo a Considerar para Cada Tipo de Pérdida
- Tabla 13. Valores Típicos de Riesgo Tolerable RT
- Tabla 14. Nivel de Protección Para Pararrayo Según Eficiencia Calculada
- Tabla 15. Nivel de Protección Según el Radio de la Esfera Ficticia
- Tabla 16. Tabla de Radios de Protección Nivel I
- Tabla 17. Mantenimiento de los sistemas de protección contra rayos según la NFC 17- 102.
- Tabla 18. Estimación de Costos del Sistema de Pararrayo Propuesto

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tropopausa

Figura 2. Cumulonimbus

Figura 3. Cumulonimbus Incus

Figura 4. Cumulonimbus Calvus

Figura 5. Cumulonimbus Pileus

Figura 6. Tipos de Rayos

Figura 7. Evolución de la Descarga Atmosférica

Figura 8. Mapa Isoceraúnico Mundial

Figura 9. Experimento de Benjamín Franklin

Figura 10. Partes de un Pararrayos

Figura 11. Pararrayo tipo Punta Franklin

Figura 12. Pararrayo tipo Jaula de Faraday

Figura 13. Pararrayo Radioactivo

Figura 14. Pararrayo Tipo Ion Corona Solar

Figura 15. Pararrayo Piezoeléctrico

Figura 16. Pararrayo PDC

Figura 17. Zona protegida por un pararrayos tipo

Figura 18. Zona Protegida por un Pararrayo tipo Jaula de Faraday

Figura 19. Tipos de Techos: Métodos de protección. (Los dibujos muestran la parte superior y el extremo de cada tipo de techo.)

Figura 20. Altura del Terminal Aéreo

Figura 21. Metodología de Evaluación de Riesgo por Rayos Según la Norma NFPA 780



Figura 22. Metodología de Evaluación de Riesgo por Rayos Según la Norma IEC 62305-2

Figura 23. Evaluación del Riesgo de Impacto Según Software INDELEC

Figura 24. Render del Edificio Habitacional

Figura 25. Mapa Isocerámico de Nicaragua

Figura 26. Dimensiones de Edificio Habitacional

Figura 27. Metodología de Evaluación de Riesgo por Rayos

Figura 28. Radio de Protección de un PDC

Figura 29. Planta con Ubicación de Pararrayo con Radio de Cobertura

Figura 30. Mantenimiento de los sistemas de protección contra rayos según la NFC 17- 102

## ANTECEDENTES

Centroamérica es una de las zonas de mayor exposición a descargas atmosféricas. De acuerdo a la delegación para Latinoamérica de la empresa Franklin France, quienes tienen una gran experiencia en instalación y mantenimiento de sistemas de pararrayos, Nicaragua es uno de los países que presenta un alto de nivel isoceráunicos (número de rayos que caen al día en un punto determinado), esencialmente en las zonas de occidente, norte y costera del país. A la fecha en Nicaragua existen varias edificaciones que cuentan con sistemas de pararrayos tales como: Centro Corporativo Grupo Pellas, Hotel Intercontinental Metro Centro, La Asamblea Nacional, Edificio Rigoberto López Pérez de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Nuevo Hospital Militar Alejandro Dávila Bolaños, entre otros.

Debido a este factor es necesario instalar pararrayos en edificios determinando el nivel de protección, y la incidencia de personas en dicho lugar.

En el corriente año hay casos en los cuales no se han podido evitar algunas muertes por descargas, hasta el 09 de junio se reportan 6 víctimas mortal por rayos, este último fue la muerte de un joven de 24 años procedente de Masaya, que pastoreaba ganado cuando fue impactado por un rayo en la comarca Guanacastillo.

Es por eso que se debe de contar con un buen sistema de protección contra descargas atmosféricas, este se ha creado por la necesidad de proteger la vida humana, así como equipos muy sensibles y costosos en algunas industrias, cabe destacar que en campos amplios sin edificaciones es muy difícil instalarlos ya que se requiere de ciertos parámetros para instalar un sistema de protección, casos donde es exigido la instalación de pararrayos son en almacenamientos de materiales explosivos por el alto rango de peligro al poder presentarse una chispa que ocasione una explosión en el lugar.

## JUSTIFICACIÓN

Protegerse contra descargas atmosféricas no sólo consiste en la instalación de pararrayos. En efecto, los pararrayos garantizan únicamente la protección de las estructuras y de las personas, contra los impactos del rayo ("efectos directos"). Además, una parte no despreciable de la corriente del golpe de rayo captado por un pararrayos está disipada en la tierra de la instalación. La caída del rayo sobre o cercanas a una edificación o estructura de una instalación causa sobretensiones transitorias ("efectos indirectos") que pueden ser muy críticas para los equipos.

Una protección puede ser eficaz y fiable únicamente si todos los fenómenos están tomados en cuenta para prevenirse contra:

- Los alcances directos del rayo (efectos directos),
- Los efectos indirectos tales como subidas de tierra, corrientes inducidas, etc.
- Los defectos de tierra y el establecimiento de diferencias de potenciales peligrosos entre puntos cercanos de la instalación o edificación.
- Solamente puede ser realizada la protección en los límites de un enfoque global que supone el dominio de todas las etapas:
  - Análisis del riesgo.
  - Estudios que permiten determinar los dispositivos de protección apropiados a cada situación y su modo de instalación.
  - La instalación de dispositivos de protección según el Código de Instalaciones Eléctricas, Normativas y Certificaciones vigentes para la protección contra el rayo.

## INTRODUCCIÓN

El rayo es una poderosa descarga electrostática natural, producida durante una tormenta eléctrica; generando un "pulso electromagnético". La descarga eléctrica precipitada del rayo es acompañada por la emisión de Luz (el relámpago), causada por el paso de corriente eléctrica que ioniza las moléculas de aire, y por el sonido del trueno, desarrollado por la onda de choque. La electricidad (corriente eléctrica) que pasa a través de la atmósfera caliente y expande Rápidamente el aire, produciendo el ruido característico del rayo; es decir, el trueno.

Generalmente, los rayos son producidos por partículas positivas por la tierra y negativas a partir de nubes de desarrollo vertical llamadas cumulo-nimbos (Nube de tormenta).

Las Cumulo Nimbos en regiones templadas se generan por el encuentro de un frente frío con el aire caliente y en regiones tropicales por el calentamiento local del suelo. Todavía no se ha elucidado totalmente el mecanismo de este fenómeno, la parte superior, compuesta de cristales de hielo, es cargada positivamente y la parte inferior, compuesta de gotitas de agua es cargada negativamente, la vida de una nube de tormenta dura de 20 minutos a más de una hora. Durante la formación de la nube tormentosa, el campo eléctrico al nivel de suelo va aumentando progresivamente. El riesgo de rayo es altamente probable cuando el campo eléctrico al nivel de suelo es superior a 15 kV/m.

Un pararrayos es un instrumento, cuyo objetivo es repeler un rayo, desionizando el aire y conduciendo la descarga hacia tierra, de tal modo que no cause daños a construcciones o personas.

En Nicaragua las zonas de occidente, norte y zonas costeras presentan un alto nivel isoceráunicos (número de rayos que caen al día en un punto determinado), por lo que contar con un pararrayos es fundamental, pues son los únicos equipos que nos permiten protegernos contra

los rayos, conduciendo a tierra la corriente del rayo directo en forma controlada y limitando a niveles seguros los efectos indirectos de la descarga.

Un sistema de protección de descarga atmosférica (SPDA), son elementos metálicos cuya función es ofrecer un punto de incidencia para recibir la descarga atmosférica y un camino controlado para la conducción y disipación posterior de la corriente del rayo a tierra y se compone de tres partes: 1. Pararrayo, 2. Cable o elemento conductor y 3. Tierra física, elemento de descarga a tierra.

El principio de funcionamiento de un SPDA, es evitar los daños que puede producir el impacto de un rayo local o remoto en estructuras o personas, minimizando en lo posible las descargas directas o indirectas en las instalaciones que se desea proteger al evitar el paso o diferencia de potencial durante el impacto del rayo en una estructura.

Técnicamente, el estudio cambia los conceptos y principios físicos de la protección contra descargas atmosféricas con sistemas convencionales; el objetivo final es dar paso a las nueva generación de tecnologías de pararrayos, donde el principio de funcionamiento sea el de compensar el efecto de impacto de los puntos de alto riesgo y minimizar el efecto campo eléctrico de alta tensión durante las tormentas.

En la actualidad no existe ningún dispositivo capaz de evitar la formación de los rayos, sin embargo, si es posible crear un camino de descarga a tierra que favorezca a la reducción y eliminación de la formación y el llamado del rayo, al anular el fenómeno del trazador o camino ionizado.

## OBJETIVOS

- Objetivo General

Elaborar el diseño de un sistema de protección de descarga atmosférico (SPDA) y de sobre tensiones para un edificio de apartamentos de 5 niveles

- Objetivos Específicos

- Evaluar los tipos de pararrayo y sus conexiones
- Calcular los riesgos de impacto de Rayo en Occidente y Norte de Nicaragua
- Elaborar un diseño de SPDA
- Estimación de costo del SPDA
- Comparación de los diferentes tipos de pararrayos con los existentes en el mercado según cada edificio y diseño.

## CAPITULO 1

### 1.1. MARCO TEORICO

#### 1.1.1. ¿Qué es una Descarga Atmosférica?

La descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes. Casi todas las descargas de rayos, se inician en el interior de las nubes en su primera fase de desarrollo, trasportando en función de su trayectoria en:

- Cargas negativas hacia la nube cuando el trazado es ascendentes, normalmente aparecen en nubes de tormenta del tipo Cumulo-nimbos convectivas que usualmente miden de 3 a más de 50Km de largo, y son consecuencia de un rompimiento dieléctrico atmosférico. Este rompimiento una vez iniciado, avanza en zigzag a razón de unos 50M por microsegundos con descanso de 50 microsegundos.
- Cargas positivas a tierra cuando el trazado es descendente, conocido popularmente como rayo negativo. En su trayectoria, el rayo transporta gran cantidad de energía que se transforma en el momento y punto del impacto, en forma de flujos de corrientes eléctricas de MUY ALTA TENSION. Como término de valores medios, se tienen registrados en los últimos años, valores de 50.000 Amperios. Los rayos pueden descargar intensidades de 5.000 amperios, a valores máximos superiores a los 450.000 Amperios en una sola descarga.
- La trayectoria del rayo puede ser caótica, siempre predominarán los ambientes eléctricos cargados, aunque los estudios del campo eléctrico atmosférico en tierra determinan que la distribución de cargas en tierra no es estática, sino

dinámica. Al formarse y generar aleatoriamente chispas en diferentes puntos geográficos dentro de la trayectoria de la sombra eléctrica, la intensidad y situación del campo eléctrico cambia radicalmente, pudiendo generar impactos de rayos laterales, con trayectorias laterales, de más de 17 Km. entre los dos puntos de contacto.

#### 1.1.2. Elementos de un Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas (SPDA)

Un sistema de protección contra descargas atmosféricas está compuesto esencialmente por:

- Un sistema de captación (pararrayos o puntas Franklin y mallas),
- Conductores de bajada,
- Puesta a tierra,
- Protección contra sobretensiones, incluyendo un conjunto de interconexiones que disminuyan a niveles tolerables las diferencias de potencial generadas entre diferentes partes de la instalación a proteger, así como elementos supresores de las tensiones transitorias entre conductores eléctricos, creadas por el impacto local o remoto del rayo, tales como uniones equipotenciales, apantallamientos, etc.

#### 1.1.3. ¿Qué es una sobretensión por descargas eléctricas atmosféricas?

Las sobretensiones son el aumento de voltaje, de muy corta duración, medido entre dos conductores o entre conductor y tierra.

El efecto de las corrientes inducidas debido a las descargas atmosféricas (aunque se trate de rayos lejanos o entre nubes), puede ser devastador sobre los equipos electrónicos y las instalaciones eléctricas. Las descargas atmosféricas producen picos de tensión en la señal,



muy intensos, pero de muy corta duración. La corriente asociada al impacto directo de un rayo puede alcanzar más de 100kA, incluso sus efectos secundarios llevan asociadas corrientes capaces de causar grandes daños en las líneas y en los equipos. Al impactar, el rayo provoca un impulso de corriente que llega a alcanzar decenas de miles de amperios. Esta descarga genera una sobretensión en el sistema eléctrico que puede causar incendios, destrucción de maquinaria e incluso muertes de personas.

#### 1.1.4. Modos de Propagación

Las sobretensiones de origen atmosférico pueden propagarse de 2 modos diferentes: el común o asimétrico y el diferencial o simétrico.

- Sobretensión transitoria en modo común o asimétrico: son perturbaciones entre un conductor activo y el de tierra (fase/tierra o neutro/tierra).

Este tipo de sobretensiones es peligroso para los aparatos en los que la masa está conectada a la tierra, debido a los riesgos de ruptura de la rigidez dieléctrica de los materiales.

- Sobretensión transitoria en modo diferencial o simétrico: son perturbaciones entre conductores activos (fase-neutro).

Este tipo de sobretensiones son particularmente peligrosas para los equipos electrónicos y los materiales sensibles de tipo informático.

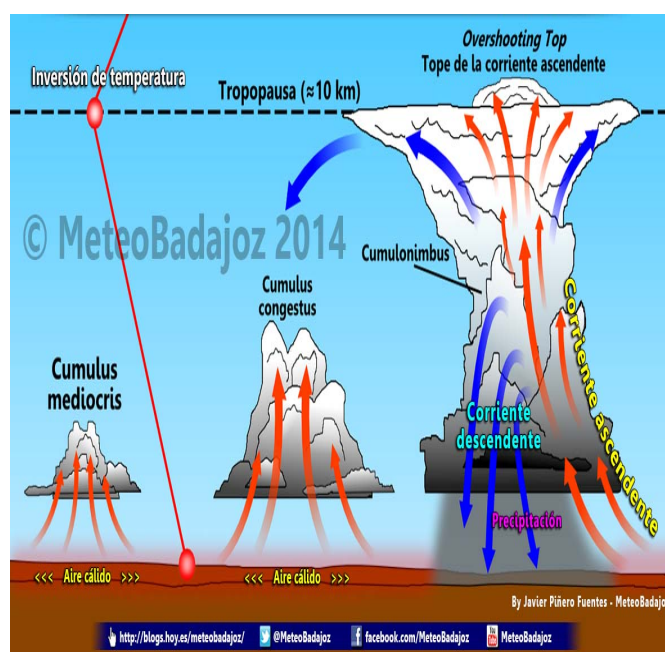
## 1.2. DEFINICIONES

### 1.2.1. Definición del Rayo

Los rayos son descargas eléctricas de una poderosa intensidad, que se producen en un corto período de tiempo.

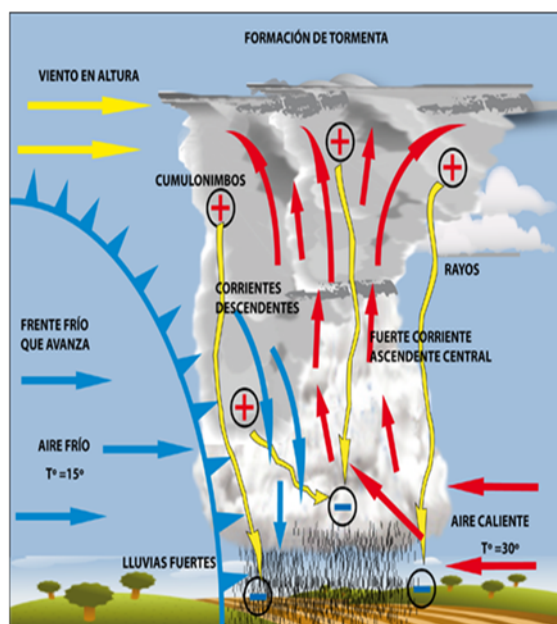
Los rayos son producidos por partículas negativas por la tierra y positivas a partir de nubes de desarrollo vertical llamadas cumulonimbos. Cuando un cumulonimbo alcanza la tropopausa, las cargas positivas de la nube atraen a las cargas negativas, causando un relámpago y/o rayo. Esto produce un efecto de ida y vuelta, esto se refiere a que al subir las partículas instantáneamente regresan causando la visión de que los rayos bajan.

*Figura 1. Tropopausa*



Fuente Figura 1: (<http://ulum.es/tardes-de-verano-y-cumbres-tormentosas/attachment/140319013620209110/>, s.f.)

Figura 2. Cumulonimbus



Fuente Figura2: (<https://bibliotecadeinvestigaciones.wordpress.com/ciencias-de-la-tierra/las-tormentas/>, s.f.)

### 1.2.2. Cumulonimbus

Los cumulonimbos o cumulonimbus son nubes de gran desarrollo vertical, internamente formadas por una columna de aire cálido y húmedo que se eleva y se mueve en sentido contrario a las agujas del reloj. Su base suele encontrarse a menos de 2.000 m de altura mientras que la cima puede alcanzar unos 15.000 - 20.000 m de altura. Estas nubes suelen producir lluvias intensas y tormentas eléctricas, especialmente cuando ya están plenamente desarrolladas. El cumulonimbo es un tipo de nube de desarrollo alto, denso, con tormenta y mal tiempo. Se pueden formar aisladamente; en grupos; o a lo largo de un frente frío en una línea de inestabilidad. Muchas células de tormenta no duran más de 20 min, sin embargo, hay que tener en cuenta que la duración de una tormenta generada por un cumulonimbo está en relación directa al diámetro del mismo,

de la misma forma que sucede con cualquier depresión ciclónica: un tornado, que tiene un diámetro reducido dura apenas unos minutos mientras que un huracán puede durar varios días y hasta semanas. Los Cumulonimbus se forman a partir de las nubes denominadas cúmulos.

Para su creación se necesita la concurrencia de tres factores.

- Mucha humedad ambiente.
- Una masa inestable de aire caliente.
- Una fuente de energía para subir esa masa caliente y húmeda, rápidamente. Este movimiento ascendente es provocado por el aire frío que, al ser más pesado se introduce como una cuña girando en sentido horario y levantando al aire caliente y húmedo que se convierte rápidamente en un tobogán nuboso ascendente que gira en sentido anti horario y se va extendiendo en forma de Yunque.

También los cumulonimbos pueden diferenciarse unos de otros según su forma y sus particularidades concretas. Existen los cumulonimbos incus (en forma de yunque), cumulonimbos calvus (forma de coliflor), cumulonimbos pileus, cumulonimbos.

#### 1.2.2.1 Cumulonimbus Incus

*Cumulominbus Incus* (del latín incus, ‘yunque’) es una nube cumulonimbus que llega hasta la tropopausa (estabilidad estratosférica) y de forma característica de yunque. Si el ascenso atmosférico es aún fuerte, puede ser vía de paso a movimientos estratosféricos y convertirse en una nube pileus. Tiene la característica de ser plana en la parte superior.

Pueden formar superceldas resultando en severos fenómenos de tormentas, tales como tornados, inundaciones repentinas, etc. El Cumulonimbus incus se forma cuando la corriente ascendente es fuerte y vigorosa. Se forman a partir de Cumulonimbus calvus que tienen tapas hinchadas.

*Figura 3. Cumulonimbus Incus*



*Fuente Figura 3:* ([https://es.wikipedia.org/wiki/Cumulonimbus\\_incus](https://es.wikipedia.org/wiki/Cumulonimbus_incus), s.f.)

#### 1.2.2.2 Cumulonimbus Calvus

*Una Cumulonimbus Calvus:* (del latín calvus, "descubierto") es una nube Cumulonimbus moderadamente alta con capacidad de precipitación, pero sin posibilidad de llegar a una altura para formar una cumulonimbus incus. Si las condiciones de inestabilidad continúan siendo propicias en el desarrollo del cumulonimbus, consiguiendo ascender hasta la tropopausa, conformará un Cumulonimbus incus.

Esta nube se compone principalmente de pequeñas gotas de agua. Por la propia definición de Cumulonimbus, en su parte superior las gotas de agua se

transforman en cristales de hielo, pero, en el caso del Cumulonimbus calvus el contenido de cristales de hielo es aún pequeño al encontrarse en una etapa de desarrollo temprana y no poseer un yunque suficientemente alto.

Es por ello que se distingue de otros tipos de Cumulonimbus al no poseer una parte superior con cirros o pileus, sino por acabar con formas suaves y redondeadas. Si continúa la ascensión de la nube, la formación de cristales de hielo desdibujará estas formas suaves, deshilachando el yunque de la nube. Cuando el contenido de cristales de hielo sea elevado comenzarán a aparecer los típicos pileus o cirros, y será en esos momentos cuando el cumulonimbus calvus pasará a ser cumulonimbus incus.

*Figura 4. Cumulonimbus Calvus*



*Fuente Figura 4.* ([https://es.wikipedia.org/wiki/Cumulonimbus\\_calvus](https://es.wikipedia.org/wiki/Cumulonimbus_calvus), s.f.)

#### 1.2.2.3 Cumulonimbus Pileus

Un Píleo o Pileus (del latín ‘copa’) es una nube pequeña y horizontal que puede aparecer encima de un cúmulo o de un cumulonimbo, dando la característica de la apariencia de una gorra o copa. Las pilei tienden a cambiar de forma rápidamente.

*Figura 5. Cumulonimbus Pileus*



*Fuente Figura 5.* ([https://en.wikipedia.org/wiki/Pileus\\_\(meteorology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Pileus_(meteorology)), s.f.)

### 1.2.3. Descargas Atmosféricas

La descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes.

Cuando está presente la descarga atmosférica se crean tres fenómenos:

*El Rayo:* Los rayos son descargas eléctricas de una poderosa intensidad, que se producen en un corto período de tiempo. En la mayoría de los casos, son el resultado del contacto entre partículas con carga eléctrica positiva en la tierra y partículas de carga eléctrica negativa que encuentran en un tipo de nube de gran tamaño.

*El Relámpago:* La iluminación o resplandor que podemos ver cuando se produce una tormenta eléctrica es a lo que se le llama relámpago. Los relámpagos se producen en las nubes y nunca llegan a tierra. Contrario a los rayos que sí pueden chocar con ésta.

*El Trueno:* Los truenos son los sonidos que se escuchan durante una tormenta eléctrica y son los responsables de los sustos que se llevan muchas personas.

Este sonido es causado por gases (sobre todo oxígeno) que se encuentran en rápida expansión, debido a que se calientan con el paso de un rayo.

Cuando la temperatura es superior a los 10.000° C, se produce una presión violenta que comprime los gases y causa el sonido retumbante del trueno.

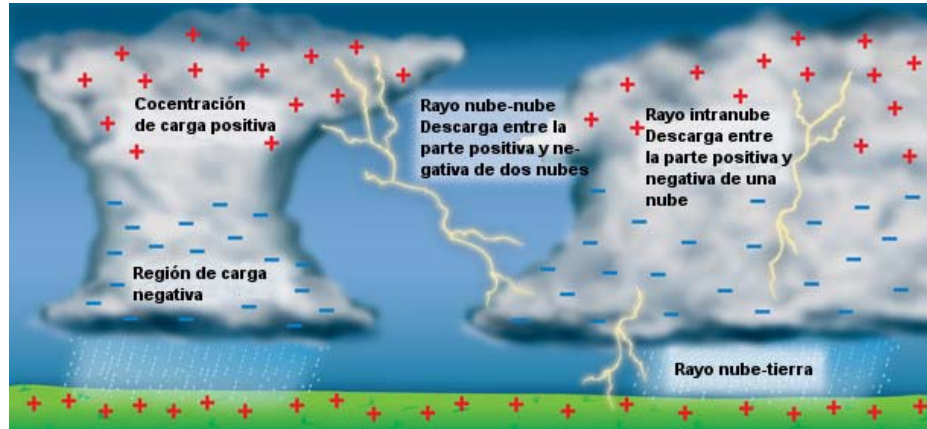
Descargas eléctricas atmosféricas o rayo es un intercambio de energía eléctrica que se compone de diversas descargas parciales y con una duración total aproximada de medio segundo. Las descargas se producen por las diferencias de potencial que se crean entre las nubes, entre las nubes y la tierra y entre las nubes y las capas altas de la atmósfera. Las diferencias de potencias se crean en los procesos de formación de las tormentas y pueden cargar positiva o negativamente las nubes. Se distinguen así tres tipos de rayos, los que se producen entre nube y tierra (NT), entre nubes (NN) o entre la nube y las capas altas de la atmósfera. Cuando la diferencia de potencias es suficiente, se produce la descarga eléctrica que puede ser positiva o negativa y tener un sentido ascendente o descendente.

#### 1.2.4. Tipos de Fenómenos Eléctricos Atmosféricos

- *Rayo intra nube:* Ocurre entre centros de carga opuestos dentro de la misma nube de tormenta, es la que se presenta con mayor frecuencia.
- *Rayo entre nubes:* Sucede entre centros de carga en dos nubes diferentes; la descarga recorre el espacio que hay entre ellas, que puede llegar a ser de veinte kilómetros.
- *Rayo nube - tierra:* Es el más dañino y peligroso, aunque por fortuna no es el más común. La mayoría se originan cerca de la parte negativa de la nube y liberan esta carga negativa hacia la tierra.



Figura 6. Tipos de Rayos



Fuente Figura 6. (<https://www.youbioit.com/es/article/18216/tipos-de-rayos>, s.f.)

#### 1.2.5. Mecanismo de Generación de una Descarga

- Aire húmedo y caliente se eleva a regiones frías
- El vapor se condensa sobre partículas y forma la nube
- El aire frío es forzado a circular hacia abajo por la formación de la nube
- Se establecen corrientes verticales, ascendentes y descendentes, que originan una separación de cargas entre las regiones superior e inferior.
- La acumulación de electrones en capas inferiores crea una diferencia de potencial con las capas superiores.
- Esos electrones también repelen a los electrones libres de la superficie terrestre creando así una diferencia de potencial entre la nube y la tierra.
- Este proceso continúa hasta que se alcanza la ruptura dieléctrica entre los puntos de acumulación de cargas.

### 1.2.6. ¿Cómo se Forman los Rayos?

Cuando llueve sobre la superficie terrestre, se produce evaporación natural (causada por el fenómeno de la convección, llevando hacia arriba gotas de agua, es decir, H<sub>2</sub>O. Mientras tanto, a una altura de 2,5 a 3 kilómetros donde la temperatura es de 15 a 20 grados centígrados bajo cero, se producen partículas de hielo que caen por gravedad y que chocan con las gotas de agua que suben por la evaporación. Estas fricciones y colisiones producen separación de cargas eléctricas, y se genera un campo eléctrico, es decir, fuerzas que se ejercen entre cargas, hasta que llega el momento en que se dan transferencias de cargas, conocidas como rayos. Dentro de los nubarrones, la turbulencia generada por el aire que sube produce la colisión entre pequeños cristales de hielo y gotas de agua (llamados "hidrometeoros"). Por causas no completamente entendidas, las cargas eléctricas positivas se acumulan en las partículas más pequeñas -- esto es, sobre los hidrometeoros menores de 100 micrómetros -- mientras que las cargas negativas se localizan en las partículas más grandes. El viento y la gravedad separan a los hidrometeoros eléctricamente cargados y produce una enorme diferencia de potencial eléctrico dentro de la tormenta.

### 1.2.7. Evolución de la Descarga

El camino de ionización que se inicia, lleva un primer flujo de carga hacia capas más bajas. Este primer flujo es llamado el líder. El líder desciende unos 50 a 100m en un microsegundo, detiene su marcha unos 50 microsegundos mientras se acumula la carga transferida desde la nube y se forma un nuevo camino ionizado que va a crear un nuevo avance del líder (figura 1). Estos avances y reposos de este primer flujo de carga, hacen que se le conozca como el líder escalonado. Este sigue avanzando hasta llegar

cerca de los objetos y estructuras más altos, los cuales empiezan a emitir chispas que van al encuentro del líder.

Al cerrarse eléctricamente el camino a tierra, la carga se desplaza a una velocidad vertiginosa, produciéndose la descarga de retorno de gran luminosidad, etapa del rayo considerada como la más energética de todas.

Luego, con intervalos de 0.01 a 0.1 segundos se producen nuevos flujos de electrones hacia abajo, abriéndose paso por el camino ionizado que dejó el líder escalonado. Estos son los líderes rápidos que al golpear tierra producen descargas de retorno menos energéticas que la primera. En un rayo es típico que existan tres o cuatro líderes, pueden existir hasta 20 ó 30.

El canal de la descarga en cuyo interior existe un hilo conductor de plasma, puede llegar a temperaturas de 30.000 °C y la presión del aire subir hasta 100 atmósferas. El diámetro del canal es de unos 10cm.

La descarga de una nube puede generar nuevas reparticiones de carga en la atmósfera, presentándose descargas horizontales entre varias nubes de tormenta. Es posible, por lo tanto, que se desencadene otra descarga atmosférica de similar ubicación a la anterior, que utilice los mismos caminos ionizados que dejó la primera,

“El trueno es la señal acústica generada por un canal de aire caliente que se expande rápidamente”. De él, se puede extraer información sobre la localización, tamaño y orientación del rayo.

El aire en el canal de la descarga se calienta y se expande en forma de una onda de choque. Posteriormente, esta onda se vuelve energía acústica produciéndose el trueno.

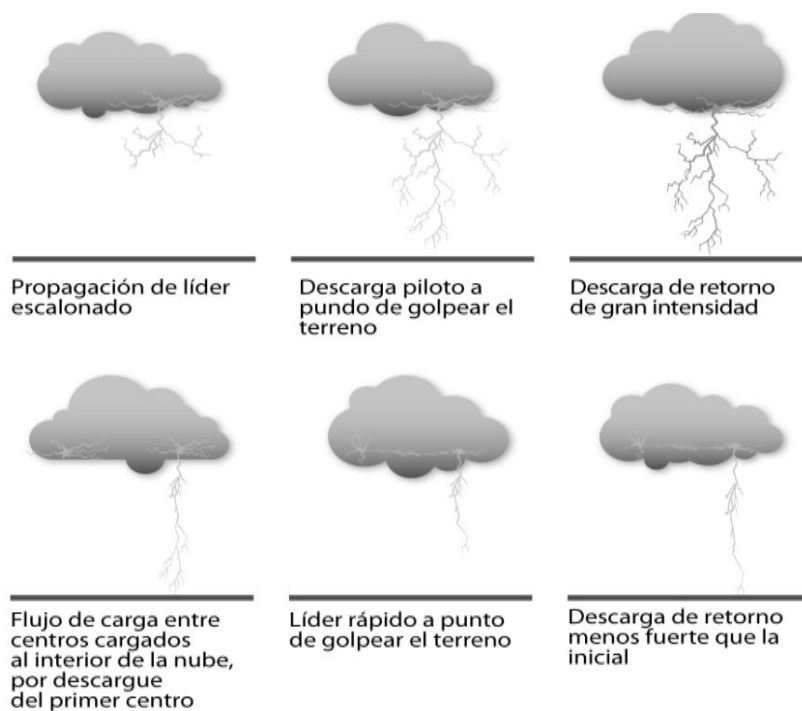
Cada componente del rayo: el líder escalonado, los líderes rápidos, las descargas de retorno, contribuyen al trueno.

Los componentes más energéticos producen las frecuencias más bajas del sonido. Estas frecuencias bajas se atenúan menos que las altas, ya que la atenuación es proporcional al cuadrado de la frecuencia. Por ello, un rayo no muy energético puede no oírse ya a 10 km.

El estudio del trueno ha perfeccionado los conocimientos que ya se tenían sobre el rayo y constituye un elemento fundamental para el estudio de las descargas entre las nubes y del canal de la descarga en el interior de una nube donde los medios visuales no pueden suministrar información. Adicionalmente, nos aporta criterios para la interpretación de los datos de nivel isoceráunico.

El nivel isoceráunico, número de días del año en los que se escuchan truenos, es actualmente el índice utilizado como indicativo de la cantidad de actividad eléctrica atmosférica de una región. De allí la importancia de entender las causas y características del trueno.

*Figura 7. Evolución de la Descarga Atmosférica*



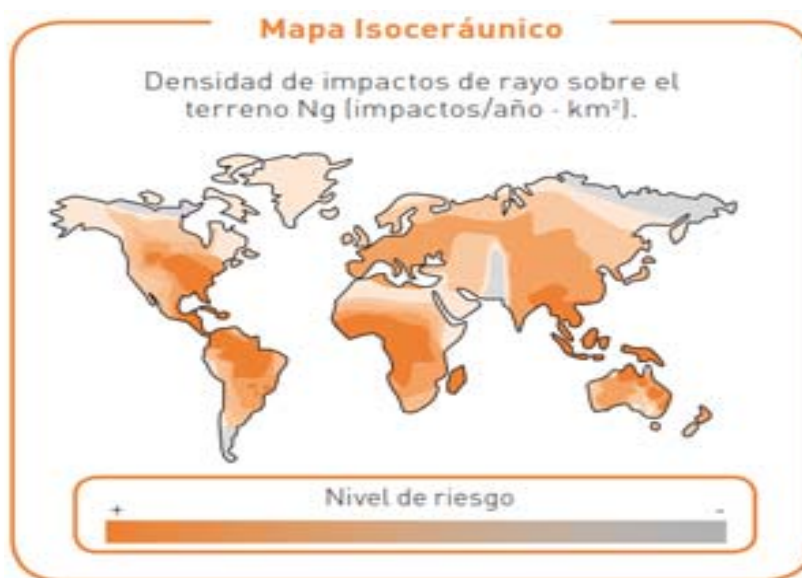
*Fuente* *Figura* 7. (<http://www.gamma.com.co/caracteristicas-las-descargas-atmosfericas-efecto-las-lineas-transmision/>, s.f.)

### 1.2.8. Nivel Cerámico

El nivel cerámico está definido como el número de días del año en los cuales se escucha, por lo menos, un trueno en el lugar de observación.

Los niveles cerámico se suelen llevar a mapas isocerámicos, es decir, a mapas con curvas de igual nivel cerámico.

*Figura 8. Mapa Isoceráunico Mundial*



*Fuente Figura 8.* (<http://www.cirprotec.com/es/Soporte/Area-de-conocimiento/Proteccion-contra-el-rayo/Proteccion-contra-el-rayo>, s.f.)

#### 1.2.9. Número de Descargas en una Línea

El número de descargas a una línea para un nivel isoceráunico dado, no es conocido actualmente con mucha certeza. El problema es de naturaleza estadística, por lo tanto, los métodos aquí expuestos, en los cuales este número se encuentra determinísticamente, dan solo una aproximación al valor medio de la distribución.

Se parte de considerar una densidad de descargas (número de descargas / Km<sup>2</sup>) uniforme para una región con nivel ceráunico constante. A partir de esta densidad, se determina el número de esas descargas interceptado por la línea.

#### 1.2.10. Densidad de Descargas

El número de descargas por km cuadrado por año (N) ha sido estimado como proporcional al nivel isoceráunico.

**N: K. (NI) Ecuación (1)**

N: Número de descargas por Km<sup>2</sup>

NI: Nivel cerámico.

K: Constante determinada con base en investigaciones de campo

#### 1.2.11. Pararrayos

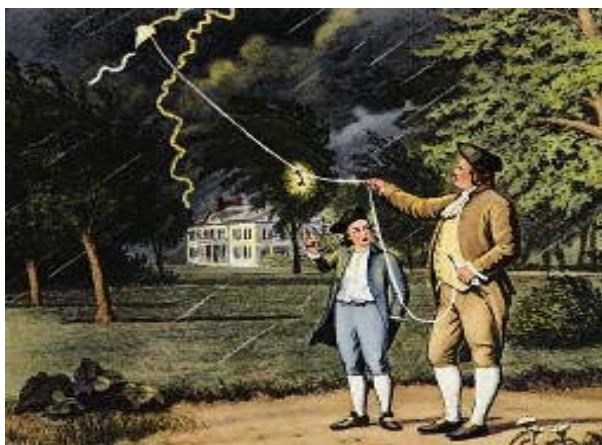
##### 1.2.11.1. Historia del Pararrayos

Benjamín Franklin hizo volar una cometa durante una tormenta. Con ello quería demostrar la naturaleza eléctrica de los rayos y lo consiguió.

A lo largo de más de una década había estado trabajando en experimentos relacionados con la electricidad, un tema por aquel entonces desconocido y que se atribuía (erróneamente) a poderes divinos. Ese día amaneció tormentoso en Filadelfia, por lo que el científico pensó que era el día ideal para llevar a cabo su experimento y así poder demostrar que sus conjeturas, que aseguraban que los rayos iban repletos de carga eléctrica, eran las correctas.

Para tal fin, Franklin construyó una cometa, cuya estructura estaba realizada con varillas metálicas, y sujeta por un largo hilo de seda. En el otro extremo ató una llave de metal. Echó a volar la cometa y pudo comprobar cómo en poco rato ésta atraía un rayo que impactaba contra la estructura metálica y cuya descarga eléctrica bajaba hasta la llave. El éxito del experimento le fue de gran ayuda para explicar su teoría y demostrar que los rayos podían ser atraídos por un metal y que dirigiéndolos hacia una toma de tierra se podría impedir numerosos accidentes mortales y proteger las edificaciones, que al estar construidas de madera solían acabar ardiendo tras el impacto de un rayo (ver figura 3.1).

*Figura 9. Experimento de Benjamín Franklin*



*Fuente Figura 9.* (<https://www.timetoast.com/timelines/inventos-durante-la-revolucion-industrial-1823428>, s.f.)

#### 1.2.11.1.2. Concepto

Dispositivo, que se coloca en la parte alta de un edificio, que descarga en el suelo la electricidad de los rayos y lo protege de sus efectos.

Está formado por una barra metálica terminada en punta, y se pone en comunicación con la tierra o el agua por medio de conductores metálicos.

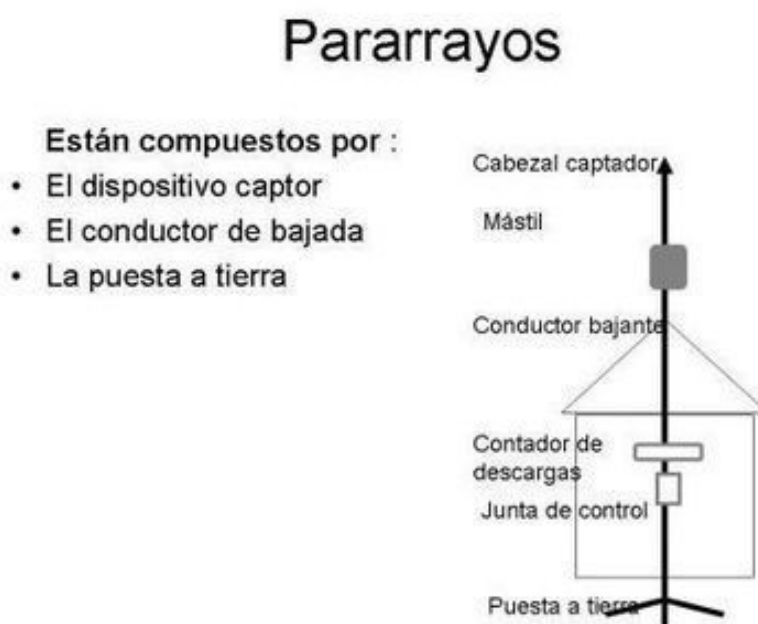
#### 1.2.11.1.3. Estructura y Funcionamiento

Las instalaciones de pararrayos consisten en un mástil metálico (acero inoxidable, aluminio, cobre o acero) con un cabezal captador. El cabezal tiene muchas formas en función de su primer funcionamiento: puede ser en punta, multipuntas, semiesférico o esférico y debe sobresalir por encima de las partes más altas del edificio para evitar que una gran cantidad de carga eléctrica provoque daños, como incendios o incluso la muerte de animales o personas. El cabezal está unido a una toma de tierra eléctrica por medio de un cable de cobre conductor. La toma de tierra se



construye mediante picas de metal que hacen las funciones de electrodos en el terreno o mediante placas de metal conductoras también enterradas. En principio, un pararrayos protege una zona teórica de forma cónica con el vértice en el cabezal; el radio de la zona de protección depende del ángulo de apertura de cono, y éste a su vez depende de cada tipo de protección. Las instalaciones de pararrayos se regulan en cada país por guías de recomendación o normas.

*Figura 10. Partes de un Pararrayos*



*Fuente Figura 10.* (<http://www.areatecnologia.com/electricidad/pararrayos.html>, s.f.)

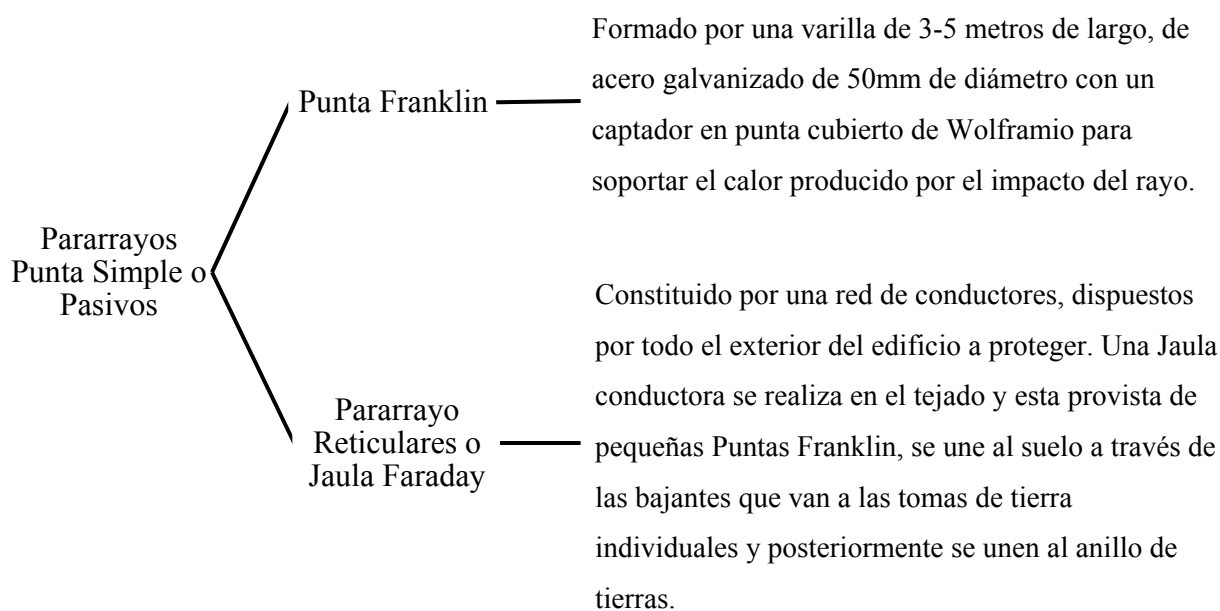
El objetivo principal de estos sistemas es reducir los daños que puede provocar la caída de un rayo sobre otros elementos. Muchos instrumentos son vulnerables a las descargas eléctricas, sobre todo en el sector de las telecomunicaciones, electromecánicas, automatización de procesos y servicios, cuando hay una tormenta con actividad eléctrica de rayos. Casi todos los equipos incluyen tecnologías electrónicas sensibles a las

perturbaciones electromagnéticas y variaciones bruscas de la corriente. La fuente más importante de radiación electromagnética es la descarga del rayo en un elemento metálico o, en su caso, en un pararrayos. Las instalaciones de pararrayos generan pulsos electromagnéticos de gran potencia cuando funcionan.

#### 1.2.11.1.4. Tipos de Pararrayos

Sea cual sea la forma o tecnología utilizada, todos los pararrayos tienen la misma finalidad: ofrecer al rayo un camino hacia tierra de menor resistencia que si atravesara la estructura del edificio.

Existen dos tipos fundamentales de pararrayos los pararrayos punta simple o pasivos y pararrayos ionizantes o activos:



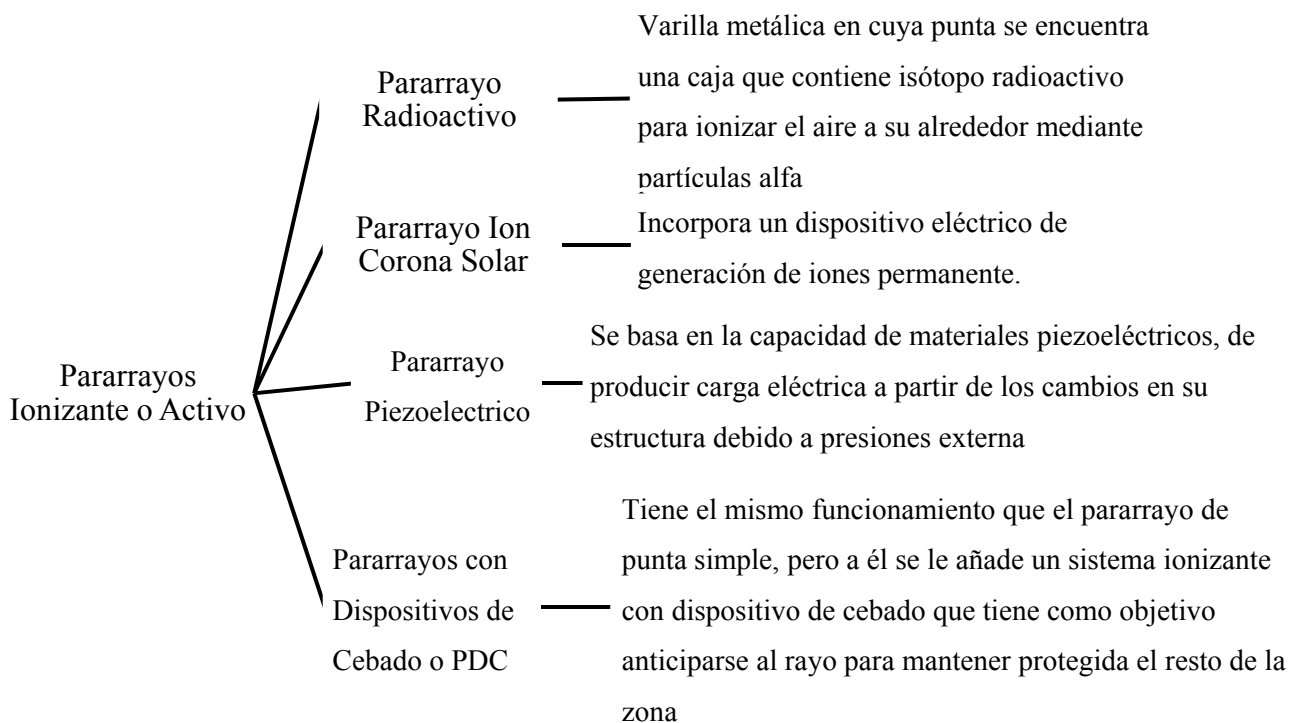

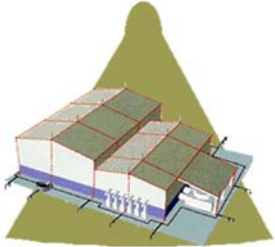






Tabla 1. Ventajas y Desventajas de los tipos de Pararrayos

TIPO PARARRAYAYO	VENTAJA	DESVENTAJA
<p>Pararrayo Punta Franklin</p>  <p><i>Figura 11. Pararrayo tipo Punta Franklin</i></p>	<p>Pueden utilizarse como único elemento captador o bien formar parte de sistemas de protección pasivos (Jaula de Faraday)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No realizan ninguna acción especial durante el proceso de la tormenta eléctrica</li> <li>- El radio de protección de estas puntas es reducida ya que se basa en la posición de las varillas, la morfología, material y la reacción física que se realiza en el campo electrostático.</li> <li>- Debido a que su zona de protección es reducida, en forma cónica, con un Angulo de 45° y cuya radio de la base es igual a la de la altura, se hace necesario un gran número de puntas para proteger las edificaciones, por lo que su instalación resulta costosa y un deterioro de la estética de la misma</li> <li>- El efecto de compensación de potencial es muy reducido, por lo que no es recomendable instalarlos en zonas con alto riesgo</li> </ul>

TIPO PARARRAYO	VENTAJA	DESVENTAJA
<p data-bbox="139 289 418 352">Pararrayo Reticulares o Jaula de Faraday</p>  <p data-bbox="126 684 430 741"><i>Figura 12. Pararrayo tipo Jaula de Faraday</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El número de conductores de bajada y de puestas a tierra, confiere a este sistema una gran fiabilidad de protección contra campos electromagnéticos.</li> <li>- Se recomienda su instalación para edificaciones con material explosivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se limita al aérea de construcción de la edificación y no a sus alrededores</li> <li>- Las puntas Franklin se instalan en los lugares más elevados y vulnerables (esquinas, salientes, etc.) de la estructura así como una retícula de conductores que dependerá del nivel de protección</li> <li>- Es un sistema costos, ya que para su instalación se requiere de gran cantidad de mano de obra</li> </ul>
<p data-bbox="134 783 423 814">Pararrayo Radioactivo</p>  <p data-bbox="126 1083 430 1140"><i>Figura 13. Pararrayo Radioactivo</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Obtiene un área de protección esférico-cilíndrica porque se favorece la generación del canal del rayo hasta tierra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son Ionizantes activos o pasivos y generan contaminación electromagnética de millones de amperios</li> <li>- A Partir de 1986 se prohíbe la instalación de este tipo de pararrayos</li> </ul>
<p data-bbox="167 1182 386 1213">Ion Corona Solar</p>  <p data-bbox="126 1503 430 1560"><i>Figura 14. Pararrayo Tipo Ion Corona Solar</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La energía para su funcionamiento proviene de fotocélulas.</li> <li>- Incorpora un dispositivo eléctrico de energía de iones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mediante estos dispositivos no es posible neutralizar la guía escalonada descendente</li> <li>- La viabilidad del modo de operación depende de la cantidad de puntas del ionizador y de la corriente corona que es capaz de emitir cada punta</li> <li>- La emisión de iones positivos emitidos por el efecto corona se mueven más lento que los electrones debido a las colisiones con otras moléculas</li> </ul>

TIPO PARARRAYO	VENTAJA	DESVENTAJA
<p data-bbox="201 289 386 352"><b>Pararrayo Piezoeléctrico</b></p>  <p data-bbox="144 835 440 890"><i>Figura 15. Pararrayo Piezoeléctrico</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Su principio de protección se basa en el efecto piezoeléctrico, es totalmente autónomo al no requerir de fuente externa, ya que sus componentes son mecánicos y no electrónicos</li> <li>- operar tanto para descargas positivas como negativas.</li> <li>- Aumenta el número de cargas libres (partículas ionizadas y electrones) en el aire cercano él y crea, en presencia de un campo eléctrico nube-suelo, un canal de elevada conductividad relativa constituyendo un camino preferencial para el rayo.</li> <li>- Ofrecen mayor garantía durante las descargas de poca intensidad (2 a 5 KA) frente a pararrayos de asta, que solo interceptarían los rayos a corta distancia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depende de la propiedad del material piezoeléctrico para activar el pararrayo</li> </ul>
<p data-bbox="147 968 440 1066"><b>Pararrayo con Dispositivo de Cebado o PDC</b></p>  <p data-bbox="147 1360 412 1388"><i>Figura 16. Pararrayo PDC</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Basan su principio de funcionamiento en la ionización pasiva o activa del aire para excitar la carga, y crear un camino abierto para capturar la descarga del rayo y canalizar su energía potencial por un cable a la toma de tierra eléctrica.</li> <li>- Crea un trazador ascendente a más distancia gracias a la ionización extra del pararrayos, que se activa con el campo electromagnético producido por la tormenta.</li> <li>- Tiene un radio de protección mucho más elevado que los pararrayos convencionales</li> <li>- La protección activa no solo protege la estructura, también protege alrededores y zonas abiertas.</li> <li>- El sistema de protección activo resulta más económico, al evitar la instalación de varias puntas simples para cubrir zonas amplias.</li> <li>- Impacto visual más reducido: Al necesitar menos elementos, la estética de la estructura o zona protegida se verá menos afectada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para determinar el radio de protección se asigna una habilidad de iniciación de líder igual para todos los puntos de contacto con la estructura (no distingue entre puntos de conexión del rayo probables y no probables), al no tomar en cuenta la influencia de los campos eléctricos en la iniciación de los trazadores.</li> </ul>

Fuente Figura 11. (<http://instalacionpozosatierra.blogspot.com/2011/08/para-rayos.html>, s.f.)

Fuente Figura 12. (<http://www.avances-tecnologicos.com/castellano/pararrayos.html>, s.f.)

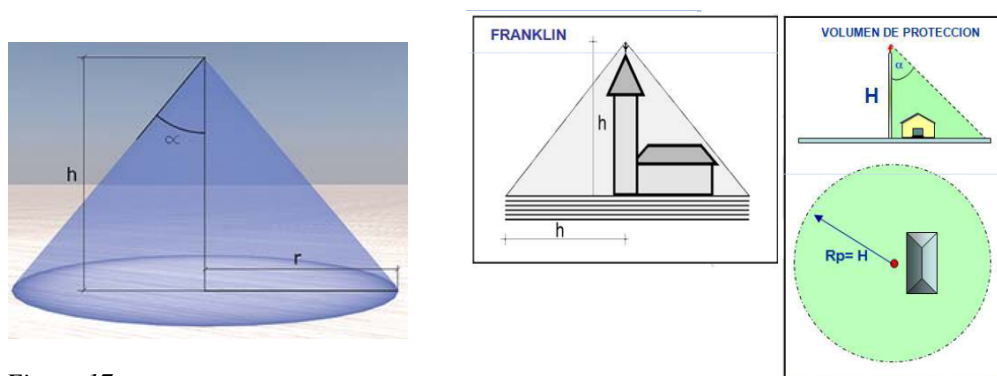
Fuente Figura 13. (<https://www.proinexargentina.com/en/productos/1-pararrayos-eos-34>, s.f.)

Fuente Figura 14. (<http://energytel.typepad.com/energytel/2013/06/pararrayo-desionizante-principio-de-funcionamiento-de-la-desionizacion.html>, s.f.)

Fuente Figura 15. (<http://www.totalground.com/piezoelctrico.html>, s.f.)

Fuente Figura 16. *Catalogo INDELEC*

Figura 17. Zona protegida por un pararrayos tipo

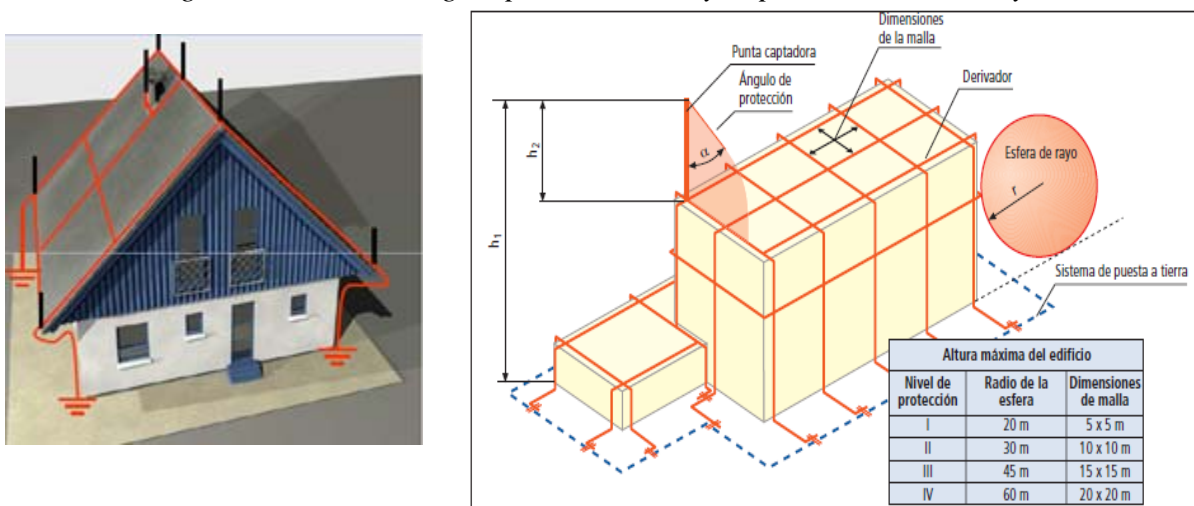


Fuente Figura 17.

(<https://www.ingesco.com/es/productos/puntas-captadoras>, s.f.)

(<https://www.google.com/search?q=radio+proteccion+esfera+rodante&client=firefox-b&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEwiAsZ3e0t7eAhXGmVkJKHeHjDCsQ7Al6BAgFEA0&biw=1366&bih=613#imgrc=7PdljSxRxQdhLM:>, s.f.)

Figura 18. Zona Protegida por un Pararrayos tipo Jaula de Faraday



Fuente Figura 18.

(<https://sistemamid.com/preview.php?a=3538&material=-1&socio=-1>, s.f.)

(Protección Contra Descargas Atmosféricas, Ing. Leonardo Sempe).

Hay que hacer notar que los edificios modernos con estructura metálica, cumplen una función similar a las jaulas de Faraday, por lo que la probabilidad de que un rayo caiga en uno de estos edificios es extremadamente pequeño.

#### 1.2.12. Dispositivos de Protección Contra Descarga Atmosférica

Dado la naturaleza destructiva de los rayos es necesario proteger los equipos o cualquier otro sistema expuesto al fenómeno.

Debe tenerse en cuenta, que un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas no puede impedir la formación de rayos. Además, tal sistema no garantiza en forma absoluta la protección de la vida, bienes y estructura, pero si, reducirá en forma significativa el riesgo de los daños producidos por el rayo.

#### 1.2.13. Sistema de Protección Contra el Rayo

Es un sistema completo que permite proteger una estructura contra los efectos del rayo; consta de un sistema externo y de un sistema interno de protección contra el rayo.

*Sistema Externo:* Comprende un dispositivo captor (Terminal aéreo), las bajadas y un sistema de puesta a tierra.

*Sistema Interno:* Comprende todos los dispositivos complementarios al anterior con el objeto de reducir los efectos electromagnéticos (voltajes inducidos) de la corriente de rayo dentro del espacio a proteger.

#### 1.2.14. Índice de Riesgo

El índice de riesgo nos marca el límite a partir del cual es obligatoria la instalación de pararrayos. Se obtiene mediante la suma de tres índices relativos a la climatología, al tipo de edificación y a la orografía y topografía del sitio donde se ubique el edificio. Estos índices son:

- a) Riesgo debido a las coordenadas geográficas y climatológicas.
- b) Este índice oscila desde 4, donde la frecuencia de tormentas es muy pequeña, hasta 17 o más en la zona la zona donde la frecuencia de tormentas es alta.
- c) Riesgo debido a las características constructivas del edificio. Se analiza la estructura, tipo de cubierta y altura del edificio. Combinando estos factores, nos da un valor que oscila desde 0 (riesgo nulo) a 22 (riesgo máximo).
- d) Riesgo debido a las condiciones topográficas. En este índice se incluye no solamente la topografía del terreno, sino la altura de los árboles, de los edificios circundantes, etc. Cuando la suma es superior a 27, se precisa la instalación de pararrayos de protección.



## CAPITULO 2

### 2.1. NORMATIVAS DE APLICACION

#### 2.1.1. Aclaraciones Sobre la Norma NFPA 780

Los códigos, normas, prácticas recomendadas y guías de NFPA son desarrollados a través del proceso de normas por consenso aprobado por el Instituto Nacional Americano de Normas.

Este proceso reúne a voluntarios que representan diferentes puntos de vista e intereses para lograr consenso en temas de incendios y seguridad.

La NFPA no tiene poder ni responsabilidad para vigilar además cumplir los contenidos de los documentos de NFPA. Tampoco la NFPA lista, certifica, prueba o inspecciona productos.

Estas obligaciones estas sujetas a las disposiciones de las autoridades competentes de cada país.

#### 2.1.2. Origen y Desarrollo de la Norma NFPA 780

La NFPA (National Fire Protection Association) primero adapto las “Especificaciones para la protección de edificios contra rayos” en 1904. En 1945 el comité de la NFPA y el comité sobre protección contra rayos de la ASA (Asociación Americana de Normas) fueron reorganizados y combinados bajo el patrocinio de la NFPA y el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).

A partir de la edición de 1992 del código de protección contra rayos, la asignación numérica de la NFPA para el documento fue cambiado de NFPA 78 a NFPA 780.

Con la emisión de la edición de 1995, el nombre del documento fue modificado de Código de Protección Contra Rayos a Norma para la Instalación de Sistemas de Protección Contra Rayos.

En este documento se deja claro que no abarca los requisitos de instalación de la protección contra rayos para sistemas de captadores por emisión temprana (ESE: Early Streamer Emission) o sistemas para disipación de rayos (DSA: Dissipation System Arrays).

Igualmente, en dicha norma se han tomado en cuenta que los rayos son un fenómeno natural estocástico y caprichoso.

La norma abarca los requisitos de instalación de los sistemas tradicionales de protección contra rayos para:

- Estructura ordinaria
- Estructuras varias y ocupaciones especiales
- Chimenea para uso industrial
- Embarcaciones
- Estructuras que contengan vapores inflamables, gases inflamables o líquidos que generen vapores inflamables.

No se consideran los requisitos de instalación de los sistemas tradicionales de protección contra rayos para:

- Edificios en los que se fabriquen explosivos y polvorines
- Sistemas de generación, transmisión y distribución eléctrica.

El propósito de la NFPA 780 es brindar los medios de protección para personas y propiedades contra los riesgos que surgen de las exposiciones a los rayos.

En la edición 2004 se incluyeron modificaciones a la norma entre ellos:

- Conductos principales
- Platina
- Denominación clase II para estructuras mayores de 75 pies (23 M) de altura
- Separación adicional entre las varillas de puesta a tierra cuando se utilicen múltiples varillas de puesta a tierra
- Dispositivos de protección de sobre voltaje que se instalan en la entrada de la acometida eléctrica, en la entrada de los sistemas de comunicación, antenas y donde el conductor de un sistema eléctrico o electrónico ingrese a la estructura.

La Norma NFPA 780 consta de 08 capítulos y 09 anexos los cuales comprenden los siguientes temas:

Capítulo 1. Administración

Capítulo 2. Publicaciones de referencia

Capítulo 3. Definiciones

Capítulo 4. Protección para estructuras ordinarias

Capítulo 5. Protección para estructuras varias y ocupaciones especiales

Capítulo 6. Protección de chimeneas para uso industrial

Capítulo 7. Protección de estructuras que contengan vapores y gases inflamables  
o líquidos que puedan generar vapores inflamables

Capítulo 8. Protección de embarcaciones

Anexo B. Principios de la protección contra rayos

Anexo C. Explicación de los principios de interconexión

Anexo E. Técnica para la medición de descargas a tierra

Anexo F. Protección para arboles

Anexo G. Protección para picnics, áreas de juegos, estudios y otros espacios abiertos

Anexo H. Protección para el ganado

Anexo I. Protección de aeronaves estacionadas

Anexo J. Reservado

Anexo k. Protección de estructuras que almacenan materiales explosivos.

### 2.1.3. Capítulos Considerados para el Diseño

Haremos mención de los capítulos que fueron considerados para la elaboración del diseño de nuestro proyecto.

#### 2.1.3.1. Capítulo 4 de NFPA - Especificación de la Protección para Estructuras Ordinarias.

Una estructura ordinaria debe de ser cualquier estructura que se utilice para fines ordinarios que sean comerciales, industriales, agrícolas, institucionales o residenciales.

Las estructuras ordinarias deben de ser protegidas de acuerdo con lo establecido en los puntos 4.1.1.1 (A) o 4.1.1.1 (B), los cuales establecen los siguientes permisos:

- (A) Las estructuras que no excedan los 23m (75') de altura deben ser protegidos con materiales de clase I, como se muestra en la tabla 4.1.1.1

*Tabla 2. Requisitos Mínimos de los Materiales Clase I*

Tipo de conductor	Parámetro	Cobre		Aluminio	
		SI	EE.UU	SI	EE.UU
Terminal aéreo, sólido	Diámetro	9.5 mm	3/8 pulg.	12.7 mm	1/2 pulg.
Terminal aéreo, tubular	Diámetro	15.9 mm	5/8 pulg.	15.9 mm	5/8 pulg.
	Espesor de pared	0.8 mm	0.033 pulg.	1.63 mm	0.064 pulg.
Conductor principal, cable	Tamaño de cada flamento	17 AWG		14 AWG	
	Peso por longitud	278 g/m	187 lb/1000 pies	141 g/m	95 lb/1000 pies
	Área transversal	29 mm <sup>2</sup>	57,400 cir. mils	50 mm <sup>2</sup>	98,600 cir. mils
Conductor de interconexión, cable (sólido o trenzado)	Tamaño de cada flamento	17 AWG		14 AWG	
	Área transversal	26,240 cir. mils		41,100 cir. mils	
Conductor de interconexión, tira sólida	Espesor	1.30 mm	0.051 pulg.	1.63 mm	0.064 pulg.
	Ancho	12.7 mm	1/2 pulg.	12.7 mm	½ pulg.
Conductor principal, tira sólida	Espesor	1.30 mm	0.051 pulg.	1.63 mm	0.064 pulg.
	Área transversal	29 mm <sup>2</sup>	57,400 cir. mils	50 mm <sup>2</sup>	98,600 cir. mils

*Fuente: NFPA 780, Tabla 4.1.1.1(A) Requisitos mínimos de los materiales de Clase I*

(B) Las estructuras ordinarias que exceden los 23m (75') de altura deben ser protegidas con materiales de clase II, como se muestra en la tabla 4.1.1.1 (B).

*Tabla 3. Requisitos Mínimos de los Materiales de Clase II*

Tipo de conductor	Parámetro	Cobre		Aluminio	
		SI	EE.UU	SI	EE.UU
Terminal aéreo, sólido	Diámetro	12.7mm	1/2 pulg.	159 mm	5/8 pulg.
Conductor principal, cable	Tamaño de cada flamento	15 AWG		13 AWG	
	Peso por longitud	558 g/m	375 lb/1000 pies	283 g/m	190 lb/1000 pies
	Área transversal	58 mm <sup>2</sup>	115,000 cir. mils	97 mm <sup>2</sup>	192,000 cir. mils
Conductor de interconexión, cable (sólido o trenzado)	Tamaño de cada flamento	17 AWG		14 AWG	
	Área transversal	26,240 cir. mils		41,100 cir. mils	
Conductor de interconexión, tira sólida	Espesor	1.30 mm	0.051 pulg.	1.63 mm	0.064 pulg.
	Ancho	12.7 mm	1/2 pulg.	12.7 mm	1/2 pulg.
Conductor principal, tira sólida	Espesor	1.63 mm	0.064 pulg.	2.61 mm	0.1026 pulg.
	Área transversal	58 mm <sup>2</sup>	115,000 cir. mils	97 mm <sup>2</sup>	192,000 cir. mils

*Fuente Tabla 3: NFPA 780, Tabla 4.1.1.1 (B) Requisitos mínimos de los materiales de Clase II*

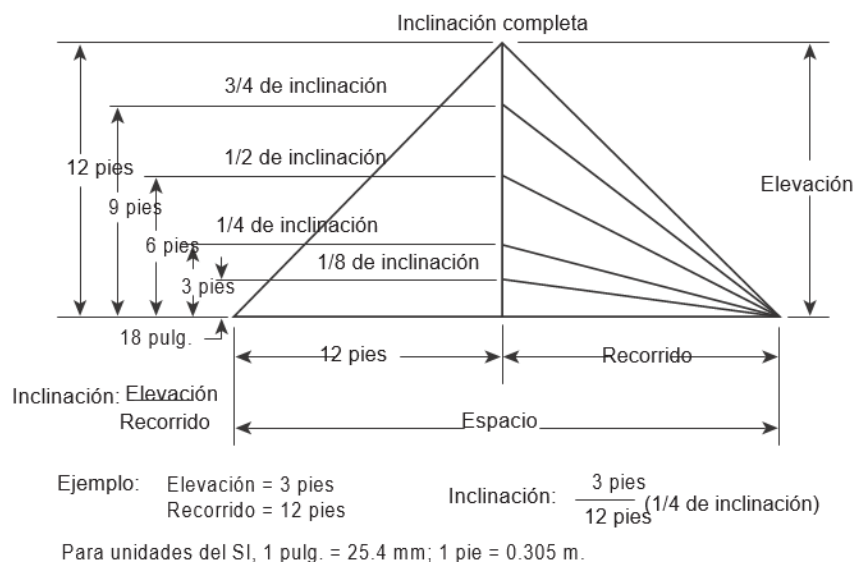
Si parte de una estructura supera los 23m (75') de altura (por ejemplo, un campanario) y las partes restantes no superan los 23m (75') de altura, el requisito

sobre terminales aéreos y conductores clase II debe aplicarse solo a la parte que exceda los 23m (75') de altura.

Los conductores de clase II provenientes de la porción más alta deben extenderse hasta la tierra y deben ser interconectados al resto del sistema.

La protección para los diversos tipos de techos debe proveerse según se muestra en la Figura 19.

*Figura 19. Tipos de Techos: Métodos de protección. (Los dibujos muestran la parte superior y el extremo de cada tipo de techo.)*



*Fuente Figura 19. Norma NFPA 782, Figura 4.1.2*

El acápite 4.6 se refiere a los dispositivos de intercepción de descarga y en general se determina:

4.6.1.1. Los dispositivos de intercepción de descargas incluyen terminales aéreos, mástiles de metal, partes metálicas permanentes de estructuras y conductores de apantallamiento.

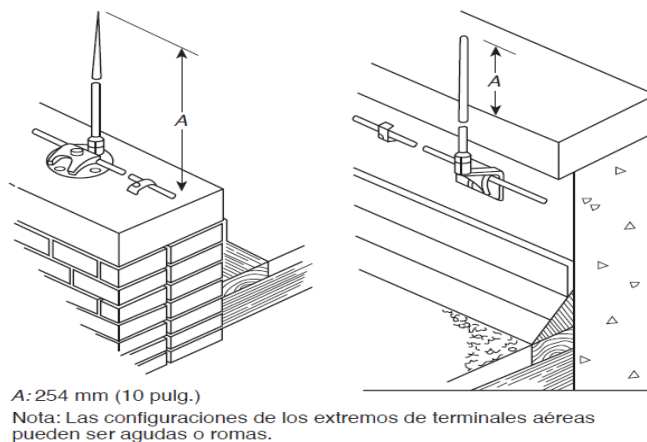
4.6.1.3. Las partes de metal de una estructura que estén expuestas a descargas eléctricas directas y que tengan un espesor de 4.8mm (3/16”) o mayor, deben requerir una interconexión con el sistema de protección contra rayos.

4.6.1.4 Dichas conexiones deben incluir un mínimo de dos trayectorias a tierra.

4.6.1.5 No deben requerirse dispositivos de intercepción de descargas para aquellas partes de una estructura que estén ubicadas dentro de la zona de protección.

4.6.2 Altura de los terminales aéreos. El extremo de un terminal aéreo no debe estar a una distancia inferior a 254 mm (10”) por encima del objeto o área que protege, como se muestra en la figura 20.

*Figura 20. Altura del Terminal Aéreo*



*Fuente Figura 20. Norma NFPA 780, Figura 4. 6. 2 Altura del Terminal Aéreo*

#### *4.9.9. Bajantes*

*4.9.9.1.* Los bajantes deben estar separados por la mayor distancia práctica posible.

*4.9.9.2.* La ubicación de los bajantes debe depender de las consideraciones siguientes:

- (1) Ubicación de los dispositivos de intercepción de descarga
- (2) Trayectoria de los conductores.
- (3) Condiciones para la puesta a tierra.
- (4) Seguridad mecánica contra desplazamiento.
- (5) Ubicación de los objetos de gran tamaño.
- (6) Ubicación de sistemas con tuberías metálicas subterráneas.

*4.9.11.2.* La bajante debe estar protegida a una distancia mínima de 1.8m (6') por encima del terreno.

#### *4.14. Puesta a Tierra Común.*

*4.14.1.* Generalidades. Todos los medios de puesta a tierra y los conductores enterrados que pueden contribuir en la provisión de una trayectoria para las corrientes de descargas del rayo en o sobre una estructura deben ser interconectados con el fin de proveer un potencial de puesta a tierra común.

*4.14.1.1.* Dicha interconexión debe incluir el sistema de protección contra rayos, los servicios eléctricos, los sistemas de telecomunicaciones, las antenas, las puestas a tierra y los sistemas de tuberías metálicas subterráneas.



#### 4.18. Protección contra sobretensión.

4.18.2.1. Los SPD deben ser instalados en todas las entradas del servicio de energía eléctrica.

4.18.2.2\* Los SPD deben ser instalados en las entradas de los sistemas de telecomunicación (incluidos, aunque no taxativamente, los sistemas CATV, de alarma y de datos) y en antenas.

#### 4.18.3. Niveles de amenaza de sobretensión.

##### 4.18.3.1\* Circuitos de energía eléctrica.

4.18.3.1.1. El SPD debe proteger contra una sobretensión producida por una combinación de onda con frente escarpado de 1.2/50  $\mu$ s a 8/20  $\mu$ s

4.18.3.1 Los SPD instalados en el servicio de entrada deben tener un rango de corriente máxima ( $I_{max}$ ) no inferior a 40 KA, 8/20  $\mu$ s por fase o una corriente nominal de descarga (I) de al menos 20 KA ,8/20  $\mu$ s por fase.

##### 4.18.3.2 Protección para señales, datos y telecomunicaciones.

Los SPD deben estar listados para la protección de sistemas de señales y telecomunicaciones y deben tener un rango de corriente máxima ( $I_{max}$ ) no inferior a 10 KA, 8/20  $\mu$ s o mayor cuando estuvieran instalados en el punto de entrada.

#### 2.1.3.2. Capítulo 5 de NFPA - Protección para estructuras varias y ocupaciones especiales

5.1. Generalidades. Deben aplicarse todos los requisitos mencionados en el capítulo 4 excepto lo establecido en las modificaciones descriptas en el presente capítulo.

5.2. Mástiles, chapiteles (cúpulas), astas de banderas.

5.2.1. Estas estructuras delgadas deben requerir un dispositivo de interceptación de descargas, una bajante y un electrodo de puesta a tierra.

5.2.2. Las estructuras de metal eléctricamente continuas deben requerir sólo interconexión con el/los electrodos/s de puesta a tierra.

5.3. *Estructuras de manipulación y procesamiento de granos, carbón y coque*  
Deben tomarse las previsiones adecuadas durante la instalación de ascensores de armazón de madera que se utilizan para la manipulación de carga y descarga de granos, carbón y coque.

5.4. *Tanques y torres metálicos.* Los tanques y torres metálicos contruidos de manera que puedan recibir el impacto de un rayo sin sufrir daños deben requerir solo interconexión con electrodos de puesta a tierra, según lo requerido en el capítulo

5.5. *Estructuras infladas con aire.* Las estructuras infladas con aire deben protegerse con un Sistema de protección contra rayos de tipo mástil o catenario, de acuerdo con lo establecido en el Capítulo 7 o con un sistema de protección contra rayos.

5.6. *Tanques y silos de concreto.* Los sistemas de protección contra rayos para tanques de Concreto (incluido concreto pretensado) que contengan vapores, gases y Líquidos inflamables o para silos de concreto que contengan materiales polvillo inflamable deben estar previstos con, ya sea conductores externos o empotrados en concreto.

## CAPITULO 3

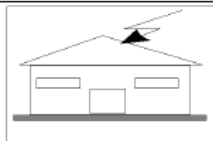
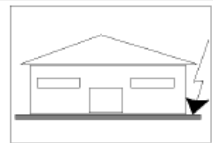
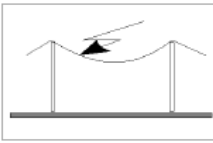

### 3.1. METODO DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO SEGÚN NORMAS

#### 3.1.1. Evaluación y Cálculo de Riesgo.

La evaluación del riesgo es el elemento más importante en el procedimiento para diseñar un sistema de protección y especialmente en la selección del nivel de protección. El nivel de riesgo se evaluará a partir de la corriente del rayo, la cual es la fuente primaria de daños, de las características de la estructura, de los servicios que llegan a ella y de las estructuras que la rodean.

En otras palabras, el análisis de riesgo considera tres componentes a evaluar, un primer tipo es la fuente de daño que se evalúa en función del punto de impacto del rayo, el segundo es el tipo de daño en función de las características del objeto a proteger (daños a seres vivos, daños físicos- estructuras o ambientes, fallos de sistemas eléctricos y electrónicos), y el tercero es el tipo de pérdida que puede aparecer dependiendo de las características del objeto y su contenido y son las siguientes, pérdidas de vida, pérdida de servicios públicos, pérdida de patrimonio cultural, pérdida valor económica (estructuras y su contenido).

Tabla 4. Fuentes de Daños, Tipos de Daños y Tipos de Pérdidas en Función del Tipo de Impacto.

Punto de impacto	Fuente de daño	Tipo de daño	Tipo de pérdidas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>2)</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>1)</sup> , L2, L4
	S2	D3	L1 <sup>1)</sup> , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>2)</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>1)</sup> , L2, L4
	S4	D3	L1 <sup>1)</sup> , L2, L4
<p>1) Solo para estructuras con riesgo de explosión y para hospitales o estructuras en las que los fallos de los sistemas internos dan lugar a un riesgo inmediato para la vida humana.</p> <p>2) Solo para propiedades donde puedan producirse pérdidas de animales.</p>			

Fuente Tabla 4. Norma NFPA 780, Fuentes de daños, tipos de daños y tipos de pérdidas en función del tipo de impacto.

### 3.1.2. Análisis de Riesgo de Rayos Según la Norma NFPA-780

La metodología planteada por la norma NFPA 780 es un análisis sencillo que consiste en comparar dos ecuaciones para poder determinar si la estructura de estudio necesita o no de un sistema de protección contra rayos. Para esto se tienen en cuenta los siguientes factores:

- Entorno del edificio
- Tipo de construcción,
- Ocupación de la estructura,
- Contenido de la estructura

- Consecuencias de los impactos de rayos.

Como primer paso se debe hacer una estimación de la frecuencia de impactos de rayo que se podrían presentar en la estructura, para esto se usa la ecuación

$$N_d = (N_g) (A_e) (C_1) \quad \text{ECUACIÓN (2)}$$

Donde:

**N<sub>d</sub>**: Frecuencia anual de impactos de rayo en la estructura.

**N<sub>g</sub>**: Densidad promedio de rayos en la estructura en el lugar donde se localiza.

**A<sub>e</sub>**: Área equivalente colectiva de la estructura.

**C<sub>1</sub>**: Coeficiente del entorno.

El coeficiente C<sub>1</sub> determina si existen estructuras más altas, más pequeñas o iguales rodeando a la estructura de estudio en un radio de 3H, donde H es el alto de la estructura de análisis.

*Tabla 5. Determinación del Coeficiente Ambiental C<sub>1</sub>*

Localización relativa de estructuras	C <sub>1</sub>
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 5. Norma NFC17-102, Tabla B2

La segunda ecuación determina la frecuencia tolerable de rayos en la estructura, y se calcula usando la ecuación:

$$NC = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{c} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

Nc: Frecuencia tolerable de rayos

C: Es un coeficiente que depende de varios factores.

Siendo,

$$C = C2 \times C3 \times C4 \times C5 \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

C2: Coeficiente estructural.

C3: Coeficiente del contenido de la estructura.

C4: Coeficiente de la ocupación de la estructura.

C5: Coeficiente de las consecuencias de los impactos de rayo.

*Tabla 6. 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 6. Norma NFC17-102, Tabla B5*

*Tabla 7. 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 7. Norma NFC17-102, Tabla B6*

*Tabla 8. Determinación del Coeficiente de Contenido de Estructura, C4*

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

*Fuente Tabla 8. Norma NFC17-102, Tabla B7*

*Tabla 9. 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 9. Norma NFC17-102, Tabla B8*

Una vez obtenidos los valores de  $N_d$  y  $N_c$  de las ecuaciones 2 y 3 respectivamente, el paso final es comparar estos valores, si  $N_d \leq N_c$ , el sistema de protección es opcional, y si  $N_d > N_c$ , es necesario poner un sistema de protección contra rayos en la estructura.

La norma NFPA 780, recomienda que cuando se instala un sistema de protección contra rayos es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- (1) Medidas para limitar las tensiones de paso.
- (2) medidas para reducir la propagación del fuego.
- (3) Medidas para reducir las tensiones inducidas.
- (4) Medidas para reducir las sobretensiones inducidas en equipos electrónicos sensibles.



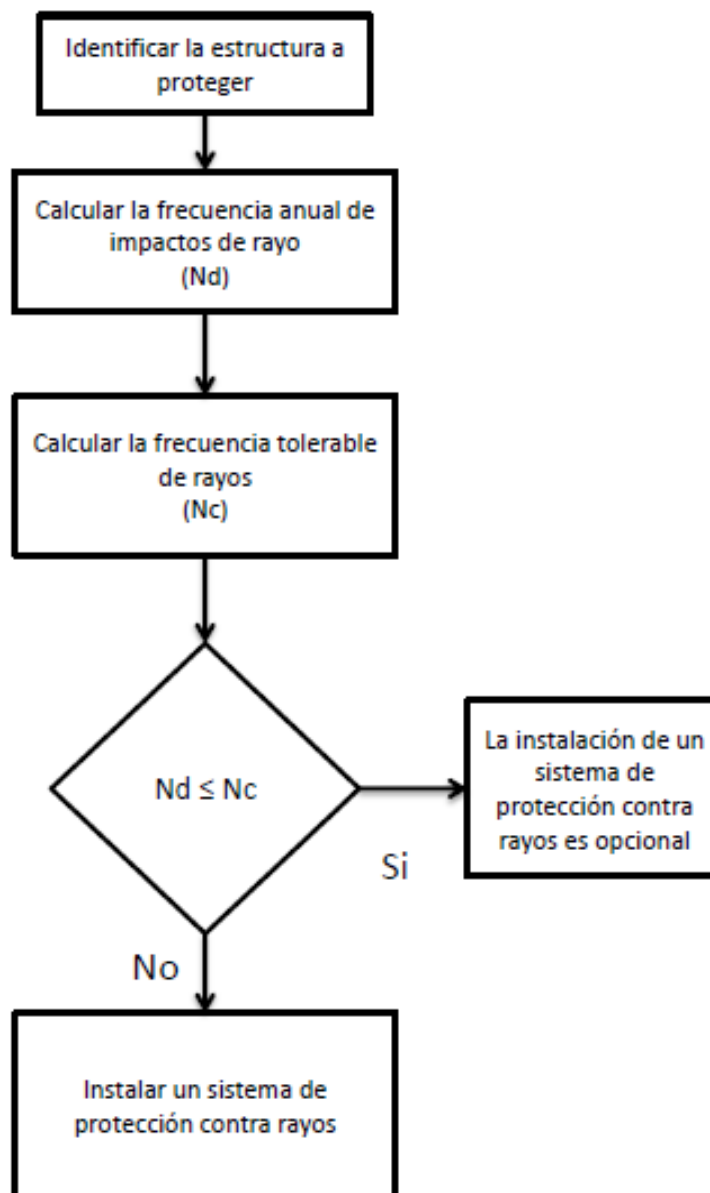
*Tabla 10. Frecuencia Media Anual Permitida de Rayos Directos Sobre Estructuras Comunes*

<b>Estructuras comunes</b>	<b>Efectos de las tormentas eléctricas</b>	<b>Frecuencia de impacto (Nd)</b>
Residencias	Daños a instalaciones eléctricas, equipos y daños a la estructura. Daños limitados a objetos expuestos en el punto de terminación del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	0.1
Granja	Riesgo principal de incendio y de potenciales de paso. Riesgo secundario derivado de la pérdida de suministros eléctrico provocando posibles desperfectos por falla de controles de ventilación y de suministros de alimentos para animales	0.05
Tanques de agua elevados: metálicos. Concreto con elementos metálicos salientes.	Daño limitado a objetos expuestos en el punto de terminación del rayo o sobre su trayectoria a tierra, así como posibles daños al equipo de control de flujo de agua	0.05
Edificios de servicios tales como: aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, centros deportivos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes, estación de tren ligero o metropolitano.	Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplos alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdidas de información.	0.02
Hospital Asilo Reclusorios	Falla de equipo de terapia intensiva. Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo, alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdidas de información.	0.02
Industrias tales como: Máquinas Herramientas, Ensambladoras, textil, papelera, manufactura, almacenamiento no inflamable, fábrica de conductores, fábrica de electrodomésticos, armado de equipo de cómputo, muebles, artefactos eléctricos, curtidurías, agrícola, cementeras, caleras, laboratorios y plantas bioquímicas, potabilizadoras.	Efectos diversos dependiendo del contenido, variando desde menor hasta inaceptable y pérdida de producción.	0.02
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de vestigios culturales irremplazables	0.02
Telecomunicaciones véase nota	Interrupciones inaceptables, perdida por daños a la electrónica, altos costos de reparación y perdidas por falta de continuidad de servicio	0.02
<p>Para cualquier estructura común debe evaluarse el nivel de riesgo en función de su localización, densidad, altura y áreas equivalente de captura, para decidir la protección.</p> <p>2) Para estructuras en zonas con densidad de rayos a tierra mayor a 2 y si el techo de la construcción es de materia inflamable (madera o paja) se deberá de instalar y este debe ser aislado</p>		

Fuente Tabla 10. Norma NFC17-102

En la Figura 21 se puede observar el algoritmo general de la metodología de la NFPA 780 para el análisis de riesgo por rayos.

Figura 21. Metodología de Evaluación de Riesgo por Rayos Según la Norma NFPA 780



Fuente Figura 21. Norma NFPA 780

### 3.1.3. Análisis de Riesgo de Rayos Según la Norma NFC17-102-UNE21186

En la metodología según la IEC presenta las siguientes evaluaciones para el análisis de riesgo.

IEC distingue cuatro tipos de fuente de daño:

- Descargas sobre la estructura (S1)
- Descargas cercanas a la estructura (S2)
- Descargas en las acometidas de servicio (S3)
- Descargas cerca de las acometidas de servicio (S4)

Tipos básicos de daño:

- Lesiones a seres vivos (D1)
- Daños físicos (D2)
- Fallas en sistemas eléctricos y electrónicos (D3)

Donde, cada tipo de daño, solo o en combinación con otros, puede producir diferentes consecuencias de pérdidas en la estructura a ser protegida. Los tipos de pérdida que pueden aparecer, dependen de las características propias de la estructura y de su contenido,

Tipos de pérdidas:

- Pérdida de vidas humanas (L1)
- Pérdida de servicio público (L2)
- Pérdida del patrimonio cultural (L3)
- Pérdidas económicas (L4).

En la Tabla 4 se pueden observar los tipos de fuentes de daño, los tipos de daño y las pérdidas asociadas de acuerdo al tipo de impacto de rayo.

*Tabla 11. Fuentes de Daño Tipos de Daño y Tipos de Pérdida de Acuerdo con el Lugar de Impacto del Rayo*

Fuente de Daño	Estructura	
	Tipo de Daño	Tipo de pérdida
S1	D1	L1,L4
	D2	L1,L2,L3,L4
	D3	L1,L2,L4
S2	D3	L1,L2,L4
S3	D1	L1,L4
	D2	L1,L2,L3,L4
	D3	L1,L2,L4
S4	D3	L1,L2,L4

a -únicamente para propiedades donde pueden haber pérdidas de animales  
b - únicamente para estructuras donde puede haber riesgo de explosión, hospitales u otras estructuras donde las fallas de sistema internos inmediatamente atenten contra la vida humana

*Fuente Tabla 11. Norma NFC17-102-UNE 21186*

Los componentes principales de riesgo asociados a cada tipo de pérdida son:

R1: Riesgo de pérdida de vidas humanas

R2: Riesgo de pérdida de servicios públicos.

R3: Riesgo de pérdida del patrimonio cultural.

R4: Riesgo de pérdida económica

Cada una de las componentes de riesgo asociadas a los distintos tipos de pérdidas (R1, R2 y R3 y R4), es la suma de varias componentes de riesgo (RA, RB, RC , RM , RU , RV , RW y RZ ) y estas componentes de riesgo pueden ser agrupadas de acuerdo a la fuente de daño y al tipo de daño.

## Componentes del riesgo por descargas en la estructura

$R_A$  : Componente relacionado con daños a los seres vivos producidos por tensiones de contacto y de paso en una zona de hasta 3 m exterior a la estructura. Pueden aparecer pérdidas de tipo L1 y, en el caso de estructuras que almacenan ganado, también pueden aparecer pérdidas de animales de tipo L4.

### NOTA 1

En esta norma no se considera la componente del riesgo por tensiones de paso y de contacto en el interior de la estructura por descargas en la estructura.

### NOTA 2

En estructuras especiales, las personas pueden estar sometidas a riesgos de impactos directos (por ejemplo, partes altas de un garaje o de un estadio). Estos casos pueden considerarse empleando los principios de esta norma.

$R_B$  : Componente relacionado con los daños físicos producidos por chispas peligrosas en el interior de la estructura, causantes de fuegos o de explosiones que también pueden afectar al entorno. Pueden presentarse todos los tipos de pérdidas (L1, L2, L3 y L4).

$R_C$  : Componente relacionado con los fallos de los sistemas internos debidos al LEMP. En todos los casos podrían producirse pérdidas del tipo L2 y L4 junto con pérdidas del tipo L1 en aquellos casos de estructuras con riesgo de explosión y hospitales u otras estructuras en las que el fallo de los sistemas internos ponga en peligro inmediato la vida humana.

### Componentes del riesgo por descargas cerca de la estructura

$R_M$ : Componente relacionado con los fallos de los sistemas internos debidos al LEMP. En todos los casos podrían producirse pérdidas del tipo L2 y L4, junto con pérdidas del tipo L1 en aquellos casos de estructuras con riesgo de explosión y hospitales u otras estructuras en las que el fallo de los sistemas internos ponga en peligro inmediato la vida humana.

### Componentes del riesgo por descargas en una línea conectada a la estructura

$R_U$ : Componente relacionado con los daños a los seres vivos producidos por tensiones de contacto en el interior de la estructura, debidas a la corriente inyectada en una línea que entra en la estructura. Pueden ocurrir pérdidas de tipo L1 y, en el caso de propiedades agrícolas, podrían ocurrir pérdidas de tipo L4 por pérdidas de animales.

$R_V$ : Componente relacionado con los daños físicos producidos por la corriente del rayo transmitida a través de las líneas entrantes (fuego o explosión generados por chispas peligrosas producidas, generalmente en el punto de entrada de la línea en la estructura, entre la instalación externa y las partes metálicas). Puede ocurrir cualquier tipo de pérdidas (L1, L2, L3 y L4).

$R_W$ : Componente relacionado con los fallos de los sistemas internos por sobretensiones inducidas en las líneas que entran en la estructura. En todos los casos podrían producirse pérdidas del tipo L2 y L4, junto con pérdidas del

tipo L1 en aquellos casos de estructuras con riesgo de explosión y hospitales u otras estructuras en las que el fallo de los sistemas internos ponga en peligro inmediato la vida humana.

#### NOTA

Los servicios que se tienen en cuenta en esta evaluación son solamente las líneas que entran en la estructura. Las descargas en tuberías o próximas a las tuberías no se consideran fuente de daño en base a su conexión equipotencial con la toma de tierra de la estructura. Si no está prevista una conexión equipotencial, debe considerarse la amenaza del daño.

#### Componentes del riesgo por descargas cerca de una línea conectada a la estructura

$R_Z$ : Componente relacionado con los fallos de los sistemas internos causados por sobretensiones inducidas en las líneas que entran y se transmiten a la estructura. En todos los casos podrían producirse pérdidas del tipo L2 y L4, junto con pérdidas de tipo L1 en aquellos casos de estructuras con riesgo de explosión y hospitales u otras estructuras en las que el fallo de los sistemas internos ponga en peligro inmediato la vida humana.

#### NOTA

Los servicios que se tienen en cuenta en esta evaluación son solamente las líneas que entran en la estructura. Las descargas en tuberías o próximas a las tuberías no se consideran fuente de daño en base a su conexión equipotencial con la toma de tierra de la estructura. Si no está prevista una conexión equipotencial, debe considerarse la amenaza del daño.

Las componentes de riesgo RA, RB, RC, RM, RU, RV, RW y RZ, se pueden calcular siguiendo la ecuación general (5).

$$\mathbf{RX} = \mathbf{NX} \times \mathbf{PX} \times \mathbf{LX} \quad \mathbf{ECUACION (5)}$$

Donde:

**NX:** Numero de eventos peligros al año

**PX:** Probabilidad de daño sobre la estructura.

**LX:** perdida consecuyente

El número de eventos peligrosos NX se ve afectado por la densidad de descargas a tierra, por las características físicas de la estructura a proteger, sus alrededores, líneas conectadas y el suelo.

La probabilidad de daños PX se ve afectada por las características de la estructura a proteger, las líneas conectadas y las medidas de protección previstas.

Las perdidas LX se ven afectadas por el uso al que se asigna la estructura, la concurrencia de personas, el tipo de servicio prestado al público, el valor de los bienes afectados por el daño y las medidas previstas para limitar el monto de las perdidas.

Para calcular cada una de las componentes de riesgo asociadas a cada tipo de perdida R1, R2, R3 y R4 se procede a sumar cada una de las componentes de riesgo RA, RB, RC, RM, RU, RV, RW y RZ que correspondan a cada tipo de perdida (ecuación (6)).

$$\mathbf{RN} = \sum \mathbf{Rx} \quad \mathbf{ECUACION (6)}$$

Para saber si la estructura necesita protección, se realiza la comparación entre el riesgo calculado para cada uno de los tipos de perdida y el valor de riesgo tolerable RT (Ver tabla 1.2). Si  $\mathbf{RN} \leq \mathbf{RT}$  N no es necesario un sistema de protección contra rayos, por



el contrario, si  $R_N > R_T$  es necesario adoptar las medidas de protección necesarias, ya sean individuales o colectivas para que se cumpla la condición  $R_N < R_T$  en todos los valores de riesgo asociados a los diferentes tipos de pérdidas. En el esquema de la Figura 1.4 se puede observar en términos generales los pasos para la evaluación de riesgo según la norma IEC 62305-2.

*Tabla 12. Componentes del Riesgo a Considerar para Cada Tipo de Pérdida*

Fuente del daño	Descargas en la estructura			Descargas cerca de la estructura	Descargas en una línea conectada a la estructura			Descargas cerca de una línea conectada a la estructura
	S1				S2	S3		
Componente del riesgo Riesgo para cada tipo de pérdidas	$R_A$	$R_B$	$R_C$	$R_M$	$R_U$	$R_V$	$R_W$	$R_Z$
$R_1$	X	X	X <sup>1)</sup>	X <sup>1)</sup>	X	X	X <sup>1)</sup>	X <sup>1)</sup>
$R_2$		X	X	X		X	X	X
$R_3$		X				X		
$R_4$	X <sup>2)</sup>	X	X	X	X <sup>2)</sup>	X	X	X

NOTA Los sistemas de detección de tormentas eléctricas que cumplan con la Norma UNE-EN 50536 pueden complementar el sistema interno y externo de protección contra el rayo.

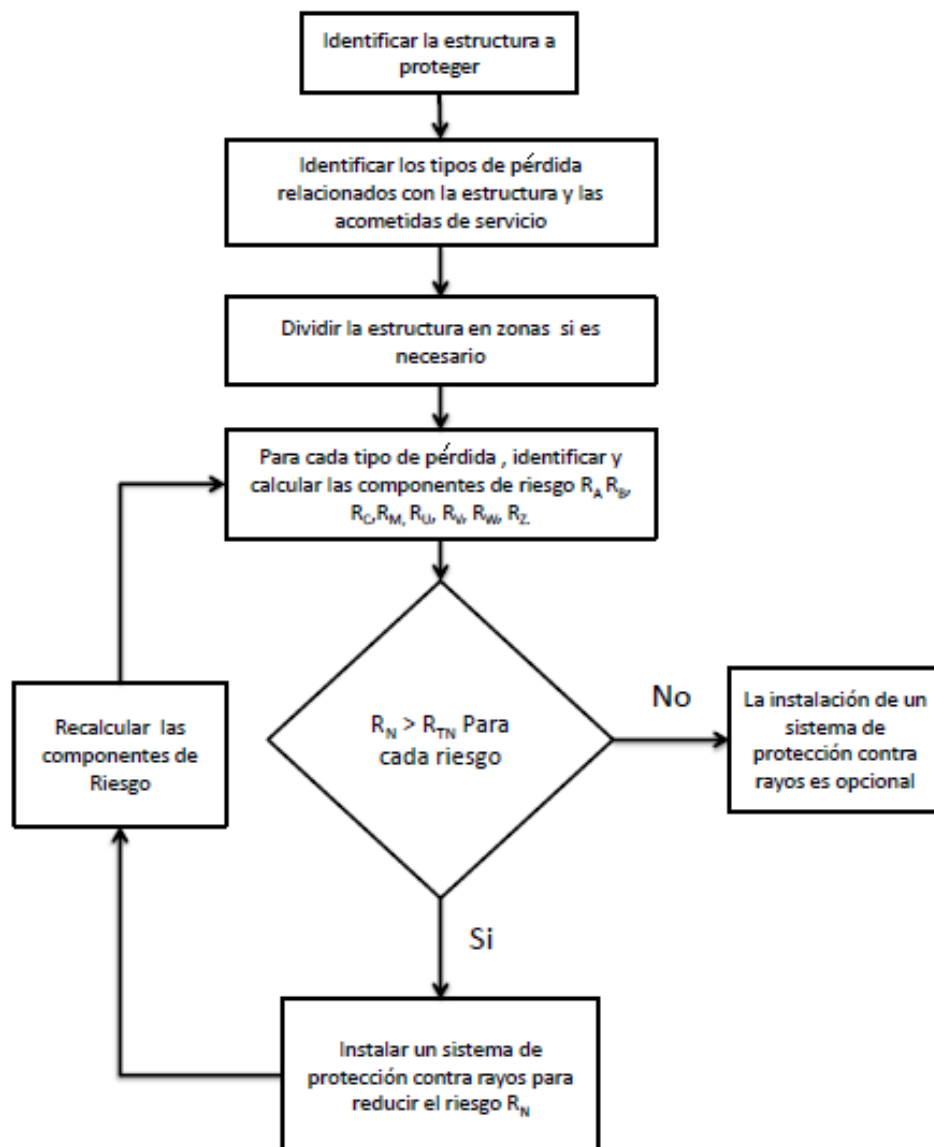
Fuente Tabla 12. Norma NFC17-102-UNE 21186

*Tabla 13. Valores Típicos de Riesgo Tolerable  $R_T$*

Tipos de pérdidas	$R_T$ (años <sup>-1</sup> )
Pérdida de vida humana o daños permanentes	$10^{-5}$
Pérdida de servicio público	$10^{-3}$
Pérdida de patrimonio cultural	$10^{-3}$

Fuente Tabla 13: Norma NFC17-102 – UNE 21186

Figura 22. Metodología de Evaluación de Riesgo por Rayos Según la Norma IEC 62305-2



Fuente Figura 22. Norma NFC17-102-UNE 21186

Figura 23. Evaluación del Riesgo de Impacto Según Software INDELEC

		<b>EVALUACIÓN DEL RIESGO DE IMPACTO SEGÚN UTE C 17-108</b> Archivo: Tesis.nps Cliente: FMC Proyecto: Edificio Penthouse III				Fecha: Marzo 2018 Estructura: Edificio de Apartamentos	
DENSIDAD DE IMPACTOS	Por zona: Ninguno	Por densidad de impacto Ng:	16.00	Por nivel isoceraunico Nk:	160.00		
ESTRUCTURA	Longitud L(m): 29	Anchura W(m): 20	Altura H(m): 20	Altura torre/Chimenea Hp(m): 0			
LÍNEA ELÉCTRICA	Tipo de línea eléctrica	Subterránea		Variables	Calculos intermedarios <b>Superficie equivalente de exposición (m2)</b> Edificio Ad1 = 1.777E+004 Torre/Chimenea Ad2= 0.000E+000 Estructura Ac= 1.777E+004 Línea Ai = 6.600E+003		
UBICACIÓN RELATIVA DE LA ESTRUCTURA	Rodeada de estructuras más altas			Cd = 0.250	<b>Probabilidad de eventos peligrosos</b> En la estructura Nc= 7.11E-002 En la línea Ni = 2.64E-002		
PELIGRO PARA LAS PERSONAS	Riesgo de pánico medio (100 a 1000 pers.)			h = 5.000	<b>Probabilidad de daño físico</b> En la estructura Pc= 5.00E-002 En la línea Pi = 3.00E-002		
RIESGO DE INCENDIO	Bajo			rf = 0.001	<b>Riesgo</b> R1: Pérdida de vida humana = 2.17E-006 R2: Pérdida de servicio público= 4.35E-008 R3: Pérdida de herencia cultura= 4.35E-007		
OCUPACIÓN DE LA ESTRUCTURA	Normalmente ocupada			Lf1 = 0.100	<b>Riesgo aceptable</b> RT1 = 1.00E-005, RT2 = RT3 = 1.00E-003		
TIPO DE SERVICIO	Elec,TV,com.			Lf2 = 0.010			
PARARRAYOS	Necesaria	Nivel de protección	II	Pd = 0.050			
SUPRESORES	Necesaria	Tamaño	I imp >= 12.5 kA	Pi = 0.030			
RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO	R1: Pérdida de vida humana LA PROTECCIÓN ES SATISFACTORIA R2: Pérdida de servicio público LA PROTECCIÓN ES SATISFACTORIA R3: Pérdida de herencia cultural LA PROTECCIÓN ES SATISFACTORIA						

Fuente Figura 23. Software empresa INDELEC

## CAPITULO 4

### 4.1. DISEÑO DEL PARARRAYO

Protegerse con descargas atmosféricas no solo consiste de protegerse contra el rayo. En efecto los pararrayos garantizan únicamente la protección de las estructuras y de las personas contra los impactos del rayo. Una parte no despreciable de la corriente del golpe de rayo captado por un pararrayo esta disipada en la tierra de la instalación, una protección puede ser eficaz y fiable únicamente si todos los fenómenos están tomados en cuenta, para prevenirse en contra:

- Los alcances directos del rayo
- Los efectos indirectos como subidas de tierra corrientes inducidas etc.
- Los defectos de tierra y el establecimiento de diferencia de potenciales entre puntos cercanos a la instalación o edificación.

Cabe mencionar que en Nicaragua no existen edificaciones de grandes alturas, pero los radios de protección que se requieran son amplios, por lo que las empresas distribuidoras de pararrayos toman en cuenta estos datos para ofrecer en su mayoría pararrayos tipo PDC, en su mayoría mantienen en stock pararrayos tipo PDC, si bien también distribuyen pararrayos tipo punta Franklin, el pedido se hace de forma especial y para proyectos específicos.

Para el diseño de nuestro proyecto, se seleccionó un pararrayo con dispositivo de cebado (PDC), este tipo de pararrayo fue seleccionado debido a las ventajas que presenta este tipo de pararrayos, dentro de las cuales podemos mencionar las:

- Posee un sistema ionizante con dispositivo de cebado, que tiene como objetivo anticiparse al rayo para mantener protegida el resto de la zona.
- Crea un trazador ascendente a más distancia, gracias a la ionización extra del pararrayos que se activa con el campo electromagnético producido por la tormenta.
- Tiene un radio de protección mucho más elevado que los pararrayos convencionales (Tipo Punta Franklin)
- La protección activa no solo protege la estructura, sino también sus alrededores y zonas abiertas.

A continuación, se especifican los cálculos necesarios para la determinación de la instalación de un pararrayo en base al código de instalaciones eléctricas, normativas y certificaciones vigentes para la protección contra rayos.

El diseño del pararrayo de nuestro proyecto se aplica para un edificio habitacional ubicado en el centro de Managua y que consta de 5 niveles:

*Figura 24. Render del Edificio Habitacional*

Altura (h): 18.75 metros

Ancho (a): 27.8 metros

Largo (b): 16.1 metros



*Fuente Figura 24. Fuente Propia del Diseño*

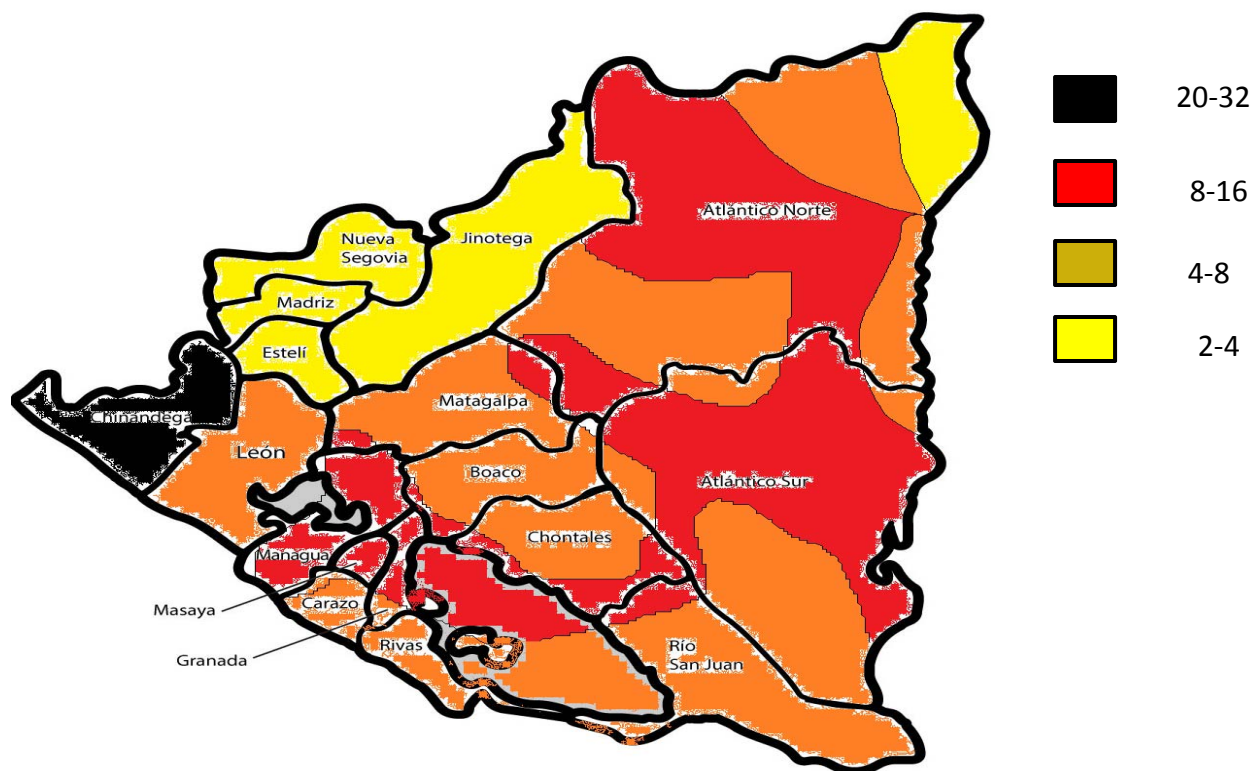
Uno de los primeros parámetros a tomar en cuenta es el cálculo del índice de riesgo para la selección del pararrayos es el  $N_g$ .

#### **$N_g$ - densidad de impactos sobre el terreno**

Este parámetro se obtiene mediante un estudio estadístico realizado por un periodo  $X$  de tiempo en las diferentes zonas del país, con equipo especializado para detectar los impactos de rayos y de las cantidades de veces que impacta en un sector. Para obtener dicho dato se realizó visita al Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), del cual no pudimos obtener registro alguno, ya que dicho instituto no cuenta con la información solicitada. Sin embargo a través de una empresa con experiencia en la fabricación y distribución de pararrayos, logramos obtener información y proporcionándonos un mapa isocerámico de Nicaragua, esta información basada en pruebas de campo con dispositivos especializados que registran los impactos de rayos. En dicho mapa se muestra por colores las cantidades de impactos de rayos por  $Km^2$  al año.

Basadas en la información proporcionada y según la ubicación del edificio para el cual se realizó el diseño de Pararrayo obtenemos un  $N_g$  de 16 impactos /año  $km^2$ /año.

Figura 25. Mapa Isocerámico de Nicaragua



Fuente Figura 25. Información Obtenida de empresa fabricante y distribuidora de pararrayos

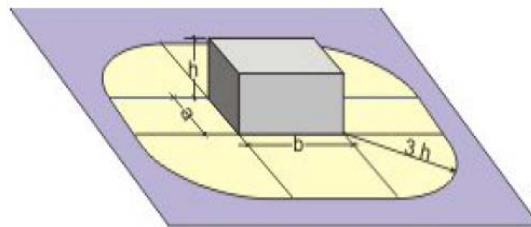
Ae: Área de captura equivalente del edificio

Figura 26. Dimensiones de Edificio Habitacional

Altura (h): 18.75 metros

Ancho (a): 27.8 metros

Largo (b): 16.1 metros



Fuente Figura 26. Proyecto estudio de seguridad frente al riesgo causado por el rayo.pdf

$$A_e = (a \times b) + 6 \times h \times (b + a) + 9 \times \pi \times h^2 \quad \text{ECUACION (6)}$$

$$A_e = (27.8 \times 16.1) + 6 \times 18 \times (16.1 + 27.8) + 9 \times \pi \times 18.75^2$$

$$\text{Area equivalente } A_e = 15.12$$

C1 – Coeficiente según situación del edificio

Estructura localizada en un espacio donde hay otras estructuras o árboles de la misma altura o más alto

$$C1 = 0.25$$

$$N_d = N_g A_e C_1 10^{-6} \text{ N}^\circ \text{ de impactos /año} \quad \text{ECUACION (7)}$$

$$N_d = (16)(15.12)(0.25) 10^{-6} \text{ N}^\circ \text{ de impactos /año}$$

$$\text{Frecuencia esperada } N_d = 0.0604$$

NC - Frecuencia Tolerable de rayos.

$$NC = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{c} \quad \text{ECUACION (8)}$$

$$C = C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5 \quad \text{ECUACION (4)}$$

Donde:

$$C_2 = 0.5$$

$$C_3 = 0.5$$

$$C_4 = 1$$

$$C_5 = 5$$

$$C = 0.5 \times 0.5 \times 1 \times 5$$

$$C = 0.5 \times 0.5 \times 1 \times 5$$

$$C = 1.25$$



$$NC = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{1.25} \quad \text{ECUACION (8)}$$

$$NC = 0.0012$$

Una vez obtenidos los valores de Nd y Nc de las ecuaciones 1.1 y 1.2 respectivamente, el paso final es comparar estos valores, si  $Nd \leq Nc$ , el sistema de protección es opcional, y si  $Nd > Nc$ , es necesario poner un sistema de protección contra rayos en la estructura.

## RESULTADO

Frecuencia esperada mayor que el riesgo admisible, Nd (0.0604) > Nc (0.0012)

Es necesario la instalación de un sistema de protección contra rayos

$$E = 1 - \frac{Nc}{Nd} \quad \text{ECUACION (9)}$$

$$E = 1 - \frac{0.0012}{0.0604}$$

$$E = 0.98$$

Tabla 14. Nivel de Protección Para Pararrayo Según Eficiencia Calculada

E Eficiencia calculada	Nivel de protección correspondiente	I (kA) Corriente de cresta máxima	D (m) Distancia de cebado
$E > 0.98$	Nivel I + medidas complementarias	-	-
$0.95 < E \leq 0.98$	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 de Tabla 14. Norma NFC17-102-UNE-201186, Tabla B10

De acuerdo a Tabla 14, Se Obtiene un Pararrayo con Protección Nivel I

#### 4.1.1. Cálculo del Índice de Riesgo.

En las normas de protección contra el rayo se definen procedimientos a seguir para calcular el índice de riesgo de una estructura y de acuerdo con el resultado obtenido, determinar la necesidad de instalar un sistema de protección contra el rayo y el grado de seguridad del mismo (Nivel de Protección). En general, en el cálculo del índice de riesgo se compara la frecuencia de los rayos esperada con la probabilidad que se considera asumible de caídas de rayos sobre la estructura. La relación entre ambos parámetros indica la necesidad o no de instalar un sistema de protección contra el rayo, y cuál debe ser su grado de seguridad. Este valor depende de diversos factores tabulados, como el tipo de estructura y su contenido, aunque en ocasiones pueda tenerse en cuenta otras consideraciones que lleven a mejorar el nivel de protección, aumentando la eficacia del sistema de protección contra el rayo por encima de los resultados del cálculo del índice de riesgo. Casos y situaciones recopiladas en diversas normativas, en los que se considera necesaria la protección contra el rayo:

- Cualquier instalación o maquinaria utilizada para el trabajo
- Grandes agrupaciones de personas
- Necesidad de continuidad de los servicios públicos o de producción
- Zonas de gran densidad de impactos de rayo
- Edificios muy altos o aislados
- Edificios que contengan materiales explosivos, e inflamables, o patrimonio cultural irremplazables

- Edificios o estructuras cuyo índice de riesgo, calculado según las normativas, determinen la necesidad de instalación de un sistema de protección contra el rayo con un determinado nivel de protección.

*Figura 27. Metodología de Evaluación de Riesgo por Rayos*



*Fuente de Figura 27. Libro/Catalogo Aplicaciones Tecnológicas- Tecnología de Protección Contra el Rayo*

En cualquier caso, la necesidad y el nivel de protección depende de numerosas ocasiones de criterios subjetivos: ya que el nivel de protección depende del “número aceptable de impactos sobre la estructura” que en muchas circunstancias resulta inaceptable, puede tomarse la decisión de que se desea reducir al máximo esos rayos adoptando el Nivel 1 de protección, que es más efectivo y seguro.

#### 4.1.2. Cálculo del Radio de Protección

Los pararrayos con dispositivo de cebado (PDC), disponen de un radio de protección en función del nivel de protección necesario. El  $\Delta T$  se obtiene realizando los ensayos indicados en las Normas UNE 21186:2011 o NF C 17-102:2011, y deben certificarse por parte de un Laboratorio de Alta Tensión acreditado.

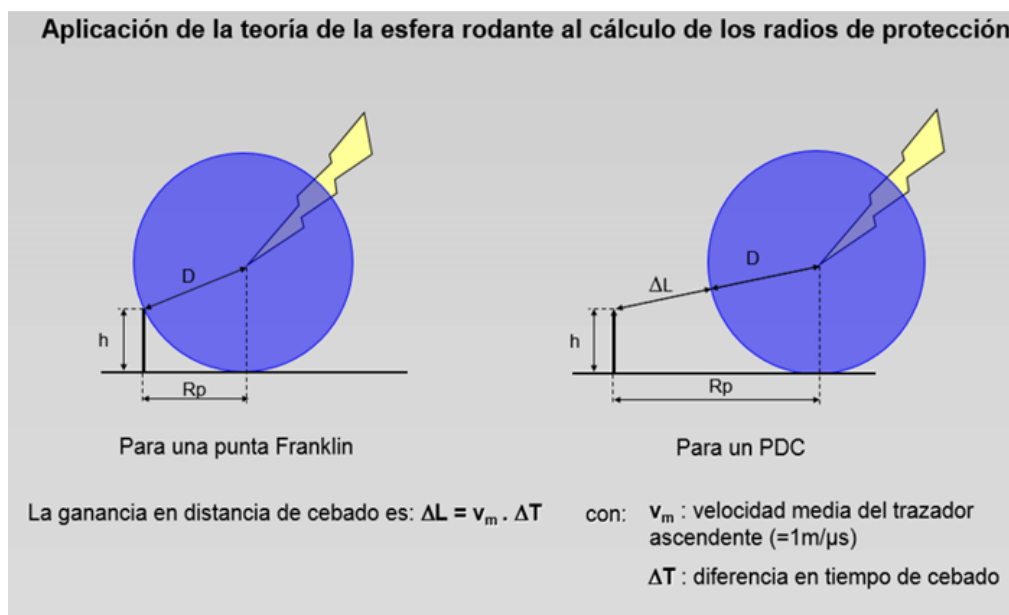
Para un cálculo estimado se tienen, que en promedio la velocidad de un trazador es

$$V = 1 \text{ m}/\mu\text{s}.$$

La Norma UNE 2118:2011 (aptdo. C.2.2) indica que un pararrayos PDC debe obtener un avance de cebado ( $\Delta T$ )  $>10 \mu s$ , como mínimo.

Asimismo, el valor máximo admisible de  $\Delta T$  es de  $60 \mu s$ , aunque en los ensayos se han obtenido resultados superiores.

Figura 28. Radio de Protección de un PDC



Fuente Figura 28. (Protección Contra Descargas Atmosféricas, Ing. Leonardo Sempe).

La zona protegida por un pararrayos PDC, está delimitada por una superficie de revolución, que está definida por los radios de protección correspondientes a las diferentes alturas (h) consideradas y cuyo eje es el mismo pararrayos PDC.

$$\text{Si } \geq 5m: \quad RP = \sqrt{((2 * r * h) - (h^2) + (\Delta L * (2 * r + \Delta L)))} \quad \text{ECUACION (10)}$$

Siendo:

**Rp:** Radio de protección resultante.

**r:** El radio de la esfera ficticia. Valor predeterminado por norma según el nivel de protección aplicable (Ver tabla de Nivel de Protección).

**h:** La altura desde la punta del PDC hasta el punto en donde queremos calcular el radio de protección.

**$\Delta L$ :** Avance de cebado del pararrayos considerado ( $\Delta T$ ) expresado en metros.

*Tabla 15. Nivel de Protección Según el Radio de la Esfera Ficticia*

Nivel de protección	Radio esfera ficticia (r)
I	20 m
II	30 m
III	45 m
IV	60 m

*Fuente Tabla 15. Catalogo Protección Externa Contra Rayo INGESCO*

Ejemplo del cálculo de PREVECTRON® 3TS 25

Según catálogo de la empresa del tipo de pararrayos seleccionado para nuestro diseño, el modelo seleccionado tiene un avance de cebado de  $25\mu s$ .

Aplicando este valor a la fórmula de ganancia de cebado  $\Delta L: V_m \cdot \Delta T$

$$\Delta L: 1 \text{ m}/\mu s \cdot 25\mu s = 25 \text{ metros}$$

Aplicando un nivel de protección I, su radio de esfera ficticia corresponde a  $r = 20 \text{ M}$

Aplicando la ecuación 10:

$$\mathbf{RP} = (\sqrt{((2 * r * h) - (h^2) + (\Delta L * (2 * r + \Delta L))$$

$$\mathbf{RP} = (\sqrt{((2 * 20 * 5) - (5^2) + (25 * (2 * 20 + 25))$$

$$\mathbf{RP} = 42.4 \text{ M}$$

*Tabla 16. Tabla de Radios de Protección Nivel I*

PROTECCIÓN NIVEL I : r = 20 M

H(M)	2	3	4	5	10
S60	31	47	63	79	79
S50	27	41	55	68	69
S40	23	35	46	58	59
TS25	17	24	34	42	44
TS10	10	15	21	26	28

Radio de protección

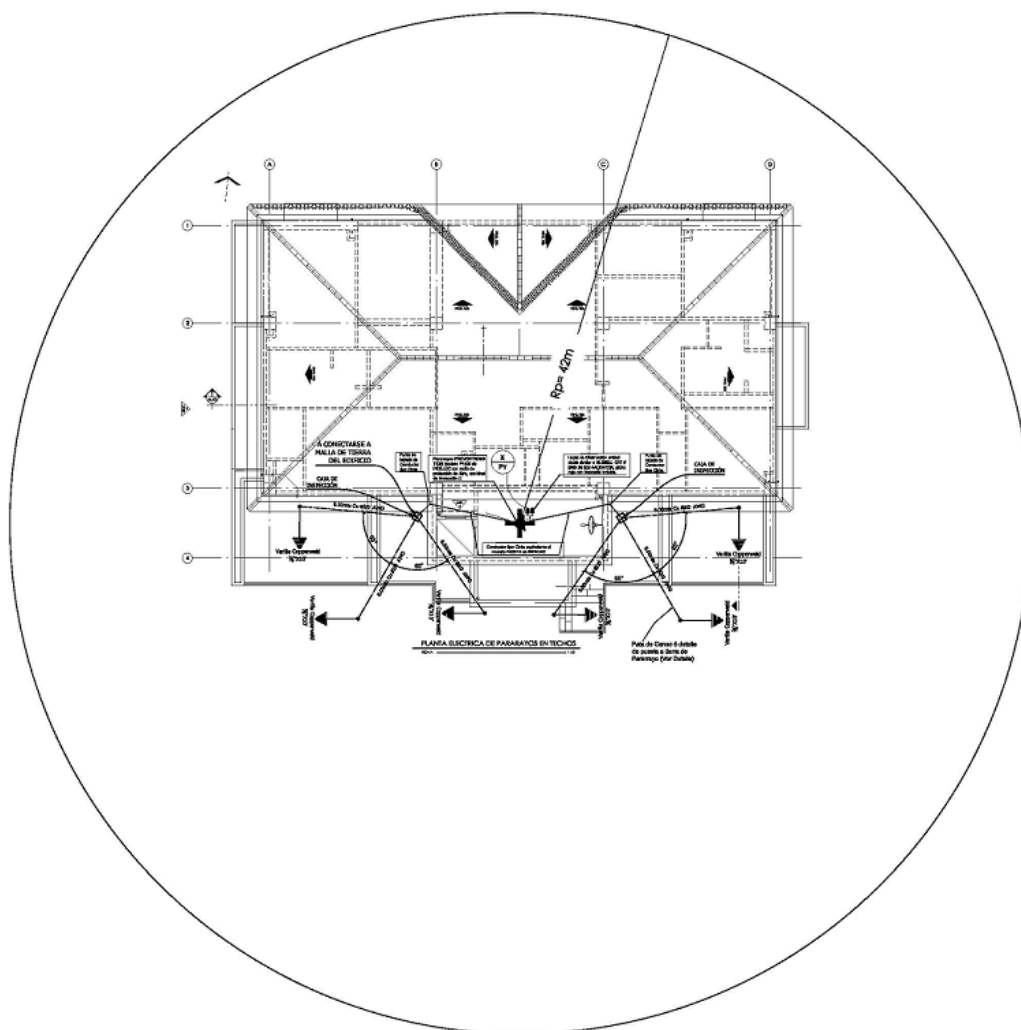
obtenido en cálculo.

42 Metros

*Fuente Tabla 16. Catalogo Pararrayos Prevectron 3 de INDELEC*

De acuerdo a cálculo obtenido y la tabla 5, el radio de protección del diseño de pararrayos de nuestro proyecto es de 42 metros con el modelo TS 25 de PREVETRON3 DE INDELEC.

Figura 29. Planta con Ubicación de Pararrayo con Radio de Cobertura



Fuente Figura 29. Fuente Propia del Diseño

De acuerdo a investigación realizada, se tiene conocimiento que se encuentran instalados pararrayos tipo PDC en los siguientes edificios:

- Hospital Solidaridad. Managua
- Hotel HEX. Managua
- Viejo Santo Domingo. Managua (Edificio Habitacional de Apartamentos)
- Edificio El Norte, Managua (Edificio Habitacional de Apartamentos)

- Plaza AEW, Managua (Edificio de Renta de Módulos)
- Hospital Cruz Azul, Masaya
- Centro de Convenciones Olof Palme, Managua
- Hotel La Recolección. León.
- Edificio Procredit, Managua
- Edificio Miniflats I, II y III. Managua (Edificio Habitacional de Apartamentos)
- Edificio EMBUSA, Managua (Edificio Habitacional de Apartamentos)
- Hotel The Ocean Inn- Rancho Santa. Tola, Rivas. (Hotel Resort)
- Plaza Paseo Masaya. Masaya (Edificio de Renta de Módulos)
- Entre otros

#### 4.1.3. Mantenimiento de un Sistema de Protección de Descarga Atmosférica

El propietario del edificio o estructura objeto de protección debe coordinar un programa de mantenimiento de dicho sistema con la empresa que lo instale.

*Tabla 17. Mantenimiento de los sistemas de protección contra rayos según la NFC 17- 102.*

<b>Nivel de protección</b>	<b>Verificación visual (años)</b>	<b>Verificación completa (años)</b>	<b>Verificación completa de los sistemas críticos (años)</b>
I y II	1	2	1
III y IV	2	4	1

NOTA Los S-PDC empleados en estructuras con riesgo de explosión deberían verificarse visualmente cada 6 meses. Los ensayos eléctricos de la instalación deberían realizarse una vez al año.  
Una excepción aceptable al ensayo anual programado, sería realizar los ensayos en un ciclo de 14 a 15 meses, si se considera ventajoso ensayar la resistencia de puesta a tierra en distintas épocas del año para tener una indicación de su variación con las estaciones del año.

*Fuente Tabla 17. Norma NFC 17- 102 - Tabla 7.*



Un buen programa de mantenimiento del sistema de protección de descarga atmosférica debe incluir:

- Inspección de todos los conductores que componen el sistema.
- Verificar el ajuste de todas las conexiones mecánicas.
- Medición de la conductividad eléctrica de todas las uniones y conexiones.
- Medición de la resistencia de la malla de descarga.
- Verificación de todos los dispositivos de protección contra sobretensiones, conexiones de los conductores, etc.
- Probar que la eficacia del sistema no se ha visto alterada si se hicieron modificaciones a la estructura objeto de protección.

Estas inspecciones deben realizarse cuando se tenga conocimiento de que ha tenido lugar una descarga en el sistema de protección, de ahí proviene la importancia de que éstas tengan instalado un contador de impactos o de rayos.

Un sistema de protección de descarga atmosférica instalado en una estructura y que no haya sido inspeccionado periódicamente y recibido los mantenimientos correctamente, puede representar un grave peligro para las personas y los equipos instalados en esa “estructura protegida”.

A continuación, se presenta tabla con estimación de costo de la instalación de un sistema de descarga atmosférica.

Tabla 18. Estimación de Costos del Sistema de Pararrayo Propuesto

REF	MATERIALES INDELEC A PRECIOS INTEK	UM	ESTIMADOS USDS X UNID	CANTIDAD	COSTO TOTAL
P1513	TS25 CON CONECTOR P6500 INCLUIDO	UNID.	\$1,258.59	1	\$1,258.59
P2001B	1ER ELEMENTO PARA MASTIL AC GALV	UNID.	\$87.90	1	\$87.90
P2002	2ER ELEMENTO PARA MASTIL AC GALV	UNID.	\$82.27	1	\$82.27
P2003	3ER ELEMENTO PARA MASTIL AC GALV( 2M)	UNID.	\$86.21	1	\$86.21
P6052	COLLAR DE AC INOX 40-60 MM	UNID.	\$1.97	14	\$27.58
P3053	BASE PARA MASTIL	UNID.	\$336.09	1	\$336.09
P5001H	CINTA DE BAJADA( EN ROLLO DE 70 MTS)	MT	\$12.94	70	\$905.80
P6091C	RACOR LLANO-LLANO	UNID.	\$23.31	1	\$23.31
P6371B	SOPORTE DE CINTA DE AC. INOX	UNID.	\$7.55	100	\$755.00
P6081	SOPORTE PARA CINTA (PARA LLENAR CON CEMENTO)	UNID.	\$6.05	12	\$72.60
P7001F	JUNTA DE CONTROL	UNID.	\$36.62	2	\$73.24
C225	FUNDA DE PROTECCION PARA CINTA (AC. GALV.)	UNID.	\$16.88	2	\$33.76
SF016	JUEGO DE 3 COLLARES DE FIJACION PARA FUNDA	UNID.	\$18.58	2	\$37.16
P7052	PUNTO DE INSPECCION DE PVC	UNID.	\$30.94	2	\$61.88
P8004	RACOR DE TIERRA	UNID.	\$11.18	2	\$22.36
P8011	CONTADOR DE RAYOS DIGITAL	UNID.	\$361.41	1	\$361.41
C3263B	ROTULO DE PELIGRO	UNID.	\$10.13	2	\$20.26
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>					<b>\$4,245.42</b>
<b>MATERIALES NACIONALES</b>					
SOLDADURA EXOTERMICA # 115 (VARILLA 5/8" A CABLE)		UNID.	\$5.00	4	\$20.00
SOLDADURA EXOTERMICA # 90 (VARILLA 5/8" A CABLE)		UNID.	\$4.50	6	\$27.00
VARILLA COPPERWELD DE 5/8" X 10'		UNID.	\$12.00	8	\$96.00
MOLDE THERMOWELD M-548 P/ SOLD. EXOTERMICA VARILLA EN EL TOPE -CABLE 2/0 DE PASO		UNID.	\$70.00	1	\$70.00
MOLDE THERMOWELD M-506 P/ SOLD. EXOTERMICA VARILLA EN EL TOPE -CABLE 2/0 FINAL		UNID.	\$70.00	1	\$70.00
MOLDE THERMOWELD M-1587 P/ SOLD. EXOTERMICA VARILLA POR DEBAJO DEL TOPE -CABLE 2/0 DE PASO		UNID.	\$175.00	1	\$175.00
MASILLA PARA SELLAJE DE MOLDE		BOLSA	\$10.00	1	\$10.00
LUZ DE OBSTRUCCION DOBLE MARCA HUBBEL O SIMILAR CON SISTEMA REDUNDANTE		UNID.	\$700.00	1	\$700.00
<b>NOTA:</b>					
NO INCLUYE HERRAMIENTAS AUXILIARES PARA LOS MOLDES( PINZA, CHISPERO, CEPILLO LIMPIA MOLDES, ETC)					
<b>SUBTOTAL MATERIALES NACIONALES</b>					<b>\$1,168.00</b>
<b>MATERIALES RECOMENDADOS A INCLUIR CON PARARRAYOS</b>					
SUPRESOR CITEL O SIMILAR, TIPO 1, MODELO MDS 300-120Y, 208/120V, 4W+G,		UNID.	\$2,500.00	1	\$2,500.00
12.5 KA EN 10/350 MICROSEG & 20 KA EN 8/20 MICROSEG,					
SUPRESOR CITEL O SIMILAR, TIPO 1, MODELO DSR-440, 120/240V, 3W+G, 12.5 KA EN 10/350 MICROSEG,		UNID.	\$750.00	1	\$750.00
<b>SUBTOTAL SUPRESORES</b>					<b>\$3,250.00</b>
<b>MANO DE OBRA DE INSTALACION Y EQUIPOS</b>					
INSTALACION DE SISTEMA DE PARARRAYOS Y SUPRESORES		GLB	\$2,500.00	1	\$2,500.00
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>\$2,500.00</b>
<b>VALOR TOTAL</b>					<b>\$11,163.42</b>

## CAPITULO 5

### 5.1. CONCLUSIONES

- Hoy en día los rayos son en muchos países un peligro ocupacional, el cual esta subestimado. La mayoría del accidente por rayos son prevenibles.
- El manejo adecuado de cómo protegernos ante los rayos, es conocer el fenómeno, luego buscar la manera de protegernos para disminuir sus efectos y finalmente tomar medidas preventivas para mitigar su impacto.
- Todas las tormentas producen rayos y por tanto todas las tormentas son peligrosas. Es importante mencionar que no es necesario que llueva para que caiga un rayo.
- Obtener 100% de protección no siempre es posible, pero si las personas conocen que deben hacer y las medidas de protección como alerta temprana y refugios existentes se puede lograr un elevado nivel de protección contra rayos.
- La elaboración de un buen diseño de pararrayos, basados en Normas, Códigos y teniendo la información estadística de los eventos que ocurren anualmente en la zona donde se va a desarrollar la construcción que se desea proteger, podemos asegurar un alto porcentaje que ante la presencia de una descarga atmosférica nuestro objetivo no sufrirá consecuencias graves producidas por dicho evento.
- Asociado a lo antes mencionado otro factor importante para una buena protección de descarga atmosférica, son el conocimiento pleno del fenómeno y los criterios personales que debido a estudios, análisis y experiencia que tenga el diseñador.

- Los trabajos de mantenimiento del sistema de descarga atmosférica deben ser incluidos y considerarse como elemento integral del programa general de mantenimiento eléctrico de un edificio o estructura
- El objetivo de la encuesta incluida en los anexos es con el fin de conocer que tipos de pararrayos se distribuyen localmente y que cantidad mantienen en stock.

## CAPITULO 6

### 6.1. ANEXO

#### Anexo 1: Encuesta a Distribuidores de Pararrayos

##### Nombre de la Empresa

2 respuestas

Casa McGregor S.A.
SINSA

##### ¿Es su empresa distribuidora de Pararrayo?

2 respuestas



##### ¿Qué tipo de Pararrayos distribuyen?

2 respuestas

activos y pasivos
pararrayos con sistema de cebados, marca franklin france

##### ¿Cuál es el más demandado y por qué?

2 respuestas

ambos
el modelo ACTIVE 1D.

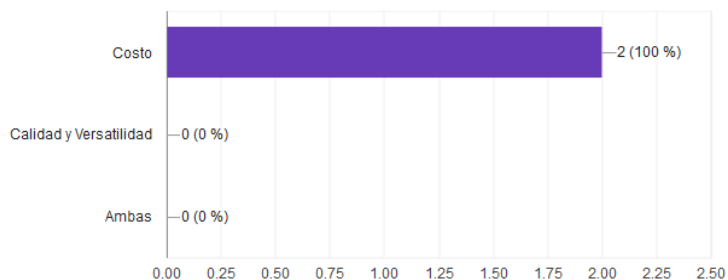
##### ¿Es su producto certificado? En caso de ser afirmativo especificar la Norma o Estandar

2 respuestas

Si UNE21.186 NFC17-102 NP4426
Si NF C-17-102

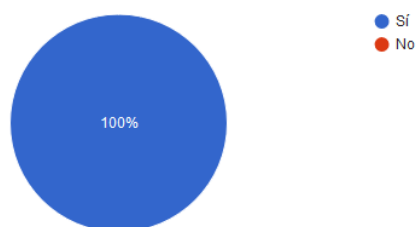
### Al solicitar sus productos, el cliente prefiere:

2 respuestas



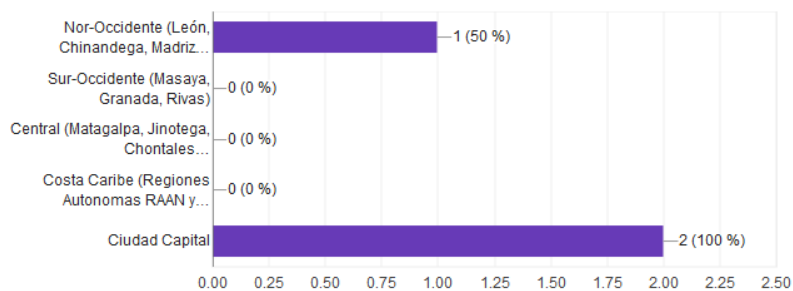
### ¿Ofrece su empresa el servicio de instalación y mantenimiento de pararrayos?

2 respuestas



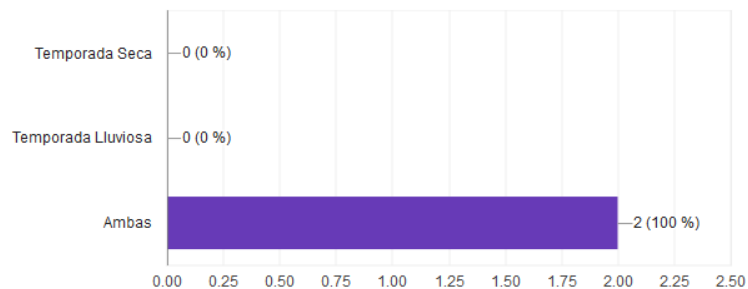
### ¿En qué región del país tiene mas demanda su producto?

2 respuestas



### ¿En qué época del año tienen más demanda su producto?

2 respuestas



### ¿Cuáles son los tiempos de entrega de su producto?

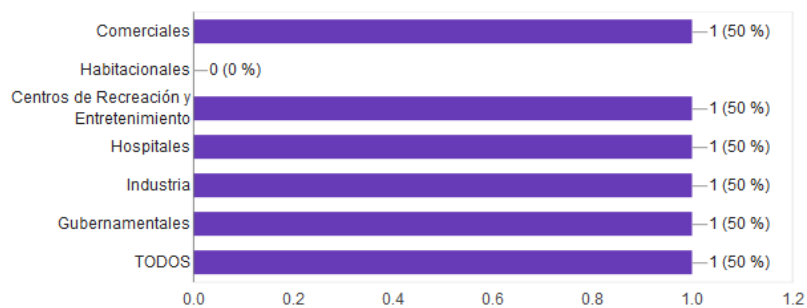
2 respuestas

#### ENTREGA INMEDIATA

Entrega inmediata, manejamos un stock amplio

### ¿Para qué tipo de proyectos solicitan los servicios y productos de su empresa?

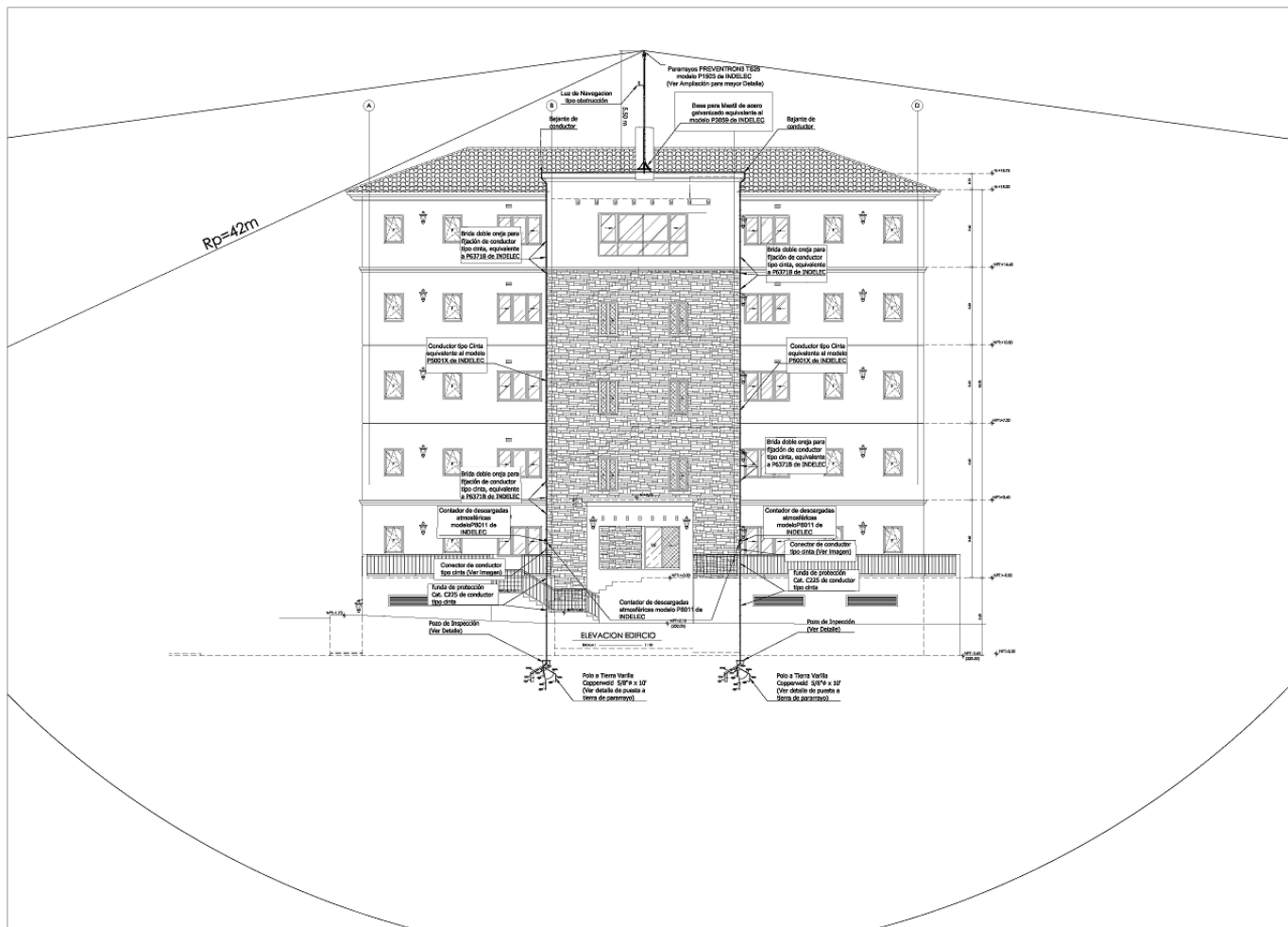
2 respuestas







### Anexo 3: Elevación con Ubicación de Pararrayo



### Anexo 4: Detalles de Pararrayo

**AMPLIACION DE PARARRAYO CONSUSDETALLES**  
EN ESCALA

**PARARRAYO CONSUSDETALLES**  
EN ESCALA

**DETALLE DE PUZOS A TIERRA DE PARARRAYOS**  
EN ESCALA

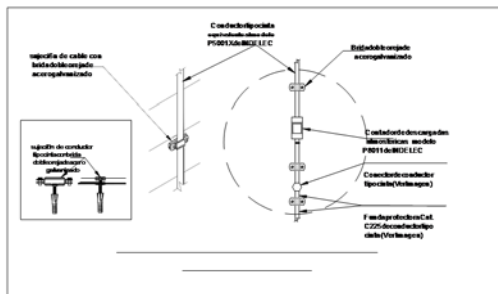
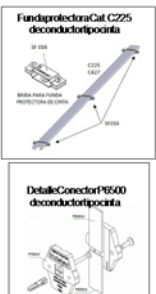
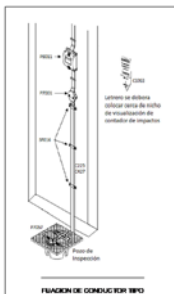
**DETALLE DE PUZOS DE INSPECCION PARARRAYO**  
EN ESCALA

**NOTAS ESPECIALES:**

- Estos productos deben ser instalados y usados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante cumpliendo con las normativas de la ITC-RENT.
- Los productos aquí indicados nunca deben ser usados para otros fines para los cuales fueron diseñados.
- Los instaladores más indicados deben ser aquellos capacitados para asegurar de una instalación segura y eficiente.
- Una instalación incorrecta, un mal uso, o una mala aplicación o cualquier otro fallo que no permita una instalación de acuerdo a las instrucciones puede provocar un mal funcionamiento del dispositivo, pérdida de sus propiedades, lesiones a las personas e incluso la muerte.

**RECOMENDACIONES:**

Todos los cables y regulaciones de las instalaciones de sistemas correspondientes y todas las que son propias de este tipo de instalaciones deben ser tomadas en cuenta. Siempre utilizar un equipo de seguridad apropiado tales como botas de protección, casco y guantes diseñados específicamente para trabajos eléctricos.



Anexo 5: Fotos de Edificios con PDC Instalados



Hotel HEX, Managua



Hospital Solidaridad, Managua



Viejo Santo Domingo, Managua



Plaza AEW, Managua



Centro de Convenciones Olof Palme, Managua

## CAPITULO 7

## 7.1.BIBLIOGRAFIA

- *NFPA (s.f.). NFPA 780. NORMA PARA LA INSTALACION DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA RAYO.*
- *AENOR. (s.f.). NFC17-102-UNE-21186. PROTECCION CONTRA EL RAYO: PARARRAYOS CON DISPOSITIVOS DE CEBADO.*
- *<http://energytel.typepad.com/energytel/2013/06/pararrayo-desionizante-principio-de-funcionamiento-de-la-desionizacion.html>. (s.f.).*
- *<http://energytel.typepad.com/energytel/2013/06/pararrayo-desionizante-principio-de-funcionamiento-de-la-desionizacion.html>. (s.f.).*
- *<http://instalacionpozosatierra.blogspot.com/2011/08/para-rayos.html>. (s.f.).*
- *<http://seguridadconelectricidad.blogspot.com/2010/04/pararrayos-de-dispositivo-de-cebado.html>. (s.f.).*
- *<http://ulum.es/tardes-de-verano-y-cumbres-tormentosas/attachment/140319013620209110/>. (s.f.).*
- *<http://www.areatecnologia.com/electricidad/pararrayos.html>. (s.f.).*
- *<http://www.avances-tecnologicos.com/castellano/pararrayos.html>. (s.f.).*
- *<http://www.cirprotec.com/es/Soporte/Area-de-conocimiento/Proteccion-contr-el-rayo/Proteccion-contr-el-rayo>. (s.f.).*
- *<http://www.gamma.com.co/caracteristicas-las-descargas-atmosfericas-efecto-las-lineas-transmision/>. (s.f.).*
- *<http://www.totalground.com/piezoelectrico.html>. (s.f.).*

- <https://bibliotecadeinvestigaciones.wordpress.com/ciencias-de-la-tierra/las-tormentas/>. (s.f.).
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Pileus\\_\(meteorology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Pileus_(meteorology)). (s.f.).
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Cumulonimbus\\_calvus](https://es.wikipedia.org/wiki/Cumulonimbus_calvus). (s.f.).
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Cumulonimbus\\_incus](https://es.wikipedia.org/wiki/Cumulonimbus_incus). (s.f.).
- <https://sistemamid.com/preview.php?a=3538&material=-1&socio=-1>. (s.f.).
- <https://sistemamid.com/preview.php?a=3538&material=-1&socio=-1>. (s.f.).
- <https://waste.ideal.es/pararrayos-1.htm>. (s.f.).
- <https://www.google.com/search?q=radio+proteccion+esfera+rodante&client=firefox-b&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEwiAsZ3e0t7eAhXGmVkKHeHjDCsQ7Al6BAgFEA0&biw=1366&bih=613#imgrc=7PdljSxRxQdhLM:>. (s.f.).
- <https://www.ingesco.com/es/noticias>. (s.f.).
- <https://www.ingesco.com/es/productos/puntas-captadoras>. (s.f.).
- [https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos\\_02\\_03/Proteccion\\_contra\\_descargas\\_atmosfericas/11/11.htm](https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_02_03/Proteccion_contra_descargas_atmosfericas/11/11.htm). (s.f.).
- <https://www.proinexargentina.com/en/productos/1-pararrayos-eos-34>. (s.f.).
- <https://www.timetoast.com/timelines/inventos-durante-la-revolucion-industrial-1823428>. (s.f.).
- <https://www.youbioit.com/es/article/18216/tipos-de-rayos>. (s.f.).
- Prof. César Briozzo y Prof. María Simon, S. M. (2008). *Pararrayos No Convencionales. IEEE, 7º encuentro de Energía, Potencia, Instrumentación y Medidas*.
- *Protección Contra Descargas Atmosféricas, Ing. Leonardo Sempe*. (s.f.).