

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



TEMA:

DISEÑO DE UN SISTEMA PROTECCIONES ATMOSFERICA SEGÚN LA NORMA NFPA 780 PARA EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR:

Cevallos Vallejos Darío Javier

DIRECTOR (A):

PhD. Gerardo Isaías Collaguazo Galeano

Ibarra, 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003335013		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cevallos Vallejos Darío Javier		
DIRECCIÓN:	Jardines de Odila Jorge Adum 1-104 y Manuel Sánchez		
EMAIL:	djcevallosv@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0967140033

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO DE UN SISTEMA PROTECCIONES ATMOSFÉRICA SEGÚN LA NORMA NFPA 780 PARA EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
AUTOR (ES):	Cevallos Vallejos Darío Javier
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	15/11/2023
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	PhD. Gerardo Isafas Collaguazo Galeano.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 16 días del mes de noviembre de 2023

EL AUTOR:

(Firma) 

Nombre: Cevallos Vallejos Darío Javier

CERTIFICACIÓN

Ibarra, 16 de noviembre de 2023

Ing. Gerardo Collaguazo, PhD
DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: **“DISEÑO DE UN SISTEMA PROTECCIONES ATMOSFERICA SEGÚN LA NORMA NFPA 780 PARA EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS”**, que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Dario Javier Cevallos Vallejos, bajo mi supervisión. Es todo cuanto puedo certificar en honora la verdad.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'G. Collaguazo', is written over a horizontal dotted line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Ing. Gerardo Collaguazo, PhD
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Dedicatoria

Este trabajo de grado va dedicado principalmente a Dios, por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta, a mis padres me impulsan a ser mejor cada día y me ayudan a levantarme en cada caída, a mi esposa por no soltar mi mano en todo este camino, a mis hijos para que cada una de mis metas alcanzadas les quede como ejemplo, a mis hermanos, por brindarme su apoyo moral. También se la dedico a mi abuelita, desde el cielo eres esa luz que me daba fuerzas para continuar, y finalmente, a los que creyeron en mí, con su actitud lograron que tomará más impulso.

Javier Cevallos

CONTENIDO

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1. Protección contra descargas atmosféricas.....	16
1.1.1. Origen de las descargas atmosféricas.....	16
1.1.2. Objetivos de un sistema de protección contra descargas atmosféricas	17
1.2. Rayos.....	18
1.2.1. Consecuencias de la corriente del rayo	19
1.2.2. Descargas de rayo ascendentes.....	21
1.2.3. Descargas de rayo descendentes.....	21
1.2.4. Valor cresta de la corriente del rayo.....	22
1.3. Pararrayos	23
1.3.1. Necesidad de los pararrayos.....	23
1.3.2. Tipos de pararrayos.....	23
1.3.3. Pararrayos CTS	26
1.3.4. Pararrayos reticulares o de jaula de Faraday.....	26
1.4. Sistemas de puesta a tierra	27
1.4.1. Objetivo de un Sistema de Puesta a tierra.....	27
1.4.2. Medida de la resistividad del terreno	28
1.4.3. Principio de Medición de un sistema de puesta a tierra.	28
1.4.4. Técnicas de puesta a tierra	28

CAPÍTULO 2

Parámetros y condiciones del diseño de un sistema protecciones contra descargas atmosféricas considerando la norma NFPA 780

2.1. Introducción	31
2.2. Metodología del diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas.....	31
2.2.1. Datos estructurales del edificio.....	33
2.3. Estudio de riesgo de descarga atmosférica	34
2.3.1. Potenciales descargas sobre el edificio en un año	35
2.3.2. Tolerancia en un año de la densidad de descargas.....	39
2.4. Diseño de un sistema de protecciones eléctricas contra descargas atmosféricas externas, según la norma NFPA 780.....	41
2.4.1. Selección del material según la altura del edificio.....	42
2.4.2. Puntas captadoras	43
2.4.3. Conductores, conectores y sujetadores	48

2.4.4 Puesta a tierra.....	51
2.5. Especificaciones del diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas	¡Error! Marcador no definido.

CAPÍTULO 3

Propuesta del sistema de pararrayos

3.1. Materiales	54
3.2. Diseño de puntas captoras	54
3.3. Sistema de captación.....	56
3.4. Método de la esfera rodante	57
3.5. Aplicación del método de la esfera rodante y distancias mínimas	59
3.6. Red Conductora	63
3.6.1. Conductores	64
3.6.2. Cables de bajada.....	65
3.7. Pernos, elementos de sujeción y conectores	66
3.8. Sistema de puesta a tierra	67
3.9. Resistencia del suelo	68
3.10. Sistema de control del rayo	69
3.11. Cantidad de material	70
3.12. Valorización del diseño	71
Referencias bibliográficas	75
Anexos.....	82

Índice de Figuras

Figura 1. Categorías de los rayos	19
Figura 2. Disrupción dieléctrica (Izquierda) propagación (Derecha)	22
Figura 3. Pararrayos Auto valvulares.....	23
Figura 4. Pararrayos Auto valvulares en sistemas de transformación	24
Figura 5. Pararrayo con dispositivo de cebado electrónico	25
Figura 6. Pararrayo con dispositivo de cebado Piezoeléctrico	25
Figura 7. Pararrayos CTS.....	26
Figura 8. Instalación de Jaula de Faraday en edificio.....	26
Figura 9. Método de las 3 puntas.....	29
Figura 10. Método de caída potencial	30
Figura 11. Sistema de protección contra descargas atmosféricas – Norma NFPA 780.....	32
Figura 12. Techos de la FICA.....	34
Figura 13. Estructuras alrededor del edificio de la FICA	34
Figura 14. Riesgo de descargas atmosféricas.....	35
Figura 15. Proceso para encontrar el número de descargas en la posición del edificio.....	36
Figura 16. Mapa cerámico del Ecuador	36
Figura 17. Área colectiva equivalente	37
Figura 18. Área equivalente	38
Figura 19. Área equivalente	38
Figura 20. Proceso para calcular el número tolerable de descargas	39
Figura 21. Diagrama de flujo para la selección del sistema de protección contra descargas atmosféricas.....	41
Figura 22. Diagrama de flujo para la selección del sistema de protección contra descargas atmosféricas.....	44
Figura 23. Disposición de puntas captoras en la FICA.....	44
Figura 24. Distribución de puntas captoras para techos comunes.....	45
Figura 25. Techos con perímetro irregular	46
Figura 26. Puntas captoras en techos planos.....	47
Figura 27. Distancia mínima de una sola punta captora	48
Figura 28. Distribución de cables bajantes	49
Figura 29. Conector tipo T entre cable de punta captadora y conductor principal.	50
Figura 30. Sistema TT.	52
Figura 31. Sistemas IT.....	52
Figura 32. Sistema TN-S	53
Figura 33. Sistema TN-C.....	53
Figura 34. Sistema TN-C-S	53

Figura 35. Punta Captora	55
Figura 36. Diseño soporte horizontal puntas captoras	55
Figura 37. Soporte de cobre	56
Figura 38. Método de la esfera rodante	57
Figura 39. Distancia de penetración de la esfera rodante	58
Figura 40. Aplicación del método de la esfera rodante	59
Figura 41. Detalle de la aplicación del método de la esfera rodante	60
Figura 42. Diseño de puntas captoras	60
Figura 43. Trazo del conductor de la malla del pararrayos	61
Figura 44. Ángulos de protección α en función de la altura h y del nivel de protección del edificio	62
Figura 45. Cableado, vista frontal del edificio	63
Figura 46. Cableado, vista posterior del edificio	64
Figura 47. Abrazadera con tirafondo	66
Figura 48. Abrazadera de dos orejas	66
Figura 49. Conector en T	67
Figura 50. Medición con telurómetro	68
Figura 51. CDR-HS	69
Figura 52. CDR-11	69
Figura 53. CDR UNIVERSAL	69

Índice de tablas

Tabla 1. Valores de k en función de m para el método de la peniente	38
Tabla 2. Factor de locación	40
Tabla 3. Coeficiente de construcción	40
Tabla 4. Coeficiente de contenido de la estructura.....	40
Tabla 5. Coeficiente de ocupación de la estructura.....	41
Tabla 6. Coeficiente de consecuencia de descargas sobre la estructura	42
Tabla 7. Requisitos mínimos de los materiales Clase I	43
Tabla 8. Tabla 8. Requisitos mínimos de materiales Clase II.....	59
Tabla 9. Método de protección SPCR	61
Tabla 10. Protecciones eléctricas.....	62
Tabla 11. Descripción técnica Manguito “T”	67
Tabla 12. Lista de materiales	70
Tabla 13. Valoración del diseño	70

Resumen

Los rayos y las protecciones atmosféricas son temas poco tratados en el Ecuador debido a que no es usual enfrentar numerosas descargas atmosféricas en el año, pero con el tiempo esto va cambiando y existen muchos problemas a la llegada del fenómeno del niño a las costas ecuatorianas, siendo vital tener ejemplos de sistemas de protección a edificaciones. El objetivo principal del estudio es diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas mediante la aplicación de la norma NFPA 780 en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas en la Universidad Técnica del Norte. Primero, se describe los elementos de un sistema de protección a edificaciones contra descargas eléctricas, para tener clara los parámetros y condiciones del diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas según la norma NFPA 780. Posteriormente, se diseña el sistema de pararrayos acorde a lo que indica la norma antes mencionada que detalla: terminales aéreos, conductores de descenso, terminales de puesta a tierra y conductores de conexión al suelo. La propuesta especifica datos e información recaudada en la visita técnica a las instalaciones del lugar de estudio, parámetros que puede ser replicados en otras instalaciones. El trabajo incluye cantidad de material a utilizar en el diseño, la cuantificación por unidad de cada insumo, el método de protección de la esfera rodante por las características del edificio y la valorización actualizada ante la cantidad establecida del material. Según el diseño planteado da seguridad a la estructura bienes, personas que rodean ante una tormenta eléctrica, la inversión es necesaria para precautelar el bienestar humano y económico de la entidad.

Palabras clave: descargas atmosféricas, terminales aéreos, método esfera rodante, sistema puesta a tierra, norma NFPA 780.

Abstract

Lightning and atmospheric protection are topics that are little treated in Ecuador because it is not usual to face numerous atmospheric discharges during the year, but with time this is changing and there are many problems with the arrival of the El Niño phenomenon to the Ecuadorian coasts, being vital to have examples of protection systems for buildings. The main objective of the study is to design a protection system against atmospheric discharges through the application of the NFPA 780 standard in the building of the Faculty of Engineering in Applied Sciences at the Universidad Técnica del Norte. First, the elements of a building lightning protection system are described, to have a clear understanding of the parameters and conditions for the design of a lightning protection system according to NFPA 780. Subsequently, the lightning protection system is designed according to the standard, which details: aerial terminals, down conductors, grounding terminals and grounding conductors. The proposal specifies data and information collected during the technical visit to the study site facilities, parameters that can be replicated in other facilities. The work includes the amount of material to be used in the design, the quantification per unit of each input, the method of protection of the rolling sphere for the characteristics of the building and the updated valuation before the established amount of material. The lightning of a thunderstorm is dangerous for the structure, goods, people who surround and are in the building, the investment is necessary to safeguard the human and economic well-being of the entity.

Keywords: atmospheric discharges, air terminals, rolling sphere method, grounding system, NFPA 780 Standard.

Introducción

Contextualización

Las descargas atmosféricas más comúnmente conocidas como rayos son eventos naturales de impacto en la tierra, desencadenando altas perturbaciones electromagnéticas afectando al desempeño de los sistemas eléctricos en todo el mundo, sobre los cuales el hombre no tiene ninguna potestad y representan un factor que pone en riesgo la seguridad de los seres vivos y el adecuado funcionamiento de los dispositivos y equipos eléctricos y electrónicos.

Los rayos se presentan con un efecto en cascada, en donde los átomos son ionizados cuando el medio es sometido a un campo eléctrico suficientemente elevado, influenciados principalmente por la presión, temperatura y humedad. Este efecto capaz de acelerar los electrones libres al nivel de energía necesario para causar ionización por impacto. Nuestro planeta ha sufrido de constantes descargas atmosféricas y existen varias teorías en las que algunos factores climáticos influyen; por lo que se puede deducir que para que existan dichos fenómenos los principales elementos atmosféricos son las precipitaciones, los vientos, la temperatura, la humedad y la presión. (Zurita, 2020)

Ecuador es un país ubicado al noroccidente de Sudamérica, tanto la división de norte a sur de la cordillera de los Andes como la influencia del mar hacen que Ecuador sea un país climatológicamente variado con dos tipos de estaciones húmeda y seca. Dichas condiciones son propicias para descargas atmosféricas ascendentes que generan un peligro inminente para las instalaciones eléctricas, equipos y/o sistemas eléctricos y electrónicos. Por todo ello la National Fire Protection Association (NFPA) en su edición 780 establece la norma para la instalación de sistemas de protección contra rayos.

La NFPA en el año de 1904 adoptó por primera vez las especificaciones para la protección de edificios contra el rayo, por lo cual es la normativa más apta en cuanto al diseño y el análisis para la implementación de protecciones eléctricas orientadas a las descargas atmosféricas en edificaciones. (Bossana, 2018)

El origen del problema yace que según Álvarez (2020) desde enero del 2019 hasta noviembre del 2019, a comparación del 2018; las descargas atmosféricas en el Ecuador se han visto en aumento. Esta actividad natural en aumento indica que es indispensable proteger todo tipo de edificaciones mediante la instalación de pararrayos. Runde (2020) afirma que el rayo al ser un pulso electromagnético masivo con una elevada corriente al descargarse en las personas destruye la piel y los tejidos internos poniendo en riesgo la vida de quienes estén en la edificación.

Según Bravo (2018) el pararrayos de puntas convencionales tipo Franklin es uno de los más recomendables, ya que su principal función es la de canalizar hacia la tierra la descarga ascendente; a diferencia de los pararrayos ionizantes o no convencionales.

Planteamiento del problema

Ecuador es un país ubicado al noroccidente de Sudamérica, y según Cedeño & Donoso (2018) tanto la división de norte a sur de la cordillera de los Andes, como la influencia del mar hacen que Ecuador sea un país climatológicamente variado con dos tipos de estaciones húmeda y seca. El Ecuador está en una zona de riesgo ante constantes cambios de temperatura, por la llegada de los fenómenos del niño y la niña; estas circunstancias contribuyen a crear descargas eléctricas atmosféricas.

Las tormentas eléctricas traen consigo riesgos en los cuales cuyo impacto puede causar daños graves a la vida humana, edificios, casas y aparatos eléctricos. VERDUGO GONZÁLEZ (2017) menciona que el nivel ceráuneo en el Ecuador posee una cifra significativa, ya que estas varían de 20 a 120 días con descargas eléctricas al año; y que aproximadamente en Ecuador mueren 5 personas al año.

Pregunta de investigación

¿Cómo diseñar un sistema de protecciones atmosféricas según la norma NFPA 780 para el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas?

Justificación

No hay duda acerca de la amenaza y/o peligro que implican los rayos y sus efectos asociados a lesiones o pérdida de la vida, daños, destrucción a propiedades, pérdidas significativas de tiempo y dinero, por salidas de operación de maquinaria o sistemas eléctricos que terminan en a daños en los equipos; por ende el presente trabajo de investigación sobre el diseño de la propuesta de un sistema de protecciones atmosféricas fiable en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) en la Universidad Técnica Del Norte se justifica, tanto en la inexistencia de algún sistema de protección contra descargas atmosféricas, como en el potencial riesgo que puede ir desde pérdidas materiales hasta humanas.

Otro punto favorable que trae consigo esta investigación es que se usara una de las normas más con mayor enfoque, ya que según Arguello (2020), la Norma NFPA 780 en su edición más actual proporciona protocolos de seguridad aplicables, para peligros de rayos basados en las instalaciones y equipos más comunes en un edificio.

En nuestro campus, el diseño y la aplicación de protecciones contra descargas atmosféricas ha sido un tema poco investigado; por lo que este estudio propone mejoras y proteger tanto a los equipos como a las personas.

Alcance

Para la ejecución del proyecto se iniciará con una descripción de los elementos del sistema de protección contra descargas atmosféricas, realizándose un análisis de la tecnología existente en el mercado en función de las diferentes edificaciones y norma NFPA 780.

En la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte, deben identificarse primero todos estos componentes arquitectónicos, estructurales y climáticos, mediante un análisis del edificio. La información recolectada será vital para plantear parámetros y condiciones para el diseño estructural del sistema de protecciones atmosféricas.

Realizado el diseño del sistema de protección para el edificio en causa, se presentarán los planos, el material, la disposición de la malla captadora, el sistema de descarga a tierra y un análisis económico (presupuesto) si se implementa el proyecto base.

Objetivo General

Diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas mediante la aplicación de la norma NFPA 780 en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, para la protección de la estructura del edificio.

Objetivos Específicos

1. Describir los elementos de los sistemas de protección de edificaciones contra descargas atmosféricas.
2. Determinar los parámetros y condiciones del diseño de un sistema protecciones contra descargas atmosféricas considerando la norma NFPA 780.
3. Diseñar un sistema de protecciones eléctricas contra descargas atmosféricas externas, según la norma NFPA 780 para el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

En este capítulo describiré los elementos de los sistemas de protección de edificaciones contra descargas atmosféricas, siendo fundamentos teóricos necesarios para desarrollar adecuadamente esta investigación.

1.1. Protección contra descargas atmosféricas

Swiss Re (2019), menciona en una de sus publicaciones que alrededor del año se producen 16 millones de tormentas eléctricas en todo el mundo, llevando consigo daños costosos; es indispensable encontrarse preparado para dimensionar un sistema de protección que blindar tanto a sus ocupantes como a los bienes materiales de cualquier descarga eléctrica.

Grupo Educacional Heinrich (2019), afirma que las tempestades o tormentas eléctricas se han elevado en el siglo XX debido al cambio climático; ya que se ha podido registrar un incremento de la temperatura en 0.5°C ; y que incluso llegarán a ser más comunes, ya que se estima que, por cada grado de aumento de temperatura, aumente de un 10% al 20% el número de relámpagos en el planeta.

1.1.1. Origen de las descargas atmosféricas

Como se pudo apreciar en el anterior párrafo, los factores propicios que permiten este tipo de descargas eléctricas atmosféricas son muchos y pueden ser causadas a partir de erupciones volcánicas, incendios forestales extremadamente intensos, tormentas de nieve o, incluso, tormentas de polvo. Sin embargo, la mayoría de estos fenómenos se producen en las nubes conocidas como nubes de tormenta (cumulonimbus). Las descargas pueden ocurrir de nube a nube o de nube a tierra. Éstas últimas son a las que nos referiremos por ser las que provocan daños en tierra. (Geociencia SURA, 2019)

Las nubes suelen estar cargadas negativamente en su base y positivamente en su parte superior; ya que las piedras de granizo adquieren carga negativa y los cristales de hielo positiva. A su vez dentro de la nube existen ciertas corrientes de aire (corriente convectiva), que se encargan separar los ligeros cristales de hielo de las piedras de granizo. (Luque, 2019)

La carga negativa en la parte baja de la nube induce carga positiva en la superficie de la tierra; resultando así la superficie positivamente cargada. Ésta diferencia de potencial va a crear el descenso de una guía escalonada de electrones, en un flujo invisible a simple vista

que va abriéndose camino a través del aire en dirección a la superficie de la Tierra; hasta llegar a un punto de no retorno en el cual se rompe la rigidez dieléctrica del aire produciéndose el rayo. Cabe mencionar que este flujo eléctrico no baja de modo directo sino de manera escalonada, descendiendo unas decenas de metros y deteniéndose, para nuevamente bajar otras decenas de metros y detenerse nuevamente; repitiendo así el ciclo hasta llegar a la Tierra, por eso los rayos tienen la forma que conocemos. (Visacro, 2020)

Los hidrometeoros se mueven caóticamente al interior de la nube, colisionando entre sí, lo que hace que se carguen eléctricamente; en estas colisiones, las partículas más grandes se cargan negativamente y, por su tamaño, permanecen en la base de la nube debido a la fuerza de gravedad, mientras que las partículas más pequeñas se cargan positivamente y permanecen en las capas más altas de la nube. (Geociencia SURA, 2019)

El inicio de la descarga es invisible, en el que varios hilos piloto se acercan a la tierra, como ramificaciones. Cuando el camino cruzado por los pilotos queda ionizado, se inicia la descarga de retorno principal, originando las descargas visibles. En su trayectoria, las descargas atmosféricas transportan corrientes eléctricas que pueden llegar a 30.000 Amperios a valores máximos superiores a los 300.000 Amperios durante millonésimas de segundo con potenciales estimados en valores que sobrepasaban los 15 millones de voltios, desprendiendo una energía térmica superior a los 8.000 grados. (Flores Guerrero, 2019)

1.1.2. Objetivos de un sistema de protección contra descargas atmosféricas

Las descargas eléctricas atmosféricas (rayos) pueden llegar a impactar de forma directa o indirecta todo tipo de estructura, equipo, material o ser vivo. Los medios más comunes de transmisión indirecta según Geociencia SURA (2019) son:

- Conductores de acometidas del suministro de energía eléctrica.
- Conductores de línea telefónica.
- Conductores de suministro de internet.
- Conductores de televisión por cable.
- Estructuras metálicas
- Árboles

Los sistemas de protección contra rayos pretenden proteger edificios o estructuras contra incendios o daños mecánicos, y proteger a las personas que en ellos se encuentren, de lesiones o de la muerte, por descargas de rayos. Las funciones de la protección externa están orientadas a recibir, conducir y dispersar en el terreno la corriente del rayo de manera fiable y segura. Por ejemplo, Gobierno de España – Contratación (2022), indica que las

medidas a adoptar en dicha protección externa han de estar formadas por las siguientes partes:

- Instalación captadora, para recibir el impacto del rayo.
- Instalación derivadora; para conducir, con seguridad, la corriente del rayo a tierra.
- Instalación de puesta a tierra; para dispersar la corriente del rayo en el terreno.
- Distancia de separación, para evitar la formación de saltos de chipas incontrolados ante el paso de corriente de rayo por los elementos que conforman la protección externa y que pueda afectar a la estructura del edificio.

1.2. Rayos

Los rayos son descargas eléctricas de gran intensidad, que se producen en poco tiempo. Donaire & Gago (2018), explica que “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, lo que se conoce como onda bipolar”.

Granados (2019), indica que generalmente existen cuatro tipos de rayo entre nube y tierra: descargas negativas, descargas positivas, descargas nube – tierra, descargas tierra – nube.

Entre los diferentes efectos que pueden provocar los rayos, se puede citar algunos como los efectos térmicos, fisiológicos, electrodinámicos, electroquímicos, etc. INGESCO LIGHTNING SOLUTIONS (2022), indica que debido a su importancia se destacan los térmicos y los fisiológicos que son:

- Los efectos térmicos son debidos a la alta temperatura que alcanza el canal por donde circula la corriente de un rayo, pudiendo llegar a ser esta de hasta 20.000° C, lo que ocasiona grandes daños cuando dicha descarga eléctrica alcanza por ejemplo un árbol o bien impacta sobre una estructura.
- Los efectos fisiológicos afectan a los seres vivos sobre todo por las tensiones de paso y contacto que aparecen al producirse la descarga del rayo a tierra. Para combatir y mitigar estos efectos, las normativas de protección contra el rayo establecen medidas de seguridad para las personas y los animales.

Un rayo puede ser visto como una fuente de corriente que puede tener polaridad positiva, negativa o ambas en una misma descarga, lo que se conoce como onda bipolar. En

general, se han identificado cuatro tipos de rayo entre nube y tierra. Las descargas negativas forman el 90 % de las descargas que caen a tierra a lo largo de todo el planeta; menos del 10 % de las descargas son positivas. También existen descargas iniciadas desde tierra a la nube, pero son relativamente raras y suelen ocurrir en zonas de gran altitud, desde los picos de las montañas o desde altas estructuras construidas por el hombre. Un aspecto adicional a considerar es la distorsión que la presencia de objetos altos puede provocar en los parámetros de un rayo respecto al que se originaría en terreno plano. (Velasco, Soler, et. al., 2019)

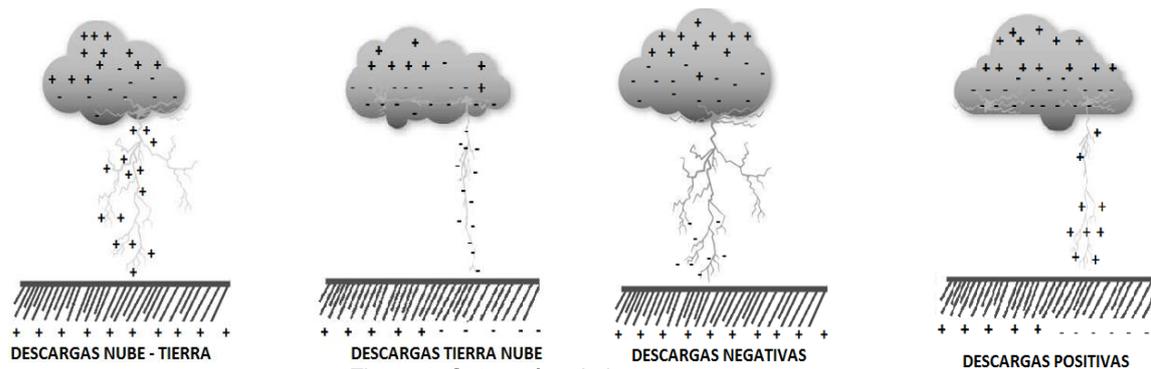


Figura 1. Categorías de los rayos

Fuente: (Romero & Melo, 2021)

El proceso completo de un rayo. En una primera fase el canal se propaga desde la nube hasta tierra en una serie de pasos discretos. El canal se inició en el interior de la nube a partir de un proceso preliminar de ruptura dieléctrica, aunque no existe un acuerdo sobre la forma exacta y localización del proceso. El canal se propaga a una velocidad media de aproximadamente $2 \cdot 10^5$ m/s. La corriente media del canal se encuentra entre 100 y 1000 A. Mientras la punta del canal se acerca a tierra, el campo eléctrico en objetos puntiagudos de tierra o en irregularidades de la superficie aumenta hasta que ocurre la ruptura dieléctrica del aire. En ese momento se inician descargas desde esos puntos hasta que contactan con el canal. Una vez el canal contactado con tierra, comienza a descargarse con una onda ionizante que se propaga hacia la nube por el canal ionizado. Este proceso se conoce como primera descarga de retorno. La velocidad de la corriente de retorno del rayo típicamente toma valores de 1/3 a 1/2 de la velocidad de la luz en el vacío, y decrece con la altura. (Velasco, Soler, et. al., 2019)

1.2.1. Consecuencias de la corriente del rayo

Las descargas atmosféricas pueden ser de mucho daño tanto en las instalaciones domiciliarias como en industriales. Blanco & Franklin (2018), indican que hay cinco diferentes

efectos secundarios que acompañan a un relámpago y pueden ser: pulsos electromagnéticos o electrostáticos, corrientes transitorias de Tierra, cargas electrostáticas o sobretensiones.

- **Pulsos Electromagnéticos (EMP)**

Son campos electromagnéticos transitorios que se forman por el flujo de corriente. Estos pulsos poseen un gran poder destructivo en equipos electrónicos. Dentro de sus experimentos comprobó que un solo pulso de alta intensidad a una altura aproximada de 300km puede dejar sin operación a todos los equipos electrónicos. Y a su vez concluye que el sistema de protección a tierra basado en la Jaula de Faraday puede evitar daños en los equipos y sistemas electrónicos. (Mendieta, 2009)

- **Pulsos Electrostáticos**

Los pulsos electrostáticos son el resultado directo de la variación del campo electrostático que acompaña a una tormenta eléctrica. Por ello, cualquier conductor suspendido sobre la superficie de la tierra está inmerso en un campo electrostático y se cargará con un potencial en relación a su altura. Por ejemplo, una línea de distribución o telefónica aérea, a una altura promedio de 10 metros sobre la tierra, en un campo electrostático medio, durante una tormenta eléctrica, se cargará con un potencial de entre 100 kV y 300 kV con respecto a la tierra. (Franklin & Blanco, 2018)

- **Corrientes Transitorias de Tierra**

Las corrientes transitorias de Tierra se producen por la inyección abrupta y elevada de corriente de muy corta duración. Este tipo de afectación provoca daños en los equipos conectados a la red eléctrica o un envejecimiento prematuro. (Merla, 2021)

- **Carga Electrostática**

La carga eléctrica es una magnitud fundamental de la física, responsable de la interacción electromagnética, causada por un desequilibrio de los electrones y protones presentes en la superficie de un material. Este desequilibrio electrónico tiene como consecuencia la creación un campo eléctrico medible. (Grupo Educativo Heinrich, 2019)

- **Sobretensiones**

Son debidas a una descarga atmosférica, tienen una duración muy corta y una amplitud que puede ser varias veces la tensión de pico nominal. No existe una frontera muy clara entre un tipo y otro de sobretensión; por ejemplo, una sobretensión originada por un cortocircuito es de tipo temporal, pero transitoriamente puede ser calificada como sobretensión de maniobra. Por otra parte, la severidad que puede alcanzar cualquier sobretensión depende del tipo y, sobre todo, del nivel de tensión de la red; en redes de tensión nominal inferior a 400 kV las sobretensiones debidas al rayo son más peligrosas que las

debidas a otra causa, mientras que por encima de 400 kV las sobretensiones de maniobra suelen ser las más peligrosas. (Runde, 2020)

1.2.2. Descargas de rayo ascendentes

Gerin (2019), explica que se produce la descarga ascendente cuando el rayo se dirige de la nube al suelo. Este tipo de rayo es muy frecuente en climas cálidos y donde el terreno es muy llano.

1.2.3. Descargas de rayo descendentes

Las descargas descendentes ocurren cuando el rayo se dirige desde el suelo hasta la nube. Este tipo de rayo, mucho más destructivo que el ascendente; se crea, especialmente, en lugares montañosos o donde existen prominencias importantes. Los rayos ascendentes, la intensidad de campo eléctrico no se alcanza en la nube, sino que se origina por la dispersión del campo entre el objeto expuesto y la Intensidad del campo de sus alrededores más cercanos. (Gerin, 2019)

Arcioni & Giménez (2019), indican que las descargas de rayo descendentes tienen cuatro fases y son:

- En la primera fase o fase cuasi estática, se crean campos eléctricos en la parte baja de la nube que excitan eléctricamente cualquier objeto que se encuentre sobre la superficie del suelo; pudiendo estos emitir el efecto corona, según sean sus alturas y formas geométricas.
- En la segunda fase o fase del proceso existe un acercamiento a través de una descarga descendente filamentosa desde la nube hacia el suelo a velocidades medias del orden de 0,1 metro por microsegundo ($0,1 \text{ m}/\mu\text{s}$) pero con pausas de veinte a cincuenta metros por microsegundo. Este efecto causa un aumento exponencial de la intensidad del campo eléctrico.
- En la tercera fase o fase de disrupción dieléctrica el campo eléctrico ambiental alcanza el valor crítico necesario para crear avalanchas iónicas y/o electrónicas en el aire que se originan a partir de un efecto corona en la punta del pararrayos o de cualquier otro cuerpo u objeto de la tierra.
- La cuarta fase o fase de propagación como su nombre lo indica es el instante donde se propaga continuamente el trazador de forma ascendente desde el presunto punto de impacto hacia la nube.

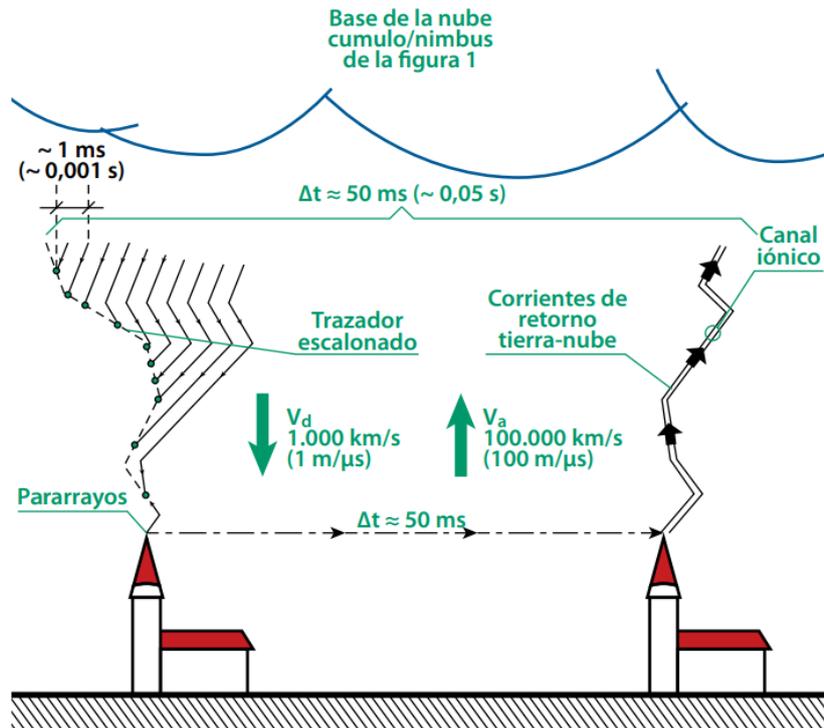


Figura 2. Disrupción dieléctrica (Izquierda) propagación (Derecha)

Fuente: (Arcioni & Giménez, 2019)

1.2.4. Valor cresta de la corriente del rayo

Arcioni & Giménez (2019), explican que las corrientes de un rayo son corrientes independientes de la carga, por lo que una descarga atmosférica podría considerarse como una fuente casi ideal de corriente. Sin embargo, si la corriente de rayo llega a penetrar por un solo punto en algún tipo de superficie; se generaría el efecto cónico y dispondría de un área conocida como gradiente de potencial. En esta área se origina una tensión de paso que puede causar una corriente de choque en los cuerpos si hay seres vivos en él.

Cuando un rayo cae sobre un pararrayos, la corriente fluye por los conductores instalados en la toma de tierra del edificio dando lugar a una caída de tensión en la resistencia de la puesta a tierra, por lo tanto, todas las partes conductoras eléctricas deben estar elevadas al mismo potencial para que las personas que entren en contacto con ellas no tengan riesgo de sufrir una descarga eléctrica, ya sea de los elementos conductores existentes en el edificio o que acceden a él. (Flores Guerrero, 2019)

1.3. Pararrayos

Un pararrayo es un dispositivo cuyo objetivo es de proteger tanto redes de Alta Tensión, como estructuras contra sobretensiones eléctricas de origen atmosférico.

1.3.1. Necesidad de los pararrayos

Como se ha apreciado en esta investigación, el rayo es un fenómeno meteorológico que causa graves daños por efectos eléctricos y térmicos cuando se descarga energía. La NFPA Standards menciona: “Un sistema de protección contra rayos tiene como finalidad proteger a las personas y los bienes de los peligros derivados tanto de la exposición al rayo como contra eventuales riesgos de incendio” (NFPA Standards, 2020, p. 3).

1.3.2. Tipos de pararrayos

1.3.2.1. Pararrayos Auto valvulares

Bravo (2018), afirma que los pararrayos auto valvulares generalmente se los puede ubicar como dispositivos destinados a descargar las sobré tensiones producidas por descargas atmosféricas o maniobras. Que si no son despejadas adecuadamente se descargarían sobre los aisladores pudiendo perforar el aislamiento de un equipo o destruir instalaciones que dejan sin energía a viviendas, industrias y edificios comerciales.

La Figura 3 representa la implementación de un pararrayo auto valvular.



Figura 3. Pararrayos Auto valvulares.

Fuente: (Aei, 2023)

Los pararrayos auto valvulares usualmente se localizan instalados en la entrada de los centros de transformación a la intemperie para proteger al transformador de sobretensiones, como se observa en la Figura 4, entradas y salidas de subestaciones,

protegiendo transformadores de subestaciones, paso de una línea a subterránea, torres de tendido eléctrico, líneas aéreas de tracción para tranvías, trenes, etc.



Figura 4. Pararrayos Auto valvulares en sistemas de transformación

Fuente: (Aei, 2023)

1.3.2.2. Pararrayos tipo puntas captadoras

La norma NFPA Standards (2020), establece que “las puntas son ideales para la protección externa y se las fabrican en acero inoxidable AISI 316L o en cobre” (p. 12). Al ser más común las instalaciones de aire acondicionado, refrigeración, antenas, instalaciones de telefonía móvil, alumbrado o salidas de humo conectados al sistema eléctrico de baja tensión se demanda un aislamiento de la instalación mediante la punta captadora y derivadora. (Flores, 2019)

Estas varillas se conectan a la red de tierras. El método de los pararrayos es que, al existir descargas en la atmósfera, se les debe proporcionar un camino de muy baja impedancia para garantizar que, en caso de descarga, esta se vaya a tierra por las puntas y no por otros elementos donde pudieran ocurrir desgracias lamentables. (SOS Development S.A , 2021)

1.3.2.3. Pararrayos puntas simple Franklin (PSF)

También son conocidos como mástiles, son un sistema de protección para mitigar los riesgos y efectos negativos de las descargas atmosféricas. Lo que hace en sí es aprovechar la 50 ionización del medio, proporcionando una alta conductividad, además de su altura, lo que hace más probable que un rayo caiga sobre la punta y se descargue a tierra. Existen distintos tipos y materiales, como punta captadora de cobre, bronce o acero inoxidable, de punta roscada, ligera, punta para cuña, multipunto, punta tipo esfera, punto de descarga. (Zurita, 2020)

1.3.2.4. Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)

Flores Guerrero (2019), indica que “el pararrayos con dispositivo de cebado incorpora, ya sea un sistema electrónico o un sistema piezoeléctrico”, como se explica a continuación:

- Sistema electrónico o tipo ion corona solar: Este tipo de pararrayos genera iones de forma permanente, las cuales causan una mayor atracción a las descargas eléctricas atmosféricas. Su energía de funcionamiento usualmente procede de fotocélulas, modelo se muestra en la Figura 5.
- Sistema Piezoeléctrico: Su funcionamiento se basa en la capacidad de producir carga eléctrica a partir de los cambios en su estructura debido a presiones externas tales como las producidas por el viento durante las tormentas, modelo se muestra en la Figura 6.



Figura 5. Pararrayo con dispositivo de cebado electrónico

Fuente: (INGESCO, 2022)



Figura 6. Pararrayo con dispositivo de cebado Piezoeléctrico

Fuente: (Total Ground, 2022)

Este dispositivo tiene como finalidad, la de acelerar los tiempos en la captura del rayo, mediante la generación de excitaciones que de un avance teórico del trazador.

1.3.3. Pararrayos CTS

Los pararrayos con Sistema de transferencia de carga (CTS) basan su principio en la deionización del aire. El objetivo es evitar la saturación de carga electrostática entre la instalación de tierra y la atmósfera que nos rodea, busca compensar pacíficamente la diferencia de potencial eléctrico de la zona durante el primer proceso de la formación del rayo. (Poma, 2018)



Figura 7. Pararrayos CTS.

Fuente: (Kessler, 2020)

1.3.4. Pararrayos reticulares o de jaula de Faraday

La página (SOS Development S.A (2021), indica que este sistema por su alto grado de eficiencia es capaz de distribuir la corriente por toda la malla y de neutralizarla al conducirla por todas las diferentes puestas a tierra en caso de un impacto directo del rayo.

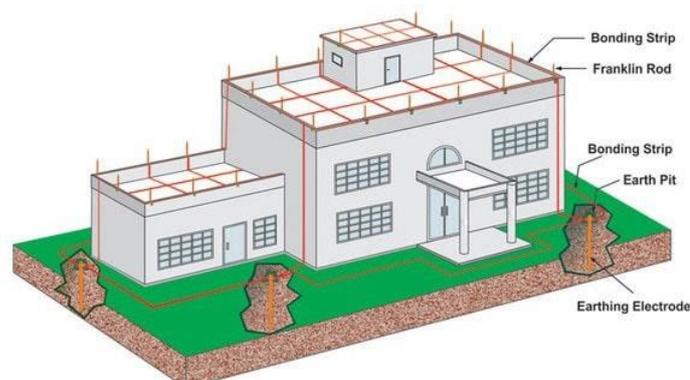


Figura 8. Instalación de Jaula de Faraday en edificio.

Fuente: (Para-rayos, 2021)

Este sistema, mejor conocido como Jaula de Faraday, se considera local, ya que garantizará la protección de inmueble y no de otras construcciones menores o espacios

abiertos en los alrededores del inmueble protegido. Para cada cuerpo es necesario recurrir al diseño de mallas adicionales para prever su protección. (SOS Development S.A , 2021)

Este tipo de pararrayos se lo recomienda en edificios y construcciones con un índice de riesgo muy elevado; ya que pueden protegerse mediante el sistema tradicional con puntas macizas de cobre colocadas en la periferia de las techumbres con sus consecuentes ligas intermedias cuando el área así lo requiera, realizando así una red conductora en forma de malla que protege todo el volumen de la instalación, de acuerdo a las especificaciones y recomendaciones de la norma NFPA 780. (NFPA Standards, 2020, p. 18)

1.4. Sistemas de puesta a tierra

A lo largo de la historia los sistemas eléctricos se han visto provistos por un sistema de puesta a tierra por lo que se han ido desarrollando mejores prácticas a lo largo de la historia; es un sistema que debe drenar al suelo la corriente de descarga atmosférica sin provocar sobretensiones peligrosas y proteger contra el rayo las de instalaciones eléctricas de baja tensión e instalaciones de comunicaciones, se considera hoy que la mejor solución es un único sistema integrado en la estructura y previsto a todos los fines. (García, 2018). Existe también el sistema de puesta a tierra tipos esfera normalmente utilizado para altas corrientes provenientes de fallas eléctricas o descargas atmosféricas.

1.4.1. Objetivo de un Sistema de Puesta a tierra

El objetivo primordial a considerar en los sistemas de puesta a tierra es la seguridad y, por lo tanto, debe ser diseñada normalmente para establecer conexiones equipotenciales. Construcciones SAS (2019), indica que un sistema de puesta a tierra se puede resumir en lo siguiente:

- Proporcionar una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación satisfactoria de las protecciones en condiciones de falla.
- Asegurar que los seres vivos presentes no queden expuestos a potenciales inseguros, en condiciones de falla.
- Permitir la conducción a tierra de cargas estáticas o descargas atmosféricas.
- Garantizar a niveles seguros los valores de la tensión a tierra de equipos o estructuras accidentalmente energizados.
- Limitar el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que circundan conductores o equipos eléctricos.

1.4.2. Medida de la resistividad del terreno

La resistividad de un suelo o terreno debe cuantificarse o medirse correctamente y la medida debe verificarse de la forma más precisa posible, ya que el valor de la resistencia a tierra del electrodo es proporcional a la resistividad del suelo. Por ende, si se usa un valor erróneo durante el diseño, la medida de impedancia del sistema de tierra puede resultar significativamente diferente de lo planificado. (FLUKE Corporation, 2017)

1.4.3. Principio de Medición de un sistema de puesta a tierra

Se han desarrollado muchos métodos para medir la resistencia de puesta a tierra, pero todos se basan en el mismo principio dentro de la medición de un sistema, se hace circular una corriente por el suelo desde el sistema de puesta a tierra hasta un electrodo de emisión, para después leer la distribución del voltaje sobre la superficie del terreno por medio de otro electrodo. (Sinchi, 2017)

FLUKE Corporation (2017), afirma que existen cuatro métodos de comprobación de la puesta a tierra disponibles:

- Resistividad del Suelo (Con picas)
- Caída de potencial (Con picas)
- Selectivo. (Pinza y picas)
- Sin picas (Pinza)

1.4.4. Técnicas de puesta a tierra

Un sistema aterrizado tiene al menos un conductor o varilla conectado a tierra; y porque la conexión a tierra busca reducir las fluctuaciones de voltaje y los desequilibrios que podrían darse de alguna forma. Sinchi (2017), afirma que existen diferentes técnicas según factores internos y externos, se detalla a continuación dichos procedimientos:

- Método de la triangulación o de los tres puntos
- Método de caída potencial
- Método de la relación

1.4.4.1. Método de la triangulación o de los tres puntos

Consiste en enterrar tres electrodos (A, B, X), se disponen en forma de triángulo, tal como se muestra en la Figura 9, y medir la resistencia combinada de cada par: X+A, X+B,

A+B, siendo X la resistencia de puesta a tierra buscada y A y B las resistencias de los otros dos electrodos conocidas.

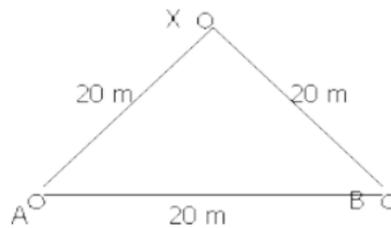


Figura 9. Método de las 3 puntas.

Fuente: (Fink, 2020)

Medina (2022), explica que las resistencias en serie de cada par de puntos de la puesta a tierra en el triángulo serán determinadas por la medida de voltaje y corriente a través de la resistencia. Así quedan determinadas las siguientes ecuaciones:

$$R_1 = X + A \tag{1}$$

$$R_2 = X + B \tag{2}$$

$$R_3 = A + B; \tag{3}$$

$$\text{De donde: } X = (R_1 + R_2 - R_3) / 2 \tag{4}$$

Este método es conveniente para medidas de resistencias de las bases de las torres, tierras aisladas con varilla o puesta a tierra de pequeñas instalaciones. No es conveniente para medidas de resistencia bajas como las de mallas de puesta a tierra de subestaciones grandes. El principal problema de este método es que A y B pueden ser demasiado grandes comparadas con X (A y B no pueden superar a 5X), resultando poco confiable el cálculo. (Medina, 2022)

1.4.4.2. Método de caída potencial

Es el método más empleado, los electrodos son dispuestos como lo muestra la Figura 10; E es el electrodo de tierra con resistencia desconocida; P y C son los electrodos auxiliares colocados a una distancia adecuada (). Una corriente (I) conocida se hace circular a través de la tierra, entrando por el electrodo E y saliendo por el electrodo C. La medida de potencial entre los electrodos E y P se toma como el voltaje V para hallar la resistencia desconocida por medio de la relación V/I. La resistencia de los electrodos auxiliares se desprecia, porque

la resistencia del electrodo C no tiene determinación de la caída de potencial V . La corriente I una vez determinada se comporta como constante. (Medina, 2022)

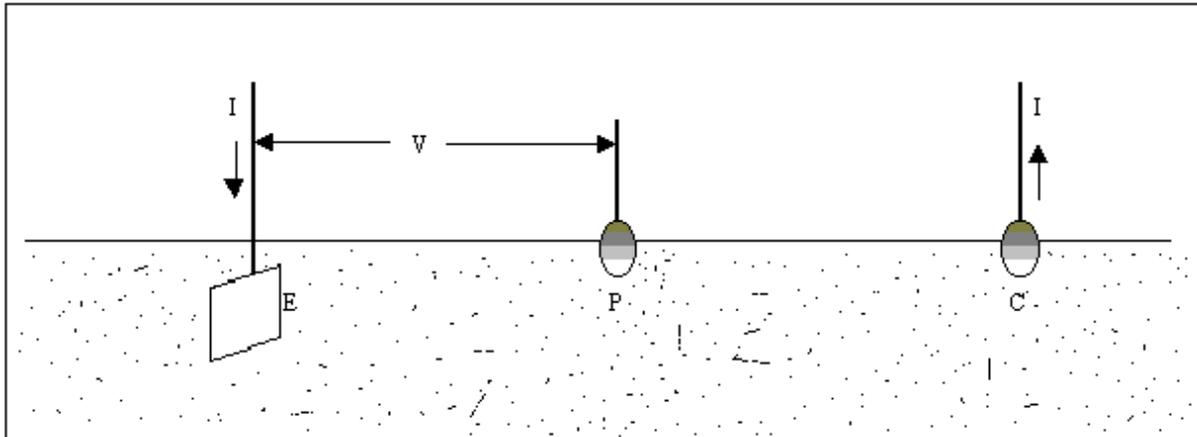


Figura 10. Método de caída potencial

Fuente: (Medina, 2022)

1.4.4.3. Método de la relación

“En este método la resistencia a medir es comparada con una resistencia conocida, comúnmente usando la misma configuración del electrodo como en el método de la caída de potencial” (Salazar, 2023). Puesto que este es un método de comparación, las resistencias son dependientes de la magnitud de corriente de prueba. La resistencia en serie R de la tierra bajo prueba y una punta de prueba se mide con un puente que opera bajo el principio de balance a cero. (Medina, 2022)

CAPÍTULO 2

Parámetros y condiciones del diseño de un sistema protecciones contra descargas atmosféricas considerando la norma NFPA 780

2.1. Introducción

El presente estudio, estableció condiciones de un modelo de pararrayos aplicando la Norma NFPA 780, con lo que fue necesario tener claro aspectos como: datos estructurales del edificio, estudio de riesgo de descargas atmosféricas e indagar los parámetros correctos en el diseño de un sistema la protección contra las descargas atmosféricas para el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte.

El inmueble objeto de estudio, es uno de sus edificios que se encuentra en el ala norte de las instalaciones, junto a la biblioteca del campus “El Olivo” de la Universidad; está ubicada en área urbana, provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquia El Sagrario, en la Av. 17 de julio 5-21 y General José María Córdova.

La investigación se enmarcó en el diseño del pararrayos como protección contra las descargas atmosféricas según las especificaciones de la estructura de esta edificación aplicando las Normas NFPA 780; por lo que fue importante conocer a profundidad las características específicas que comprende la estructura y organización de la edificación; por ejemplo, el tipo de construcción, el estado de sus instalaciones eléctricas, sistemas de protección, el tiempo transcurrido desde que fueron implementadas y concurrencia de personas en el lugar. Y otras características tendientes al desarrollo de este tema investigativo, que son, la cantidad de descargas atmosféricas a tierra, estaciones climáticas, etc.

2.2. Metodología del diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas

En la Figura 10 se detalla el proceso para el diseño óptimo de un sistema de protección contra descargas atmosféricas considerando la norma NFPA 780, ante diferentes condiciones climáticas que establecen factores de riesgo, ante los niveles cerámicos y niveles de descargas atmosféricas; como los factores de protección que incluyen zonas de protección contra rayos, efectividad de materiales y niveles de resistencia a tierra.



Figura 11. Sistema de protección contra descargas atmosféricas – Norma NFPA 780

El proceso inició al establecer los pasos y cuestionamientos para poder afrontar los dos procesos consiguientes, se consideró el responder correctamente y con fundamentos las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las dimensiones del edificio?
- ¿Existen elementos más altos alrededor de él?
- ¿De qué material es el techo y la estructura?
- ¿Es de gran valor y utilidad para su dueño o sus usuarios?
- ¿Posee material combustible en su interior?
- ¿Tiene importancia cultural o histórica?
- ¿Suele estar habitado por gente?
- ¿Sus usuarios están entrenados para una evacuación en caso de incendio?
- ¿Es primordial la continuidad de su servicio?
- Su destrucción ¿Traería fuertes consecuencias al medio ambiente?

Mientras se resolvían estas interrogantes del área en la que se desarrollará el proyecto, se pudo seguir con el siguiente paso de diseño.

El presente trabajo se desarrolló bajo el concepto de una investigación cualitativa, ya que se fundamentó en diferentes estudios relacionados con el tema, citando a libros, artículos, libros, tesis semejantes e informes de la normativa. Además, el estudio de campo sirvió para inspeccionar técnicamente y levantar la información de la edificación, con datos específicos de los equipos, sistemas aterrizados y estructura civil; evidencia de la falta de las directrices correctas, para un sistema de protección contra descargas atmosféricas que a futuro puede proteger la integridad de la estructura y salvaguardar la vida humana al interceptar, conducir y disipar la descarga eléctrica confiablemente a tierra.

Para la propuesta de diseño se tomó en cuenta aspectos que la norma NFPA 780 establece, en ciertos casos debería ser irrelevante el resultado de la evaluación de riesgos, ya que se consideró seriamente la necesidad de una protección contra descargas atmosféricas en ambientes donde concurren los siguientes factores:

- Afluencia de grandes multitudes
- Continuidad de servicios críticos
- Alta frecuencia de relámpagos
- Estructura aislada de gran altura
- Edificio que contiene materiales explosivos y/o inflamables

2.2.1. Datos estructurales del edificio

La Normas NFPA 780 establece la necesidad de instaurar el tipo de edificio en cuestión; por tal motivo, se identificó las dimensiones del edificio, materiales implementados durante su construcción, características de la azotea, antecedentes de la edificación y demás aspectos, mediante una visita técnica, constatando los datos en la secretaría de la Facultad.

El edificio de la Facultad de Ingenierías en Ciencias Aplicadas tiene las siguientes características:

- En el edificio transitan 1934 estudiantes, 89 docentes de la facultad, 11 administrativos y 3 auxiliares de servicios durante todos los días a excepción de los fines de semana.
- El edificio alberga 14 oficinas administrativas, 12 aulas, 11 laboratorios, 1 auditorio, 3 baños y 2 salas de profesores; todos equipados con aparatos electrónicos de un valor económico significativo. El tema monetario es importante, ya que en futuras instancias estas características serán importantes al momento de evaluar ciertos parámetros preestablecidos dentro de la norma NFPA 780.
- El edificio consta de 5 pisos, cada planta dispone de su respectiva señalización y vías de evacuación.
- El edificio no posee chimeneas o salientes de gases a altas temperaturas, tóxicos o altamente corrosivos.
- Con los planos arquitectónicos de la edificación se procedió a verificar los datos mediante la respectiva toma de medidas. Las dimensiones externas son: Altura ($H_{edificio}$) = 18m; Ancho ($W_{edificio}$) = 17.5m; Largo ($L_{edificio}$) = 38m.
- La azotea es de hormigón armado. Pero dicha zona tiene varios techos metálicos, como se aprecia en la Figura 11. Para el presente caso de estudio existe 4 tipos de techos con las siguientes características:

- a) Techo metálico a dos aguas.
- b) Techo metálico levemente inclinado a cuatro aguas.
- c) Techo de concreto plano
- d) Techo con pendiente a un agua.



Figura 12. Techos de la FICA

- La Facultad posee un elevador, el cual se encuentra diseñado para mover personas u objetos a los diferentes niveles del inmueble.
- El edificio está en el campus principal de la Universidad; como se aprecia en la Figura 12, la FICA está rodeada de árboles y de otros inmuebles, con la misma altura en un radio de 54 metros. Este dato es importante para establecer el coeficiente ambiental de la norma NFPA 780.



Figura 13. Estructuras alrededor del edificio de la FICA

2.3. Estudio de riesgo de descarga atmosférica

Donaire & Gago (2018), indican que “la mayoría de accidentes por rayos son prevenibles con el adecuado manejo para proteger al entorno de este fenómeno con la

búsqueda de la forma más eficiente de reducir los efectos y mitigar el impacto en tierra” (p.14). El riesgo de una descarga atmosférica es mayor entre las personas que trabajan, caminan o en general realizan sus actividades en el exterior durante una tormenta eléctrica.

El estudio de análisis de riesgo se encuentra en el Anexo L de la norma NFPA 780, versión 2020. En éste se detalla el proceso y directrices para ayudar al constructor o profesional de la seguridad ante daños o lesiones debido a los rayos. Antes de construir el sistema de pararrayos se debe considerar como primer paso, determinar el nivel de riesgo tomando en cuenta las instalaciones del proyecto. (NFPA 780, 2020, p. 81)

La Figura 13 muestra el proceso para saber si un Sistema de protección contra rayos es opcional o recomendado según la norma NFPA 780.

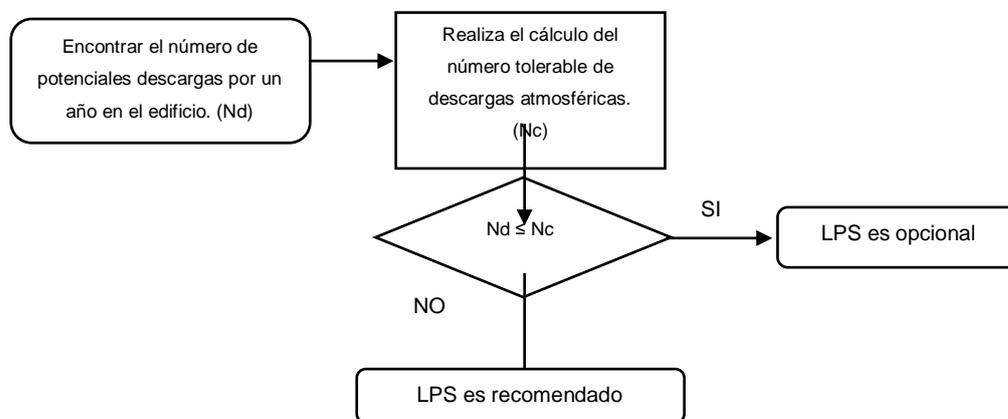


Figura 14. Riesgo de descargas atmosféricas.

2.3.1. Potenciales descargas sobre el edificio en un año

El potencial de descarga sobre el edificio en un año se determinó con la siguiente ecuación:

(5)

$$Nd = (Ng) * (Ae) * (C1) * (10^{-6}) = \text{eventos potenciales / año}$$

Donde:

- Nd: promedio de descargas al año, esto se hallará de la ecuación anterior.
- Ng: descargas en zonas geográficas por año, se obtiene del mapa isoceráunico.
- Ae: Área colectiva equivalente de la estructura, el cual se determinará más adelante en el presente capítulo.

- C1: Coeficiente del ambiente, se obtendrá en éste mismo capítulo más adelante.

A continuación, se detalla el proceso para calcular N_d y los subprocesos necesarios:

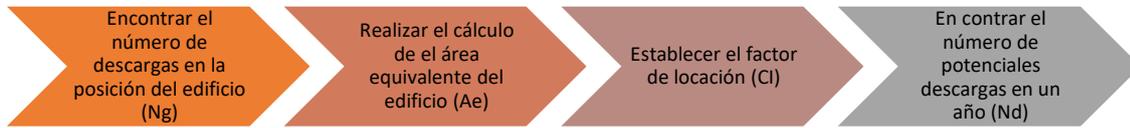


Figura 15. Proceso para encontrar el número de descargas en la posición del edificio

2.3.1.1. Número de descargas por año en la posición del edificio

El nivel isoceraúnico de un lugar es el número promedio de días del año en los que hay tormenta. Se considera día con tormenta a aquel en el que al menos se escucha un trueno. El nivel de riesgo de rayos está representado en el mapa ceráunico, por unas líneas de diferentes valores, estas líneas determinan geográficamente las zonas de más o menos riesgo de actividad de rayos. (“MAPA ISOCERAUNICO - Hidromet”) (Dirección de Hidrometeorología Gerencia de vigilancia y pronóstico meteorológico, 2021)

La Figura 15 presenta el mapa ceráunico del Ecuador:

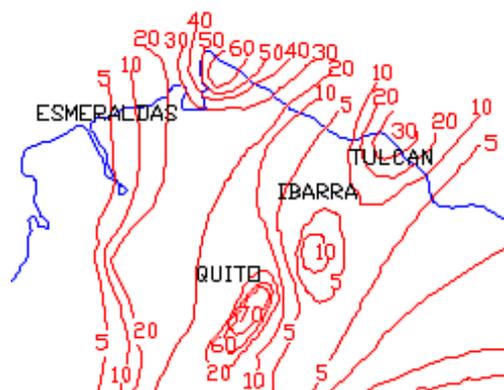


Figura 16. Mapa ceráunico del Ecuador

Fuente: Imbabura (MÉNDEZ, 2022)

No se debe confundir un mapa de densidad de descargas a tierra con un mapa ceráunico; ya que, si bien parten del mismo punto de análisis sus resultados son diferentes, usualmente un mapa ceráunico presenta valores más grandes en las líneas Isoceraúnicas que un mapa de densidad de descargas a tierra.

2.3.1.2. Área colectiva equivalente del edificio

Ayuda a conocer el área equivalente donde sería vulnerable el edificio si una descarga atmosférica cayera en el lugar. Éste paso se puede calcular de dos formas: gráfica y matemáticamente. (NFPA 780, 2020, p. 82)

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

L y W: lados laterales de una estructura es

H: altura del edificio

Aspectos que se tomó en cuenta en este método de cálculo son: la fórmula es para edificios rectangulares y el resultado estará en metros cuadrados si todas las variables son ingresadas en metros.

El área colectiva equivalente de captación del suelo de un edificio es la superficie obtenida al extender una línea con una pendiente de 1 a 3, desde la parte superior de la estructura hasta el suelo.

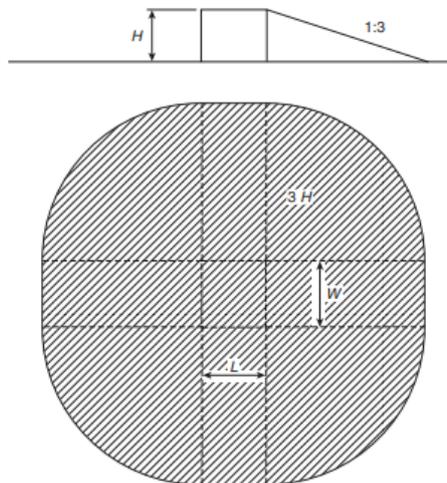


Figura 17. Área colectiva equivalente

Fuente: (NFPA 780, 2020, pág. 82)

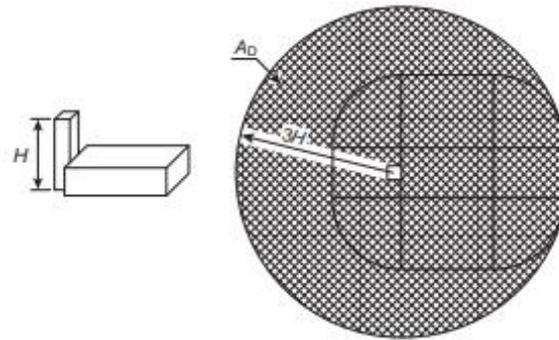


Figura 18. Área equivalente

Fuente: (NFPA 780, 2020, pág. 82)

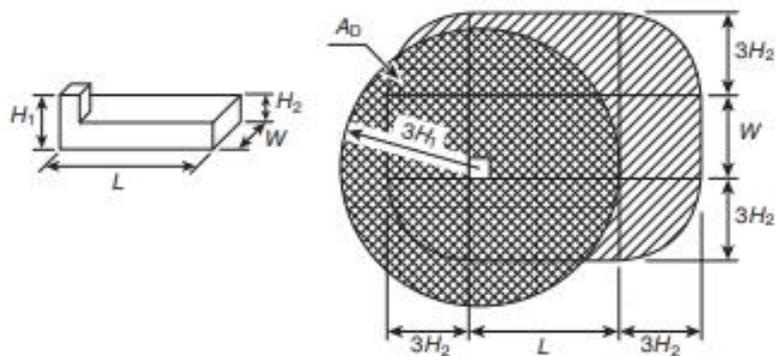


Figura 19. Área equivalente

Fuente: (NFPA 780, 2020, pág. 82)

2.3.1.3. Factor de locación

La Norma NFPA 780 (2020), establece las posiciones relativas de la estructura, para elegir el coeficiente según las características del edificio a proteger (p. 82), son:

Tabla 1.

Factor de locación

Ubicación relativa de la estructura	<i>C_d</i>
Estructura rodeada de estructuras más altas o árboles a una distancia de 3H	0.25
Estructura rodeada de estructuras de igual o menor altura dentro de una distancia de 3H	0.5
Estructura aislada, sin otras estructuras situadas dentro de una distancia de 3H	1
Estructura aislada en la cima de una colina	2

2.3.2. Tolerancia en un año de la densidad de descargas

La Norma NFPA (2020), establece que una evaluación de riesgos simplificada calcula la frecuencia de rayos tolerable (N_c) y la compara con la amenaza anual (N_d). La frecuencia tolerable de rayos (N_c) es una medida del riesgo de daños a la estructura, incluidos los factores que afectan a los riesgos para la estructura, al contenido y a las pérdidas medioambientales 780. (p. 26)

La medida de riesgos o daños a la estructura (N_c), se calculó de la siguiente forma:

(7)

$$N_c = \frac{1.5 * 10^{-3}}{C} \text{ eventos/año}$$

Cuando;

(8)

$$c = (c_2) * (c_3) * (c_4) * (c_5)$$

Para encontrar la tolerancia de descarga de un año que se puede tolerar fue necesario seguir los siguientes pasos:

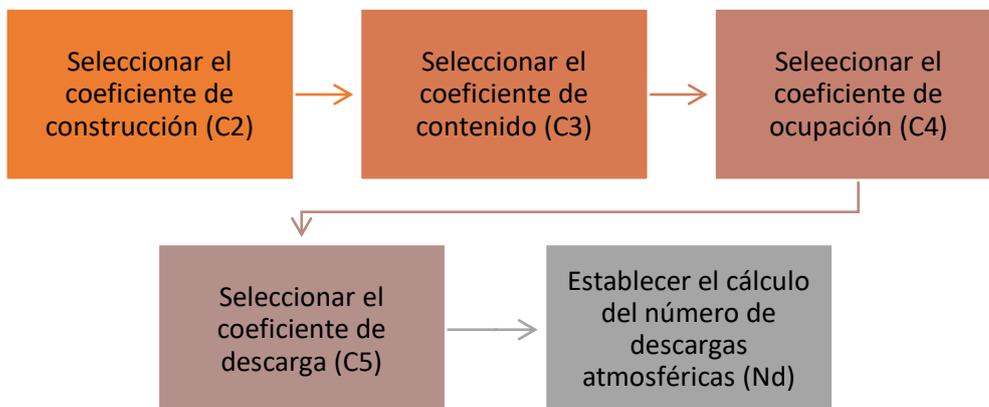


Figura 20. Proceso para calcular el número tolerable de descargas

A continuación, se detalla los coeficientes a elegir según la normativa utilizada, de acuerdo al criterio del diseñador o gerente del proyecto debe escogerse con la información recopilada.

2.3.2.1. Coeficiente de construcción

Tabla 2.

Coeficiente de construcción

Estructura	Coeficiente de construcción		
	Techo metálico	Techo no metálico	Techo combustible
Metálica	0.5	1	2
No metálica	1	1	2.5
Combustible	2	2.5	3

2.3.2.2. Coeficiente de contenido de la estructura

Tabla 3.

Coeficiente de contenido de la estructura

Contenido de la estructura	C3
Valor bajo y no combustible	0.5
Valor normal y no combustible	1
Valor alto y moderada combustión	2
Valor excepcional, líquidos inflamables, computadores o electrónicos.	3
Valor excepcional, íconos históricos y culturales irremplazables	4

2.3.2.3. Coeficiente de ocupación de la estructura

Tabla 4.

Coeficiente de ocupación de la estructura

Ocupación de la estructura	C4
Desocupado	0.5
Normalmente desocupado	1
Difícil de evacuar o riesgo de pánico	3

2.3.2.4. Coeficiente de consecuencia de descarga sobre la estructura

Tabla 5.

Coeficiente de consecuencia de descarga sobre la estructura

Consecuencia de descarga	C5
No se requiere la continuidad de los servicios de las instalaciones, sin impacto ambiental	1
Se requiere la continuidad de los servicios de las instalaciones, sin impacto ambiental	5
Consecuencias para el medio ambiente	10

En el proceso se tomó en cuenta la siguiente recomendación en el sistema de protección contra descargas atmosféricas, la Norma NFPA 780. (2020) establece si:

$N_d \leq N_c$ entonces una protección es opcional

$N_d > N_c$ entonces una protección es recomendada

2.4. Diseño de un sistema de protecciones eléctricas contra descargas atmosféricas externas, según la norma NFPA 780

La norma NFPA 780 brinda un sustento a la hora de decidir el sistema más adecuado para la protección atmosférica en la estructura. El diseño del sistema se optó por conceptualizar el proceso a través de un diagrama de flujos.

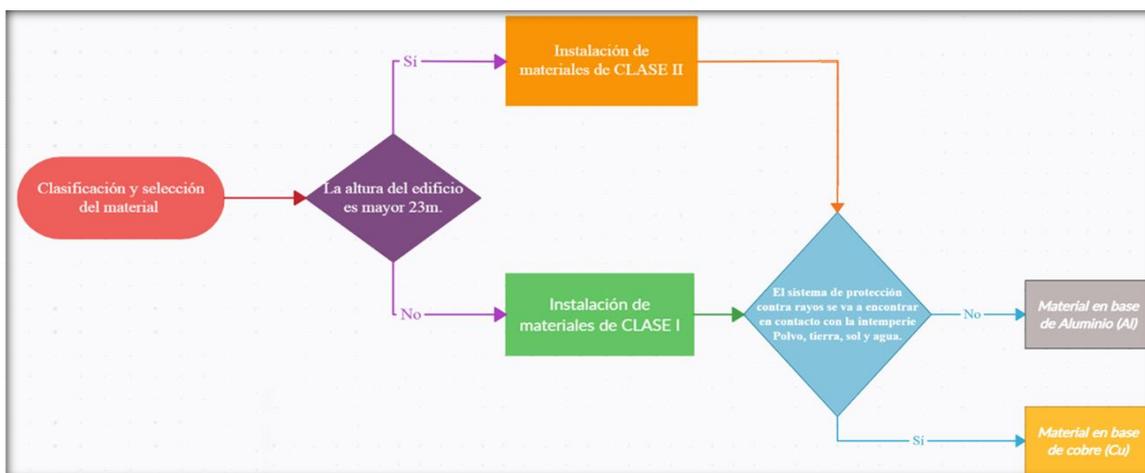


Figura 21. Diagrama de flujo para la selección del sistema de protección contra descargas atmosféricas

Cómo punto de partida es necesario establecer el material (Clase I o II), se analiza la altura del edificio para determinar la clase del material, dependiendo de la ubicación (Exterior/interior) los materiales pueden variar, ya sea en cobre o aluminio.

2.4.1. Selección del material según la altura del edificio

La altura es un parámetro que delimita el material para la protección de estructuras contra la amenaza de rayos. Por tal motivo, la norma NFPA 780 (2020), establece los requisitos que se detallan a continuación:

Tabla 6.

Requisitos mínimos de los materiales Clase I

N.º	Tipo de Conductor	PARÁMETRO	COBRE		Aluminio	
			US	SI	US	SI
1	Terminal aéreo, sólido	Diámetro	3/8 pulg.	9.5 mm	1/2 pulg.	12.7 mm
2	Terminal aéreo, tubular	Diámetro	5/8 pulg.	15.9 mm	5/8 pulg.	15.9 mm
		Espesor	0.033 pulg.	0.8 mm	0.064 pulg.	1.63 mm
3	Conductor principal	Calibre	17 AWG	1.04 mm ²	14 AWG	2.08 mm ²
		Peso por longitud	187 lb/1000 pies	278 g/m	95 lb/ 1000 pies	141 g/m
		Sección Transversal	57400 cir. mils	29 mm ²	98600 cir. mils	50 mm ²
4	Conductor de interconexión (sólido o flexible)	Calibre	17AWG	1.04 mm ²	14 AWG	2.08 mm ²
		Sección Transversal	26240 cir. mils	13.3 mm ²	41100 cir. mils	20.8 mm ²
5	Conductor de interconexión. Tipo Cinta.	Espesor	0.051pulg.	1.30 mm	0.064 pulg.	1.63 mm
		Ancho	1/2 pulg.	12.7 mm	1/2 pulg.	12.7 mm
6	Conductor principal. Tira Solida.	Espesor	0.051 pulg.	1.3 mm	0.064 pulg.	1.63 mm
		Sección Transversal.	57400 cir.mils	29 mm ²	98600 cir. mils	50 mm ²

NFPA 780 (2020) indica que “si la estructura a proteger no excede los 23 metros, se debe utilizar los materiales Clase I”, (p. 12).

Como segundo punto es preciso mencionar que, en el techo se puede apreciar una saliente sobre la azotea debido al ascensor, para estructuras o porciones del edificio cuya

altura es igual o mayor a 23 metros, habría que aplicar para la correcta protección los materiales de Clase “II”

Tabla 7.

Requisitos mínimos de los materiales Clase II

Nº	Tipo de Conductor	PARÁMETRO	COBRE		Aluminio	
			US	SI	US	SI
1	Terminal aéreo, sólido	Diámetro	½ pulg.	12.7 mm	5/8 pulg.	15.9 mm
2	Conductor principal	Calibre	15 AWG	1.05 mm ²	13 AWG	2.62 mm ²
		Peso por longitud	375 lb/1000 Pies	558 g/m	190 lb/ 1000 pies	283 g/m
		Sección Transversal	115000 Cir. Mils	58 mm ²	192000 cir. Mils	97 mm ²
3	Conductor de interconexión (sólido o flexible)	Calibre	17 AWG	1.04 mm ²	14 AWG	2.08 mm ²
		Sección Transversal	26240 cir. Mils	13.2 mm ²	41100 cir. Mils	20.8 mm ²
4	Conductor de interconexión. Tira Solida.	Espesor	0.051 pulg.	1.3 mm	0.064 pulg.	1.63 mm
		Ancho	½ pulg.	12.7 mm	½ pulg.	12.7 mm
5	Conductor principal. Tira Solida.	Espesor	0.064 pulg.	1.63 mm	0.1026 pulg.	2.61 mm
		Sección Transversal.	115000 cir. mils	58 mm ²	192000 cir. Mils	97 mm ²

Para el presente objeto se debe recurrir a los materiales de Clase “I” descritos en la Tabla 6. Una vez establecida la clase del material, se procede al análisis del entorno en el cual se desea instalar los equipos; por tal motivo se recomienda el uso de materiales en base a cobre, ya que existe presencia de polvo, sol y lluvia.

2.4.2. Puntas captadoras

La norma establece una distancia de 2.54 m como mínima entre la punta y la superficie de la azotea. A su vez, en el diagrama de flujos de la Figura 21 se analiza el diseño del sistema.

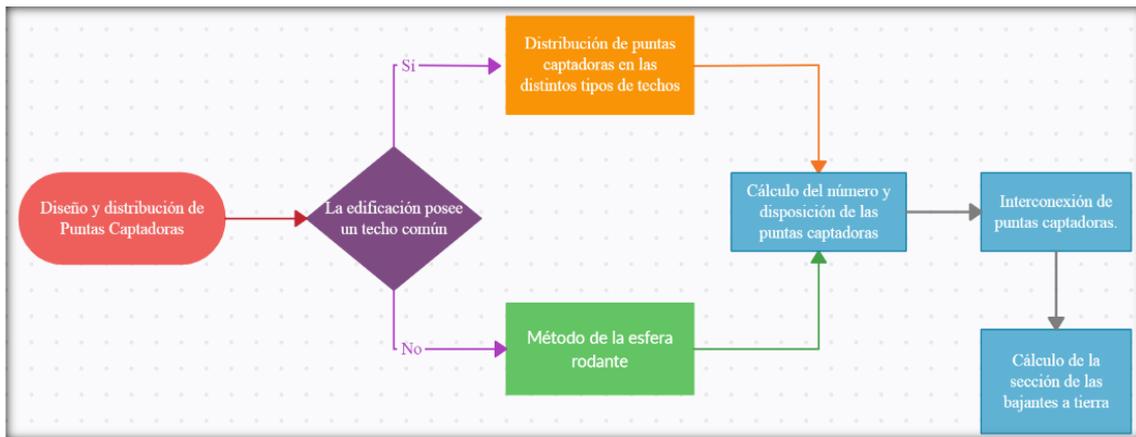


Figura 22. Diagrama de flujo para la selección del sistema de protección contra descargas atmosféricas

Según la Norma NFPA 780 (2020), indica que como mínimo, la punta captadora debe medir 254 mm, o estar separada esa distancia entre su punta y la superficie del techo de la estructura. Por otro lado, si el mástil que se colocará mide más de 60 cm, debe estar soportado por una placa anclada al techo o por un peso de al menos 1.5 del valor del peso de la punta captadora. Si se tiene un mástil metálico de 4.8 mm de diámetro (o de espesor de cada componente en caso de ser una armadura), puede usarse como punta captadora. Si no es metálico, obligatoriamente debe llevar un pararrayo y conectarse a la malla principal del sistema de protección. (p. 14)

El techo, de más de 15 m de largo y de ancho, no será suficiente protegerlo solo en el perímetro; por eso, en la malla, es indispensable incluir, en puntas captadoras intermedias con máximo espaciamiento entre ellas de 15 m.

Por tal motivo el diseño de la malla de puntas captadoras en la azotea de la Facultad de Ingenierías en Ciencias Aplicadas (FICA) tendría la siguiente disposición:

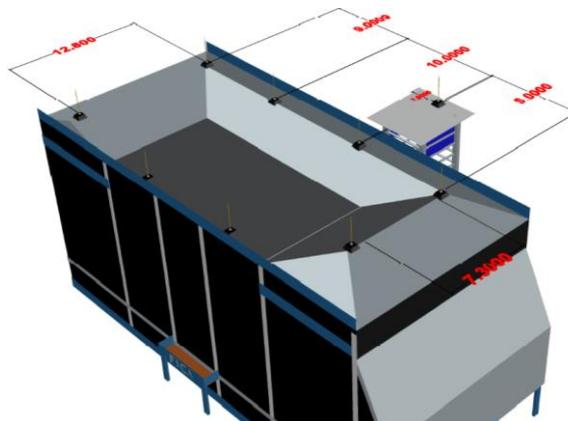


Figura 23. Disposición de puntas captoras en la FICA

2.4.2.1. Distribución de puntas captadoras

La normativa NFPA 780 (2020), establece que “los tipos de techo, para diseñar la distribución lógica de las puntas captadoras” (p. 14), se los clasifican de la siguiente manera:

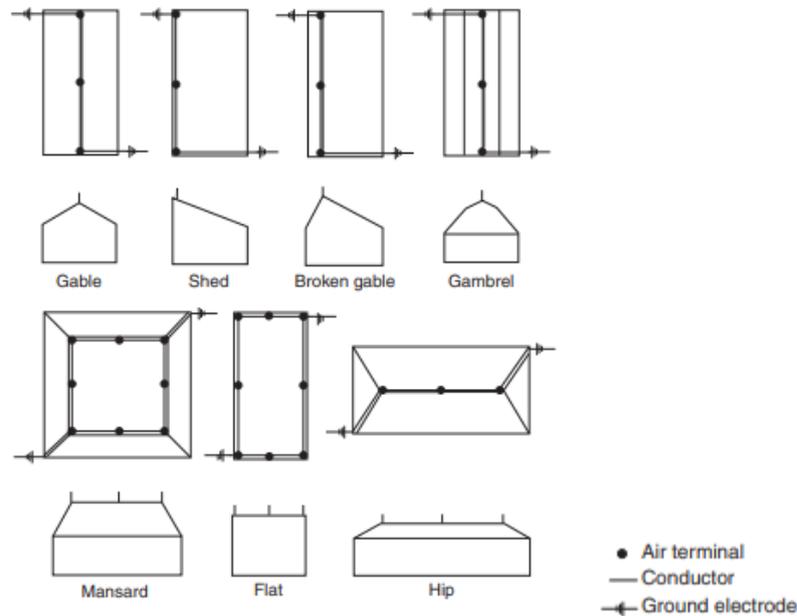


Figura 24. Distribución de puntas captadoras para techos comunes

Fuente: (NFPA 780, 2020, p. 14)

- Techos inclinados
- Techos planos o levemente inclinados
- Buhardillas
- Techos abovedados
- Techos con cumbreras, huecos, chimeneas o ventilaciones

Norma NFPA 780 (2020), establece si el techo es inclinado y la altura de su punta más alta es menor a 46 m, puede ser utilizada la distribución indicada en la Figura 24; es decir, poner solo las puntas captadoras en fila sobre la superficie de mayor altura o el vértice entre los dos planos inclinados que forman las dos aguas del techo. Si sobrepasa los 46 m, se debe usar el método de la esfera rodante, ya que tendrá que considerarse también puntas captadoras en el perímetro del techo. Si el techo tiene un perímetro irregular, se debe siempre cumplir la distancia de 60 cm como máxima distancia entre el final del techo y la primera línea de pararrayos, como se muestra:

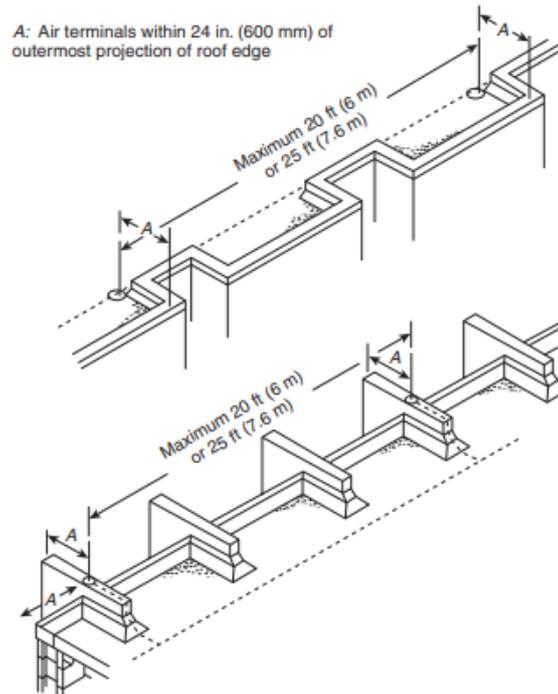


Figura 25. Techos con perímetro irregular

Fuente: (NFPA 780, 2020, p. 16)

Si las dimensiones del edificio a proteger superan los 15 m por lado, y se tiene un área libre sin techo de perímetro mayor a 92 m, éste debe quedar siempre bajo la zona de protección o disponer mástiles para protegerlo. (Flores, 2019)

2.4.2.2. Método de la esfera rodante

El método de la esfera rodante es de lo más utilizados cuando se desea diseñar la protección de una estructura. El principio es el siguiente: hacer rodar en todas direcciones una esfera imaginaria de radio "d" sobre la estructura a proteger. En este proceso, todo lo que sea tocado por la esfera puede impactarse con una descarga de rayo, y todo elemento que quede por debajo de la esfera sin contactar con esta durante su rodamiento debe considerarse protegido. La aplicación de este método es simple, pero puede complicarse cuando las edificaciones a proteger poseen complejidad en su construcción. (Cuellar, et. al., 2018)

La Norma NFPA 780 (2020), establece que un radio de la esfera de 46 metros para todo edificio (p. 18), pero debe cumplirse que la parte más alta no debe tener más de 46 metros y se puede hallar la distancia entre picas con la siguiente fórmula matemática:

$$d = \sqrt{h_1(2R - h_1)} - \sqrt{h_2(2R - h_2)}$$

Dónde:

d= distancia entre picas

h1= altura del piso más alto

h2=altura del piso más bajo

R= 46 metros

2.4.2.3. Distancias mínimas

Las puntas captadoras que están en el perímetro de la azotea tienen que tener una separación máxima entre sí de 6 m. A su vez, es importante omitir dentro del diseño los terminales de interceptación de descargas en los aleros; ya que, la pendiente de los techos es igual a la tangente del arco que forma la elevación del alero (Método de la esfera rodante). (NFPA 780, 2020, p. 16)

Si tu techo tiene más de 15 m de ancho o de largo, no será suficiente protegerlo solo en el perímetro, sino también deberá incluirse, en la malla, puntas captadoras intermedias con máximo 15 m de espaciamiento entre ellas. (NFPA 780, 2020, p. 15)

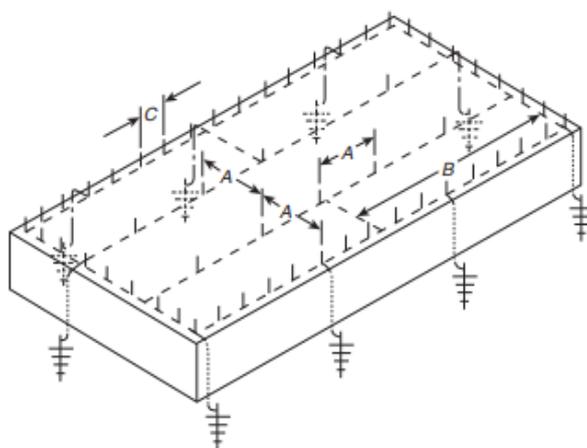


Figura 26. Puntas captoras en techos planos

Fuente: (NFPA 780, 2020, p. 15)

La Norma NFPA 780 (2020), establece:

A: 15 m de separación máxima entre terminales aéreos.

B: 45 m de longitud máxima de conductor transversal permitida sin conexión del conductor transversal al conductor principal perimetral o de bajada.

C: separaciones máximas de 6 m o 7,6 m entre terminales de aire terminales de aire a lo largo del borde.

El conductor que une las puntas captadoras y el conductor principal de la malla no debe superar los 4.9 m.

2.4.3. Conductores, conectores y sujetadores

La NFPA 780 (2020), recomienda que las puntas captadoras deben tener un conector de tipo T. Ya que la norma exige que en las “puntas muertas” como mínimo debe de existir una distancia de no más de 4.9 m entre la punta captadora y la conexión con el conductor principal. Y que a su vez el radio de las curvaturas en los dobleces no sea menos a 4.9 m para ser aceptada. (p. 20)

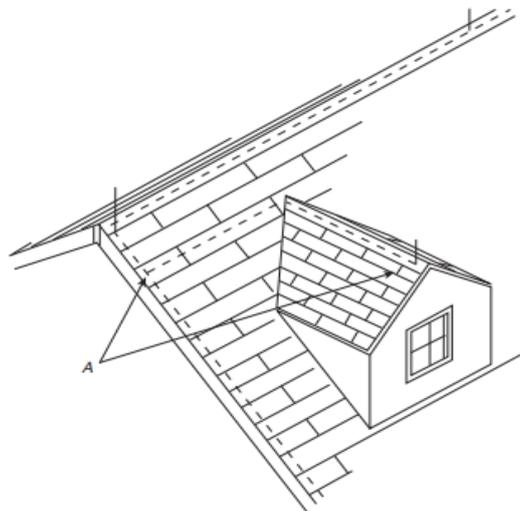


Figura 27. Distancia mínima de una sola punta captora

Fuente: (NFPA 780, 2020, p. 20)

La NFPA 780 (2020), indica que el radio de la curvatura mínimo de cualquier conductor es de 203 mm

2.4.3.1. Tipos de conductores

- Cable conductor principal

Es el conductor que recorre las puntas captadoras y las conecta formando una malla de pararrayos. La dimensión está establecida por la norma NFPA 780 (2020) descrito en la Tabla 9, se reconoció que para el presente caso de estudio es necesario el conductor de cobre desnudo 2AWG.

Tabla 9

Conductores de protección contra rayos

PARARRAYOS	AREA
Calibre del conductor tipo cobre clase I	57,400 cir. Mils
#2 AWG	66,360 cir. Mils
#3 AWG	52,620 cir. mils

- Cable conductor conector

Son los que conectan entre sí las mallas. Deben ponerse cada 46 m lineales. La dimensión nuevamente es en base a la Tabla 6 de la norma NFPA 780 (2020), por lo que se estableció para el presente caso de estudio sería necesario el conductor de cobre desnudo 6AWG.

- Cables de bajada

La normativa NFPA 780 (2020) establece una relación en base al perímetro del edificio. Por lo cual, al establecer el perímetro de la edificación en 111 m se indica que el perímetro de 76 m es excedido; dando la necesidad de una separación no mayor a 30 m entre los conductores de bajada. La Figura 27 representa la propuesta de cuatro 4 bajantes.

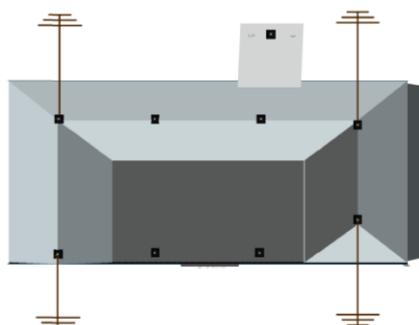


Figura 28. Distribución de cables bajantes

Fuente: (NFPA 780, 2020, p. 16)

A su vez, estos deben ser de igual calibre y calidad que el conductor principal. Los cables de bajada deben cubrirse con tubo de PVC a los 1.8 m de distancia antes de tocar el suelo. También, se les debe poner anticorrosivo 90 cm antes de conectarlos con el pozo a tierra. El número de conductores de bajada determina el número de pozos a tierra del sistema de pararrayos. (NFPA 780, 2020, p. 16)

2.4.3.2. Tipo de conectores

NFPA 780 (2020) indica que los conectores son elementos que permiten que durante el proceso constructivo no se utilicen muchas soldaduras exotérmicas. Éstos deben asegurar la continuidad del conductor en todas las configuraciones T o Y que presente el circuito. Deben ser de un material que no ocasione fugas de corriente y de una dimensión mayor al conductor, o que sea regulable para que el apriete sea perfecto y no se produzcan fallas inesperadas. (p. 16)

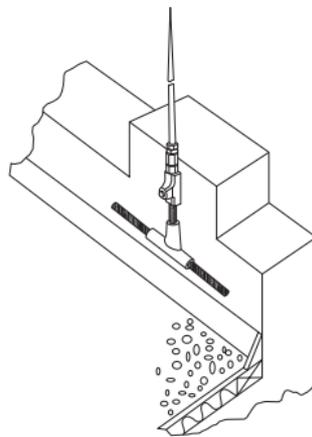


Figura 29. Conector tipo T entre cable de punta captadora y conductor principal.

Fuente: (NFPA 780, 2020, p. 16)

2.4.3.4. Distancia entre sujetadores

NFPA 780 (2020) indica que los conductores deben encontrarse adheridos mediante un sujetador al techo o a la pared cada 90 cm. De igual forma, si el trazo pasa por una columna, se deberá ajustar el conductor o el tubo únicamente al inicio y al final de la misma. (p. 21)

Es recomendable utilizar sujetadores del mismo material que el conductor, para no generar corrosión en las juntas de metales diferentes. Las mismas normas caben si es que, en vez de un sujetador de conductor, se sujetará un tubo con una abrazadera. (Flores, 2019)

2.4.4 Puesta a tierra

La norma NFPA 780 (2020) indica que el sistema de puesta a tierra debe ser uno independiente para el sistema de pararrayos; y no compartir los pozos con las demás puestas a tierra T. A su vez el número de pozos es el mismo número de conductores de bajada que nos haya mandado el perímetro del edificio. (p. 22)

También se debe acotar que la norma en la cual se basa este proyecto recomienda que cada pozo debe ir:

- A 60 cm como mínimo de cada camino o de lugar de acceso.
- A 90 cm como mínimo en caso de que el suelo posea rocas.

La varilla del pozo de puesta a tierra será de cobre de ½ pulgada o 12.7 mm de diámetro y 2.4 m de longitud como mínimo.

2.4.4.1. Posición y distancia mínima de los pozos a tierra

La norma NFPA 780 (2020) establece que la construcción del pozo debe ser no inferior a 3 m, ya que la punta superior de la varilla debe estar conectada 60 cm por debajo de la superficie del suelo. El conductor que conectará los pozos será como los conductores principales, y se debe tender como mínimo a 46 cm de la superficie del suelo. (p. 20)

Se debe acotar que cada pozo debe ir como mínimo a 60 cm de cada camino o de lugar de acceso señalizado para cualquier persona. Además, indica si el suelo donde se pose son rocas, se debe fijar cada 90 cm.

2.4.4.2. Configuraciones de malla a tierra

La normativa NFPA 780. (2020) recomienda que se debe conectar para evitar la tensión de paso y de contacto, ya que el potencial se equilibra por todo el terreno.

2.4.4.3. Tipos de puesta a tierra

Las configuraciones de conexiones a tierra se pueden organizar de distintas formas en el lado de la alimentación y la carga, pero siempre logrando el mismo resultado. (ETKHO, 2022). Las Instalaciones eléctricas para edificios que ETKHO identifica corresponde a tres familias de puesta a tierra, que se definen a continuación:

- TT.- Este sistema de protección, conecta directamente a tierra la carcasa metálica de un dispositivo eléctrico, que se denomina sistema de puesta a tierra de protección. Con una configuración TT, cada área emplea su propia conexión a tierra dentro de las instalaciones, siendo independiente de cualquier conexión a tierra en el lado de la fuente. En situaciones en las que un proveedor de servicios de red de distribución (DNSP) no puede garantizar una conexión de baja tensión a la fuente de alimentación.

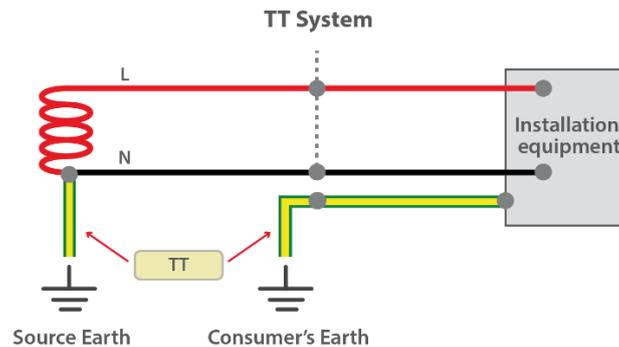


Figura 30. Sistema TT.

Fuente: (Lightning and Surge Protection, 2022)

- IT. - El método establece que todos los conductores activos están separados de tierra o un punto está puesto a tierra con una impedancia. Esto lleva a que, si hay un fallo de aislamiento, solo pueda circular una corriente de fallo pequeña, originada principalmente por la capacidad de derivación de la red.

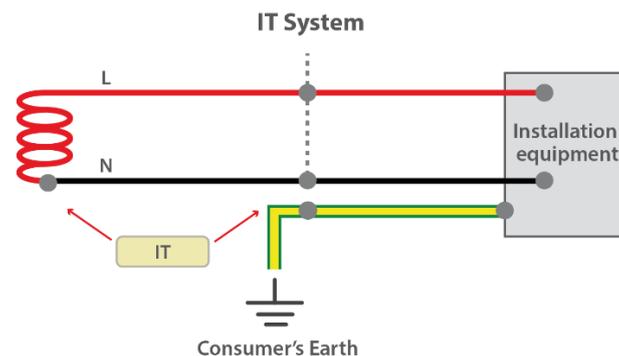


Figura 31. Sistemas IT

Fuente: (Lightning and Surge Protection, 2022)

- TN. - Es un sistema de suministro de energía y protección en modo TN que conecta la carcasa metálica del equipo eléctrico con el cable neutro de trabajo. Se llama sistema de protección cero. De esta forma, cuando un solo punto en el lado de la fuente está conectado directamente a tierra hablamos de Sistema de puesta a tierra

- TN. - Cualquier equipo eléctrico conectado al sistema se conecta a tierra a través del mismo punto de conexión en el lado de la fuente. Estos sistemas de puesta a tierra requieren electrodos de tierra a intervalos regulares durante toda la instalación.

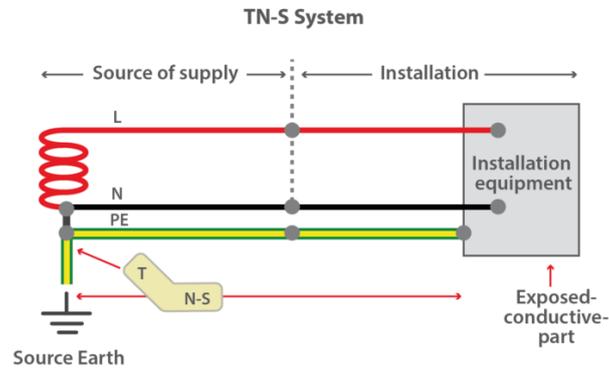


Figura 32. Sistema TN-S

Fuente: (Lightning and Surge Protection, 2022)

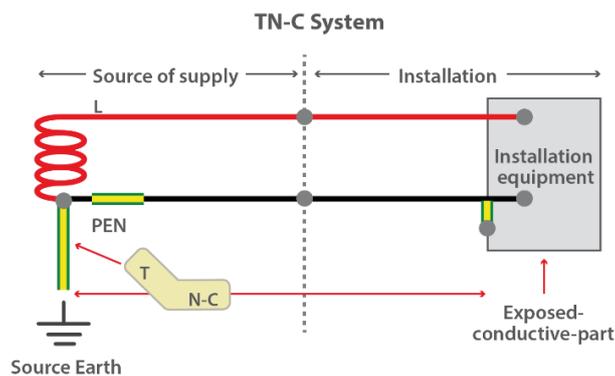


Figura 33. Sistema TN-C

Fuente: (Lightning and Surge Protection, 2022)

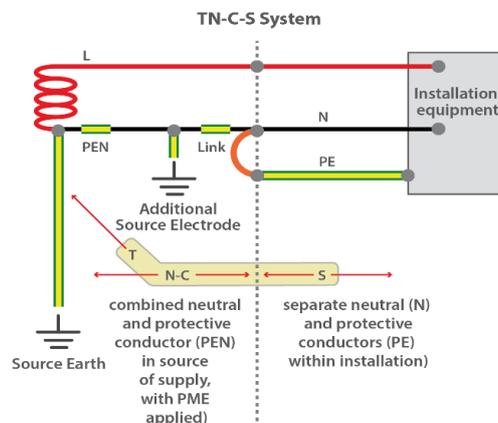


Figura 34. Sistema TN-C-S

Fuente: (Lightning and Surge Protection, 2022)

CAPÍTULO 3

Propuesta de diseño del sistema de pararrayos

3.1. Materiales

El diseño del sistema de pararrayos se realizó según la norma NFPA 780, la cual indica que se debe usar los materiales descritos en la Tabla 6 y Tabla 7 del presente trabajo. El edificio a proteger es el de la Facultad de Ingenierías en Ciencias Aplicadas, tiene una altura de 18m, se usaron los materiales de la Clase I, detallados en la Tabla 6.

El material elegido fue el cobre que ofrece una combinación única de conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión y durabilidad, lo que lo convierte en una alternativa confiable y eficiente para los componentes claves de un sistema de pararrayos.

INGESCO S.A. es una empresa multinacional con soluciones para proyectos eléctricos, por lo que es un proveedor que garantiza sustentar materiales de calidad para cualquier proyecto de este tipo. Se adjunta a este trabajo una ficha técnica comercial de dicha empresa.

3.2. Sistema de puntas captadoras

Las puntas captadoras que se utilizaron fueron del tipo Franklin, cuenta con varillas de captura, hilos de catenaria y conductores mallados. El sistema está acorde a la norma NFPA 780 (2020), como se indica en la Figura 22, tiene como misión interceptar la descarga del rayo hasta la red conductora.

Se situó en la cubierta exterior o tejado del edificio. Para el conexionado de las puntas captadoras a la red conductora, se empleó piezas de adaptación fijadas sobre el propio mástil en una base. Dichas piezas de adaptación son de latón principalmente y se fijaron mediante tornillos.

La punta captadora más alta de este edificio mide 1800 mm, teniendo como máximo 2000 mm para medir el equipo más alto. El trabajo actual se encuentra dentro del rango de medidas en el acondicionamiento en aire de 1800 mm.

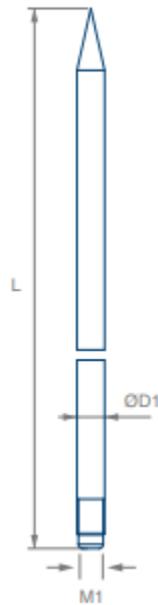


Figura 35. Punta Captora

Fuente: (INGESCO S.A., 2023)

La actividad eléctrica atmosférica y en particular los rayos nube-tierra, representan una seria amenaza para las personas, estructuras y equipos. El techo aulario debe ser una zona de no acceso a todo público, solo personal autorizado para mantenimiento y revisiones, se tomarán en el procedimiento de seguridad, con restricción de acceso en una tormenta eléctrica.

Al realizar el caso bajo las normas NFPA 780, con los materiales descritos en la Tabla 6, se eligió la opción comercial:

D1: 20 mm

H1: 1800 mm

L1: 500 mm

H2: 10 mm

Se fijó al techo con una placa de cobre que viene con el dispositivo:

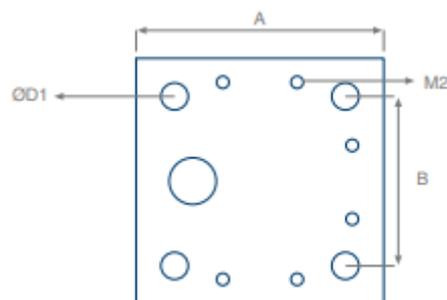


Figura 36. Diseño soporte horizontal puntas captoras

Fuente: (INGESCO S.A., 2023)



Figura 37. Soporte de cobre

Fuente: (INGESCO S.A., 2023)

Siendo para el diseño:

A: 100 mm

B: 80 mm

D1: 11 mm

D2: medida del diámetro de los pernos utilizados, cumpliendo el mínimo de la norma que dicta $\frac{1}{4}$ de pulgada.

3.3. Sistema de captación

En los datos estructurales del edificio se da a conocer aspectos importantes a tomar en cuenta en el diseño del pararrayos, como es el caso del techo, que cuenta con diferentes tipos de características en su área: metálico a dos aguas, metálico levemente inclinado a cuatro aguas, techo de concreto plano, techo con pendiente a un agua.

La normativa NFPA 780 (2020), menciona que si hay lugares debajo de las zonas de protección con diferentes inclinaciones o materiales, se considerarán protegidos, por lo cual para efectos prácticos se consideró como sólidos y puede proteger completamente la superficie total e incluso los espacios vacíos. Hay que tener en cuenta que la separación entre el techo, las puntas captadoras y el conductor principal, debe ser de 60 cm. (p. 14)

El sistema de captación está formado por terminales aéreos a modo de puntas captadoras, por un sistema mallado, o bien por la combinación de ambos. Se situó en la cubierta exterior, así como también en las partes predominantes de mayor altura.

3.4. Método de la esfera rodante

El método de la esfera rodante es de lo más utilizados cuando se desea diseñar la protección de una estructura. El principio es el siguiente: hacer rodar en todas direcciones una esfera imaginaria de radio "d" sobre la estructura a proteger. En este proceso, todo lo que sea tocado por la esfera puede impactarse con una descarga de rayo, y todo elemento que quede por debajo de la esfera sin contactar con esta durante su rodamiento debe considerarse protegido. La aplicación de este método es simple, pero puede complicarse cuando las edificaciones a proteger poseen complejidad en su construcción (Cuellar, et.al., 2018).

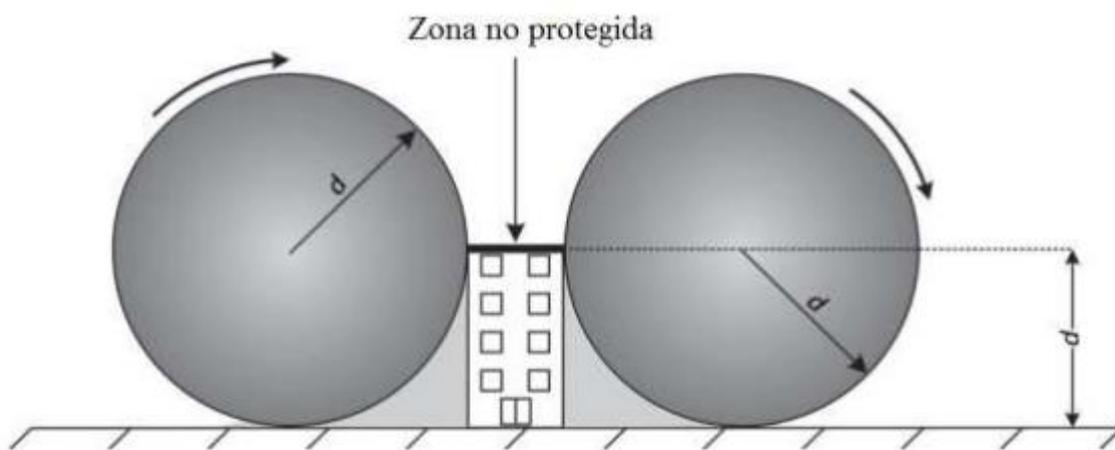


Figura 38. Método de la esfera rodante

Fuente: (Cuellar, et.al., 2018)

En la aplicación del método de la esfera rodante se debe tener cuidado de que en el entorno de la estructura no exista ninguna saliente, para que no quede ninguna área sin proteger.

La zona protegida por un captador de un sistema de protección contra rayos es el volumen no penetrado por la esfera rodante cuando está en contacto con el captador y aplicada a la estructura. En el caso de un sistema de captura formado por dos captadores verticales, colocados por encima del plano horizontal de referencia, como se indica en la Figura 38, la distancia de penetración p de la esfera rodante, en el espacio entre los conductores y por debajo del nivel de los conductores. (Llerena, 2018)

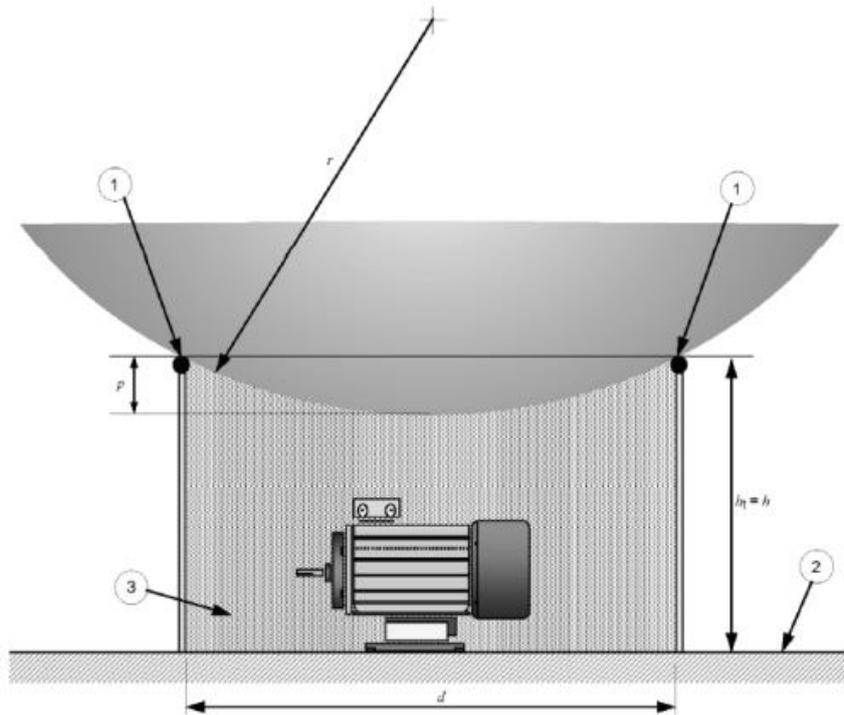


Figura 39. Distancia de penetración de la esfera rodante

Fuente: (Llerena, 2018)

- 1: Pararrayos o varilla de captura
- 2: Plano de referencia
- 3: Espacio protegido por un sistema de captura

Cálculo de la distancia de penetración de la esfera rodante:

$$G = H - rs + \sqrt{rs^2 - (s/2)^2}$$

(10)

H: Altura física de los pararrayos de captura sobre el plano de referencia

p: Distancia de penetración de la esfera rodante

rs: Radio de la esfera rodante

s: Distancia de separación entre las dos varillas de captura(pararrayos)

La distancia de impacto es una longitud no constante. Esto se debe a que los parámetros de los rayos registrados y documentados alrededor del mundo son muy variables (corriente, duración, frecuencia, etc.); por lo que resulta inadecuado utilizar una distancia de impacto general para el diseño de un sistema de protección. Sin embargo, las normativas

actuales designan una distancia de impacto según el tipo de estructura a proteger y posibilidad de drenaje segura de una descarga atmosférica. Se demostró la confiabilidad del uso de estas distancias con los diseños de protección realizados con el paso de los tiempos, y donde se aplican estas recomendaciones de la norma en cuanto al radio de la esfera. En la Tabla 8 se muestra los radios de las esferas a considerar según la norma NFPA 780. (Cuellar, et. al., 2018)

Tabla 8.

Radio de la esfera y su aplicación según la norma NFPA 780

Radio de la esfera	Aplicación
Radio de 46 m	Protección para estructuras ordinarias: es aquella estructura que es utilizada para fines comerciales, industriales, agrícolas, institucionales o residenciales.
Radio de 30 m	Protección para estructuras que albergan explosivos, agentes químicos y protección para embarcaciones.

Fuente: (Cuellar, et. al., 2018)

3.5. Aplicación del método de la esfera rodante y distancias mínimas

La norma NFPA 780 (2020), en la que se basa este trabajo explica que el radio de la esfera debe ser de 46 metros, para lo que se muestra imágenes con las que se aplicó el método sobre el plano del perfil en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA).

La Figura 37, indica con mayor prolijidad la esfera que se ha formado tangente a nivel del suelo.

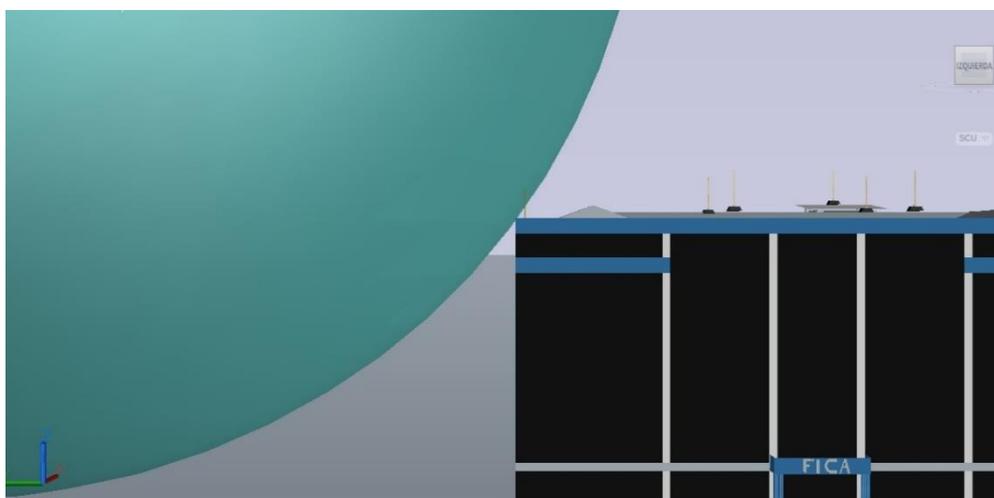


Figura 40. Aplicación del método de la esfera rodante

La Figura 38, muestra la esfera que se ha formado tangente al nivel del suelo tomado desde el punto más alto en el perfil posterior del edificio; constatando, que la protección incluye las salientes del mismo. La punta captadora, a 50 cm del límite del techo, con una altura de 1800 mm, se representa por una línea perpendicular al techo amarillo.

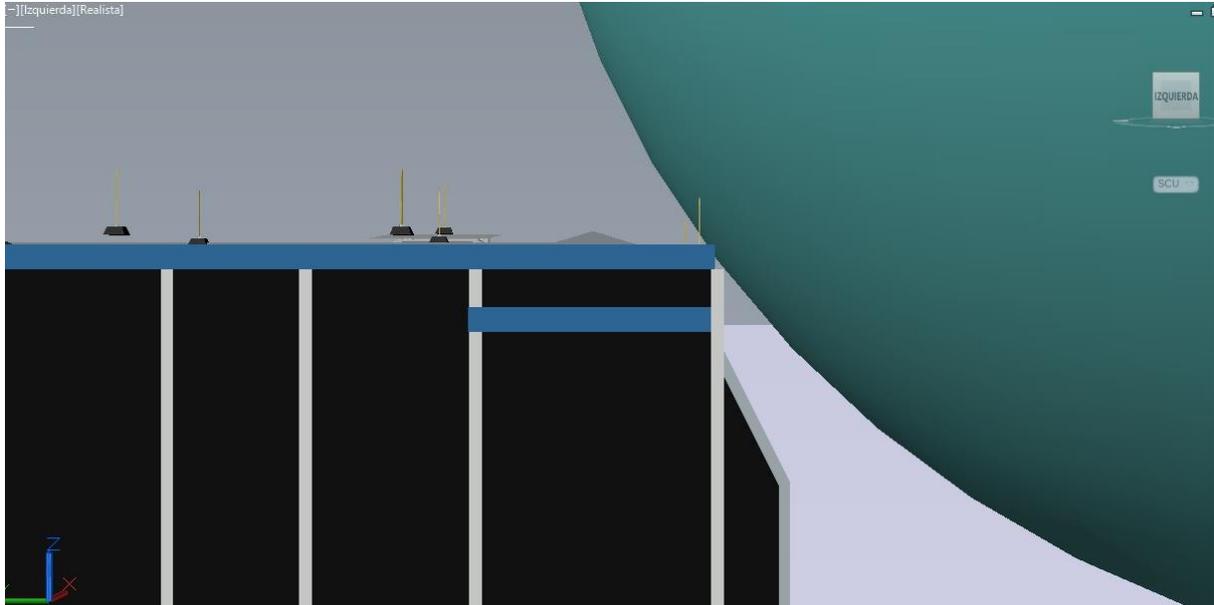


Figura 41. Detalle de la aplicación del método de la esfera rodante

La normativa NFPA 780 (2020), establece que la distancia entre las puntas captadoras no debe ser mayor a 15 m; en la herramienta AutoCAD se estableció ese diseño como se muestra en la Figura 22 anteriormente con las medidas correspondientes y a continuación con una vista lateral.

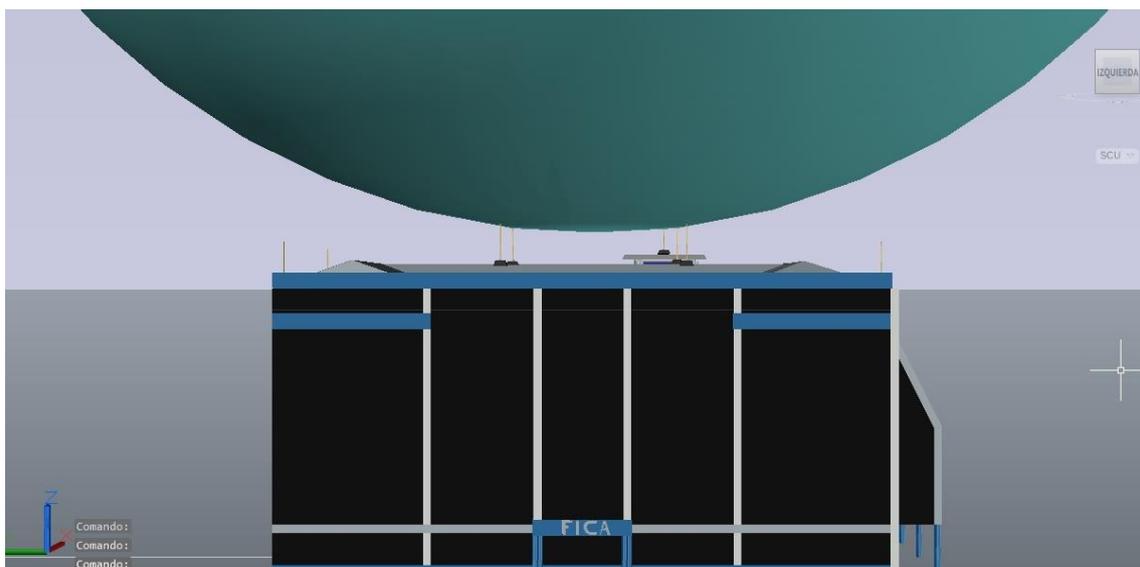


Figura 42. Diseño de puntas captoras

Una vez definida la ubicación de las puntas captadoras en el perímetro del edificio, se precisarán los cables conductores, que eje los pararrayos y establezca el diseño del conductor, según la norma NFPA 780.

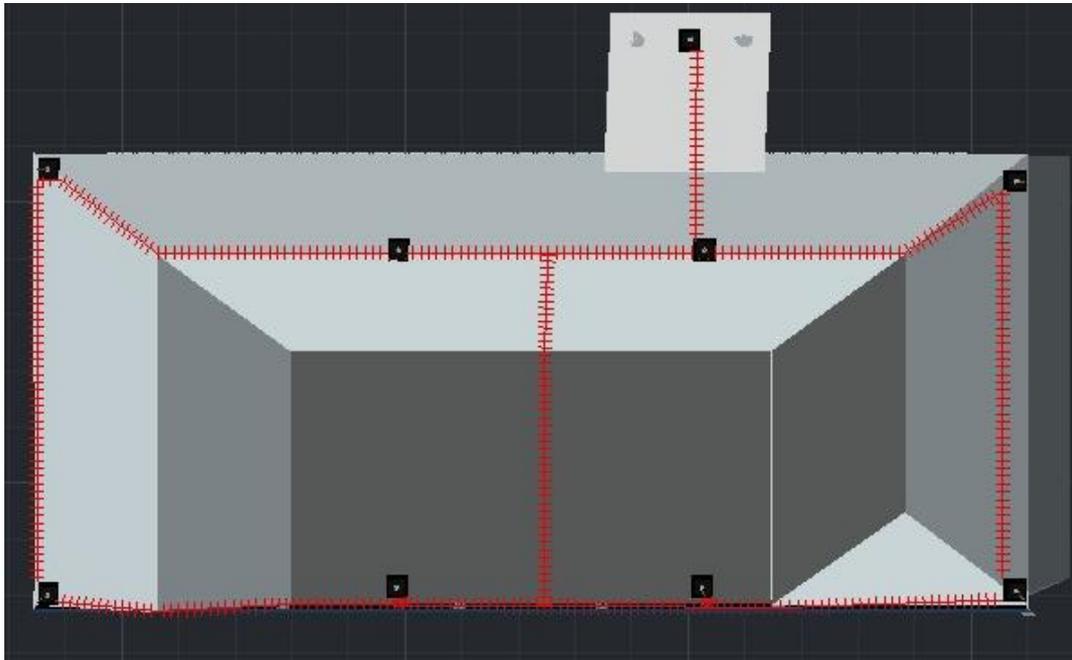


Figura 43. Trazo del conductor de la malla del pararrayos

Flores (2019), menciona que se debe recordar que la trayectoria del conductor debe ser, en su preferencia, recta, respetando distancias a materiales inflamables y que ningún pararrayo puede ser “un punto muerto”, es decir, tener únicamente un cable a su salida, ya que éstos deben tener al menos dos caminos conductores para transportar la corriente eléctrica de una descarga. (p. 48)

Tabla 9.

Método de protección SPCR

Clase de SPCR	Método de protección	
	Radio de la esfera rodante	Dimensiones de la malla
I	20	5 x 5
II	30	10 x 10
III	45	15 x 15
IV	60	20 x 20

Fuente: (INGESCO S.A., 2023)

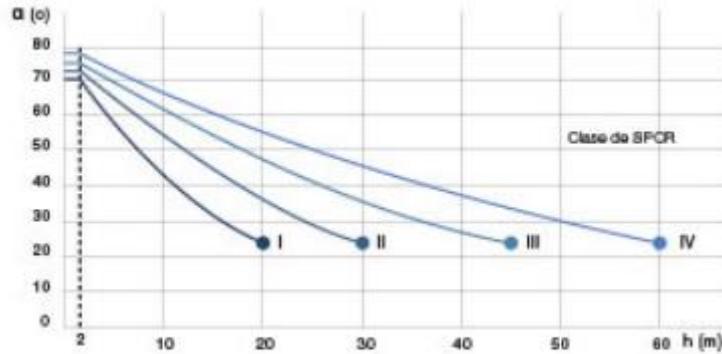


Figura 44. Ángulos de protección α en función de la altura h y del nivel de protección del edificio

Fuente: (INGESCO S.A., 2023)

El método ideal en este caso es el de la esfera rodante o el de distancias mínimas entre picas como se indica en la Tabla 9, el edificio necesitó malla de 15 x 15, con el radio de la esfera rodante de 45 cm. El sistema de protección contra descargas atmosféricas del edificio a proteger, al tener una altura de 18 m como se establece en la Figura 44, es de clase III.

Una vez calculado el nivel de protección acorde a la normativa NFPA 780, se concluyó que era preciso dotar a las protecciones eléctricas con las medidas de protección siguientes:

Tabla 10.

Protecciones eléctricas

Edificio	Sistema de protección externo contra el rayo	Sistema de Protección Interno contra las sobretensiones	Sistema de Protección contra incendios	Medidas de protección adicionales
1	Nivel III	LPL IV	Sistemas manuales (Extintores, hidrantes, compartimientos cortafuegos, etc.)	Sin medidas de protección

Fuente: (INGESCO S.A., 2023)

Para reducir la probabilidad de que una descarga en la estructura produzca fallos en los sistemas internos, se instaló protectores contra sobretensiones transitorias en la entrada de servicios. Aun así, es recomendable instalar los protectores de forma coordinada acorde a la norma NFPA 780 (2020), para así conseguir un nivel de protección inferior a la tensión soportada a impulso, de la categoría de los equipos y materiales que se prevé que se vayan a instalar. En algunos países, es de obligado cumplimiento instalar este tipo de protectores en la entrada de servicios.

3.6. Red Conductor

Los conductores se instalaron directamente, desde los conductores del sistema de captación. Se instaló rectilínea y vertical, siguiendo el camino más corto y directo a tierra.

El conductor de bajada se fijó directamente a la estructura, para la fijación de la red conductora a la estructura, se instaló una fijación por cada 1 m de conductor en superficies horizontales y verticales. Cuando las fijaciones verticales se encuentren a 20 mm por encima del suelo, las fijaciones se instaló cada 0,5 m. En el caso de fijaciones para conductores rígidos, la distancia de separación entre fijaciones será de 1 m para todos los casos. Para las paredes de hormigón, se usaron abrazaderas con taco. Para estructuras metálicas, se instaló abrazaderas con pata y para terrazas o cubiertas que no se puedan perforar, se utilizaron soportes de hormigón.

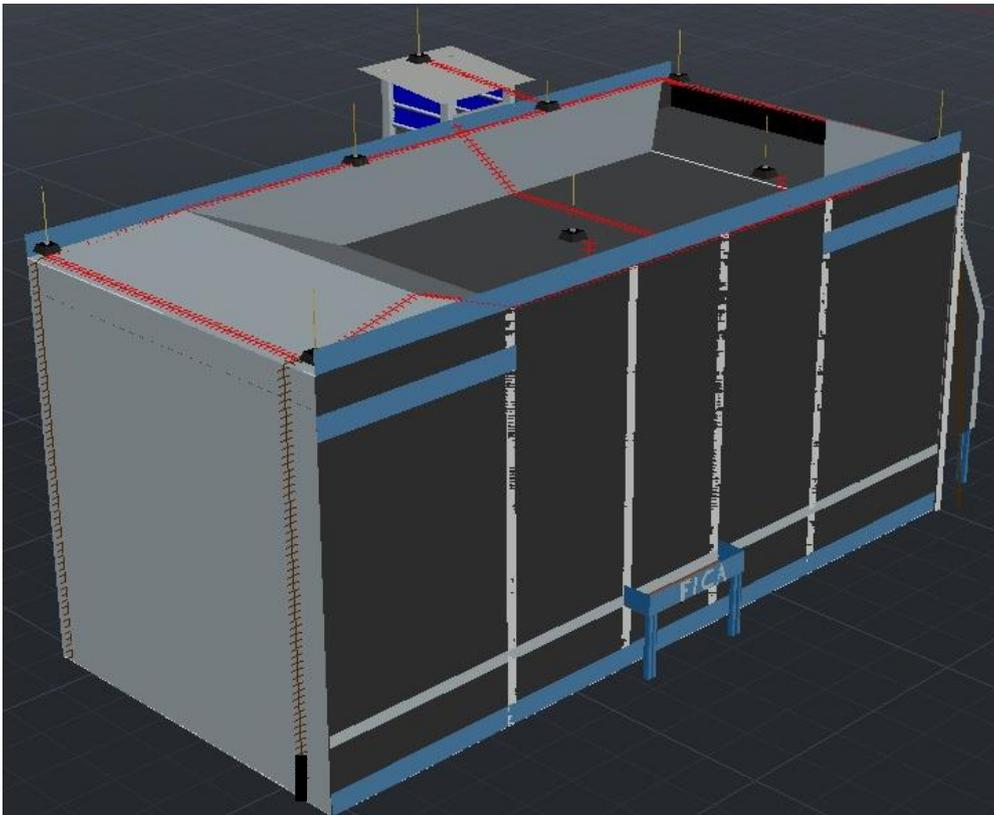


Figura 45. Cableado, vista frontal del edificio

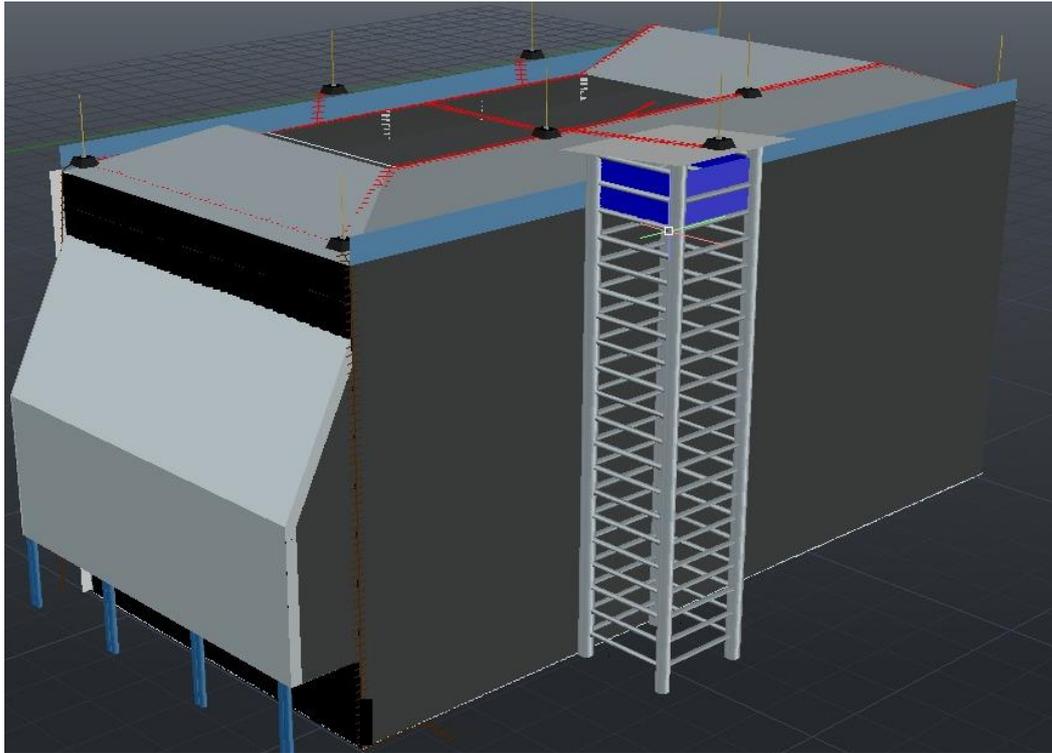


Figura 46. Cableado, vista posterior del edificio

Como se especificó anteriormente, la parte accesible inferior de un conductor de bajada se aisló mediante un tubo de PVC, de 3 mm de espesor para evitar cualquier problema en el sistema de captación.

3.6.1. Conductores

Se utilizó la Tabla 7 para las dimensiones y materiales de los conductores. Debe tenerse cuidado en el trazo del diseño para no violar los requerimientos de la norma, como curvaturas y distancias.

ETKHOS empresa privada dedicada establecer la seguridad en hospitales menciona varios cables duros y recocidos que se encuentran en el mercado, los cuales poseen cada uno sus propiedades:

- Cable recocido: Para conexiones a tierra, amarres, antenas de radio y TV, etc.
- Cobre duro: Para redes de distribución y líneas de transmisión aéreas.

Por tanto, se debe considerar qué cable de cobre se utiliza. Se adjunta como Anexo 1 una hoja técnica de la empresa INGESCO Lightning Solutions, la cual describe los distintos tipos de cable, su temperatura de operación, la norma de fabricación y los datos constructivos según la sección nominal, el número de hilos, etc.

Entonces, se eligió una opción comercial de la ficha técnica adjunta como anexos que se han mencionado con anterioridad:

- Cable conductor principal: 35 mm cuadrados de sección transversal y 305 g/m de peso por longitud.
- Cable conductor conector: 16 mm cuadrados de sección transversal. y 139 g/m de peso por longitud.
- Cable de bajada: 35 mm cuadrados de sección transversal y 305 g/m de peso por longitud.

También la normativa nos da la posibilidad de rodear un equipo si este interfiere en el trazo ideal de nuestro conductor, teniendo la consideración de no topar con el equipo.

3.6.2. Cables de bajada

La malla del pararrayos se sostiene en el techo con grapas para fijar el cable por 16.2 m que tiene la bajada del edificio de 18 m, para seguir con la norma NFPA 780 se puso el cable en un tubo de PVC a 1.8 m. Aproximadamente cada cable tiene 25 m de conductor, al tener 60 cm de distancia entre la malla y el límite del edificio, adicional los 60 centímetros del muro, 18 metros de altura que tiene el edificio y los 60 cm de profundidad del pozo, contando con una pequeña reserva en la medición. El diseño establecido cuenta con 4 pozos, siendo 100 m la cantidad total de cable.

El tubo PVC antes mencionado fue según las recomendaciones comerciales, Lightning and Surge Protection (2022) establecen las medidas exactas y sus características:

- Tubo PVC "Conduit" tipo liviano, de ½ pulgada (tiene que tener 3 veces la sección transversal del conductor que pasa por dentro).
- Curvas de 90 grados campana x espigo, de ½ pulgada. Éstas se usaron en la entrada del conductor con "Conduit" a la tierra para dirigirse a su pozo.

Como anteriormente se describió el diseño se estableció con 4 conductores de bajada hacia tierra, lo que significa que la malla a tierra de la Facultad de Ingenierías en Ciencias Aplicadas (FICA) tiene 4 pozos. El pozo tiene 3 metros de profundidad, porque la punta superior de la varilla de 2.40 metros debe conectarse 60 centímetros bajo la superficie del suelo. También se debe acotar que cada pozo va a 60 centímetros de distancia de cada camino o de lugar de acceso.

3.7. Pernos, elementos de sujeción y conectores

La normativa considera que los pernos usados miden $\frac{1}{4}$ in. Los pernos para sujetar el mástil de las puntas captadoras son de 18 mm cumpliendo con la normativa. En el diseño se usó pernos en todo el trayecto del cable de cobre desnudo, desde las puntas captadoras hasta los pozos y en las abrazaderas del tubo PVC.

Las grapas de fijación se instalaron cada 90 centímetros, por lo que, al tener la cantidad del cable, se pudo obtener el número de abrazaderas. Hay que tener en cuenta que debe contabilizarse los metros lineales del cable de la malla de pararrayos junto con el de los cables de bajada. (Flores Guerrero, 2019)



Figura 47. Abrazadera con tirafondo

Fuente: (INGESCO Lightning Solutions, 2023)

El cable de la malla del edificio en estudio necesitó 132 metros y para cada bajante 25 metros, siendo 100 metros; por lo que sumó 232 metros. Además, los tubos de PVC necesitaron 2 abrazaderas por cada uno, del tipo dos brazos como comúnmente se las conoce, su dimensión es de $\frac{1}{2}$ pulgada o 12.7 mm igual que el grosor del tubo.



Figura 48. Abrazadera de dos orejas

Fuente: (Amazon.com, 2023)

Los conectores son una aleación de Cu / Zn, al tener mayor resistencia a altas tensiones y a la corrosión como indica la norma. INGESCO S.A. ha recomendado el uso del siguiente maguito en T (1 pieza) 35 x 35 mm².

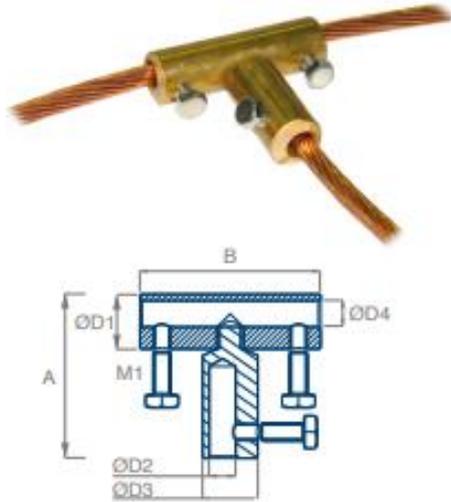


Figura 49. Conector en T

Fuente: (INGESCO Lightning Solutions, 2023)

Tabla 11.

Descripción técnica Manguito "T"

Descripción	Material	D1 (mm)	D2 (mm)	D3(mm)	L (mm)	M1	Peso (g)
Manguito "T" (1 pieza) 35 x 35 mm ²	Cu/Zn	25	8,5	8,5	100	M8	385

Fuente: (INGESCO Lightning Solutions, 2023)

Se introdujo en el manguito de conexión los extremos de los cables a unir, intentando que se introduzcan de igual longitud cada uno de ellos. Los tornillos que vienen incluidos son roscados y deben apretarse con una llave fija de 13 mm. (INGESCO Lightning Solutions, 2023)

Para el diseño de este proyecto se necesitaron según el número de pararrayos más el número de cables de bajada, debido a que se ubican en cada punto donde el conductor debe tomar diferente dirección y forma una conexión de tres puntas; siendo dos para el cable principal de la malla y uno para el bajante que se conecta con la punta captadora.

3.8. Sistema de puesta a tierra

Las puestas a tierra se establecieron con el objeto principal de limitar la tensión que, con respecto a tierra, pueden presentar en un momento dado las masas metálicas, y evitar diferencias de potencial peligrosas permitiendo el paso a tierra de las corrientes de falta o de descarga de origen atmosférico.

El sistema de puesta a tierra de una instalación de pararrayos es una de las partes más importantes de la instalación, por ser esta la encargada de disipar las corrientes del rayo y toda su energía. La forma y las dimensiones de los electrodos de puesta a tierra son puntos importantes para minimizar cualquier sobretensión peligrosa cuando se dispersa en el terreno la corriente del rayo (comportamiento a alta frecuencia).

Las varillas del proyecto son de 18 mm de diámetro con 2.4 metros de longitud. AL ser 4 pozo se necesitaron 4 varillas con las dimensiones dichas. La normativa sugiere conectarlas para evitar la tensión de paso y de contacto, para distribuir la tensión por todo el terreno y equilibrar la descarga atmosférica.

3.9. Resistencia del suelo

La resistencia del suelo debe entenderse como la capacidad que tiene el mismo para soportar cargas sin que se deforme. "La resistencia al corte del suelo no puede considerarse como un parámetro único y constante, ya que depende de su naturaleza, estructura, enlaces, nivel de deformaciones, etc., así como, muy especialmente, de su estado tensional y de la presión del fluido que rellena sus poros (agua o agua y aire)". (GeoQuantics, 2020)

Rojas (2020) da a conocer que los electrodos deberán tener una resistencia a tierra que no exceda 25 ohm. En el diseño se estableció una medición de 19.5 ohm, lo que está dentro de los parámetros indicados en la normativa.



Figura 50. Medición con telurómetro

La norma NFPA 780 establece que se debe realizar inspección visual una vez por año y comprobar las conexiones de alta resistencia y posibles alteraciones de los componentes. De igual forma, la normativa indica que se debe realizar inspección de la resistividad del suelo con una periodicidad anual. (NFPA 780, 2020)

Sin embargo, cuando no se pueda lograr esta resistencia a tierra con un solo electrodo, se instalarán otros electrodos hasta conseguir la resistencia indicada. Se recomienda probar la resistencia de las tierras al instalarse el sistema y repetir la prueba periódicamente cuando esté instalado. (Rojas, 2020)

3.10. Sistema de control del rayo

La empresa INGESCO S.A. recomendó la instalación de sistemas de control de rayos compuestos por contadores en su informe especifica los siguientes: CDR-11, CDR-HS o CDR UNIVERSAL.



Figura 51. CDR-HS

Fuente: (INGESCO S.A., 2023)



Figura 52. CDR-11

Fuente: (INGESCO S.A., 2023)



Figura 53. CDR UNIVERSAL

Fuente: (INGESCO S.A., 2023)

Para poder establecer un control, así como realizar los mantenimientos preventivos oportunos después de cada descarga. Se colocó un contador de rayos por instalación,

independientemente del número de bajantes que disponga. Dicho contador se colocó en un lugar visible por encima del tubo de protección.

3.11. Cantidad de material

Para terminal el diseño, se resumen y especifican la cantidad de material que se han calculado en el presente capítulo.

Tabla 12.

Lista de materiales

Material	Descripción	Unidad	Metros
Punta captora de cobre	Altura de 1800 mm, punta principal de 500 mm y 4 puntas auxiliares.	UND	9
Placa de sujeción	150 x 150 mm. Para soportar el pararrayo. 4 holes de 18 mm diámetro	UND	9
Tornillo de 18 mm diámetro y 1 in longitud con 1 tarugo	Cabeza hexagonal de 18 mm de diámetro y longitud 1 in.	UND	36
Conductor de cobre desnudo recocido 35 mm ²	305 g/m de peso por longitud	m	232
Abrazadera para cable desnudo con tirafondo	Para conductor de 35 mm ² de Cu/Zn	UND	300
Impermeabilizante	Para resanar perforaciones	GLN	1
Conector tipo "T" para conductor de 35 mm ²	De Cu/Zn	UND	25
Tubo "Conduit" PVC diámetro 1/2 in	Liviano en tubos de 3 metros	UND	3
Abrazadera para tubo PVC	2 orejas con sus pernos y tarugos.	UND	10
Curvas "Conduit" PVC de 90 grados, diámetro 1/2 in	Liviano	UND	10
Sistema de control de rayos	CDR Universal	UND	4
Varilla de cobre	Longitud 2400 mm, diámetro 18.5 mm. Instalación de pozo a tierra vertical.	UND	4
Soldadura exotérmica	Tipo CR-17, para la varilla de 18 mm y el conductor de 35 mm ² , con molde.	KIT	4
Registro plástico con tapa	Arqueta circular del PP de 222 de diámetro.	UND	4
Cemento conductivo	Sacos de 25 kg	Kg	100

3.12. Valorización del diseño

A continuación, se muestra la cotización de los materiales y el valor aproximado que un contratista del mercado nacional podría sugerir para realizar el trabajo. Los precios están en dólares americanos, con un valor total de 6602,056 USD.

Tabla 13.

Valorización del diseño

Material	Descripción	Unidad	Metros	P. UNIT	TOTAL
Punta captora de cobre	Altura de 1800 mm, punta principal de 500 mm y 4 puntas auxiliares.	UND	9	105	945
Placa de sujeción	150 x 150 mm. Para soportar el pararrayo. 4 holes de 18 mm diámetro	UND	9	37,5	337,5
Tornillo de 18 mm diámetro y 1 in longitud con 1 tarugo	Cabeza hexagonal de 18 mm de diámetro y longitud 1 in.	UND	36	1,45	52,2
Conductor de cobre desnudo recocido 35 mm ²	305 g/m de peso por longitud	m	232	4,35	1009,2
Abrazadera para cable desnudo con tirafondo	Para conductor de 35 mm ² de Cu/Zn	UND	300	1,25	375
Impermeabilizante	Para resanar perforaciones	GLN	1	130	130
Conector tipo "T" para conductor de 35 mm ²	De Cu/Zn	UND	25	2,75	68,75
Tubo "conduit" PVC diámetro 1/2 in	Liviano en tubos de 3 metros	UND	3	3,8	11,4
Abrazadera para tubo PVC	2 orejas con sus pernos y tarugos.	UND	10	0,65	6,5
Curvas "conduit" PVC de 90 grados, diámetro 1/2 in	Liviano	UND	10	2,5	25
Varilla de cobre	Longitud 2400 mm, diámetro 18.5 mm. Instalación de pozo a tierra vertical.	UND	4	20	80
Soldadura exotérmica	Tipo CR-17, para la varilla de 18 mm y el conductor de 35 mm ² , con molde.	KIT	4	15	60
Registro plástico con tapa	Arqueta circular <u>del PP</u> de 222 de diámetro.	UND	4	60	240
Cemento conductivo	Sacos de 25 kg	Kg	100	18	72

Mano de obra instalación del sistema	2500	2500
SOBTOTAL		5912,55
IVA 12%		709,506
TOTAL		6602,056

Conclusiones

El objetivo principal de un sistema contra descargas eléctricas es blindar a una edificación o estructura y no permitir que el rayo alcance la edificación minimizando los daños, creando un camino de resistencia eléctrica hasta el suelo para que se distribuya correctamente la descarga. Los principales elementos de este tipo de sistemas son: terminales aéreos, conductores de descenso, terminales de puesta a tierra y conductores de conexión al suelo.

La norma NFPA 780 Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance, en el que se basa este trabajo de investigación, expone las referencias sobre la instalación, materiales y directrices del sistema de protección contra descargas eléctricas; dependiendo de la edificación a proteger, establece parámetros y condiciones a cumplir.

El edificio de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte tiene los siguientes datos estructurales: mide $H = 18$ m, $W = 17,5$ m, $L = 38$ m, cuenta con un ascensor al costado, la azotea es de hormigón armado con varios tipos de techo metálico, ninguna chimenea o conducto que emita gases a altas temperaturas, tóxicos o altamente corrosivos. Ante estas especificaciones y conforme a la norma NFPA 780 se estableció que se requeriría de 9 puntas captoras con malla en circuito con un máximo entre estas de 15 m, conductores de cobre al desnudo de 2 AWG para el principal y 6 AWG para el conductor conector, los cables de bajada deben cubrirse con un tubo de PVC a 1.8 m de distancia antes de llegar al suelo, los 4 pozos contarán con conectores en T de cobre de 2.54 m a 3 m de profundidad.

Es importante destacar, el método de protección implementado más efectivo es el de la esfera rodante, ya que hace un completo barrido de la edificación a proteger, incluyendo los puntos críticos en los cuales puede impactar las descargas en una tormenta. En el caso de estudio de esta investigación, el edificio cuenta con ascensor al costado, por lo que el uso del método antes dicho logra proteger cada punto donde pueda impactar una descarga atmosférica.

Recomendaciones

El mapa isocerámico del Ecuador no cuenta con actualizaciones recientes que tenga una correcta cuantificación de acontecimientos nuevos y poder comparar con datos históricos para prever mejor este tipo de eventos atmosféricos. El INAMHI debe ser parte del proceso con un seguimiento real de las descargas atmosféricas, teniendo en cuenta que previamente el Estado debe intervenir con la compra de sensores de rayos, establecer un seguimiento y obtener la información digital actualizada de los niveles cerámicos en el país.

Cabe mencionar que para estructuras con alturas menores a los 50 m se recomienda utilizar el método de la esfera rodante, para una mejor cobertura o protección; además facilita la simulación en softwares de diseño con una mejor perspectiva al usar AUTOCAD.

Debido al constante peligro y el incremento de tormentas en Ecuador, se debería incrementar una normativa que norme a las edificaciones a utilizar un adecuado sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas

Referencias bibliográficas

- Aei. (2023). *Pararrayos: Protege tu instalación*. <https://info.aei.mx/blog/pararrayos-protege-tu-instalacion>
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables – ARCERNNR . (Septiembre de 2021). *Control recursos y energía*. Panorama eléctrico: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/PanoramaElectricoVI-Septiembre-Baja.pdf>
- Álvarez, M. (2020). *MAPA ISOCERÁUNICO GEORREFERENCIADO PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana .
- Amazon.com. (2023). <https://www.amazon.com/-/es/Amanaote-Inoxidable-inches-di%C3%A1metro-Abrazadera/dp/B00EV2663S>
- Arbelaez, M. (04 de DICIEMBRE de 2006). *Scientia Et Technica*. PROTECCIÓN EXTERNA DE EDIFICACIONES CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84911652030.pdf>
- ARC. (Septiembre de 2021). *Control recursos y energía*. Panorama eléctrico: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/PanoramaElectricoVI-Septiembre-Baja.pdf>
- Arcioni, J. C., & Giménez, J. F. (03 de 2019). *Protección contra sobretensiones | Artículo técnico*. Los rayos negativos descendentes a tierra y sus dos componentes: https://www.editores.com.ar/sites/default/files/ie340_arcioni_rayos.pdf
- Arguello, F. (21 de Febrero de 2020). *INFOTEKNICO*. [HTTPS://WWW.INFOTEKNICO.COM/NFPA-780-2020/#:~:TEXT=NFPA%20780%2C%20NORMA%20PARA%20LA,ASOCIADOS%20CON%20EVENTOS%20DE%20RAYOS](https://www.infotecnico.com/NFPA-780-2020/#:~:TEXT=NFPA%20780%2C%20NORMA%20PARA%20LA,ASOCIADOS%20CON%20EVENTOS%20DE%20RAYOS).
- Batista Abreu, G. (2011). *Instituto Superior Minero Metalurgico Dr. Antonio Núñez Jiménez*. Modificación del sistema de protección contra descargas atmosféricas en la línea aérea que alimenta la mina de la Empresa Cdte. Ernesto Che Guevara.: <https://1library.co/article/pararrayos-autovalvulares-protecciones-descargas-atmosf%C3%A9ricas-puntas-simple-franklin.yee3754y>

- BLITZPLANER. (02 de 2007). *MANUAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS*.
<https://ie2mmo.files.wordpress.com/2017/10/manual-de-proteccion-contra-rayos-dehn.pdf>
- Bossana, A. (2018). *IB & A*.
HTTPS://SISTEMAMID.COM/PANEL/UPLOADS/BIBLIOTECA/2017-11-25_06-59-44143071.DOCX#:~:TEXT=FUE%20EMITIDA%20POR%20EL%20CONSEJO,5%20DE%20AGOSTO%20DE%202004.
- Bravo, J. (2018). *ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO BASADOS EN LAS RECOMENDACIONES DE LA NFPA 780 PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA UBICADO A LA INTEMPERIE MEDIANTE PARARRAYOS TIPO FRANKLYN*. Lima, Perú: Universidad Tecnológica del Perú.
- Cacay Luzuriaga, A. H. (2013). *Universidad Nacional de Loja*. MEDICIÓN DE RESISTENCIAS DE PUESTAS A TIERRA EN LA CIUDADELA LOS GERANIOS:
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/18025/1/Cacay%20Luzuriaga%20C%20Asdr%20C3%20Babal%20Humberto.pdf>
- Cango Andrango, C. E., & Pichogagón Pulamarín, C. A. (01 de 2009). *Escuela Politécnica Nacional*. ELABORACION DE UN MANUAL PARA EL DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE MALLAS DE PUESTA A TIERRA:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8524/3/CD-1944.pdf>
- Cedeño, J., & Donoso, M. (2010). *Documentos técnicos del PHI-LAC, N° 21*. Guayaquilm UNESCO: Atlas Pluviométrico del Ecuador.
- Cedeño, J., & Donoso, M. (2018). *ATLAS PLUVIOMÉTRICO DEL ECUADOR "DOCUMENTOS TÉCNICOS DEL PHI-LAC, N°21"*. Guayaquil: UNESCO.
- CONSTRUCCIONES SAS. (27 de 05 de 2019). *RAYOS ¿Qué sabemos de rayos?*
<https://hgingeneria.com.co/rayos-que-sabemos-de-rayos/>
- Cuellar , A., Marroquín, A., & Segovia, M. (2018). *DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN PLANTA GENERADORA TERMICA, ACAJUTLA*. El Salvador: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
- Cuellar , A., Marroquín, A., & Segovia, M. (2018). *DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN PLANTA GENERADORA TERMICA, ACAJUTLA*. San Salvador: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.

- Dirección de Hidrometeorología Gerencia de vigilancia y pronóstico meteorológico. (2021). *Mapa Isoceráunico*. Panamá. <https://www.hidromet.com.pa/uploads/documentos/ISOCERAUNICO2021.pdf>
- Donaire, A., & Gago, M. (2018). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN DE DESCARGA ATMOSFÉRICA Y SOBRE TENSIONES PARA UN EDIFICIO DE APARTAMENTOS*. Lima, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.
- Donaire, A., & Gago, M. (2018). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN DE DESCARGA ATMOSFÉRICA Y SOBRE TENSIONES PARA UN EDIFICIO DE APARTAMENTOS*. Managua: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION.
- Empresa Pública de Medellín - EPM. (2018). *MEDIDA DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA*. Medellín: ÁREA DE DISTRIBUCIÓN. NORMAS TÉCNICAS MEDIDA DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA: https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/DOCUMENTOS-ENERGIA/NORMAS-TECNICAS-PARA-REDES-AEREAS/NORMAS-DE-MONTAJES-COMPLEMENTARIOS/RA6-015.pdf
- ETKHO. (2022). *Sistemas eléctricos*. Hospital Engineering. <https://www.etkho.com/sistemas-electricos-tn-caracteristicas-tipos-y-redes-tn-s-en-instalaciones-electricas-de-hospitales/#:~:text=Sistema%20de%20puesta%20a%20tierra%20TN&text=Cualquier%20equipo%20el%C3%A9ctrico%20conectado%20al,regulares%20durante%20toda>
- Flores Guerrero, R. (02 de 2019). *Universidad de PIURA*. DISEÑO DE PROTECCIONES ATMOSFÉRICAS EXTERNAS SEGÚN NORMAS NFPA 780 - CASO EDIFICIO "E" - UDEP: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4025/IME_252.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Flores, R. (2019). *DISEÑO DE PROTECCIONES ATMOSFÉRICAS EXTERNAS SEGÚN NORMAS NFPA 780 - CASO EDIFICIO "E" - UDEP*. Piura, Perú: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica.
- FLUKE Corporation. (2017). *FLUKE*. Everett: WA 98206 EE.UU. Resistencia de puesta a Tierra.: https://dam-assets.fluke.com.cn/s3fs-public/9902802_ENG_A_W.PDF
- Franklin, L., & Blanco, J. (6 de 12 de 2018). *Diseño de Protección Contra Descargas Atmosféricas en el Nuevo Estadio Nacional Denis Martínez*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería. Diseño de protección contra descargas atmosféricas en el

Nuevo Estadio Nacional Denis Martínez: <https://1library.co/document/yj8dkkkq-diseno-proteccion-descargas-atmosfericas-estadio-nacional-denis-martinez.html>

García , V., & Moriano, J. (2013). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS: CASO BLOQUE E DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA*. Pereira: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.

García Lagos, F., & Torres Islas, U. (02 de 2012). *Instituto Politécnico Nacional*. ESTUDIO ESTADÍSTICO DE SOBRETENSIONES TRANSITORIAS DEBIDAS A DESCARGAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/10561/1/68.pdf>

García, R. (2018). *Teoría de fallas estáticas en los materiales*. Tuxtla: Tecnológico Nacional de México - Departamento de metalmecánica .

Geociencia SURA. (2019). *MODELO GLOBAL DE AMENAZA Y RIESGO SÍSMICO*. Sudamérica: Empresa SURA.

GeoQuantics. (2020). *Esfuerzo cortante en suelos: características y comportamiento de un suelo sometido a corte*. España. <https://geoquantics.com/2020/02/05/esfuerzo-cortante-suelos/#:~:text=La%20resistencia%20al%20corte%20del,agua%20o%20agua%20y%20aire>).

Gerin, M. (2019). *Sobretensiones transitorias de origen atmosférico*. Schneider Electric S.A.

Gobierno de España - Contratación . (2022). *Informe del estado Protección rayo*. Informe del estado.com: <https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/50919da2-4f5c-4864-8f03-e0ca9eeaceac/DOC201709180953157+4+PROTECCION+RAYO.pdf?MOD=AJPERES>

Granados Vivas, C. A. (10 de 12 de 2019). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA*. CARACTERIZACIÓN DE DESCARGAS PRELIMINARES PRODUCIDAS POR RAYOS NUBE-TIERRA EN BOGOTA COLOMBIA.: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77662/TESIS_TREN%20PBP_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Grupo Educacional Heinrich. (2019). *GUÍA DE ESTUDIO DE FÍSICA*. Chile: New Heinrich High School.

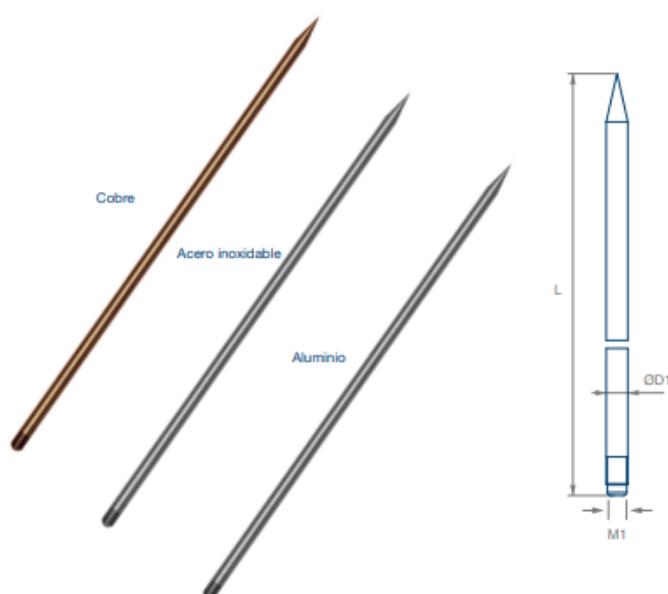
- Herrera, M. (2014). *Sistema de Protección contra descargas atmosféricas en edificios aplicando la norma NMX -J- 549*. Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- INGESCO LIGHTNING SOLUTIONS. (18 de Mayo de 2022). *ingesco.com*.
<https://www.ingesco.com/es/noticias/como-funciona-un-pararrayos>
- INGESCO Lightning Solutions. (2023). *INGESCO.com*.
<https://www.ingesco.com/es/productos/abrazadera-iec-62561-4>
- INGESCO S.A. (2023). *PROTECCIONES ELECTRICAS*. Calculus ReportPROTECCIONES ELECTRICAS.
file:///C:/Users/USER/Downloads/calculus_report%20TESIS%20DJ.pdf
- Kessler, L. (2020). *Sistema de Pararrayos; su importancia para la seguridad del edificio*. TAGGED CTS, FRANKLIN, PARARRAYOS, PDC.
<https://afinidadelectrica.com/2020/05/18/sistema-de-pararrayos-su-importancia-para-la-seguridad-del-edificio/>
- Lightning and Surge Protection. (2022). *Sistema de suministro de energía (TN-C, TN-S, TN-CS, TT, IT)*. <https://www.lsp-international.com/es/power-supply-system/>
- Llerena, J. (2018). *EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN UNA UNIDAD MINERA A 4000 MSNM ACONDICIONANDO FÓRMULA PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO ELECTROGEOMÉTRICO*. Arequipa, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA.
- Luque, M. (2019). *Electrificación de las nubes de tormenta: el mecanismo inductivo*. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Marroquín Santoña, A. (2004). *AEMET. DESCARGAS ELÉCTRICAS*:
https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/2209/1/descargas_cal2005.pdf
- Medina, G. (2022). *PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS*. Likerin.
- MÉNDEZ, N. M. (Marzo de 2022). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO. DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE APANTALLAMIENTO, PUESTA A TIERRA Y CÁMARA DE TRANSFORMACIÓN DEL CENTRO DE SALUD N°1 "CENTRO HISTÓRICO" DEL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA*.:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22373/1/UPS%20-%20TTS764.pdf>

- Mendieta, E. (12 de 03 de 2009). *ESPOL. DESTRUCCIÓN ELECTRÓNICA CON PULSOS ELECTROMAGNÉTICOS*:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4768/1/7350.pdf>
- Merla, A. (19 de 03 de 2021). *Cursos Tesla. "Comportamiento Transitorio De Las Redes De Puesta A Tierra De Las Subestaciones Bajo Sobretensiones Eléctricas"*:
<https://cursos Tesla.com/comportamiento-transitorio-de-las-redes-de-puesta-a-tierra-de-las-subestaciones-bajo-sobretensiones-electricas/>
- NFPA 780. (2020). *Standard for the Installation of Lightning Protection Systems*. Quincy, Estados Unidos: MA: National Fire Protection Association.
- NFPA Standards. (2020). *Standard for the Installation of Lightning Protection Systems*. Quincy (Massachusetts): National Fire Protection Association.
- Paladines Vélez, G., Paladines Vélez, N., Paltán Zhingre, V., Pazmiño Moreira, V., Pedroza Uzhca, W., Portilla Merino, P., & Rivera Robles, C. (03 de DICIEMBRE de 2015). *BILBIOTECA VIRTUAL EM SAÚDE. FENÓMENO DEL NIÑO HISTORIA Y PERSPECTIVAS*:
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/medicina/article/view/961/852>
- Poma, M. (2017). *Sistema de Pararrayos y su importancia para la seguridad*. Lima: Silicon Techonology.
- Poma, M. (2018). *Sistema de Pararrayos y su importancia para la seguridad*. Lima: Silicon Technology.
- Rakov, V. A. (2003). *Lightning "Physics and effects"*. New York: University of Cambridge.
- Rojas, G. (2020). *MANUAL DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA*. Cembre.
- Romero, R., & Melo, A. (2021). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE APANTALLAMIENTO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA LOS EDIFICIOS DE LA UNIMETA*. Villavicencio: Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.
- Runde, D. (Febrero de 2020). *Informe MSD Lesiones por rayos*.
<https://1library.co/article/c%C3%A1iculo-selecci%C3%B3n-apartarrayos-aplicaci%C3%B3n-selecci%C3%B3n.4yrk9ojz>
- Salazar, M. (2023). *Sistemas de puesta a tierra*. México: RESALMEX.
<https://www.relsamex.com/sistemas-de-puesta-a-tierra/#:~:text=El%20sistema%20de%20puesta%20a,de%20conductores%20de%20conexi%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica.>

- Silguero Oliveros , A. (2018). *Aplicación informática que optimiza la medición de resistencia de sistemas de puesta a tierra*.
- Sinchi, F. (2017). *Diseño y determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo GEM y electrodo químico*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. DISEÑO Y DETERMINACIÓN DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO CON ELEMENTOS COMUNES UTILIZADOS EN LA REGIÓN, INCLUYENDO GEM Y ELECTRODO QUÍMICO.
- SOS Development S.A . (17 de Noviembre de 2021). *Pararrayos Faraday*. EE. UU.: CONDU GROUND. Jaula de Faraday: Qué es y cómo funciona: <https://www.pararrayos.com/jaula-de-faraday-que-es-como-funciona/>
- Uman, M. A. (2001). *The Lightning Discharge*. Gainesville: Library of congress cataloging in publication data "University of Florida".
- Velasco, A., Soler, J., & Botina, O. (2019). *Circuito RC*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia Universidad Nacional de Colombia.
- VERDUGO GONZÁLEZ, K. I. (OCTUBRE de 2017). *POLITÉCNICO DE LEIRIA. "CONTRIBUCIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE DETECCIÓN DE RAYOS EN ECUADOR"*: <https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/3168/1/TESIS%2bKARLA%2bISABEL%2bVERDUGO%2bGONZALEZ.pdf>
- Visacro, S. (2020). *Descargas eléctricas atmosféricas. Origen, impactos y sistemas de protección*. Río de Janeiro: Universidad de Río de Janeiro.
- Zurita, M. (2020). *MAPA ISOCERÁUNICO GEORREFERENCIADO PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS*. Quito: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

Anexos

Anexo 1: Ficha técnica puntas captadoras.



► PUNTAS CAPTADORAS

Puntas captadoras de 16 mm y 20 mm de diámetro con longitud desde 300 mm a 2.000 mm. Fabricadas en cobre, acero inoxidable o en aluminio. Otras dimensiones o materiales consultar.

► aplicaciones

- Protección externa de SPCR (Sistemas de protección contra el rayo).
- Forma parte del sistema de protección pasiva, puntas y mallas conductoras.

► características y beneficios

- Simplicidad
- Bajo coste.
- Fácil instalación.
- Unidas mediante conductores forman las mallas conductoras o "jaulas de Faraday".

► especificaciones técnicas

Puntas captadoras cobre	Referencia	Material	L (mm)	D1 (mm)	M1	Peso (g)
CU300-16	110081	Cu	300	16	M16	440
CU500-16	110083	Cu	500	16	M16	800
CU600-16	110028	Cu	600	16	M16	980
CU1000-16	110035	Cu	1000	16	M16	1700
CU1500-16	110224	Cu	1500	16	M16	2600
CU2000-16	110034	Cu	2000	16	M16	3500
CU300-20	110089	Cu	300	20	M20	740
CU500-20	110091	Cu	500	20	M20	1310
CU1000-20	110093	Cu	1000	20	M20	2710
CU2000-20	110095	Cu	2000	20	M20	5530
Puntas captadoras acero inoxidable	Referencia	Material	L (mm)	D1 (mm)	M1	Peso (g)
IN300-16	110080	Inox	300	16	M16	420
IN500-16	110082	Inox	500	16	M16	740
IN600-16	110032	Inox	600	16	M16	900
IN1000-16	110084	Inox	1000	16	M16	1530
IN1500-16	110215	Inox	1500	16	M16	2370
IN2000-16	110086	Inox	2000	16	M16	3110
IN300-20	110088	Inox	300	20	M20	690
IN500-20	110090	Inox	500	20	M20	1180
IN1000-20	110092	Inox	1000	20	M20	2420
IN2000-20	110031	Inox	2000	20	M20	4880

ingesco.com

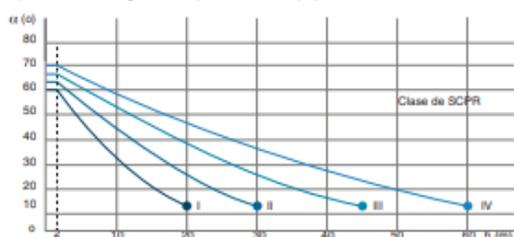
Puntas captadoras aluminio	Referencia	Material	L (mm)	D1 (mm)	M1	Peso (g)
AL300-16	110245	Alu	300	16	M16	170
AL500-16	110291	Alu	500	16	M16	280
AL1000-16	110037	Alu	1000	16	M16	560
AL1500-16	110292	Alu	1500	16	M16	850
AL2000-16	110293	Alu	2000	16	M16	1100
AL3000-16	110284	Alu	3000	16	M16	1600

► instalación

Montaje directo sobre pieza de adaptación estándar o base horizontal.

En función de la estructura a proteger y el nivel de protección requerido, la Norma IEC 62305-3 establece los siguientes métodos de cálculo del área de protección:

a) Método ángulo de protección (α)



NOTA 1. No es aplicable para valores superiores a los marcados con ●. En estos casos sólo se aplican métodos de la esfera rodante y de la malla.

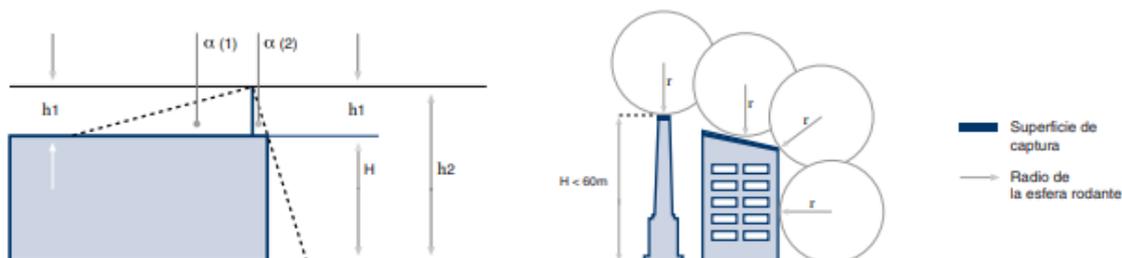
NOTA 2. h (m) es la altura del captador por encima del plano de referencia de la zona a proteger.

NOTA 3. El ángulo de protección (α) no varía para valores de h inferiores a 2 m.

b) Método de la esfera rodante y malla:

Clase de SPCR	Radio de esfera rodante (m)	Tamaño de la malla (m)
I	20	5x5
II	30	10x10
III	45	15x15
IV	60	20x20

TABLA 2. Valores máximos de radio de la esfera rodante y tamaño de la malla para cada clase de SPCR.



► normas y ensayos

- IEC 62.305-3
- IEC 62561-1

• Ensayo por Test Report Number : 4789563988.1.

DENA DESARROLLOS SL

Cardener 5 | 08223 Terrassa | Barcelona | Spain
T 937 360 305 | T (+34) 937 360 314
info@ingesco.com

INGESCO[®]
LIGHTNING SOLUTIONS

**PUNTAS
CAPTADORAS**

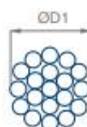
ingesco.com

V 1.31

Anexo 2: Ficha técnica de cable de cobre desnudo



35 mm² 50 mm² 70 mm² 95 mm²



» CABLE TRENZADO DE COBRE

Cable trenzado de cobre electrolítico desnudo.

» aplicaciones

Entre sus múltiples aplicaciones como elemento conductor, se utiliza para la construcción de mallas captadoras y bajantes de conexión en sistemas de protección contra el rayo y para la construcción de sistemas de puesta a tierra.

» características y beneficios

- Fácil instalación.
- Gran flexibilidad.
- Conexionado mediante manguitos o elementos a presión (manguitos lineales, en "T", en cruz, etc...) o mediante soldadura aluminotérmica.

Ac

» normativas y ensayos

- CTE
- UNE 21186
- IEC 62.561-2
- REBT
- NFC 17-102
- IEC 62305 (secciones superiores a 50mm²)

» especificaciones técnicas

Descripción	Referencia	Material	D1 (mm)	L (m)	Peso (Kg)
Cable trenzado de cobre 35mm ² de sección	117071	Cu	7,5	-	0,315/m
Cable trenzado de cobre 50mm ² de sección	117072	Cu	8,5	-	0,500/m
Cable trenzado de cobre 70mm ² de sección	117073	Cu	9,5	-	0,600/m
Cable trenzado de cobre 95mm ² de sección	117074	Cu	11,5	-	0,830/m
Bobina 25m cable Cu 50mm ²	117122	Cu	8,5	25	12,5
Bobina 50m cable Cu 50mm ²	117123	Cu	8,5	50	25



DENA DESARROLLOS SL
Cardener 5 | 08223 Terrassa | Barcelona | Spain
T 937 360 305 | T (+34) 937 360 314
central@ingesco.com

CABLE TRENZADO DE COBRE

ingesco.com

Anexo 2: Visita técnica Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

