

**EVALUACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA  
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA EL EDIFICIO DE BELLAS ARTES  
(BLOQUE H).**

YENNY CAROLINA AGUDELO PARRA  
JUDY ASTRID MORA CARDONA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
PEREIRA  
2015

**EVALUACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA  
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA EL EDIFICIO DE BELLAS ARTES  
(BLOQUE H).**

YENNY CAROLINA AGUDELO PARRA  
JUDY ASTRID MORA CARDONA

DIRECTOR  
JORGE HUMBERTO SANZ ÁLZATE  
INGENIERO ELECTRICISTA  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE TECNÓLOGO EN ELECTRICIDAD.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
PEREIRA  
2015

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma Del Director

---

Firma Del Jurado

---

Firma Del Director del Programa

Fecha: Mayo de 2015

## DEDICATORIA

*A Dios, por permitirme alcanzar esta meta.  
A mi madre Dalila Cardona Galeano y mis Hermanos por su amor y apoyo  
incondicional.  
Ya mis Hijas: Laura Sofia y Liana Sarai, por convertirse en el motor de  
mi vida y darme fuerza para seguir adelante con mis metas y mis proyectos.*

*Judy Astrid Mora Cardona*

*A Dios primero que todo por permitirme cada segundo de vida, por ser mi  
guía y mi esperanza en cada paso que doy en mi camino.  
A mi hija María Camila por su paciencia y espera cada noche con una  
sonrisa brindándome alientos para seguir adelante a pesar de que eso  
significaría sacrificar tiempo juntas.  
A mi madre María Victoria por confiar siempre en mí y por su apoyo  
incondicional, por ser padre y madre con su trabajo arduo sacarnos adelante.  
Ya mi esposo Luis Rodríguez por escucharme y no dejarme desfallecer en  
los momentos más difíciles, por su comprensión y paciencia.*

*Yenny Carolina Agudelo Parra*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darnos fortalezas para seguir adelante con nuestro proyecto pese a las dificultades dadas durante el desarrollo del mismo.

A nuestro director Jorge Humberto Sanz Alzate por brindarnos su apoyo y colaboracion para la elaboracion y desarrollo del proyecto.

A nuestros familiares por la paciencia y el apoyo incondicional durante el proceso.

A nuestra amiga Michell Paulina Restrepo, por brindarnos su colaboracion y conocimineto en el manejo del programa de simulacion AutoCAD, que sin su colaboracion no se hubiese podido seguir adelante con este .

A todos nuestros compañeros, amigos y profesoires por compartir sus conocimientos, por su apoyo incondicional y por toda la paciencia para escucharnos ayudandonos de una u otra forma hacer posible la realizacion y culminacion de este proyecto.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
2.1 NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS .....	17
2.2 DEFINICIÓN DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (RAYO).....	18
2.2.1 Formación de Rayo .....	19
2.3 PARÁMETROS DEL RAYO.....	22
2.3.1 RAYOS A TIERRA .....	22
2.3.2 DAÑOS PROVOCADOS POR UNA DESCARGA ATMOSFÉRICA...25	
2.4 PROTECCIÓN CONTRA LA CAÍDA DE RAYOS.....	28
2.4.1 Protección primaria .....	29
2.5 EVALUACIÓN DE LA NECESIDAD DE INSTALAR UN SISTEMA DE PROTECCIÓN .....	32
2.5.1 MODELOS PARA ESTIMAR LA ZONA DE PROTECCIÓN .....	33
<b>3. SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SIPRA) .....</b>	<b>39</b>
3.1 CLASES DE SIPRA .....	39
3.2 DISEÑO DEL SIPRA .....	39
<b>4. SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO (SPE) .....</b>	<b>41</b>
4.1 ASPECTOS GENERALES .....	41
4.1.1 Tipos de protección externa .....	41
4.1.2 Componentes.....	41
4.2 SISTEMA DE CAPTACIÓN .....	41
4.2.1 Ubicación .....	42
4.3 SISTEMA DE BAJANTES.....	42
4.4 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA .....	43
<b>5. DISEÑO SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA EL EDIFICIO DE BELLAS ARTES (BLOQUE H) .....</b>	<b>44</b>
5.1 EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	44
5.1.1 Densidad de Descargas a Tierra (DDT) y $I_{abs}$ .....	45
5.1.2 Indicador de Exposición al Rayo .....	47
5.1.3 Indicador de Gravedad .....	48

5.1.4	Matriz de Riesgo .....	51
<b>6.</b>	<b>EVALUACIÓN NIVEL DE RIESGO SOFTWARE IEC RISK ASSESSMENT</b>	
	<b>CALCULATOR.....</b>	<b>55</b>
6.1	CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA.....	55
6.1.1	Tipo de estructura .....	55
6.1.2	Riesgo de incendio (Rf).....	56
6.1.3	Tipo de cableado interno (Ks3).....	56
6.2	INFLUENCIAS AMBIENTALES .....	57
6.2.1	Factor de situación de los elementos próximos (Cd). .....	57
6.2.2	Factor Ambiental (Ce) .....	57
6.2.3	Tipo de terreno.....	58
6.3	PÉRDIDAS .....	58
6.3.1	Tipo 1. Pérdidas de vidas humanas .....	58
6.3.2	Por riesgo de pánico. ....	59
6.3.3	Consecuencias de los daños.....	59
6.3.4	Factor de pérdidas por sobretensiones - Lo1 .....	60
6.4	Tipo 2. Pérdidas de servicios esenciales .....	61
6.4.1	Pérdidas de servicios (L2).....	61
6.5	TIPO 3. PÉRDIDAS DE PATRIMONIO CULTURAL (Lf3).....	61
6.5.1	Pérdidas de patrimonio Lf3.....	61
6.6	TIPO 4. PÉRDIDAS ECONÓMICAS .....	62
6.6.1	Factor de riesgos especiales (h4).....	62
6.6.2	Factor de pérdidas por incendio (Lf4).....	62
6.6.3	Factor de pérdidas por sobretensiones (Lo4) .....	63
6.6.4	Factor de pérdidas potenciales por tensiones de paso/contacto - Lt4	63
6.6.5	Riesgo tolerable de pérdidas (Rt4) .....	64
6.7	LÍNEAS DE SERVICIOS.....	64
6.7.1	Suministro eléctrico .....	64
6.7.2	Tipo de cable (PLDO/PLIO).....	65
6.7.3	Transformador MT/BT (Ct) .....	65
6.8	OTROS SERVICIOS AÉREOS.....	66
6.8.2	Tipo de cable - PLD1 y PLI1.....	66
6.9	OTROS SERVICIOS ENTERRADOS.....	66

6.9.2	Tipo de cable - PLD2 y PLI2.....	66
6.10	MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES.....	67
6.10.2	Clase de SPCR según la IEC.....	67
6.10.3	Protección contra sobretensiones (SP) .....	68
<b>7.</b>	<b>SIMULACIÓN .....</b>	<b>69</b>
<b>8.</b>	<b>DISEÑO SISTEMAS DE CAPTACIÓN .....</b>	<b>71</b>
<b>9.</b>	<b>DISEÑO SISTEMA DE BAJANTES.....</b>	<b>75</b>
<b>10.</b>	<b>SISTEMA DE PUESTA A TIERRA .....</b>	<b>78</b>
<b>11.</b>	<b>COSTO SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO .....</b>	<b>82</b>
<b>12.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>83</b>
<b>13.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>14.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>86</b>



## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Descarga de nube a tierra (Rayo).....	18
Ilustración 2. Descarga entre nubes (Relámpago) .....	19
Ilustración 3. Fenómeno de polarización de cargas. ....	20
Ilustración 4. Formación de una descarga eléctrica atmosférica .....	21
Ilustración 5. Punto de Impacto.....	22
Ilustración 6. Definiciones de parámetros de impacto corto .....	23
Ilustración 7. Definición de parámetros para descargas largas. ....	23
Ilustración 8. Posibles componentes de descargas descendentes (típicas en territorios planos y estructuras bajas).....	24
Ilustración 9. Posibles componentes de descargas ascendentes (típicas para estructuras expuestas y/o altas) .....	25
Ilustración 10. Esquema Sistema de Puesta a Tierra.....	32
Ilustración 11. Cono de protección.....	34
Ilustración 12. Ejemplo de aplicación .....	34
Ilustración 13. Proyección del volumen sobre el plano del piso. ....	35
Ilustración 14. Método de la esfera rodante .....	36
Ilustración 15. Elementos del sistema de protección (método de la esfera rodante) .....	37
Ilustración 16. Diseño de una red de conductores para el sistema de captación de un SIPRA sobre una estructura con forma compleja.....	38
Ilustración 17. Diagrama de flujo (Evaluación de Riesgo) .....	45
Ilustración 18. Curva de probabilidad acumulada de corriente de retorno negativa, comparativa entre países ubicados en zonas templadas y zonas tropicales.....	47
Ilustración 19. Ecuación de Índice de Gravedad y variables .....	48
Ilustración 20. Simulación software IEC RISK ASSESSMENT CALCULATOR.....	69
Ilustración 21. Evaluación Nivel de Riesgo según IEC RISK ASSESSMENT CALCULATOR .....	70
Ilustración 22. Esferas rodantes (vista lateral izquierda) .....	72
Ilustración 23. Esferas rodantes (vista lateral derecha).....	72
Ilustración 24. Esferas rodantes (vista trasera) .....	73
Ilustración 25. Esferas rodantes (vista delantera) .....	73
Ilustración 26. Sistema de captación edificio de Bellas Artes .....	74
Ilustración 27. Vista de bajantes (Lateral izquierdo).....	76
Ilustración 28. Vista de bajantes (Lateral derecha) .....	76
Ilustración 29. Sistema de captación y bajantes (vista superior) .....	77
Ilustración 30. Elementos de un sistema de protección. ....	77
Ilustración 31. Perfil de resistividad del terreno.....	78

## LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Efecto de los rayos sobre estructuras típicas. ....	27
Tabla 2. Representación de 4 zonas o niveles de protección. ....	36
Tabla 3. Relación entre las clases de SIPRA y el Nivel de protección para el Rayo .....	39
Tabla 4. Densidad de cargas a tierra para Colombia. ....	46
Tabla 5. Indicadores de parámetros del Rayo.....	48
Tabla 6. Indicador de Gravedad.....	49
Tabla 7. Subindicador relacionado con el tipo de estructura. ....	49
Tabla 8. Subindicador relacionado con el tipo de estructura. ....	49
Tabla 9. Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura.....	50
Tabla 10. Valores para cálculo de índice de Gravedad para el bloque de Bellas Artes de la Universidad Tecnológica de Pereira. ....	50
Tabla 11. Indicador de Gravedad para Edificio de Bellas Artes de la Universidad Tecnológica de Pereira. ....	51
Tabla 12. Matriz de niveles de riesgo .....	52
Tabla 13. Decisiones y acciones para controlar el riesgo .....	53
Tabla 14. Acciones recomendadas según el nivel de riesgo.....	54
Tabla 15. Medidas de protección para Bloque de Bellas Artes Universidad Tecnológica de Pereira. ....	54
Tabla 16. Tipo de estructura .....	56
Tabla 17. Riesgo de incendio .....	56
Tabla 18. Tipo de cableado .....	57
Tabla 19. Factor de situación de los elementos próximos (Cd).....	57
Tabla 20. Factor ambiental .....	58
Tabla 21. Tipo de terreno.....	58
Tabla 22. Perdidas por vidas humanas (Tipo 1).....	59
Tabla 23. Por riesgo de pánico (De peligrosidad especial) .....	59
Tabla 24. Consecuencia de los daños (factor de peligrosidad especial) .....	60
Tabla 25. Factor de pérdidas por sobretensiones .....	61
Tabla 26. Perdidas de servicios (L2).....	61
Tabla 27. Perdidas de patrimonio .....	62
Tabla 28. Factor de riesgos especiales.....	62
Tabla 29. Factor de pérdidas por incendio. ....	63
Tabla 30. Factor de pérdidas por sobretensiones .....	63
Tabla 31. Factor de pérdidas potenciales por tensiones de paso/contacto .....	64
Tabla 32. Riesgo tolerable de pérdidas.....	64
Tabla 33. Suministro eléctrico.....	65
Tabla 34. Tipo de cable .....	65
Tabla 35. Transformador (Ct) .....	66
Tabla 36. Tipo de cable PLD1 y PLI1 .....	66

Tabla 37. Tipo de cable PLD2 y PLI2 .....	67
Tabla 38. Clase de SPCR .....	67
Tabla 39. Protección contra sobretensiones .....	68
Tabla 40. Dimensiones Edificio Bellas Artes Universidad Tecnológica de Pereira	69
Tabla 41. Radio de la esfera rodante según el Nivel de protección.....	71
Tabla 42. Distancia de separación promedio para conductores bajantes.....	75
Tabla 43. Requerimientos para los bajantes. ....	75
Tabla 44. Medición de resistividad de SPT. ....	79
Tabla 45. Medición Resistencia SPT .....	80
Tabla 46. Criterios de evaluación medición resistencia.....	81
Tabla 47. Presupuesto sistema de protección .....	82

## GLOSARIO

Para propósito de este proyecto estas son algunas definiciones que se deben de tener en cuenta para un mejor entendimiento en el análisis y diseño que llevara el sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas para el edificio de bellas artes (Bloque H). [2]

**Conductor de puesta a tierra:** es aquel conductor de un circuito que se conecta a tierra intencionalmente. Este conductor garantiza la conexión física entre las partes metálicas expuestas a alguna falla y la tierra. Por medio de este conductor circula la corriente no deseada hacia la tierra.

**Electrodo de puesta a tierra:** es un cuerpo metálico conductor desnudo que va enterrado y su función es establecer el contacto con la tierra física.

**Resistencia de tierra:** es la resistencia que nos ofrece el terreno hacia la corriente en un sistema de puesta a tierra, esta resistencia depende de la resistividad del terreno y área de los conductores.

**Resistividad del terreno:** es la propiedad del terreno que se opone al paso de la corriente eléctrica, la resistividad varía de acuerdo a las características del terreno.

**Sistema de tierra:** son varios conductores desnudos que se interconectan con una o varias mallas o electrodos enterrados.

**Supresor de picos:** no son más que elementos de protección contra sobre tensiones transitorias.

**Anillo:** elemento conductor utilizado para interconectar los terminales de captación y/o las bajantes, con el fin de proveer equipotencialidad y distribuir la corriente del rayo.

**Conductor bajante (Down conductor):** elemento conectado eléctricamente entre los terminales de captación y la puesta a tierra de protección contra rayos – PTPR, cuya función es conducir las corrientes de rayo que pueden incidir sobre la instalación a proteger.

**Barraje equipotencial -BE:** conductor en forma de barra, placa o cable que permite la unión de dos o más conductores y que garantiza el mismo potencial.

**Corriente pico absoluta promedio del rayo:** el valor con el 50% de probabilidad de que sea la corriente máxima del rayo, sin importar la polaridad.

**Densidad de descargas a tierra – DDT:** número de descargas individuales (strokes) a tierra por kilómetro cuadrado al año. Medida en área de  $9 \text{ km}^2$  (3Km x 3 Km). Permite cuantificar la incidencia de rayos en la zona.

**Puesta a tierra de protección contra rayos – PTPR:** conductor o grupo de ellos inmerso en el suelo, cuya función específica es dispensar y disipar las corrientes del rayo en el suelo. Esta puesta a tierra hace parte del sistema de puesta a tierra general de edificación.

**Electrodo de puesta a tierra:** conductor o conjunto de conductores enterrados que sirven para establecer una conexión con el suelo, inalterable a la humedad y a la acción química del terreno.

**Equipotencialización (BONDING):** técnica utilizada para reducir la diferencia de tensión entre diferentes puntos.

**Máxima rata de ascenso de la corriente del rayo – di/dt (MAXIMUM CURRENT RATE OF RISE):** variación del valor de la corriente durante el tiempo de frente de la onda. Se utiliza para el cálculo de tensiones electromagnéticas inducidas.

**Multiplicidad:** es el número de descargas subsecuentes por cada rayo.

**Nivel de riesgo por rayos – NRR:** indicador que indica los límites y la proporción dentro de los cuales es necesario utilizar un nivel de protección contra los rayos preestablecido.

**Nivel Ceraunico – NC:** número de días al año en los cuales es iodo por lo menos un trueno.

**Rayo:** la descarga eléctrica atmosférica o más comúnmente conocida como rayo es un fenómeno físico que se caracteriza por una transferencia de carga eléctrica de una nube hacia la tierra, de la tierra hacia la nube, entre dos nubes, al interior de una nube o de la nube hacia la iosfera.

**Resistividad eléctrica:** relación entre la diferencia de potencial en un conductor y la densidad de corriente que resulta en el mismo. Es la resistencia específica de una sustancia.

**Sistema de protección externa contra rayos – SPE:** es el conjunto comprendido por terminales de captación, bajantes, puesta a tierra de protección contra rayos, conectores, herrajes y otros, cuya función es captar las descargas y conducir las a tierra de forma segura, ejerciendo un control sobre la descarga.

**Sistema de protección interno – SPI:** es el conjunto de dispositivos para reducir las sobretensiones transitorias que se pueden presentar al interior de una instalación.

**Sistema de puesta a tierra – SPT:** conjunto de elementos conductores de una edificación, sin interrupciones de fusibles, que se unen con el suelo o terreno.

**Sistema integral de protección contra rayos –SIPRA:** sistema con el que se puede alcanzar un alto grado de seguridad para las personas y equipos, mediante la combinación de varios elementos como la protección externa, la protección interna, la guía de seguridad personal y el sistema de alarma.

**Sobretensión transitoria (SURGE):** tensión anormal entre dos puntos del sistema eléctrico, que es mayor que el valor máximo presentado entre los mismos dos puntos bajo condiciones de servicio normal.

**Tensión de contacto - Vc:** diferencia de tensión entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia de un metro. Esta distancia horizontal es equivalente a la máxima que se puede alcanzar al extender el brazo.

**Tensión de paso - Vp:** diferencia de tensión entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por una distancia de un metro de la dirección del gradiente de tensión máximo. Esta distancia es equivalente a un paso normal promedio.

**Terminal de captación o dispositivo de intercepción de rayos (AIR TERMINAL):** elemento metálico cuya función es interceptar los rayos que podrían impactar directamente sobre la instalación a proteger. Comúnmente se conoce como pararrayos.

**Tierra:** para sistemas eléctricos es una expresión que generaliza todo lo referente a sistemas de puesta a tierra. En temas eléctricos se asocia al suelo, terreno, masa, chasis, carcasa, armazón, estructura o tubería de agua. El termino masa solo debe utilizarse para aquellos casos en que no es el suelo, como en los aviones, barcos y carros.

**Trueno (THUNDER):** energía audible asociado con el rayo.

**Zona o espacio de protección:** espacio adyacente al sistema de protección contra rayos, que es sustancialmente inmune al impacto directo de un rayo, según una determinada corriente de rayo probabilística utilizada en el diseño del sistema de protección contra rayos.

**Relámpago:** energía visible asociada con el rayo.

## RESUMEN

Según lo establecido en la resolución No. 9 de agosto 30 del 2013, en el Artículo 9° Análisis de Riesgos de Origen Eléctrico, “la persona calificada responsable de la construcción de una instalación eléctrica debe evaluar el nivel de riesgo asociado a dicha instalación, teniendo en cuenta los criterios establecidos en las normas sobre soportabilidad de la energía eléctrica para seres humanos.” [12]

Como se menciona en el Artículo anterior del RETIE Colombiano, es necesario realizar un estudio previo conocido como análisis de riesgo que permite determinar si es necesario un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas, el cual se hace obligatorio para edificaciones con alta concentración de personas definido allí con un número de 100 o más personas, En el edificio de Bellas Artes (Bloque H) de la Universidad Tecnológica de Pereira se debe realizar ya que no cuenta con ningún sistema de protección.

Este proyecto tiene como objetivo principal evaluar el nivel de riesgo contra descargas atmosféricas, y a la vez diseñar un sistema de protección contra ellas que cumpla con cada uno de los artículos estipulados en las normas técnicas colombianas NTC 4552 (1-2-3).

Para el diseño del Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas del Bloque de Bellas Artes de la Universidad Tecnológica de Pereira se analizará primero el nivel de protección que necesita la edificación teniendo en cuenta datos como tipo de material de construcción, si cuenta con un sistema de apantallamiento o no, tipo de cubierta, entre otros. Los cuales permitirán por medio del software IEC Risk, obtener el nivel de protección necesario para proteger la edificación. Este Nivel de protección permitirá realizar el diseño del sistema de protección el cual se hará por medio del Método de la Esfera Rodante, el cual consiste en rodar esferas imaginarias que giraran por toda la edificación, demarcando la zona de protección contra el rayo logrando determinarse así la ubicación y la cantidad de puntas de captación necesarias para el diseño del sistema de protección externo.

Como complemento al proyecto es necesario para el diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas, certificar que el sistema de puesta a tierra existente en el terreno cumple, para esto se hace la medición de la resistencia para poder equipotencializar el sistema de protección con la malla existente en el terreno.

**Palabras claves:** Sistema de protección externo, Nivel de riesgo, terminales de captación, esfera rodante, equipotencialización, zona de protección contra el rayo..

## 1. INTRODUCCIÓN

La descarga eléctrica atmosférica o más comúnmente conocida como rayo es un fenómeno físico que se caracteriza por una transferencia de carga eléctrica de una nube hacia la tierra, de la tierra hacia la nube, entre dos nubes, al interior de una nube o de la nube hacia la ionosfera. Si la base de la nube está cargada negativamente, atrae cargas positivas de la tierra que está debajo. La diferencia de potencial aumenta hasta que tiene lugar una repentina descarga, el rayo, que neutraliza de nuevo las cargas en la nube y la tierra.

Este fenómeno natural en una edificación, hace que circulen grandes flujos de corriente en las canalizaciones metálicas, y entre conductores que conecten dos zonas aisladas; en determinada zona, una nube cargada electrostáticamente puede causar una diferencia de potencial permitiendo que dichas corrientes fluyan libremente generando una liberación de energía de forma luminosa y sonora comúnmente conocida como descarga eléctrica atmosférica provocando daños en la infraestructura y hasta la muerte a personas.

Una descarga eléctrica atmosférica puede causar daños dependiendo de las características del objeto a proteger; entre las más importantes se tiene: el tipo de construcción, contenido y aplicación, tipo de servicio y medidas de protección instaladas, [3].

En la primera parte de la elaboración de este proyecto se establecerá un procedimiento para la valoración de la necesidad de implementar un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas, esto se hará con la simulación del Software IEC Risk Assessment Calculator que evaluará el riesgo y la necesidad de implementar un sistema de protección analizándose los costos de implementarlo y los daños que causaría en la edificación. Una vez se obtiene la evaluación de riesgo de la estructura se selecciona las medidas de protección apropiadas que se adoptaran para reducir los riesgos existentes y el respectivo diseño del sistema de protección.

En el Bloque de Bellas Artes (Bloque H) de la Universidad Tecnología de Pereira, no existe aún un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas, lo que evidencia que es necesario implementarlo debido al riesgo eminente que corre la edificación y las personas que laboran y acuden a clase en dicho bloque, cumpliendo de esta forma con la normatividad y las leyes nacionales e internacionales que hacen obligatorio adoptar medidas de protección para edificaciones de más de tres pisos como las normas Colombianas NTC 4552 -1, NTC 4552 -2 y la NTC 4552 -3.



## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

La mayor incidencia de descargas atmosféricas que se dan a nivel mundial, según estudios, se dan principalmente en África central, norte de Australia y América central. Colombia por encontrarse situada en una zona de confluencia intertropical, presenta una alta actividad de descargas atmosféricas durante todo el año; Según la norma técnica colombiana NTC 4552-1 (principios generales), la densidad promedio de descargas a tierra en Pereira es de 4, lo que indica que esta ciudad es una de las más propensas a este tipo de fenómenos, [1].

Las descargas atmosféricas pueden causar enormes daños materiales a infraestructuras o incluso pueden acabar con la vida de las personas o animales al momento de impactar sobre cualquier estructura; los daños por lo general son más numerosos, acompañados de cuantiosas pérdidas económicas.

Siendo las descargas atmosféricas un fenómeno natural, se convierten en sucesos los cuales no se pueden eliminar de ninguna manera. Son inevitables los daños que pueden causar en una estructura y muy difícil determinar el lugar donde caerán; por lo tanto dicha energía no se puede controlar, pero si se puede desviar de forma controlada ayudando a que este fenómeno no cause daño alguno. Esto se puede lograr mediante un sistema de protección externo (SPE) que recibe la energía del rayo y la lleva hacia la tierra.

### **2.1 NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS**

Para la protección contra Rayos de cualquier edificio se debe cumplir con las normas vigentes para cada país; en Colombia se tienen tres Normas Técnicas Colombianas que describen e identifican cada uno de los parámetros que se deben de tener en cuenta para la realización del análisis previo pertinente para el diseño del sistema de protección contra descargas.

Las normas que serán de gran utilidad para el desarrollo del proyecto serán la NTC 4552-1 (principios generales) la cual habla sobre las descargas eléctricas atmosféricas, los niveles de protección contra los rayos y las zonas de protección contra los rayos; la norma NTC 4552-2 (manejo de riesgo) la cual se refiere a los factores influyentes en los componentes de riesgo y el procedimiento básico para el manejo de riesgo y evaluación de este, considerándose en una necesidad para la protección del mismo; y por último la norma NTC 4552-3 (daños físicos a estructuras y amenazas a la vida), la cual menciona los daños que podría causar una descarga eléctrica atmosférica a una estructura y consigo las posibles lesiones que podría causar a personas que pudieran encontrarse en el momento de una descarga atmosférica. En cada uno de estas normas se encuentran descritos cada uno de los parámetros que se deben de tener en cuenta en el momento del diseño y del análisis que se debe de llevar a cabo para cumplir de

esta forma con cada una de las recomendaciones ya estipuladas en dichos artículos.

## **2.2 DEFINICIÓN DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (RAYO)**

Son fenómenos meteorológicos consistentes en descargas eléctricas engendradas en el interior de un condensador natural que se propagan a través de un dieléctrico como es el aire. – un dieléctrico es una sustancia que es mala conductora de la electricidad y que amortigua la fuerza de un campo eléctrico que la atraviese.

Según el origen y destino de estas descargas en la atmosfera terrestre, se clasifican en cuatro grupos:

- Descarga entre nube y tierra
- Descarga dentro de una misma nube (intranubes)
- Descargas entre una nube y otra nube (internubes)
- Descargas entre una nube y la ionosfera

La primera suele causar un daño o perdida más frecuente en los sistemas antrópicos por lo que suponen una situación de riesgo que merecen un especial interés. Los tres tipos restantes representan una peligrosidad mayor a los aviones



**Ilustración 1. Descarga de nube a tierra (Rayo).**

Fuente: Las emergencias Rayos y relámpagos [5]  
*(Descarga de nube a tierra)*



### **Ilustración 2. Descarga entre nubes (Relámpago)**

Fuente: Las emergencias Rayos y relámpagos [5]  
(*Descarga entre nubes*)

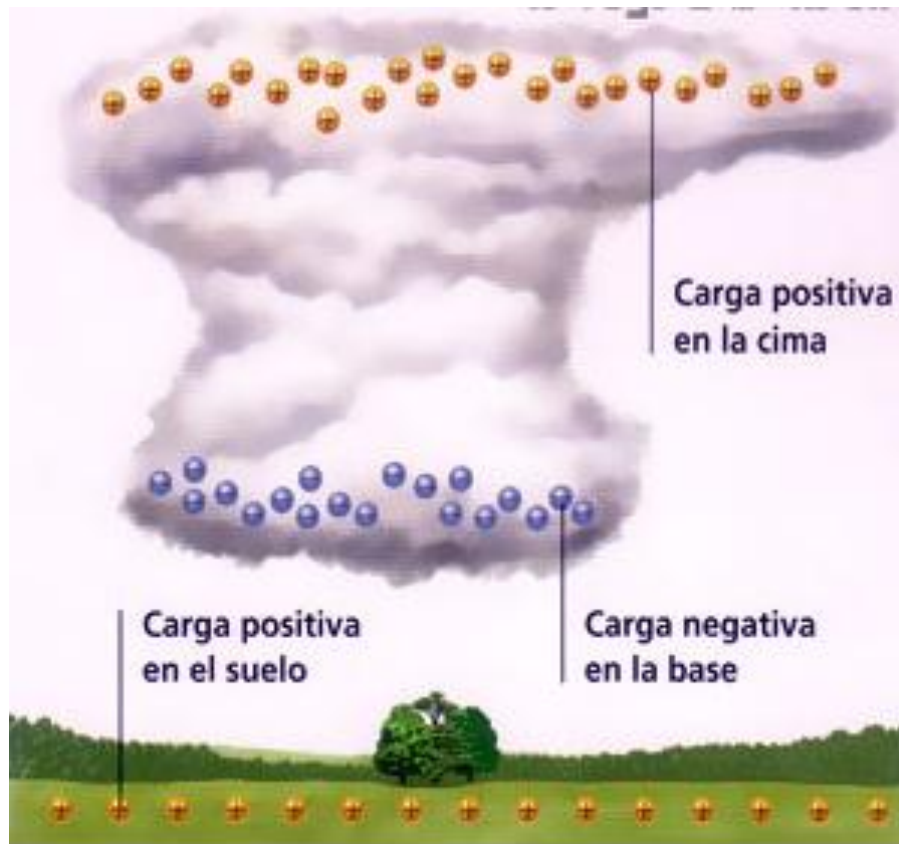
De todos estos cuatro casos, el primero es el único que podemos hablar propiamente de rayo, ya que los tres casos restantes son los que se conocen y se denominan como relámpagos. Por tanto, se define como rayo exclusivamente la descarga eléctrica que se produce entre una nube y la superficie de la tierra. Los relámpagos por su parte no conllevan ningún otro tipo de peligrosidad asociada para el hombre, a excepción del caso mencionado de los aviones en vuelo, calculándose una aparición de estas descargas entre nubes es del 80% mayor que la de los rayos, que se derivan a tierra [5]

#### **2.2.1 Formación de Rayo**

Las nubes que dan lugar a descargas atmosféricas son los cúmulos y los cumulonimbos.

Siendo el Rayo una descarga eléctrica de origen atmosférico provocado por la acumulación de partículas de vapor de agua en el interior de la nube. La presencia de campo eléctrico atmosférico hace que las gotas de agua tengan carga positiva en su parte inferior y carga negativa en su parte superior; convirtiéndose la nube en un gran generador de carga electrostática.

Aquí se produce un fenómeno de polarización de carga, situándose generalmente, las cargas negativas en la base de la nube y las positivas en la parte superior de la misma.



**Ilustración 3. Fenómeno de polarización de cargas.**

Fuente: *(Formación de un Rayo)*. [13]

A medida que la parte inferior de la nube se va acercando a la tierra, las cargas negativas presentes en la base de esta, inducen sobre la tierra una carga igual pero de signo contrario. En estas condiciones el conjunto nube-tierra junto con la capa situada entre las dos que es de naturaleza aislante (dieléctrico), se podría asimilar a una especie de enorme condensador electro-atmosférico (ilustración 4). [6]



#### **Ilustración 4. Formación de una descarga eléctrica atmosférica**

Fuente: *(Formación del rayo)*. [6]

En la capa de aire existente entre la nube y tierra se crea un campo eléctrico con diferencia de potencial que es la causa principal de la formación de la descarga.

De la parte inferior de la nube, donde la concentración de cargas negativas es mayor, se inicia una primera descarga en forma de impulso que seguirá un camino tortuoso y ramificado. Las cargas avanzan a impulsos sucesivos separados por pausas muy breves.

Cuando una descarga se acerca al terreno, surge de este una concentración de cargas eléctricas en sentido ascendente y de signo contrario al potencial del rayo. A medida que la nube se acerca a la tierra, va disminuyendo el espesor del dieléctrico de aire que les separa, hasta que llega un momento en que el gradiente alcanza la tensión de ruptura de aquel. En este momento se produce la descarga a través de la vía de aire ionizado, o túnel perforado en el dieléctrico. En punto crítico, se produce el encuentro entre las descargas negativas procedentes de la nube con las positivas que provienen del suelo y se origina la descarga principal.

Ese punto se denomina punto de discriminación y la distancia se encuentra generalmente entre los 15 y los 50 metros, distancia de impacto.[6]

**TRAZADOR DESCENDENTE**



**PUNTO DE IMPACTO  
(O DE DISCRIMINACIÓN)**

**TRAZADOR ASCENDENTE**

### **Ilustración 5. Punto de Impacto.**

Fuente: (*Punto de discriminación o impacto*). [6]

El rayo es realmente el intercambio de cargas entre nube y tierra. Este intercambio lleva a la neutralización de ambas cargas y a la disipación de parte de la energía previamente acumulada por la nube.

En la descarga de retorno, que adquiere luminosidad intensa y da lugar al trueno, la corriente alcanza los valores más altos para los cuales han de calcularse las protecciones destinadas a salvaguardar los edificios. [6]

## **2.3 PARÁMETROS DEL RAYO**

### **2.3.1 RAYOS A TIERRA**

Existen dos tipos de descargas eléctricas atmosféricas o rayos:

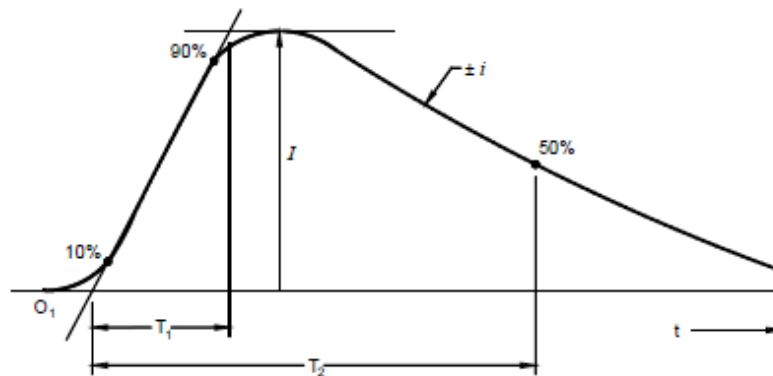
- Descargas descendentes iniciadas por un líder descendente nube – tierra.
- Descarga ascendentes iniciadas por un líder ascendente de una estructura aterrizada a nube.

En territorios planos y estructuras generalmente se presentan descargas descendentes, mientras que para estructuras altas dominan las descargas

ascendentes. Con estructuras altas la probabilidad de impacto se incrementa y cambia las condiciones físicas.

Un rayo consiste de una o varias descargas (strokes)

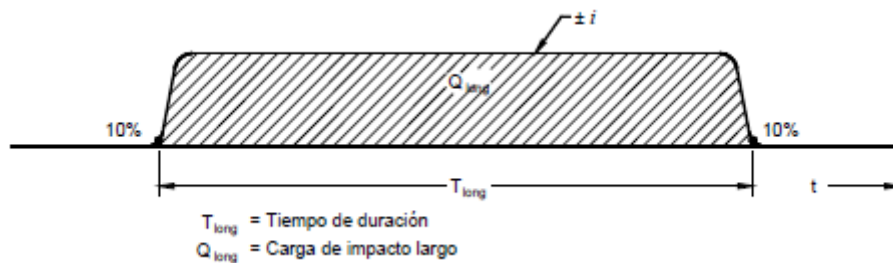
- Descargas de corta duración, menores de 2ms (según se muestra en la ilustración 6)
- Descarga de larga duración, mayores de 2ms (según se muestra en la ilustración 7)



**Ilustración 6. Definiciones de parámetros de impacto corto**

Fuente: NTC 4552-1. [2]

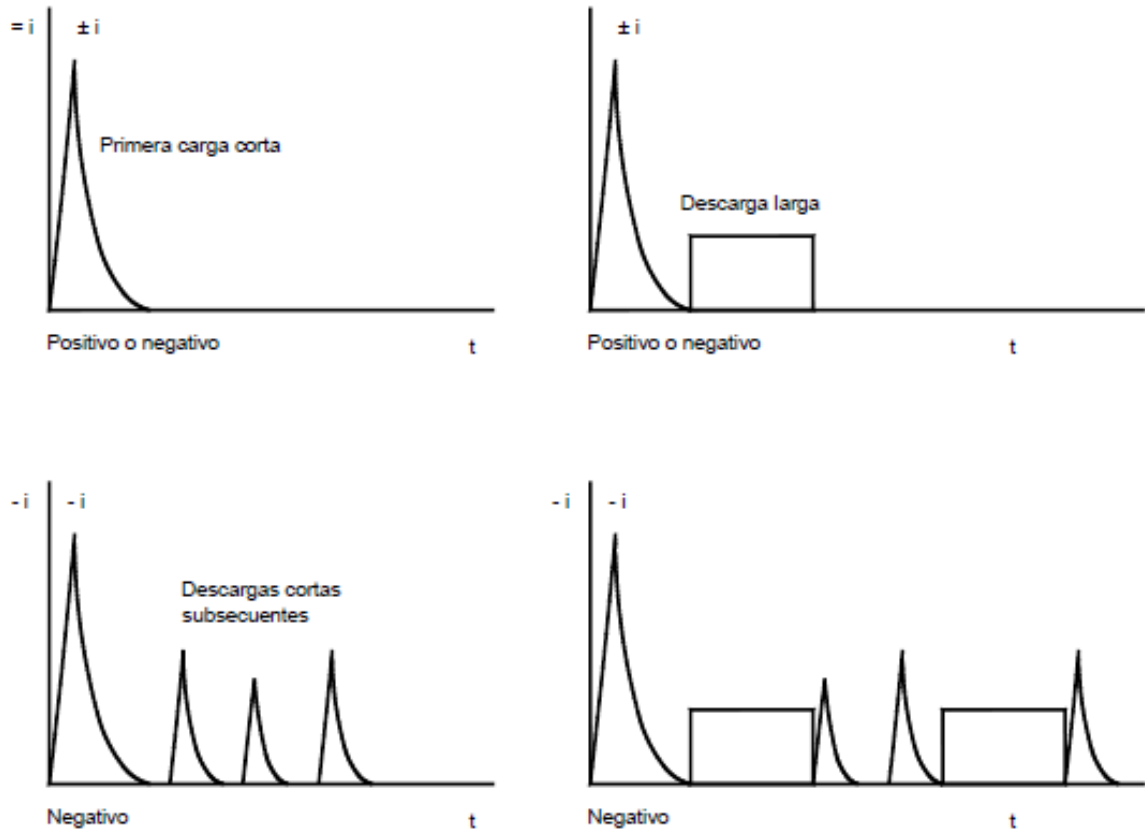
$O_1$  = Origen virtual  
 $I$  = Corriente pico  
 $t_1$  = Tiempo de frente  
 $t_2$  = Tiempo al valor medio



**Ilustración 7. Definición de parámetros para descargas largas.**

Fuente: NTC 4552-1. [2]

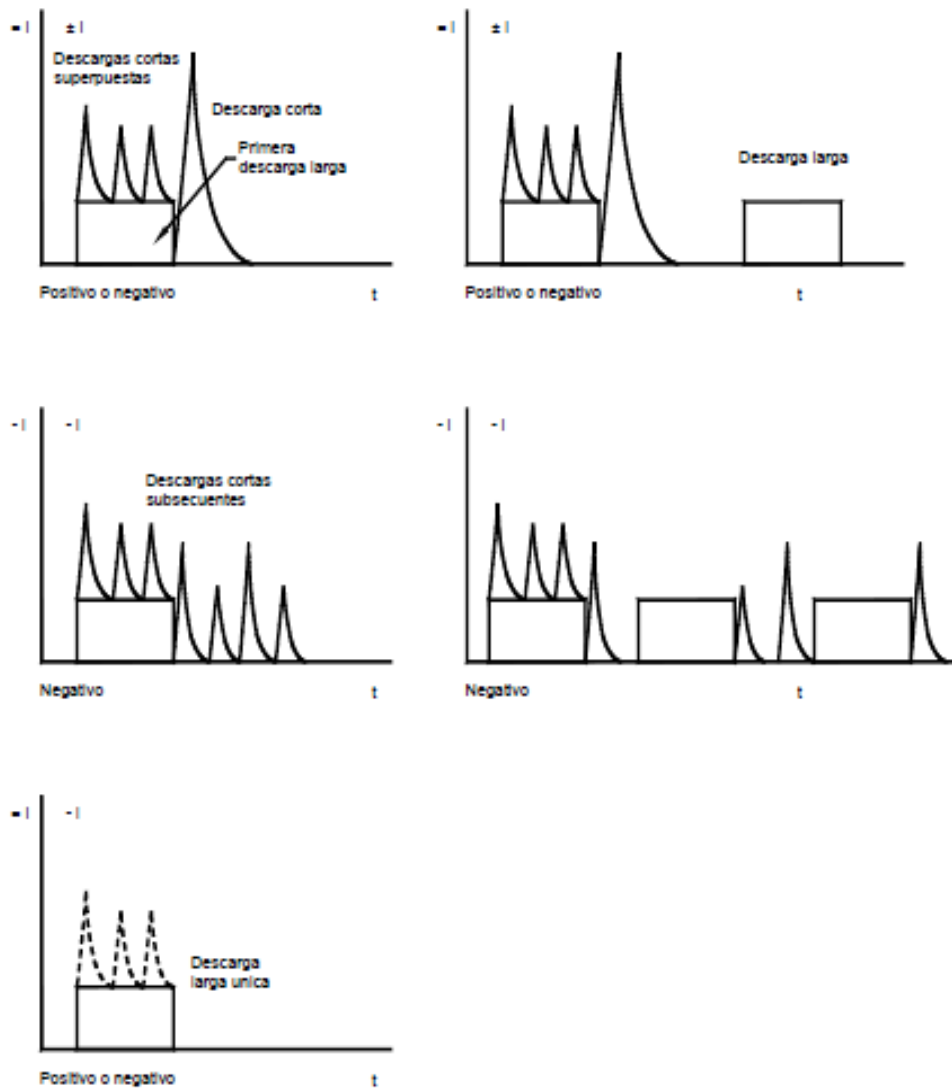
Además de las diferentes descargas se debe de tener en cuenta la polaridad del rayo y la posición durante la descarga (primera, subsecuente, sobrepuesta)



**Ilustración 8. Posibles componentes de descargas descendentes (típicas en territorios planos y estructuras bajas.**

Fuente: NTC 4552-1. [2]





**Ilustración 9. Posibles componentes de descargas ascendentes (típicas para estructuras expuestas y/o altas)**

Fuente: NTC 4552-1. [2]

## 2.3.2 DAÑOS PROVOCADOS POR UNA DESCARGA ATMOSFÉRICA

### 2.3.2.1 Daños a estructuras

El rayo que afecta a una estructura puede causar daño a la estructura misma, a sus ocupantes y a su contenido, incluyendo fallas en sistemas internos. Los daños y las fallas pueden extenderse a los alrededores de la estructura, incluso pueden envolver el medio ambiente local. La escala de esta extensión depende de las características de la estructura y de las características de la descarga eléctrica. [2]

### **2.3.2.2 Efecto del rayo sobre una estructura**

Las principales características de la estructura respecto a los efectos del rayo incluyen:

Construcción (madera, ladrillo, concreto, concreto reforzado, construcción en marco de acero)

Función (vivienda, oficina, granja, teatro, hotel, escuela, hospital, museo, iglesia, prisión, almacén grande, banco, fábrica, planta industrial, áreas deportivas).

Ocupantes y contenido (personas y animales, presencia de materiales combustibles o incombustibles, materiales explosivos o no explosivos, sistemas eléctricos y electrónicos con resistencias a la baja o alta tensión).

Acometidas entrantes (líneas de energía, líneas de telecomunicaciones, tuberías).

Medidas de protección (ej. Las medidas de protección reduce los daños físicos y el peligro de perder la vida, la protección reduce las fallas de sistemas internos)

Grado de extensión del peligro (estructuras con dificultades de evacuación o estructura donde el pánico puede ser creado, estructura peligrosa a los alrededores, estructuras de ambiente peligroso)

Tipo de estructura según la función y/o el contenido	Efectos del rayo
Casa de habitación	Perforación de instalaciones eléctricas, fuego y daños materiales Daño limitado normalmente a los objetos expuestos al punto de toque o a la trayectoria de la corriente del rayo.  Falla de equipo eléctrico y electrónico y de sistemas instalados (ej. Sistemas de TV, computadoras, módems, teléfonos, etc.)
Edificación rural	Riesgo primario de fuego y tensiones de paso peligrosos, así como daño material.  Riesgo secundario causado por pérdida de energía eléctrica, y peligro de vida del ganado debido a la falta de control electrónico de sistemas de ventilación y de suministro de alimentos, etc.
Teatro, Hotel, Escuela, Almacén grande, Área deportiva	Daño de instalaciones eléctricas (ej. iluminación eléctrica) probablemente causa de pánico.  Falla de alarmas contra incendio, dando por resultado retrasos en las medidas de extinción del fuego
Banco, Compañía de seguros Centros comerciales, etc.	Situaciones como las anteriores, más problemas resultado de pérdida de comunicación, falla de computadoras y pérdida de datos
Hospital, Clínica de reposo, Prisión	Situaciones como las anteriores, más complicaciones con las personas en cuidados intensivos, y dificultades de rescatar a gente inmóvil.
Industria	Efectos adicionales dependiendo del contenido de la fábricas, extendiéndose de menor importancia por daño inaceptable y pérdida de la producción.
Museos y sitios arqueológicos Iglesias	Pérdida de patrimonio cultural irreemplazable.
Telecomunicaciones, Centrales eléctricas	Pérdidas inaceptables de servicio al público.
Fábrica de fuegos artificiales Trabajos con municiones	Fuego y explosión de la planta y a sus alrededores.
Planta química, Refinería Central nuclear, Laboratorios bioquímicos y plantas	Fuego y mal funcionamiento de la planta con consecuencias perjudiciales al ambiente local y global.

**Tabla 1. Efecto de los rayos sobre estructuras típicas.**

Fuente: NTC 4552-1. [2].

### **2.3.2.3 Fuentes y tipos de daños de una estructura**

La corriente de rayo es la fuente del daño. Las siguientes situaciones son consideradas dependiendo de la posición del punto de impacto a la estructura:

- S1 Impacto a la estructura
- S2 Impacto cerca de la estructura

S3 Impacto al servicio entrando a la estructura

S4 Impacto cerca al servicio entrando a la estructura

**Los rayos que impactan a la estructura** pueden causar:

Daño mecánico inmediato, fuego y/o explosión causado por el arco caliente ionizado del rayo, o causado por la corriente de rayo que origina calentamiento resistivo de los conductores, o causado por la carga que origina un arco corrosivo (metal derretido).

Fuego y/o explosión iniciado por chispas, causas por sobretensiones resultantes de acoples inductivos o resistivos y por el paso de parte de la corriente de rayo.

Lesiones a personas por tensiones de paso y de contacto resultado de acoples resistivos e inductivos.

Fallas o mal funcionamiento de sistemas internos causados por sobretensiones transmitidas a la estructura por líneas entrantes.

**Los rayos que impactan cerca de la acometida entrante** a la estructura puede causar:

Falla o mal funcionamiento de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas y transmitidas por líneas entrantes a la estructura.

Como resultado, el rayo puede causar tres tipos básicos de daños:

D1 lesiones a los seres vivos, causadas por tensiones de contacto y de paso.

D2 Daños físicos (fuego, explosión, destrucción mecánica, escape químico) causados por efectos de la corriente de rayo incluyendo chispas.

D3 fallas de sistemas internos causados por IER.

## **2.4 PROTECCIÓN CONTRA LA CAÍDA DE RAYOS.**

Para poder derivar sin problemas la gran energía de un rayo es preciso responder a altas exigencias en cuanto a las instalaciones eléctricas de edificios, facilitando una derivación segura del rayo al subsuelo. Por este motivo se disponen en los edificios instalaciones de protección. La protección contra rayos es tan compleja que va más allá de la simple instalación de los terminales de captación o de un circuito de protección, [7].

Hasta hace relativamente poco tiempo, poco se podía hacer para minimizar los riesgos que se producían por la caída directa de un rayo. Cuando ocurrían y donde ocurrirán descargas eléctricas atmosféricas. Tradicionalmente, la protección contra rayos ha pretendido atraer y desviar la energía de una descarga eléctrica atmosférica hacia la tierra física. Al mismo tiempo que esto puede eliminar algunos de los graves efectos de un impacto directo, resultan otras desventajas y serios inconvenientes, [7].

Ninguno de los sistemas tradicionales son 100% efectivos, y todos ellos son afectados por los efectos secundarios en relación a la proximidad con los campos electrostáticos y campos electromagnéticos. Todos ellos son peligrosos, especialmente, en áreas donde se manejan productos inflamables o explosivos y equipos electrónicos, [7].

Se puede establecer una clasificación de tres niveles de protección contra los efectos de los rayos tanto efectos directos como secundarios:

- Protección primaria: El nivel primario está constituido por los sistemas de captación, terminales aéreos, estructuras metálicas, blindajes y tomas de tierra.
- Protección secundaria: Este nivel de protección es el necesario a nivel de la alimentación del equipo o sistema.
- Protección terciaria: Este es a nivel de líneas de datos y transmisión, tarjetas de circuito impreso y componentes electrónicos, también se le denomina protección fina.

En este caso solo es de interés la protección primaria, [7].

### **2.4.1 Protección primaria**

La función de las protecciones primarias es la de evitar los daños producidos en la infraestructura de los edificios e instalaciones debidos al impacto directo de una descarga atmosférica. Estos daños suelen venir en forma de incendios y electrocuciones, debido a la enorme cantidad de energía contenida en el rayo en el momento del impacto. Estos daños son aún más importantes en aquellas zonas en las que se almacenen o manipulan materiales inflamables o radiactivos.

A la hora de diseñar un sistema de protección contra efectos primarios se debe tener en cuenta que deben cubrirse las siguientes necesidades:

- Protección de edificaciones y estructuras.

- Protección de torres de comunicación.
- Protección de líneas aéreas.
- Otros tipos de protección.

Habría que tener siempre presente que los mecanismos de protección primaria que se adopten tal solo protegen al edificio e instalaciones exteriores, pero no a los equipos que haya dentro de la edificación.

Dentro de los mecanismos de protección primaria se encuentran las terminales de captación, puestas a tierra, jaulas de Faraday y cables de guarda.

#### 2.4.1.1 Terminales de captación

**Efecto punta:** Las cargas alrededor de un conductor no se distribuyen uniformemente, sino que se acumulan más en las partes afiladas.

De esta manera, si se tiene un objeto en forma de punta sometido a un intenso campo electrostático (como el generado por una nube de tormenta), la acumulación de cargas en la punta es también muy elevada.

#### 1. Principio de los terminales de captación

Las puntas de captación no son más que un dispositivo que, colocado en lo alto de un edificio, dirigen al rayo a través de un cable hasta la tierra para que no cause desperfectos.

Existen dos tipos fundamentales de terminales de captación:

**Terminales de captación de puntas:** Formada por una varilla de 3 a 5 m de largo, de acero galvanizado de 50 mm de diámetro con la punta recubierta de wolframio (para soportar el calor producido en el impacto con el rayo). Si además se desea prevenir la formación del rayo, pueden llevar distintos dispositivos de ionización del aire.

*De tipo Franklin:* se basan en el "efecto punta". Es el típico terminal de captación formado por una varilla metálica acabada en una o varias puntas.

La zona protegida por un terminal de captación clásico de Franklin tiene forma cónica.

*De tipo radiactivo:* consiste en una barra metálica en cuyo extremo se tiene una caja que contiene una pequeña cantidad de isótopo radiactivo, cuya finalidad es la de ionizar el aire a su alrededor mediante la liberación de partículas alfa.

*De Tipo ión-corona solar:* este tipo de terminales de captación incorpora un dispositivo eléctrico de generación de iones de forma permanente, constituyendo la mejor alternativa a los terminales de captación atómicos. La energía necesaria para su funcionamiento suele proceder de fotocélulas.

*De tipo piezoeléctrico:* se basa en la capacidad de los materiales piezoeléctricos, de producir carga eléctrica a partir de los cambios en su estructura debido a presiones externas (tales como las producidas por el viento durante un vendaval).

*Terminales de captación reticulares o de jaula de Faraday:* Consisten en recubrir la estructura del edificio mediante una malla metálica conectada a tierra.

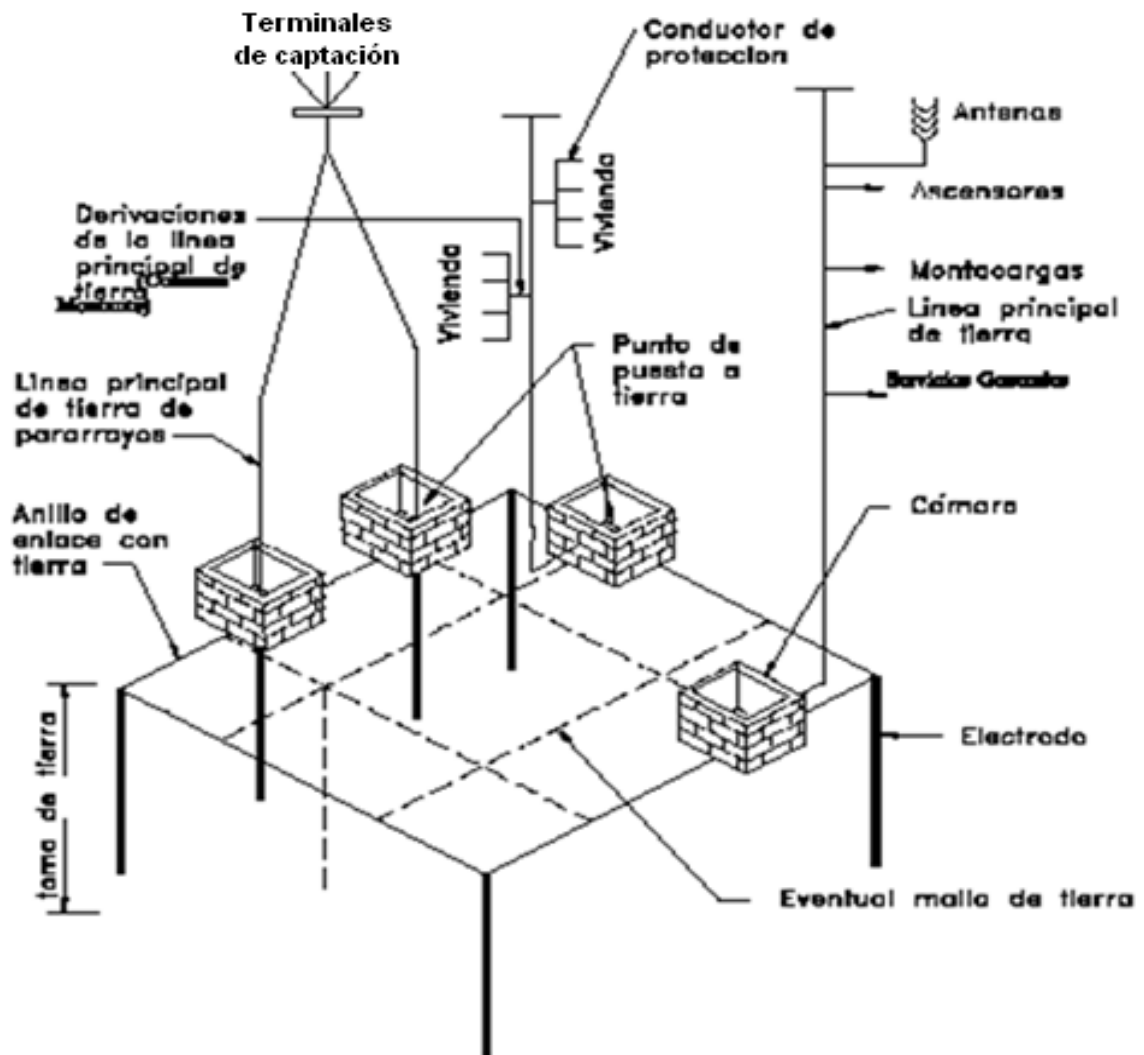
**Terminales de captación reticulares o de jaula de Faraday:** consiste en recubrir la estructura del edificio mediante una malla metálica conectada tierra.

Hay que hacer notar que los edificios modernos con estructura metálica, cumplen una función similar a las jaulas de Faraday, por lo que la probabilidad de que un rayo entre en uno de estos edificios es extremadamente pequeña, [7].

#### **2.4.1.2 Sistema de puesta a tierra**

Los terminales de captación por sí solo no sirven como protección contra los rayos; un correcto diseño del sistema de puesta a tierra es fundamental para asegurar la correcta conducción de la descarga eléctrica del rayo. Cada conductor de bajada debe terminar en un terminal de tierra o electrodo de tierra, dedicado al sistema de protección contra descargas atmosféricas.

El sistema de puesta a tierra consta, principalmente, de: Tomas de tierra, Anillos de enlace, Punto de puesta a tierra y Líneas principales de tierra.



**Ilustración 10. Esquema Sistema de Puesta a Tierra**

Fuente: Protección contra descargas atmosféricas [14]

## 2.5 EVALUACIÓN DE LA NECESIDAD DE INSTALAR UN SISTEMA DE PROTECCIÓN

Existen diversos procedimientos para determinar si en una estructura o edificio es conveniente instalar un sistema de protección contra descargas atmosféricas. Hay casos obvios en que un sistema de protección es necesario. Algunos ejemplos son:

1. Locales con concentración de grandes multitudes.



2. Instalaciones que deben brindar servicios esenciales con la máxima continuidad.
3. Localidades en que la frecuencia de descargas es excepcionalmente elevada.
4. Estructuras altas aisladas.
5. Edificaciones que contienen materiales explosivos o inflamables.
6. Edificios que contienen herencias culturales irremplazables.

En los demás casos se utilizan procedimientos de evaluación, que consisten en:

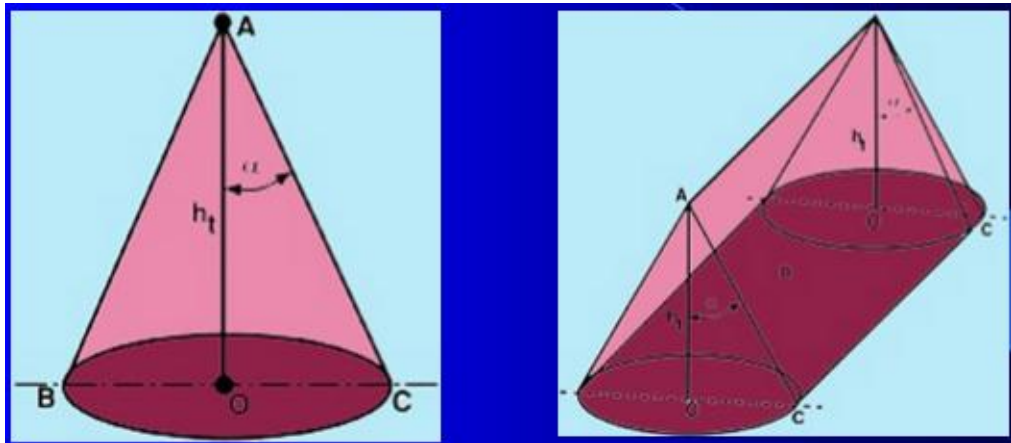
- a. estimar la cantidad de descargas ( $N_d$ ) que pueden incidir en el edificio en un año, según el área ocupada por el edificio y su altura, y la densidad de descargas en la zona en que está ubicado.
- b. comparar dicha cantidad con un número preestablecido de cantidad aceptable de descargas en un año ( $N_c$ ), que se determina teniendo en cuenta las características estructurales del edificio, el contenido del edificio, los ocupantes del edificio y las consecuencias que una descarga podría ocasionar, [8].

## **2.5.1 MODELOS PARA ESTIMAR LA ZONA DE PROTECCIÓN**

### **2.5.1.1 El Modelo del cono de protección**

El criterio del cono de protección consiste en admitir que la punta de un terminal de captación crea una zona de protección de forma cónica, cuyo eje es el terminal de captación, su vértice la punta del terminal de captación con un ángulo al centro  $\alpha$ , que se asume igual a  $45^\circ$  para estructuras comunes y de  $30^\circ$  para estructuras de riesgo.

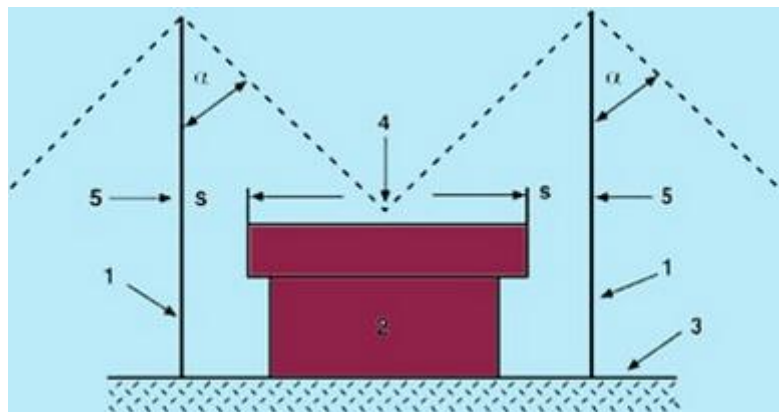
Para  $\alpha = 45^\circ$  el área circular protegida al nivel del terreno tiene un radio  $R$  igual a la altura  $h$  de la punta del terminal de captación. Para  $\alpha = 30^\circ$  el radio es igual a  $0,58$  multiplicado por la altura, [8].



**Ilustración 11. Cono de protección.**

Fuente: *(Cono de protección)*. [10]

A = Cabeza del captador  
 B = Plano de referencia  
 OC = Radio del área protegida  
 ht = altura del captador sobre el plano de referencia  
 alfa = ángulo de protección

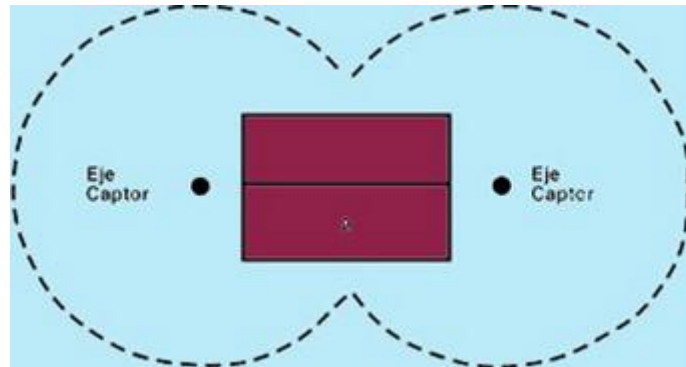


**Ilustración 12. Ejemplo de aplicación**

Fuente: *(Ejemplo de aplicación Cono de protección)*. [10]

Captador de asta  
 Volumen a proteger  
 Plano de referencia  
 Intersección conos de protección

Separación de seguridad



**Ilustración 13. Proyección del volumen sobre el plano del piso.**

Fuente: *(proyección del volumen sobre el plano del piso)*. [10]

### 2.5.1.2 El Modelo de la Esfera Rodante

Este método es utilizado en instalaciones de baja tensión o menores a 69kV según estándares internacionales. Es decir, que los métodos del cono y la esfera rodante sirven para casas, edificios, plantas y todo lo que no sea subestación.

Existen muchas formas y ecuaciones para determinar el radio de la esfera rodante, por ejemplo la IEC presenta la siguiente ecuación:

$$r = 10I^{0,65}$$

Dónde:

r: es el radio en metros.

I: corriente en kA que tendrá el rayo en su impacto inicial.

	L1	L2	L3	L4
Corriente mínima [kA]	3	5	10	16
Probabilidad de la que corriente sea mayor a la mínima [%]	99	97	91	84
Radio de la esfera rodante [m]	20	30	45	60

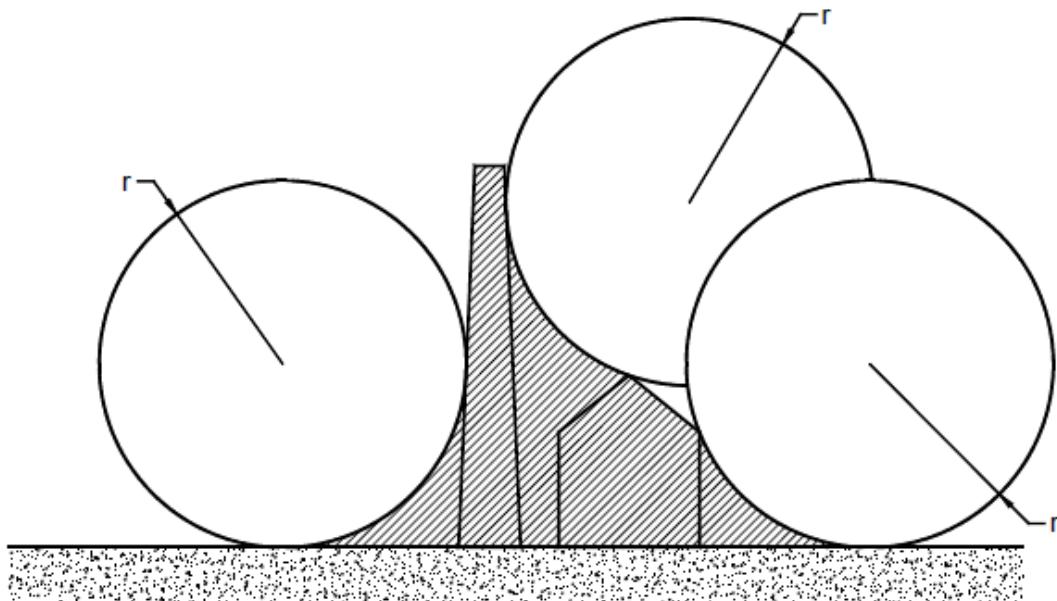
## Tabla 2. Representación de 4 zonas o niveles de protección.

Fuente: (representación de 4 zonas o niveles de protección). [9]

De esta tabla se puede deducir que a mayor corriente, mayor será el radio de la esfera y por lo tanto más espacio puede haber entre pararrayos, irónicamente el problema ocurre con las corrientes “pequeñas” por ejemplo de 3kA, el radio de la esfera es de solo 20 metros y va requerir una mayor cantidad de pararrayos para proteger nuestra estructura. [9]

El método de la esfera rodante debe ser usado para identificar el espacio protegido de las partes y áreas de la estructura cuando la ilustración 14 excluye el uso del método del ángulo de protección.

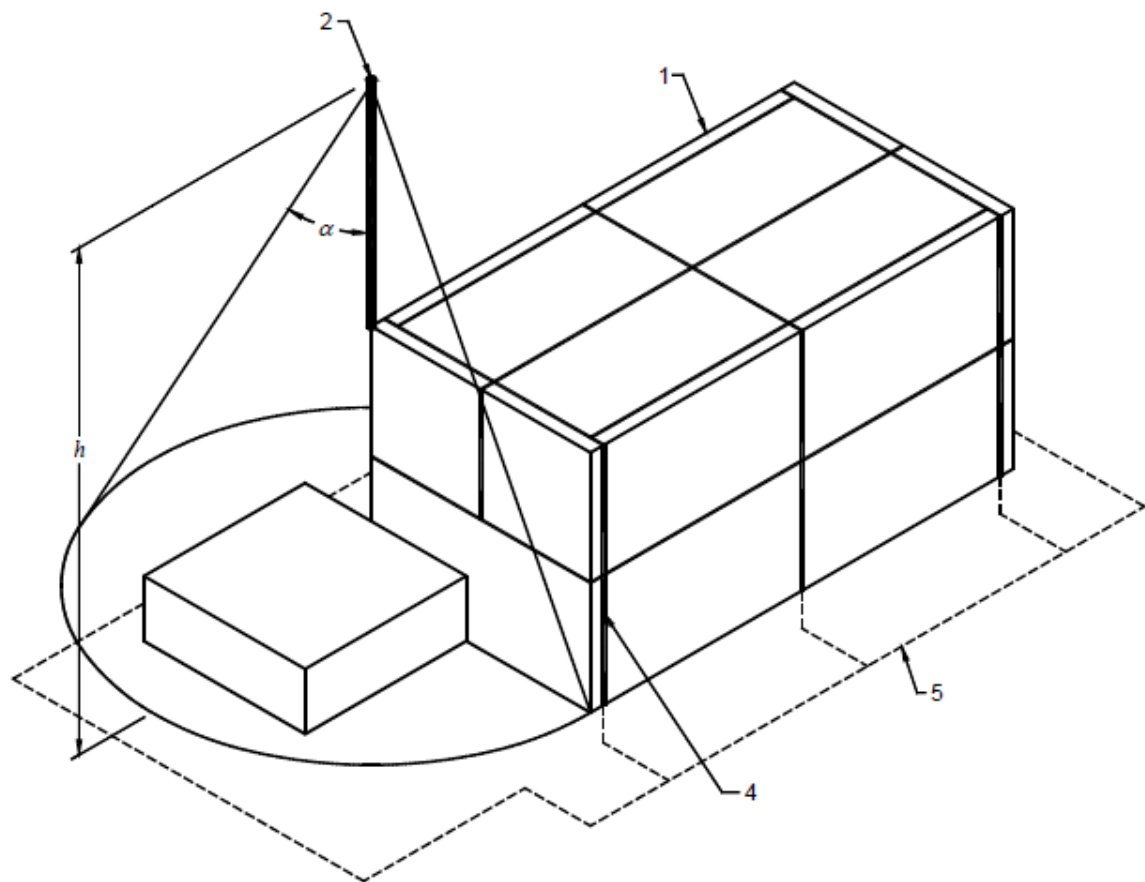
Aplicando este método, las esferas deben de tocar únicamente la tierra y el sistema de captación diseñado.



**Ilustración 14. Método de la esfera rodante**

Fuente: NTC 4552-3. [4]

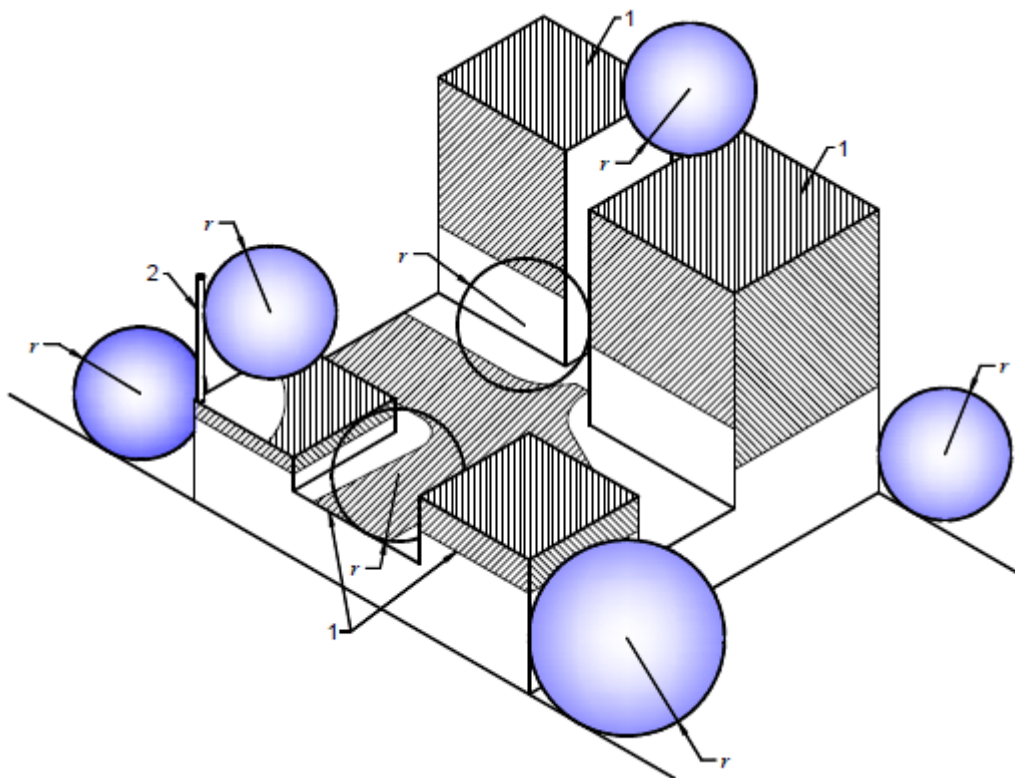
El radio  $r$  de la esfera rodante depende de la clase de SIPRA.



**Ilustración 15. Elementos del sistema de protección (método de la esfera rodante)**

Fuente. NTC 4552-3. [4]

Uno = Conductor del sistema de captación  
 Dos = Varilla terminal  
 Tres = Tamaño de la malla  
 Cuatro = bajante  
 Cinco = sistema de puesta a tierra con anillo conductor  
 h = altura de los elementos sobre el nivel de tierra  
 Alfa = ángulo de protección



**Ilustración 16. Diseño de una red de conductores para el sistema de captación de un SIPRA sobre una estructura con forma compleja**

Fuente: NTC 4552-3. [4]

Las áreas demarcadas en la ilustración 16, son expuestas a interceptación de descargas atmosféricas y requieren de protección de acuerdo al nivel de protección.

### 3. SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SIPRA)

#### 3.1 CLASES DE SIPRA

Las características de un sistema de protección (SIPRA) están determinadas por las características de la estructura a proteger y el nivel de protección contra rayos requerido.

En la norma NTC 4552-1 están definidos cuatro niveles de protección.

Nivel de protección contra rayos	Clase del SIPRA
I	I
II	II
III	III
IV	IV

**Tabla 3. Relación entre las clases de SIPRA y el Nivel de protección para el Rayo**

Fuente: NTC 4552-3. [4]

Cada clase del SIPRA está caracterizado por:

- a. Datos que dependen de la clase del SIPRA
  - Los parámetros del rayo
  - Radio de la esfera rodante, tamaño de la mall y ángulo de protección.
  - Distancia típicas entre bajantes y entre anillos conductores
  - Distancia de separación contra chispas peligrosas
  - Longitud mínima de los electrodos de puesta a tierra
- b. Datos que no dependen de la clase de SIPRA
  - Elementos equipotenciales
  - Espesores mínimos para las láminas metálicas o tuberías metálicas en el sistema de captación
  - Materiales para SIPRA y condiciones de uso
  - Materiales, configuración y dimensiones mínimas para el sistema de captación, las bajantes y el sistema de puesta a tierra
  - Dimensiones mínimas de conductores de conexión. [4]

#### 3.2 DISEÑO DEL SIPRA

Es posible un óptimo diseño del SIPRA tanto técnico como económico si desde un inicio del diseño y la construcción de la edificación, se coordina junto con el diseño del sistema de protección. [4]



## **4. SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO (SPE)**

### **4.1 ASPECTOS GENERALES**

La protección externa en una edificación tiene como objetivo interceptar los impactos directos del rayo hacia la estructura. Dichas corrientes se dispersan a tierra mediante el sistema de protección sin causar daño alguno.

#### **4.1.1 Tipos de protección externa**

Existen dos tipos de protección externa, uno aislado eléctricamente de la estructura y otro unido directamente a la misma. Su elección depende del riesgo de efectos térmicos o explosivos en el punto de impacto del rayo. [4]

#### **4.1.2 Componentes**

El sistema de protección está compuesto por tres elementos principales:

- Sistema de captación encargado de realizar la interceptación del impacto del rayo.
- Sistema de conductores bajantes, encargados de conducir de manera adecuada y segura la corriente rayo al sistema de puesta a tierra.
- Sistema de puesta a tierra, encargado de dispersar y disipar adecuadamente en el terreno la corriente de rayo.

### **4.2 SISTEMA DE CAPTACIÓN**

Es el encargado de interceptar los rayos que vayan a impactar directamente con la estructura y enviar la corriente de rayo por las bajantes de la edificación.

Las barras de captación deben estar conectadas entre ellas a nivel del techo para asegurar la división de corrientes.

### **4.2.1 Ubicación**

Los terminales de captación instalados en una estructura se deben localizar en las esquinas, puntos expuestos sobresalientes de la estructura y en los bordes. Dichas puntas deben de estar posicionadas de acuerdo con uno o más de los métodos de diseño existentes.[4]

Entre los que se tiene:

El método de ángulo de protección, el método de la esfera rodante y el método de enmallado citados en la NTC 4552-3.

Se debe de considerar primero para la utilización de los métodos de diseño lo siguiente:

- El método de la esfera rodante es aplicable para estructuras con altura menor a 55m.
- El método del ángulo de protección es útil para edificaciones con formas simples pero está limitado a la altura de los mismos y el tamaño del sistema de captación.
- El método del enmallado es útil para proteger superficies planas como techos y terrazas.

Los valores para el ángulo de protección, el radio de la esfera rodante y el tamaño de la malla están dados para cada tipo de SIPRA. [4]

### **4.3 SISTEMA DE BAJANTES**

Estos se deben de ubicar de tal manera que a partir del punto de impacto del rayo hasta tierra cumplan con los siguientes requisitos:

- a. Existencia de varios caminos paralelos para la corriente
- b. La longitud de los caminos de corriente sea mínima
- c. La Equipotencialización a partes conductoras de la estructura este hecha de acuerdo con los requisitos nombrados en el numeral 6.2 de la NTC 4552-3.

#### **4.4 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**

El sistema de puesta a tierra es utilizado para dispersar la corriente del rayo a través de los bajantes reduciendo al mismo tiempo las tensiones de paso y de contacto que pueden ser muy peligrosas.

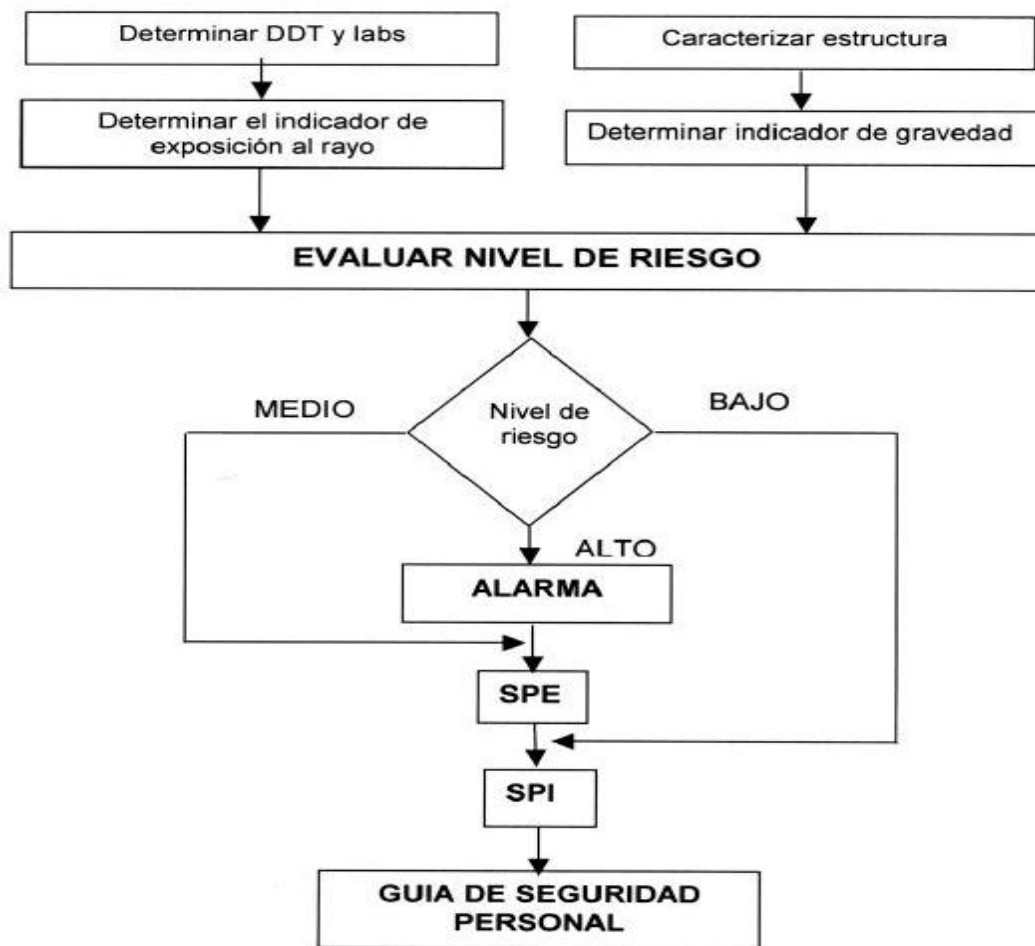
## **5. DISEÑO SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA EL EDIFICIO DE BELLAS ARTES (BLOQUE H)**

### **5.1 EVALUACIÓN DEL RIESGO**

La evaluación del Nivel de Riesgo contra descargas atmosféricas, comprende:

- Posibilidad de pérdidas Humanas
- Pérdidas del suministro de energía y otros servicios esenciales.
- Pérdidas o graves daños de bienes.
- Perdida cultural.
- Nivel Ceraunico (incidencias de descargas atmosféricas).
- Perdidas económicas
- Tipo de suministro eléctrico
- Influencias ambientales
- Líneas de otros servicios aéreos (posibles fallos en los equipos eléctricos o electrónicos)
- Líneas de otros servicios enterrados (posibles fallos en los equipos eléctricos o electrónicos)
- Medidas de protección existentes (SPCR y Protección sobretensiones)

Para esta evaluación es indispensable conocer lo que se desea proteger, definir las zonas a proteger y las posibles pérdidas en la estructura y acometidas. Así mismo para defectos de desarrollo de este proyecto se tendrá en cuenta cada uno de las variables expuestas en el diagrama de flujo de la ilustración 17.



**Ilustración 17. Diagrama de flujo (Evaluación de Riesgo)**

Fuente: NTC 4552. Principios generales. [11]

### 5.1.1 Densidad de Descargas a Tierra (DDT) y $I_{abs}$

En la primera variable de evaluación se determina el nivel Ceraunico el cual indica el número de incidencias de tormentas eléctricas en la región.

El valor del nivel Ceraunico ya se encuentra establecido en la NTC 4552-1 donde se especifican para algunas ciudades del país la densidad promedio tal como se muestra en la tabla 4.

Ciudad	Latitud	Longitud	Densidad promedio
Barranquilla	10,9	-74,8	1
Cartagena	10,5	-75,5	2
Corozal	9,3	-75,3	3
El Banco	9,1	-74	10
Magangue	9,3	-74,8	5
Montería	8,8	-75,9	2
Quibdó	5,7	-76,6	9
Santa Marta	11,1	-74,2	2
Tumaco	1,8	-78,8	1
Turbo	8,1	-76,7	5
Valledupar	10,4	-73,3	2
Riohacha	11,5	-72,9	2
Armenia	4,5	-75,8	2
Barranca	7	-73,8	7
Bogotá	4,7	-74,2	1
Bucaramanga	7,1	-73,1	1
Cali	3,6	-76,4	1
Cúcuta	7,9	-72,5	1
Girardot	4,3	-74,8	5
Ibagué	4,4	-75,2	2
Ipiales	0,8	-77,6	1
Manizales	5	-75,5	2
Medellín	6,1	-75,4	1
Neiva	3	-75,3	1
Ocaña	8,3	-73,4	2
Pasto	1,4	-77,3	1
Pereira	4,8	-75,7	4
Popayán	2,4	-76,6	1
Remedios	7	-74,7	12
Villavicencio	4,2	-73,5	1
Bagre	7,8	-75,2	12
Samaná	5,4	-74,8	9

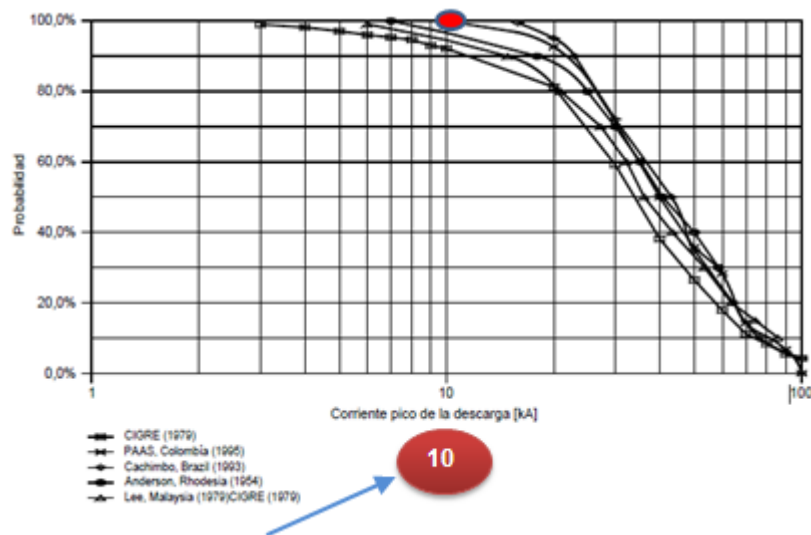
**Tabla 4. Densidad de cargas a tierra para Colombia.**

Fuente: NTC 4552-1 [2]

Para Pereira la DDT es de 4, lo que equivale al número de descargas a tierra por año. Para desarrollo de este proyecto este será el valor a tener en cuenta.

El valor de  $I_{abs}$  se determina en la ilustración 18, pero para esto se debe de tener en cuenta lo siguiente::

“Los valores máximos de los parámetros de rayo del nivel I (NPR) se reduce a 75% para el nivel II, ya 50% para niveles III y IV”. Según como se estipula en la NTC 4552-1. [2]



**Ilustración 18. Curva de probabilidad acumulada de corriente de retorno negativa, comparativa entre países ubicados en zonas templadas y zonas tropicales.**

Fuente: NTC 4552-1. [2]

Teniendo en cuenta que para el nivel I la corriente permanece en los valores máximos del 100%, la  $I_{abs}$  corresponde a 10 kA según como se señala en la ilustración 18.

### 5.1.2 Indicador de Exposición al Rayo

Para el nivel de exposición del rayo se tiene en cuenta los valores dados en la DDT y la  $I_{abs}$ , obteniéndose así de la tabla 5 lo siguiente:

Densidad de descargas a tierra [ Descargas/km <sup>2</sup> - año]	Corriente pico absoluta promedio [kA]		
	40 ≤ I <sub>abs</sub>	20 ≤ I <sub>abs</sub> < 40	I <sub>abs</sub> < 20
30 ≤ DDT			
15 ≤ DDT < 30			
5 ≤ DDT < 15			
DDT < 5			

**Tabla 5. Indicadores de parámetros del Rayo.**

Fuente: NTC 4552 (Principios Generales). [11]

	Severos		Altos
	Medios		Bajos

Como se muestra en la tabla 5, el indicador de parámetros del Rayo para este sistema es Bajo.

### 5.1.3 Indicador de Gravedad

El indicador de Gravedad es la suma de todos los Subindicadores relacionados con el tipo de estructura, el uso, la altura y el área de la misma, así como se indica a continuación.

$$I_G = I_{USO} + I_T + I_{AA}$$

en donde

$I_{USO}$	=	Subindicador relacionado con el uso de la estructura
$I_T$	=	Subindicador relacionado con el tipo de estructura
$I_{AA}$	=	Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura

### Ilustración 19. Ecuación de Índice de Gravedad y variables

Fuente: NTC 4552 (Principios Generales). [11]



<b>Resultado de la suma de subindicadores de estructura</b>	<b>Indicador de Gravedad</b>
0 a 35	Leve
36 a 50	Baja
51 a 65	Media
66 a 80	Alta
81 a 100	Severa

**Tabla 6. Indicador de Gravedad.**

Fuente: NTC 4552 (Principios Generales). [11]

<b>Clasificación de estructuras</b>	<b>Ejemplos de estructura</b>	<b>Indicador</b>
<b>A</b>	Teatros, centros educativos, iglesias, supermercados, centros comerciales, áreas deportivas al aire libre, parques de diversión, aeropuertos, hospitales, prisiones	40
<b>B</b>	Edificios de oficinas, hoteles, viviendas, grandes industrias, áreas deportivas cubiertas.	30
<b>C</b>	Pequeñas y medianas industrias, museos, bibliotecas, sitios históricos y arqueológicos	20
<b>D</b>	Estructuras no habitadas	0

**Tabla 7. Subindicador relacionado con el tipo de estructura.**

Fuente: NTC 4552 (Principios Generales). [11]

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Indicador</b>
No metálica	40
Mixta	20
Metálica	0

**Tabla 8. Subindicador relacionado con el tipo de estructura.**

Fuente: NTC 4552 (Principios Generales). [11]

Altura y área de la estructura	Indicador
Área menor a 900 m <sup>2</sup>	
Altura menor a 25 m	5
Altura mayor o igual a 25 m	20
Área mayor o igual a 900 m <sup>2</sup>	
Altura menor a 25 m	10
Altura mayor o igual a 25 m	20

**Tabla 9. Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura.**

Fuente. NTC 4552 (Principios Generales). [11]

Para el edificio de Bellas Artes (Bloque H) de la Universidad Tecnológica de Pereira se obtuvieron los siguientes:

Característica de la estructura		Definición	INDICADOR
Uso de la estructura	Clase A	Teatros, Centros educativos, Iglesias, Supermercados, Centros comerciales, Áreas deportivas al aire libre, Parques de diversión, Aeropuertos, Hospitales y Prisiones.	40
Tipo de Estructura		Mixta	20
Altura y Área de la Estructura		Área mayor o igual a 25m Altura menor a 25m	10

**Tabla 10. Valores para cálculo de índice de Gravedad para el bloque de Bellas Artes de la Universidad Tecnológica de Pereira.**

Fuente: Autores.

Según la clasificación de la estructura y utilizando la ecuación se obtiene el siguiente resultado:

$$I_G = I_{uso} + I_T + I_{AA}$$

$$I_G = 40 + 20 + 10$$

$$I_G = 70$$

Tal como se indica en le Ilustración 19. Se tiene que:

**I<sub>uso</sub>** = Subindicador relacionado con el uso de la estructura.

**I<sub>t</sub>** = Subindicador relacionado con el tipo de estructura.

**I<sub>AA</sub>** = Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura.

El índice de gravedad del edificio de bellas artes de la universidad tecnológica de Pereira, se ubica tal como se muestra en la tabla a continuación:

<b>Resultado de la suma de Subindicadores de estructura</b>	<b>Indicador de Gravedad</b>
<b>66 a 80</b>	<b>Alta</b>

**Tabla 11. Indicador de Gravedad para Edificio de Bellas Artes de la Universidad Tecnológica de Pereira.**

Fuente: Autores

#### **5.1.4 Matriz de Riesgo**

Con el fin de evaluar el nivel de riesgo de tipo eléctrico, se puede aplicar la siguiente matriz para la toma de decisiones (Tabla 12). El método a seguir para cualquier caso, es el siguiente:

- Definir el factor de riesgo que se quiere evaluar.
- Definir si el riesgo es real o potencial
- Determinar las consecuencias para las personas, económicas, ambientales y de imagen de la empresa. Esto se estima dependiendo del caso en particular que se analiza.
- Buscar el punto de cruce dentro de la matriz correspondiente a la consecuencia (1, 2, 3, 4, 5) y a la frecuencia determinada (A, B, C, D, E): esta será la valoración de riesgo para cada clase

- Repetir el proceso para la siguiente clase hasta que cubra todas las posibles pérdidas.
- Tomar el caso más crítico de los cuatro puntos de cruce, el cual será la categoría o nivel del riesgo.
- Tomar las decisiones o acciones, según lo indicado en la tabla 13.

RIESGO A EVALUAR:	ELECTROCUTAR por DESCARGA ATMOSFERICA (al) o (en) RAYO										
	EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)		FACTOR DE RIESGO (CAUSA) (Ej: Arco eléctrico)		FUENTE (Ej: Celda de 13,8 kV)						
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>			FRECUENCIA						
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A	
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa	
		Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
		Incapacidad parcial permanente	Daños mayores. Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
		Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
		Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

Evaluador: \_\_\_\_\_ MP: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Tabla 12. Matriz de niveles de riesgo

Fuente: RETIE. [12]

COLOR	NIVEL DE RIESGO	DECISIONES A TOMAR Y CONTROL	PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS
	Muy alto	<i>Inadmisible para trabajar.</i> Hay que eliminar fuentes potenciales, hacer reingeniería o minimizarlo y volver a valorarlo en grupo, hasta reducirlo.  Requiere permiso especial de trabajo.	Buscar procedimientos alternativos si se decide hacer el trabajo. La alta dirección participa y aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y autoriza su realización, mediante un Permiso Especial de Trabajo (PES).
	Alto	<i>Minimizarlo.</i> Buscar alternativas que presenten menor riesgo. Demostrar cómo se va a controlar el riesgo, aislar con barreras o distancia, usar EPP.  Requiere permiso especial de trabajo.	El jefe o supervisor del área involucrada, aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el Permiso de Trabajo (PT) presentados por el líder a cargo del trabajo.
	Medio	<i>Aceptarlo.</i> Aplicar los sistemas de control (minimizar, aislar, suministrar EPP, procedimientos, protocolos, lista de verificación, usar EPP).  Requiere permiso de trabajo.	El líder del grupo de trabajo diligencia el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el jefe de área aprueba el Permiso de Trabajo (PT) según procedimiento establecido.
	Bajo	<i>Asumirlo.</i> Hacer control administrativo rutinario. Seguir los procedimientos establecidos. Utilizar EPP.  No requiere permiso especial de trabajo.	El líder del trabajo debe verificar: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué puede salir mal o fallar?</li> <li>• ¿Qué puede causar que algo salga mal o falle?</li> <li>• ¿Qué podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle?</li> </ul>
	Muy bajo	Vigilar posibles cambios	No afecta la secuencia de las actividades.

**Tabla 13. Decisiones y acciones para controlar el riesgo**

Fuente: RETIE. [12]

En la matriz de riesgo (tabla 12) se logra analizar que el nivel de riesgo para la estructura del edificio de bellas artes de la Universidad Tecnológica de Pereira, es medio por lo que las decisiones y el trabajo a ejecutar en ella se deben realizar según como se indica en la tabla 13, cumpliendo con el reglamento vigente RETIE.

De acuerdo al nivel de riesgo del SIPRA se debe seguir las siguientes acciones recomendadas como se indica en la tabla 14. [11]

Nivel de riesgo	Acciones recomendadas
NIVEL DE RIESGO BAJO	SPI para acometidas aéreas
	Cableados y PT según NTC 2050 – IEEE 1100
NIVEL DE RIESGO MEDIO	SPI
	Cableados y PT según NTC 2050 – IEEE 1100
	SPE
NIVEL DE RIESGO ALTO	SPI
	Cableados y PT según NTC 2050 – IEEE 1100
	SPE
	Plan de prevención y contingencia

**Tabla 14. Acciones recomendadas según el nivel de riesgo.**

Fuente: NTC 4552 (Principios Generales). [11]

Para un nivel de riesgo Medio se recomienda las siguientes acciones:

Nivel de Riesgo	Acciones Recomendadas
<b>MEDIO</b>	SPI
	Cableado y PT según NTC 2050 – IEEE1100
	SPE

**Tabla 15. Medidas de protección para Bloque de Bellas Artes Universidad Tecnológica de Pereira.**

Fuente: Autores

Nota: Para efectos de este proyecto se tiene como objetivo principal diseñar solo el Sistema de protección Externo (SPE) del Edificio de Bellas Artes de la Universidad Tecnológica de Pereira.

## 6. EVALUACIÓN NIVEL DE RIESGO SOFTWARE IEC RISK ASSESSMENT CALCULATOR

El software IEC RISK ASSESSMENT CALCULATOR, permite evaluar el riesgo de caída de un rayo en un edificio determinado dependiendo de los siguientes parámetros y calculando en nivel de protección necesario para el mismo:

- Dimensiones de la estructura.
- Características de la estructura.
- Influencias ambientales.
- Pérdidas.
- Líneas de servicios.
- Medidas de protección existentes.

De los parámetros antes mencionados se derivan varios factores los cuales son determinantes para el cálculo del nivel de protección necesario para la estructura que se va analizar. Por lo que a continuación se mencionara cada uno de estos factores que permiten el análisis.

### 6.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

#### 6.1.1 Tipo de estructura

El tipo de estructura ( $K_{s1}$ ) es el factor que considera el apantallamiento que proporciona la estructura, este depende del tipo de material con que la estructura del edificio está construida. Para cada caso como se muestra en la tabla 16, existe un valor que determina para el software el tipo de estructura que se va analizar.

TIPO DE ESTRUCTURA	
<b>Metálica</b>	La estructura proporciona un buen apantallamiento a los equipos en el interior. ( $K_{s1}=0.01$ )
<b>Hormigón</b>	La estructura proporciona un cierto apantallamiento a los equipos en el interior. ( $K_{s1}=0.2$ )
<b>Madera</b>	La estructura no proporciona ningún apantallamiento electromagnético. ( $K_{s1}=1$ )
<b>Cemento, Ladrillo</b>	La estructura no proporciona ningún apantallamiento electromagnético. ( $K_{s1}=1$ )

**Tabla 16. Tipo de estructura**

Fuente: software [15]

### 6.1.2 Riesgo de incendio (Rf)

Factor que se evalúa dependiendo del tipo de actividad que se realiza en la edificación que se va analizar, por ejemplo: oficinas, industrias, papeleras, silos, panaderías, estadios, etc.; cada uno de estos factores está determinado por una constante tal como se indica en la tabla 17.

<b>RIESGO DE INCENDIO Rf</b>	
<b>Bajo</b>	Estadios, estaciones de ferrocarril, centrales telefónicas (Rf=0,001)
<b>Común</b>	Oficinas, fabricas, escuelas, teatros, hoteles, museos, comercios (Rf=0,01)
<b>Alto</b>	Papeleras, industrias y almacenes de productos inflamables, edificios de madera, tejados de paja (Rf=0,1).
<b>Explosivo</b>	Polvorín, silos, panaderías, depósito de gas, petroquímica, pirotecnia (Rf=1).

**Tabla 17. Riesgo de incendio**

Fuente: software [15]

### 6.1.3 Tipo de cableado interno (Ks3)

Este factor determina la probabilidad de que el rayo pueda causar una descarga peligrosa o sobretensión, verificándose la eficacia del apantallamiento del cableado interno (Ks3).

<b>TIPO DE CABLEADO</b>	
<b>No Apantallado</b>	Cableado sin pantalla y sin precauciones especiales en su condición. (Ks3=1,0).
<b>Apantallado</b>	Cables con pantalla continua o cables en conductos metálicos conectados a tierra a ambos lados. (Ks3=0,1).



**Tabla 18. Tipo de cableado**

Fuente: software [15]

## 6.2 INFLUENCIAS AMBIENTALES

### 6.2.1 Factor de situación de los elementos próximos (Cd).

Hace referencia a la topografía y se basa en la altura relativa de las estructuras u otros objetos próximos a la estructura que se está analizando. En la tabla a continuación, se evidencia que para el factor de situación de los elementos próximos (Cd), existe una constante diferente dependiendo de lo que se encuentre alrededor de la estructura a la cual se le está analizando el nivel de riesgo.

<b>FACTOR DE SITUACIÓN DE LOS ELEMENTOS PRÓXIMOS (Cd)</b>	
<b>Altura menor que las demás</b>	Rodeado de estructuras más altas. (Cd=0,25)
<b>Altura similar</b>	Rodeada de estructuras más bajas o de altura similar. (Cd=0,5)
<b>Estructura aislada</b>	Sin otras estructuras alrededor en una distancia de tres veces la altura de la estructura. (Cd=1).
<b>Sobre colina o promontorio</b>	Estructura expuesta y aislada en lo alto de una colina. (Cd=2).

**Tabla 19. Factor de situación de los elementos próximos (Cd).**

Fuente: software [15]

### 6.2.2 Factor Ambiental (Ce)

Este factor ambiental (Ce) determina la separación que existe entre los nodos de distribución a los servicios de suministro eléctrico o de comunicación. .

<b>FACTOR AMBIENTAL (Ce)</b>	
<b>Edificios altos en ciudad</b>	(Ce=0).
<b>Urbano</b>	Típicamente 100 m al nodo de distribución más cercano. (Ce=0,1)

<b>Residencial</b>	Típicamente 500 m al nodo de distribución más cercano ( $C_e=0,5$ )
<b>Rural</b>	Típicamente 1000 m al nodo de distribución más cercano. ( $C_e=1$ ).

**Tabla 20. Factor ambiental**

Fuente: software [15]

### 6.2.3 Tipo de terreno

Dependiendo del tipo de terreno en que se construye cualquier edificación, se aprecia una Resistividad diferente tal como se indica en la tabla 21.

<b>TIPO DE TERRENO</b>	
<b>Limo, arcilla, arena semidensa</b>	Resistividad baja. (50-500 ohm/m)
<b>Roca blanda</b>	Resistividad normal. (500-3000 ohm/m)
<b>Arena suelta, arena densa, grava, roca dura</b>	Resistividad alta (> 3000 ohm/m)

**Tabla 21. Tipo de terreno**

Fuente: software [15]

## 6.3 PÉRDIDAS

### 6.3.1 Tipo 1. Pérdidas de vidas humanas

#### Por incendios (Lf1)

Este factor considera la ocupación frecuente de la estructura y las posibles pérdidas de vidas humanas que se presentaría en caso de que una descarga atmosférica (Rayo) afectara la edificación. Estas pérdidas de vidas humanas se considerarían en el caso de que se presentara algún incendio.

<b>TIPO 1. PERDIDAS DE VIDAS HUMANAS</b>	
<b>No Ocupadas</b>	Almacén, cantera, subestación eléctrica, huerto solar, estructura con

	equipos autónomos. (Lf1=0,01).
<b>Ocupadas ocasionalmente</b>	Estadio, Iglesia, local de ocio, I (Lf1=0,02)
<b>Ocupadas regularmente</b>	Colegio, industria, comercio, I (Lf1=0,05).
<b>Siempre Ocupadas</b>	Hospital, hotel, prisión, edificio de viviendas, I (Lf1=0,1).

**Tabla 22. Perdidas por vidas humanas (Tipo 1)**

Fuente: software [15]

### 6.3.2 Por riesgo de pánico.

#### De peligrosidad especial (h1a).

Este factor de peligrosidad especial (h1a) varía dependiendo de la dificultad de la evacuación de la estructura y el riesgo de pánico probable debido a la cantidad de personas que podrían permanecer en la edificación.

<b>POR RIESGO DE PÁNICO</b>	
<b>No Ocupada</b>	(h1a=1)
<b>Riesgo de pánico bajo</b>	Estructura limitada a dos plantas y menos de 100 personas: oficina, bloque de viviendas (h1a=2).
<b>Riesgo de pánico medio o problemas de evacuación</b>	Teatro, sala de conciertos, centro comercial o deportivo con entre 100 y 1000 personas.
<b>Estructura difícil de evacuar o con personas sin movilidad</b>	Hospital, geriátrico, guardería, prisión (h1a=5).
<b>Riesgo de pánico alto</b>	Teatro, sala de conciertos o acontecimientos deportivos con más de 1000 personas (h1a=10).

**Tabla 23. Por riesgo de pánico (De peligrosidad especial)**

Fuente: software [15]

### 6.3.3 Consecuencias de los daños

### Factor de peligrosidad especial (h1b)

El Factor de peligrosidad especial (h1b) tiene en cuenta no solo las pérdidas de vidas en la estructura causada por efectos secundarios causados por una Rayo dentro de la estructura sino las que pueden derivarse del daño en esta.

CONSECUENCIA DE LOS DAÑOS	
<b>Sin consecuencias</b>	Sin riesgo para personas fuera de la estructura (h1b=1).
<b>Peligro para el entorno</b>	Almacenamiento de explosivos, silos de cereales, control en aeropuertos (h1b=20).
<b>Contaminación medioambiental</b>	Nuclear, petroquímica, estructura con sustancias tóxicas o radioactivas (h1b=50).

**Tabla 24. Consecuencia de los daños (factor de peligrosidad especial)**

Fuente. Software [15]

### 6.3.4 Factor de pérdidas por sobretensiones - Lo1

Una sobre tensión puede causar fallos en el sistema eléctrico, considerándose para algunos casos un factor primordial para la conservación de la vida humana como es el caso claro de un hospital. Este factor de pérdidas por sobretensiones (Lo1) tiene en cuenta este parámetro que se debe de tener en cuenta al momento de diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas evitando que dichas sobretensiones no afecte el sistema eléctrico de la estructura al momento que una descarga eléctrica atmosférica caiga sobre dicha edificación.

FACTOR DE PERDIDAS POR SOBRETENSIONES Lo	
<b>No aplica</b>	El fallo de los sistemas eléctricos no causa daños a las personas (Lo1=0).
<b>Equipos de seguridad</b>	Edificios con sistemas de seguridad eléctricos (ascensores en edificios altos, sensores que evitan riesgos en industrias (Lo1=0,0001).
<b>Equipos vitales</b>	Hospital, edificio con equipos fundamentales para la vida de las personas (Lo1=0,001).

<b>Potencialmente explosivo</b>	Edificios en los que un fallo eléctrico puede causar una explosión. (Lo1=0,1).
---------------------------------	--

**Tabla 25. Factor de pérdidas por sobretensiones**

Fuente: Software [15]

## 6.4 Tipo 2. Pérdidas de servicios esenciales

### 6.4.1 Pérdidas de servicios (L2)

Este factor se aplica solo a estructuras que ofrecen servicios públicos.

<b>PERDIDAS DE SERVICIO (L2)</b>	
<b>No aplica</b>	Los daños en la estructura no afectan a ningún servicio esencial (Lf2-Lo2=0)
<b>Pérdida de servicios</b>	Suministro eléctrico, telecomunicaciones, radio y TV, agua, gas, ferrocarril, aeropuertos, hospitales. (Lf2-Lo2=0,1).

**Tabla 26. Perdidas de servicios (L2)**

Fuente: Software [15]

## 6.5 TIPO 3. PÉRDIDAS DE PATRIMONIO CULTURAL (Lf3)

### 6.5.1 Pérdidas de patrimonio Lf3

Este factor de pérdidas de patrimonio cultural (Lf3) se aplica a estructuras de significativo valor cultural o patrimonial. El valor de la constante Lf3 depende de la importancia que tenga la edificación.

<b>PERDIDAS DE PATRIMONIO</b>	
<b>No aplica</b>	Los daños en la estructura no suponen

	pérdida de patrimonio cultural (Lf3=0).
<b>Perdida de patrimonio cultural</b>	Museos, edificios de interés histórico, bienes patrimoniales (Lf3=0,1).

**Tabla 27. Pérdidas de patrimonio**

Fuente: Software [15]

## 6.6 TIPO 4. PÉRDIDAS ECONÓMICAS

Riesgos especiales

### 6.6.1 Factor de riesgos especiales (h4)

Factor que tiene en cuenta no solo las pérdidas económicas en la estructura sino las que pueden derivarse de los daños en esta. Dependiendo de la gravedad del daño que se puede producir, el factor de riesgos especiales (h4) aumenta tal como se muestra en la tabla 28.

<b>FACTOR DE RIESGOS ESPECIALES (h4)</b>	
<b>Sin consecuencias</b>	No hay riesgos especiales (h4=1)
<b>Peligro para el entorno</b>	Almacenamiento de explosivos, silos de cereales, control en aeropuertos (h4=20).
<b>Contaminación medioambiental</b>	Nuclear, petroquímica, estructura con sustancias tóxicas o radiactivas (h4=50).

**Tabla 28. Factor de riesgos especiales**

Fuente: Software [15]

### 6.6.2 Factor de pérdidas por incendio (Lf4)

Determina el valor económico que representa la estructura y su contenido.

<b>FACTOR DE PERDIDAS POR INCENDIO (Lf4)</b>	
<b>Valor común</b>	Vivienda, comercio (Lf4=0,1).
<b>Valor alto</b>	Hotel, colegio, oficina, iglesia, local de

	ocio (Lf4=0,2).
<b>Valor muy alto</b>	Hospital, industria, museo, propiedad agrícola (Lf4=0,5).

**Tabla 29. Factor de pérdidas por incendio.**

Fuente: Software [15]

### 6.6.3 Factor de pérdidas por sobretensiones (Lo4)

Factor de pérdidas por sobretensiones (Lo4) que cuantifica la importancia y el valor de los equipos eléctricos y electrónicos que permanecen dentro de la estructura.

<b>FACTOR DE PERDIDAS POR SOBRETENSIONES</b>	
<b>No aplica</b>	Estructura sin equipos eléctricos y electrónicos (Lo4=0)
<b>Valor común</b>	Vivienda, pequeño comercio (Lo4=0,0001).
<b>Valor alto</b>	Museo, propiedad agrícola, colegio, iglesia, local de ocio (Lo4=0,001).
<b>Valor muy alto</b>	Hospital, industria, oficina, hotel, centro de negocios (Lo4=0,01).
<b>Potencialmente explosivo</b>	Edificio en los que un fallo eléctrico puede causar una explosión (Lo4=0,1).

**Tabla 30. Factor de pérdidas por sobretensiones**

Fuente: Software [15]

### 6.6.4 Factor de pérdidas potenciales por tensiones de paso/contacto - Lt4

Este factor está relacionado con las pérdidas debidas a tensiones de paso y contacto dentro y fuera, hasta 3m, de la estructura.

<b>PERDIDAS POR TENSIONES DE PASO/CONTACTO</b>	
<b>Sin riesgo de shock</b>	Propiedades agrarias sin riesgo de shock para los animales (Lt4=0)

<b>Ganado en el interior</b>	Propiedades agrarias con animales dentro de la estructura (Lt4=0,01)
<b>Ganado en el exterior</b>	Propiedades agrarias con animales fuera de la estructura (Lt4=0,01).

**Tabla 31. Factor de pérdidas potenciales por tensiones de paso/contacto**

Fuente: Software [15]

### 6.6.5 Riesgo tolerable de pérdidas (Rt4)

Son las pérdidas económicas aceptables por año y depende de las exigencias del propietario del edificio.

<b>RIESGO TOLERABLE DE PERDIDAS</b>
1 pérdida cada 10 años
1 pérdida cada 100 años
1 pérdida cada 1000 años
1 pérdida cada 10000 años
1 pérdida cada 100000 años

**Tabla 32. Riesgo tolerable de pérdidas**

Fuente: Software [15]

## 6.7 LÍNEAS DE SERVICIOS

### 6.7.1 Suministro eléctrico

Situación del cable (PL), este factor hace referencia al tipo de línea de suministro, es decir la distribución del cable eléctrico que va del transformador hacia el edificio.

<b>TIPO DE LÍNEA DE SUMINISTRO (PL)</b>	
<b>Aéreo</b>	Distribución eléctrica al edificio a través de un cable aéreo (PL=1)
<b>Enterrado</b>	Distribución eléctrica a la estructura a través de un cable soterrado (PL=2).
<b>Ninguno</b>	No hay ninguna línea de distribución eléctrica conectada a la estructura (PL=0).



**Tabla 33. Suministro eléctrico**

Fuente: Software [15]

### 6.7.2 Tipo de cable (PLDO/PLIO)

La probabilidad de que allá un impacto, directo o indirecto, en una línea de suministro y cause fallos en los equipos eléctricos o electrónicos, depende del tipo de cable utilizado.

TIPO DE CABLE PLDO/PLIO	
<b>Apantallado</b>	Cable totalmente apantallado o cable en conducto metálico unido a tierra en ambos extremos (PLDO=0,4) (PLIO=0,02)
<b>No apantallado</b>	Sin pantalla o con la pantalla no unida a tierra (PLDO=1) (PLIO=1)

**Tabla 34. Tipo de cable**

Fuente: Software [15]

Donde;

PLDO = Cable apantallado o no apantallado

PLIO = Cable en conducto metálico unido a tierra en ambos extremos o con la pantalla no unida a tierra

El valor de cada una de estas variables depende de que la línea de suministro este o no apantallada tal como se muestra en la tabla 34.

### 6.7.3 Transformador MT/BT (Ct)

El factor del transformador (Ct) verificar si hay algún transformador eléctrico en la estructura como es el caso del transformador MT/BT, transformador de aislamiento o subestación.

TRANSFORMADOR MT/BT	
<b>Transformador</b>	(Ej. Línea de MT). Se aplica corrección por sobretensiones (Ct=0,2).
<b>Sin transformador</b>	(Ej. Línea de BT). No se aplica corrección por sobretensiones (Ct=1).

**Tabla 35. Transformador (Ct)**

Fuente: Software [15]

## 6.8 OTROS SERVICIOS AÉREOS

### 6.8.2 Tipo de cable - PLD1 y PLI1

Con la probabilidad de que un rayo impacte directa o indirectamente en una línea de suministro y cause fallos en los equipos eléctricos o electrónicos, se presenta el factor para el tipo de cable externo de suministro eléctrico PLD1 y PLI1. Este factor depende de que el cable utilizado este apantallado o no este apantallado.

TIPO DE CABLE PLD1 Y PLI1	
<b>Apantallado</b>	Cable totalmente apantallado o cable en conducto metálico unido a tierra en ambos extremos (PLD1=0,4) (PLI1=0,02)
<b>No apantallado</b>	Sin pantalla o con la pantalla no unida a tierra (PLD1=1) (PLI1=1).

**Tabla 36. Tipo de cable PLD1 y PLI1**

Fuente: Software [15]

Donde;

PLD1 = Cable totalmente apantallado o no apantallado

PLI1 = Cable en conducto metálico unido a tierra en ambos extremos o con la pantalla no unida a tierra

El valor de cada una de estas variables depende de que la línea de suministro este o no apantallada tal como se muestra en la tabla 36.

## 6.9 OTROS SERVICIOS ENTERRADOS.

### 6.9.2 Tipo de cable - PLD2 y PLI2

Con la probabilidad de que un rayo impacte directa o indirectamente en una línea de suministro y cause fallos en los equipos eléctricos o electrónicos, se presenta el factor para el tipo de cable externo de suministro eléctrico PLD2 y PLI2. Este depende de que el tipo de cable utilizado este apantallado o no este apantallado.

TIPO DE CABLE PLD2 Y PLI2	
<b>Apantallado</b>	Cable totalmente apantallado o cable en conducto metálico unido a tierra en ambos extremos (PLD2=0,4) (PLI2=0,02).
<b>No apantallado</b>	Sin pantalla o con la pantalla no unida a tierra (PLD2=1) (PLI2=1)

**Tabla 37. Tipo de cable PLD2 y PLI2**

Fuente: Software [15]

Donde;

PLD2 = Cable totalmente apantallado o no apantallado

PLI2 = Cable en conducto metálico unido a tierra en ambos extremos o con la pantalla no unida a tierra

El valor de cada una de estas variables depende de que la línea de suministro este o no apantallada tal como se muestra en la tabla 37

## 6.10 MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES

### 6.10.2 Clase de SPCR según la IEC.

Corresponde a la eficacia del Sistema de Protección contra Rayos existentes en la estructura o si este no cuenta con ningún sistema de protección..

CLASE SPCR SEGÚN IEC	
<b>Nivel I</b>	(E=0,02).
<b>Nivel II</b>	(E=0,05).
<b>Nivel III</b>	(E=0,2).
<b>Nivel IV</b>	(E=0).
<b>Sin protección</b>	(E=0).

**Tabla 38. Clase de SPCR**

Fuente: Software [15]

Para cada nivel de protección contra descargas atmosférica E toma un valor diferente según la IEC, así como se observa en la tabla 38

### 6.10.3 Protección contra sobretensiones (SP)

Factor de protección contra sobretensiones (SP) que indica si la edificación cuenta con un sistema de protección de este tipo. Para cada opción existe un valor diferente para SP tal como se ve en la tabla 39..

<b>PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES</b>	
<b>Sin protección</b>	No hay ninguna medida de protección contra sobretensiones instalada (SP=0).
<b>Solo en entrada de servicios</b>	Protección contra sobretensiones de unión equipotencial según IEC62305=3 (SP=1).
<b>Coordinada según IEC62305-4</b>	Sistema de protección contra sobretensiones completo (SP=2).

**Tabla 39. Protección contra sobretensiones**

Fuente: Software [15]

## 7. SIMULACIÓN

Para la evaluación y el análisis del sistema de protección contra descargas atmosféricas del bloque de bellas artes de la Universidad tecnológica de Pereira, es importante tener las dimensiones que ayudaran a determinar el nivel de protección necesario para la edificación y los cuales son datos obligatorios para el análisis del nivel de protección contra descargas atmosféricas:

PARÁMETROS DE DISEÑO (DIMENSIONES)	
Longitud (L)	78 m
Ancho (W)	91 m
Altura Tejado (H)	23 m
Altura Prominencia (Hp)	23 m
Área equivalente	45.385 m <sup>2</sup>

**Tabla 40. Dimensiones Edificio Bellas Artes Universidad Tecnológica de Pereira**

Fuente: Autor

The screenshot displays the IEC Risk Assessment Calculator interface. The 'Structure's Dimensions' section includes: Length of structure (m): 78, Width of structure (m): 91, Height of roof plane (m): 23, Height of highest roof protrusion (m): 23, and Equivalent area (m<sup>2</sup>): 45.385. The 'Conductive Service Lines' section includes: Power Line (Overhead cable), Type of external cable (Screened), Presence of MV / LV transformers (Transformers), Other Overhead Services (1 conductive service, Unscreened), and Other Underground Services (0 conductive services, Unscreened). The 'Loss Categories' section includes: Category 1 - Loss of Human Life (Average panic level, Commercial, schools, No safety critical systems), Category 2 - Loss of Essential Services (No service exist), Category 3 - Loss of Cultural Heritage (No heritage value), and Category 4 - Economic Loss (No special hazards, Office, school, Museum, school, No shock risk, 1 in 100 yrs). The 'Calculated Risks' table shows: Tolerable Risk (RT): 1.00E-05, Direct Strike Risk (Rd): 5.76E-06, Indirect Strike Risk (Ri): 9.32E-07, and Calculated Risk (Rt): 5.70E-06. The interface also includes a 'Calculations' button and a status bar with project information.

**Ilustración 20. Simulación software IEC RISK ASSESSMENT CALCULATOR**

Fuente: Software [15]

**Structure's Attributes:**

Length of structure (m): 78  
Width of structure (m): 91  
Height of roof plane (m)\*: 23  
Equivalent area (m<sup>2</sup>): 45.385 m<sup>2</sup>

**Structure's Dimensions:**

Location relative to surroundings: Isolated structure  
Location density (service line density): Suburban  
Number thunderdays: 20 days/year  
Equivalent annual flash density: 4,0 flashes/km<sup>2</sup>

**Structure's Attributes:**

Risk of fire or physical damage: Ordinary  
Structure screening effectiveness: Average  
Internal wiring type: Unscreened

**Protection Measures:**

LPS type: Level II - 97%  
Fire protection level: Manual systems  
Surge protection: Service entrances only

**Conductive Service Lines:**

**Power Line:**

Type of service to the structure: Overhead cable  
Type of external cable: Screened  
Presence of MV / LV transformer: Transformer

**Other Overhead Services:**

Number of conductive services: 1  
Type of external cable: Unscreened

**Other Underground Services:**

Number of conductive services: 0  
Type of external cable: Unscreened

**Loss Categories:**

**Category 1 - Loss of Human Life:**

Special hazards to life: Average panic level  
Life loss due to fire: Commercial, schools...  
Life loss due to overvoltages: No safety critical systems

**Category 2 - Loss of Essential Services:**

Services lost due to fire: No service exist  
Services lost due to overvoltages: No service exist

**Category 3 - Loss of Cultural Heritage:**

Cultural heritage lost due to fire: No heritage value

**Category 4 - Economic Loss:**

Special economic hazards: No special hazards  
Economic loss due to fire: Office, school  
Economic loss due to overvoltage: Museum, school  
Step - touch potential loss factor: No shock risk  
Tolerable risk of economic loss: 1 in 100 yrs

**Calculated Risks:**

	<i>Tolerable Risk R<sub>T</sub></i>	<i>Direct Strike Risk R<sub>d</sub></i>	<i>Indirect Strike Risk R<sub>i</sub></i>	<i>Calculated Risk R</i>
Loss of Human Life:	1,00E-05	5,76E-06	9,32E-07	6,70E-06
Loss of Essential Services:	1,00E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Loss of Cultural Heritage:	1,00E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Economic Loss:	1,00E-02	9,53E-05	1,09E-03	1,18E-03

**Ilustración 21. Evaluación Nivel de Riesgo según IEC RISK ASSESSMENT CALCULATOR**

## 8. DISEÑO SISTEMAS DE CAPTACIÓN

El edificio de bellas artes de la Universidad Tecnológica de Pereira es una edificación con una altura no mayor a los 23 metros y un diseño arquitectónico complejo, por lo que el sistema de captación se diseña utilizando el método de la esfera rodante, debido a las características de la edificación este es el método más recomendable; el software IEC *RISK ASSESSMENT CALCULATOR* determinara el nivel de protección necesario para la edificación.

Según lo arrojado por el software (Nivel I para el sistema de protección contra descargas atmosféricas del bloque de Bellas Artes de la Universidad Tecnológica de Pereira), se determina el radio de las esferas que circularan por toda la edificación y ayudara a determinar la ubicación de cada una de las puntas de captación necesarias para proteger el edificio de una descarga atmosférica (Rayo).

Nivel de Protección	Radio de la esfera (m)
Nivel I	35
Nivel II	40
Nivel III	50
Nivel IV	55

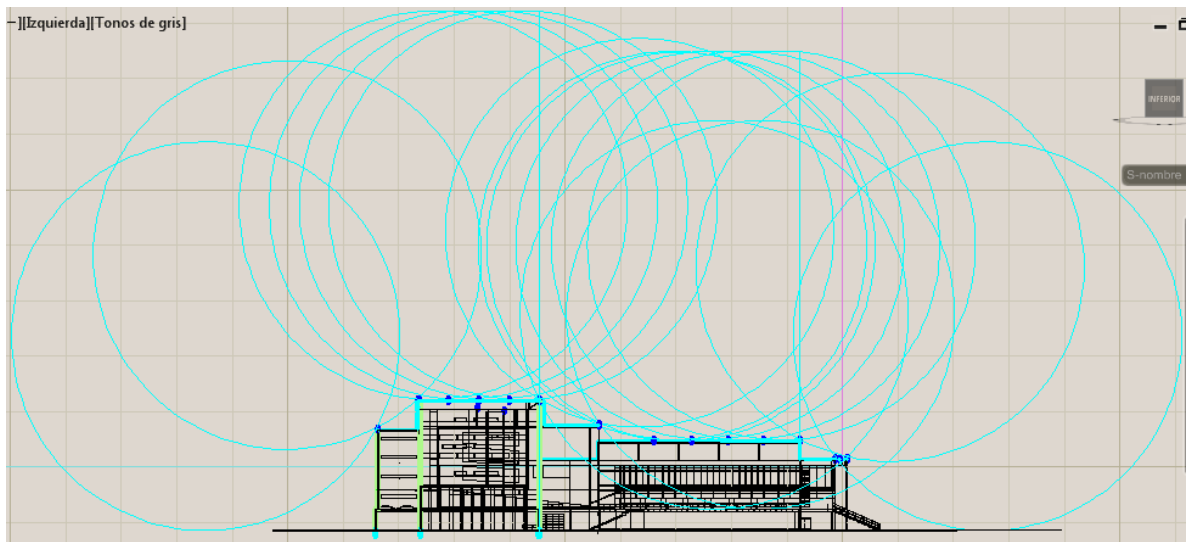
**Tabla 41. Radio de la esfera rodante según el Nivel de protección.**

Fuente: NTC 4552 – 1. [2]

Obtenido el Radio de las esferas, se procede al diseño gráfico del sistema de protección por medio de un programa estándar universal de diseño asistido por computador como el AUTOCAD que permite un diseño a escala del sistema de protección.

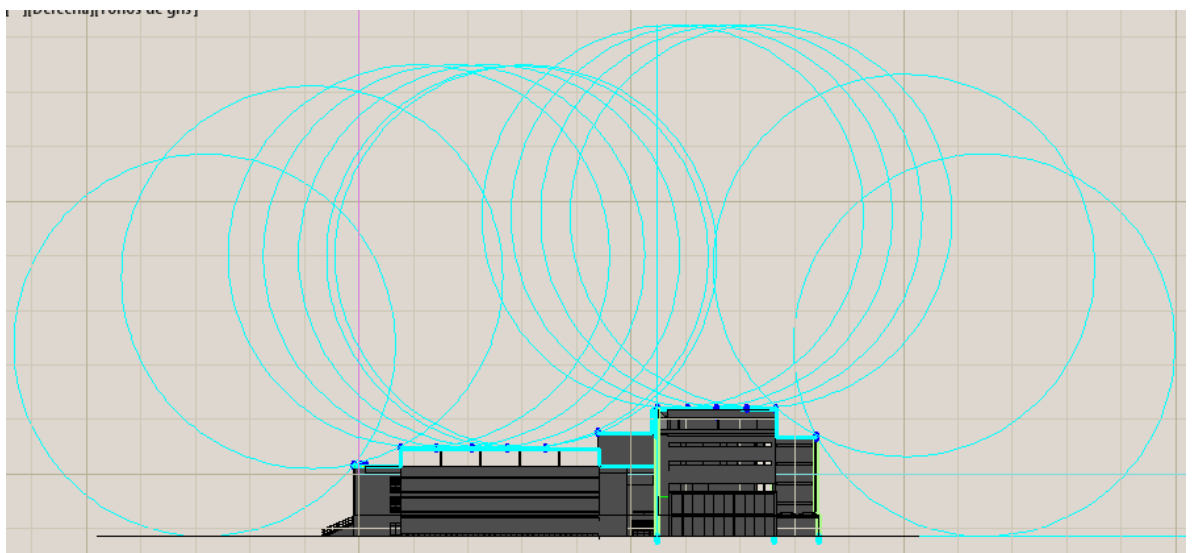
Para el diseño se debe de tener en cuenta que los terminales de captación deben ser preferiblemente varillas solidas o tubulares en forma de bayonetas; con una altura por encima de las partes altas de la estructura no menor a 0,25 m para intervalos máximos de 6 m entre puntas y no menor a 0,6 m para intervalos máximos de 8 m. [11]

Para el diseño se utilizaran puntas de 0.6 m que serán distribuidas por toda la estructura del edificio de Bellas Artes (Bloque H) de la Universidad Tecnológica de Pereira.



**Ilustración 22. Esferas rodantes (vista lateral izquierda)**

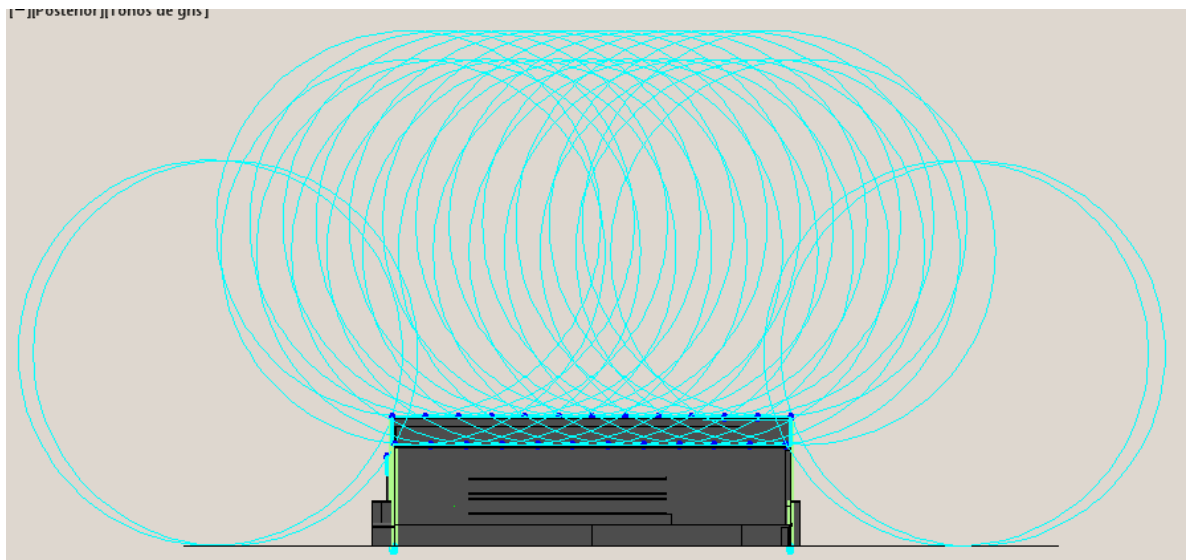
Fuente: Autores.



**Ilustración 23. Esferas rodantes (vista lateral derecha)**

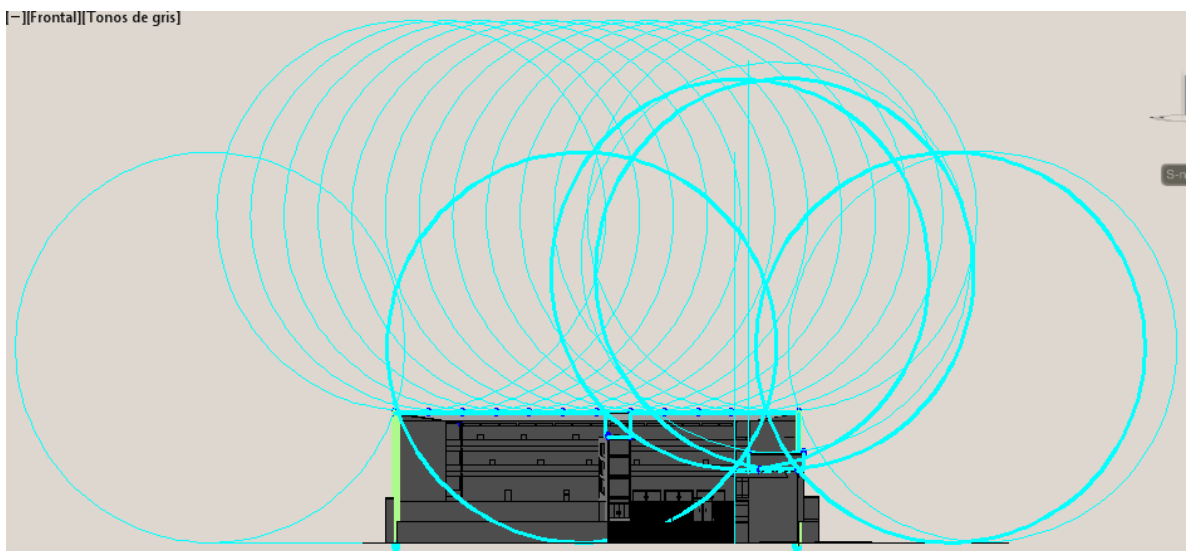
Fuente: Autores





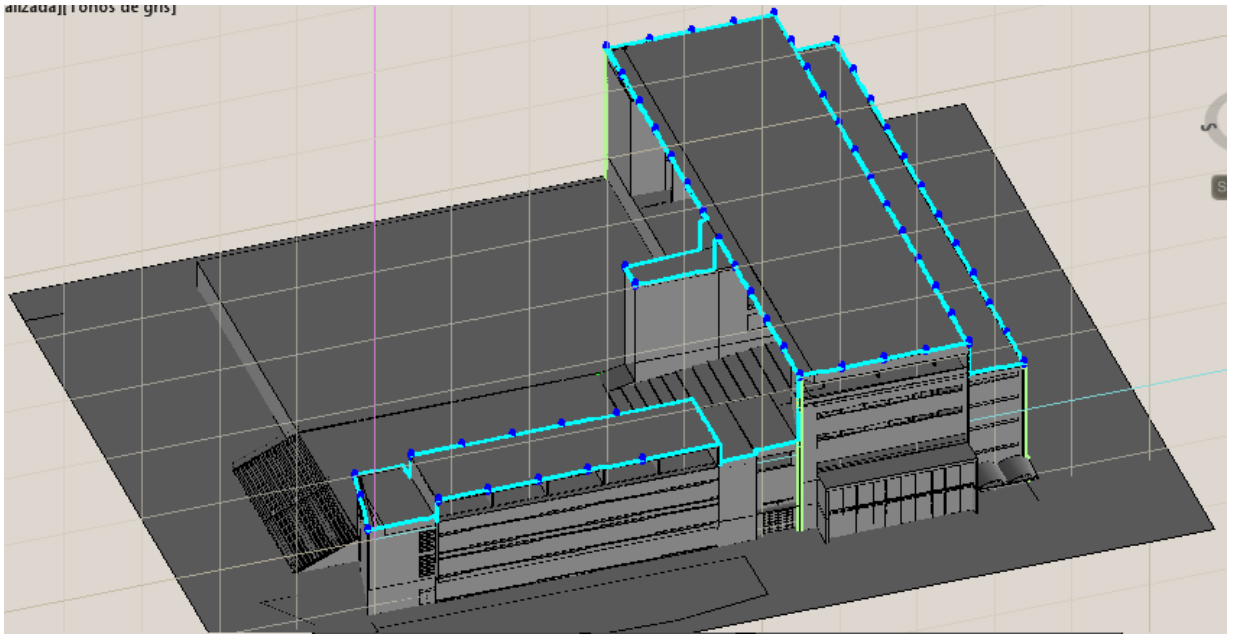
**Ilustración 24. Esferas rodantes (vista trasera)**

Fuente: Autores



**Ilustración 25. Esferas rodantes (vista delantera)**

Fuente: Autores



**Ilustración 26. Sistema de captación edificio de Bellas Artes**

Fuente: autores

## 9. DISEÑO SISTEMA DE BAJANTES

El sistema de bajantes, guía el paso de la corriente del rayo sirviendo como puente para sistema de puesta a tierra. Es así como la corriente circula por el sistema de protección diseñado de manera segura sin causar daño alguno a la estructura y seres humanos.

Dependiendo del Nivel de protección los bajantes tienen una distancia mínima entre ellos, garantizando la protección en conjunto de la edificación y la efectividad del sistema de protección contra descargas atmosférica diseñada. El no cumplir con dicho parámetro de diseño, la corriente del Rayo podría concentrarse en un solo punto de la malla principal por ello también es conveniente ubicarlos en puntos opuestos entre ellos si el diseño se presta para ello.

Tipo de Nivel de Protección	Distancia Típica Promedio [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20

**Tabla 42. Distancia de separación promedio para conductores bajantes.**

Fuente: NTC 4552-3. [4]

La distancia promedio utilizada será de 10 m para Nivel I como se indica en la tabla anterior.

Por razones eléctricas, mecánicas y térmicas los conductores de los bajantes del sistema equipotencial y derivaciones deben estar de acuerdo con la tabla 42. [11]

Altura de la estructura	Número mínimo de bajantes	Calibre mínimo del conductor de acuerdo con el material de este	
		Cobre	Aluminio
Menor que 25 m	2	2 AWG	1/0 AWG
Mayor que 25 m	4	1/0 AWG	2/0 AWG

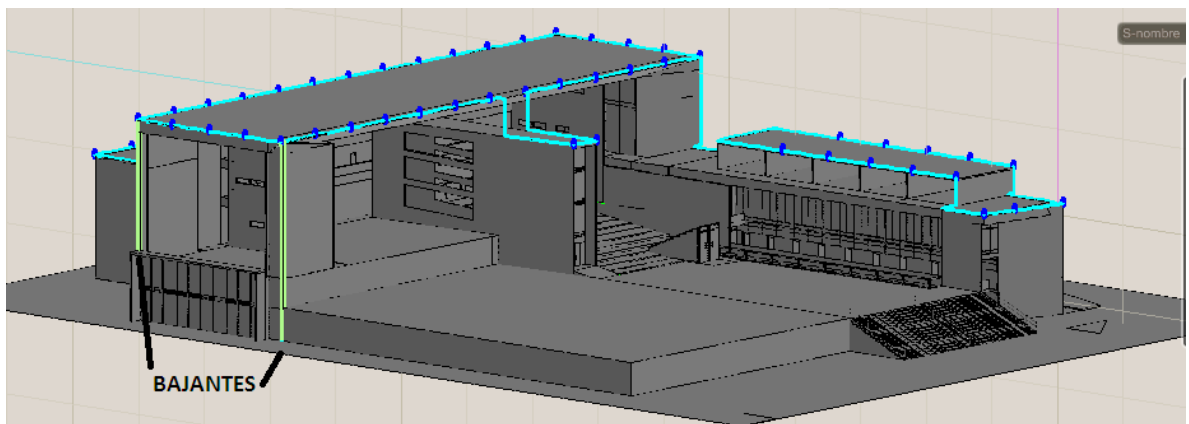
**Tabla 43. Requerimientos para los bajantes.**

Fuente: NTC 4552 (Principios Generales). [11]

El edificio de Bellas Artes (Bloque H) de la Universidad Tecnológica de Pereira, tiene una altura menor a 25 metros, por lo tanto el calibre mínimo del conductor utilizado será de 2AWG.

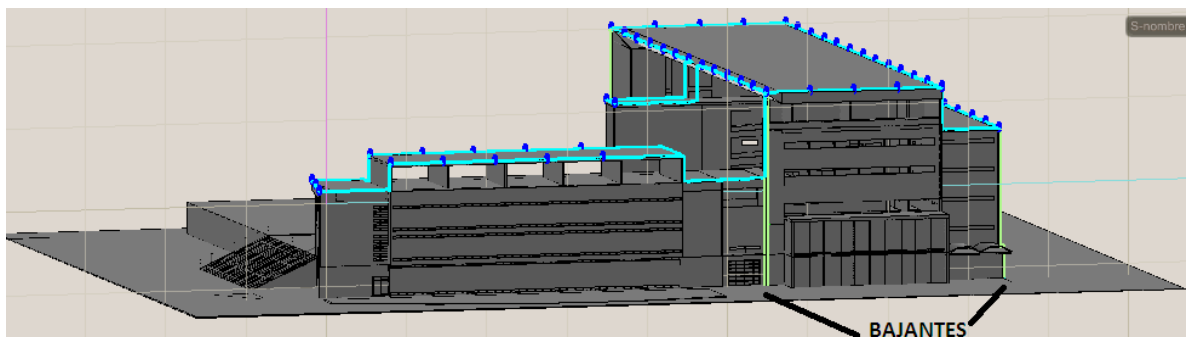
Como se estipula en la norma cada uno de los bajantes debe terminar en un electrodo de puesta a tierra garantizando el equilibrio del sistema de protección.

Teniendo en cuenta que el Bloque en mención tiene un área extensa, por cuestiones de diseño se utilizaran 4 bajantes que proporcionarán mayor seguridad al momento de distribuirse la corriente del rayo a través del sistema de protección diseñado.



**Ilustración 27. Vista de bajantes (Lateral izquierdo)**

Fuentes: autores



**Ilustración 28. Vista de bajantes (Lateral derecha)**

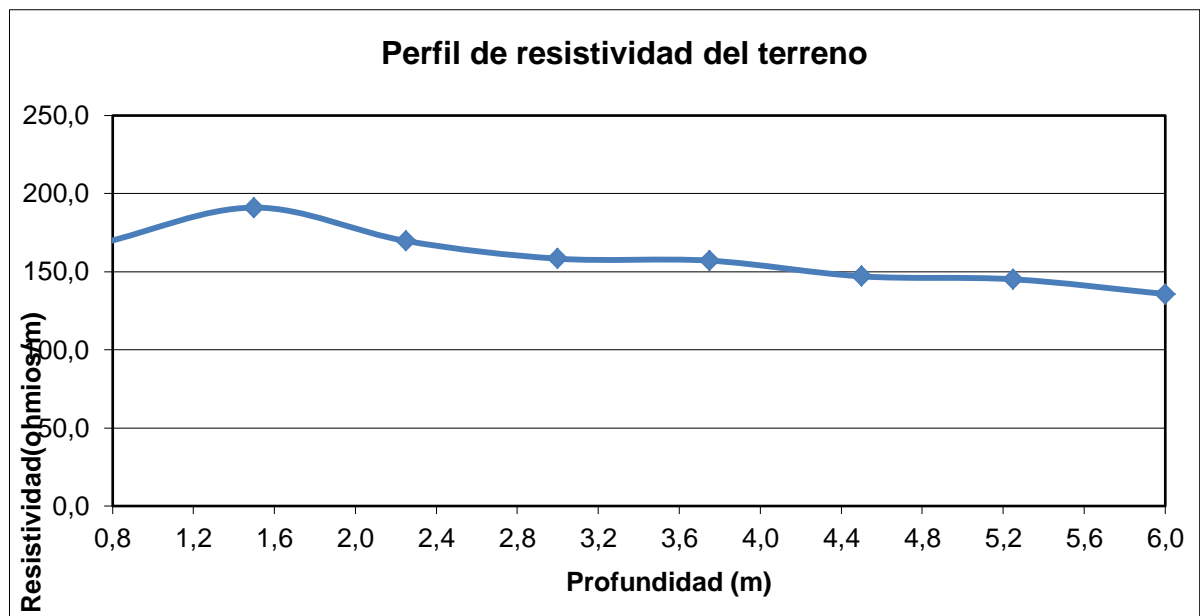
Fuentes: autores



## 10. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

El sistema de puesta a tierra es una parte fundamental del sistema de protección contra rayos que contribuye de forma sustancial a la seguridad del personal y de los equipos en caso de incidencia de un rayo; puesto que provee una equipotencialidad a los equipos y estructuras y ofrece una trayectoria de baja resistencia a la corriente del rayo, permitiendo su dispersión y disipación en el terreno sin causar daño. [11]

Para este proyecto, ya que la edificación cuenta con un sistema de puesta a tierra; se realizara la medición de resistividad y resistencia de puesta a tierra del bloque de Bellas Artes de la Universidad Tecnológica de Pereira con el fin de verificar que el sistema se encuentra en óptimas condiciones para equipotencializar el sistema de protección contra descargas atmosféricas diseñado.



**Ilustración 31. Perfil de resistividad del terreno**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA						
Estudio de Resistividad del suelo				Datos		
Empresa:	Universidad Tecnológica de Pereira			Color del suelo:	Negro	
Ciudad:	PEREIRA			Estado del terreno:	humedo	
Ubicación:	Bellas Artes UTP			Fecha de medición:	02 de Abril de 2013	
Departamento:	RISARALDA			Ultimo Día Lluvioso:	30 de Marzo de 2013	
Responsable de la medida:				Método de medición:	Wenner	
Alejandro Romero				Profundidad electrodo:	30 cm	
Sentido de la medición	Corriente de Prueba (mA)	Escala de Medicion ( $\Omega$ )	Profundidad de exploracion (m)	Separación de los electrodos (m)	Resistencia medida	Resistividad (Ohmios/m)
			0,8	1	26,8	168,4
			1,5	2	15,2	191,0
			2,3	3	9	169,6
<b>N - S</b>			3,0	4	6,3	158,3
			3,8	5	5	157,1
			4,5	6	3,9	147,0
			5,3	7	3,3	145,1
			6,0	8	2,7	135,7
			0,8	1		0,0
			1,5	2		0,0
			2,3	3		0,0
<b>E - O</b>			3,0	4		0,0
			3,8	5		0,0
			4,5	6		0,0
			5,3	7		0,0
			6,0	8		0,0
<b>VALORES PROMEDIOS</b>			0,8	1	26,8	168,4
			1,5	2	15,2	191,0
			2,3	3	9	169,6
			3,0	4	6,3	158,3
			3,8	5	5	157,1
			4,5	6	3,9	147,0
			5,3	7	1,2	145,1
			6,0	8	2,7	135,7

**Tabla 44. Medición de resistividad de SPT.**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA					
CERTIFICACION DE LA PUESTA A TIERRA					
DATOS DEL SITIO		DATOS BASICOS			
Fecha de medición:	02/04/2014	Tipo de terreno: Hummus			
Solicitante:	Universidad Tecnológica de Pereira	No de puesta a tierra:	No Actual:		
Ciudad:	Pereira	Temperatura:			
Proyecto:	Bloque Bellas Artes Utp	Responsables de la medida:	Alejandro Romero		
DATOS DEL EQUIPO DE MEDIDA		Accesorios de medición			
Marca	AEMC Instruments	Tipo de electrodo	cobre-cobre		
Frecuencia de la prueba	128 Hz	Longitud del electrodo	0,3m		
Corriente de prueba	10mA	Tipod de cables	14 AWG		
		Longitud máxima de cables	110m		
DIAGRAMA DEL SPT A MEDIR		DATOS DEL SPT A MEDIR			
		Area o longitud	20 m		
		Configuración	Electrodo		
		Utilización			
		Observaciones			
		Vr-Resist	Escala ( $\Omega$ )	Corriente (mA)	
		52%	18,7	200	10
		62%	19,2	200	10
		72%	19,7	200	10

**Tabla 45. Medición Resistencia SPT**



CRITERIOS DE EVALUACION NORMALIZADOS			
	DATOS	CUMPLE	NORMA
VALOR OFICIAL DE RESISTENCIA	<b>19,20</b>	Si	NEC 250-50
TIPO DE ELECTRODOS	<b>Cobre</b>	Si	NEC 250-91
CALIDAD DE LOS ELECTRODOS	<b>Buena</b>	Si	NEC 250-83
SEPARACION ENTRE ELECTRODOS	-	-	NEC 250-83
CALIDAD DE LAS CONEXIONES	<b>Buena</b>	Si	NEC 250-112
CALIBRE DE CONDUCTORES AL SPT	<b>1/0</b>	Si	IEEE 80-9,3
CALIBRE DEL CONDUCTOR DEL SPT	<b>1/0</b>	Si	NFPA 7803-12
CALIDAD DE LOS CONDUCTORES	<b>Buena</b>	Si	NEC 250-91
INTERCONEXION ENTRES SPT	<b>No</b>	No	NEC 250-86
CAJAS DE INSPECCION	<b>Si</b>	Si	CODENSA CS500-1

**Tabla 46. Criterios de evaluación medición resistencia.**

En la tabla 45 se verifica que el sistema de puesta a tierra se encuentra en óptimas condiciones por lo que se puede realizar la conexión del sistema de puesta a tierra junto con el sistema de protección contra descargas atmosféricas diseñado.

## 11. COSTO SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO

Teniendo un diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas para el bloque de bellas artes de la Universidad Tecnológica de Pereira, se procede a realizar un presupuesto total del Diseño, montaje y materiales a utilizar.

NOMBRE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
Punta captadora 0.6mt AL	63	\$ 28.800	\$ 1.814.400
Aisladores Denhsnap 36mm	501	\$ 4.650	\$ 2.329.650
Mv Clamp Al/Al tipo A 8-10/16mm	5	\$ 30.200	\$ 151.000
Mv Clamp Cu/Al tipo A 8-10/16mm	67	\$ 30.200	\$ 2.023.400
Electrodo de Cobre 5/8*2,4 m	4	\$ 83.000	\$ 332.000
Cable Cobre 2AWG	111 m	\$ 8.000	\$ 888.000
Cable AAC 1/0AWG	454 m	\$ 1.800	\$ 817.000
Mano de Obra Puntos de soldadura, cableado de puntas captadoras y bajantes			\$ 3.500.000
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 11.855.450</b>

**Tabla 47. Presupuesto sistema de protección**

**Aisladores Denhsnap:** Este tipo de aisladores separa la malla principal del concreto de la estructura.

**Mv. Clamp Al/Al tipo A 8-10/16mm:** Bornes utilizados para la conexión entre materiales de tipo Aluminio-Aluminio. Para este caso se utilizaran para la conexión del cableado de la malla principal.

**Mv. Clamp Cu/Al tipo A 8-10/16mm:** Bornes utilizados para la conexión entre materiales de tipo Cobre-Aluminio. Para este caso se utilizaran para la conexión entre los bajantes con la malla principal y la conexión del conductor de la punta captadora con la malla principal.

## 12. RECOMENDACIONES

- Debido a que se requiere un nivel de protección I para el edificio de bellas artes de la Universidad Tecnológica de Pereira (Dato obtenido con el software IEC Risk Assessment Calculator, que determina el nivel de protección contra descargas atmosféricas para una edificación), es necesario implementar un sistema de protección contra descargas atmosféricas ayudando a evitar daños en la estructura y pérdidas de vidas humanas.
- El edificio de bellas artes de la Universidad Tecnológica de Pereira permanece con una gran concentración de personas tanto en su interior como en los alrededores, es por esto que se recomienda realizar un plan de prevención o guía de seguridad para proporcionar protección a todas las personas que se encuentren dentro y fuera de la edificación durante una tormenta eléctrica.
- De acuerdo a lo establecido en el RETIE artículo N° 16 (Protección Contra Rayos), para prevenir accidentes con rayos, es conveniente tener en cuenta las siguientes recomendaciones, en caso de presentarse una tormenta [12]:
  - a. A menos que sea absolutamente necesario no salga al exterior ni permanezca a la intemperie.
  - b. Busque refugio en estructuras que ofrezcan protección contra el rayo, tales como:
    - Edificaciones bajas que no tengan puntos sobresalientes
    - Viviendas y edificaciones con un sistema adecuado de protección contra rayos.
    - Refugios subterráneos
    - Automóviles y otros vehículos cerrados, con carrocería metálica
  - c. De ser posible, evite los siguientes lugares, que ofrecen poca o ninguna protección:
    - Bajo los árboles con mayor riesgo de impacto de rayos, es decir, los más altos.
    - Campos deportivos abiertos
    - Tiendas de campaña y refugios temporales en zonas despobladas.
    - Vehículos descubiertos o no metálicos.

- Torres de comunicaciones o de energía eléctrica.
- d. En los siguientes lugares extreme precauciones:
- Terraza de edificios
  - Terrenos deportivos y campo abierto
  - Piscinas y lagos.
  - Cercanías de líneas eléctricas, cables aéreos, cercas ganaderas, mallas eslabonadas, vías de ferrocarril y tendederos de ropa.
  - Árboles aislados.
  - Torres metálicas (de comunicaciones, de líneas de alta tensión, de perforaciones, etc.).
- e. Si debe permanecer en un lugar con alta densidad de rayos a tierra:
- Busque zonas bajas.
  - Busque zonas pobladas de árboles, pero evitando árboles aislados.
  - Busque edificaciones y refugios seguros.
  - Si tiene que escoger entre una ladera y el filo de una colina, sitúese en el filo.
- f. Si se encuentra aislado en una zona donde se esté presentando una tormenta eléctrica:
- No se acueste sobre el suelo
  - Junte los pies
  - Adopte la posición de cuclillas
  - No coloque las manos sobre el suelo
  - No se escampe bajo un árbol
- g. Atienda las señales de alarma y siga las órdenes que impartan los brigadistas de emergencias, cuando se cuente con detectores de tormentas.
- h. Desconecte los equipos electrónicos que no posean dispositivos de protección contra rayos.

### 13. CONCLUSIONES

- El diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas del edificio de Bellas Artes de la Universidad Tecnológica de Pereira, requiere del análisis del nivel de riesgo que a través de factores que determinan la posibilidad de que existan pérdidas humanas, pérdidas del suministro de energía y otros servicios esenciales y pérdidas o daños de bienes culturales, ayudaran a evaluar el riesgo contra impactos directos o indirectos de descargas atmosféricas (rayos) sobre la estructura de la edificación que son interceptados con el sistema de protección que comprende el diseño del sistema de captación realizado con el método de la esfera rodante para este proyecto, el diseño del sistema de bajantes y el diseño del sistema de puesta a tierra (ya existente en la edificación).
- Al estar Colombia ubicada en una zona tropical y presentar una alta concentración de tormentas eléctricas, la ciudad de Pereira según estudios establecidos en la NTC 4552 – 1 y tal como se indica en la tabla 4 del presente documento, es una de las regiones con mayor densidad de descargas a tierra, lo que hace necesario la implementación de un sistema de protección contra descargas atmosféricas en el edificio de Bellas Artes (Bloque H) de la Universidad Tecnológica de Pereira.
- Es indispensable y obligatorio cumplir con los artículos diseñados para la Protección contra las descargas atmosféricas en las Normas Nacionales e Internacionales ya existentes, en Colombia se tienen las Normas Técnicas Colombianas NTC 4552 – (1-2-3) y el RETIE que permiten el diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas óptimo y confiable. En las normas Internacionales esta la IEC 62305.
- La medición de la resistividad del sistema de puesta a tierra existente en el edificio de Bellas Artes (bloque H) de la Universidad Tecnológica de Pereira, determinó que la malla existente cumple con los parámetros necesarios para la Equipotencialización del sistema de protección contra descargas atmosféricas junto al sistema de puesta a tierra ya existente en el terreno. El sistema de puesta a tierra debe cumplir con los requisitos mencionados en el artículo N° 15 del RETIE y su configuración debe ir como se indica en la IEC 62305 (Norma Internacional).

## 14. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA .NTC-2050**, Código eléctrico colombiano 25 de noviembre de 1998. 847 p.
- [2]. **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC-4552-1**, protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos), parte1: principios generales, Bogotá D.C, 26 de noviembre de 2008. Bogotá D.C. 71p.
- [3]. **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC-4552-2**. protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos), parte 3: manejo de riesgo. , 26 de noviembre de 2008. Bogotá D.C.57 p.
- [4]. **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC-4552-3**, protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos), parte 3: daños físicos a estructuras y amenazas a la vida. 12 de octubre de 2008. 137 p.
- [5]. **APARICIO FLORIDO, José Antonio**; Las Emergencias Rayos y Relámpagos. {En línea}. Fecha de consulta: [Febrero de 2015]. Disponible en: [www.galeon.com/obz/Documentos/Rayos.pdf](http://www.galeon.com/obz/Documentos/Rayos.pdf) .
- [6]. **CASTIBLANCO PARDO, Wilson Alberto**; Estudio Técnico para el Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas en la Universidad de la Salle sede Candelaria. Bogotá D.C, 2011. 130p.
- [7]. **Universidad nacional; sistemas de puesta a tierra**, {En línea}. Fecha de consulta: [Abril de 2011]. Disponible en: [http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electrotecnia/lat\\_archivos/spcr/spcr.htm#top](http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electrotecnia/lat_archivos/spcr/spcr.htm#top)
- [8]. **MARTONY, Carlos**; Protección de edificios y estructuras de las descargas eléctricas atmosféricas. {En línea}. Fecha de consulta: [Abril de 2011]. Disponible en: <http://www.cue.com.uy/images/articulos/descargas-electricas.pdf>
- [9]. **DISEÑO DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA), PARTE II**. {En línea}. Fecha de consulta: [Abril de 2015]. Disponible en: <http://fidelsmc.blogspot.com/2012/01/disen-de-sistemas-de-proteccion-contra.html>
- [10]. **ING. GARCÍA BISH, Juan Ramón**; Protección contra Descargas Atmosféricas y Puesta a Tierra, {En línea}. Fecha de consulta: [abril del 2015]. Disponible en: <http://slideplayer.es/slide/19300/>

- [11]. **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.** Protección Contra Descargas Atmosféricas (Rayos): Principios Generales. NTC 4552. Bogotá. D.C: El instituto, 2008. 47p.
- [12]. **REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE),** Resolución No. 9 – 0708 de agosto de 2013. Artículo 9°. Análisis de Riesgo de Origen Eléctrico. 211p.
- [13]. **RELÁMPAGOS O RAYOS,** Formación del Rayo. {En línea}. Fecha de consulta: [Abril del 2015]. Disponible en: <http://www.astrociencia.com/2008/11/11/relampagos-o-rayos/>
- [14]. **TEJEDOR, Jesús Cristóbal;** GARCÍA LÓPEZ, Eduardo; Protección Contra Descargas Atmosféricas. {En línea}. Fecha de consulta: [Abril de 2011]. Disponible en: [http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos\\_02\\_03/Proteccion\\_contra\\_descargas\\_atmosfericas/Index.htm](http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_02_03/Proteccion_contra_descargas_atmosfericas/Index.htm)
- [15]. **IEC RISK ASSESSMENT CALCULATOR,** [Software].
- [16]. **INTER ELECTRICAS,** catálogo de productos. {En línea}. Fecha de consulta: [Mayo del 2015]. Disponible en: <http://www.ie.com.co/cotizacion.php>