

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y APANTALLAMIENTO PARA
EL BLOQUE 6 DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**CRISTIAN EUGENIO TORO RAMÍREZ
DANNY GUILLERMO VILLA MANRIQUE**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2018**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y APANTALLAMIENTO PARA
EL BLOQUE 6 DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**CRISTIAN EUGENIO TORO RAMÍREZ
DANNY GUILLERMO VILLA MANRIQUE**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniería Eléctrica

**Asesor metodológico
Carlos Alberto Ocampo Quintero
Maestría en ingeniería de sistemas**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2018**

Nota aclaratoria

En el proyecto de grado, diseño de sistema de puesta a tierra y apantallamiento para el bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, se deberá consultar con los autores antes de realizar la implementación, montaje o cambios relacionados con el diseño propuesto en este documento.

Anexo 11.

Los autores:

Cristian Eugenio Toro Ramírez

Correo electrónico: c.toro@pascualbravo.edu.co

Danny Guillermo Villa Manrique

Correo electrónico: dan.villa@pascualbravo.edu.co

Contenido

| | Pág. |
|---|------|
| Introducción | 31 |
| 1. Planteamiento del problema..... | 33 |
| 1.1 Descripción..... | 33 |
| 1.2 Formulación..... | 34 |
| 2. Justificación..... | 35 |
| 3. Objetivos | 37 |
| 3.1 Objetivo general | 37 |
| 3.2 Objetivos específicos..... | 37 |
| 4. Marco teórico | 38 |
| 4.1 Normas técnicas..... | 38 |
| 4.2 Sistemas de puesta a tierra..... | 38 |
| 4.3 Las funciones de un sistema de puesta a tierra..... | 39 |
| 4.3.1 Donde se requieren los sistemas de puesta a tierra..... | 40 |
| 4.3.2 Donde no se requieren los sistemas de puesta a tierra..... | 41 |
| 4.4 Sistema de protección contra descargas atmosféricas | 41 |
| 4.4.1 Donde se requieren los sistemas contra descargas atmosféricas. | 42 |
| 4.4.2 Sistema de Protección Externo | 43 |
| 4.4.3 Sistema de protección Interno..... | 44 |
| 4.5 Datos históricos IDEAM de riesgo cerámico en Medellín..... | 44 |
| 4.6 Evaluación del nivel de riesgo contra descargas eléctricas atmosféricas (Rayos) | 47 |
| 4.7 Equipo para medir la resistividad del terreno..... | 47 |
| 4.8 Cálculos para determinar sistemas de puesta a tierra y apantallamientos | 48 |
| 4.9 Software de diseño eléctrico..... | 49 |
| 5. Metodología | 50 |

| | |
|--|----|
| 5.1 Tipo de proyecto..... | 50 |
| 5.2 Método..... | 50 |
| 5.3 Población y muestra | 50 |
| 5.4 Instrumentos de recolección de información..... | 51 |
| 5.4.1 Fuentes primarias..... | 51 |
| 5.4.2 Fuentes secundarias | 51 |
| 6. Resultados | 53 |
| 6.1 Recolección de la información | 53 |
| 6.2 Visitas en campo..... | 53 |
| 6.3 Equipo de medida resistividad del terreno | 54 |
| 6.3.1 Método para medir la resistividad del terreno. | 54 |
| 6.4 Medidas de resistividad del terreno..... | 56 |
| 6.4.1 Valores de medidas de resistividad del terreno eje horizontal..... | 57 |
| 6.4.2 Valores de medidas de resistividad del terreno eje vertical..... | 57 |
| 6.4.3 Resistividad promedio del terreno | 58 |
| 6.4.4 Nivel de cortocircuito en punto de conexión a la red | 59 |
| 6.4.5 Desarrollo para cálculo de resistencia de la malla de puesta a tierra..... | 60 |
| 6.4.6 Selección del tamaño del conductor | 60 |
| 6.4.7 Criterio de tensiones de paso y de toque tolerables | 63 |
| 6.4.8 Evaluación de la resistencia de la puesta a tierra (R_g)..... | 64 |
| 6.4.9 Cálculo de la tensión máxima de la malla | 66 |
| 6.4.10 Cálculo de la tensión real de paso E_p | 68 |
| 6.4.11 Calculo de la malla de puesta a tierra simulada en software | 69 |
| 6.5 Sistema integral de protección contra rayos (SIPRA) | 72 |
| 6.5.1 Sistema de protección externo (SPE)..... | 73 |

| | |
|--|----|
| 6.5.2 Sistema de Captación..... | 74 |
| 6.5.3 Sistemas de bajantes | 75 |
| 6.5.4 Sistemas de puesta a tierra de protección contra rayos (SPT) | 76 |
| 6.5.5 Elementos que conforman el sistema de puesta a tierra | 77 |
| 6.6 Sistema de protección interno (SPI) | 78 |
| 6.6.1 Dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS)..... | 78 |
| 6.6.2 Sistemas y equipos a proteger mediante DPS..... | 80 |
| 6.6.3 Sobretensiones por rayos | 80 |
| 6.6.4 Niveles de protección contra rayos (NPR) | 81 |
| 6.7 Método Electrogeométrico | 82 |
| 6.7.1 Método de la esfera rodante (MER) | 83 |
| 6.7.2 Planeación de un SIPRA..... | 84 |
| 6.7.3 Daños debidos a rayos en las estructuras..... | 85 |
| 6.7.4 Fuentes y tipos de daños de una estructura..... | 85 |
| 6.7.5 Daños debido a rayos en acometidas | 85 |
| 6.7.6 Fuentes y tipos de daño en una acometida..... | 85 |
| 6.7.7 Tipos de pérdidas | 86 |
| 6.7.8 Necesidad de la protección contra rayo | 88 |
| 6.7.9 Conveniencias económicas de la protección contra rayo | 89 |
| 6.7.10 Medidas de protección | 89 |
| 6.7.11 Medidas de protección para reducir lesiones en seres vivos causadas por tensiones de paso y contacto..... | 89 |
| 6.7.12 Medidas de protección para reducir daños físicos | 90 |
| 6.7.13 Medidas de protección para reducir fallas en sistemas eléctricos y electrónicos .. | 90 |
| 6.7.14 Selección de medidas de protección | 91 |

| | |
|--|-----|
| 6.7.15 Zonas de protección contra rayo (ZPR)..... | 91 |
| 6.7.16 Protección de estructuras | 92 |
| 6.8 Diseño de sistema de apantallamiento..... | 93 |
| 6.8.1 Evaluación nivel de riesgo y de protección contra descargas atmosféricas | 94 |
| 6.8.2 Programa Risk-software de cálculo de riesgo..... | 99 |
| 6.8.3 Simulación del método esfera rodante (MER) | 104 |
| 6.8.4 Sistema de captación..... | 105 |
| 6.8.5 Sistema de conductores bajantes..... | 106 |
| 6.8.6 Procedimientos de inspección y mantenimiento de un sistema integrado de protección contra rayos SIPRA | 107 |
| 7. Conclusiones | 108 |
| 8. Recomendaciones..... | 110 |
| 9. Referencias bibliográficas | 112 |
| 10. Anexos..... | 114 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Número de descargas eléctricas Nube-Tierra | 45 |
| Tabla 2. Medidas de resistividad del terreno | 58 |
| Tabla 3. Medida resistividad promedio del terreno | 59 |
| Tabla 4. Nivel de corto circuito en punto de conexión | 59 |
| Tabla 5. Constantes de los materiales conductores | 61 |
| Tabla 6. Dimensiones típicas de los conductores de tierra | 63 |
| Tabla 7. Valores máximos de resistencia de puesta a tierra..... | 65 |
| Tabla 8. Datos base para simular malla de puesta a tierra | 69 |
| Tabla 9. Valor obtenido del cálculo de tensiones de paso y contacto máximas permitidas.... | 70 |
| Tabla 10. Valor obtenido del cálculo de resistencia de puesta a tierra | 70 |
| Tabla 11. Valor obtenido del cálculo de tensiones en caso de falla..... | 70 |
| Tabla 12. Requerimientos para las bajantes | 75 |
| Tabla 13. Distancia de separación promedio para conductores bajantes | 76 |
| Tabla 14. Clasificación de los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS)..... | 79 |
| Tabla 15. Valores máximos de parámetros del rayo de acuerdo con el NPR | 81 |
| Tabla 16. Valores máximos del radio de la esfera rodante según el nivel de protección | 84 |
| Tabla 17. Daños y pérdidas en estructura de acuerdo con diferentes puntos de impacto | 87 |
| Tabla 18. Daños y pérdidas en la acometida de servicio de acuerdo con diferentes puntos de impacto de rayo..... | 87 |
| Tabla 19. Densidad de descargas a tierra para algunas ciudades de Colombia | 95 |
| Tabla 20. Indicador de exposición al rayo | 96 |
| Tabla 21. Características de la estructura..... | 97 |
| Tabla 22. Subindicador relacionado con el tipo de estructura | 97 |
| Tabla 23. Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura | 98 |
| Tabla 24. Indicador de gravedad..... | 99 |
| Tabla 25. Matriz de nivel de riesgo..... | 99 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Sistema integral de protección contra rayos (SIPRA) | 43 |
| Figura 2. Earth-Insulation Tester MI-2088 | 48 |
| Figura 3. Earth-Insulation Tester MI-2088 | 54 |
| Figura 4. Método de medición | 55 |
| Figura 5. Resistividad aparente del suelo..... | 55 |
| Figura 6. Resistividad del suelo método simplificada | 55 |
| Figura 7. Ubicación geográfica bloque 6 | 56 |
| Figura 8. Valor registrado con distancia entre picas 1 metro..... | 57 |
| Figura 9. Valor registrado con distancia entre picas 2 metros | 57 |
| Figura 10. Valor registrado con distancia entre picas 3 metros | 57 |
| Figura 11. Valor registrado con distancia entre picas 1 metro..... | 58 |
| Figura 12. Valor registrado con distancia entre picas 2 metros | 58 |
| Figura 13. Valor registrado con distancia entre picas 3 metros | 58 |
| Figura 14. Ecuación para el cálculo exacto del conductor..... | 61 |
| Figura 15. Ecuación cálculo del conductor método simplificado | 61 |
| Figura 16. Criterio de tensiones de paso y de toque tolerables | 64 |
| Figura 17. Elevación del potencial de tierra (GPR)..... | 65 |
| Figura 18. Ecuación resistencia de puesta a tierra | 66 |
| Figura 19. Tensión máxima de la malla | 66 |
| Figura 20. Factor de corrección | 67 |
| Figura 21. Número de conductores paralelos de una malla rectangular equivalente..... | 67 |
| Figura 22. Longitud efectiva enterrada (LM) | 68 |
| Figura 23. Tensión real de paso | 68 |
| Figura 24. Cálculo valor de KS..... | 69 |
| Figura 25. Resultados de simulación en software IEEE 80 2000 | 71 |
| Figura 26. Resultados de simulación en software IEEE 80 2000 | 72 |
| Figura 27. Sistema integral de protección contra rayos (SIPRA) | 73 |
| Figura 28. Sistema de protección externo (SPE) | 74 |
| Figura 29. Sistema de protección interno (SPI) | 78 |

| | |
|--|-----|
| Figura 30. Método de la esfera rodante (MER) | 83 |
| Figura 31. Método de la esfera rodante (MER) | 84 |
| Figura 32. Tipo de pérdidas como resultado de diferentes tipos de daño | 88 |
| Figura 33. Zonas de protección contra rayos ZPR definidas para un SIPRA (NTC 4552-3) .. | 92 |
| Figura 34. Zonas de protección contra rayos ZPR definidas para medidas de protección contra IER | 93 |
| Figura 35. Diagrama de flujo Evaluación del Riesgo | 94 |
| Figura 36. Determinación de la corriente en kA (Iabs)..... | 96 |
| Figura 37. Datos solicitados de la empresa proyectista | 100 |
| Figura 38. Datos solicitados de la ubicación del proyecto | 101 |
| Figura 39. Datos generales solicitados del edificio a evaluar | 102 |
| Figura 40. Resultados obtenidos para el nivel de protección..... | 103 |
| Figura 41. Resultados obtenidos para el nivel de protección..... | 103 |
| Figura 42. Vistas frontal de cubrimiento de área método de la esfera rodante (MER)..... | 104 |
| Figura 43. Vistas lateral de cubrimiento de área método de la esfera rodante (MER) | 105 |

Lista de Anexos

| | Pág. |
|---|------|
| Anexo 1. Factura consumo de energía-Abril 2018- I.U. Pascual Bravo..... | 114 |
| Anexo 2. Manual de instrucciones Earth-Insulation Tester MI-2088..... | 114 |
| Anexo 3. Solicitud planos Radicado 2018001637 | 114 |
| Anexo 4. Acuerdo de confidencialidad 23 de febrero de 2018..... | 114 |
| Anexo 5. Registro fotográfico apantallamiento existente bloque 6 I.U. Pascual Bravo | 114 |
| Anexo 6. Registro fotográfico cubierta bloque 6 I.U. Pascual Bravo..... | 114 |
| Anexo 7. RA6-014 Medida de resistividad_v3_EPM..... | 115 |
| Anexo 8. Registro fotográfico medidas en campo | 115 |
| Anexo 9. Respuesta punto de conexión EPM..... | 115 |
| Anexo 10. Sistemas de puesta a tierra diseñado con IEEE 80 y evaluado con MEF..... | 115 |
| Anexo 11. Diseño_Puesta a tierra y apantallamiento_bloque 6 I.U. Pascual Bravo | 115 |

Resumen

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y APANTALLAMIENTO PARA EL BLOQUE 6 DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

CRISTIAN EUGENIO TORO RAMÍREZ
DANNY GUILLERMO VILLA MANRIQUE

En este proyecto de grado se establecen los parámetros necesarios para realizar un prototipo de diseño de Sistema de Puesta a Tierra y Apantallamiento para el bloque 6 de la Institución Universitaria Pascual Bravo, los cuales son de gran importancia para la protección de las infraestructuras, líneas de distribución y los seres vivos, debido a que su implementación ayuda a mejorar los índices de riesgo eléctrico causados por descargas eléctricas atmosféricas o sobretensiones por fallas en los sistemas eléctricos.

A continuación se relacionan las diferentes normas vigentes usadas para determinar los Sistemas de Puesta a Tierra y Apantallamientos; las normas Internacionales IEEE Std 80-2000 y la IEC 62305-2010, las normas nacionales RETIE-2013, las normas técnicas NTC 2050-2002, NTC 4552-2008 partes 1, 2 y 3; ya que con la adecuada interpretación permitieron determinar los valores de resistividad del terreno y la evaluación del riesgo frente a descargas atmosféricas, establecer los requisitos de diseño que garanticen los objetivos legítimos de protección contra descargas eléctricas atmosféricas (Rayos), sistemas de puesta a tierra y lograr un diseño eficiente bajo los estándares de calidad establecidos por los entes reguladores.

De los resultados, puede evidenciarse que el rayo aunque es un fenómeno aleatorio e impredecible se pueden establecer medidas de protección con un índice del 99% de seguridad e identificar la importancia que es para el bloque 6 de la I. U. Pascual Bravo, implementar las medidas de protección y prevención contra descargas eléctricas atmosféricas a los sistemas de puesta a tierra y apantallamiento y el mantenimiento en general de las instalaciones eléctricas.

Palabras clave – Diseño, Puesta a tierra, Apantallamiento, Normatividad

Abstract**DESIGN OF A SYSTEM OF GROUNDING AND SHIELDING FOR 6 BLOCK OF
THE INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO****CRISTIAN EUGENIO TORO RAMÍREZ
DANNY GUILLERMO VILLA MANRIQUE**

This degree project establishes the parameters necessary for creating a prototype of implementation system grounding and shielding design for block 6 of the University Pascual Bravo, which are of great importance for the protection of infrastructure, distribution lines and human beings, since its implementation helps to improve electrical hazard rates caused by atmospheric lightning or overvoltages due to faulty electrical systems.

Then relate the different standards used to determine implementation systems to Earth and shields; International IEEE Std 80-2000 and IEC 62305-2010 standards, RETIE-2013 national standards, technical standards NTC 2050 - 2002, NTC 4552-2008 parts 1, 2 and 3; Since with the proper interpretation allowed to determine the values of resistivity of the ground and the risk assessment, establishing design requirements that guarantee the legitimate objectives of atmospheric electrical discharges (lightning protection) and grounding systems and to achieve an efficient design under the quality standards set by regulators.

Outcomes, can evidence that Ray even if it is a random and unpredictable phenomenon can be protective measures with a 99% of safety index and identify the importance which is for block 6 of the I.U. Pascual Bravo implement the measures of protection and prevention against electrical lightning systems grounding and shielding and the maintenance of electrical installations in general.

Keywords: Design, grounding, shielding, regulations

Glosario

Para los efectos del presente proyecto de grado se aplicarán las definiciones generales que aparecen en el RETIE-2013, en la NTC 2050-2002 y la NTC 4552–2008 partes 1, 2 y 3. Cuando un término no aparezca, se recomienda consultar dichas normas.

Acometida: derivación de la red local del servicio respectivo, que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general. En aquellos casos en que el dispositivo de corte esté aguas arriba del medidor, para los efectos del presente reglamento, se entenderá la acometida como el conjunto de conductores y accesorios entre el punto de conexión eléctrico al sistema de uso general (STN, STR o SDL) y los bornes de salida del equipo de medición.

Acometida a ser protegida: acometida conectada a una estructura para la cual se requiere protección contra los efectos del rayo.

Alta concentración de personas u ocupación para reuniones públicas: es la concentración de 50 o más personas con el fin de desarrollar actividades tales como: trabajo, deliberaciones, comida, bebida, diversión, espera de transporte, culto, educación, salud o entretenimiento. En la aplicación de esta definición se deben tener en cuenta las densidades de personas así como los sistemas de evacuación de las áreas críticas y no la totalidad de las personas que contenga la edificación o lugar considerado como referente por lo que el número mínimo establecido para la alta concentración de personas puede ser inferior; para lo cual se recomienda aplicar la norma NFPA 101 (Código de seguridad humana).

Ambiente electromagnético: la totalidad de los fenómenos electromagnéticos existentes en un sitio dado.

Análisis de riesgos: conjunto de técnicas para identificar, clasificar y evaluar los factores de riesgo. Es el estudio de consecuencias nocivas o perjudiciales, vinculadas a exposiciones reales o potenciales.

Apantallamiento magnético: conjunto de elementos metálicos que encierran el objeto a proteger, o parte de este, para reducir fallas en sistemas eléctricos y electrónicos.

Arco eléctrico: haz luminoso producido por el flujo de corriente eléctrica a través de un medio aislante, que produce radiación y gases calientes.

Bil: nivel básico de aislamiento ante impulsos tipo rayo.

Cable: conjunto de alambres sin aislamiento entre sí y entorchado por medio de capas concéntricas.

Capacidad de corriente: corriente máxima que puede transportar continuamente un conductor o equipo en las condiciones de uso, sin superar la temperatura nominal de servicio.

Capacidad nominal: el conjunto de características eléctricas y mecánicas asignadas a un equipo o sistema eléctrico por el diseñador, para definir su funcionamiento bajo unas condiciones específicas. En un sistema la capacidad nominal la determina la capacidad nominal del elemento limitador.

Capacidad o potencia instalada: también conocida como carga conectada, es la sumatoria de las cargas en kVA continuas y no continuas, previstas para una instalación de uso final. Igualmente, es la potencia nominal de una central de generación, subestación, línea de transmisión o circuito de la red de distribución.

Capacidad o potencia instalable: se considera como capacidad instalable, la capacidad en kVA que puede soportar la acometida a tensión nominal de la red, sin que se eleve la temperatura por encima de 60 °C para instalaciones con capacidad de corriente menor de 100 A o de 75 °C si la capacidad de corriente es mayor.

Cargabilidad: límite térmico dado en capacidad de corriente, para líneas de transporte de energía, transformadores, etc.

Carga del rayo (Q_{rayo}): integral en el tiempo de la corriente de rayo para la duración completa del rayo.

Carga eléctrica de una descarga corta (Q_{corta}): integral en el tiempo de la corriente de rayo en una descarga corta.

Carga eléctrica de una descarga larga (Q_{larga}): integral en el tiempo de la corriente de rayo en una descarga larga.

Circuito eléctrico: lazo cerrado formado por un conjunto de elementos, dispositivos y equipos eléctricos, alimentados por la misma fuente de energía y con las mismas protecciones contra sobretensiones y sobrecorrientes. No se toman los cableados internos de equipos como circuitos. Pueden ser de modo diferencial (por conductores activos) o de modo común (por conductores activos y de tierra).

Compatibilidad electromagnética: es la capacidad de un equipo o sistema para funcionar satisfactoriamente en su ambiente electromagnético, sin dejarse afectar ni afectar a otros equipos por energía electromagnética radiada o conducida.

Conductor a tierra: también llamado conductor del electrodo de puesta a tierra, es aquel que conecta un sistema o circuito eléctrico intencionalmente a una puesta a tierra.

Conductor blindado: conductor metálico (alambre) usado para reducir daños físicos en acometidas, causados por el rayo.

Conexión equipotencial: conexión eléctrica entre dos o más puntos, de manera que cualquier corriente que pase no genere una diferencia de potencial sensible entre ambos puntos.

Conexión equipotencial de rayo: conexiones al SIPRA de piezas metálicas separadas por conexiones conductoras directas o por dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), empleadas para reducir las diferencias de potencial causadas por corrientes de rayo.

Contacto eléctrico: acción de unión de dos elementos con el fin de cerrar un circuito. Puede ser de frotamiento, de rodillo, líquido o de presión.

Contacto indirecto: es el contacto de personas o animales con elementos o partes conductivas que normalmente no se encuentran energizadas. Pero en condiciones de falla de los aislamientos se puedan energizar.

Corriente de contacto: corriente que circula a través del cuerpo humano, cuando está sometido a una tensión de contacto.

Corriente de rayo (i): corriente que fluye en el punto de impacto.

Corriente eléctrica: es el movimiento de cargas eléctricas entre dos puntos que no se hallan al mismo potencial, por tener uno de ellos un exceso de electrones respecto al otro.

Cortocircuito: unión de muy baja resistencia entre dos o más puntos de diferente potencial del mismo circuito.

Cuarto Eléctrico: recinto o espacio en un edificio dedicado exclusivamente a los equipos y dispositivos eléctricos, tales como transformadores, celdas, tableros, UPS, protecciones, medidores, canalizaciones y medios para sistemas de control entre otros. Algunos edificios por su tamaño deben tener un cuarto eléctrico principal y otros auxiliares.

Daño físico: daño a la estructura o al contenido de la misma debido a efectos mecánicos, térmicos, químicos y explosivos del rayo.

Descarga: descarga eléctrica atmosférica simple a tierra.

Descarga ascendente: rayo iniciado por un líder ascendente desde una estructura conectada a tierra hacia una nube. Una descarga ascendente consiste de una primera descarga larga con o sin múltiples descargas cortas sobrepuestas. Una o más descargas cortas pueden ser seguidas por una descarga larga.

Descarga corta: parte del rayo que corresponde a un impulso de corriente. Esta corriente tiene un tiempo medio T_2 comúnmente menor a 2 ms.

Descarga descendente: rayo iniciado por un líder descendente de nube a tierra. La descarga descendente consiste en una primera descarga corta (Short Stroke), que puede estar seguida por otras descargas cortas subsecuentes. Una o más descargas cortas pueden estar seguidas por una descarga larga (Long Stroke).

Descarga larga: parte del rayo que corresponde a una corriente continua. El tiempo de duración T largo (tiempo del 10 % del valor en el frente al 10 % del valor en la cola) de esta corriente continua, es típicamente mayor de 2 ms y menor de 1 s.

Descarga nube tierra: rayo de origen atmosférico entre nube y tierra que consiste en una o más descargas (Strokes).

Dispositivo de protección contra sobretensiones DPS: dispositivo que limita intencionalmente las sobretensiones transitorias y dispersa las sobrecorrientes transitorias. Contiene por lo menos un componente no lineal.

Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias del tipo conmutación de tensión: un DPS que tiene una alta impedancia cuando no está presente un transitorio, pero que cambia súbitamente su impedancia a un valor bajo en respuesta a un transitorio de tensión. Ejemplos de estos dispositivos son: Los vía de chispa, tubos de gas, entre otros.

Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias del tipo limitación de la tensión: un DPS que tiene una alta impedancia cuando no está presente un transitorio, pero que se reduce gradualmente con el incremento de la corriente y la tensión transitoria. Ejemplos de estos dispositivos son: varistores, diodos de supresión, entre otros.

Distancia de seguridad: distancia mínima alrededor de un equipo eléctrico o de conductores energizados, necesaria para garantizar que no habrá accidente por acercamiento de personas, animales, estructuras, edificaciones o de otros equipos.

Duración de corriente de descarga larga (Tlarga): tiempo que dura la descarga larga.

Duración del rayo (T): tiempo durante el cual la corriente del rayo fluye en el punto de impacto.

Electrodo de puesta a tierra: es el conductor o conjunto de conductores enterrados que sirven para establecer una conexión con el suelo.

Empalme: conexión eléctrica destinada a unir dos partes de conductores, para garantizar continuidad eléctrica y mecánica.

Energía específica de la corriente de descarga corta: integral en el tiempo del cuadrado de la corriente de rayo para una descarga corta.

Energía específica del rayo (W/R): representa la energía disipada por la corriente de rayo en una resistencia unitaria y se obtiene mediante la integral en el tiempo del cuadrado de la corriente de rayo para la duración completa del mismo.

Equipotencializar: es el proceso, práctica o acción de conectar partes conductivas de las instalaciones, equipos o sistemas entre sí o a un sistema de puesta a tierra, mediante una baja impedancia, para que la diferencia de potencial sea mínima entre los puntos interconectados.

Estructura: todo aquello que puede ser construido o edificado, pueden ser fijas o móviles, pueden estar en el aire, sobre la tierra, bajo tierra o en el agua.

Estructura a ser protegida: estructura para la cual se requiere protección contra efectos del rayo.

Expuesto: aplicado a partes energizadas, que puede ser inadvertidamente tocado por una persona directamente o por medio de un objeto conductor, o que le permita aproximarse más cerca que la distancia mínima de seguridad. Igualmente, se aplica a las partes que no están adecuadamente separadas, aisladas o protegidas contra daños (ya sea que los genere o los reciba).

Factor de riesgo: condición ambiental o humana cuya presencia o modificación puede producir un accidente o una enfermedad ocupacional.

Falla: degradación de componentes. Alteración intencional o fortuita de la capacidad de un sistema, componente o persona, para cumplir una función requerida.

Falla del sistema eléctrico y electrónico: daños permanentes del sistema eléctrico y electrónico por causa de efectos electromagnéticos del rayo.

Frecuencia: número de períodos por segundo de una onda. Se mide en Hertz o ciclos por segundo.

Gestión del riesgo: es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

Impedancia a tierra convencional: relación de los valores pico de la tensión y corriente de puesta a tierra que, en general, no se producen simultáneamente.

Impulso electromagnético del rayo (IER): campo electromagnético generado por la corriente del rayo, capaz de generar interferencia electromagnética

Instalación eléctrica: conjunto de aparatos eléctricos, conductores y circuitos asociados, previstos para un fin particular: Generación, transmisión, transformación, conversión, distribución o uso final de la energía eléctrica. La cual para los efectos del presente reglamento, debe considerarse como un producto terminado.

Interferencia electromagnética: conjunto de fenómenos asociados a perturbaciones electromagnéticas que pueden producir la degradación en las condiciones y características de operación de un equipo o sistema.

Lesiones a seres vivos: pérdidas de facultades físicas, biológicas, psíquicas, incluida la vida, de personas o animales debidas a tensiones de paso o de contacto causados por el rayo.

Mantenimiento: conjunto de acciones o procedimientos tendientes a preservar o restablecer un bien, a un estado tal que le permita garantizar la máxima confiabilidad.

Máxima tensión de operación continua: máxima tensión c.a. o c.c. que puede ser aplicada continuamente a un DPS en cualquier modo de protección. Es igual a la máxima tensión nominal del dispositivo.

Medidas de protección: medidas a ser adoptadas en el objeto a proteger con el fin de reducir el riesgo debido a rayos.

Método electrogeométrico: procedimiento que permite establecer cuál es el volumen de cubrimiento de protección contra rayos de una estructura para una corriente dada, según la posición y la altura de la estructura considerada como pararrayos.

Monitoreo del conductor de tierra: acción de verificar la continuidad del conductor de puesta a tierra de las instalaciones.

Multiplicidad: número de descargas que componen un rayo. Para el caso de la región colombiana, la multiplicidad presenta un valor promedio entre 1 y 2, con un intervalo típico de tiempo entre éstas, de aproximadamente 50 ms (Se han reportado eventos de hasta 16 descargas con intervalos entre 10 a 250 ms).

Nivel de protección contra rayos (NPR): número relacionado con un conjunto de los parámetros de la corriente de rayo, pertinentes a la probabilidad que asocia los valores de diseño máximo y mínimo, son valores que no serán excedidos cuando naturalmente ocurra una descarga eléctrica atmosférica.

Nivel de protección en tensión: es el valor máximo de tensión que aparece entre los terminales de un DPS cuando opera a sus condiciones nominales.

Nivel de riesgo: equivale a grado de riesgo. Es el resultado de la valoración conjunta de la probabilidad de ocurrencia de los accidentes, de la gravedad de sus efectos y de la vulnerabilidad del medio.

Nodo: parte de un circuito en el cual dos o más elementos tienen una conexión común.

Norma técnica: documento aprobado por una institución reconocida, que prevé, para un uso común y repetido, reglas, directrices o características para los productos o los procesos y métodos de producción conexos, servicios o procesos, cuya observancia no es obligatoria.

Norma técnica colombiana (NTC): norma técnica aprobada o adoptada como tal por el organismo nacional de normalización.

Norma técnica extranjera: norma que se toma en un país como referencia directa o indirecta, pero que fue emitida por otro país.

Norma técnica internacional: documento emitido por una organización internacional de normalización, que se pone a disposición del público.

Norma técnica regional: documento adoptado por una organización regional de normalización y que se pone a disposición del público.

Objeto a proteger: estructura o acometida de servicio a ser protegida contra los efectos del rayo.

Operador de red: empresa de servicios públicos encargada de la planeación, de la expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un Sistema de Transmisión Regional o un Sistema de Distribución Local.

Organismo nacional de normalización: entidad reconocida por el gobierno nacional, cuya función principal es la elaboración, adopción y publicación de las normas técnicas nacionales y la adopción como tales de las normas elaboradas por otros entes.

Origen virtual de la corriente de descarga corta (O1): punto de intersección de una línea recta con el eje del tiempo, la cual une el 10 % y el 90 % de los puntos de referencia sobre la entrada de la corriente de descarga.

Pararrayos: elemento metálico resistente a la corrosión, cuya función es interceptar los rayos que podrían impactar directamente sobre la instalación a proteger. Más técnicamente se denomina terminal de captación.

Partes externas conductoras: extensiones de partes metálicas que ingresan o salen de la estructura a proteger, por ejemplo tuberías, cables metálicos, ductos metálicos, entre otros, que pueden llevar corrientes parciales de rayo.

Pendiente promedio de la corriente de descarga corta: rata promedio de variación de la corriente de descarga dentro de un intervalo de tiempo $t_2 - t_1$. Es expresada por la diferencia $i(t_2) - i(t_1)$ de los valores de corriente en el comienzo y en el final de este intervalo, dividido por el intervalo de tiempo $t_2 - t_1$.

Peligro inminente: para efectos de interpretación y aplicación del RETIE, alto riesgo será equivalente a peligro inminente; entendido como aquella condición del entorno o práctica irregular, cuya frecuencia esperada y severidad de sus efectos puedan comprometer fisiológicamente el cuerpo humano en forma grave (quemaduras, impactos, paro cardíaco, paro respiratorio, fibrilación o pérdida de funciones); o afectar el entorno de la instalación eléctrica (contaminación, incendio o explosión). En general, se puede presentar por deficiencias en la instalación eléctrica., prácticas indebidas de la electrotecnia.

Perturbación electromagnética: cualquier fenómeno electromagnético que puede degradar las características de desempeño de un equipo o sistema.

Piso conductivo: arreglo de material conductivo de un lugar que sirve como medio de conexión eléctrica entre personas y objetos para prevenir la acumulación de cargas electrostáticas.

Plano eléctrico: representación gráfica de las características de diseño y las especificaciones para construcción o montaje de equipos y obras eléctricas.

Protección con DPS coordinados: conjunto de DPS seleccionados apropiadamente, coordinados e instalados para reducir las fallas en los sistemas eléctricos y electrónicos.

Puesta a tierra: grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuye las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa. Comprende electrodos, conexiones y cables enterrados.

Punto de impacto: punto donde una descarga toca tierra o un objeto elevado (ejemplo: estructuras, sistemas de protección contra rayos, acometidas, árboles, entre otros).

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 ionosfera.

Rayo cercano a un objeto: rayo que impacta en la vecindad de un objeto protegido, capaz de dañar el sistema eléctrico o electrónico.

Rayo en un objeto: rayo que impacta a un objeto a ser protegido.

Red equipotencial: conjunto de conductores del sistema de puesta a tierra que no están en contacto con el suelo o terreno y que conectan sistemas eléctricos, equipos o instalaciones con la puesta a tierra.

Riesgo (R): valor probabilístico relativo a una pérdida anual (seres humanos y bienes), causada por el rayo y relativas al valor del objeto a proteger.

Riesgo tolerable (RT): valor máximo del riesgo que se puede tolerar para el objeto a proteger.

Resistencia de puesta a tierra: es la relación entre el potencial del sistema de puesta a tierra a medir, respecto a una tierra remota y la corriente que fluye entre estos puntos.

RETIE: acrónimo del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas adoptado por Colombia.

Servicios a proteger: servicios incorporados a una estructura para la cual se requiere protección contra los efectos del rayo.

Sistema: conjunto de componentes interrelacionados e interactuantes para llevar a cabo una misión conjunta. Admite ciertos elementos de entrada y produce ciertos elementos de salida en un proceso organizado.

Sistema de captación: parte de un SIPRA, compuesto de elementos metálicos tales como bayonetas, conductores de acoplamiento o cables colgantes que interceptan intencionalmente el rayo.

Sistema de conductores bajantes: parte de un SIPRA que conduce intencionalmente la corriente del rayo desde el sistema de captación al sistema de puesta a tierra.

Sistema de medidas de protección contra IER: conjunto de medidas de protección contra IER para sistemas internos.

Sistema de protección contra sobretensiones: conjunto de DPS seleccionados, coordinados e instalados correctamente para reducir fallas de sistemas eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones.

Sistema de protección externa: parte del SIPRA que consiste en un sistema de puntas de captación, un sistema de conductor bajante y un sistema de puesta a tierra.

Sistema de protección interna: parte de un SIPRA que consiste en una conexión equipotencial de rayo y acorde con la distancia de separación dentro de la estructura protegida.

Sistema de puesta a tierra: parte de un SIPRA que conduce y dispersa intencionalmente la corriente de rayo en tierra.

Sistema de puesta a tierra (SPT): conjunto de elementos conductores continuos de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones, que conectan los equipos eléctricos con el terreno o una masa metálica. Comprende la puesta a tierra y la red equipotencial de cables que normalmente no conducen corriente.

Sistema de puesta a tierra de protección: conjunto de conexión, encerramiento, canalización, cable y clavija que se acoplan a un equipo eléctrico, para prevenir electrocuciones por contactos con partes metálicas energizadas accidentalmente.

Sistema de puesta a tierra de servicio: es la que pertenece al circuito de corriente; sirve tanto para condiciones de funcionamiento normal como de falla.

Sistema de puesta a tierra temporal: dispositivo de puesta en cortocircuito y a tierra, para protección del personal que interviene en redes desenergizadas.

Sistema eléctrico: sistema que incluye componentes de suministro eléctrico de baja tensión y posiblemente componentes electrónicos.

Sistema integral de protección contra rayo SIPRA: sistema integral usado para reducir los daños físicos que pueden ser causados por el rayo a un ser vivo o a una estructura. Se puede considerar la medida más efectiva para proteger las estructura contra los daños físicos causado por las descargas eléctricas atmosféricas. Este sistema usualmente consiste tanto de una protección externa, una internas y medidas de seguridad y protección personal contra rayos.

Sistema interno: sistemas eléctricos y electrónicos dentro de una estructura.

Sobrecarga: funcionamiento de un elemento excediendo su capacidad nominal.

Sobretensión: tensión anormal existente entre dos puntos de una instalación eléctrica, superior a la tensión máxima de operación normal de un dispositivo, equipo o sistema.

Susceptibilidad: es la sensibilidad de un dispositivo, equipo o sistema para operar sin degradarse en presencia de una perturbación electromagnética.

Transitorio: onda transiente causado por un IER que aparece como sobretensión y/o sobrecorriente.

Tensión a tierra: para circuitos puestos a tierra, la tensión entre un conductor dado y el conductor del circuito puesto a tierra o a la puesta a tierra; para circuitos no puestos a tierra, la mayor tensión entre un conductor dado y algún otro conductor del circuito.

Tensión de contacto: diferencia de potencial que durante una falla se presenta 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 un brazo.

Tensión de paso: diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por una distancia de un paso (aproximadamente un metro).

Tensión de servicio: valor de tensión, bajo condiciones normales, en un instante dado y en un nodo del sistema. Puede ser estimado, esperado o medido.

Tensión máxima de un sistema: valor de tensión máxima en un punto de un sistema eléctrico, durante un tiempo, bajo condiciones de operación normal.

Tensión nominal: valor convencional de la tensión con el cual se designa un sistema, instalación o equipo y para el que ha sido previsto su funcionamiento y aislamiento. Para el caso de sistemas trifásicos, se considera como tal la tensión entre fases.

Tensión nominal soportable al impulso tipo rayo (U_w): valor de tensión asignado por el fabricante al equipo o a una parte de éste, que caracteriza la rigidez dieléctrica al impulso de su aislamiento contra sobretensiones.

Tensión residual: es el valor pico de la tensión que aparece entre los terminales de un DPS debido al paso de una corriente de descarga.

Tensión transferida: es un caso especial de tensión de contacto, donde un potencial es conducido hasta un punto remoto respecto a la subestación o a una puesta a tierra.

Terminal de captación o dispositivo de interceptación de rayos: elemento metálico cuya función es interceptar los rayos que podrían impactar directamente sobre la instalación a proteger. Comúnmente se le conoce como pararrayos.

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

Umbral: nivel de una señal o concentración de un contaminante, comúnmente aceptado como de no daño al ser humano.

Umbral de percepción: valor mínimo de corriente a partir de la cual es percibida por el 99,5 % de los seres humanos. Se estima en 1,1 miliamperios para los hombres en corriente alterna a 60 Hz.

Umbral de reacción: valor mínimo de corriente que causa contracción muscular involuntaria.

Umbral de soltar o corriente límite: es el valor máximo de corriente que permite la separación voluntaria de un 99,5% de las personas. Se considera como la máxima corriente segura y se estima en 10 mA para hombres, en corriente alterna.

Zona de protección contra rayos ZPR: zona donde está definido el ambiente electromagnético del rayo.

Introducción

La Institución Universitaria Pascual Bravo es una institución de educación superior de carácter público y de orden municipal, adscrita a la alcaldía de Medellín, comprometida con el mejoramiento de la calidad, la responsabilidad social, la interacción efectiva con el sector productivo y con estándares de formación integral elevados. Está localizada en el municipio de Medellín - Antioquia – Colombia, en la Calle 73 # 73ª - 226 sector Robledo Pilarica, cuenta con una infraestructura de 26 bloques en los cuales se desarrollan los procesos de cátedra, fundamentación educacional universitaria y procedimientos administrativos, con un consumo energético mensual aproximado de 85,800 KWh. Anexo 1.

La infraestructura física de la I.U. Pascual Bravo se ha transformado conforme con la evolución de las vocaciones formativas de la misma, lo que ha llevado a la construcción de nuevos espacios y edificios como lo es el bloque 6 académico, con una altura de 26 metros aproximadamente. Estas situaciones, generan incertidumbre en cuanto a los sistemas existentes de puesta a tierra y apantallamiento del bloque ya mencionado, lo cual genera amenazas por pérdidas económicas en infraestructura y equipos, además de pérdidas en vidas humanas, al momento de presentarse una falla eléctrica, debido a descargas eléctricas atmosféricas o sobretensiones en las redes del sistema eléctrico del campus universitario. Un aspecto importante que se puede notar en la I.U. Pascual Bravo en sus instalaciones eléctricas actuales, las cuales no cuentan con un sistema de puesta a tierra unificado que sirva para equipotencializar los diferentes sistemas eléctricos dentro del campus universitario.

En Colombia la norma es muy clara en su afán de promover prácticas de ingeniería eléctrica con calidad, como lo establecen en el RETIE–2013, las normas técnicas NTC 2050–2002, las normas técnicas NTC 4552–2008 partes 1, 2 y 3. Adicional las normas internacionales IEEE Std 80–2013 y la IEC 62305–2010 partes 1, 2, 3, 4; ya que con la adecuada interpretación e implementación de estas, se establecen los requisitos que garanticen los objetivos legítimos de protección contra descargas eléctricas atmosféricas (Rayos) y sistemas de Puesta a tierra.

La finalidad de este trabajo de grado es identificar el estado actual del sistema de puesta a tierra y apantallamiento del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, a su vez, realizar una propuesta de diseño del sistema de puesta a tierra y apantallamiento, basado en los criterios técnicos aplicados bajo la normatividad vigente. Con esta propuesta de diseño se pretende mejorar la adecuada funcionalidad del sistema y equipos, reducir los riesgos eléctricos del campus universitario y llevar un adecuado manejo en la gestión de activos de la Institución que demanden energía eléctrica.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

La Institución Universitaria Pascual Bravo es una institución de educación superior de carácter público y de orden municipal, adscrita a la alcaldía de Medellín, comprometida con el mejoramiento de la calidad, la responsabilidad social, la interacción efectiva con el sector productivo y con los mejores estándares de formación integral.

En la Institución universitaria se ofrecen programas profesionales en el campo del saber tecnológico, de nivel de formación técnica profesional, tecnológico, universitario y de especialización.

Desde sus orígenes, la Institución Universitaria ha estado comprometida con la formación para el trabajo, que inicialmente se consolidó en torno a una Escuela de Artes y Oficios, que evolucionó a un Instituto Tecnológico y finalmente, en 2007 mediante la Resolución 1237/2007, el Ministerio de Educación Nacional avaló como Institución Universitaria. (Pascual bravo, 2018)

La infraestructura física de la Institución se ha transformado conforme con la evolución de las vocaciones formativas de la misma, lo que ha llevado a la construcción de nuevos espacios y edificios que comienzan a tener una altura considerable y unas cargas eléctricas significativas lo que lleva a cambios en sus instalaciones eléctricas. Estas situaciones, generan incertidumbre en cuanto a los sistemas de seguridad y control de las instalaciones, lo cual, aumenta los riesgos eléctricos en el campus universitario.

Por otra parte, en la Institución no se evidenció la existencia de un registro histórico de los diseños eléctricos y de las modificaciones realizadas a estos, de los mantenimientos o las inspecciones hechas al sistema de puesta a tierra ni al sistema de apantallamiento. Estos registros son importantes para poder analizar, revisar y tomar decisiones respecto al estado y funcionamiento de las instalaciones existentes.

1.2 Formulación

¿El sistema de puesta a tierra y apantallamiento del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, está ajustado a los requerimientos establecidos por la normatividad vigente que le aplica?

La I.U. Pascual Bravo en el bloque 6, se enfrenta a diferentes riesgos como daños en infraestructura, equipos y lesiones a personas, porque se desconoce el estado actual de su sistema de puesta a tierra y apantallamiento ajustado a la normatividad vigente. Esta situación se presenta, principalmente porque:

- Se desconoce el nivel de actualización de planos del sistema de puestas a tierra y apantallamiento, lo que genera incertidumbre en los sistemas de protección al presentarse un evento de falla en el sistema.
- La institución ha presentado cambios en su conformación arquitectónica y se desconoce el grado de actualización respecto al estudio en los niveles de riesgo por descargas eléctricas atmosféricas, lo cual genera amenazas por pérdidas económicas, en infraestructura, equipos y vidas humanas, al momento de presentarse una situación de riesgo eléctrico.
- No se cuenta con los diseños y memorias de cálculo del sistema de puesta a tierra y apantallamiento del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, lo que conlleva a un mal manejo en la gestión de activos que demanden energía eléctrica, dentro del campus universitario.

2. Justificación

El diseño de sistema de puesta a tierra y apantallamiento del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, es necesario su implementación porque en la actualidad no cumple la normatividad vigente, parte fundamental de las instalaciones eléctricas del edificio, cuidado y protección de los seres vivos que se encuentran en el lugar, infraestructura y sistemas de distribución eléctrica. Este proyecto de grado explicara uno de los prototipos de diseño y cálculo de sistema de puesta a tierra y apantallamiento, bajo la normatividad vigente.

Es fundamental la existencia de un sistema de puesta a tierra y apantallamiento de características adecuadas y normalizadas, la cual garantice a las instalaciones eléctricas del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo y a las personas que interactúan en la edificación una seguridad apropiada, la cual les proporciona a los equipos eléctricos un funcionamiento adecuado.

La finalidad de este trabajo de grado es realizar un prototipo de diseño detallado con los criterios técnicos adecuados en sistemas de puesta a tierra y apantallamiento eléctrico, acatando el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, la norma técnica colombiana NTC 4552 – partes 1, 2, 3, y las recomendaciones de la norma internacional IEEE Std 80-2000, con el fin de facilitar los cálculos, mediciones, detalles de construcción, pruebas del sistema de puesta a tierra en una instalación y el adecuado mantenimiento

De estas condiciones, puede evidenciarse la importancia que es para la I.U. Pascual Bravo, el mantenimiento, medidas de protección, prevención y actualización a los sistemas de puesta a tierra y apantallamiento. Por lo tanto, los autores consideran éste, como un proyecto estratégico para la Institución y como un desarrollo que puede ser fuente de conocimiento para los programas de formación en ingeniería eléctrica y afines.

Con la aplicación de las normas vigentes de sistemas de puestas a tierra y apantallamiento, al problema que enfrenta la I.U. Pascual Bravo, se pueden establecer metodologías de prevención y cuidado referentes a los riesgos que contraen las descargas atmosféricas, eventos naturales contra

las infraestructuras, los seres vivos y todo tipo de actividades ambientales que sobrepasen los parámetros de soportabilidad de los mismos, por ende, el procedimiento que se desarrollara está elaborado como uno de los prototipos idóneos para ser implementado en las instalaciones del bloque 6 de la institución.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de puesta a tierra y apantallamiento para el bloque 6 dentro del campus de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

3.2 Objetivos específicos

- Elaborar los levantamientos técnicos necesarios para integrar los planos correspondientes a cada sistema del bloque 6 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.
- Evaluar el nivel de riesgo de protección contra descargas eléctricas atmosféricas (Rayos) para el bloque 6 de la Institución Universitaria Pascual Bravo, (SIPRA).
- Presentar una propuesta de diseño del sistema de puesta a tierra y apantallamiento ajustado a la normatividad para el bloque 6 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

4. Marco teórico

4.1 Normas técnicas

En el desarrollo del trabajo de grado se usaron los conceptos técnicos aplicados a sistemas de puesta a tierra y apantallamiento, para lo cual se consultaron las siguientes normas técnicas:

- Anexo general del RETIE resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes.
- Norma Técnica Colombiana NTC 2050-2002 Código Eléctrico Colombiano.
- Norma Técnica Colombiana NTC 4552-2008 Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos). Parte 1: Principios Generales.
- Norma Técnica Colombiana NTC 4552-2008 Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos). Parte 2: Manejo Del Riesgo.
- Norma Técnica Colombiana NTC 4552-2008 Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos). Parte 3: Daños Físicos a Estructuras y Amenazas a La Vida.
- IEEE Std 80-2000 Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- IEC 62305-2010 Protection against lightning – Part 1: General principles.
- IEC 62305:2010 Protection against lightning – Part 2: Risk management.
- IEC 62305-2010 Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard.
- IEC 62305:2010 Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures.
- Convenciones de dibujo y diagramación de planos.

4.2 Sistemas de puesta a tierra

Como lo establece (MINMINAS, 2013): “Toda instalación eléctrica que le aplique el RETIE, excepto donde se indique expresamente lo contrario, tiene que disponer de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), para evitar que personas en contacto con la misma, tanto en el interior como en el exterior, queden sometidas a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla.

Los objetivos de un sistema de puesta a tierra (SPT) son: La seguridad de las personas, la protección de las instalaciones y la compatibilidad electromagnética.”

Los sistemas de puesta a tierra son elementos muy importantes en las instalaciones eléctricas, porque además de permitir de forma segura la conducción hacia el suelo de cargas eléctricas originadas por rayos, anomalías del sistema o electricidad estática, poseen la capacidad de dispersión y disipación de fallas, sin la presencia en la superficie de potenciales peligrosos.

Las puestas a tierras disminuyen las tensiones de los objetos metálicos que se encuentran influenciados por inducciones eléctricas. Es el conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico puntual sin ningún tipo de interrupciones, que conecta los equipos eléctricos con una masa metálica y el terreno.

4.3 Las funciones de un sistema de puesta a tierra

A continuación se relaciona algunas de las funciones de los sistemas de puesta a tierra:

- “Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Servir de referencia común al sistema eléctrico.
- Conducir y disipar con suficiente capacidad las corrientes de falla, electrostática y de rayo.
- Transmitir señales de RF (radio – frecuencia) en onda media y larga.
- Realizar una conexión de baja resistencia con la tierra y con puntos de referencia de los equipos.” (MINMINAS, 2013)

Otras funciones de los sistemas de puestas a tierra como lo expresa (Ramírez, 2003):

- “Conducir a tierra todas las corrientes anormales que se originan como consecuencia en los gabinetes metálicos de los equipos eléctricos energizados.

- En estado estacionario, las puestas a tierra disminuyen las tensiones de elementos metálicos que se encuentran influenciados por inducciones de objetos energizados.
- Cuando se presentan las descargas atmosféricas, proporcionan un camino seguro para la corriente eléctrica del rayo.
- Proporcionar un medio para disipar la corriente eléctrica en la tierra bajo condiciones normales o de cortocircuito, sin exceder ningún límite operacional de los equipos o afectar adversamente la continuidad del servicio. Diseño de malla a tierra.
- Asegurar el buen funcionamiento de los equipos de protección de una red, lo cual garantizará el adecuado aislamiento de las porciones de dicha red que estén en falla.
- Minimizar la interferencia de los circuitos de transmisión y distribución sobre los sistemas de comunicaciones y control.
- Mantener ciertos puntos de una red a un nivel de potencial definido con referencia a la tierra.
- Evitar las descargas eléctricas estáticas en atmósferas explosivas.
- Proteger la red contra los efectos de las descargas atmosféricas.
- Permitir la utilización de la tierra como camino de retorno en la transmisión de energía en corriente continua.”

“Se debe tener presente que el criterio fundamental para garantizar la seguridad de los seres humanos, es la máxima energía eléctrica que pueden soportar, debida a las tensiones de paso, de contacto o transferidas y no el valor de resistencia de puesta a tierra tomado aisladamente. Sin embargo, un bajo valor de la resistencia de puesta a tierra es siempre deseable para disminuir la máxima elevación de potencial o GPR (Ground Potential Rise).” (MINMINAS, 2013)

4.3.1 Donde se requieren los sistemas de puesta a tierra

Como lo menciona (Casas, 2005): “en la práctica actual de ingeniería se requieren conexiones de puesta a tierra en:

- Aparatos eléctricos en fábricas y residencias, para más de 50 voltios.
- Sistemas de corriente directa.

- Centro de la estrella en generadores y transformadores.
- Pararrayos.
- Torres de líneas de transmisión y de comunicaciones.
- Sitio de cargue y descargue de combustibles.
- Maquinas que generan electricidad estática.
- Áreas de atención critica en hospitales.
- Herramientas eléctricas portátiles.
- Trabajos en líneas energizadas.
- Algunos sistemas de menos de 50 voltios.”

4.3.2 Donde no se requieren los sistemas de puesta a tierra

Como lo menciona (Casas, 2005): “en la práctica actual de ingeniería no se requieren conexiones de puesta a tierra en:

- Los equipos con doble aislamiento.
- Bancos de condensadores en media tensión.
- Sistemas de aislamiento de hospitales.
- Diseño de malla a tierra.
- Alimentación de celdas electrolíticas.
- Sistema de iluminación que trabaje a menos de 30 voltios.
- Sistemas de muy baja tensión.”

4.4 Sistema de protección contra descargas atmosféricas

Como lo establece (ICONTEC, 2008) en la NTC 4552-1: “las descargas eléctricas atmosféricas o rayos son un fenómeno natural que varía con el espacio y con el tiempo y no existen actualmente dispositivos tecnológicos ni métodos capaces de evitarlos, pero sí de prevenirlos. Los rayos que impactan en las estructuras, las acometidas de servicios domiciliarios (energía, acueducto, telecomunicaciones) o cerca del suelo, son peligrosos para las personas,

para los hogares, afectando su contenido e instalaciones por lo tanto debe ser considerada la aplicación de medidas de protección contra rayos.

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 atmosférica.”

4.4.1 Donde se requieren los sistemas contra descargas atmosféricas.

Como lo establece (ICONTEC, 2008) en la NTC 4552-1: “en la práctica actual de ingeniería se requieren conexiones de sistema de apantallamiento en:

- Casa de habitación
- Edificación rural
- Teatros, hotel, escuelas, almacén grande, área deportivas
- Banco, compañía de seguros, centros comerciales
- Hospital, clínica de reposo, prisión
- Industria
- Museos y sitios arqueológicos, iglesias
- Telecomunicaciones, centrales eléctricas
- Fábrica de juegos artificiales, trabajos con municiones
- Planta química, refinería, central nuclear, laboratorios bioquímicos y plantas”

Como lo describe (Torres, S., 2008): “el sistema de protección se divide en dos partes fundamentales: El sistema de protección externo (SPE) y el sistema de protección interno (SPI), como se muestra la Figura 1.

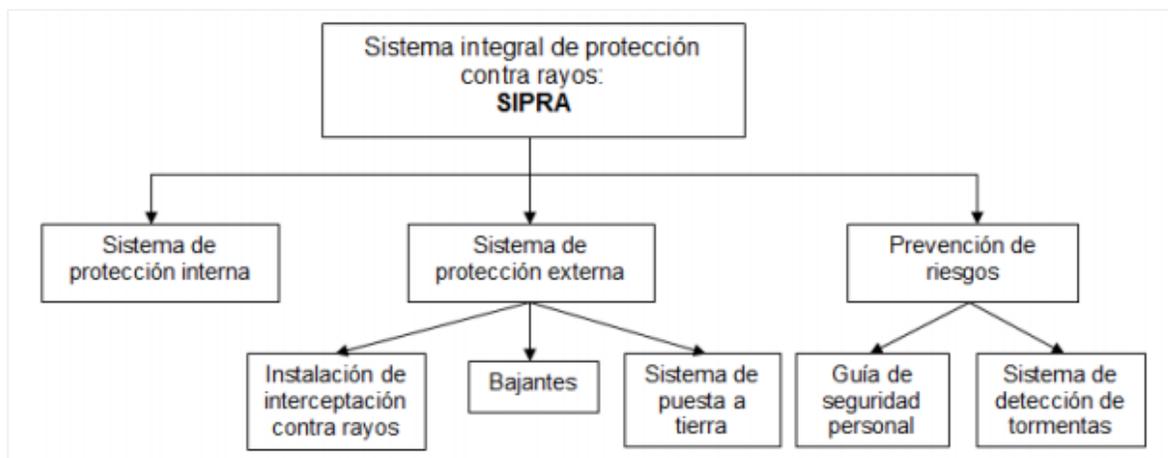


Figura 1. Sistema integral de protección contra rayos (SIPRA)

Fuente: extraído de (Torres, S., 2008)

4.4.2 Sistema de Protección Externo

Como lo describe (García., 2013): “es una Parte del SIPRA, que consta principalmente de los siguientes elementos:

- Sistema de puntas de captación (pararrayos tipo bayoneta).
- Sistema de conductores bajantes.
- Sistema de puesta a tierra.

Este tipo de dispositivos en o sobre el elemento a proteger cumplen con el objetivo de captar, conducir y dispersar las corrientes de un rayo cuando la estructura a proteger sea impactada por una descarga eléctrica atmosférica.

Los propósitos de construir un sistema de protección externo son:

- Interceptar una descarga atmosférica directa sobre la estructura.
- Conducir a corriente en forma segura hacia tierra.
- Dispersar la corriente de la descarga en la tierra”

4.4.3 Sistema de protección Interno.

“Es el conjunto de dispositivos que sirve para reducir las sobretensiones transitorias que se puedan presentar al interior de una estructura, además evita la ocurrencia de arco eléctrico peligroso generado por la diferencia de potencial que podrían presentarse en el interior de ésta a causa de la circulación de corriente de rayo en el sistema de protección externo.

Los propósitos de construir un sistema de protección interno son:

- Equipotencialización y apantallamiento del sistema.
- Cuidado del cableado interno, equipos, etc.
- Instalar DPS que lleven las descargas por un lugar seguro a tierra.” (García., 2013)

4.5 Datos históricos IDEAM de riesgo cerámico en Medellín

Como lo establece (ICONTEC, 2008): en la NTC 4552-1 “durante una tormenta eléctrica son evidentes los peligros a los que se exponen, no solo las edificaciones y los sistemas eléctricos y electrónicos, sino las personas. Es por ello que se deben conocer algunas recomendaciones para tener en cuenta durante una tormenta, evitando riesgos para las personas. El riesgo de ser alcanzado por un rayo es mayor entre las personas que trabajan, juegan, caminan o permanecen al aire libre durante una tormenta eléctrica.

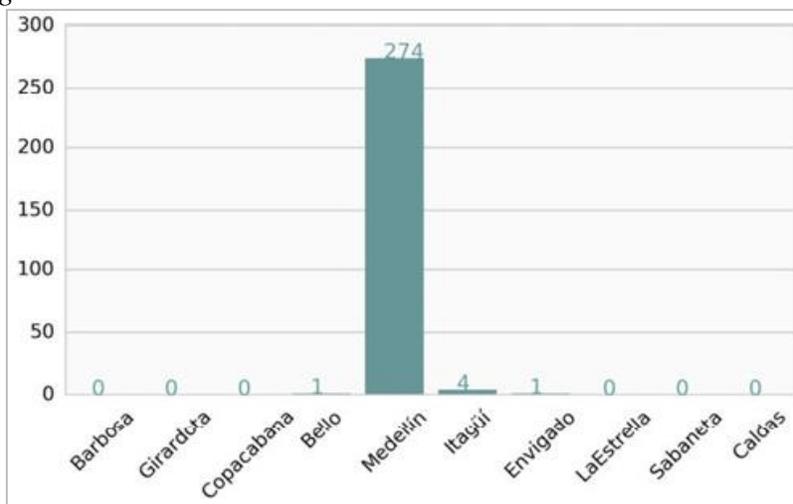
En la zona central colombiana (Cundinamarca, Antioquia, Boyacá, Caldas, Quindío, Risaralda, Valle del Cauca y los llanos) la actividad de rayos es más intensa durante los meses de abril, mayo, octubre y noviembre; en la zona caribe colombiana (Atlántico, Magdalena, Sucre, Córdoba, Guajira) durante los meses de julio y agosto y en la zona sur (Amazonas, Cauca y Putumayo) durante los meses de diciembre y enero”.

Como lo describen en (Solopaisas, 2018): “así lo confirman 30 años de estudios y mediciones realizadas en conjunto entre la NASA y el Programa de Adquisición de Señales y Análisis PAS de Bogotá, quienes encontraron que una de las zonas con mayor tendencia a presentar

precipitaciones en el país está ubicada en el Norte de Antioquia, en El Bagre y entre las metrópolis del mundo estaría Medellín.

El especialista en actividad Cerámica, Horacio Torres, indicó en una entrevista para Clima 24/7 que cada año se presentan entre 170 a 180 días con tormentas eléctricas en promedio en el Valle de Aburrá. Medellín ocuparía el lugar con mayor presencia de tormentas y descargas eléctricas o mayor actividad Cerámica, ver Tabla 1.

Tabla 1.
Número de descargas eléctricas Nube-Tierra



Fuente: extraído de (Solopaisas, 2018)

Nota: datos 2017-09-19 15:52:00 a 2017-09-19 16:02:00

Para hacer frente a estas condiciones, en los últimos años en Colombia se ha consolidado un desarrollo tecnológico capaz de crear aplicaciones que podrían advertir con sólo 20 minutos de antelación dónde se producirían las descargas eléctricas. Torres afirma que actualmente esta innovación, que consiste en la medición permanente de la actividad meteorológica provocada por los rayos o descargas eléctricas, se estaría implementando en las zonas más vulnerables y zonas petroleras del país”.

Como lo describen en (Siata, 2018): “las estaciones de monitoreo de campo eléctrico pueden detectar actividad de rayos en un radio entre 5 y 10 kilómetros a su alrededor, dependiendo de las condiciones en su punto de instalación. En total son tres estaciones las que están instaladas en

Medellín: una en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional, otra en el barrio La Ladera al oriente de la ciudad y finalmente una en el barrio Las Mercedes, al occidente.

Esta red nace gracias a la unión de esfuerzos entre el SIATA y la Universidad Nacional de Colombia, para adquirir datos relacionados con descargas eléctricas atmosféricas en tiempo real para compartirlos con la ciudadanía, con el objetivo de enriquecer el monitoreo de variables meteorológicas para la gestión del riesgo en la ciudad de Medellín.

De acuerdo con las investigaciones adelantadas por la Universidad Nacional, Medellín es una de las ciudades del mundo que más recibe descargas eléctricas. Es por esto que hace 5 años se inició el proceso de creación de las estaciones de medición de campo eléctrico ambiental, cuando un grupo de investigación de la Universidad Nacional realizó el estudio y elaboración de un prototipo de estas características.

Con esta tendencia, la protección y el "blindaje" de la ciudad frente a estas mismas descargas es adecuado, señala por su parte José Amado Aguilar, ingeniero del Cidet, coordinador técnico de inspección de instalaciones eléctricas.

Explica que en la ciudad tanto las construcciones nuevas, como aquellas de más edad están cumpliendo en su gran mayoría con las normas nacionales de protección contra rayos o descargas eléctricas atmosféricas. "Los constructores sí están haciendo énfasis en ese tipo de protecciones". Las estructuras, explica, deben contar con sistemas de apantallado basado en la norma técnica colombiana NTC 4552 y la norma internacional IEC 62305.

Estructuras como las puntas de Franklin- los llamados pararrayos, los drenajes y las mallas de puesta a tierra son los elementos básicos para la protección de la estructura y los equipos y personas que albergan.

Ante una tormenta eléctrica la recomendación básica es buscar resguardo seguro”

4.6 Evaluación del nivel de riesgo contra descargas eléctricas atmosféricas (Rayos)

Como lo establece (MINMINAS, 2013): en el RETIE en el “ARTÍCULO 16, sección 16.1 EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO FRENTE A RAYOS. La evaluación del nivel de riesgo por rayos, debe considerar la posibilidad de pérdidas de vidas humanas, pérdida del suministro de energía y otros servicios esenciales, pérdida o graves daños de bienes, pérdida cultural, así como los parámetros del rayo para la zona tropical, donde está ubicada Colombia y las medidas de protección que mitiguen el riesgo; por tanto, debe basarse en procedimientos establecidos en normas internacionales como la IEC 62305-2, o la norma técnica colombiana NTC 4552-2.”

El software de cálculo de evaluación del riesgo de caída de rayo en edificios o instalaciones, que se utilizara, está establecido bajo la norma técnica internacional IEC 62305 - Part 2: Risk management, el cual con los resultados obtenidos se podrá determinar en qué nivel y condiciones de riesgo se encuentra la edificación a intervenir.

“Se trata de una aplicación de utilización sencilla y altamente intuitiva que permite descargar de forma gratuita el software CD-Risk de cálculo de evaluación del riesgo de caída de rayo en edificios o instalaciones, según las normas UNE EN 62305 y UNE 21186; y con los valores obtenidos en los cálculos permiten determinar si hay que implementar un sistema de protección contra el rayo (SIPRA).” (Aplicaciones tecnológicas, 2018)

4.7 Equipo para medir la resistividad del terreno

El equipo a usar medirá la resistividad del terreno en los alrededores del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, ver Figura 2.



Figura 2. Earth-Insulation Tester MI-2088

Fuente: extraído de (Metrel, 2018)

Como lo describe (Metrel, 2018): “el Medidor de Aislación de Tierra es un instrumento altamente profesional, multifuncional y portátil. Este ha sido concebido para poder realizar mediciones de Resistencia de Tierra, Resistencia de Aislación, Continuidad en conductores de Protección, de acuerdo a la Norma EN 61557. Pudiendo realizar también otra cantidad de mediciones y ensayos.

El instrumento está equipado con los accesorios necesarios, para facilitar las mediciones. Está protegido en una valija liviana, con separadores de los accesorios. Las partes electrónicas del Instrumento están producidas con Tecnología SMD, las que prácticamente no demandan intervención de servicio. El diseño del display de LCD con iluminación posterior ofrece una lectura fácil, así como una amplia variedad de resultados parciales, parámetros y mensajes. Es fácilmente operable y claro, para su utilización no necesita tener preparación especial (excepto la lectura de este Manual).” Anexo 2.

4.8 Cálculos para determinar sistemas de puesta a tierra y apantallamientos

En los cálculo se describen las características técnicas del sistema de puesta a tierra SPT (dimensiones de la malla, calibre del conductor, resistividad del terreno, resistividad de la malla, tensión de paso, tensión de toque, tensión transferida) y se comprobó mediante la aplicación de

un software que los parámetros de diseño si cumplen con los requerimientos establecidos en la norma ANSI / IEEE Std. 80-2000.

En los cálculos se describen las características técnicas del apantallamiento o sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas (dimensión de la esfera rodante, calibre de los conductores bajantes, conductor del anillo superior y del anillo inferior) y se comprobó mediante la aplicación de un software que los parámetros de diseño si cumplen con los requerimientos establecidos en la norma técnica colombiana NTC 4552-2008 partes 1, 2 y 3

4.9 Software de diseño eléctrico

El software que se utilizó para el desarrollo del diseño es AutoCAD 2017 3D, el cual cuenta con los parámetros adecuados para la elaboración e identificación de cada uno de los elementos que componen el sistema de puesta a tierra y apantallamiento. Adicional se puede visualizar y modificar los planos arquitectónicos y eléctricos existentes del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo.

El diseño nos indica la forma específica de instalación, la longitud de los conductores en los anillos superior e inferior y los bajantes, la ubicación y forma de interconexión con las puntas de captación, las cajas de registro. Se usa la simbolización y características directamente establecidas por los entes reguladores y normatividad vigente, aplicada a los sistemas de puesta a tierra y apantallamiento.

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

El proyecto actual brinda una propuesta de solución al problema planteado. Por lo tanto, es un proyecto prototípico que entregará como producto, el diseño de un sistema de puesta a tierra y apantallamiento para el bloque 6 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

5.2 Método

El método con el cual se obtuvo la información se basa en la obtención de conclusiones a partir de la observación, visitas técnicas a campo, mediciones con equipos especiales, simulación, análisis de hechos y análisis de síntesis basadas en la normatividad vigente que exige para los sistemas de puesta a tierra y apantallamiento. Al finalizar se obtiene un Proyecto prototípico con los siguientes entregables:

- Levantamiento de planos existentes del sistema de puesta a tierra y apantallamiento del bloque 6 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.
- Evaluar el nivel de riesgo de protección contra descargas eléctricas atmosféricas (Rayos), para el bloque 6 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.
- Propuesta de diseño para sistema de puesta a tierra y apantallamiento ajustado a la normatividad vigente, del bloque 6 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

5.3 Población y muestra

El prototipo de diseño se desarrolló a partir del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, en razón que se ha detectado por la naturaleza de sus cargas y la altura de su estructura la vulnerabilidad ante las amenazas de descargas eléctricas atmosféricas (Rayos), lo cual indica un índice de probabilidad de exposición ante daños en la estructura, sistemas y/o circuitos eléctricos y pérdidas de vidas humanas. Con este diseño entonces, se minimizaría el riesgo ante descargas

atmosféricas en el bloque 6 del campus universitario, puesto que se espera lograr de este modo, el diseño adecuado de sistema de puesta a tierra y apantallamiento.

5.4 Instrumentos de recolección de información

5.4.1 Fuentes primarias.

En el desarrollo del trabajo de grado se usaron los conceptos técnicos aplicados a sistemas de puesta a tierra y apantallamiento, para lo cual se consultaron las siguientes normas técnicas:

- Anexo general del RETIE resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes.
- Norma Técnica Colombiana NTC 2050-2002 Código Eléctrico Colombiano.
- Norma Técnica Colombiana NTC 4552-2008 Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos). Parte 1: Principios Generales.
- Norma Técnica Colombiana NTC 4552-2008 Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos). Parte 2: Manejo Del Riesgo.
- Norma Técnica Colombiana NTC 4552-2008 Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos). Parte 3: Daños Físicos a Estructuras y Amenazas a La Vida.
- IEEE Std 80-2000 Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- IEC 62305-2010 Protection against lightning – Part 1: General principles.
- IEC 62305:2010 Protection against lightning – Part 2: Risk management.
- IEC 62305-2010 Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard.
- IEC 62305:2010 Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures.
- Convenciones de dibujo y diagramación de planos.

5.4.2 Fuentes secundarias

Los planos eléctricos requeridos para desarrollar un prototipo de diseño para el sistema puesta a tierra y apantallamiento son los siguientes:

- Plano arquitectónico con sus detalles, incluido la cubierta en último piso, del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo.
- Plano eléctrico con su debido diagrama unifilar y cuadro de cargas del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo.
- Informe de ingeniería con análisis y cálculos eléctricos de distribución general eléctrica, sistema de puesta a tierra y apantallamiento del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo.

6. Resultados

El presente trabajo de grado se desarrolló a partir de lo planteado en los objetivos específicos y, de esta manera, encontrándonos en el camino sin ningún tipo de información de los sistemas de puesta a tierra y apantallamiento del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, para lo cual fue necesario tener mayor disponibilidad y poder lograr el objetivo general para la propuesta de diseño de sistema de puesta a tierra y apantallamiento para el bloque 6 de la Institución Universitaria pascual bravo.

6.1 Recolección de la información

Para la recolección de la información existente del sistema de puesta a tierra y apantallamiento del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, se realizó la solicitud al departamento de planeación en la fecha 9 de febrero de 2018 y con radicado: R 2018001637, Anexo 3.

En respuesta a la solicitud la oficina de planeación relaciona los planos arquitectónicos de fachadas y cubierta, del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, en formato digital por medio de correo electrónico y adicional se firmó el acuerdo de confidencialidad la fecha 23 de febrero de 2018. Anexo 4.

6.2 Visitas en campo

En visita de campo realizada el 23 de febrero del 2018, al bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, se toma registro fotográfico al sistema de apantallamiento existente en dicho bloque. Anexo 5.

En visita de campo realizada el 4 de mayo de 2018, al bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, se toma registro fotográfico al sistema de apantallamiento existente en la cubierta del techo. Anexo 6.

6.3 Equipo de medida resistividad del terreno

El equipo que se utilizó para obtener los valores de las diferentes medidas de resistividad del terreno, es de marca METREL - Earth-Insulation Tester, con referencia MI-2088, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Earth-Insulation Tester MI-2088

Fuente: registro fotográfico propio

6.3.1 Método para medir la resistividad del terreno.

El método implementado para la medida de la resistividad del terreno es el método de Wenner.

El método de los cuatro puntos de Wenner es el método más preciso y popular. Son razones para esto que: el método obtiene la resistividad del suelo para capas profundas sin enterrar los electrodos a dichas profundidades; no es necesario un equipo pesado para realizar las medidas; los resultados no son afectados por la resistencia de los electrodos auxiliares o los huecos creados para hincarlos en el terreno.

El método consiste en enterrar pequeños electrodos tipo varilla, en cuatro huecos en el suelo, a una profundidad “b” y espaciados (en línea recta) una distancia “a”, ver Figura 4

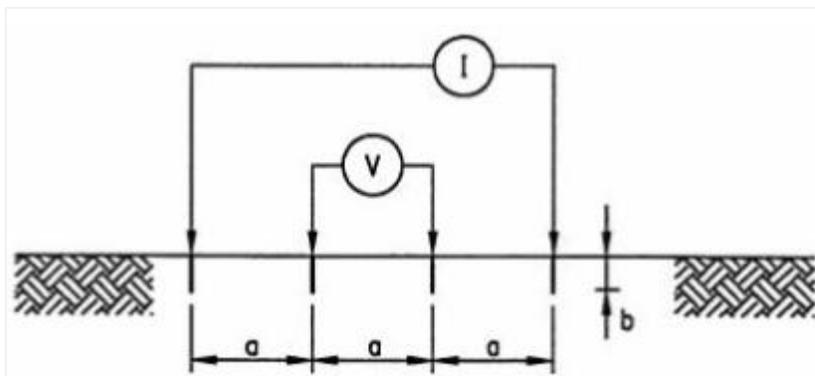


Figura 4. Método de medición

Fuente: extraído de (EPM, 2018)

Una corriente “I” se inyecta entre los dos electrodos externos y el potencial “V” entre los dos electrodos internos es medido por el instrumento. El instrumento mide la resistencia $R (=V/I)$ del volumen del suelo cilíndrico de radio “a” encerrado entre los electrodos internos. La resistividad aparente del suelo ρ_a , a la profundidad “a” es aproximada por la ecuación, ver Figura 5.

$$\rho = \frac{4\pi Ra}{\left(1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}\right)}$$

Figura 5. Resistividad aparente del suelo.

Fuente: extraído de (EPM, 2018)

Dado que en la práctica la distancia “a” es mucho mayor que la profundidad de enterramiento “b”, la ecuación se simplifica de la siguiente manera, ver Figura 6.

$$\rho = 2\pi Ra$$

Figura 6. Resistividad del suelo método simplificada

Fuente: extraído de (EPM, 2018)

Para determinar el cambio de la resistividad del suelo con la profundidad, el espaciamiento entre electrodos se varía desde unos pocos metros hasta un espaciamiento igual o mayor que la máxima dimensión esperada del sistema de puesta a tierra (por ejemplo, la mayor distancia

posible esperada entre 2 puntos de una malla, o la profundidad de las varillas). El espaciamento “a” del electrodo se interpreta como la profundidad aproximada a la cual se lee la resistividad del suelo. Para caracterizar la variación de la resistividad del suelo dentro de un área específica, se deben realizar varios grupos de medidas (perfiles) en diferentes direcciones. (EPM, 2018).

Anexo 7.

6.4 Medidas de resistividad del terreno

Las medidas de resistividad del terreno se realizaron en los alrededores del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo como se muestra en la Figura 5, tomando como punto de ubicación geográfica los siguientes ejes:

- Eje horizontal de oriente a occidente
- Eje vertical de sur a norte



Figura 7. Ubicación geográfica bloque 6

Fuente: extraído de (Pascual Bravo, 2018)

En el Anexo 8, se muestra registro fotográfico en campo en el momento que se realizaron las medidas de resistividad del terreno, aledaño al bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo.

6.4.1 Valores de medidas de resistividad del terreno eje horizontal.

Los valores obtenidos de las mediciones de la resistividad del terreno en el eje horizontal y con ubicación geográfica de oriente a occidente, se muestran en las Figuras 8, 9 y 10.



Figura 8. Valor registrado con distancia entre picas 1 metro
Fuente: registro fotográfico propio



Figura 9. Valor registrado con distancia entre picas 2 metros
Fuente: registro fotográfico propio



Figura 10. Valor registrado con distancia entre picas 3 metros
Fuente: registro fotográfico propio

6.4.2 Valores de medidas de resistividad del terreno eje vertical

Los valores obtenidos de las mediciones de la resistividad del terreno en el eje vertical y con ubicación geográfica de sur a norte, se muestran en las Figuras 11, 12 y 13.



Figura 11. Valor registrado con distancia entre picas 1 metro

Fuente: registro fotográfico propio



Figura 12. Valor registrado con distancia entre picas 2 metros

Fuente: registro fotográfico propio



Figura 13. Valor registrado con distancia entre picas 3 metros

Fuente: registro fotográfico propio

6.4.3 Resistividad promedio del terreno

Con los valores de las medidas realizadas sobre los 2 ejes, se obtiene el valor promedio de la resistividad del terreno; es importante saber que el equipo de medida viene configurado para dar los valores de resistividad en ohmios por metro [ρ ($\Omega \cdot m$)].

En la Tabla 2, se relaciona los valores obtenidos en las medidas de resistividad del terreno

Tabla 2.

Medidas de resistividad del terreno

REGISTROS DE LAS MEDIDAS

| Espaciamiento “ a” (m) | Perfil 1 ρ_1 ($\Omega \cdot m$) | Perfil 2 ρ_2 ($\Omega \cdot m$) | Resistividad promedio ρ ($\Omega \cdot m$) $\rho = (\rho_1 + \rho_2) / 2$ |
|---------------------------|---|---|--|
| 1 | 13,45 | 26,1 | 19,775 |
| 2 | 10,83 | 52,7 | 31,765 |
| 3 | 11,94 | 13,01 | 12,475 |

Fuente: diseño propio

En la Tabla 3, se relaciona el valor de resistividad promedio del terreno analizado y que se tomara como referencia para diferentes cálculos

Tabla 3.

Medida resistividad promedio del terreno

| Resistividad promedio ρ ($\Omega \cdot m$) |
|---|
| 64,015 |

Fuente: diseño propio

6.4.4 Nivel de cortocircuito en punto de conexión a la red

En la Tabla 4, se relaciona el nivel de cortocircuito en punto de conexión con nivel de tensión 2 (red con tensión de 13.2 kV); en el Anexo 9, se relaciona el documento de respuesta de EPM

Tabla 4.

Nivel de corto circuito en punto de conexión

| NIVEL DE CORTO CIRCUITO EN PUNTO DE CONEXIÓN | |
|--|---------|
| Circuito: | R31-06 |
| Nivel de tensión: | 13,2 KV |
| Corriente de falla trifásica simétrica: | 4,12 KA |
| Corriente de falla monofásica simétrica: | 2,85 KA |
| Corriente de falla trifásica asimétrica: | 6,97 KA |
| Corriente de falla monofásica asimétrica: | 4,79 KA |
| Relación X/R trifásica: | 1,75 |
| Relación X/R monofásica: | 1,69 |
| R1 total (Ohmios): | 0,9283 |
| X1 total (Ohmios): | 1,6219 |

Fuente: datos tomados de respuesta operador de red EPM a solicitud de punto de conexión

6.4.5 Desarrollo para cálculo de resistencia de la malla de puesta a tierra

Para el cálculo de la malla de puesta a tierra se parte de los conceptos técnicos de la norma IEEE Std 80-2000 Guide for Safety in AC Substation Grounding. Para calcular los diferentes datos necesarios se sigue la metodología implementada en “SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF” (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010), Anexo 10.

Como lo menciona (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010): “la sección de cálculos comienza con las corrientes de cortocircuito de una subestación, sigue con las medidas de la resistividad del terreno y el modelamiento del tipo de suelo. Se incluye después un método estadístico para encontrar la resistividad a usar en el diseño del sistema de puesta a tierra cuando el suelo se modela como uniforme.”

6.4.6 Selección del tamaño del conductor

Para el cálculo del tamaño del conductor se usa la ecuación de la Figura 14.

$$A_{MCM} = I_F \frac{197.4}{\sqrt{\left(\frac{TCAP}{t_C \cdot \alpha_r \cdot \rho_r}\right) * \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}}$$

Donde:

- I_F → Corriente asimétrica de falla RMS en KA, se usa la más elevada encontrada.
- A_{MCM} → Área del conductor en MCM^2 .
- T_m → Máxima temperatura disponible o temperatura de fusión en °C.
- T_a → Temperatura ambiente en °C.
- T_r → Temperatura de referencia para las constantes del material en °C.
- α_0 → Coeficiente térmico de resistividad a 0°C en 1/°C.
- α_r → Coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia T_r 1/°C.
- ρ_r → Resistividad del conductor de tierra a la temperatura de referencia T_r $\mu\Omega\text{-cm}$.
- K_0 → $1/\alpha_0$ o $[(1/\alpha_0) - T_r]$ en °C.
- T_C → Duración de la corriente en seg.
- TCAP → Capacidad térmica por unidad de volumen en $J / (cm^3 \cdot ^\circ C)$.

Figura 14. Ecuación para el cálculo exacto del conductor

Fuente: extraído de (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

También se puede calcular el tamaño del conductor de manera simplificada con la ecuación de la Figura 15.

$$A_{MCM} = I_F * K_f * \sqrt{t_C}$$

Figura 15. Ecuación cálculo del conductor método simplificado

Fuente: extraído de (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

Para las constantes de los materiales conductores usadas en el cálculo exacto y el simplificado, se tomaran los valores de la Tabla 5.

Tabla 5.

Constantes de los materiales conductores

| DESCRIPTION | Material conductivity (%) | α_r factor at 20°C (1/°C) | K_0 at 0°C (0°C) | Fusing temperature T_m | ρ_r 20°C ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) | TCAP thermal capacity [$\text{J}/(\text{cm}^3\cdot^\circ\text{C})$] | Kf |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------------|---|---|-------|
| Copper, annealed soft-drawn | 100 | 0,00393 | 234 | 1083 | 1,72 | 3,42 | 7 |
| Copper, commercial hard-drawn | 97 | 0,00381 | 242 | 1084 | 1,78 | 3,42 | 7,06 |
| Cooper-clad steel wire | 40 | 0,00378 | 245 | 1084 | 4,4 | 3,85 | 10,45 |
| Cooper-clad steel wire | 30 | 0,00378 | 245 | 1084 | 5,86 | 3,85 | 12,06 |
| Cooper-clad steel rod | 20 | 0,00378 | 245 | 1084 | 8,62 | 3,85 | 14,64 |
| Aluminum, EC grade | 61 | 0,00403 | 228 | 657 | 2,86 | 2,56 | 12,12 |
| Aluminum, 5005 alloy | 53,5 | 0,00353 | 263 | 652 | 3,22 | 2,6 | 12,41 |
| Aluminum, 6201 alloy | 52,5 | 0,00347 | 268 | 654 | 3,28 | 2,6 | 12,47 |
| Aluminum-clad steel wire | 20,3 | 0,0036 | 258 | 657 | 8,48 | 3,58 | 17,2 |
| Steel, 1020 | 10,8 | 0,00316 | 605 | 1510 | 15,9 | 3,28 | 15,95 |
| Stainless-clad steel rod | 9,8 | 0,0016 | 605 | 1400 | 17,5 | 4,44 | 14,72 |
| Zinc-coated steel rod | 8,6 | 0,0032 | 293 | 419 | 20,1 | 3,93 | 28,96 |
| Stainless steel, 304 | 2,4 | 0,0013 | 749 | 1400 | 72 | 4,03 | 30,05 |

Fuente: extraído de (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

En relación del valor calculado para el conductor, se determinara por la Tabla 6.

Tabla 6.
Dimensiones típicas de los conductores de tierra

| CALIBRE DEL CONDUCTOR | | AREA NOMINAL mm ² | DIAMETRO m |
|-----------------------|-----|---------------------------------|---------------|
| MCM | AWG | | |
| 350 | | 177,35 | 0,015 |
| 300 | | 152,01 | 0,0139 |
| 250 | | 126,68 | 0,0127 |
| 211,6 | 4/0 | 107,22 | 0,0117 |
| 167,8 | 3/0 | 85,03 | 0,0104 |
| 133,1 | 2/0 | 67,44 | 0,0093 |

Fuente: extraído de (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

Se acostumbra entonces emplear como calibre mínimo el N°2/0 AWG de cobre de 7hilos, con el fin de mejorar la rigidez mecánica de la malla y soportar la corrosión. (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

6.4.7 Criterio de tensiones de paso y de toque tolerables

Como lo describe (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010): “la seguridad de una persona depende de la prevención de cantidades críticas de energía de choque absorbidas por el cuerpo humano, antes de que la falla sea despejada y el sistema desenergizado. Los voltajes máximos tolerables por un cuerpo humano de 50 kg. de peso corporal, durante un circuito accidental no debe exceder los siguientes límites:

-Tensión de paso límite tolerable por un cuerpo de 50 kg. de peso corporal:

$$Ep_{50} = (1000 + 6C_s \rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

-Tensión de toque límite tolerable por un cuerpo de 50 kg. de peso corporal:

$$Et_{50} = (1000 + 1.5C_s \rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

$R_B = 1000\Omega$ → Resistencia promedio del cuerpo humano.

$I_B = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$ Corriente tolerable en función del tiempo por el cuerpo (A).

T_s → Duración del choque (s).

$6C_s \rho_s = 2R_f$ → Resistencia a tierra de los 2 pies separados 1m en serie sobre la capa superficial.

$1.5C_s \rho_s = R_f / 2$ → Resistencia a tierra de los 2 pies juntos en serie sobre la capa superficial.

$R_B = \rho/4b$ → Resistencia a tierra de un disco metálico de radio b (b = 0.08 m) .. sobre la superficie de una malla homogénea de resistividad ρ .

C_s → Factor de disminución de la capa superficial calculada con la ecuación

ρ_s → Resistividad del material de la capa superficial en Ω -m.

Figura 16. Criterio de tensiones de paso y de toque tolerables

Fuente: extraído de (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

Las tensiones de paso y de toque reales deben ser menores que los respectivos límites máximos permisibles (o tolerables) para obtener seguridad.”

6.4.8 Evaluación de la resistencia de la puesta a tierra (R_g)

Un buen sistema de puesta a tierra proporciona una resistencia baja a una tierra remota, con el fin de minimizar la elevación del potencial de tierra GPR, Figura 17.

$$GPR = I_g * R_g$$

Figura 17. Elevación del potencial de tierra (*GPR*)

Fuente: extraído de (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

Como lo menciona (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010): “la principal función de las puestas a tierra es garantizar la seguridad de las personas. Esta es una consideración muy importante durante el diseño y obliga a que se fije una resistencia objetivo. Por lo tanto, los valores recomendados en la Tabla 7, surgen de la experiencia, sin que necesariamente obedezcan a una norma específica.”

Tabla 7.

Valores máximos de resistencia de puesta a tierra

| UTILIZADA PARA | Valor máximo de resistencia de puesta a tierra Ω |
|---|---|
| Estructuras de líneas de transmisión | 20 |
| Subestaciones de alta y extra alta tensión $V \geq 115KV$ | 1 |
| Subestaciones de media tensión de uso exterior en poste | 10 |
| Subestaciones de media tensión de uso interior | 10 |
| Protección contra rayos | 4 |
| Neutro de acometida en baja tensión | 25 |
| Descargas electrostáticas | 25 |
| Equipos electrónicos sensibles | 5 |

Fuente: extraído de (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

Para efectos simplificados de cálculos de resistencia de puesta a tierra se usa la ecuación formulada por Sverak como se muestra en la Figura 18.

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

Donde:

L_T → Longitud total de conductores enterrados en m.

ρ → Resistividad del terreno Ω -m.

A → Área ocupada por la malla de tierra m^2 .

H → Profundidad de la malla en m.

Figura 18. Ecuación resistencia de puesta a tierra

Fuente: extraído de (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

6.4.9 Cálculo de la tensión máxima de la malla

El valor de la tensión real de la malla se obtiene mediante la expresión de la Figura 19

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_M}$$

Donde:

K_m → Valor geométrico de espaciamiento de la malla, calculado así:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd_c} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd_c} - \frac{h}{4d_c} \right) + \frac{K_{ii}}{k_h} \ln \left(\frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right]$$

Figura 19. Tensión máxima de la malla

Fuente: extraído de (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

“Para mallas con varillas de tierra a lo largo del perímetro, o para mallas con varias varillas de tierra en las esquinas, así como para ambas, $K_{ii} = 1$; donde K_{ii} es un factor de corrección que ajusta los efectos de los conductores sobre la esquina de la malla.

Kh es un factor de corrección que tiene en cuenta los efectos de la profundidad de la malla, Figura 20.

$$K_h = \sqrt{1 + h/h_0} \quad \text{con } h_0 = 1\text{m}$$

Figura 20. Factor de corrección

Fuente: extraído de (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2010)

n representa el número de conductores paralelos de una malla rectangular equivalente, Figura 21.

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} ; n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}} ; n_c = \left[\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{\frac{0.7A}{L_x \cdot L_y}} ; n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

Para mallas cuadradas: $n = n_a$ ya que $n_b = n_c = n_d = 1$

Para mallas rectangulares: $n = n_a \cdot n_b$ ya que $n_c = n_d = 1$

Para mallas en forma de L: $n = n_a \cdot n_b \cdot n_c$ ya que $n_d = 1$

Donde:

- L_c → Longitud total de los conductores de la malla horizontal en m.
- L_p → Longitud del perímetro de la malla en m.
- L_x → Longitud máxima de la malla en la dirección X, en m.
- L_y → Longitud máxima de la malla en la dirección Y, en m.
- D_m → Distancia máxima entre dos puntos cualesquiera de la malla, en m.

Figura 21. Número de conductores paralelos de una malla rectangular equivalente

Fuente: extraído de (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2010)

Para mallas con muchas varillas de tierra en las esquinas, así como a lo largo del perímetro, la longitud efectiva enterrada (LM), Figura 22.

$$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_X^2 + L_Y^2}} \right) \right] L_R$$

Donde:

$L_R = n_r L_r \rightarrow$ Longitud total de todas las varillas.
 $n_r \rightarrow$ Numero de varillas.
 $L_r \rightarrow$ Longitud de cada varilla.

Figura 22. Longitud efectiva enterrada (LM)
 Fuente: extraído de (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

6.4.10 Cálculo de la tensión real de paso E_p

“El valor de tensión real de paso se calcula mediante, Figura 23.

$$E_p = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_S \cdot K_i}{L_S}$$

Figura 23. Tensión real de paso
 Fuente: extraído de (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

Se asume que el EP máximo ocurre sobre una distancia de 1m hacia fuera del conductor perimetral en el ángulo que bisecta la esquina más extrema de la malla.

El valor de K_S , Figura 24.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

Figura 24. Cálculo valor de KS

Fuente: extraído de (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

Esta ecuación es válida para profundidades de enterramiento de $0.25\text{m} < h < 2.5\text{m}$.” (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

6.4.11 Calculo de la malla de puesta a tierra simulada en software

El siguiente software utilizado para hallar el valor de resistencia de malla a tierra, está estructurado bajo la norma IEEE Std 80-2000 Guide for Safety in AC Substation Grounding, el cual nos relaciona los siguientes mostrados en las siguientes Tablas 8, 9, 10 y 11.

Tabla 8.

Datos base para simular malla de puesta a tierra

| DATOS BASE PARA SIMULAR LA MALLA DE PUESTA A TIERRA | |
|---|---|
| Resistencia objetivo (Ω) menor a | 10 |
| Resistividad aparente del terreno ($\rho = \Omega\text{-m}$) | 95 |
| Corriente de falla monofásica a tierra en el primario $I_0(\text{A})$ | 4760 |
| Tiempo de despeje de la falla t_c (ms) | 500 |
| Material a utilizar en la puesta a tierra, con temperatura ambiente de 40°C | Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica |
| Capa superficial con Resistividad ($\Omega\text{.m}$) | 3005 |
| Espesor capa superficial (h_s) en cm | 10 |
| Conductor a utilizar de Área (mm^2) | 67,44 |
| Conductor a utilizar de calibre AWG | 2/0 |
| Conductor a utilizar de diámetro (m) | 0,0093 |
| Geometría de la malla cuadrada ($A = \text{largo} * \text{ancho}$) m^2 | 100 |
| Longitud Conductor Horizontal (m) | 60 |
| Longitud del perímetro (m) | 40 |
| Lado de Cuadrícula (cm) | 500 |
| Número de varillas (Und.) | 8 |

| | |
|---|-----|
| Longitud de varilla (cm) | 240 |
| Profundidad de enterramiento de la malla (cm) | 50 |

Fuente: diseño propio

Tabla 9.

Valor obtenido del cálculo de tensiones de paso y contacto máximas permitidas

CÁLCULO DE TENSIONES DE PASO Y
CONTACTO MÁXIMAS PERMITIDAS

(persona de 50 Kg)

| | |
|-----------------------------------|-------|
| Tensión de contacto tolerable (V) | 681 |
| Tensión de paso tolerable (V) | 2.232 |

Fuente: diseño propio

Tabla 10.

Valor obtenido del cálculo de resistencia de puesta a tierra

CÁLCULO DE RESISTENCIA DE PUESTA A
TIERRA

| | |
|---|------|
| Resistencia de Puesta a Tierra (Ω) | 5,06 |
|---|------|

Fuente: diseño propio

Tabla 11.

Valor obtenido del cálculo de tensiones en caso de falla

CÁLCULO DE TENSIONES EN CASO DE FALLA

| | |
|---------------------------------------|-------|
| Máximo potencial de tierra GPR (V) | 45761 |
| Tensión de malla en caso de falla (V) | 8710 |
| Tensión de paso en caso de falla (V) | 6220 |

Fuente: diseño propio

En las siguientes Figuras 25 y 26, se relacionan los resultados arrojados por el software de simulación:

| IEEE 80 - 2000 | | | | |
|---|---|--|-----------------------------------|-----------------------------|
| DATOS BASE PARA EL CÁLCULO DE LA MALLA DE PUESTA | | | | |
| Resistencia Objetivo menor a(Ω) | 10 | Subestaciones de media tensión en post ▾ | | |
| Resistividad aparente del terreno (ρ) | 95 | < ▢ > | | |
| Corriente de falla monofásica a tierra en el primario I_e (A) | 4.760 | < ▢ > | | |
| Tiempo de despeje de la falla t_c (ms) | 500 | < ▢ > | | |
| Material a utilizar en la puesta a tierra, con temperatura ambiente de 40°C | Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica Ver propiedades del material ▾ | | | |
| Marque la casilla de verificación si existe una capa superficial. <input checked="" type="checkbox"/> | Resistividad (Ω m) | ▲ ▢ ▼ | Espesor h_c (cm) | |
| | 3.005 | | 10 | |
| Conductor a utilizar en la malla de puesta a tierra | Area (mm^2) | Calibre | Diámetro (m) | |
| | 36,11 | 2/0 AWG | 0,0093 | |
| Geometría de la malla | <input checked="" type="radio"/> Cuadrada | Largo (m) | 10 < ▢ > | Conductor Horizontal (m) |
| | <input type="radio"/> Rectángular | Ancho (m) | 10 < ▢ > | 60 |
| | <input type="radio"/> En forma de L | L1 (m) | 0 < ▢ > | Longitud total varillas (m) |
| | <input type="radio"/> L | L2 (m) | 0 < ▢ > | 19 |
| | <input type="radio"/> L | Lado de Cuadrícula (cm) | 500 < ▢ > | Longitud del perímetro (m) |
| | <input checked="" type="checkbox"/> Marque la casilla si la PT tiene Varillas | Número de varillas | 8 < ▢ > | 40 |
| | | Longitud de varilla (cm) | 240 < ▢ > | |
| Profundidad de enterramiento de la malla (cm) | ▲ ▢ ▼ | 50 | Área de la malla (m^2) | |
| | | | 100 | |

Figura 25. Resultados de simulación en software IEEE 80 2000

Fuente: extraído de (Lozano, 2018)

| CÁLCULO DE TENSIONES DE PASO Y CONTACTO MÁXIMAS PERMITIDAS | | |
|---|--|------------------|
| Tensión de contacto tolerable | 681 | Persona de 50 kg |
| Tensión de paso tolerable | 2.233 | |
| CÁLCULO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA | | |
| Resistencia de Puesta a Tierra (Ω) | 5,06 | |
| CÁLCULO DE TENSIONES EN CASO DE FALLA | | |
| Maximo potencial de tierra GPR (V) | 45.761 | |
| Tensión de malla en caso de falla (V) | 8.710 | |
| Tensión de paso en caso de falla (V) | 6.220 | |
| El GPR es menor que la tensión de contacto tolerable? | <i>Verifique la tensión de malla!!!</i> | |
| La tensión de malla en caso de falla es menor que la tensión de contacto tolerable? | <i>Modifique su diseño!!!</i> | |
| La tensión de paso en caso de falla es menor que la tensión de paso tolerable? | <i>Modifique su diseño!!!</i> | |
| La resistencia obtenida es menor a la resistencia objetivo? | <i>OK!!! Su diseño ha sido exitoso</i> | |

Figura 26. Resultados de simulación en software IEEE 80 2000

Fuente: extraído de (Lozano, 2018)

6.5 Sistema integral de protección contra rayos (SIPRA)

En Colombia se desarrolla la norma técnica NTC 4552-2008 Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos). Partes 1, 2 y 3, las cuales establecen los parámetros técnicos al implementar un SIPRA, para garantizar una protección eficaz y minimizar los efectos directos e indirectos causados a seres vivos y a estructuras, por impactos de rayos.

Como lo establece (ICONTEC, 2008) en la NTC 4552 parte 1: “el sistema integral de protección contra rayos, denominado SIPRA, se puede considerar la más efectiva para proteger las estructura contra los daños físicos causado por las descargas eléctricas atmosféricas”

Existen varios efectos sobre una estructura, debido a una descarga atmosférica, los efectos directos son los causados por el impacto de la corriente de rayo en el sistema de captación y los

efectos indirectos como las tensiones inducidas en las instalaciones debidas a la alta corriente producida por el rayo.

Un sistema de protección contra rayos no es infalible, puede lograrse un alto nivel de seguridad si éste se diseña y se construye utilizando la combinación de varios elementos tales como:

- Sistema de protección externo (SPE).
- Sistema de protección interno (SPI).
- Sistema de prevención de riesgos.

En la Figura 27, se relaciona esquemáticamente el sistema integral de protección contra rayos (SIPRA).

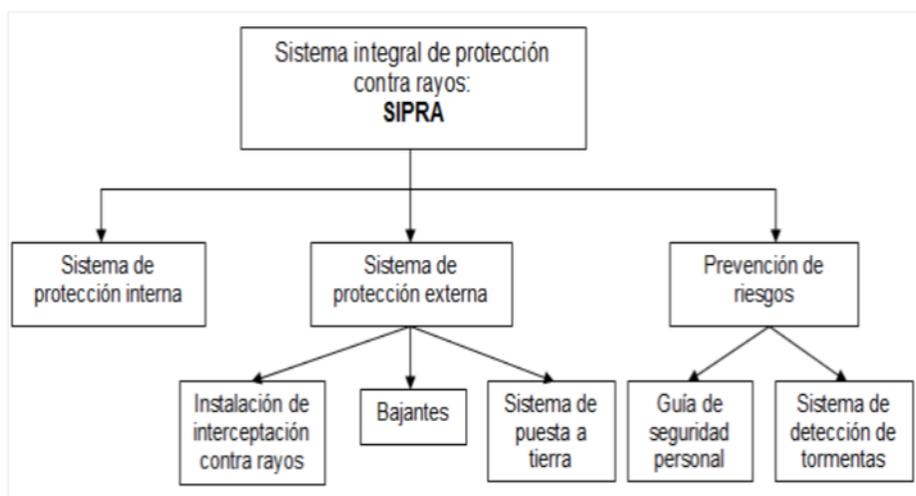


Figura 27. Sistema integral de protección contra rayos (SIPRA)

Fuente: extraído de (Torres, S., 2008)

6.5.1 Sistema de protección externo (SPE)

Como lo establece (ICONTEC, 2008) en la NTC 4552 Parte 3: “es una parte del SIPRA, que consta principalmente de los siguientes elementos:

- Sistema de puntas de captación (pararrayos tipo bayoneta).
- Sistema de conductores bajantes.
- Sistema de puesta a tierra.

La protección externa en una edificación tiene como objetivo interceptar los impactos directos de rayo que se dirijan a la estructura, incluyendo aquellos que impacten al costado de ésta, para conducir de manera segura la corriente de rayo desde el punto de impacto a tierra.

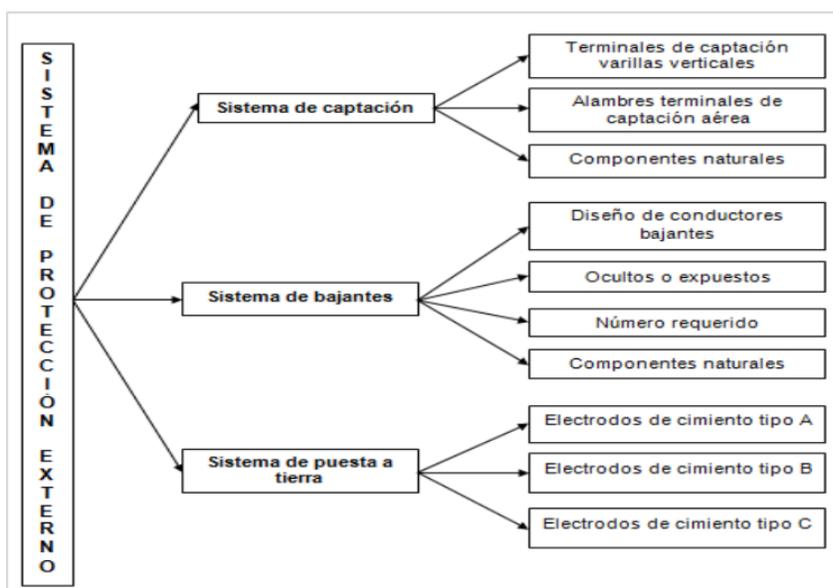


Figura 28. Sistema de protección externo (SPE)

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

6.5.2 Sistema de Captación

Como lo establece (ICONTEC, 2008) en la NTC 4552 Parte 3: “el sistema de captación como parte del sistema de protección externo es el encargado de interceptar los rayos que vayan a impactar directamente sobre la estructura para luego derivar la corriente de forma segura al subsuelo. Este sistema funciona como un circuito de poca resistencia permitiendo establecer el último segmento del camino de la descarga del rayo.

Los dispositivos de captación pueden resultar producto de la combinación de los siguientes elementos:

- Varillas tipo Franklin o bayonetas.
- Malla de conductores.

6.5.3 Sistemas de bajantes

Como lo establece (ICONTEC, 2008) en la NTC 4552 Parte 2: “el objeto de las bajantes es derivar la corriente del rayo que incide sobre la estructura e impacta en los terminales de captación. El cálculo de los bajantes refleja el compromiso de una protección técnicamente adecuada y económica, puesto que mediante el incremento del número de bajantes, se logra una reducción de la magnitud de la corriente que circula por cada bajante y su ruta de ascenso; así mismo se reduce la magnitud de las inducciones magnéticas en los lazos metálicos de la instalación y las diferencias de potencial a tierra.

Por razones eléctricas, mecánicas y térmicas los conductores de las bajantes del sistema equipotencial y derivaciones deben estar de acuerdo con la Tabla 12.

Tabla 12.

Requerimientos para las bajantes

| 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 |

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

Cada una de las bajantes debe terminar en un electrodo de puesta a tierra y deben estar separadas a una distancia mínima de 10 m, buscando siempre que se localicen en las partes externas de la edificación.”

Es necesario que los bajantes sean ubicados, de tal manera que a partir del punto de impacto del rayo hasta la tierra cumpla con los siguientes requerimientos:

- Existencia de varios caminos paralelos para la corriente.

- La longitud de los caminos de corriente debe ser mínima.
- Equipotencialización a partes conductoras de la estructura.
- Ubicación a una distancia considerable de circuitos internos y partes metálicas.

Se consideran dos tipos de sistemas de bajantes, uno es aquel que está aislado eléctricamente de la estructura y el otro es el que está unido directamente a la estructura.

Tabla 13.

Distancia de separación promedio para conductores bajantes

| NIVEL DE PROTECCIÓN | DISTANCIA TIPICA PROMEDIO [m] |
|----------------------------|--------------------------------------|
| NIVEL I | 10 |
| NIVEL II | 10 |
| NIVEL III | 15 |
| NIVEL IV | 20 |

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

6.5.4 Sistemas de puesta a tierra de protección contra rayos (SPT)

Como lo establece (ICONTEC, 2008) en la NTC 4552 Parte 2: “el SPT 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 la 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

Para el diseño de la puesta a tierra de protección contra rayos se debe tener en cuenta:

- La resistividad del suelo
- La acidez del suelo (pH)
- La estructura física del suelo (rocas, arenas, arcillas)
- La forma de interconexión con las otras puestas a tierra y los sistemas de protección contra corrosión.
- Los efectos adicionales en otros sistemas eléctricos y de comunicaciones.

Como lo establece (ICONTEC, 2008) en la NTC Parte 3: “un SPT comprende la unión de todos los equipos eléctricos, estructuras metálicas, tierra de subestaciones, etc. A una o varias puestas a tierra de resistencia óhmica baja, para establecer una condición equipotencial entre todos los equipos y estructuras, ofreciendo así un camino de baja impedancia a los rayos, la reducción del ruido en telecomunicaciones y un camino de retorno en circuitos eléctricos y electrónicos. Antes de conectar a tierra, los conductores y las superficies deben ser limpiados cuidadosamente de manera que se garantice la continuidad eléctrica.”

Un sistema de protección a tierra (SPT) comprende:

- La Red Equipotencial (RE).
- La puesta a tierra (PT).

6.5.5 Elementos que conforman el sistema de puesta a tierra

Los sistemas de puesta a tierra están conformados por los siguientes elementos:

- *Electrodos*: 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, pueden ser verticales, horizontales o se puede utilizar la cimentación de acero reforzado de la estructura, en este último caso se conocen como electrodos de puesta a tierra de cimentación.
- *Anillos*: electrodos a tierra que forman un lazo cerrado alrededor de la estructura, interconectan las bajantes para distribuir las corrientes de rayo entre ellos.
- *Enmallados*: interconexión de las puestas a tierra de varias estructuras.
- *Punto de puesta a tierra*: situado dentro de una cámara, que sirve de unión entre el anillo de enlace y las líneas principales de tierra.
- *Líneas principales de tierra*: conductores que unen el sistema de captación con los puntos de puesta a tierra. Es necesario conectar a los puntos de toma de tierra todas las tuberías metálicas de agua y gas, así como canalones y cubiertas metálicas que pudieran ser alcanzadas por un rayo.

6.6 Sistema de protección interno (SPI)

Como lo establece (ICONTEC, 2008) en la NTC 4552 Parte 3: “Es el conjunto de dispositivos que sirve para reducir las sobretensiones transitorias que se puedan presentar al interior de una estructura, además evita la ocurrencia de arco eléctrico peligroso generado por la diferencia de potencial que podrían presentarse en el interior de ésta a causa de la circulación de corriente de rayo en el sistema de protección externo”

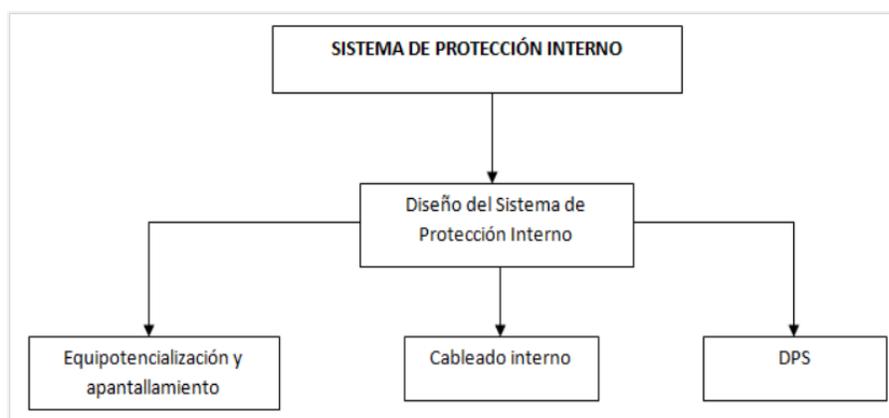


Figura 29. Sistema de protección interno (SPI)

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

6.6.1 Dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS)

Son dispositivos que limitan intencionalmente las sobretensiones transitorias y dispersan las sobrecorrientes transitorias buscando mitigar las interferencias electromagnéticas. Contiene por lo menos un componente no lineal. Su función es proteger contra sobretensiones los equipos eléctricos, electrónicos e instalaciones y establecer conexiones equipotenciales. (ICONTEC, 2008)

Como lo menciona (García., 2013): “para la selección de un dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS), es importante que la protección seleccionada cumpla con los siguientes requerimientos:

- *Supervivencia*: es vital que la protección escogida sea capaz de sobrevivir al caso transitorio más desfavorable esperado en su punto de instalación. Debido a que los rayos presentan múltiples eventos, la protección no debe fallar después del primer transitorio.
- *Control transitorio*: la protección debe ser capaz de controlar el transitorio a un nivel por encima del nivel de inmunidad del equipo a proteger.
- *Compatibilidad electromagnética*: la protección no deberá interferir con la operación normal del equipo a proteger. Los sistemas de comunicación e intrínsecamente los equipos de seguridad son particularmente susceptibles a este tipo de problemas.

De acuerdo con su aplicación los DPS pueden ser:

- Para sistemas de distribución de energía eléctrica en clases 1, 2 y 3 y rangos de tensión hasta 1000 Volts.
- Para protección de sistemas electrónicos en redes de telecomunicaciones y procesamiento de señales con tensiones nominales hasta 1000 Volts AC.
- Aislamiento para sistemas de tierra o para conexiones equipotenciales.”

En la Tabla 14, se relaciona el tipo, clase y descripción general de los DPS:

Tabla 14.

Clasificación de los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS)

| Tipo | Clase | Descripción |
|--|---------|---|
| Descargadores de corriente de rayo y descargadores combinados de sobretensión y corriente de rayo. | Clase 1 | Descargadores de corriente de rayo: Se utilizan para protección de instalaciones y equipos por interferencias debidas a impactos de rayo directos o cercanos a la instalación a proteger. Se prueban con corrientes de choque y pruebas de impulso de tensión. Descargadores combinados de sobretensión y corriente de rayo: Se utilizan para protección de instalaciones, equipos y dispositivos terminales por interferencias debidas a impactos de rayo directos o cercanos a la instalación a proteger. |
| Descargadores de sobretensión para tableros de distribución e instalaciones fijas | Clase 2 | Se utilizan para protección de instalaciones, equipos y dispositivos terminales por impactos de rayo distantes, sobretensiones por maniobra así como para descargas electrostáticas. Se prueban con corrientes de choque. |
| Descargadores de sobretensión para tomacorrientes y equipos | Clase 3 | Se utilizan para protección de instalaciones, equipos y dispositivos terminales por impactos de rayo distantes, sobretensiones por maniobra así como para descargas electrostáticas. Se prueban con corrientes de choque. |

Fuente: extraído de (García., 2013)

6.6.2 Sistemas y equipos a proteger mediante DPS

Cuando se evalúa una instalación para ser protegida con DPS es necesario considerar dos factores:

- *El nivel de emisión:* significa considerar las características del sistema de distribución de energía eléctrica incluyendo los tipos y niveles de sobretensión y sobrecorrientes.
- *El nivel de inmunidad:* implica las características del equipo que requiere protección.

Los tipos de sobretensiones o sobrecorrientes que pueden ocurrir dentro de una instalación de energía eléctrica se pueden clasificar en tres grupos:

- Por rayos
- Por maniobras
- Temporales

6.6.3 Sobretensiones por rayos

En la mayoría de los casos los esfuerzos por rayos son el principal factor para la selección de la clase o prueba de un DPS, asociados a los valores de tensión y corriente.

La evaluación de las formas de onda y amplitud de corriente y tensión es necesaria para una apropiada selección de un DPS. Es importante determinar si el nivel de protección (U_p) del DPS es adecuado para proteger el equipo en tales condiciones. Por ejemplo, áreas propensas frecuentemente a impactos de rayo pueden requerir un DPS adecuado para soportar pruebas clase 1 o clase 2.

Generalmente, los mayores esfuerzos ocurren en instalaciones externas a la estructura. Dentro de la estructura, los esfuerzos se atenúan cuando la onda viaja de la acometida al interior, debido al cambio de configuración e impedancias.

6.6.4 Niveles de protección contra rayos (NPR)

El uso del nivel de protección contra rayos para el diseño de medidas de protección contra descargas eléctricas atmosféricas va de acuerdo con el conjunto de parámetros de la corriente de rayo. Para cada NPR se genera un sistema fijo de parámetros máximos y mínimos de corriente de rayo.

Los valores máximos de los parámetros de corriente de rayo para diversos niveles de protección contra rayo (NPR) se muestran en la Tabla 15, y son usados para diseñar los componentes de la protección

Tabla 15.

Valores máximos de parámetros del rayo de acuerdo con el NPR

| Primera descarga corta | | | NPR | | | |
|----------------------------|-------------|------------------|--------|-------|-------|----|
| Parámetro | Símbolo | Unidad | I | II | III | IV |
| Corriente pico | I | KA | 200 | 150 | 100 | |
| Carga corta | Q_{corta} | C | 100 | 75 | 50 | |
| Energía específica | W/R | kJ/ Ω | 10 000 | 5 625 | 2 500 | |
| Descarga corta subsecuente | | | NPR | | | |
| Parámetro | Símbolo | Unidad | I | II | III | IV |
| Corriente pico | I | KA | 54 | 40,5 | 27 | |
| Pendiente Promedio | di/dt | kA/ μ s | 120 | 90 | 60 | |
| Parámetros de tiempo | T_1/T_2 | μ s/ μ s | 0,4/50 | | | |
| Descarga larga | | | NPR | | | |
| Parámetro | Símbolo | Unidad | I | II | III | IV |
| Carga larga | Q_{larga} | C | 100 | 75 | 50 | |
| Parámetro de tiempo | T_{larga} | s | 0,5 | | | |
| Rayo | | | NPR | | | |
| Parámetro | Símbolo | Unidad | I | II | III | IV |
| Carga | Q_{rayo} | C | 300 | 225 | 150 | |

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

Un sistema de protección contra rayos que cumpla con la norma técnica colombiana NTC 4552-2008 partes 1, 2 y 3, las cuales establecen como primer paso realizar un análisis de riesgo, definir un NPR (Nivel I, II, III, IV) siendo éste un número que además de relacionarse con un conjunto de valores de parámetros del rayo, se relaciona con la geometría de la estructura, el uso

final de la misma, el número de personas que transitan en ella y los diferentes tipos de pérdidas que se pueden presentar tales como:

- Pérdida de vidas humanas.
- Pérdida de servicios esenciales.
- Pérdidas económicas.
- Pérdidas culturales

Posterior al análisis general se define la viabilidad de la instalación de un SIPRA.

6.7 Método Electrogeométrico

Como lo establece (ICONTEC, 2008) en la NTC 4552 parte 3: “el método electrogeométrico, es un sistema analítico cuya finalidad es la de probar que tan efectivo resulta un apantallamiento, previniendo o evitando totalmente el impacto del rayo en un área o zona determinada, el método electrogeométrico provee varillas verticales y conductores horizontales a estructuras y líneas de transmisión, respectivamente. La principal hipótesis en que se basa el método es que la carga espacial contenida en el líder escalonado, previo a la descarga de retorno, está relacionada con la magnitud de la corriente de la descarga.

Este método fue desarrollado para diseño de apantallamientos en líneas de transmisión de energía eléctrica, sin embargo sus fundamentos tienen aplicación en cualquier tipo de estructura que se desee proteger contra rayos. En él se busca que los objetos a ser protegidos, por ejemplo una estructura como un edificio o una torre de comunicaciones, sean menos atractivos a los rayos que los elementos de protección externa, como es el caso de las varillas tipo Franklin.

Los métodos desarrollados a partir del MEG que permiten implementar de forma independiente o combinada cada uno de los sistemas de captación son:

- Método de la esfera rodante (MER).
- Método del ángulo de protección (MAP).

- Método del enmallado (ME).”

6.7.1 Método de la esfera rodante (MER)

El método de la esfera rodante se utiliza para establecer el área de protección de las puntas Faraday. Este consiste en rodar una esfera imaginaria sobre tierra, alrededor y encima de la instalación a proteger o cualquier otro objeto en contacto con la tierra, capaz de actuar como un punto de intercepción de la corriente de rayo. La esfera imaginaria debe rodarse desde el nivel de la tierra hacia la estructura a proteger e instalar una terminal aérea en el punto de contacto con la estructura. Figura 30.

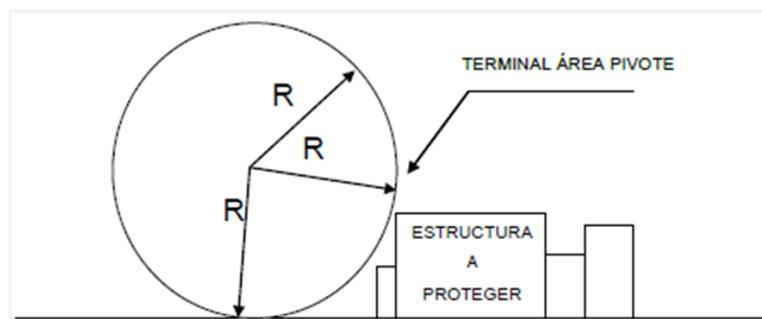


Figura 30. Método de la esfera rodante (MER)

Fuente: extraído de (IEC, 2010)

Esta primera terminal se conoce como pivote, cuya altura debe ser suficiente para que la esfera no toque la estructura cuando esta se apoye sobre tierra y sobre la punta de la terminal aérea pivote. Una vez especificado el primer punto de sacrificio para la corriente de rayo, debe rodarse la esfera por encima de la terminal aérea y hacia el techo de la estructura e instalarse una terminal aérea de intercepción en todos aquellos puntos donde la esfera imaginaria toque la estructura o edificio a proteger. Este proceso debe mantenerse hasta cubrir la totalidad del edificio o estructura a proteger. Figura 31.

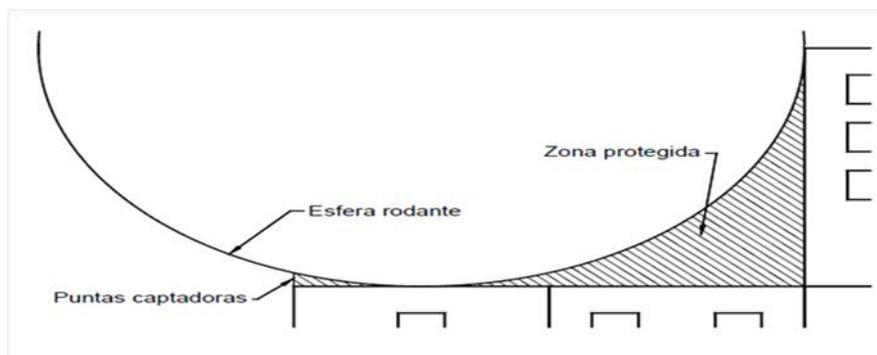


Figura 31. Método de la esfera rodante (MER)

Fuente: extraído de (IEC, 2010)

Dependiendo del nivel de protección de acuerdo a la NTC 4552 – 3, el valor del radio de la esfera rodante está dado en la Tabla 16.

Tabla 16.

Valores máximos del radio de la esfera rodante según el nivel de protección

| Nivel de protección | Radio de la esfera (r_{sc}) |
|---------------------|---------------------------------|
| | [m] |
| Nivel I | 35 |
| Nivel II | 40 |
| Nivel III | 50 |
| Nivel IV | 55 |

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

6.7.2 Planeación de un SIPRA

En el diseño detallado de un sistema de protección contra el rayo (SIPRA), se debe considerar información básica de la estructura a ser evaluada, con respecto a la función de uso, el diseño arquitectónico en general, el tipo de construcción y su localización geográfica.

En caso de que el SIPRA no sea instalado en la estructura a proteger, es necesario que el diseño se realice siguiendo los procedimientos para valoración de riesgos dados en la Norma Técnica Colombiana NTC 4552-2008 Parte 2: Manejo del riesgo.

6.7.3 Daños debidos a rayos en las 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 atmosférica.

6.7.4 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 relativo 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.

6.7.5 Daños debido a rayos en acometidas

El rayo que afecta una acometida puede causar daño físico a esta -línea o tubería- según sea usada para proporcionar algún servicio (energía, telecomunicaciones, acueducto), así como al equipo eléctrico y electrónico conectado a ésta.

6.7.6 Fuentes y tipos de daño en una acometida

La corriente de rayo es la fuente del daño. Las siguientes situaciones deben ser consideradas dependiendo de la posición del punto de impacto relativo a la acometida considerada:

- S1 Rayos a la estructura suplida por la acometida considerada
- S3 Rayos a la acometida entrante a la estructura

- S4 Rayos cerca de la acometida entrante a la estructura

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

- D2 Daños físicos (fuego, explosión, destrucciones mecánicas, escape químico) causados por efectos térmicos de la corriente del rayo.
- D3 Falla de sistemas eléctricos y electrónicos causados por sobretensiones.

6.7.7 Tipos de pérdidas

Cada tipo de daño, solo o conjuntamente con otros, pueden producir diferentes consecuencias perjudiciales en el objeto a proteger. El tipo de pérdida que puede aparecer depende de las características del objeto mismo.

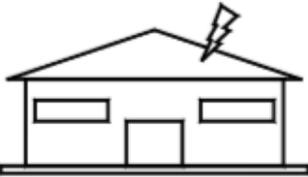
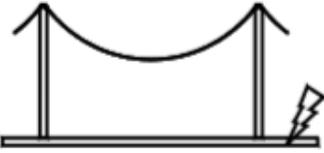
Para propósitos de esta norma son considerados los siguientes tipos de pérdidas:

- L1 Pérdida de vidas humanas
- L2 Pérdida de servicios públicos
- L3 Pérdida de bienes culturales
- L4 Pérdidas económicas

La relación entre la fuente de daño, el tipo de daño y la pérdida para las estructuras y para las acometidas se presenta en la Tabla 17 y Tabla 18 respectivamente.

Tabla 17.

Daños y pérdidas en estructura de acuerdo con diferentes puntos de impacto

| Punto de Impacto | | Fuente de Daño | Tipo de Daño | Tipo de Pérdida |
|--|---|----------------|----------------|---|
| Estructura |  | S1 | D1 D2 D3 | L1, L4 ⁽²⁾ L1, L2, L3, L4 L1, L2, L4 |
| Cerca de la estructura |  | S2 | D2**, D3 | L1 ⁽¹⁾ , L2, L4 |
| Acometida de servicio entrando a la estructura |  | S3 | D1 D2 D3 | L1, L4 ⁽²⁾ L1, L2, L3, L4 L1 ⁽¹⁾ , L2, L4 |
| Cerca de la acometida de servicio |  | S4 | D3 | L1 ⁽¹⁾ , L2, L4 |

(1) Solo para estructuras con riesgo de explosión, hospitales u otra estructura en donde las fallas del sistema interno ponga en peligro la vida humana.

(2) Solo para propiedades donde exista pérdida de animales.

** En el caso de estructuras con riesgo de explosión.

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

Tabla 18.

Daños y pérdidas en la acometida de servicio de acuerdo con diferentes puntos de impacto de rayo

| Punto de impacto | Fuente de daño | Tipo de daño | Tipo de pérdida |
|----------------------------------|----------------|--------------|-----------------|
| Acometida de Servicio | S3 | D2, D3 | L1, L2, L4 |
| Cerca a la acometida de servicio | S4 | D3 | L2, L4 |
| Estructura suplida | S1 | D2, D3 | L1, L2, L4 |

* En el caso de tuberías con empaques o bridas no metálicos transportando fluidos explosivos

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

6.7.8 Necesidad de la protección contra rayo

En función de reducir pérdidas de valores sociales L1, L2, y L3 será evaluada la necesidad de proteger un objeto contra rayo. Para evaluar si una u otra protección contra rayo es necesaria, se realiza una evaluación del riesgo de acuerdo con los procedimientos contenidos en la NTC 4552-2.

Los siguientes riesgos deben considerarse, correspondientemente a los tipos de pérdida descritos en el numeral 6.7.7:

- R1 riesgo de pérdida de vidas humanas.
- R2 riesgo de pérdida de servicios públicos domiciliarios.
- R3 riesgo de pérdida del patrimonio cultural.

La protección contra rayo es necesaria si el riesgo R (R1 a R3) es más alto que el nivel tolerable RT

Los tipos de pérdida que resultan de tipos de daño y la relación con el riesgo se muestran en la Figura 32.

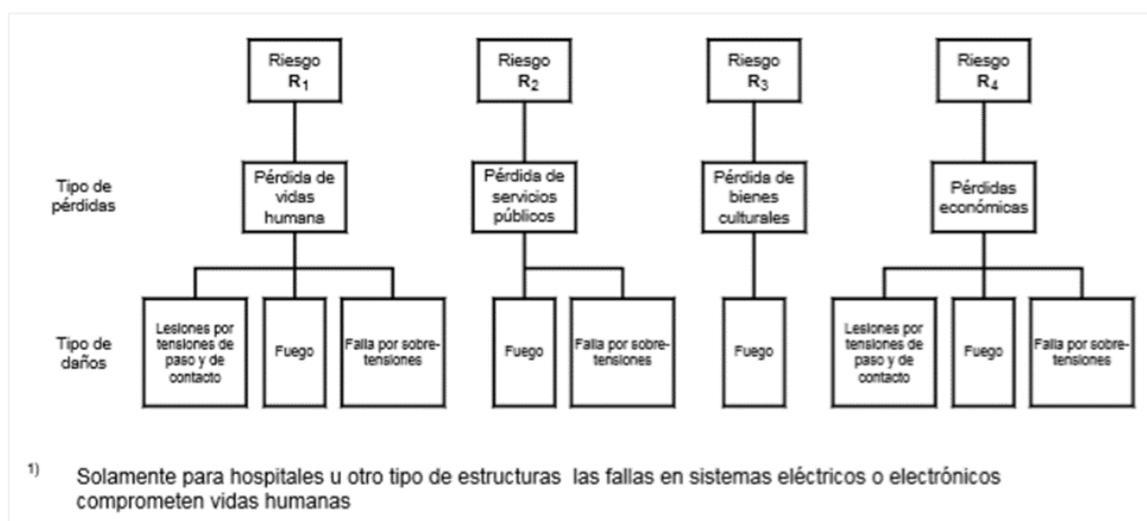


Figura 32. Tipo de pérdidas como resultado de diferentes tipos de daño
Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

6.7.9 Conveniencias económicas de la protección contra rayo

Además de necesitar la protección contra rayo para que el objeto sea protegido, puede ser útil evaluar las ventajas económicas al proporcionar medidas de protección para reducir pérdidas económicas del Tipo L4.

En este caso el riesgo de pérdida de valores económicos R_4 debe ser determinado. La evaluación del riesgo R_4 permite calcular el costo de la pérdida económica con y sin medidas de protección.

La protección contra rayos es conveniente si la suma del costo de pérdida residual en la presencia de medidas de protección C_{RL} y del costo de medidas de protección C_{PM} es más baja que el costo de pérdida total sin medidas de la protección C_L

$$C_{RL} + C_{PM} < C_L$$

6.7.10 Medidas de protección

Las medidas de protección se pueden adoptar para reducir el riesgo según el tipo de daño.

6.7.11 Medidas de protección para reducir lesiones en seres vivos causadas por tensiones de paso y contacto.

Las posibles medidas de protección son:

- Adecuado aislamiento de piezas conductoras expuestas.
- Equipotencialización por medio de un sistema de puesta a tierra.
- Restricciones físicas y avisos de prevención.

6.7.12 Medidas de protección para reducir daños físicos

Las posibles medidas de protección para estructuras son:

- El Sistema integral de protección contra rayos (SIPRA)

Las posibles medidas de protección para acometidas son:

- Conductor blindado

6.7.13 Medidas de protección para reducir fallas en sistemas eléctricos y electrónicos

Para estructuras

El sistema de protección contra IER (SPIER) es un conjunto de las siguientes medidas que pueden ser usadas solas o en combinación:

- Dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) en el punto de entrada de las líneas que incorporan la estructura y en las instalaciones internas.
- Protectores magnéticos en la estructura y/o en las instalaciones de la estructura y/o en las líneas que incorporan la estructura.
- Establecer rutas adecuadas del cableado interno en la estructura.
- Conexión a tierra y unión de conductores.

Para acometidas

- Dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) a lo largo de la acometida y en la terminación de línea.
- Apantallamientos magnéticos de cables.

6.7.14 Selección de medidas de protección

La selección de medidas de protección más convenientes será hecha por el diseñador y el propietario de la estructura según la cantidad y el tipo de cada clase de daño, y según los aspectos técnicos y económicos de las diversas medidas de protección.

Los criterios para la evaluación del riesgo y para la selección de las medidas más convenientes de protección se describen en la NTC 4552-2.

Las medidas de protección son eficaces bajo la condición de que se efectúen con los requisitos de normas apropiadas y acorde a las reglamentaciones vigentes, además de que puedan soportar el esfuerzo disruptivo esperado en el lugar de su instalación.

6.7.15 Zonas de protección contra rayo (ZPR)

Las zonas de protección contra rayos ZPR son un concepto tomado de la teoría de compatibilidad electromagnética.

Las protecciones aguas abajo de la ZPR se caracterizan por una reducción significativa del IER, que pueda existir aguas arriba de la ZPR.

Con respecto a la protección contra el rayo se definen las siguientes ZPR (Figura 33 y Figura 34):

- ZPR 0_A Expuesto a impactos directos del rayo. La Corriente y el campo magnético del rayo no son amortiguados.
- ZPR 0_B Protegido contra impactos directos de rayo. La corriente parcial o inducida del rayo y el campo magnético no son amortiguados.
- ZPR 1 Protegido contra impactos directos del rayo. La corriente parcial o inducida del rayo y el campo magnético son amortiguados.
- ZPR 2_n Como la ZPR 1 pero el campo magnético es más amortiguado.

6.7.16 Protección de estructuras

Protección para reducir daños físicos y riesgos de perder la vida

La estructura protegida estará dentro de un ZPR 0_B o mayor. Esto se alcanza por medio de un sistema integral de protección contra rayo (SIPRA).

Los SIPRA consisten en sistemas externos e internos de protección contra rayo y, adicionalmente, medidas de seguridad y protección personal contra rayo (Véase la Figura 33).

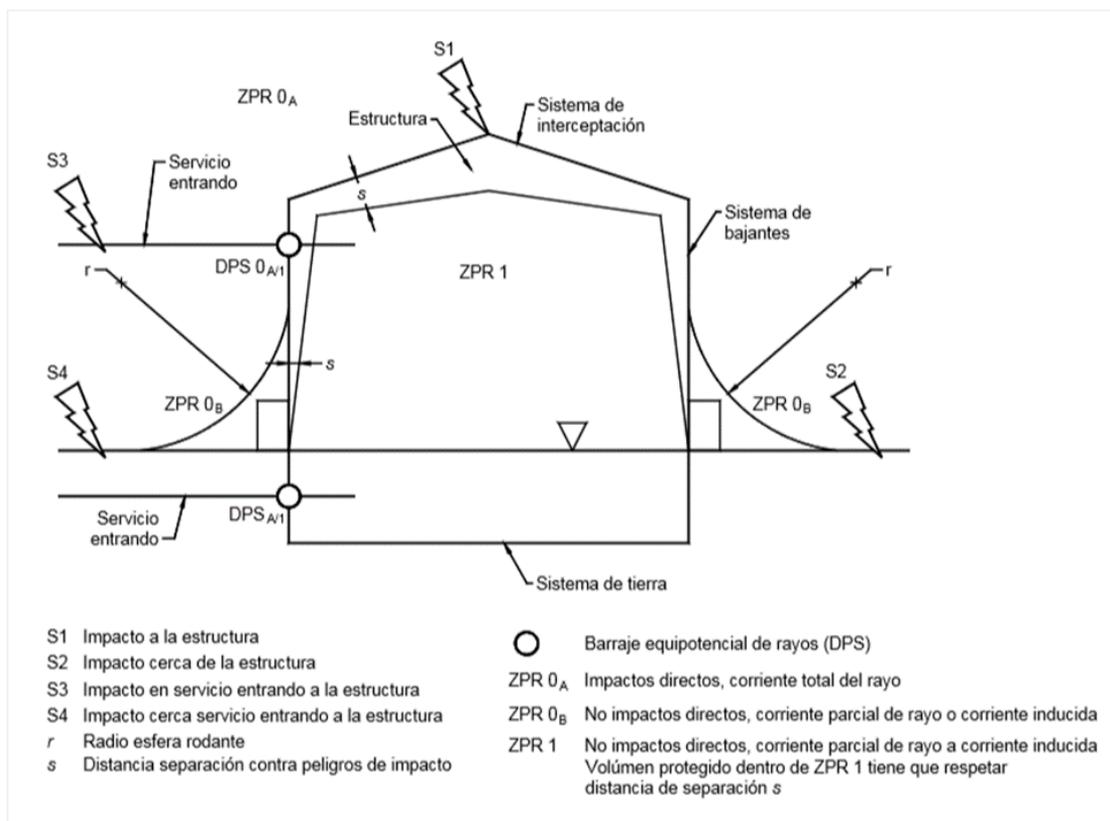


Figura 33. Zonas de protección contra rayos ZPR definidas para un SIPRA (NTC 4552-3)

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

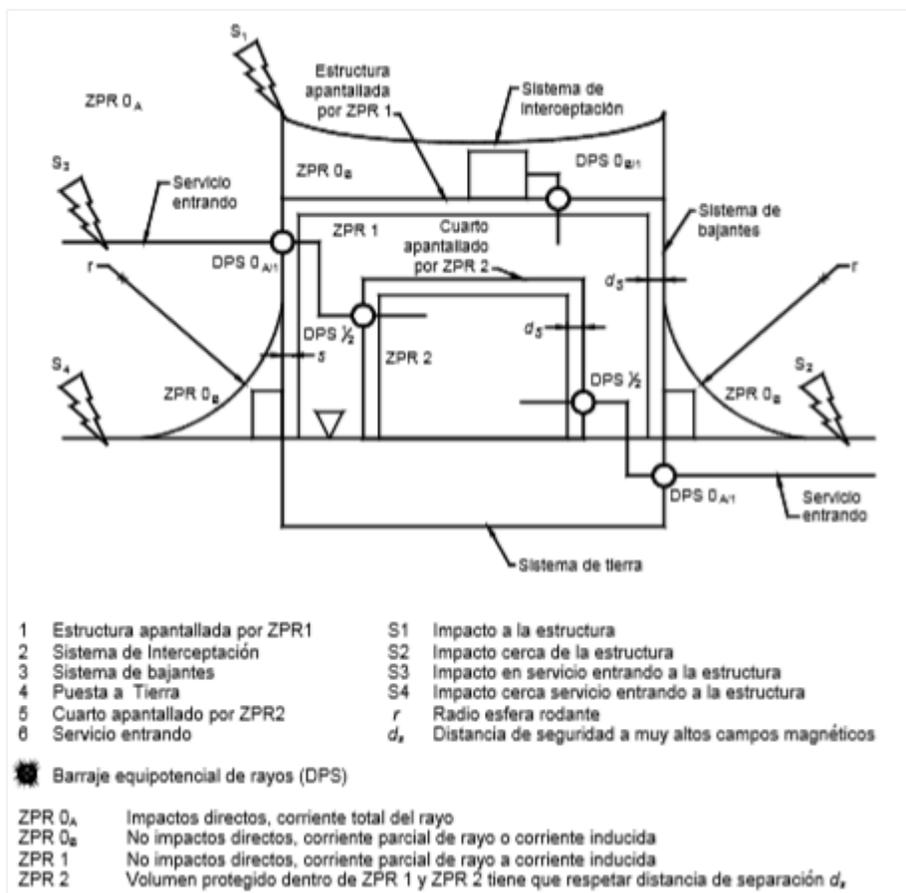


Figura 34. Zonas de protección contra rayos ZPR definidas para medidas de protección contra IER

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

6.8 Diseño de sistema de apantallamiento

El diseño del sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas, para el bloque 6 de la I.U. pascual bravo, consta de los siguientes pasos:

- Evaluación nivel de riesgo para la estructura.
- Diseño del sistema de captación.
- Diseño del sistema de bajantes.
- Diseño del sistema de puesta a tierra.

6.8.1 Evaluación nivel de riesgo y de protección contra descargas atmosféricas

Para la evaluación del nivel de riesgo se tomó como base el siguiente diagrama de flujo (Véase Figura 35), el cual evalúa el nivel de riesgo y establece las acciones de protección.

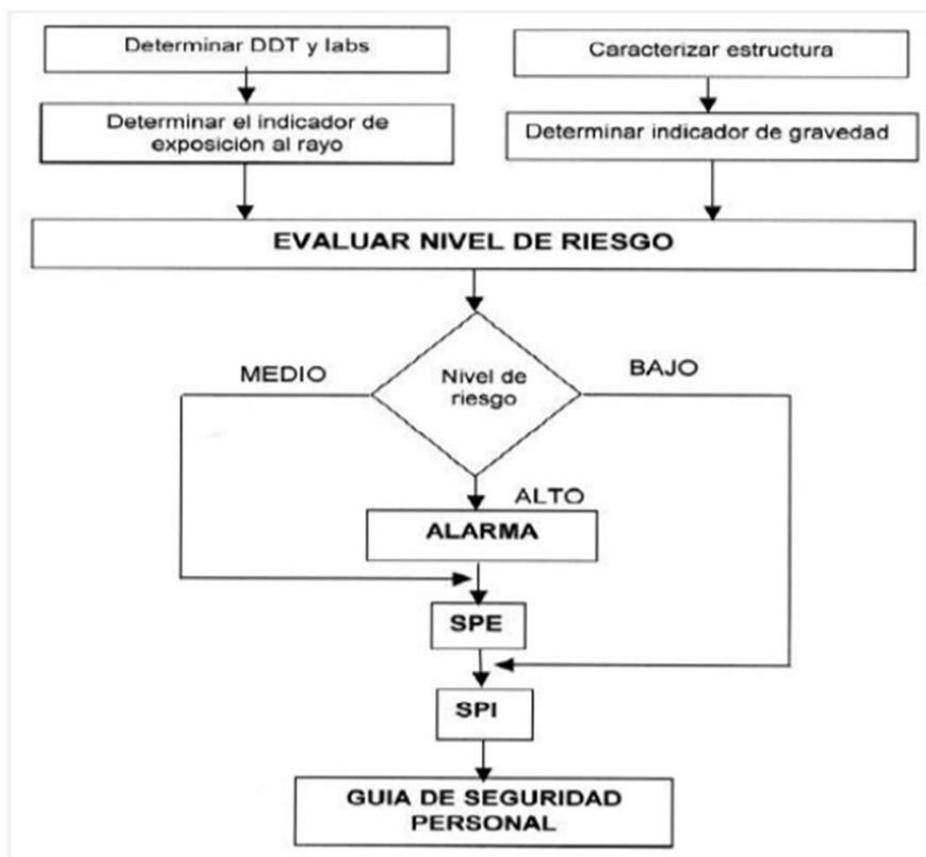


Figura 35. Diagrama de flujo Evaluación del Riesgo

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

Se determina la densidad de descarga a tierra (DDT), con base en la norma técnica colombiana NTC 4552 – 1, que nos indica la DDT para la ciudad de Medellín, Tabla 19.

Tabla 19.

Densidad de descargas a tierra para algunas ciudades de Colombia

| 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 | -74,0 | 10 |
| Magangué | 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 | 7,0 | -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 | 5,0 | -75,5 | 2 |
| Medellín | 6,1 | -75,4 | 1 |
| Neiva | 3,0 | -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 | 7,0 | -74,7 | 12 |
| Villavicencio | 4,2 | -73,5 | 1 |
| Bagre | 7,8 | -75,2 | 12 |
| Samaná | 5,4 | -74,8 | 9 |

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

“Los valores máximos de los parámetros de corriente de rayo del nivel I (NPR) se reduce a 75% para el nivel II, y al 50% para los niveles III y IV. Los parámetros del tiempo no cambian” (ICONTEC, 2008)

Para hallar la I_{abs} nos referimos a la Figura 36, tomada de la norma técnica colombiana NTC 4552 – 1, donde observamos que para el nivel VI la corriente se reduce al 50% lo cual indica que la corriente I_{abs} es: 40 KA.

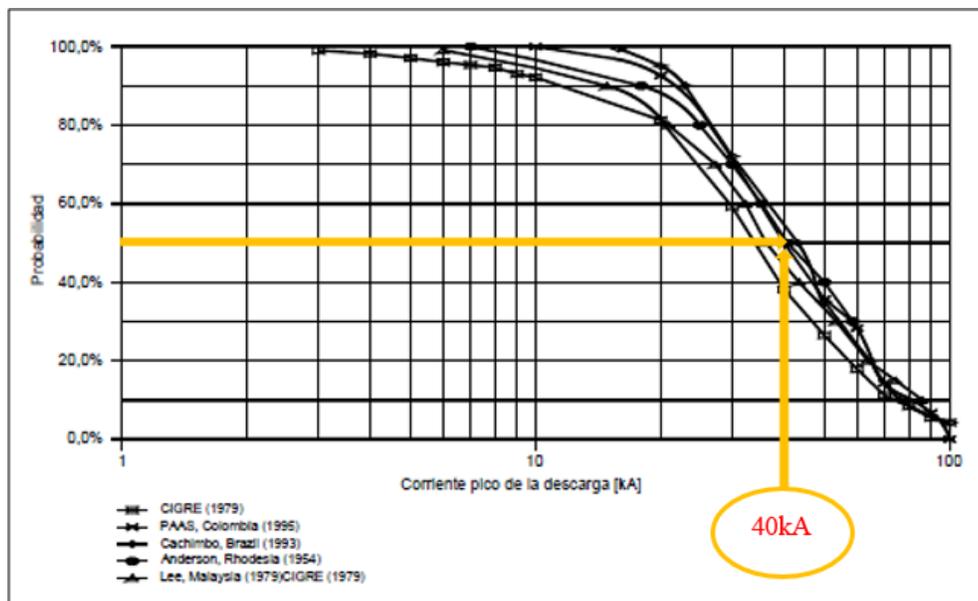


Figura 36. Determinación de la corriente en kA (*I_{abs}*)

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

Después de determinar la DDT y la *I_{abs}* nos referimos a la Tabla 20, donde se indica el nivel de exposición al rayo, para la estructura del bloque 6.

Tabla 20.

Indicador de exposición al rayo

| | | Índice de riesgo por rayos | | |
|--|--|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| | | Corriente pico absoluta promedio (KA) | | |
| Densidad de descarga a tierra (Descargas / Km ² - año) | | 40 <i>I_{abs}</i> | 20 <i>I_{abs}</i> < 40 | <i>I_{abs}</i> < 20 |
| | R _{I_{abs}} R _{DDT} | 1 | 0.65 | 0.30 |
| 30 DDT | 1 | | | |
| 15 DDT < 30 | 0.75 | | | |
| 5 DDT < 15 | 0.50 | | | |
| DDT < 5 | 0.25 | | | |
| | | OK | | |

Severas
 Altas
 Moderadas
 Bajas

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

Según la NTC 4552 la estructura a proteger cumple con las condiciones presentadas en las Tablas 21, 22, 23, 24, 25 y 26.

Tabla 21.

Características de la estructura

| Clasificación de estructuras | Uso de la estructura | Valor del índice |
|---|--|------------------|
| Estructuras de uso común | Teatros, colegios, escuelas, iglesias, supermercados, centros comerciales, áreas deportivas, hospitales, prisiones, ancianatos, jardines infantiles, guarderías, hoteles | 40 |
| | Oficinas y viviendas de tipo urbano y rural | 30 |
| | Bancos, compañías aseguradoras, industrias, museos, biblioteca, sitios históricos y arqueológicos | 20 |
| Estructuras utilizadas para la prestación de servicios públicos | Estructuras de comunicaciones, instalaciones para acueducto | 10 |

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

Tabla 22.

Subindicador relacionado con el tipo de estructura

| Tipo de estructura | Valor del índice |
|--------------------|------------------|
| No metálica | 40 |
| Mixta | 20 |
| Metálica | 0 |

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

Tabla 23.

Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura

| Altura y área de la estructura | Valor del índice |
|---|------------------|
| Área menor a 900 m ² | 5 |
| Altura menor a 25 m | 5 |
| Altura mayor o igual a 25 m | 20 |
| Área mayor o igual a 900 m ² | 20 |
| Altura menor a 25 m | 10 |
| Altura mayor o igual a 25 m | 20 |

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

Nota: el ingeniero encargado de la evaluación del factor de riesgo para protección contra rayos debe tomar en consideración la influencia de estructuras adyacentes o cercanas a la evaluada.

Al realizar la Suma de los valores de los índices relacionados con la estructura (Tablas 21, 22 y 23), se obtiene el indicador de gravedad, que se puede presentar en la estructura al ser impactada por una descarga eléctrica atmosférica.

Según la clasificación de la estructura y utilizando la ecuación de indicador de gravedad obtenemos el siguiente resultado:

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

$$I_G = 40 + 20 + 20$$

$$I_G = 80$$

Donde:

I_G = Indicador de gravedad

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

Según el indicador de gravedad la estructura se encuentra ubicada en el rango alto, Tabla 24.

Tabla 24.
Indicador de gravedad

| Suma de índices de gravedad | Gravedad |
|-----------------------------|----------|
| 0 a 35 | Leve |
| 36 a 50 | Baja |
| 51 a 65 | Moderada |
| 66 a 80 | Alta |
| 81 a 100 | Severa |

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

Luego de obtener el indicador de gravedad (Tabla 24), se plantea la matriz de nivel de riesgo (Tabla 25), teniendo en cuenta los parámetros de la zona y la gravedad según el tipo de estructura.

Tabla 25.
Matriz de nivel de riesgo

| Parámetros | Gravedad | | | | |
|------------|----------|------|----------|------|------|
| | Severa | Alta | Moderada | Baja | Leve |
| Severos | | | | | |
| Altos | | | | | |
| Moderados | | OK | | | |
| Bajos | | | | | |

Factor de riesgo Alto Medio Bajo

Fuente: extraído de (ICONTEC, 2008)

6.8.2 Programa Risk-software de cálculo de riesgo

Para la evaluación de nivel de riesgo y protección contra descargas eléctricas atmosféricas del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, se utilizó el programa de simulación Risk-software de cálculo de riesgo, obtenido de (Aplicaciones tecnológicas, 2018), el cual está diseñado bajo la norma IEC 62305-2; y en el que se puede obtener el nivel de protección del edificio en estudio.

El programa se puede descargar de manera gratuita en el siguiente link:

<https://at3w.com/descargas/software-de-calculo-de-riesgo/s21>

A continuación se relaciona el entorno de trabajo del programa, donde se ingresan los datos solicitados de la empresa proyectista, Figura 37.

Instrucciones
Indique en esta pantalla los datos de la empresa proyectista.

Empresa

Proyecto

Datos generales

Cálculo de riesgo

Ubicación de edificios

Ubicación de pararrayos

Protección externa

Protección interna

Memoria

Solicite presupuesto

Guía de diseño

Español

English

Français

Portugués

Número de serie: ATR000021691

Empresa: Tesis de Grado I.U. Pascual Bravo

Contacto: Danny Villa - Cristian Toro

Dirección: Calle 73 #73a - 226 sector Robledo Pilarica

Población: Zona Urbana

Provincia: Medellín - Antioquia

E-mail: dan.villa@pascualbravo.edu.co - c.toro23@pascualbravo.edu.co

Teléfono: 3217742764 - 3217073

Fax: N/A

CIF: CO

País: CO COLOMBIA

| C1 | C2 | C3 | PAÍS |
|----|-----|-----|------------------------|
| AD | AND | 020 | ANDORRA |
| AE | ARE | 784 | EMIRATOS ÁRABES UNIDOS |
| AF | AFG | 004 | AFGANISTÁN |
| AG | ATG | 028 | ANTIGUA Y BARBUDA |
| AI | AIA | 660 | ANGULA |
| AL | ALB | 008 | ALBANIA |

Figura 37. Datos solicitados de la empresa proyectista

Fuente: registro propio

Nota: Risk-software de cálculo de riesgo

En la Figura 38, se relacionan los datos solicitados de la ubicación del proyecto

Cálculo del índice de riesgo

Este programa sirve para realizar un cálculo de riesgo, diseño y memoria de un sistema de protección contra el rayo. En el caso de elegir la protección contra el rayo mediante pararrayos con dispositivo de cebado (PDC), el diseño se realiza con la norma UNE 21186 / NF 17102 / NP 4426. Si se elige protección mediante mallas y puntas, el diseño se realiza con la norma IEC 62305

APLICACIONES TECNOLÓGICAS

Empresa

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto

Datos generales

Cálculo de riesgo

Ubicación de edificios

Ubicación de pararrayos

Protección externa

Protección interna

Memoria

Solicite presupuesto

Guía de diseño

Español

English

Français

Portugués

Proyecto: Tesis de Grado I.U. Pascual Bravo

Dirección: Calle 73 #73a - 226 sector Robledo Pilarica

Población: Zona Urbana

Provincia: Medellín - Antioquia

País: CO COLOMBIA

| C1 | C2 | C3 | PAÍS |
|----|-----|-----|------------|
| CK | COK | 184 | ISLAS COOK |
| CL | CHL | 152 | CHILE |
| CM | CMR | 120 | CAMERÚN |
| CN | CHN | 156 | CHINA |
| CO | COL | 170 | COLOMBIA |
| CR | CFR | 188 | COSTA RICA |

Edificios a proteger: 1 Esta versión está limitada a 1 edificio

Obra nueva: Sí No

Se utiliza como centro de trabajo: Sí No

Figura 38. Datos solicitados de la ubicación del proyecto

Fuente: registro propio

Nota: Risk-software de cálculo de riesgo

En las Figura 39, se relacionan los datos generales solicitados del edificio a evaluar

Cálculo del índice de riesgo

Edificio número: 1 de 1

Nombre del edificio: I.U. Pascual Bravo

| Ed. | Nombre del edificio | Largo | Ancho | Alto | PDC-Malla |
|-----|---------------------|-------|-------|-------|-----------|
| 1 | I.U. Pascual Bravo | 32,00 | 30,00 | 27,50 | P |

APLICACIONES TECNOLÓGICAS

Datos generales

Empresa

Proyecto

Cálculo de riesgo

Ubicación de edificios

Ubicación de pararrayos

Protección externa

Protección interna

Memoria

Solicite presupuesto

Guía de diseño

Español

English

Francais

Portugués

Solución

DIMENSIONES

Longitud (L) 32,00 m

Anchura (W) 30,00 m

Altura tejado (H) 27,50 m

Altura prominencia (Hp) 29,00 m

Superficie exposición (Ad) 32.572,46 m² Fijada manualmente

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

Tipo de cubierta: A. Metálica

Tipo de estructura: B. Hormigón

Riesgo de incendio: B. Común

Tipo de cableado interno: A. No apantallado

INFLUENCIAS AMBIENTALES

Situación: B. Altura similar

Factor ambiental: B. Urbano

Días de tormenta: 120 Días / año

Densidad anual impactos: 12,00 Impactos / km²

Tipo de terreno: A- Limo, arcilla, arena semidensa

PÉRDIDAS

Tipo 1. Pérdidas de vidas humanas

Por incendios: A. No ocupadas

Por riesgo de pánico: A. Sin riesgo

Consecuencia de los daños: A. Sin consecuencias

Por sobretensiones: A. No aplica

Tipo 2. Pérdidas de servicios esenciales

Pérdida de servicios: A. No aplica

Tipo 3. Pérdidas de patrimonio cultural

Pérdida de patrimonio: A. No aplica

Tipo 4. Pérdidas económicas

Riesgos especiales: A. Sin consecuencias

Por incendios: B. Valor alto

Por sobretensiones: C. Valor alto

Por tensión paso/contacto: A. Sin riesgo de shock

Riesgo tolerable de pérdidas: A. 1 en 10 años

LÍNEAS DE SERVICIOS

Suministro eléctrico

Situación del cable: B. Enterrado

Tipo de cable: A. Apantallado

Transformador MT/BT: A. Transformador

Otros servicios aéreos

Número de servicios: 0

Tipo de cable: B. No apantallado

Otros servicios enterrados

Número de servicios: 0

Tipo de cable: B. No apantallado

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES

Clase SPCR: E. Sin protección

Protección sobretensiones: B. Sólo en entrada de servicio

Figura 39. Datos generales solicitados del edificio a evaluar

Fuente: registro propio

Nota: Risk-software de cálculo de riesgo

En la Figura 40, se relaciona los resultados obtenidos para el nivel de protección necesaria para el edificio bloque 6 en la I.U. Pascual Bravo

Cálculo del índice de riesgo

Edificio número: 1 de 1

Nombre del edificio: I.U. Pascual Bravo

| Ed. | Nombre del edificio | Largo | Ancho | Alto | PDC-Malla |
|-----|---------------------|-------|-------|-------|-----------|
| 1 | I.U. Pascual Bravo | 32,00 | 30,00 | 27,50 | P |

APLICACIONES TECNOLÓGICAS

Empresa

Datos generales

Cálculo de riesgo

Ubicación de edificios

Ubicación de pararrayos

Protección externa

Protección interna

Memoria

Solicite presupuesto

La protección se realizará mediante PDC Malla

* SEPCR = Sistema Externo de Protección Contra el Rayo
** SPCR = Sistema Interno de Protección Contra el Rayo

Guía de diseño

Edificio: 1 I.U. Pascual Bravo

PROTECCIÓN NECESARIA:
La instalación de un sistema externo es necesaria según la IEC 62305-2.

NIVEL DE PROTECCIÓN:
Nivel de protección: Nivel IV

Español
English
Français
Portugués

Figura 40. Resultados obtenidos para el nivel de protección

Fuente: registro propio

Nota: Risk-software de cálculo de riesgo

| Ed. | Nombre del edificio | Largo | Ancho | Alto | PDC-Malla |
|-----|---------------------|-------|-------|-------|-----------|
| 1 | I.U. Pascual Bravo | 32,00 | 30,00 | 27,50 | P |

DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DE PROTECCIÓN SEGÚN LA NORMA UNE-EN 62305-2

| Superficie de captura | Riesgo de pérdida vidas humanas | Riesgo de pérdida de servicios públicos | Riesgo de pérdida de patrimonio | Riesgo de pérdidas económicas | Necesidad instalación SEPCR* | Nivel de protección | Necesidad instalación SPCR** | Tipo SPCR |
|-----------------------|---------------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------|------------------------------|-----------|
| 32.572,46 | 5,10E-06 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,86E-03 | Necesaria | Nivel IV | No necesaria | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Figura 41. Resultados obtenidos para el nivel de protección

Fuente: registro propio

Nota: la figura 41, es un acercamiento para detallar los resultados. Risk-software de cálculo de riesgo

6.8.3 Simulación del método esfera rodante (MER)

A continuación se puede evidenciar en las Figuras 42 y 43, las vistas de cubrimiento de área ante descargas eléctricas atmosféricas, las que se evaluaron con el método de la esfera rodante (MER), aplicado para edificaciones con alturas menores a 60 m y con un radio de la esfera de 55m (Ítem 6.7.1, Tabla 16).

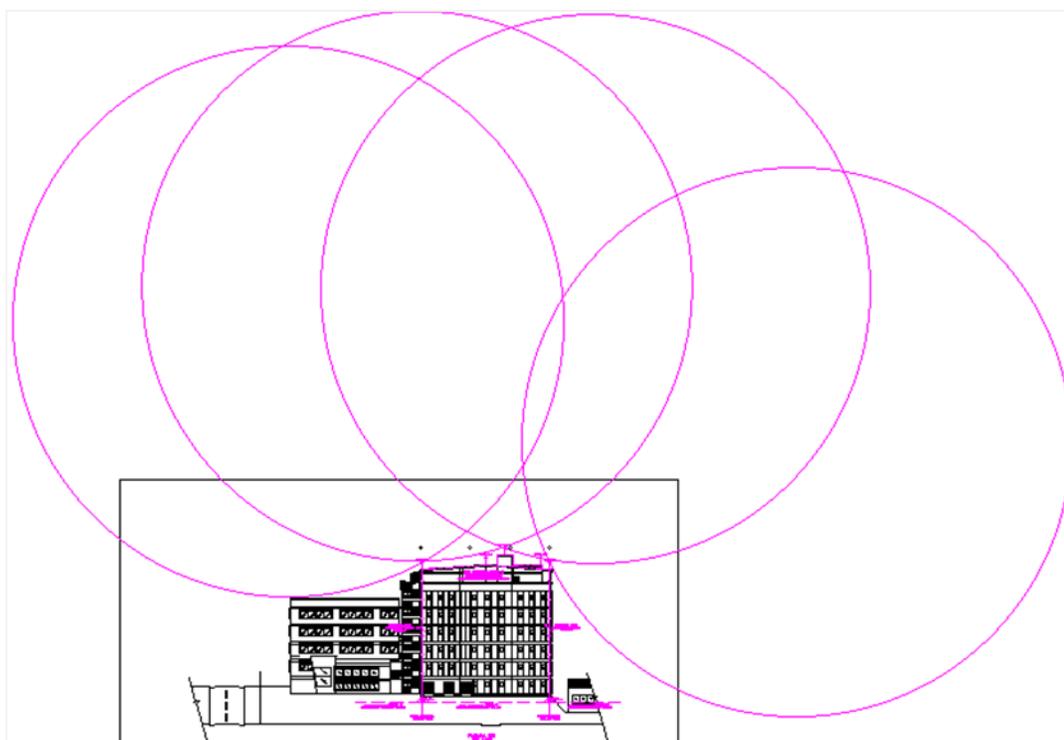


Figura 42. Vistas frontal de cubrimiento de área método de la esfera rodante (MER)

Fuente: diseño propio

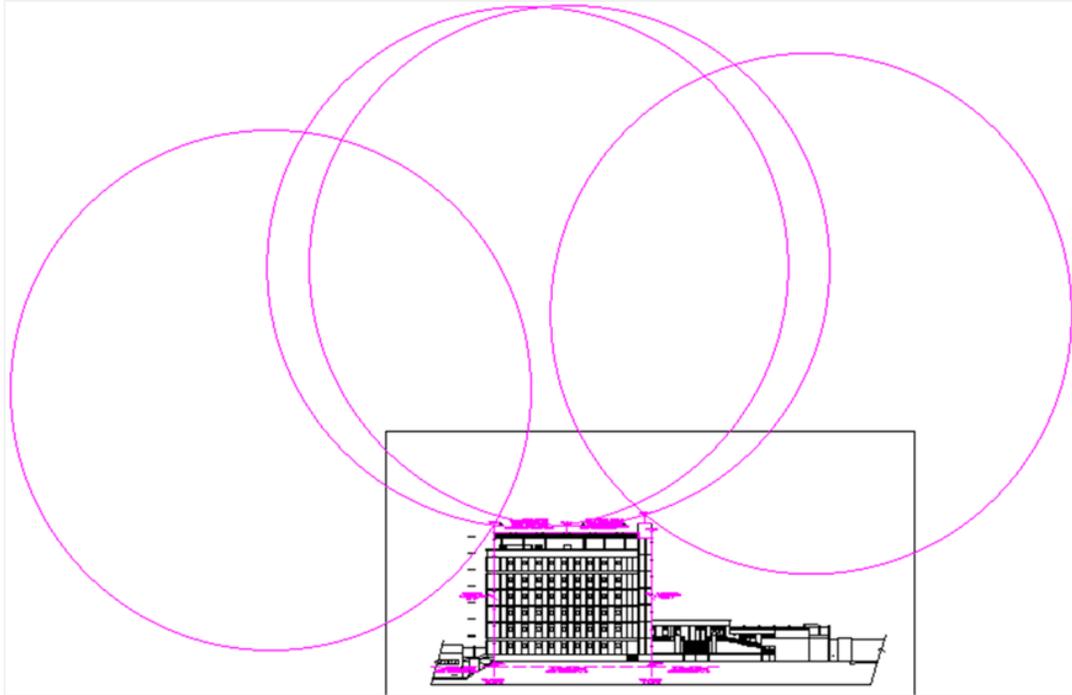


Figura 43. Vistas lateral de cubrimiento de área método de la esfera rodante (MER)
Fuente: diseño propio

En estructuras más altas que el radio de la esfera rodante, pueden existir rayos que impacten los costados de estas. Cada punto lateral de la estructura tocado por la esfera rodante es un punto factible de ser impactado. Sin embargo, la probabilidad que rayos impacten los costados es prácticamente despreciable para estructuras menores a 60m.

6.8.4 Sistema de captación

Para el caso del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, se diseñó un sistema de captación compuesto por 9 varillas tipo Franklin de 1.5m de longitud cada una, las cuales serán instaladas sobre la superficie del techo utilizando una base metálica para soportar el mástil y considerando las siguientes recomendaciones:

- Si el techo está hecho de materiales no combustibles los elementos del sistema de captación pueden ser instalados sobre la superficie del techo.

- Si el techo está hecho de materiales de fácil combustión, es necesario considerar cierta precaución con respecto a la distancia entre los elementos conductores de sistema de captación y el techo. Esta distancia debe ser no inferior a 0.10m.
- Las partes fácilmente combustibles de la estructura no deben permanecer en contacto directo con ninguna parte de los componentes del sistema de protección externo.

Para el bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, cualquier elemento metálico de la edificación que se encuentre expuesto al impacto del rayo, como antenas de televisión, chimeneas, torres de comunicación y cualquier antena o tubería que sobresalga debe ser tratado como un terminal de captación.

6.8.5 Sistema de conductores bajantes

Para el caso del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, el sistema de apantallamiento externo tendrá 4 bajantes ubicados en los extremos, las bajantes deben ser en conductor de Aluminio calibre N° 1/0. Su ubicación deberá ser como se muestra en los planos que se adjuntan a las memorias. Anexo 11.

Los anillos equipotencializadores se deben conectar a las bajantes y considerar las siguientes observaciones:

- La longitud de las bajantes debe ser la menor posible, evitando la formación de lazos o curvaturas en su trayectoria y en el caso que éstas últimas sean inevitables, su ángulo interior no debe ser menor a 90° y su radio de curvatura no menor a 200 mm.
- No es recomendable ubicar bajantes en áreas donde se congreguen o transiten personas frecuentemente como es el caso de escaleras y vías operacionales, ni se permite ubicar las bajantes en los ductos de ascensores o conductos internos a la edificación.
- Es recomendable que exista una bajante en cada esquina expuesta de la estructura. Las bajantes deben ser instaladas de tal manera que garanticen continuidad eléctrica entre los conductores del sistema de captación.

- Las bajantes no deberán ser instaladas dentro de canaletas para aguas aún si éstas están cubiertas con material aislante. Los efectos de la humedad en las canaletas para aguas producen gran corrosión en los conductores de las bajantes. Es recomendable que las bajantes se ubiquen de manera tal que una permita tener una distancia adecuada entre puertas y escaleras metálicas.

Para el caso del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, se debe descargar a tierra el hierro de refuerzo de la estructura mínimamente en dos sitios diferentes, por medio de una platina soldada al hierro de amarre y a esta platina soldado el conductor de cobre desnudo del mismo calibre del anillo equipotencial inferior.

El diseño general del proyecto de sistema de puesta a tierra y apantallamiento (Anexo 11), cuenta con los siguientes detalles:

- Diseño de sistema de puesta a tierra y apantallamiento para el bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo.
- Cuadro de convenciones y símbolos.
- Cuadro de notas generales.
- Detalles específicos para su implementación según la normatividad vigente (ver nota aclaratoria al inicio del documento)

6.8.6 Procedimientos de inspección y mantenimiento de un sistema integrado de protección contra rayos SIPRA

La implementación de procedimientos de inspección, mantenimiento y su adecuada documentación, de un sistema integrado de protección contra rayos (SIPRA), es de gran importancia en la gestión de activos institucionales. Anexo 12.

7. Conclusiones

La implementación del diseño prototipo descrito en el presente documento asegura en un 99% que los índices de riesgo eléctrico atmosférico frente a la infraestructura, líneas de transmisión eléctricas y seres vivos disminuyan. Certificar que se cumplen los estándares establecidos por la normatividad vigente implementada.

Los resultados obtenidos nos indican un nivel de riesgo tipo IV, debido a la ubicación geográfica de la infraestructura y a los índices de caída por rayo en el sector.

Las acciones recomendadas según el nivel de riesgo medio en el que se encuentra el bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo indican diseñar e implementar un sistema de protección externo, un sistema de protección interno y un sistema de protección a tierra según la norma IEEE, NTC 2050 Y NTC 4552.

El valor máximo del radio de la esfera rodante según el nivel IV de protección es de 55 m, lo cual indica que, el prototipo de diseño para el bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, se desarrolla cumpliendo de la normatividad vigente, salvaguardando la integridad física de los seres vivos, el cuidado de la infraestructura y el entorno.

Se implementara un sistema de captación compuesto por 9 varillas tipo Franklin de 1.5m de longitud sobre la estructura las cuales serán instaladas sobre la superficie del techo utilizando una base metálica para soportar el mástil. Su ubicación deberá ser como se muestra en los planos que se adjuntan a las memorias.

El sistema de apantallamiento externo tendrá en la superficie un conductor de Aluminio calibre N° 1/0 desnudo soportado por medio de bases plásticas resistentes a los cambios climáticos y separados entre sí cada 1m, también contara con 4 bajantes en los extremos, los bajantes deben ser en conductor de Aluminio calibre N° 1/0 aislado y en la parte interior contara con un conductor en Cobre N° 1/0 desnudo que rodeara toda la infraestructura y se conectara con

la malla de puesta a tierra formando así un anillo equipotencial. Su ubicación deberá ser como se muestra en los planos que se adjuntan a las memorias. Anexo 11

Las cajas de registro o inspección deben realizarse como lo indica el diseño con los diámetros adecuados esto con el fin de permitir el acceso al sistema, evidenciar el estado en que se encuentra y tomar medidas de resistividad.

Cualquier elemento metálico de la edificación que se encuentre expuesto al impacto del rayo, como antenas de televisión, chimeneas, torres de comunicación y cualquier antena o tubería que sobresalga debe ser tratado como un terminal de captación.

Se debe descargar a tierra el hierro de refuerzo de la estructura mínimamente en dos sitios diferentes, por medio de una platina soldada al hierro de amarre y a esta platina soldado el conductor de cobre desnudo del mismo calibre del anillo equipotencial inferior.

Todos los materiales utilizados en el sistema de puesta a tierra y apantallamiento para el bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, deben cumplir lo los requisitos que exige el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE y las demás normativas vigentes que le aplique.

8. Recomendaciones

Es necesario elaborar diseños prototipos de sistema de puesta a tierra y apantallamiento bajo mecanismos de tecnologías innovadoras las cuales lleven a resultados que involucren las normas técnicas y software de cálculo vigentes.

Debido a los resultados obtenidos se recomienda realizar estadísticas de probabilidad de falla de la instalación contra una descarga atmosférica y análisis de riesgo basados en prototipos de infraestructuras con un nivel de probabilidad de riesgo más alto.

Se recomienda desarrollar el procedimiento de análisis de SIPRA en base a herramientas ofimáticas 3D las cuales ayudan a visualizar e interpretar de manera real los diferentes puntos en los cuales a la hora de la ejecución del proyecto no colapsen con las diferentes redes de distribución eléctricas diseñadas para la misma infraestructura.

Otro aspecto importante va dirigido a sus futuros desarrolladores, los cuales en caso de ampliar el prototipo de diseño deben documentar los parámetros en los cuales se basaron para realizar el diseño, de ser necesario, en caso de un crecimiento desmesurado de las infraestructuras, hacer diseños que abarquen 100% del campus universitario.

Se recomienda efectuar mantenimiento preventivo al sistema de protección contra descargas atmosféricas y puestas a tierra, al menos una vez al año, verificando los siguientes aspectos:

- Resistencia del sistema de puesta a tierra.
- Estado de las terminales de captación.
- Estado del conductor de interconexión de las terminales de captación a nivel de techos.
- Estado de las bajantes de puesta a tierra.
- Estado general de las conexiones entre las terminales de captación, el conductor de interconexión, las bajantes y los electrodos.

Se recomienda implementar un sistema en gestión de activos que demanden energía eléctrica en el bloque 6 y en general de la Institución Universitaria Pascual Bravo, con el fin de determinar en tiempo real el estado de cada uno de los componentes que hacen parte de las instalaciones.

9. Referencias bibliográficas

- Aplicaciones tecnológicas. (2018). *Risk-software de cálculo de riesgo*. Obtenido de <https://at3w.com/descargas/software-de-calculo-de-riesgo/s21>
- Casas, F. (2005). *Tierras Soporte de la Seguridad Eléctrica*. Bogotá, D.C.: Icontec.
- EPM. (2018). *epm.com.co/site/Portals*. Obtenido de https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/normas_aereas/grupo_6_Normas_de_montajes_complementarios/RA6-014MEDIDADERESISTIVIDAD_V3.pdf
- García, V. (2013). *Diseño de un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas: Caso bloque E de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Pereira.
- ICONTEC. (2008). *NTC 4552 Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos). Parte 1: Principios Generales*. Bogotá, D.C.: Icontec.
- ICONTEC. (2008). *NTC 4552 Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos). Parte 2: Manejo Del Riesgo*. Bogotá, D.C.: Icontec.
- ICONTEC. (2008). *NTC 4552 Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos). Parte 3: Daños Físicos a Estructuras y Amenazas a La Vida*. Bogotá, D.C.: Icontec.
- IEC. (2010). *IEC 62305 Protection against lightning – Part 1: General principles*. International Electrotechnical Commission standards.
- Lozano, M. (2018). *Prof.usb.ve*. Obtenido de <http://prof.usb.ve/mmlozano/investigacion.htm>
- Metrel. (2018). *Metrel.es*. Recuperado el 2018, de <http://www.metrel.es/2151/>
- MINMINAS. (15 de 02 de 2013). *Anexo general del RETIE resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes*. Bogotá, D.C.: Ministerio de Minas y Energía.
- Pascual bravo. (2018). *Web institucional*. Obtenido de <http://www.pascualbravo.edu.co/index.php/lainstitucion/quienes-somos/historia>
- Pascual Bravo. (2018). *Web institucional*. Obtenido de <http://sica.pascualbravo.edu.co:5051/SICAU/Account/Login>
- Ramírez Castaño, S., & Cano Plata, E. A. (2010). *Sistemas de Puesta a Tierra: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF*. Universidad nacional de Colombia.
- Ramírez, C. (2003). *Subestaciones de alta y extra alta tensión*.

Siata. (2018). *Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá*. Obtenido de https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/monitoreo

Solopaisas. (2018). Obtenido de <https://www.solopaisas.com.co/medellin-la-ciudad-colombia-lamas-rayos-caen/>

Torres, S., H. (2008). *Protección contra Rayos. Primera Edición*. Bogotá D.C: Icontec.

10. Anexos

Anexo 1. Factura consumo de energía-Abril 2018- I.U. Pascual Bravo



Anexo 1. Factura consumo de energía -Abril2018- I.U. Pascual Bravo.pdf

Anexo 2. Manual de instrucciones Earth-Insulation Tester MI-2088



Anexo N° 2. Manual de Instrucciones Earth-Insulation Tester MI-2088.pdf

Anexo 3. Solicitud planos Radicado 2018001637



Anexo 3. Solicitud planos bloque 6 - radicado-2018001637.pdf

Anexo 4. Acuerdo de confidencialidad 23 de febrero de 2018.



Anexo 4. Acuerdo de confidencialidad 23 de febrero 2018.pdf

Anexo 5. Registro fotográfico apantallamiento existente bloque 6 I.U. Pascual Bravo



Anexo 5. Registro fotografico sistema de apantallamiento existente bloque 6 I.U. Pascual Bravo..pdf

Anexo 6. Registro fotográfico cubierta bloque 6 I.U. Pascual Bravo



Anexo6. Registro fotografico cubierta bloque 6 I.U. Pascual Bravo.pdf

Anexo 7. RA6-014 Medida de resistividad_v3_EPM



Anexo 7. RA6-014 Medida de resistividad_v3_EPM.pdf

Anexo 8. Registro fotográfico medidas en campo



Anexo 8. Registro fotografico medidas en campo.pdf

Anexo 9. Respuesta punto de conexión EPM



Anexo 9. Respuesta punto de conexión EPM.pdf

Anexo 10. Sistemas de puesta a tierra diseñado con IEEE 80 y evaluado con MEF



Anexo 10. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Diseñado con IEEE 80 y evaluado con MEF Eduardoantonio canoplate.2010.pdf

Anexo 11. Diseño_Puesta a tierra y apantallamiento_bloque 6 I.U. Pascual Bravo

Nota: archivo adjunto en carpeta de anexos.