

Apoyo en la elaboración de un sistema de protección contra rayos en el Hospital de Puerto

Berrio 1



**Título: Apoyo en la elaboración de un sistema de protección contra rayos en el Hospital de
Puerto Berrio**

David González Plata

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Eléctrico

Asesor

Nicolas Muñoz Galeano, Doctor (PhD) en ingeniería electrónica

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Eléctrica
Medellín, Antioquia, Colombia
2023

Apoyo en la elaboración de un sistema de protección contra rayos en el Hospital de Puerto

Berrio 2

Cita	González Plata [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] D. González Plata, “Apoyo en la elaboración de un sistema de protección contra rayos en el Hospital de Puerto Berrio”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2023.



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Noe Alejandro Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
II. OBJETIVOS.....	9
A. Objetivo general.....	9
B. Objetivos específicos.....	9
III. MARCO TEÓRICO.....	10
IV. METODOLOGÍA.....	13
V. RESULTADOS.....	14
VI. ANÁLISIS.....	39
VII. CONCLUSIONES.....	40
REFERENCIAS.....	41
ANEXOS.....	Error! Bookmark not defined.

LISTA DE TABLAS

TABLA I CORRIENTE NOMINAL DE DESCARGA POR FASE	18
TABLA 2.....	20
TABLA 3.....	24
TABLA 4.....	25
TABLA 5.....	25
TABLA 6.....	25
TABLA 7.....	28
TABLA 8.....	35

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Mapa isocerámico de Colombia.....	15
Fig. 2. Resultados del IEC Risk.	17
Fig. 3. Relación de ángulo de protección según clase de SCPR.	20
Fig. 4. Modelo 3D Proyecto SPE IPS ESE HOSPITAL CESAR URIBE PIEDRAHITA.	21
Fig. 5. Método de esfera rodante.....	22
Fig. 6. Método del Angulo de protección.....	22
Fig. 7. Vista en planta del apantallamiento realizado.	23
Fig. 8. Disposición de bajantes.....	24
Fig. 9. Disposición de bajantes.....	27
Fig. 10. Resistividad Vs Separación de electrodos en Wenner.	29
Fig. 11. SPT Para IPS ESE HOSPITAL CÉSAR URIBE PIEDRAHÍTA.	30
Fig. 12. Convenciones utilizadas para la puesta a tierra.	30
Fig. 13. Lazos o curvaturas en trayectoria de bajantes.....	31
Fig. 14. Soldadura exotérmica para emplear en las uniones de la puesta tierra.....	32
Fig. 15. Excavación para instalación de cables de SPT.	33
Fig. 16. Caja de inspección SPT.	33
Fig. 17. Soldadura cable- varilla.	34
Fig. 18. Soldadura cable-cable en T.....	34
Fig. 19. Punta Captadora y Bajante.....	34
Fig. 20. Detalle para realizar Bajante a SPT y Señalización.....	35

RESUMEN

En este informe se describe el contexto en el que se desarrolló el proyecto, destacando las interrupciones y fallas en el funcionamiento del hospital debido a la frecuencia de tormentas eléctricas en la zona. Se explica la importancia de seguir las normas nacionales e internacionales para garantizar la protección adecuada y se detalla el proceso de diseño del sistema de protección contra rayos, siguiendo como guía la norma colombiana NTC 4552 y RETIE, que incluye estándares nacionales.

Se presentan las metodologías utilizadas para implementar correctamente la norma al diseño y se describe el proceso de selección de las medidas de protección adecuadas, teniendo en cuenta los parámetros de riesgo específicos. Además, se explica cómo se abordaron los errores estructurales y se mejoraron los problemas relacionados con los efectos atmosféricos.

En conclusión, el diseño del sistema de protección contra rayos para el Hospital Cesar Uribe Piedrahita de Puerto Berrio se realizó de manera rigurosa y cuidadosa, siguiendo las normas nacionales e internacionales. Se espera que el sistema garantice la seguridad de los pacientes y trabajadores, así como el correcto funcionamiento del hospital en todo momento.

***Palabras clave* —sistema de protección contra rayos, malla puesta a tierra, apantallamiento, hospital.**

ABSTRACT

This report describes the context in which the project was developed, highlighting the interruptions and malfunctions in the hospital's operation due to the frequency of electrical storms in the area. The importance of following national and international standards to ensure adequate protection is explained, and the process of designing the lightning protection system is detailed, following the Colombian NTC 4552 and RETIE standards.

The methodologies used to correctly implement the standard into the design are presented, and the process of selecting suitable protection measures is described, taking into account specific risk parameters. Furthermore, it is explained how structural errors were addressed and problems related to atmospheric effects were improved.

In conclusion, the design of the lightning protection system for Cesar Uribe Piedrahita Hospital in Puerto Berrio was conducted rigorously and carefully, following national and international standards. The system is expected to ensure the safety of patients and workers and the proper functioning of the hospital at all times.

***Keywords* — lightning protection system, grounding mesh, shielding, hospital.**

I. INTRODUCCIÓN

En los hospitales, un sistema de protección contra rayos es esencial para preservar la seguridad de los pacientes y trabajadores, previniendo pérdidas de vidas humanas [1]. En centros médicos, es fundamental no solo limitar el riesgo de pérdidas humanas a niveles aceptables según la norma IEC 62305-2 [2], sino también para garantizar que los equipos vitales no se vean afectados por las descargas atmosféricas [3].

La elección de medidas de protección adecuadas puede influir en componentes de riesgos específicos. Por tal razón, la gestión de riesgos debe ser parte de la actividad de diseño. Algunos de los parámetros utilizados para la gestión de riesgos pueden sufrir desviaciones nacionales, y las normas nacionales también pueden proporcionar procedimientos alternativos [1]. Este proyecto tiene como objetivo diseñar un sistema de protección contra rayos en el Hospital Cesar Uribe Piedrahita de Puerto Berrio, que ha experimentado interrupciones y fallas en su funcionamiento debido a la frecuencia de tormentas eléctricas en la zona. La falta de medidas adecuadas de apantallamiento y puesta a tierra ha contribuido a errores estructurales y ha empeorado los problemas relacionados con los efectos atmosféricos. Con este proyecto, se busca elaborar un diseño que resuelva estos problemas y asegure el correcto funcionamiento del hospital en todo momento. Este texto documenta la forma en que se desarrollará el diseño del sistema de protección y las metodologías a seguir para implementar correctamente la norma al diseño. Se utilizarán normas nacionales como la NTC 4552 [4] y normas internacionales como la IEC 62305-2 para desarrollar el sistema de protección contra rayos, siguiendo como guía la norma colombiana NTC 4552 y RETIE [5] que incluye estándares nacionales.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Diseñar un sistema de protección contra rayos en el hospital Cesar Uribe Piedrahita de Puerto Berrio.

B. Objetivos específicos

- Elaborar diseños eléctricos y esquemas gráficos con ayuda de programas de software como AutoCAD (Aplicación comercial de software y diseño asistido por computadora),
- Calcular parámetros necesarios con ayuda de programas como IEC Risk (Calculadora de evaluación de riesgo) y CYME GROUND (Programa de puesta a tierra de subestaciones). para la elaboración del apantallamiento y malla puesta a tierra.
- Aplicar el marco normativo al desarrollo del proyecto.
- Analizar costos y presupuestos de los materiales necesarios para el sistema de protección.

III. MARCO TEÓRICO

Efectos del rayo.

Los daños físicos y riesgos para la vida pueden ocurrir debido a impactos directos en estructuras o sus acometidas. Estos impactos pueden provocar fallas en los sistemas eléctricos y electrónicos debido a sobretensiones causadas por el contacto entre la corriente del rayo y los sistemas. La cantidad de rayos que afectan una estructura y sus servicios depende de su tamaño y características, así como de la densidad de rayos en la zona donde se encuentra. La probabilidad de daño por rayos está influenciada por las características de la estructura, sus acometidas y la corriente del rayo, además de las medidas de protección aplicadas. El costo promedio anual de las pérdidas varía en función del daño causado y las consecuencias. La eficacia de las medidas de protección puede evaluarse individualmente, y su implementación reduce la probabilidad de daño o el costo de las pérdidas [4].

Sistema de protección contra rayos.

El sistema de protección contra rayos es un conjunto de medidas y equipos diseñados para proteger a las personas, edificios, infraestructuras y equipos electrónicos de los efectos nocivos de los rayos y los picos transitorios de tensión que pueden resultar de los impactos de rayos en las líneas de alimentación eléctrica. Este sistema incluye elementos como pararrayos, conductores de protección, tierras de protección, dispositivos de descarga a tierra, supresores de sobretensión, entre otros. La correcta implementación del sistema de protección contra rayos requiere un análisis detallado de los riesgos y la adopción de un enfoque integrado que considere la arquitectura eléctrica y la geografía del lugar [4].

Análisis de nivel de riesgo.

Durante el desarrollo del Análisis del nivel del riesgo para una determinada instalación, se hace una presentación de las características y parámetros para llevar a cabo la simulación de los efectos

del rayo, los riesgos y daños que estos generan a estructuras, acometidas y seres vivos. A partir de la evaluación del nivel del riesgo se determinarán las medidas de protección apropiada que deben adoptarse para reducir el riesgo a un límite tolerable o por debajo de él, en caso de ser necesario.

Para la evaluación de riesgo se tienen en cuenta aspectos importantes como [4]:

- Dimensiones de la estructura
- Características de la estructura
- Influencias ambientales
- Tipo de pérdidas que se tendrían (vida humana, servicios esenciales, patrimonio cultural, económicas).

Sistema de puesta a tierra (SPT).

El Sistema de Puesta a Tierra (SPT) es una de las instalaciones eléctricas más importantes [6], ya que su función principal es asegurar la seguridad eléctrica y proteger la vida de las personas. El SPT se compone de varios componentes, incluyendo una toma de tierra, un conductor de tierra, un equipo de medición y una barra de tierra. La toma de tierra está conectada al suelo con un conductor de tierra, mientras que el equipo de medición se utiliza para monitorear la resistencia entre la toma de tierra y la tierra. La barra de tierra se conecta a los equipos eléctricos para garantizar que estén conectados al sistema de puesta a tierra [6]. Es importante instalar un SPT adecuado para garantizar la seguridad eléctrica de los equipos eléctricos. La malla se conecta a un punto de tierra para crear un camino de baja resistencia para la corriente del rayo, lo que reduce el riesgo de daños en el equipo o sistema protegidos. La malla puesta a tierra también puede ser utilizada para proteger contra otras formas de interferencia electromagnética, como las emisiones electromagnéticas de otras fuentes externas.

Sistema de protección externo (SPE).

El Sistema de Protección Externo (SPE) es una instalación eléctrica que se encarga de proteger a las personas y a los equipos eléctricos ante una descarga atmosférica. Consiste en una red de conductores conectados entre sí, que se extiende desde el punto más alto del recinto protegido hasta el punto más bajo y está conectado a la toma de tierra del sistema de puesta a tierra (SPT). El SPE

se compone de varios componentes, como una toma de tierra, varillas de tierra, alambres de tierra, cables de conexión y conductores de línea. Estos componentes ayudan a proporcionar una descarga segura de la energía de la descarga atmosférica a tierra, disminuyendo así el riesgo de lesiones o daños a los equipos eléctricos [7].

Angulo de protección.

El método del ángulo de protección es una técnica usada para la instalación de pararrayos con dispositivo de cebado. Esta técnica se basa en la medición de la relación de ángulo entre el rayo y la toma de tierra. El objetivo de este método es aumentar la seguridad de la instalación de pararrayos, ya que se considera que el ángulo de protección es un factor importante para la efectividad del sistema. El ángulo de protección se calcula a partir de la altura de la toma de tierra y la distancia entre el pararrayos y la toma de tierra. Esto se hace para garantizar que el rayo se desvíe hacia la toma de tierra en lugar de ingresar al edificio. El ángulo de protección ideal para una instalación de pararrayos es de 90° , pero este valor depende de la altura de la toma de tierra y la distancia entre el pararrayos y la toma de tierra [8].

Método de esferas rodantes.

El método de las esferas rodantes es un método utilizado para establecer la protección contra descargas atmosféricas de edificios y otras estructuras. Consiste en rodar una esfera imaginaria de radio determinado alrededor de la estructura a proteger en tres direcciones. El radio de la esfera se determina según el nivel de protección deseado y los parámetros de la instalación, como la altura de la estructura y la distancia a una línea de alimentación. El método de las esferas rodantes es una forma sencilla y eficaz de establecer la protección contra descargas atmosféricas [9].

Método de Wenner.

El método de Wenner es un método para determinar la resistividad aparente del terreno. El método consiste en colocar cuatro electrodos en línea, con una separación entre dos electrodos consecutivos

igual a la mitad de la separación entre los dos extremos. Los resultados se obtienen mediante el cálculo de la diferencia de voltaje entre los cuatro electrodos [10]. El método se puede utilizar en cualquier tipo de terreno, pero es mejor para terrenos homogéneos.

IV. METODOLOGÍA

Siguiendo adecuadamente la normativa colombiana del RETIE y la NTC (si es necesario se consultará con normativa internacional), determinar con el análisis de riesgo la forma en que serán calculados los sistemas de protección.

Se implementará el método de las esferas rodantes y ángulos de protección para el diseño del apantallamiento, y aplicando el método de Wenner para la implementación SPT.

Con el análisis de riesgo, cálculos para la elaboración del sistema de protección y diseños estructurales previos, consolidar un diseño con ayuda de programas, para detallar correctamente la ubicación de equipos y la forma en que serán implementados en el campo. Finalmente se realiza un presupuesto de obra con respecto a los detalles resueltos por el cálculo y el diseño.

V. RESULTADOS

I. Análisis de nivel de riesgo.

1.1 Evaluación del número anual N de eventos peligrosos.

De acuerdo con la literatura, el número anual N de descargas que afectan un objeto a ser protegido depende de la actividad atmosférica de la región donde está localizado el objeto y de sus características físicas. Este número se acepta generalmente como el producto de la densidad de rayo a tierra (DDT) por el área efectiva del elemento a proteger.

Para el caso de Colombia, la densidad de descargas a tierra (DDT) se determina según la norma NTC 4552. Esta norma establece la forma de medir y calcular la densidad de descargas a tierra para proteger los sistemas eléctricos en el territorio colombiano.

$$DDT = 0,0017 * NC^{1,56}$$

Además, es importante mencionar que para prever la cantidad de descargas eléctricas que pueden afectar un objeto, es necesario conocer el número de días tormentosos al año en una ubicación específica. Para ello, se puede consultar el mapa isoceráunico de Colombia, donde se presenta el número de días tormentosos al año en cada lugar del país. Este mapa es una herramienta útil para determinar la frecuencia de descargas eléctricas en una zona determinada y así tomar las medidas necesarias para proteger los objetos y sistemas que se encuentren allí.

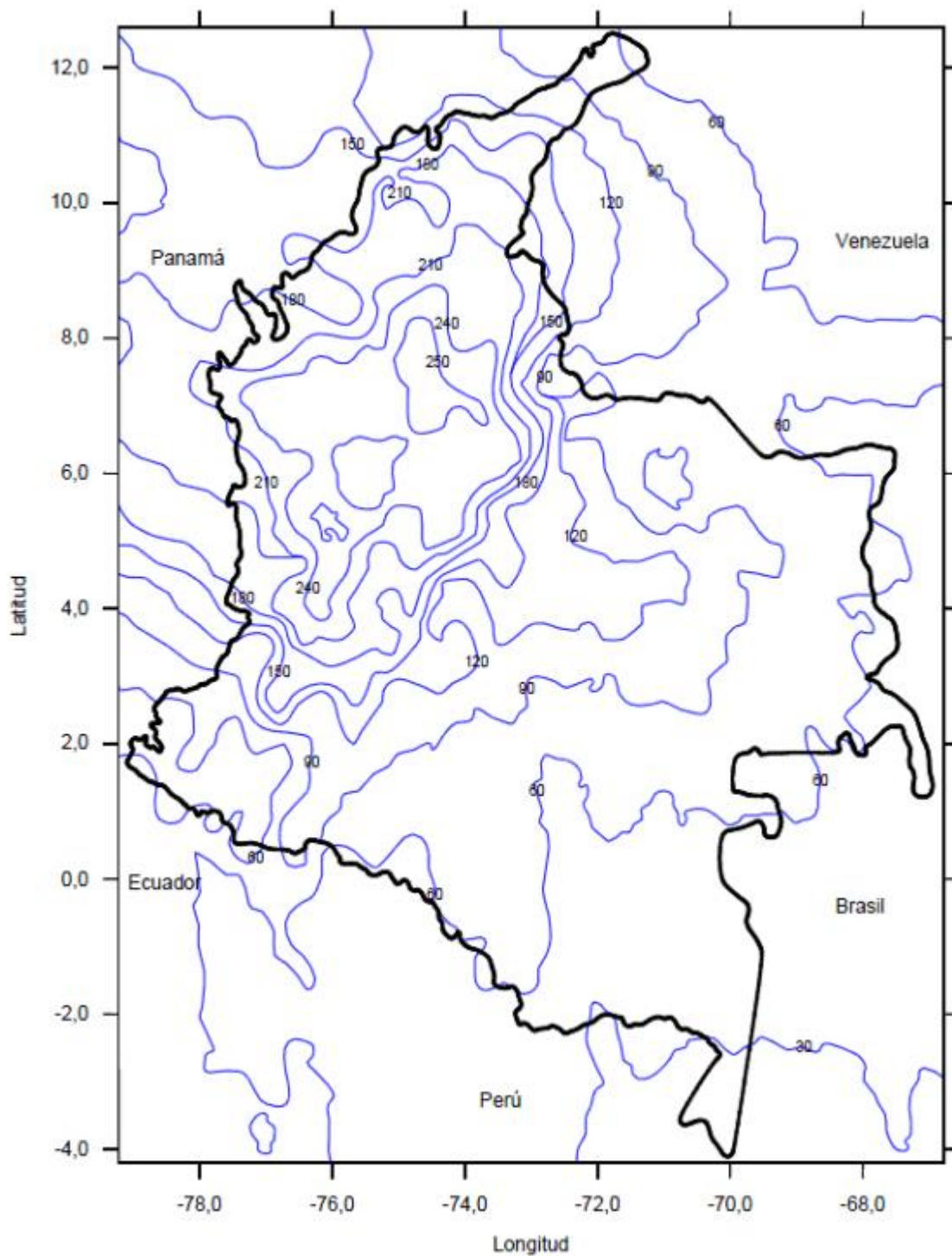


Fig. 1. Mapa isoceránico de Colombia.

Apoyo en la elaboración de un sistema de protección contra rayos en el Hospital de Puerto

Berrio 16

Según lo expresado en la NTC 4552-2, la IEC 62305-2 y los resultados de los cálculos obtenidos por el Software IEC Risk, a continuación, se presenta los resultados obtenidos para la IPS ESE HOSPITAL CÉSAR URIBE PIEDRAHÍTA, teniendo en cuenta una densidad de descargas a tierra de 240 y teniendo presente las características del proyecto.



**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
62305-2
Edition-1
2005-01**

Project: HOSPITAL PUERTO BERRIO

Dimensiones de la estructura:

Longitud de la estructura (m): 80
Anchura de la estructura (m): 114
Altura del plano del tejado (m)*: 8
Área de colección (m2): 20.242 m2

Influencias ambientales:

Situación respecto a los alrededores: Altura similar
Factor ambiental Urbano
Nº de días de tormenta: 88 days/year
Densidad anual equivalente de rayos 8,8 flashes/km2

Características de la estructura:

Riesgo de incendio y daños físicos: Ninguno
Eficacia del apantallamiento: Escasa
Tipo de cableado interno: No apantallado

Medidas de protección:

Clase de SPCR: Nivel III
Protección contra incendios: Sistemas manuales
Protección contra sobretensiones: Coord. según IEC62305-4

Líneas de conducción eléctrica:

Línea eléctrica:

Línea que llega a la estructura: Cable enterrado
Tipo de cable externo: Apantallado
Existencia de transformador MT/BT: Transformador

Otros servicios aéreos:

Número de servicios conducidos: 0
Tipo de cable externo: No apantallado

Otros servicios enterrados:

Número de servicios conducidos: 0
Tipo de cable externo: No apantallado

Tipos de las pérdidas:

Tipo 1 - Pérdidas de vidas humanas:

Riesgos especiales para la vida: Sin riesgos especiales
Por incendios: Hospitales, hoteles,...
Por sobretensiones: Hay sist. de seguridad críticos

Tipo 3 - Pérdidas de patrimonio cultural:

Por incendios: Sin valor histórico

Tipo 2 - Pérdidas de servicios esenciales:

Por incendios: No hay servicios esenciales
Por sobretensiones: No hay servicios esenciales

Tipo 4 - Pérdidas económicas:

Riesgos económicos especiales: Sin riesgos especiales
Por incendios: Hospitales, hoteles
Por sobretensiones: Hospital, hotel, oficina
Por tensión de paso/contacto Sin riesgo de schock
Riesgo tolerable de pérd. económ.: 1 en 1000 años

Riesgos calculados:

	<i>Tolerable Risk Rt</i>	<i>Direct Strike Risk Rd</i>	<i>Indirect Strike Risk Ri</i>	<i>Calculated Risk R</i>
Pérdidas de vidas humanas:	1,00E-05	1,16E-07	7,94E-07	9,10E-07
Pérdidas de serv. públicos:	1,00E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Pérdidas de patrimonio:	1,00E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Pérdidas económicas:	1,00E-03	2,67E-05	7,93E-04	8,20E-04

Fig. 2. Resultados del IEC Risk.

Después de analizar los resultados anteriores, se ha llegado a la conclusión de que, para un nivel isocerámico de 240, las medidas de protección recomendadas para reducir el riesgo de pérdidas humanas y económicas debido a las descargas atmosféricas son las siguientes:

- Implementar un sistema de protección externa contra rayos con nivel de protección III.
- Realizar una correcta coordinación de protecciones con dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), según la norma IEC 62305-4.
- Ubicar apropiadamente sistemas manuales (extintores) para garantizar la protección contra incendios.

Es importante tener en cuenta que la corriente nominal de descarga debe ser mayor que el valor establecido en la **TABLA.1** de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC 4552-1, y que esta corriente se refiere al valor máximo de la corriente de impulso para la cual el DPS ha sido diseñado sin superar el nivel de protección en tensión.

TABLA I
CORRIENTE NOMINAL DE DESCARGA POR FASE

Nivel de protección	DPS con Onda de prueba	
	10/350 μ s	8/20 μ s
IV	2kA	20kA
III	5Ka	50kA
II	12,5kA	125kA
I	=>12,5kA	=>125kA

Nota: Los valores en la tabla son aplicables por cada conductor activo en el punto de conexión de la acometida.

1.2 Selección de dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS)

Los DPS son dispositivos diseñados para limitar las sobretensiones transitorias y dispersar las sobre corrientes transitorias. Estos equipos deben resistir una parte de la corriente del rayo que circula a través de ellos sin sufrir daños, y pueden tener la capacidad de extinguir la potencia eléctrica generada por la corriente del sistema de energía.

En este proyecto en particular, se ha llevado a cabo una coordinación de protecciones con DPS, siguiendo las pautas establecidas por la norma IEC 62305-4. La información para realizar este análisis fue proporcionada por el señor Jorge Eliécer George, quien es parte del personal de mantenimiento eléctrico del hospital y fue asignado para realizar un recorrido y entregar la información solicitada. Es importante destacar que el hospital no cuenta con un diagrama unifilar de las instalaciones eléctricas.

En conclusión, se ha llevado a cabo una coordinación de protecciones con DPS en el proyecto de Apantallamiento y Sistema de Protección Interna en la IPS ESE Hospital César Uribe Piedrahíta, siguiendo los lineamientos establecidos por la norma IEC 62305-4. Esta medida es esencial para limitar las sobretensiones y proteger las instalaciones eléctricas del hospital.

1.2.1 Protección para ML principal

DPS CLASE I+II -REF 3x961115+1x961105+3X952092 - DB M 3 150 FM + DGP M 255 FM + DG S 3 150 FM – DX -IEC 61643 11 - UC 150V - UP \leq 0,7 Kv - 8/20 40 kA - 10/350 100 KA - Configuración 3 + 1 + Señalización Expandido

1.2.2 Protección para Tableros Secundarios Trifásicos

DPS CLASE II -REF 952 323 - DG M TT 150 -IEC 61643 11 - UC 150V - UP \leq 0,7 Kv - 8/20 40 kA - Configuración 3 + 1 Señalización Expandido

1.2.3 Protección para Tableros Secundarios Monofásicos tetrafilares

DPS CLASE II -REF 2x952092+1x952035 - DG S 2 150 FM + DGP C S FM – DX - IEC 61643 11 - UC 150V - UP \leq 0,7 Kv - 8/20 40 kA - Configuración 2 + 1 + Señalización Expandido.

2. Sistema de protección externo (SPE)

2.1 Sistema de captación

El sistema de captación de rayos que se utilizará, estará compuesto por puntas de captación ubicadas siguiendo el método de la esfera rodante, como se establece en la norma NTC 4552-3.

Este método garantiza que las puntas de captación se posicionen de manera que la esfera nunca toque ninguna parte de la estructura, asegurando así que la esfera siempre esté soportada por algún elemento del sistema de captación.

El radio de la esfera rodante a utilizar dependerá del nivel de protección requerido, según lo establecido en la **TABLA 2.** de la norma NTC 4552-1.

TABLA 2
VALORES MAXIMOS DEL RADIO DE LA ESFERA
RODANTE SEGÚN NIVEL DE PROTECCION

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

Teniendo en cuenta el tipo de estructura, se utilizará el método del ángulo de protección de acuerdo con la IEC62305-3 como se muestra en la Fig. 3

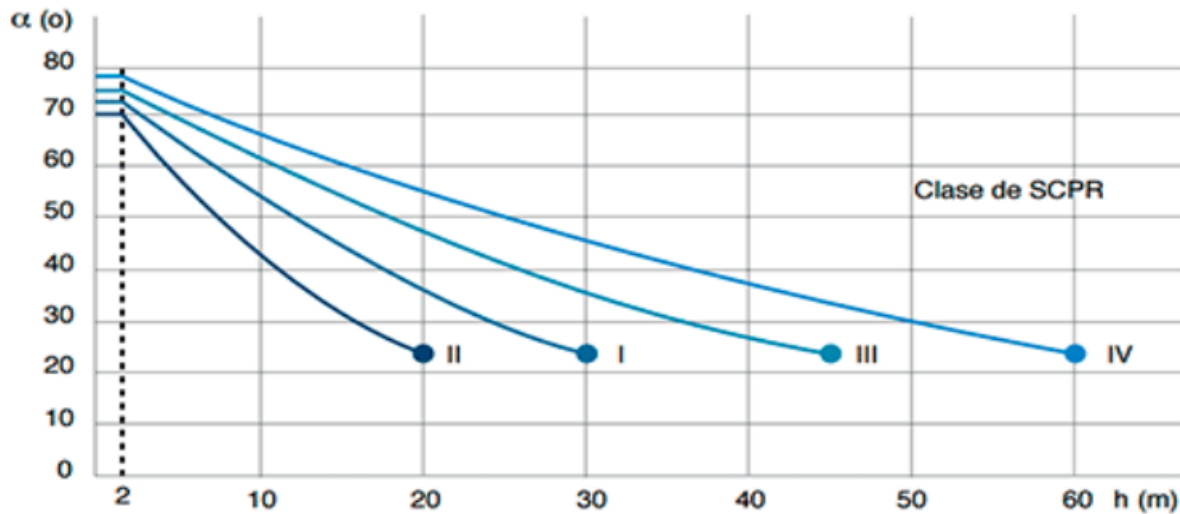


Fig. 3. Relación de ángulo de protección según clase de SCPR.

Según la TABLA. 2 anterior y considerando que el Sistema de Clasificación de Protección de Edificios (SCPR) es III, se ha determinado que para una altura de 9 metros el ángulo de protección correspondiente es de 65 grados.

Antes de implementar el método de la esfera rodante y el ángulo de protección mencionados, se presenta un detalle en forma de modelado 3D del proyecto: IPS ESE HOSPITAL CÉSAR URIBE PIEDRAHÍTA en la **Fig.4** . Este modelo se utilizará para realizar el estudio necesario y proteger el edificio contra descargas eléctricas de origen atmosférico.

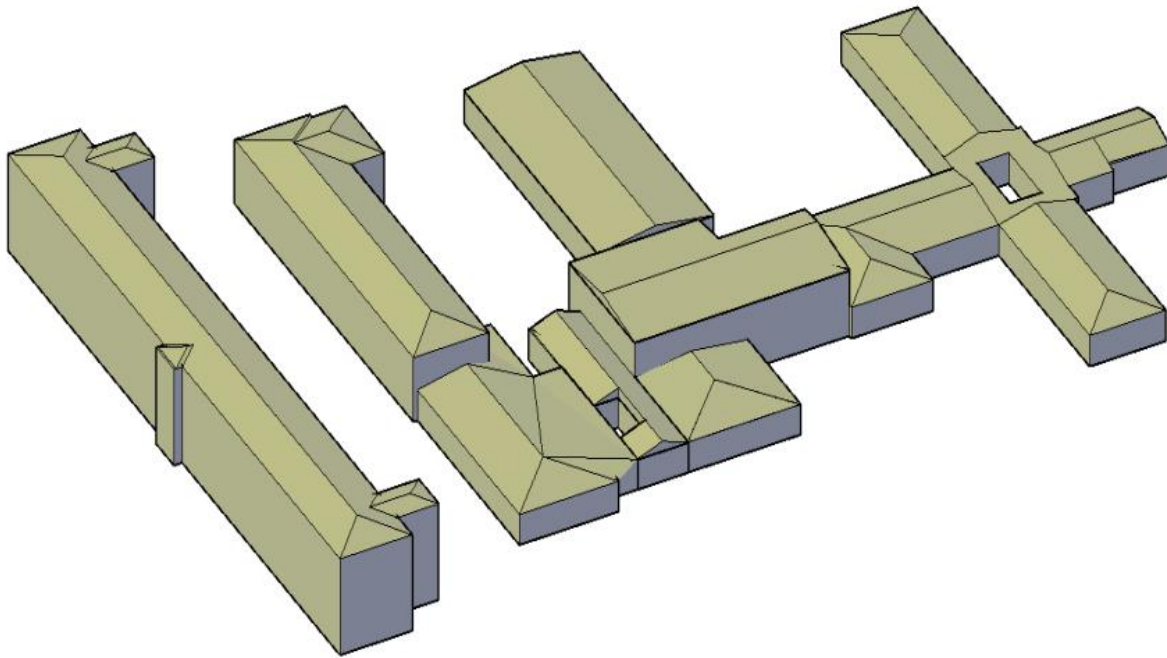


Fig. 4. Modelo 3D Proyecto SPE IPS ESE HOSPITAL CESAR URIBE PIEDRAHITA.

La distribución del sistema de protección externo al igual que la verificación de los métodos de la esfera rodante y el ángulo de protección se ilustran en las **Fig. 5, 6, 7**.

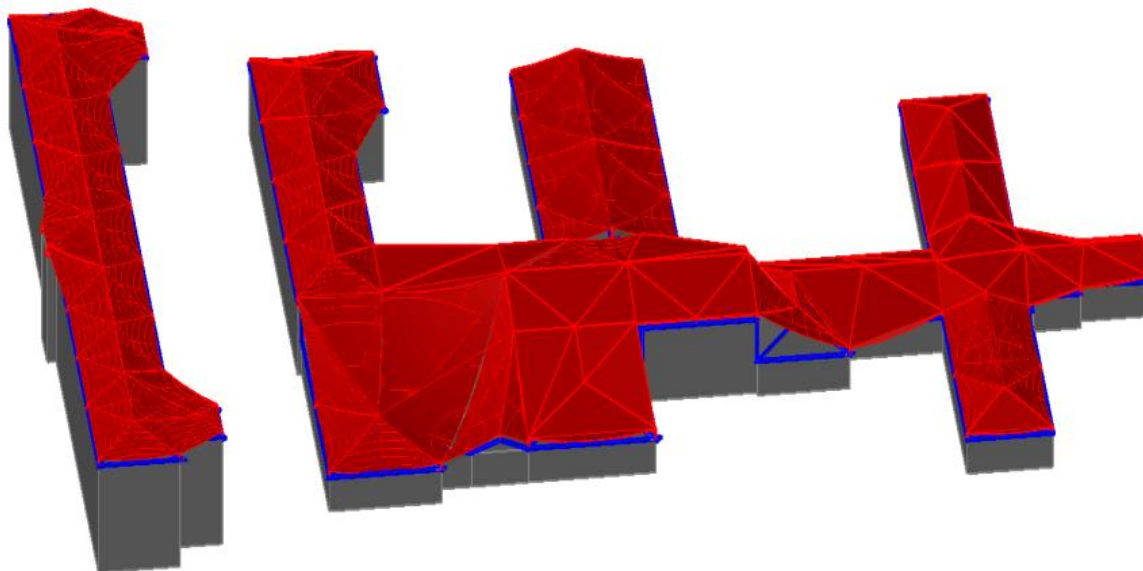


Fig. 5. Método de esfera rodante.

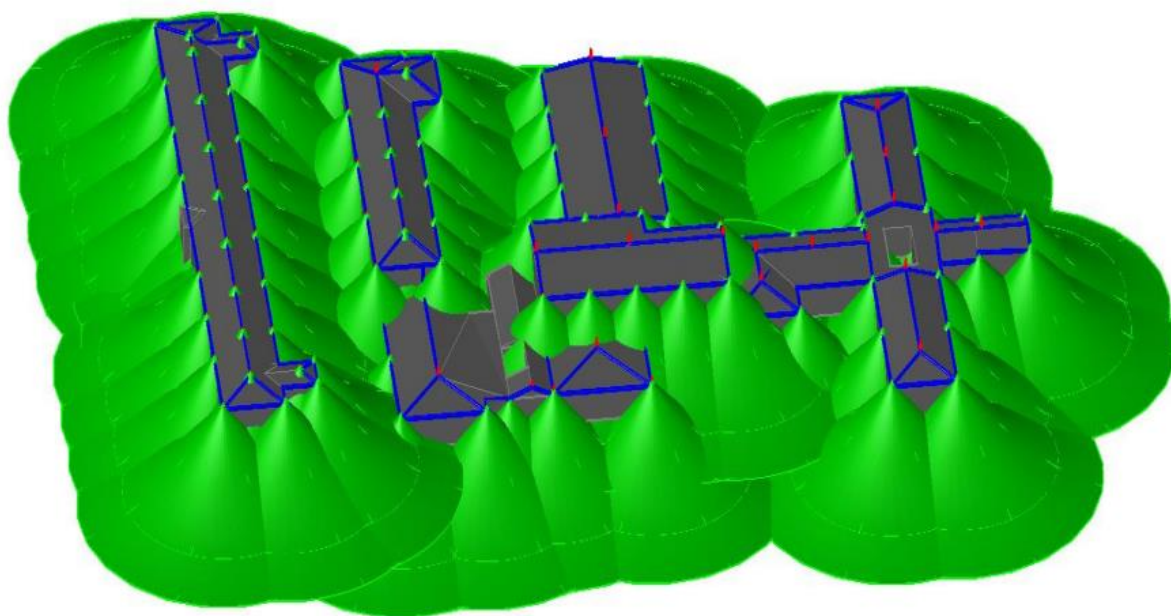


Fig. 6. Método del Angulo de protección.

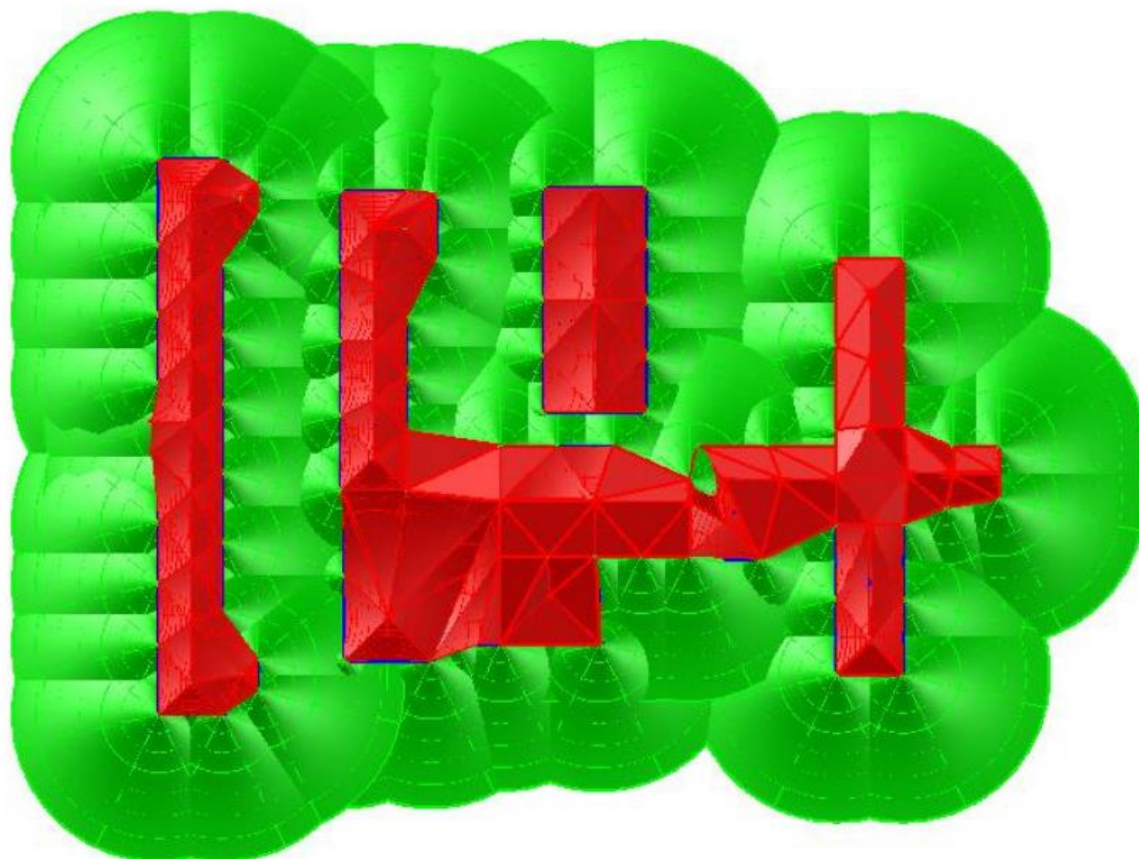


Fig. 7. Vista en planta del apantallamiento realizado.

4.2 Sistema de conductores bajantes

Un sistema de protección externo contra rayos requiere un conjunto de conductores bajantes distribuidos en diferentes trayectos paralelos a fin de minimizar el riesgo de daño por corrientes de rayos en el sistema externo de protección. También es importante reducir la longitud de los caminos de los bajantes. En cada sistema de protección externo, el número mínimo de bajantes debe ser dos y se deben distribuir alrededor del perímetro de la estructura a proteger, de acuerdo con las limitaciones prácticas y arquitectónicas. La geometría de la estructura puede afectar la distancia de los anillos conductores y los bajantes. Sin embargo, se recomienda tener en cuenta la distancia de separación para los bajantes según el nivel de protección indicado en la NTC 4552-3 **TABLA. 3**. Elementos como perfiles o rieles metálicos, así como el acero del concreto reforzado pueden ser considerados como conductores bajantes naturales, siempre y cuando haya una unión sólida entre todas las interconexiones.

TABLA 3
DISTANCIA DE SEPARACIÓN PROMEDIO PARA LAS BAJANTES

Nivel de protección	Distancia típica promedio (m)
NIVEL IV	20
NIVEL III	15
NIVEL II	12
NIVEL I	10

En la Fig. 8 se muestra más a detalle la forma en que se deben disponer los bajantes para el SPE IPS ESE HOSPITAL CÉSAR URIBE PIEDRAHÍTA

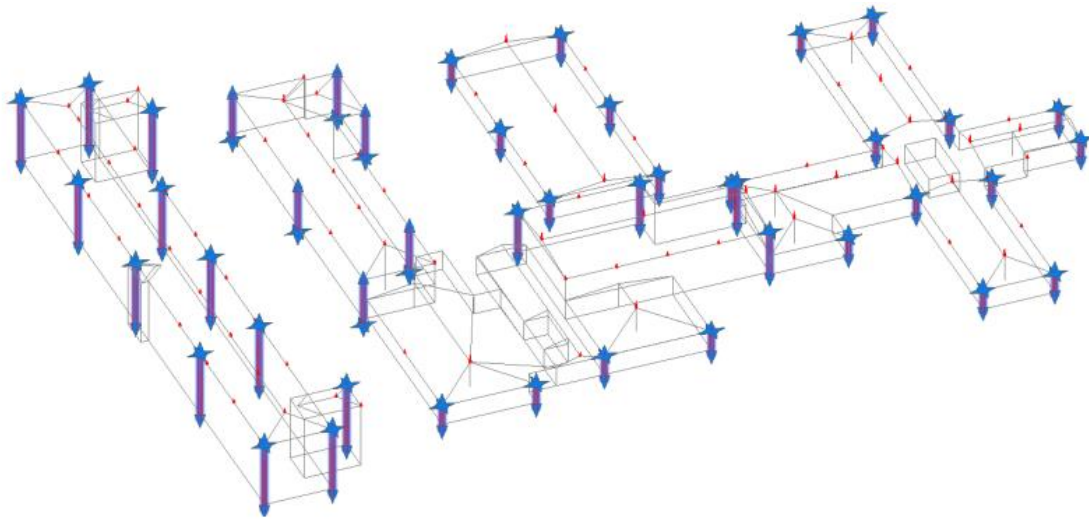


Fig. 8. Disposición de bajantes.

5. Aislamiento eléctrico del sistema de protección.

El aislamiento eléctrico entre los pararrayos o las bajantes respecto a: partes metálicas internas, sistemas eléctricos, líneas de telecomunicaciones a ser protegidas, puede ser logrado mediante distancias de separación S entre las partes así:

$$s > ki \frac{kc}{km} l (m)$$

En donde:

ki = Depende del nivel de protección del sistema de protección contra rayos

Apoyo en la elaboración de un sistema de protección contra rayos en el Hospital de Puerto

Berrio 25

TABLA 4
FACTOR K_i

Clase de SIPRA	k_i
I	0,08
II	0,06
III-IV	0,04

Teniendo en cuenta el nivel de protección en III tenemos que k_i : 0,04

k_c = Depende del flujo de corriente por los conductores bajantes

TABLA 5
FACTOR K_c

Numero de bajantes	k_c
1	1
2	1... 0,5
4 o más	1... 1/n

Teniendo en cuenta el número de bajantes es 44 tenemos que k_c :0,023

k_m = Depende del aislamiento entre las partes

TABLA 6

Material	k_i
Aire	1
Concreto	0,5

Nota: cuando hay algunos materiales aislantes en serie es una buena práctica usar el mas bajo de k_m . El uso de otros materiales aislantes está bajo consideración.

Asumiendo que el aislamiento entre las partes es aire tenemos que k_m : 1

$l=70m$ Es la longitud en metros, a lo largo del elemento captador o el conductor bajante, medido desde el punto de distancia de separación bajo consideración y la unión equipotencial más cercana. Por tanto, se concluye que el sistema de apantallamiento comprendido por; puntas captadoras, anillos equipotencializadores y bajantes en la cubierta de la edificación deben estar separados como mínimo 10 cm de los sistemas eléctricos, líneas de telecomunicaciones, antenas parabólicas o elementos metálicos.

6. Medidas de protección contra tensiones de contacto y paso.

En ciertas condiciones, la cercanía de los conductores bajantes de un SIPRA, a las afueras de una estructura, podría ser riesgosa para la vida, incluso si el SIPRA ha sido construido adecuadamente.

El riesgo es reducido a un nivel tolerable si una de las siguientes condiciones es realizada:

- a) Si la probabilidad de personas próximas a la estructura, o la duración de su presencia fuera de la estructura y cerca de los conductores bajantes es bastante baja. (Esta condición no se puede cumplir debido a que como es una instalación existente los bajantes serán expuestos en tuberías IMC de 3/4" sin embargo, con el fin de minimizar el riesgo se propone cubrir con termo encogible especial los 3 primeros metros de cada Bajante).
- b) Si el sistema natural de conductores bajantes consiste en muchas columnas con marcos metálicos en la estructura o de gran cantidad de acero interconectado a la estructura, con continuidad eléctrica asegurada. (Esta condición no se puede garantizar para el proyecto "SPE IPS ESE HOSPITAL CÉSAR URIBE PIEDRAHÍTA" debido a que es una instalación existente).
- c) Si la resistividad de la capa superficial del suelo, a 3 m de un conductor bajante, no es inferior a 5 000 Ωm . NOTA Una capa de material aislante por ejemplo asfalto de 5 cm. de espesor (o una capa de grava de 15 cm. de Espesor) generalmente reduce el riesgo a un nivel tolerable (Esta condición no se puede garantizar debido a que es una edificación existente y no cumple con estas características) Adicional a lo anterior se adoptan medidas de protección contra daños a seres vivos debidos a tensiones de contacto o de paso, como se describe a continuación:

- Se deberán instalar avisos de advertencia, REF. THT EL-25-483-1-AV (o similar) en los puntos por donde pasan los bajantes, esto con el fin de que las personas permanezcan lo más alejados posibles de los bajantes
- Se deberán aislar los 3 primeros metros del conductor bajante en termoencogible REF. GMB 30/12 M con soportabilidad de 100 KV.

7. Sistema puesta a tierra (SPT).

Un adecuado sistema de puesta a tierra está diseñado con el objetivo de garantizar seguridad a las personas y los equipos que puedan estar expuestos a tensiones dañinas en el caso de presentarse fallas a tierra. En el presente diseño se tiene en cuenta que el RETIE exige que toda instalación eléctrica, cubierta por este reglamento, debe disponer de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), de manera que cualquier punto del interior o exterior, normalmente accesible a personas que puedan transitar o permanecer allí, no estén sometidos a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla. Según el RETIE el calibre mínimo permitido para el conductor de la malla a tierra debe estar entre 1/0 y 500 MCM. Por tal motivo el conductor que se utilizará para la construcción de contrapesos del SPT será 1/0 AWG de cobre desnudo, el cual tiene un diámetro de 9.47 mm² Como lo indica la Fig. 9.

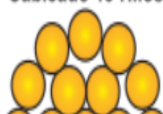
Cableado	Calibre	Diámetros (mm)			Peso Total Aprox. (kg/km)	Cobre Duro (4)			Cobre Suave (4)			Capacidad de Corriente	
		Hilos	Cable	RMG		Carga de Rotura (kg)	Resistencia (Ohm/km)		Carga de Rotura(1) (kg)	Resistencia (Ohm/km)		(2) A	CC(3) kA
							DC a 20°C	AC a 75°C		DC a 20°C	AC a 75°C		
 Cableado 19 Hilos	1/0 AWG	1,89	9,47	3,59	484,9	2223	0,342	0,413	1080	0,329	0,400	315	11,7
	2/0 AWG	2,13	10,63	4,03	611,4	2790	0,271	0,328	1362	0,261	0,317	365	14,8

Fig. 9. Disposición de bajantes.

7.1 Medidas de resistividad del terreno

En la tabla 5 se muestran los valores de resistividad del suelo obtenidos en cada una de las rutas y distancias de separación entre electrodos, siguiendo lo descrito por el método de Wenner, además se muestran los resultados de resistividad simulados con ayuda del software CYMGRD.

TABLA 7
MEDIDAS DE RESISTIVIDAD [OHM.M]

Profundidad [m]	Ruta 1	Ruta 2	Ruta3	Promedio	CYMGRD*
1	13,32	2,45	20,8	12,19	12,43
2	5,69	19,13	9,99	11,60	10,98
3	5,42	16,30	8,4	10,04	10,03
4	6,14	13,74	7,14	9,01	9,54
5	7,72	11,31	8	9,01	9,26
6	8,1	10,65	8,58	9,11	9,10
7	9,45	9,7	8,38	9,18	9,01
8	9,64	9,61	8,7	9,32	8,95

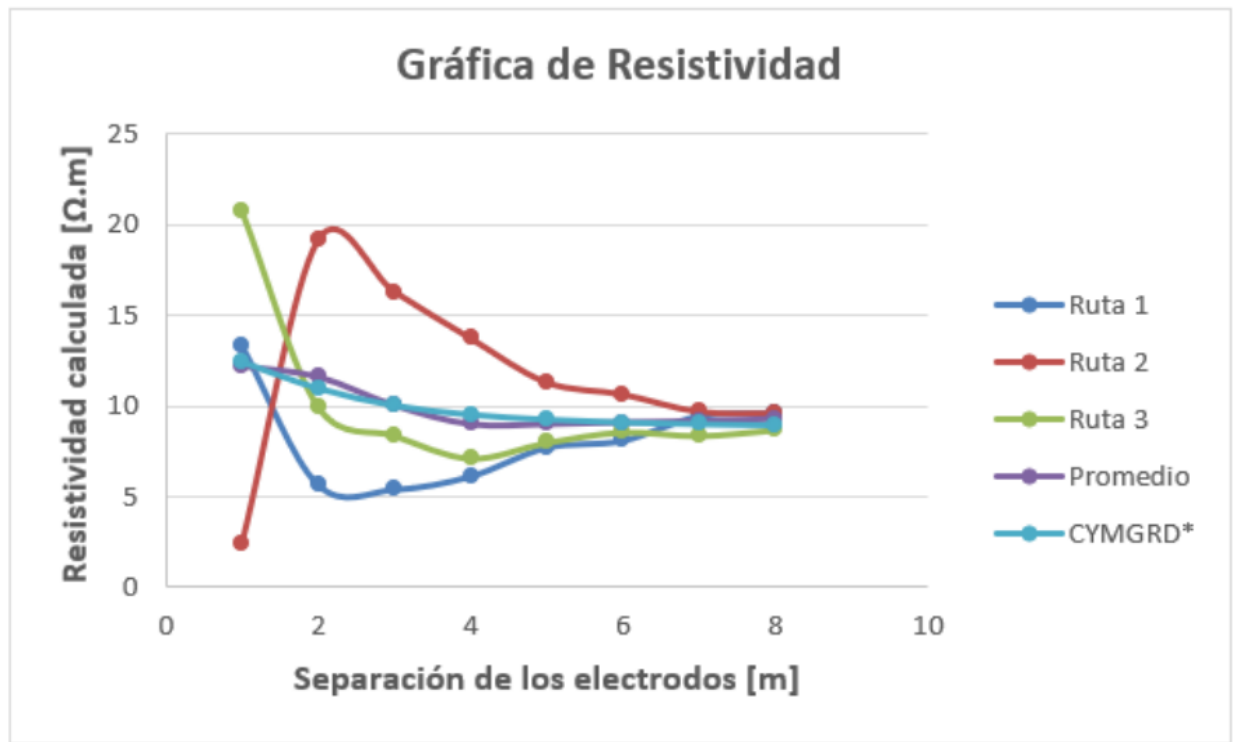


Fig. 10. Resistividad Vs Separación de electrodos en Wenner.

El modelo del suelo calculado es:

- Resistividad capa superior $\rho_1 = 13.1 \Omega.m$
- Resistividad capa inferior $\rho_2 = 8.76 \Omega.m$
- Espesor capa superficial $h = 1.18 m$

7.2 Esquema general del SPT para la IPS ESE Hospital Cesar Uribe Piedrahita.

En la Fig.11, se muestra la geometría del SPT que se propone para la IPS ESE HOSPITAL CÉSAR URIBE PIEDRAHÍTA, donde cada electrodo de puesta a tierra tiene una longitud de 2.4m, cumpliendo con esto lo descrito por la IEEE-80 y finalmente se muestran las colas que tienen como finalidad comunicarse con los bajantes del sistema de Apantallamiento.

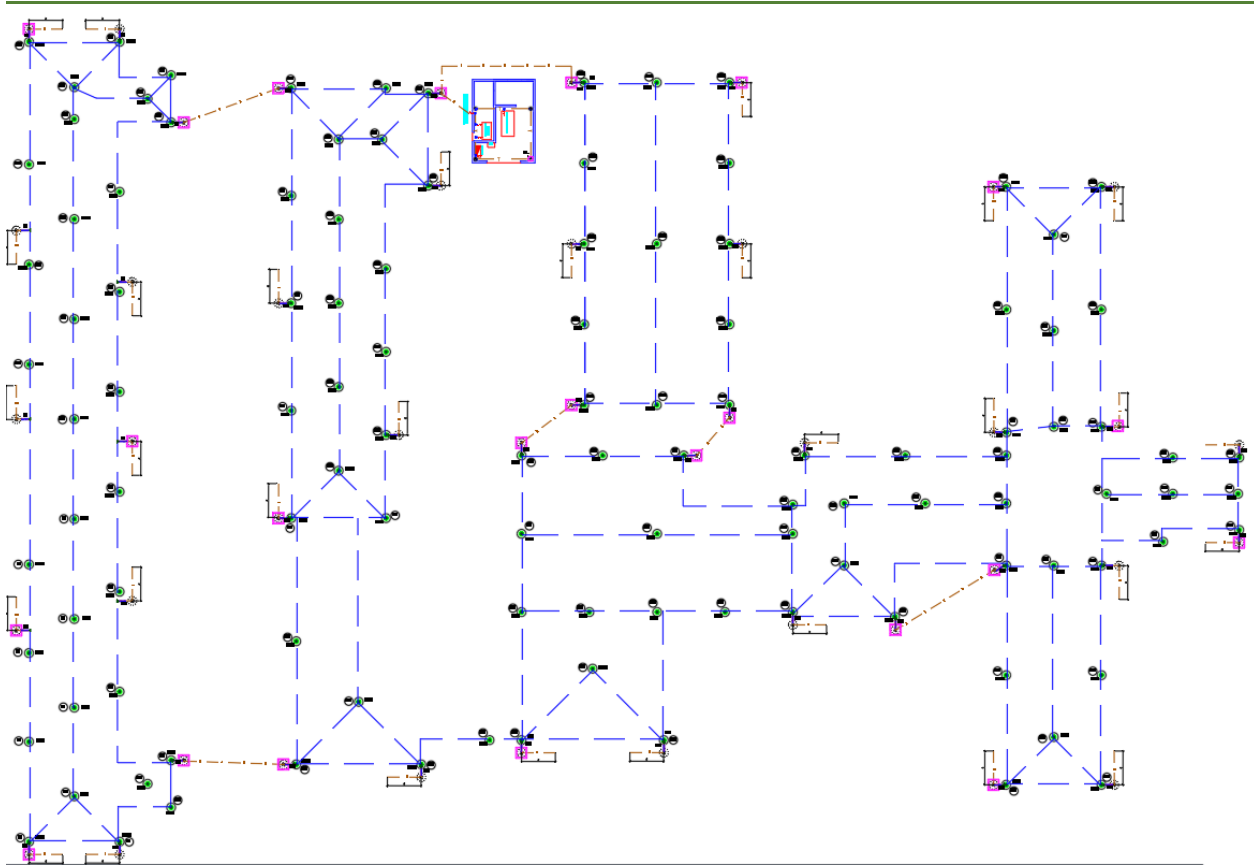


Fig. 11. SPT Para IPS ESE HOSPITAL CÉSAR URIBE PIEDRAHÍTA.

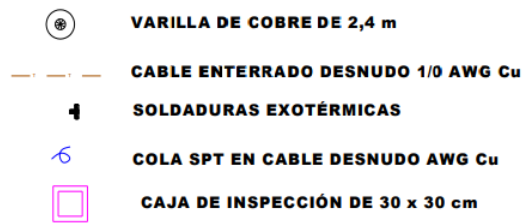


Fig. 12. Convenciones utilizadas para la puesta a tierra.

7.3 Resistencia de puesta a tierra para la IPS ESE Hospital Cesar Uribe Piedrahita

El valor de resistencia de puesta tierra que se obtuvo teniendo en cuenta la geometría mostrada en la figura 9 y con ayuda del software Cyme Ground es de 1Ω , valor que se encuentra por debajo del valor máximo recomendado por el RETIE

8. Especificaciones de montaje.

- Las puntas de captación deben estar a no más de 18 cm del borde de la cubierta, manteniendo así los niveles de protección indicados en el presente estudio (NFPA 780).
- Todo elemento metálico que sobresalga sobre la estructura debe tratarse como punta de captación y por ello debe conectarse al anillo equipotencializador, conductor sólido de aluminio de 8mm. El tipo de fijación a emplearse en el elemento metálico dependerá de su material y características.
- En las bajantes se debe evitar la formación de lazos o curvaturas en su trayectoria y en caso de que estas últimas sean inevitables, su ángulo interior no debe ser menor a 90° y su radio de curvatura no menor a 200 mm.

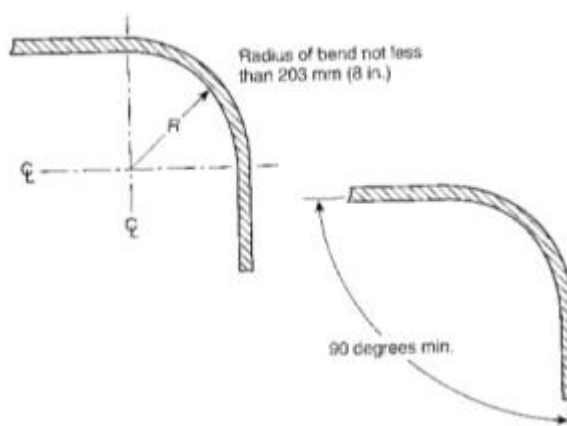


Fig. 13. Lazos o curvaturas en trayectoria de bajantes.

- No se permite ubicar las bajantes en los ductos de ascensores o conductos internos a la edificación.
- Los bajantes del SPE se unirán con un Conector de aluminio variable al anillo superior en conductor sólido de aluminio y se unirá en tierra física con el sistema de puesta a tierra por medio de soldadura exotérmica o conector certificado.
- El uso de tubería galvanizada en caliente es recomendado cuando las bajantes del SPE se encuentran expuestas, en caso de estas ir por mampostería o buitrones no eléctricos (no se deben ubicar nunca por los eléctricos o cerca de ellos), pueden ir en tubería PVC.
- Las partes conductoras que conformen el sistema de puesta a tierra que se encuentren a menos de 1,8 m de las bajantes se debe unir a esta.
- Cuando por requerimientos de un edificio existan varias puestas a tierra, todas ellas deben estar interconectadas eléctricamente, según criterio adoptado de IEC – 61000 –5 -2. Esta interconexión puede hacerse por encima o por debajo del nivel del piso. (Capítulo II, artículo 15 RETIE.)
- Las varillas de puesta a tierra deben enterrarse en su totalidad, de tal manera que se facilite la unión al cableado de la puesta a tierra. La parte superior del electrodo debe quedar a mínimo 15cm de la superficie.

- Las conexiones que van bajo el nivel del suelo en puestas a tierra, deben ser realizadas mediante soldadura exotérmica o conector certificado para enterramiento directo y demás condiciones de uso conforme a la norma IEEE 837 o NTC 2206.
- Las conexiones que van bajo el nivel del suelo en puestas a tierra, deben ser realizadas mediante soldadura exotérmica o conector certificado para enterramiento directo y demás condiciones de uso conforme a la norma IEEE 837 o NTC 2206.

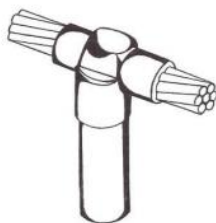


Fig. 14. Soldadura exotérmica para emplear en las uniones de la puesta tierra.

- Los elementos metálicos principales que actúan como refuerzo estructural de una edificación deben tener una conexión permanente con el sistema de puesta a tierra general, empleando para esto, cable de cobre No. 1/0 AWG.
- Deben repetirse las soldaduras (en la puesta a tierra) que no presenten uniformidad o si presentan porosidad superior al 20%.
- Para verificar las características del electrodo de puesta a tierra y su unión con la red equipotencial se deben dejar puntos de conexión y medición accesible. Cuando para este efecto se construyan cajas de inspección sus dimensiones deben ser mínimo de 30cm x 30cm, o de 30cm de diámetro con tapa, la cual debe ser removible.

9. Guía de seguridad personal durante tormentas eléctricas según anexo F de la NTC 4552-1.

Cuando se tenga indicios de tormenta eléctrica es recomendable, como medida de protección tener en cuenta las siguientes instrucciones.

- Busque refugio en el interior de vehículos, edificaciones, y estructuras que ofrezcan protección contra rayos.
- A menos que sea absolutamente necesario, no salga al exterior ni permanezca a la intemperie durante una tormenta eléctrica.
- Permanezca en el interior del vehículo, edificación o estructura hasta que haya desaparecido la tormenta.

- Aléjese de estos sitios en caso de tormenta eléctrica:
 - Terrenos deportivos y campo abierto.
 - Piscinas, playas y lagos.
 - Cercanía a líneas de transmisión eléctrica, cables aéreos, vías de ferrocarril, tenderos de ropa, mallas eslabonadas y vallas metálicas.
 - Árboles solitarios

10. Detalles de construcción.

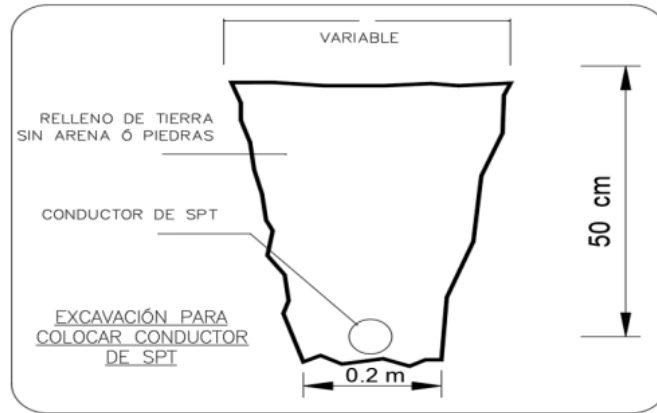


Fig. 15. Excavación para instalación de cables de SPT.

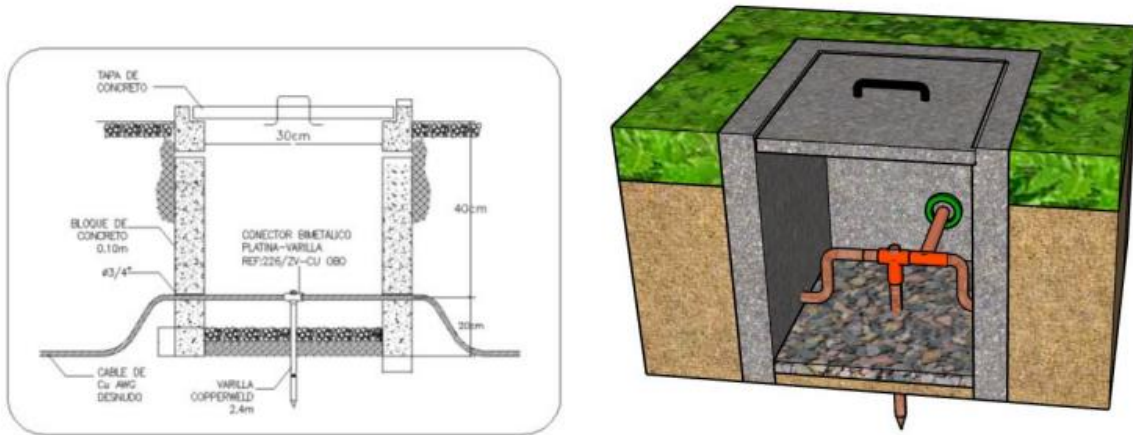


Fig. 16. Caja de inspección SPT.

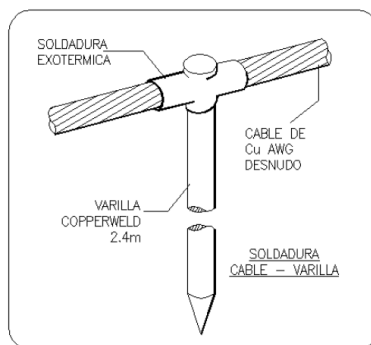


Fig. 17. Soldadura cable- varilla.

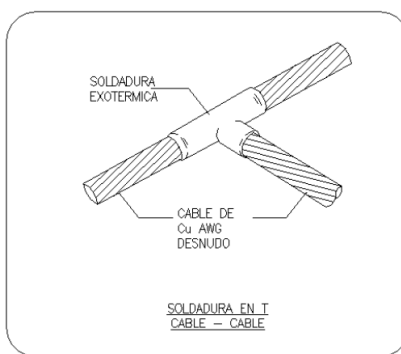


Fig. 18. Soldadura cable-cable en T.

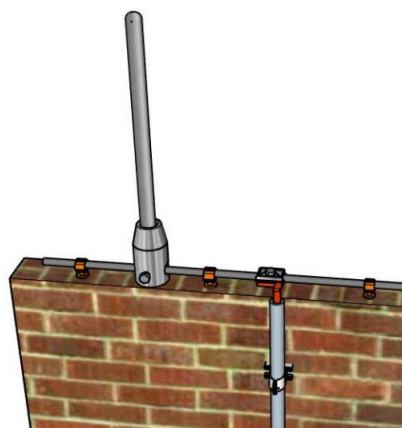


Fig. 19. Punta Captadora y Bajante.

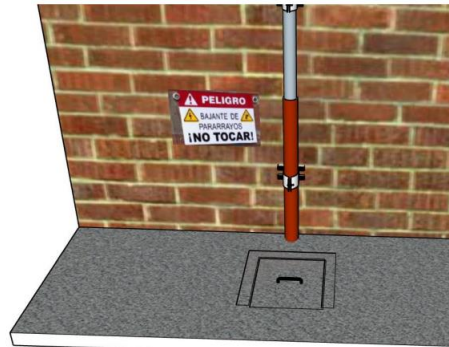


Fig. 20. Detalle para realizar Bajante a SPT y Señalización.

10. Presupuesto del proyecto

TABLA 8

PRESUPUESTO DE OBRA SPE Y SPT, HOSPITAL PUERTO BERRIO

SISTEMA DE APANTALLAMIENTO, HOSPITAL PUERTO BERRIO			
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Suministro, transporte e instalación de cable 1/0 AWG - CU DESNUDO para sistema puesta a tierra, no Incluye excavación de terreno ni obras civiles.	m	368
2	Suministro, transporte e instalación de varilla Copperweld de 5/8" x 2,4m. No Incluye excavación ni obra civil.	UN	46
3	Suministro e instalación de soldadura Cadwell o exotérmica 115 gramos .Incluye todos los elementos necesarios para su correcta instalación.	UN	55
4	Suministro, transporte e instalación de caja de piso 30x30 cm para inspección. Incluye excavación, botada de material sobrante, concreto, mortero, bloques de concreto ,herraje tipo pesado, tapa tipo pesado y demás elementos necesarios para su correcta instalación.	UN	21
5	Suministro, transporte e instalación de tubería metálica galvanizada tipo IMC , diámetro 3/4"expuesta. Incluye elementos de fijación (Abrazadera galvanizada),	m	416

Apoyo en la elaboración de un sistema de protección contra rayos en el Hospital de Puerto

Berrio 36

	uniones y demás elementos necesarios para su correcta instalación.		
6	Suministro, transporte e instalación de funda termo encogible ref: gmb 30/12 , para mínimo 100 kv 1,2/50us según ntc4552-3 (8.1 medidas de protección contra tensiones de contacto y paso en bajantes.	m	139
7	Suministro, transporte y montaje de cable 1/0 AWG - CU DESNUDO para Bajantes de sistema de apantallamiento , Incluye accesorios necesarios para su correcto instalación.	m	485
8	Suministro, transporte e instalación de CONECTOR VARIABLE BIMETÁLICO Obo Bettermann Ref: 249/ZV equivalente.	UN	46
9	Suministro, transporte e instalación de CONECTOR VARIABLE DE ALUMINIO Obo Bettermann Ref: 249/ALU equivalente.	UN	64
10	Suministro, transporte e instalación de SOPORTE TIPO ANILLO en poliamida protegido contra UV para conductor sólido de aluminio 8-10 mm, marca Obo Bettermann Ref: 177/30 o equivalente incluye zócalo o base Ref: 194 o equivalente y sistema de fijación con adhesivo de polimerización bajo humedad tipo Flex 310 Weicon o equivalente.	UN	1,700
11	Suministro, transporte e instalación de CONDUCTOR SÓLIDO TIPO ALAMBRÓN DE ALUMINIO DE 8mm marca Obo Bettermann Ref:AL-ALU 8mm o equivalente.	m	1,700
12	Suministro, transporte e instalación de SOPORTE TIPO PATA LARGA ABISAGRADO galvanizado en caliente marca GALCO o equivalente incluye sistema de fijación con adhesivo de polimerización bajo humedad tipo Flex 310 Weicon o equivalente.	UN	125
13	Suministro, transporte e instalación de PUNTA CAPTORA roscada de Aluminio de 16mm x60 cm de altura con base de aluminio Obo Bettermann Ref: 101/ALU 80-DX o equivalente.	UN	125
14	Suministro, transporte e instalación de PUNTA CAPTORA roscada de Aluminio de 16mm x100 cm de altura con base de aluminio Obo Bettermann.	UN	2

Apoyo en la elaboración de un sistema de protección contra rayos en el Hospital de Puerto

Berrio 37

15	Suministro, transporte e instalación de PUNTA CAPTORA roscada de Aluminio de 16mm x120 cm de altura con base de aluminio Obo Bettermann.	UN	21
16	Suministro de molde Cable - Varilla. (Cable de cobre N° 1/0)	UN	2
17	Suministro de molde Cable - Cable. (Cable de cobre N° 1/0)	UN	2
18	Suministro e instalación de placa Grabada en acero Inoxidable de 24x18 cm con perforaciones y con señal de riesgo Eléctrico	UN	42
19	Suministro e instalación de DPS CLASE I+II -REF 3x961115+1x961105+3X952092 - DB M 3 150 FM + DGP M 255 FM + DG S 3 150 FM – DX -IEC 61643 11 - UC 150V - UP ≤ 0,7 Kv - 8/20 40 kA - 10/350 100 KA - Configuración 3 + 1 + Señalización Expandido, incluye accesorios de instalación. Marca DENH o equivalente. Para el ML Principal, Incluye: Caja, totalizador, cableado, terminales y todos los elementos que sean necesarios para su correcta instalación.	UN	1
20	Suministro e instalación de DPS CLASE II -REF 952 323 - DG M TT 150 -IEC 61643 11 - UC 150V - UP ≤ 0,7 Kv - 8/20 40 kA - Configuración 3 + 1, incluye accesorios de instalación. Marca DENH o equivalente. Para tableros secundarios trifásicos con Régimen de puesta a tierra TN-S, Incluye: Caja, totalizador, cableado, terminales y todos los elementos que sean necesarios para su correcta instalación.	UN	2
21	Suministro e instalación de DPS CLASE II -REF 2x952092+1x952035 - DG S 2 150 FM + DGP C S FM – DX - IEC 61643 11 - UC 150V - UP ≤ 0,7 Kv - 8/20 40 kA - Configuración 2 + 1 + Señalización Expandido, incluye accesorios de instalación. Marca DENH o equivalente. Para tableros secundarios Monofásicos tetrafilares con Régimen de puesta a tierra TN-S, Incluye: Caja, totalizador, cableado, terminales y todos los elementos que sean necesarios para su correcta instalación.	UN	17
22	Construcción de brecha con profundidad mínimo de 50 cm en piso de concreto, Incluye posterior resane de piso	ml	254

Apoyo en la elaboración de un sistema de protección contra rayos en el Hospital de Puerto

Berrio 38

SISTEMA DE PUESTA
A TIERRA DE
SUBESTACIÓN,
HOSPITAL PUERTO
BERRIO

Item	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Suministro, transporte e instalación de cable 1/0 AWG - CU DESNUDO para sistema puesta a tierra, no Incluye excavación de terreno ni obras civiles.	m	33
2	Suministro, transporte e instalación de varilla Copperweld de 5/8" x 2,4m. No Incluye excavación ni obra civil.	UN	4
3	Suministro e instalación de soldadura Cadwell o exotérmica 115 gramos. Incluye todos los elementos necesarios para su correcta instalación.	UN	8
4	Suministro, transporte e instalación de caja de piso 30x30 cm para inspección. Incluye excavación, botada de material sobrante, concreto, mortero, bloques de concreto ,herraje tipo pesado, tapa tipo pesado y demás elementos necesarios para su correcta instalación.	UN	1
5	Suministro, transporte y montaje de cable 1/0 AWG - CU DESNUDO para Colas equipotencializadoras , Incluye accesorios necesarios para su correcto instalación.	m	12
6	Construcción de brecha con profundidad mínimo de 50 cm en piso de concreto, Incluye posterior resane de piso	ml	26
SUBTOTAL			259,995,434
A			6% 15,599,726
I			6% 15,599,726
U			3% 7,799,863
IVA SOBRE LA UTILIDAD			19% 1,481,974
TOTAL			300,476,723

VI. ANÁLISIS

El valor de resistencia de puesta a tierra obtenido utilizando el software Cyme Ground es de 1Ω , el cual cumple con las recomendaciones del RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas).

Se especifica que las puntas de captación deben estar a no más de 18 cm del borde de la cubierta para mantener los niveles de protección indicados por la norma NFPA 780.

Los elementos metálicos que sobresalen de la estructura deben tratarse como puntas de captación y deben conectarse al anillo equipotencializador mediante un conductor sólido de aluminio de 8 mm.

Se mencionan recomendaciones sobre la trayectoria de las bajantes, evitando la formación de lazos o curvaturas, y se establecen ángulos mínimos y radios de curvatura mínimos.

Se indica que no se permite ubicar las bajantes en ductos de ascensores o conductos internos de la edificación.

Se mencionan especificaciones sobre la conexión de las bajantes del sistema de protección contra descargas atmosféricas (SPE) al anillo superior y a la tierra física, utilizando soldadura exotérmica o conectores certificados.

Se menciona el uso recomendado de tubería galvanizada en caliente para las bajantes expuestas, mientras que en mampostería o buitrones no eléctricos se pueden utilizar tuberías de PVC.

Se establece la necesidad de interconectar todas las puestas a tierra eléctricamente, ya sea por encima o por debajo del nivel del piso.

Se proporcionan recomendaciones sobre la instalación de varillas de puesta a tierra, conexiones bajo el nivel del suelo y conexiones con elementos metálicos principales de la estructura.

Se establece la necesidad de dejar puntos de conexión y medición accesibles para verificar las características del electrodo de puesta a tierra y su unión con la red equipotencial.

Se incluye una guía de seguridad personal durante tormentas eléctricas, que recomienda buscar refugio en vehículos o edificaciones y alejarse de áreas abiertas, líneas eléctricas y estructuras metálicas.

VII. CONCLUSIONES

Se ha diseñado un sistema de protección para el hospital Cesar Uribe Piedrahita con el objetivo de reducir los daños a la estructura y preservar la vida humana dentro de las instalaciones. El sistema implementado tiene en cuenta un radio de esfera rodante más reducido, lo que implica la necesidad de utilizar elementos captadores más exigentes y costosos.

A través de la evaluación de riesgos, se ha determinado la necesidad de seleccionar dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) que cumplan con características más exigentes a medida que aumenta el riesgo de la edificación. En consecuencia, los costos de ejecución del proyecto pueden aumentar debido al incremento en el número de bajantes del sistema de captadores.

El aumento en el número de bajantes también implica la instalación de más colas para su conexión con el sistema de bajantes, así como la necesidad de colocar más varillas de cobre en el subsuelo. Estos factores contribuyen a un mayor costo en la implementación del sistema de protección.

En resumen, la implementación del sistema de protección en el hospital Cesar Uribe Piedrahita busca mitigar los daños a la estructura y garantizar la seguridad de las personas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que a medida que aumenta el riesgo y se requieren medidas más exigentes, los costos de ejecución del proyecto pueden incrementar debido a la necesidad de utilizar elementos captadores más sofisticados, así como a la instalación de un mayor número de bajantes y varillas de cobre.

REFERENCIAS

- [1] Amicucci, G. L., & Fiamingo, F. (2017). Lightning protection of medical structures. 2017 AEIT International Annual Conference. Cagliari, Italy. Pp. 1-6. doi: 10.23919/AEIT.2017.8240573.
- [2] IEC 62305-2. (2010). Protección contra rayos – Parte 2: Gestión de riesgos. Ed. 2. Diciembre De 2010.
- [3] Amicucci, G. L., Fiamingo, F., & Mazzetti, C. (2008). Plantas eléctricas en locales médicos: instrucciones de uso y construcción. Suplemento a Prevención hoy, 1. ISPESL Ed. Págs. 19-54. (en italiano)
- [4] NTC 4552, “Especificaciones Técnicas para la Instalación de Protección contra Descargas Atmosféricas”, Instituto de Investigación de la Norma Técnica y Certificación(INCONTEC), Colombia, n.d.
- [5] Ministerio de Minas y Energía. (2012). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.
- [6] Codensa.Norma para las líneas aéreas urbanas de distribución: Puestas a tierra. Likinormas. https://likinormas.micodensa.com/Norma/lineas_aereas_urbanas_distribucion/puesta_tierra/la40_puestas_tierra.
- [7] Villa J. N.. (2010). Tesis [Estudio De La Norma Técnica Colombiana 4552 (Versión 2008) Del Sistema Integral De Protección Contra Rayos (SIPRA)]. Universidad Industrial de Santander. BibliotecaVirtual. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/134826.pdf>
- [8] Gómez, A. y Sánchez, P. (2018). Comparación entre NTC y UNE. Repositorio de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13442/comparacion%20ntc%20>

y%20une%202018%201%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[9] Hernán Hernández. (2020). Método de la esfera rodante. Eléctrica. <https://electronica.mx/metodo-de-la-esfera-rodante/>

[10] Ortiz. J.T. (2013). Diseño Del Sistema De Protección contra Descargas Atmosféricas para Un Edificio, Aplicando El método Electrogeométrico. [Documento en línea]. Instituto Politécnico Nacional. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/12068/1/SISTDISENO.pdf>