



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**DISEÑO E INSTALACIÓN DE REDES INTERNAS
Y EXTERNAS, SISTEMAS DE ILUMINACIÓN
APANTALLAMIENTOS CONTRA DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS Y SISTEMAS DE PUESTA A
TIERRA EN INSTALACIONES DE MEDIA Y
BAJA TENSIÓN**

Autor

Álvaro Alfonso Sierra Mejía

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería

Eléctrica

Medellín, Colombia

2019



Diseño e instalación de redes internas y externas, sistemas de iluminación apantallamientos
contra descargas atmosféricas y sistemas de puesta a tierra en instalaciones de media y baja
tensión

Álvaro Alfonso Sierra Mejía

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título
de:
Ingeniero Electricista

Asesores (a):

Juan David Saldarriaga Loaiza, Ingeniero Electricista
Orley de Jesús Molina Sánchez, Ingeniero Electricista

Línea de Investigación:

Instalaciones eléctricas y compatibilidad electromagnética

Universidad de Antioquia
Ingeniería, Eléctrica.
Medellín, Colombia
2019.

Contenido

Resumen	7
1 Introducción.....	8
2 Objetivos	9
2.1 Objetivo General	9
2.2 Objetivo Específicos.....	9
3 Marco Teórico.....	10
4 Metodología.....	12
5 Resultados	13
5.1 CARNES FRIAS FAIZÁN	13
5.1.1 Visita en planta.....	13
5.1.2 La empresa	13
5.1.3 Necesidad de la instalación	13
5.1.4 Proyecto de redes para la instalación	13
5.1.5 Sistema de puesta a tierra	23
5.1.6 Resistividad del terreno	23
5.1.7 Resultados obtenidos.....	26
5.1.8 Modelo más comunes usados para la resistividad del suelo	27
5.1.9 Modelo de dos capas	28
5.1.10 Espesor o profundidad de capa superior	28
5.1.11 Recomendaciones según las normas establecidas.....	30
5.1.12 Simulación en el programa Dgsys.....	31
5.1.13 Simulación en software IPI2win	33
5.1.14 Simulación del sistema de puesta a tierra en el programa SPIX.....	34
5.2 Sistema de apantallamiento para la instalación CONASFALTOS.	37
5.2.1 La empresa	37
5.2.2 La necesidad.....	37
5.2.3 Implementación de la metodología según la norma Colombiana NTC 4552. ...	37
5.2.4 Sistema de captación	38
5.2.5 Radio de la esfera rodante – modelo electrogeométrico	38
5.2.6 Sistema de bajantes	40
5.2.7 Resultados obtenidos en AutoCAD 3D.....	40
5.3 Simulación para el sistema de iluminación para la clínica Antioquia.....	42
5.3.1 La empresa	42

5.3.2	La necesidad.....	42
5.3.3	Requerimientos de Luz.....	42
5.3.4	Características de reproducción cromática y de temperatura de color.....	43
5.3.5	Plan de mantenimiento.....	44
5.3.6	Factor de mantenimiento.....	44
5.3.7	Inspección y mantenimiento de las luminarias.....	45
5.3.8	Selección de luminarias y fuentes luminosas.....	46
5.3.9	Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación.....	47
5.3.10	Iluminación de Emergencia.....	48
5.3.11	Diseño de la iluminación.....	48
6	Conclusiones.....	51
7	Referencias bibliográficas.....	52
8	Visto bueno del asesor interno y asesor externo.....	53



Tablas

Tabla 1. Áreas de ventilación para bóveda de transformador según la norma RA8-014 EPM.	19
Tabla 2. Ventilación para la subestación FAIZÁN	19
Tabla 3. Medida de resistividad bodega Faizán.	26
Tabla 4. Medida de resistividad bodega Faizán.	27
Tabla 5. Valores de ρ_1 y ρ_2	28
Tabla 6. Parametros del metodo de dos capas.....	30
Tabla 7. Índice de deslumbramiento unificado (UGR) máximo y niveles de iluminancia (lx) exigibles para diferentes áreas y actividades [17].	43
Tabla 8. Clasificación de las fuentes luminosas de acuerdo con su índice	44
Tabla 9. Luminarias seleccionadas para la instalación.	47



Figuras

FIGURA 1. Localización de redes proyecto FAIZÁN.	15
FIGURA 2. Ubicación del proyecto de redes FAIZÁN.	16
FIGURA 3. Diagrama unifilar existente del proyecto de redes FAIZÁN.	17
FIGURA 4. Diagrama unifilar proyectado del proyecto de redes FAIZÁN.	18
FIGURA 5. Detalle de instalación de la bandeja porta cables.	20
FIGURA 6. Detalle de canalización.	20
FIGURA 7. Detalle del sistema de ventanas y puertas.	20
FIGURA 8. Detalle de llegada a la celda de medida.	20
FIGURA 9. Detalle de instalación de la bandeja porta cables entre la	21
FIGURA 10. Detalle de cortes de la subestación.	21
FIGURA 11. Detalle de cortes de la subestación.	21
FIGURA 12. Convenciones usadas en el proyecto de redes.	22
FIGURA 13. Notas proyecto de redes.	22
FIGURA 14. Rotulo proyecto de redes COINSI S.A.S.	23
FIGURA 15. Sello de aprobación del proyecto de redes.	23
FIGURA 16. Disposición de los electrodos para el método de WENNER [11].	25
FIGURA 17. Medidor METREL MI-2088 [12].	25
FIGURA 18. Esquema de conexión medida de resistividad.	26
FIGURA 19. Modelo de dos capas [11].	28
FIGURA 20. Curvas de cálculos para el modelo de dos capas. De [11]	29
FIGURA 21. Ajuste resistividad del terreno medido.	30
FIGURA 22. Ingreso de datos medidos al software DGsys.	31
FIGURA 23. Resultados del modelo de dos capas.	32
FIGURA 24. Resultados del modelo de dos capas, interpolación.	32
FIGURA 25. Informe generado por el programa DGsis.	33
FIGURA 26. Ingreso de parámetros en el programa IPI2win.	33
FIGURA 27. Resultados en el programa IPI2win.	33
FIGURA 28. Parámetros de entrada en Aspix.	34
FIGURA 29. Malla del sistema de puesta a tierra en Aspix.	35
FIGURA 30. Malla del sistema de puesta a tierra en Aspix.	35
FIGURA 31. Resultados obtenidos para la malla del sistema de puesta a tierra en Aspix.	36
FIGURA 32. Tensiones de contacto.	36
FIGURA 33. Tensiones de paso.	37
FIGURA 34. Valores máximos del radio de la esfera rodante.	39
FIGURA 35. Utilización del método de la esfera rodante [7].	39
FIGURA 36. Valores mínimos del rayo relativos al radio de la esfera rodante[5].	40
FIGURA 37. Separación recomendada en bajantes. De [5].	40
FIGURA 38. Estructura para proteger.	41
FIGURA 39. Estructura protegida usando el método de la esfera rodante.	41
FIGURA 40. Estructura protegida usando el método de la esfera rodante.	42
FIGURA 41. Fuentes luminosas. De [18].	43
FIGURA 42. Factor de depreciación por suciedad de la luminaria vs tiempo de exposición [4].	44
FIGURA 43. Límite de VEEI. De [17]	48
FIGURA 44. Iluminación general Clínica Antioquia Itagüí.	49
FIGURA 45. Iluminación general colores falsos Clínica Antioquia Itagüí.	49
FIGURA 46. Iluminación emergencia Clínica Antioquia Itagüí	50
FIGURA 47. Iluminación emergencia colores falsos Clínica Antioquia Itagüí.	50

Diseño e Instalación de Redes Internas y Externas, Sistemas de Iluminación Apantallamientos contra Descargas Atmosféricas y Sistemas de Puesta a Tierra en Instalaciones de Media y Baja Tensión

Resumen

El principal inconveniente al cual se somete un ingeniero es la falta de información en los proyectos; sin embargo, se debe plantear una forma efectiva y eficiente para generar y resolver los diferentes problemas que se encuentran para dar una solución acertada y económica para el cliente final. En este proyecto se ilustra la metodología desarrollada en la empresa COINSI S.A.S con el objetivo de brindar un punto de partida en los distintos proyectos vistos en la parte industrial en media y baja tensión, tales como el diseño de redes eléctricas, sistemas de puesta a tierra y apantallamiento contra descargas atmosféricas.



1 Introducción

Con el paso de los años y gracias al avance tecnológico se ha concientizado sobre el uso racional y eficiente de la energía; por tanto, es de gran importancia definir los procesos de diseño y constructivos de un sistema eléctrico tanto en alta, en media como en baja tensión. Un sistema de redes internas eléctricas corresponde al conjunto de redes, tuberías, accesorios y equipos que integran el suministro de servicio público a un inmueble a partir del medidor; a su vez, una red externa eléctrica en media tensión es la energía transformada y transportada en el sistema de distribución a través del operador de red y compuesto por todos los equipos del sistema eléctrico en los niveles de tensión por encima de 1kV e inferior a 57.5 kV, según establece el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)[1].

Según el RETIE, en todo sistema eléctrico se debe priorizar la protección a las personas y equipos, por tanto, es importante la implementación de sistemas de protección contra rayos (apantallamiento) y un sistema de protección contra fallas eléctricas (sistema de puesta a tierra); debido a esto, se ilustra la metodología para el diseño de sistemas de protección, siguiendo lo establecido por las normas NTC 4552-1, NTC 4552-2, NTC 4552-3 y el estándar IEEE 80[2].

La empresa que permitió la realización de este informe fue COINSI S.A.S, la cual se encarga de ofrecer servicios de ingeniería eléctrica en media y baja tensión, tales como, diseño y construcción de redes internas y externas, apantallamiento contra descargas atmosféricas, sistemas de puesta a tierra, estudios de calidad de la energía, sistemas de iluminación, producción de tableros y celdas, cableado estructurado y circuitos cerrados de televisión, entre otras actividades y servicios ofrecidos al cliente. La idea de la organización es buscar personas integrales, disponibles, atentas, responsables y con capacidad de aprendizaje para capacitarlos, con el fin de que estos puedan generar resultados positivos y ser un aporte a la empresa. Durante el proceso de prácticas apoyé el área de diseño eléctrico con base en las normas y reglamentos establecidos en Colombia; finalmente en el informe se muestra la metodología de trabajo de la empresa y los resultados obtenidos durante la práctica profesional.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

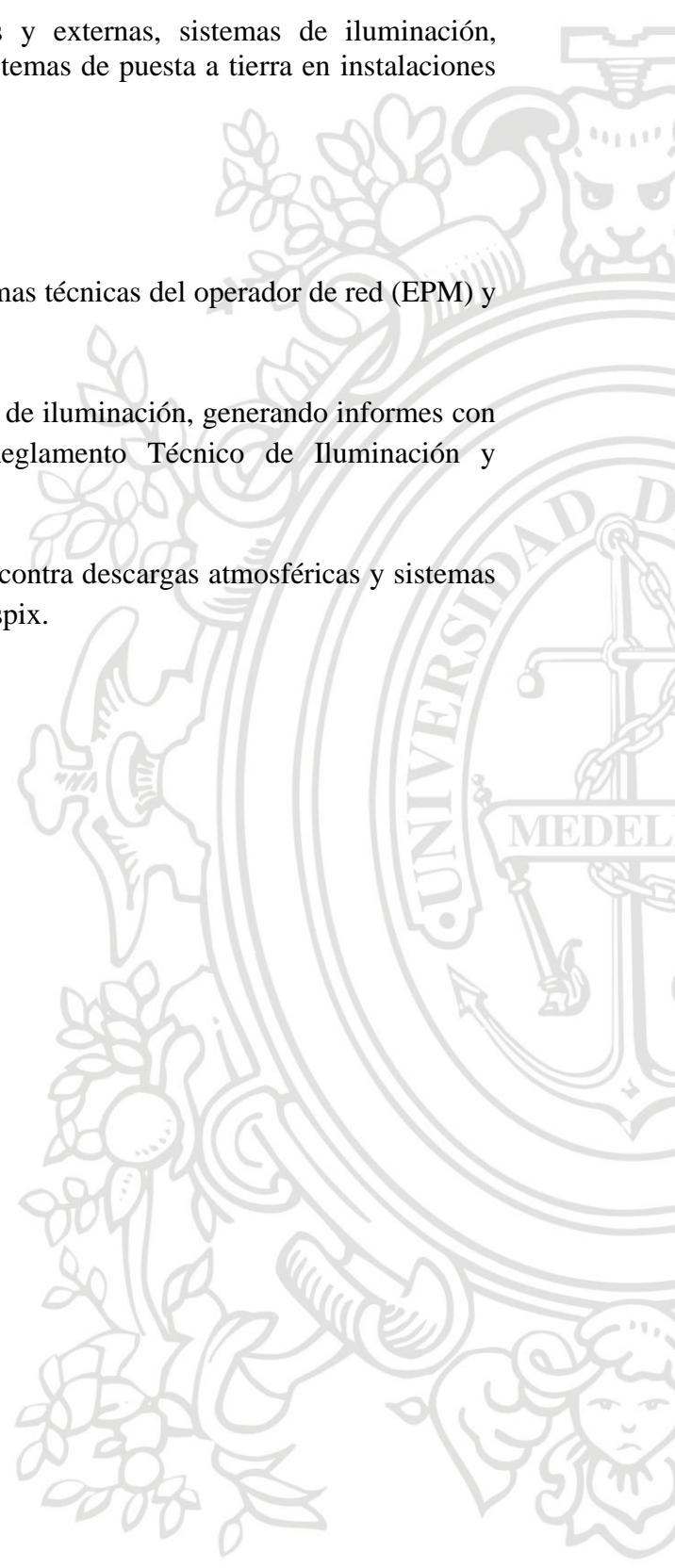
Apoyar el diseño e instalación de redes internas y externas, sistemas de iluminación, apantallamientos contra descargas atmosféricas y sistemas de puesta a tierra en instalaciones de media y baja tensión, empresa COINSI S.A.S.

2.2 Objetivo Específicos

Apoyar los proyectos de redes, considerando las normas técnicas del operador de red (EPM) y lo establecido por el RETIE.

Apoyar a través del programa DIALux 4.13 el diseño de iluminación, generando informes con base a los requerimientos establecidos en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP).

Apoyar en el diseño de sistemas de apantallamiento contra descargas atmosféricas y sistemas de puesta a tierra usando el programa IEC RISK y Aspix.



3 Marco Teórico

Un sistema eléctrico de potencia consiste en la generación de la energía eléctrica, en subestaciones generadoras, a través de diversas fuentes de energía, tales como el agua, carbón, gas, biomasa, entre otras; luego, la energía transformada (energía) debe ser transportada hasta los centros de consumo (usuarios finales). Para cumplir este objetivo, se debe realizar estudios rigurosos, diseños, aplicación de normas nacionales e internacionales, planeamientos rigurosos y el empleo de una amplia variedad de conceptos de ingeniería eléctrica y de tecnología de punta.

Un sistema eléctrico externo consiste y se enfoca en una rama de la amplia gama de la ingeniería eléctrica, básicamente es enfocada a todas las redes externas de distribución en donde un operador de red transporta la energía a nivel de media tensión para ser entregada al consumidor a niveles de tensión óptimas para su consumo[3].

“Para el buen diseño de una red de distribución deben tenerse en cuenta factores tales como: continuidad en el servicio, seguridad, rapidez en sus maniobras, flexibilidad, posibilidad de ampliación, regulación de voltaje, capacidad de corriente, pérdidas de energía, disposición de protecciones y una adecuada ubicación de elementos que conforman la red eléctrica, para que su operación normal esté dentro de las condiciones para la cual fue diseñado el sistema eléctrico. Inicialmente, debe hacerse un levantamiento de la zona mediante telémetros, lienza, equipo topográfico, estos levantamientos deben contener vías, carreteras, caminos, accesos, ríos, quebradas, etc. Además, deben ubicarse en éste, edificios, casas y lotes, actualmente esto se hace con la herramienta de Google Earth y Google Maps” [4].

En el momento de realizar un diseño eléctrico se debe garantizar la seguridad de las personas y equipos en general, sean o no pertenecientes al sistema eléctrico. Uno de los factores que más perjudica a una instalación son las descargas atmosféricas, en donde, al igualarse las cargas de un campo eléctrico entre una nube y la tierra ocurre una descarga eléctrica (fenómeno conocido como rayo); por tanto, es de gran importancia proteger las instalaciones más vulnerables. Para realizar el diseño de un sistema de apantallamiento contra descargas atmosféricas se usa un método conocido como esfera rodante, enmallado o método del ángulo de protección, además del uso de programas especializados para el análisis de riesgo (IEC Risk). Este programa indica que tan desprotegido se encuentra la instalación y qué medidas se deben tomar para protegerla. El objetivo principal de un sistema apantallado es proteger una estructura tanto externa e interna a través de un sistema de captación y dirigir esa energía de corta duración hacía la tierra física. La norma que rige para el sistema colombiano en este apartado es la NTC 4552-1[5], NTC 4552-2 [6] y NTC4552-3 [7].

Si bien, la mayoría de los sistemas eléctricos deben ser aterrizados, en la antigüedad la energía estática se descargaba por conexión a una placa que estaba en contacto con la masa general de la tierra; la práctica continua de modo que la conexión a tierra se encuentra en casi todos los puntos en el sistema eléctrico. Según el RETIE, “toda instalación eléctrica tiene que disponer

de un sistema de puesta a tierra (SPT) para evitar que personas en contactos 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 presente una falla”,[1]. El objetivo de un sistema de puesta a tierra es básicamente brindar seguridad a las personas, la protección de las instalaciones y la compatibilidad electromagnética [8].

Finalmente, al garantizar la seguridad de las personas, al realizar un diseño de redes externas, se requiere un diseño de redes internas (usuario final), en el cual, consiste en la implementación de todo lo necesario para la correcta instalación eléctrica de forma segura y eficiente de un sistema en baja tensión para uno o varios usuarios en particular, el diseño consiste en la salida de tomacorrientes, salidas de equipos especiales, salidas de iluminación, etc. En todo sistema de diseño se debe garantizar la regulación, eficiencia del sistema, cumplir con los índices de iluminación establecidos en el RETILAP, capacidad de potencia de equipos, calibres de conductores adecuados, eficiencia económica, coordinación de protecciones entre muchos más, cumpliendo lo establecido el RETIE, RETILAP y en la norma técnica colombiana NTC 2050 [9].

Los programas más usados en el área de media y baja tensión son AutoCAD, IEC Risk, Aspix, DIALux 4.13, DIALux Evo, ATP.

4 Metodología

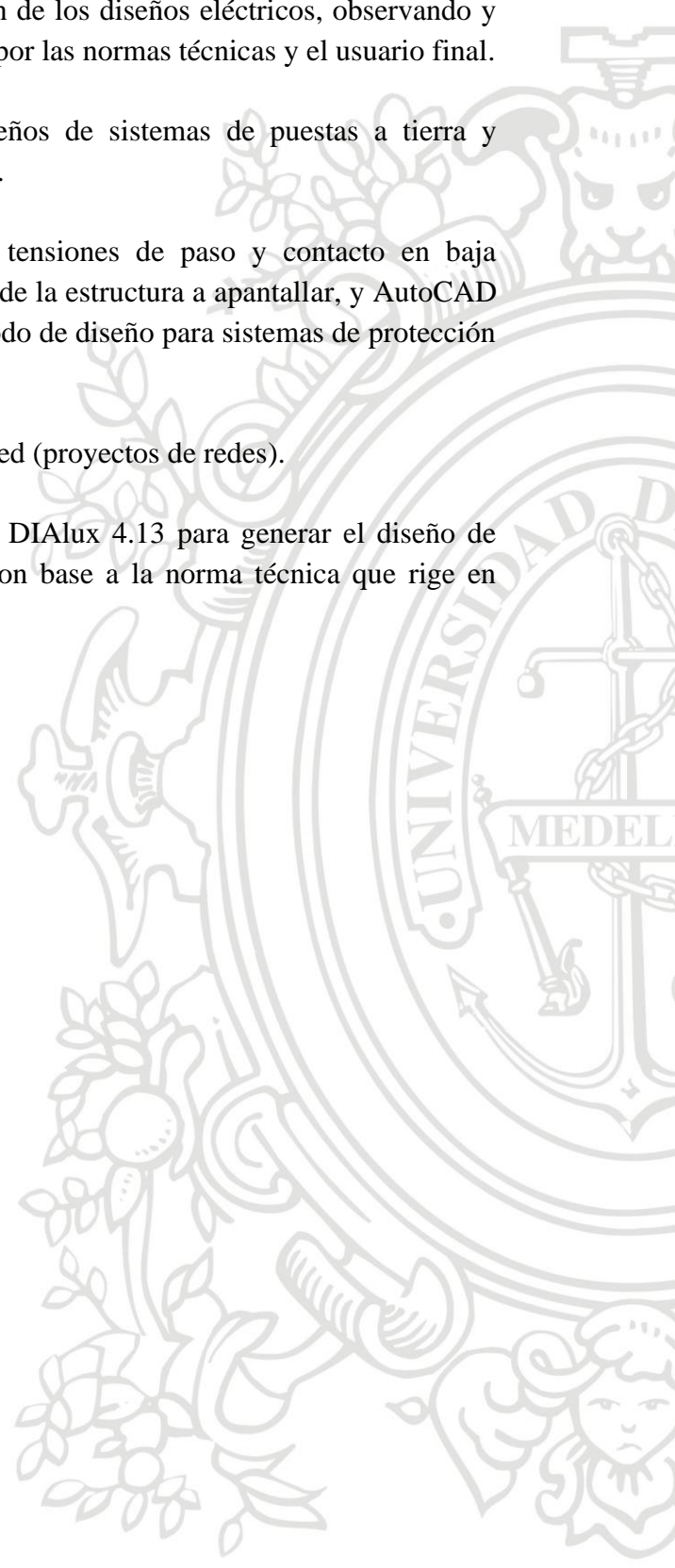
Recolección de datos técnicos durante la elaboración de los diseños eléctricos, observando y analizando los requerimientos mínimos establecidos por las normas técnicas y el usuario final.

Mediciones de resistividad del suelo para los diseños de sistemas de puestas a tierra y sistemas de protección contra descargas atmosféricas.

Uso de los programas DGSyst para verificar las tensiones de paso y contacto en baja frecuencia, IEC Risk, para evaluar el nivel de riesgo de la estructura a apantallar, y AutoCAD 3D, para aplicar el método de la esfera rodante (método de diseño para sistemas de protección contra descargas atmosféricas).

Tramites de puntos de conexión ante el operador de red (proyectos de redes).

Simulaciones luminotécnicas mediante el programa DIALux 4.13 para generar el diseño de sistemas de iluminación en media y baja tensión con base a la norma técnica que rige en Colombia RETILAP.



5 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los diseños en las empresas FAIZÁN (proyecto de redes y sistema de puesta a tierra), CONASFALTOS (apantallamiento) y la CLINICA ANTIOQUIA (diseño luminotécnico).

5.1 CARNES FRIAS FAIZÁN

Para la ciudad de Medellín las normas técnicas que rigen en los proyectos de distribución de energía es empresas públicas de Medellín (EPM), por tanto, es de gran importancia ilustrar las normas más representativas y las usadas especialmente en la obra FAIZÁN; pero antes, se ilustrará de que se encarga la empresa FAIZÁN y sus necesidades energéticas.

5.1.1 Visita en planta

Inicialmente ante de comenzar un proyecto, se debe visitar y conocer el lugar, prestando demasiada atención tanto a las necesidades eléctricas como a las necesidades físicas del lugar. Se debe conocer a las personas encargadas del proyecto como por ejemplo, cliente, asesores externos e internos, proveedores, etc. Esto mejora la comunicación y se logra facilitar las necesidades del cliente.

5.1.2 La empresa

FAIZÁN es una empresa instalada en la ciudad de Medellín, Antioquia, desde hace 14 años, dedicada a la producción y comercialización de derivados cárnicos, especializados en la elaboración de embutidos de cerdo [10].

5.1.3 Necesidad de la instalación

La empresa FAIZÁN requería de una modificación interna de toda su planta de producción, además de una ampliación para comprar nuevas máquinas y potencializarse en el mercado colombiano; por tanto, se hace necesario de un proyecto de redes en donde se instalará un transformador de 630 kVA en un segundo nivel.

5.1.4 Proyecto de redes para la instalación

El proyecto de redes básicamente se basa en los siguientes ítems [11]:

- Disponibilidad del servicio de energía: este es el primer paso que se debe seguir para una nueva instalación que no cuenta con el servicio de energía. Generalmente, la "Disponibilidad del servicio de energía" consiste en certificar que EPM dispone de la infraestructura eléctrica necesaria para llevar la energía eléctrica hasta el sitio donde se está solicitando bien sea un predio o un sector. Solo es necesario el formato de Disponibilidad del servicio de energía que se encuentra en la página de EPM.
- Factibilidad del servicio (punto de conexión): consiste en determinar el punto de la red eléctrica desde el cual se obtendrá la energía para alimentar las instalaciones donde se está solicitando el servicio. La "Factibilidad del servicio de energía" determina la

necesidad de construcción de redes para el transporte de la energía hasta las instalaciones del cliente y describe el procedimiento y/o las especificaciones técnicas que se deben seguir para construirlas. Así mismo, precisa el nivel de tensión con el cual se debe realizar la conexión del cliente y dependiendo de su complejidad y de sus características, se detalla si se requiere la presentación de un “proyecto eléctrico”.

- Revisión del proyecto: solicitud que realiza el cliente y/o usuario para que se revisen los diseños eléctricos realizados por terceros, de las redes de distribución de energía eléctrica necesarias para llevar la energía hasta el usuario final. Un “proyecto eléctrico” contiene el diseño de las redes de distribución de energía eléctrica necesaria para llevar la energía hasta el usuario final. El cliente deberá presentar el proyecto de acuerdo con lo establecido en la “Factibilidad del servicio de energía (Punto de Conexión)”.
- Interventoría de proyectos.
- Conexión al servicio de energía: es importante conocer la forma en que se envían los proyectos para su respectiva revisión. La norma RA8-001 establece la manera correcta en que se deben presentar los proyectos de redes además establece el sistema de convenciones que se deben usar, dichos proyectos deben estar compuestos por una localización de las redes existentes y la red proyectada, ubicación del proyecto, diagrama unifilar proyectado, notas, detalles y cálculos, cuadro de cargas resumido, vistas, convenciones y rotulo, además debe dejarse un espacio prudente para el sello de aprobación.

El proyecto de redes enviado a revisión (Constructores EPM), consistía en conectar una instalación nueva del circuito R31-11, la subestación proyectada era tipo interior en un segundo nivel y se proyectó una máquina estática de transformación de 630 kVA con una tensión primaria 13200V y en los bornes secundarios del transformador de 220 – 127V.

La FIGURA 1 ilustra la localización del proyecto en cuestión, obsérvese las redes primarias existentes (azul), circuitos como (R31-06, R31-11), transformadores (N°8208 – 75 kVA, N°60879 – 30 kVA), ubicación de postes existentes, vía vehicular, calzada, acometida (calibre, cantidad de conductores, distancias), cajas de paso (con sus respectivas normas), ubicación del equipo de medida propuesto, forma de llegada a la celda, dimensiones de las celdas, celda de remonte, celda de seccionador, celda de transformador, tablero principal ML, banco de capacitores proyectado de 150kVAR, entre otras especificaciones que se deben considerar en este espacio.

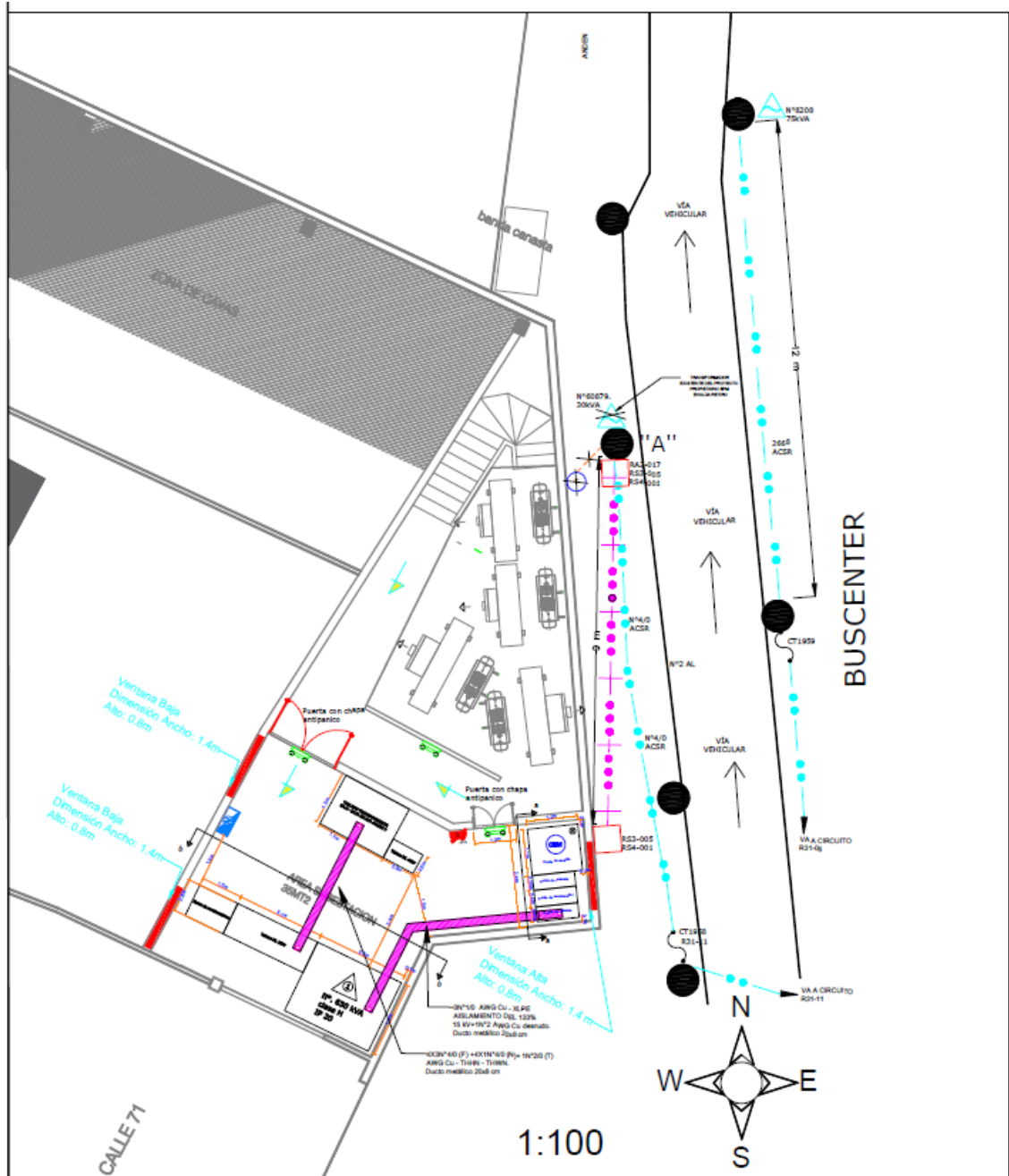


FIGURA 1. Localización de redes proyecto FAIZÁN.

El plano de ubicación, FIGURA 2, según la norma RA8-001 consiste en la implementación gráfica de la ubicación exacta donde se encuentra la instalación nueva. Este recuadro debe tener características bien definidas como son las calles, direcciones, puntos cercanos de referencias, dirección geográfica y además deben contar con una escala definida.

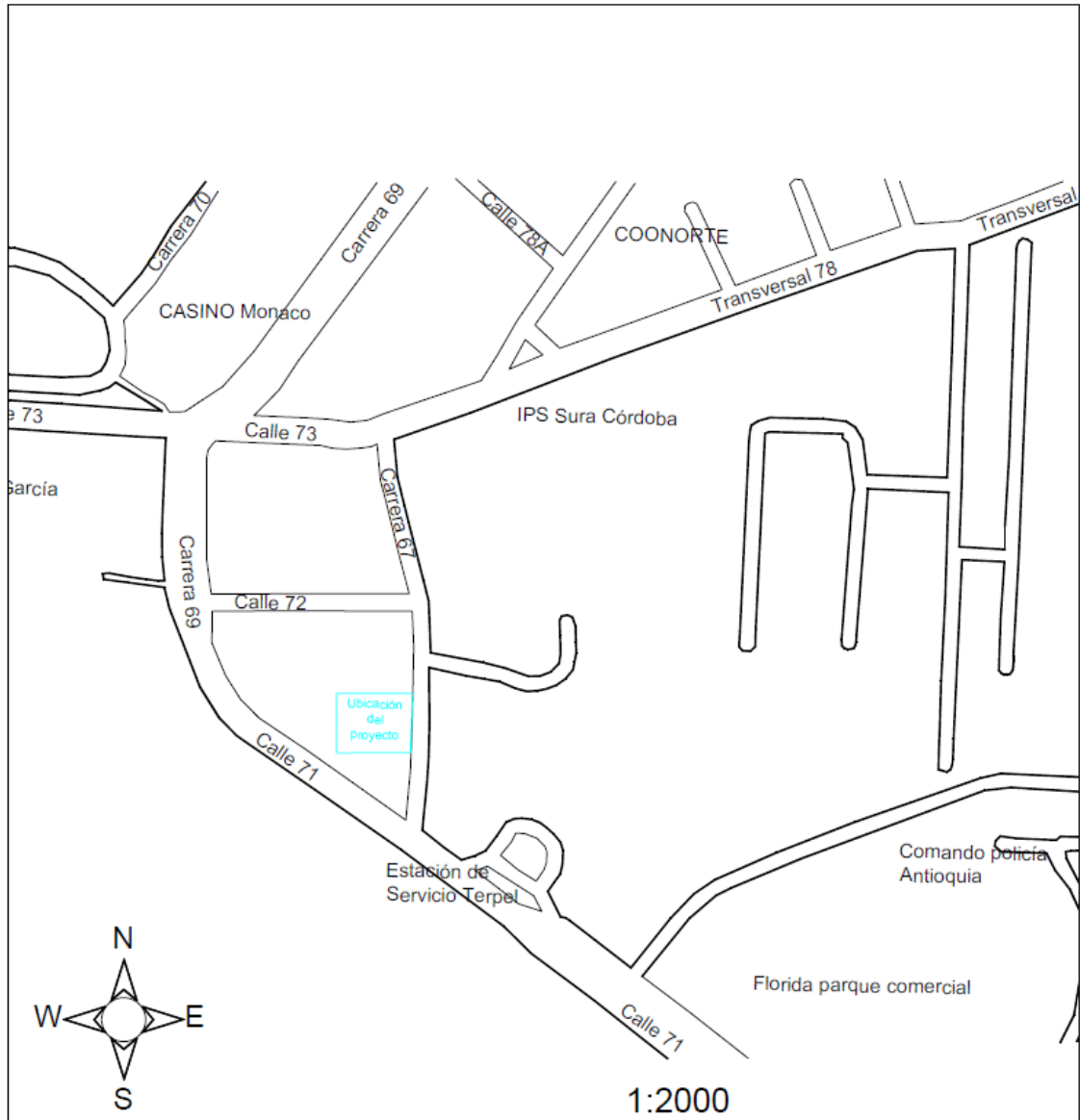


FIGURA 2. Ubicación del proyecto de redes FAIZÁN.

El diagrama unifilar ilustra los parámetros eléctricos del proyecto de redes, es decir, calibre de conductores de distribución, acometida, celda de medida, celda de seccionador, celda de transformador, tablero de distribución ML, etc.; dichos parámetros deben definirse al detalle. En la

FIGURA 3 se ilustra el diagrama unifilar existente de la instalación y que deberá sacarse de servicio.

Observese que en el diagrama unifilar se resaltan el circuito a la cual estaba conectada la instalación, los cortacircuitos primarios, el tipo de DPS para protección contra sobretensiones, el tipo de cable, que en este caso es aéreo 1/0 en aluminio cubierto, el transformador de 30 kVA, la acometida en baja tensión en cable THHN-THWN en cobre y finalmente el tablero de medida y protecciones (3x100A) ubicado en la fachada de la instalación.

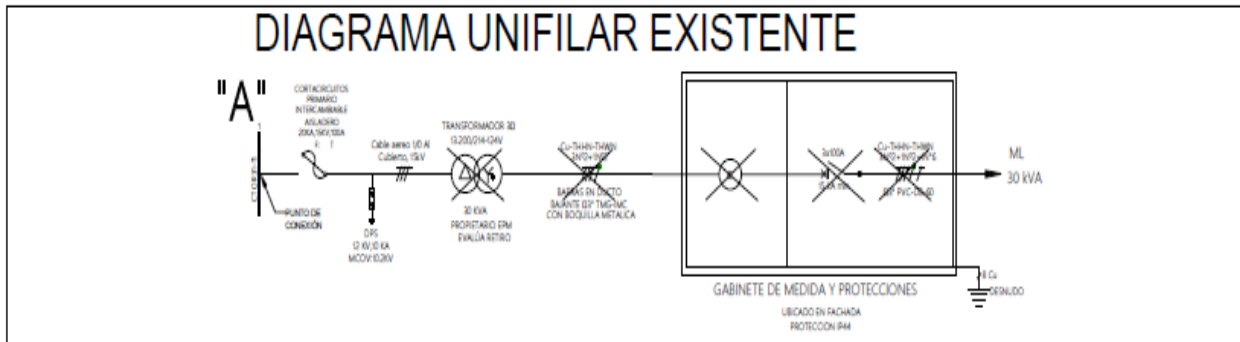


FIGURA 3. Diagrama unifilar existente del proyecto de redes FAIZÁN.

En la FIGURA 4 se puede observar el diagrama unifilar proyectado y propuesto al operador de red; se debe especificar todos los equipos electricos pertenecientes al proyecto hasta media tension, es decir, cortacircuitos primarios, DPS, calibre de los conductores del sistema de distribucion, conos premoldeados para la conexión de equipos, cajas de distribucion, bajantes IMC para exterior, celda de medida, transformadores CTs y TP, contador de medida semidirecta, celda de remonte para la facilidad del pase del conductor entre la celda de medida y la celda de seccionador, celda de seccionador con interruptor y fusible definidos, celda de remonte para la facilidad de conexión entre la celda de seccionador y el transformador de media tensión, celda de transformador con transformador de 630 kVA tipo seco 13200V/220V, calibre de conductor para la conexión entre el transformador de media tensión y el tablero ML de 220V, tablero ML de 220V con protecciones 3x2000A. Todas las celdas, puertas, ventanas deben estar conectados al sistema de puesta a tierra.

DIAGRAMA UNIFILAR PROYECTADO

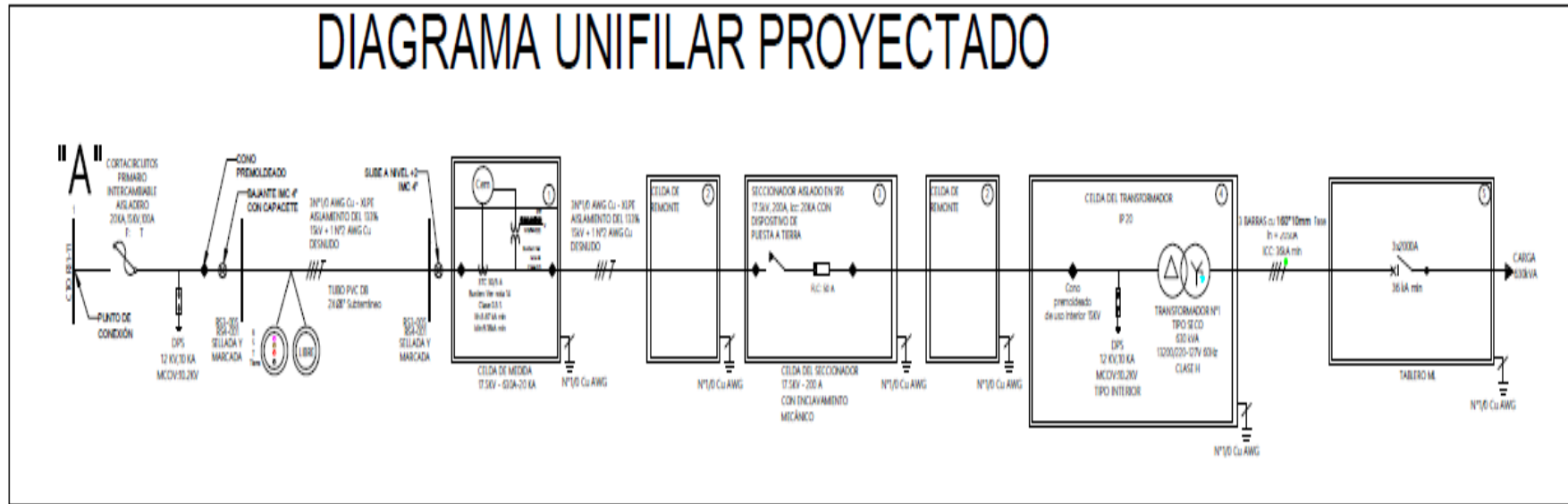


FIGURA 4. Diagrama unifilar proyectado del proyecto de redes FAIZÁN.

Toda subestación debe tener un sistema de ventilación adecuado especialmente para la ventilación del transformador de media tensión. La norma RA8-014 de EPM establece el área mínima que debe tener la bóveda y la celda del transformador como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Áreas de ventilación para bóveda de transformador según la norma RA8-014 EPM.

Transformador [kVA]	Área neta mínima (suma) de aerturas de ventilación (cm²)
150	2904
225	4356
300	5808
400	7744
500	9680
630	12197
750	14520
800	15488
1000	19360

La Tabla 2 muestra el cálculo realizado para el sistema de ventilación de la subestación de 630 kVA.

Tabla 2. Ventilación para la subestación FAIZÁN

Subestación FAIZÁN (sistema de ventilación natural)	
Transformador [kVA]	630
Area mínima requerida transformador 630 kVA [cm ²]	12197
Altura ventana [cm]	80
Ancho ventana [cm]	140
Espacio libre entre rejilla [cm]	4
Número de rejillas	11
Espacio no libre entre rejilla [cm]	3
Número de rejillas (no libres)	12
Área [(cm ²)/ventana]	6160
Número de ventanas	3
Área de ventilación [cm ²]	18480

Un proyecto de redes debe contar con detalles de la instalación de equipos y accesorios de la subestación . La FIGURA 5, la FIGURA 6, la FIGURA 7, la FIGURA 8, la FIGURA 9, la FIGURA 10 y la FIGURA 11 muestran los detalles de la subestación.

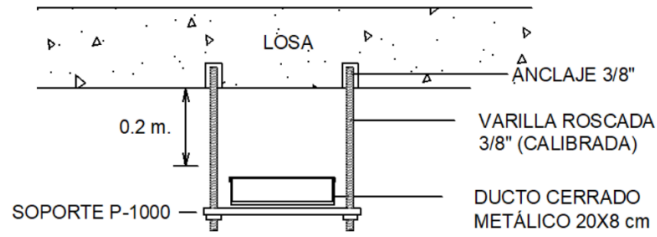


FIGURA 5. Detalle de instalación de la bandeja porta cables.

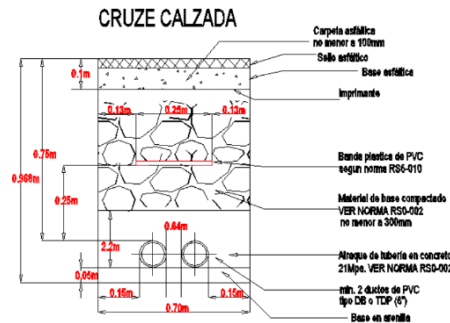


FIGURA 6. Detalle de canalización.



FIGURA 7. Detalle del sistema de ventanas y puertas.

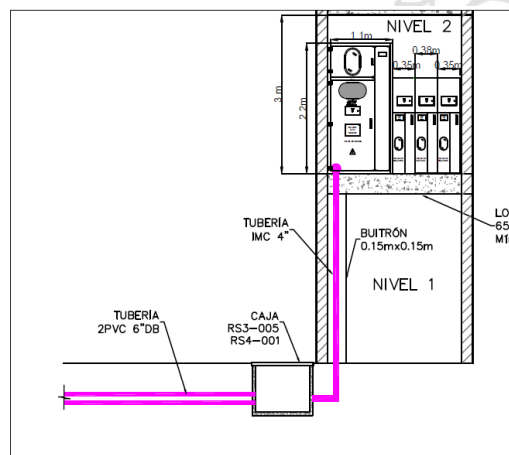


FIGURA 8. Detalle de llegada a la celda de medida.

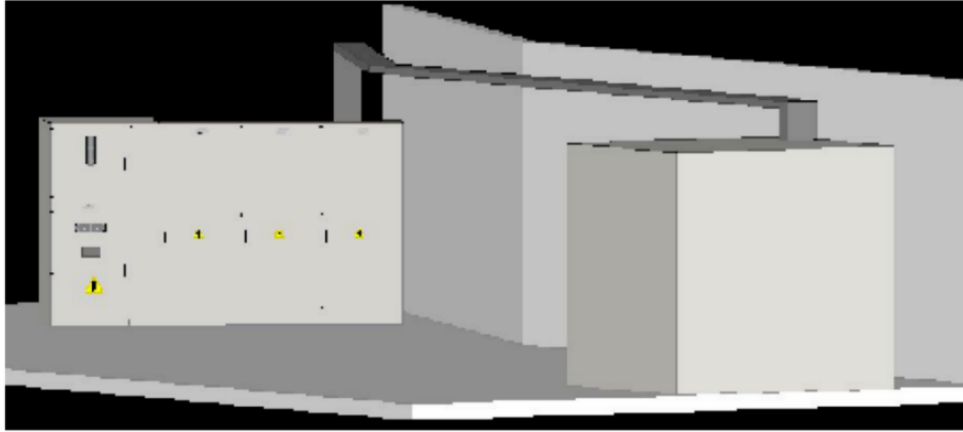


FIGURA 9. Detalle de instalación de la bandeja porta cables entre la Celda de remonte y la celda de transformador de 630 kVA.

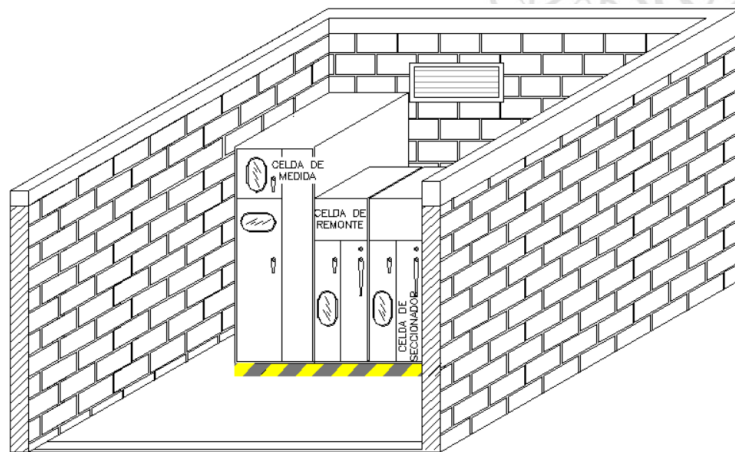


FIGURA 10. Detalle de cortes de la subestación.

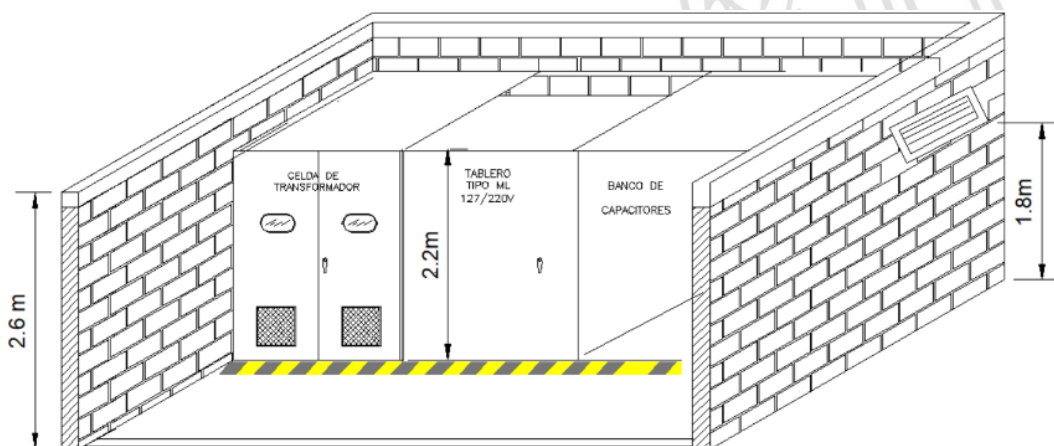


FIGURA 11. Detalle de cortes de la subestación.

Todo plano debe tener las convenciones usadas, la norma RA8-001 establece el sistema de convenciones que se deben usar en todo proyecto de redes, la FIGURA 12 muestra el sistema de convenciones usadas en el proyecto.

CONVENCIONES		
EXISTENTE	PROYECTADO	
		CONDUCTOR AÉREO SECUNDARIO
		CONDUCTOR SECUNDARIO SUBTERRÁNEO
		CABLE PRIMARIO SUBTERRÁNEO
		CABLE CUBIERTO PRIMARIO AÉREO
		MEDIDOR ELECTRÓNICO MULTIFUNCIONAL 3F, 4W, 220/127 V, ENERGÍA ACTIVA Y REACTIVA, CLASE 0.5S y 2 RESPECTIVAMENTE, 2.5(10A).
		SEÑAL DE RETIRO
		TRANSFORMADOR TRIFÁSICO
		CAJA DE DISTRIBUCIÓN ACOMETIDA
		CONTADOR DE MEDIDA DIRECTA
		POSTE DE CONCRETO 12 METROS

FIGURA 12. Convenciones usadas en el proyecto de redes.

Las notas deben ser claras y se debe resaltar lo más significativo del proyecto en cuestión. La FIGURA 13 ilustra las notas usadas en el proyecto de redes.

NOTAS

- 1) Los permisos ante terceros serán tramitados por el interesado y anexados a este proyecto
- 2) La acometida deberá ir por zonas de libre circulación común, en ningún caso por el subsuelo de otras construcciones.
- 3) Este proyecto se revisa hasta la protección ubicada inmediatamente después del transformador de potencia.
- 4) Todo tubo expuesto antes de equipos de medida será metálico galvanizado tipo pesado.
- 5) El compartimiento del gabinete donde se aloje el equipo de medida deberá permitir el sellado por parte de EPM.
- 6) La revisión de este proyecto por parte de EPM no garantiza su cumplimiento con el RETIE, por consiguiente el constructor y diseñador deberán verificarlo.
- 7) Punto de conexión otorgado mediante radicado N° 20180130149401 y pedido N° 20984018.
- 8) Normas complementarias: RA2-026, RA8-012, RA8-010, RA7-036, RA2-303-1, RA2-304-1, RA2-007. Si al ejecutar la construcción se requiere alguna norma adicional vigente al momento del visto bueno de este diseño, el cumplimiento de esta será requisito para legalizar el servicio.
- 9) El transformador estará ubicado en el segundo nivel de la instalación, el ingreso de equipos se realizará por la parte interna de la instalación con un montacargas, se deja una puerta principal de acceso a la subestación, y en caso de retiro de equipos por fallas el propietario se compromete a asumir los gastos o cambios en fachada del inmueble.
- 10) La red primaria aérea existente es propiedad de EPM.
- 11) El cuarto de la subestación donde se albergarán las celdas y/o tableros deberá tener una capacidad mínima de losa de 5000 kg/F.
- 12) Será responsabilidad del interesado reintegrar el material y transformador retirado al propietario de los activos.
- 13) El transformador y la red proyectadas a partir del punto "A" será propiedad de Productos Alimenticios Sevilla S.A. identificado con NIT 811021097-0; el diseño y construcción de ellas será responsabilidad del mismo.
- 14) Para dar cumplimiento al código de medida, al momento de la revisión técnica de la instalación por parte de EPM, el ingeniero responsable debe presentar un informe con el cálculo del Burden real y el error porcentual del voltaje (si aplica de los equipos de medida).
- 15) Este proyecto consiste en la adecuación de la bodega Faizan mediante un aumento de capacidad de 30KVA a 500KVA, se propone cambio de medida directa a medida indirecta, y mediante la nueva carga así poder abastecer toda la demanda del proyecto.
- 16) La reforma será realizada en la instalación con número de contrato indicado en la factura de servicios públicos de energía N°1484364
- 17) El diseño y construcción de la malla de puesta a tierra es responsabilidad del diseñador y constructor del proyecto. El inspector que certifica la instalación, deberá revisar la malla de puesta a tierra y verificar que cumple con lo exigido por el RETIE.

FIGURA 13. Notas proyecto de redes.

El rotulo debe tener unas dimensiones definidas según la norma RA8-001, la FIGURA 14 ilustra el rotulo de la empresa COINSI S.A.S.

PROYECTO: BODEGAS FAIZAN			
DIRECCIÓN: CRA 67 CALLE 71-37 MEDELLÍN			
 <small>POBOSITORES EN PROYECTOS</small> <small>DIRECCIÓN CALLE 25A N°52-20 MEDELLÍN - TELÉFONO 4461915 - EMAIL: DISENOS@COINSI.COM.NIT 811012703-1</small>			
PROPIETARIO: PRODUCTOS ALIMENTICIOS SEVILLA S.A			
<small>CARRERA 57 CALLE 71-37 - TELÉFONO 57 + 4 411200 - EMAIL: JFFAZAN@HOTMAIL.COM - NIT 811021097-6 MEDELLÍN, ANTIOQUIA</small>			
CONSECUTIVO: 01	FIRMA		
CONTIENE: DR-2			
DISEÑO: JONATHAN HINCAPIE	AN. 205-123822		1/1
DIBUJO: JONATHAN HINCAPIE	ESC:1:100	FECHA: 5/03/19	
SN: 21082719			

FIGURA 14. Rotulo proyecto de redes COINSI S.A.S.

Finalmente, el sello del revisor que aprueba el proyecto de redes e implica que este puede ser ejecutado sin ningún inconveniente, tal y como se muestra en la FIGURA 15. Sello de aprobación del proyecto de redes.FIGURA 15.

UNIDAD ATENCIÓN TÉCNICA CLIENTES epm® REVISADO Revisó: <u>José Antonio López Quiéroz</u> Vo. Bo. _____ Fecha: Día <u>05</u> Mes <u>02</u> Año <u>2019</u> <small>NOTA: CADUCIDAD DOS (2) AÑOS ANTES DE LA EJECUCION DE ESTE PROYECTO DEBE SOLICITARSE INTERVENTORIA</small>	ESTE PROYECTO REQUIERE DE CERTIFICACION PLENA DE ACUERDO CON EL RETIE
--	---

FIGURA 15. Sello de aprobación del proyecto de redes.

5.1.5 Sistema de puesta a tierra

Es de gran importancia reconocer el terreno donde posiblemente se va a instalar la malla del sistema de puesta a tierra; para esto se programa una visita en campo y se registra evidencia de las dimensiones disponibles y del tipo de terreno actual, esto permite tener una mejor ilustración de cómo realizar la malla de puesta a tierra y tener una idea general de las disposición física disponible.

5.1.6 Resistividad del terreno

El reglamento eléctrico colombiano establece que 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. La exigencia de puestas a tierra para instalaciones eléctricas cubre el sistema eléctrico como tal y los apoyos o estructuras metálicas que, ante una sobretensión temporal, puedan desencadenar una falla permanente a frecuencia industrial, entre la estructura puesta a tierra y la red [1].

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. Las funciones de un sistema de puesta a tierra son:

- A. Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.

- B. Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas. Sirve de referencia común al sistema eléctrico.
- C. Conducir y disipar con suficiente capacidad las corrientes de falla, electrostática y de rayo.
- D. Transmitir señales de RF en onda media y larga.
- E. Realizar una conexión de baja resistencia con la tierra y con puntos de referencia de los equipos.

Se debe tener en cuenta que el criterio fundamental para garantizar la seguridad de los seres humanos es la máxima energía eléctrica que pueden soportar, por tanto, se hace necesario en todo diseño de puesta a tierra garantizar las tensiones de paso, de contacto y 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 minimizar la máxima elevación de potencial o GPR (Ground Potential Rise). cuando se piensa en un sistema de protección de puesta a tierra, se debe tener en cuenta la resistividad del terreno, puesto que, una resistividad baja facilita el diseño.

La resistividad del terreno varía ampliamente a lo largo y ancho del globo terrestre, estando determinada por:

- Sales solubles
- Composición propia del terreno
- Estratigrafía
- Granulometría
- Estado higrométrico
- Temperatura
- Compactación

El diseño de un sistema de puesta a tierra comienza básicamente con la toma de medidas en campo y con el análisis de la resistividad del terreno. El método de medida utilizado para obtener el valor de resistividad del terreno fue el de Wenner. Este método consiste en introducir cuatro (4) electrodos en el suelo a caracterizar. Los cuatro (4) electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase del contacto que se haga con la tierra.

El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos C1 y C2 mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos P1 y P2. Estos electrodos están enterrados en línea recta y a igual separación entre ellos. La razón V/I es conocida como la resistencia aparente. La resistividad aparente del terreno es una función de esta resistencia y de la geometría del electrodo. En la FIGURA 16 se observa esquemáticamente la disposición de los electrodos, en donde la corriente se inyecta a través de los electrodos exteriores y el potencial se mide a través de los electrodos interiores.

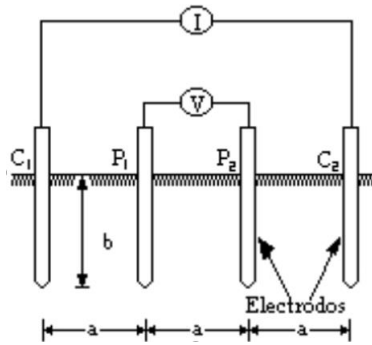


FIGURA 16. Disposición de los electrodos para el método de WENNER [11].

Los electrodos de prueba se entierran firmemente a una profundidad no mayor que $a/20$ de la distancia entre éstos. La resistividad aparente del suelo en función de la profundidad y del espaciamiento de electrodos está dada por la ecuación 1.

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

Dónde:

ρ : Resistividad del suelo [Ωm].

a : Distancia entre electrodos adyacentes en metros [m].

b : Profundidad de enterramiento de los electrodos en metros [m.]

R : Resistencia eléctrica medida [Ω].

Si la separación entre electrodos es menor a 20 veces que la profundidad de enterramiento, la ecuación 2 se reduce a:

$$\rho = 2\pi a R \quad (2)$$

Para realizar la medida de resistividad se empleó un telurómetro METREL 2088 calibrado, este equipo de medida digital permite de manera directa medir la resistividad del terreno bajo estándares de calibración internacionales. En la FIGURA 17 se observa el equipo de medida [12].



FIGURA 17. Medidor METREL MI-2088 [12].

Este método es el más empleado por la simplicidad de su aplicación y por la fácil interpretación de los resultados obtenidos y, además, se encuentra avalado por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) [1].

La FIGURA 18 se muestra el esquema de conexión para el Telurómetro MI-2088.

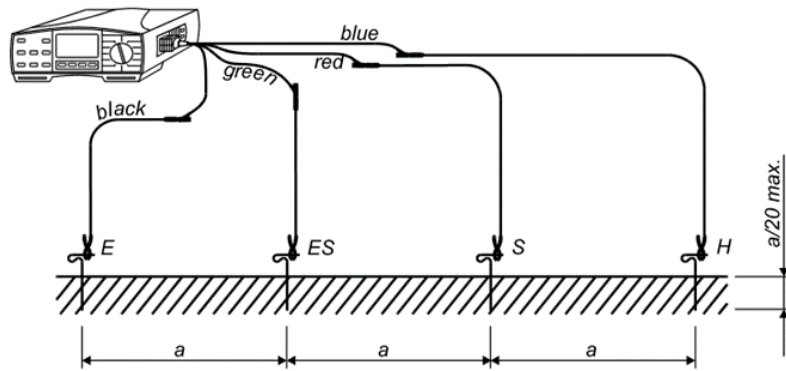


FIGURA 18. Esquema de conexión medida de resistividad.

5.1.7 Resultados obtenidos

A continuación, se indican las medidas realizadas en la instalación FAIZAN utilizando el método de Wenner. Para las mediciones se toma un centro como referencia y, a partir de este, se efectúan las mediciones para distancias entre los electrodos de 1,2 y 4.

Para la caracterización del terreno se tomó 3 medidas en direcciones diferentes con las distancias previamente planteadas. En la Tabla 3 se puede evidenciar la toma de las medidas en una sola dirección, por simplicidad y a modo resumen se documentó solo en una dirección.

Tabla 3. Medida de resistividad bodega Faizán.





Los valores obtenidos de la resistividad aparente de todas las medidas realizadas difieren, entre el valor mayor y el menor, en casi un 67.4%; por lo tanto, no es posible asumirlo como un terreno homogéneo. Esto tiene como implicación el uso del modelo de dos capas o multicapas.

Tabla 4. Medida de resistividad bodega Faizán.

Separación "a" [m]	Medida dirección 1 [m]	Medida dirección 2 [m]	Medida dirección 3 [m]
1	21.6	23.3	16.19
2	15.39	12.51	18.02
4	12.93	12.15	14.09
Promedio [Ω -m]	16.640	15.987	16.100
Medida de resistividad [Ω -m]	16.242		

5.1.8 Modelo más comunes usados para la resistividad del suelo

- A. Modelo de suelo uniforme: es usado cuando existe una variación moderada de la resistividad aparente. En condiciones de suelo homogéneo, que raramente ocurren en la práctica, el modelo de suelo uniforme puede ser razonablemente exacto, [11].
- B. Modelo de dos capas: es una representación muy exacta de las condiciones reales del suelo, y consiste en una capa superior de profundidad finita y con resistividad diferente a la de la capa más baja de espesor infinito [11]. Usado cuando la condiciones del suelo son más complejas.

Para la resistividad del suelo de este proyecto se usó el modelo de dos capas.

5.1.9 Modelo de dos capas

En la FIGURA 19 se ilustra el modelo de dos capas. Para encontrar el valor de la resistividad aparente “ ρ_a ” y la profundidad de la primera capa “ h ”, se utiliza el método gráfico que aparece en la norma IEEE 80 del 2000, el cual se muestra a continuación.

El método gráfico de la norma IEEE 80 propone tomar dos datos de resistividad de los tabulados y con base a ellos construir la curva característica para poder determinar el valor de resistividad aparente. Los valores se tomaron de la Tabla 4Tabla 1 y se plasman en la Tabla 5.

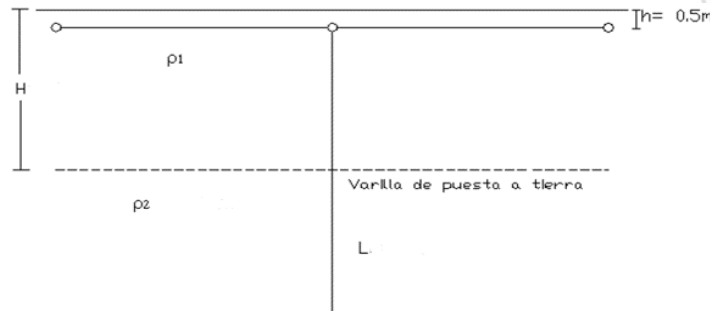


FIGURA 19. Modelo de dos capas [11].

Tabla 5. Valores de ρ_1 y ρ_2

Nota: Para el modelo de dos capas se debe seleccionar las resistividades ρ_1 y ρ_2 como el valor promedio mayor y valor promedio menor respectivamente de la tabla 3.			
	[Ωm]		[Ωm]
ρ_1	23.3	ρ_2	12.15
Nota: Se determina ρ_2/ρ_1 y se selecciona de la Figura 20 el valor de ρ_a/ρ_1			
			[Ωm]
ρ_2/ρ_1			0.5307
ρ_a/ρ_1			0.7
$\rho_a = \rho_1 * 0.7$			16.31

El valor de “ ρ_a ” es la resistividad aparente del terreno. Se puede observar que el valor de la resistividad aparente del terreno usando el modelo de dos capas tiene alta exactitud comparado con el valor promedio.

5.1.10 Espesor o profundidad de capa superior

El valor del espesor puede determinarse con el siguiente procedimiento:

- El valor calculado ρ_2/ρ_1 se grafica de igual forma que la FIGURA 20 iniciando en el valor de 1 del eje “Y”.
- El valor calculado ρ_a/ρ_1 se grafica de forma constante en la FIGURA 20.

- En el punto donde se encuentran las gráficas ρ_2/ρ_1 y p_a/ρ_1 se ubica una línea vertical que toque el eje “X” correspondiente al eje “a/h”

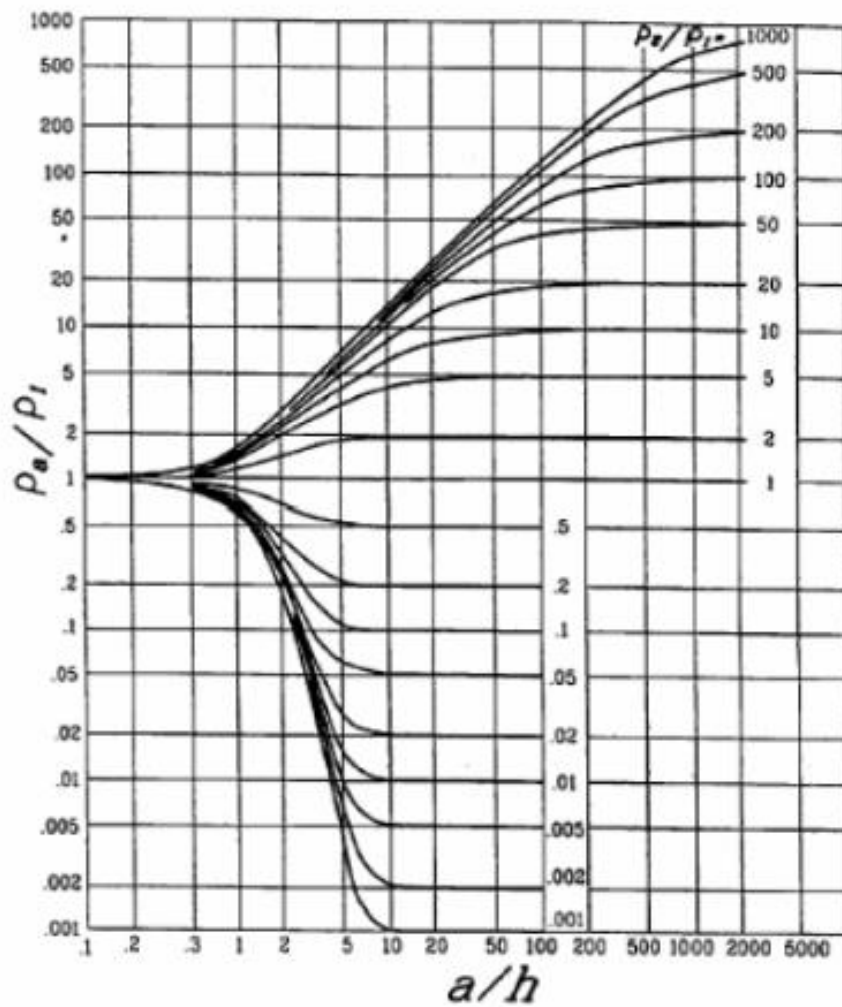


FIGURA 20. Curvas de cálculos para el modelo de dos capas. De [11]

A continuación, se obtiene el valor de “a/h”.

$$\frac{a}{h} = 1.7 [m] \quad (3)$$

Donde el valor de “a” se determina comparando el valor de “pa” obtenido en la Tabla 4 correspondiente a las medidas en campo, la FIGURA 21 ilustra el valor de a.

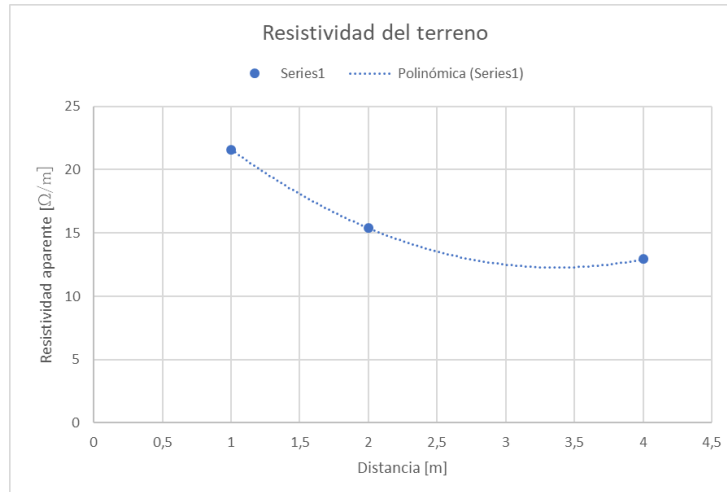


FIGURA 21. Ajuste resistividad del terreno medido.

De la FIGURA 21 se puede inferir que para una resistividad aparente de $\rho_a=16.31$ el valor de $a=2\text{m}$ aproximadamente. Ahora aplicando la ecuación 4 se obtiene H que es la profundidad de la capa superficial.

$$H = \frac{a}{a/h} \quad (4)$$

$$H = \frac{2}{1.7} = 1.1764 \text{ [m]}$$

Finalmente, se ilustra en la Tabla 6 los parámetros característicos del suelo del modelo de dos capas correspondiente a la FIGURA 19.

Tabla 6. Parametros del metodo de dos capas.

Parámetro	Valor
Capa superficial ρ_1 [Ω-m]	23.3
Capa inferior ρ_2 [Ω-m]	12.15
Profundidad capa superficial H [m]	1.2
Longitud del electrodo de Copperweld L [m]	2.4
Profundidad de enterramiento del conductor h [m]	0.5

5.1.11 Recomendaciones según las normas establecidas.

- A. IEEE80 de 2000 recomienda calibre mínimo de conductores de puesta a tierra para obtener resistencias de paso óptimos es de 2/0 AWG [2].

B. La norma del reglamento RETIE tabla 22, recomienda el conductor de sección transversal de 25 mm² que corresponde a utilizar un conductor mínimo de 1/0 AWG, [1].

5.1.12 Simulación en el programa Dgsys

Para el cálculo del modelo de dos capas se verifica usando el software DGSys. Dicho software contiene un módulo para el cálculo de un modelo de terreno de resistividad de dos capas a partir de medidas de resistividad realizadas por el método de Wenner.

Parámetros de simulación:

- Resistividad capa superior: 23.3 [Ω m]
- Resistividad capa inferior: 12.15 [Ω m]
- Espesor capa superior (H):1.2 [m]

En resumen, los resultados de mayor importancia se observan en la FIGURA 22, FIGURA 23, FIGURA 24 y FIGURA 25.

Datos para el cálculo del modelo del terreno de dos capas

Medidas de resistividad del terreno por el método de Wenner

Proyecto **Wenner**

Número de medida: 1 Habilitar

Espaciado entre electrodos (metros):

Resistividad medida (Ohmios · metro):

Tabla de mediciones de resistividad

Medida	Habilitada	Espaciado (metros)	Resistividad (Ohmios · metro)
1	Sí	1	21,6
2	Sí	1	23,3
3	Sí	1	16,19
4	Sí	2	15,39
5	Sí	2	12,5
6	Sí	2	18,02
7	Sí	4	12,93
8	Sí	4	12,5
9	Sí	4	14,09

Valores iniciales para el cálculo del modelo

Capa	Resistividad (Ohmios · metro)	Espesor (metros)
Superior	<input type="text" value="23,3"/>	<input type="text" value="0,7"/>
Inferior	<input type="text" value="12,5"/>	

Utilizar método del máximo descenso

FIGURA 22. Ingreso de datos medidos al software DGSys.

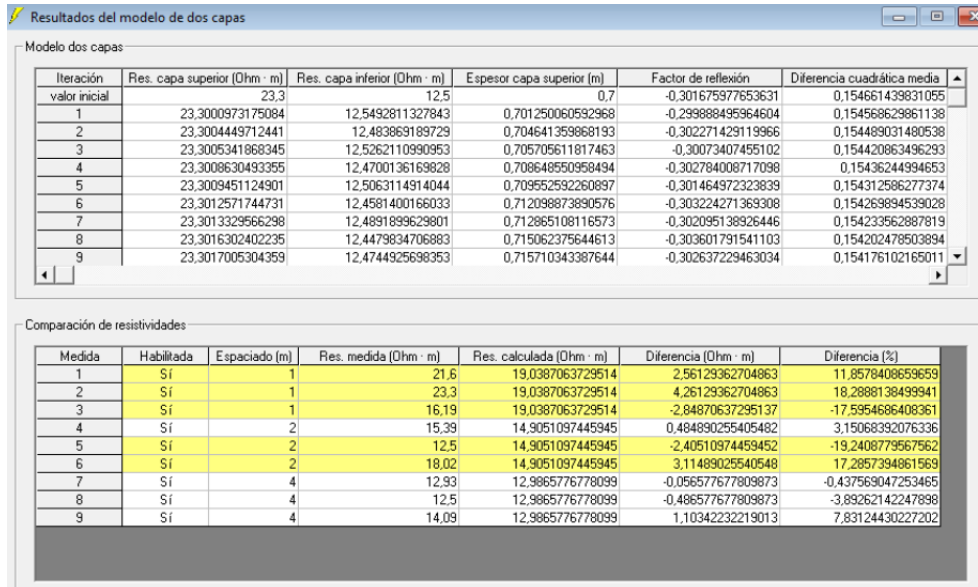


FIGURA 23. Resultados del modelo de dos capas.

Obsérvese que al final del proceso iterativo se llega a los siguientes resultados:

- Resistividad capa superior: 23.3 [Ωm]
- Resistividad capa inferior: 12.47 [Ωm].
- Espesor de capa (H): 0.72 [m].
- Error cuadrático medido: 13.08%

Por tanto, en comparación a los valores obtenidos manualmente, son bastante acertados, la FIGURA 24 ilustra la interpolación realizada por el software entre el espaciamiento y la resistividad aparente en [$\Omega\text{-m}$].

La FIGURA 25, muestra el informe que genera el software con los datos representativos del modelo de dos capas.

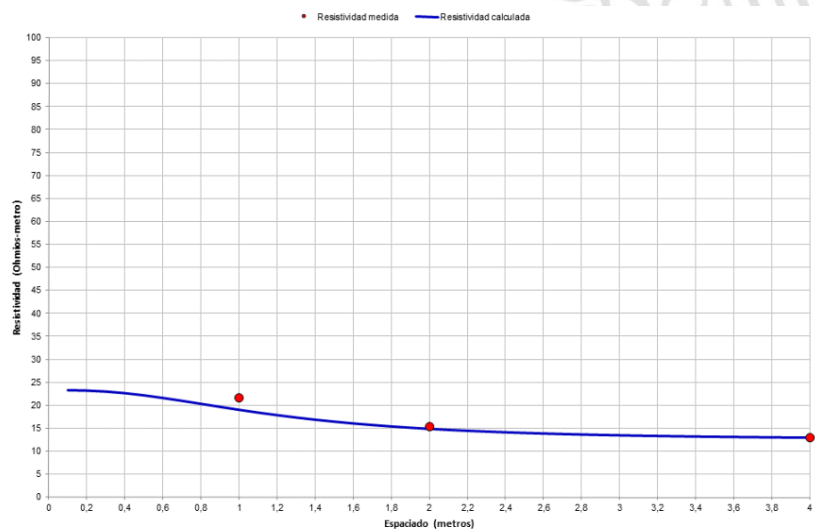


FIGURA 24. Resultados del modelo de dos capas, interpolación.

Valores iniciales

Resistividad de la capa superior 23,3 Ohmios-metro
Anchura de la capa superior 0,7 metros
Resistividad de la capa inferior 12,5 Ohmios-metro
Factor de reflexión -0,301675977653631

Resultados del modelo

Resistividad de la capa superior 23,3054385164971 Ohmios-metro
Anchura de la capa superior 0,729734449140154 metros
Resistividad de la capa inferior 12,4020443838808 Ohmios-metro
Factor de reflexión -0,305353198818719

N°	Espaciado (metros)	Resistividad medida (Ohmios-metro)	Resistividad calculada (Ohmios-metro)	Diferencia (Ohmios-metro)	Diferencia
1	1,0000	21,6000	19,0387	2,56129	11,85784
2	1,0000	23,3000	19,0387	4,26129	18,26821
3	1,0000	16,1900	19,0387	-2,84871	-17,59547
4	2,0000	15,3900	14,9051	0,48489	3,15068
5	2,0000	12,5000	14,9051	-2,40511	-19,24088
6	2,0000	18,0200	14,9051	3,11489	17,28574
7	4,0000	12,3800	12,9866	-0,60658	-0,43757
8	4,0000	12,5000	12,9866	-0,48658	-3,89262
9	4,0000	14,0900	12,9866	1,10342	7,83124

Error cuadrático medio = 2,35734523132853 (13,08220571600694)

FIGURA 25. Informe generado por el programa DGsis.

5.1.13 Simulación en software IPI2win

Este programa permite encontrar los valores resistivos del suelo de dos capas y multicapas [13]. La FIGURA 26 muestra como se le ingresan los parámetros al programa, donde, solo se ingresaron las medidas obtenidas en una dirección.

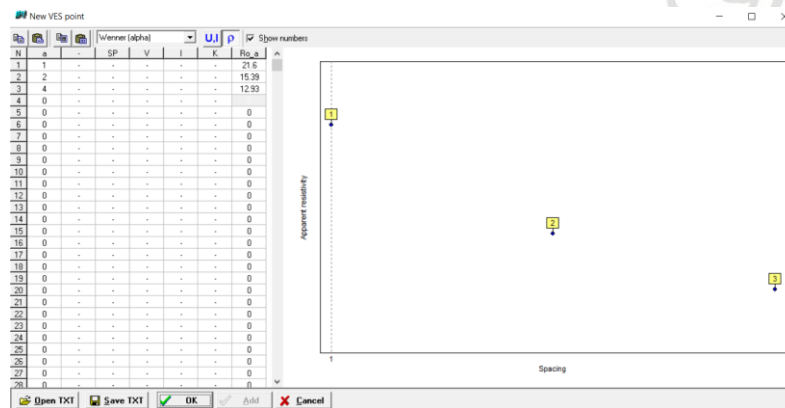


FIGURA 26. Ingreso de parámetros en el programa IPI2win.

La FIGURA 27 ilustra los resultados obtenidos con el programa IPI2win.

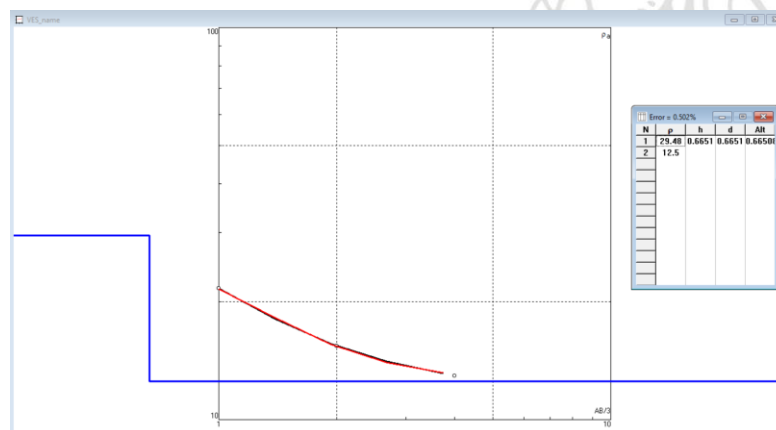


FIGURA 27. Resultados en el programa IPI2win.

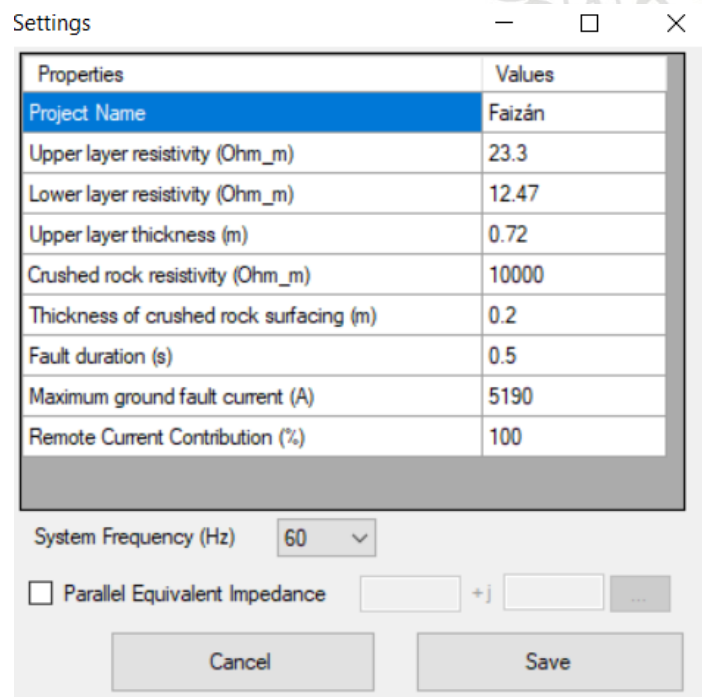
Los resultados obtenidos en el programa en cuestión son:

- Resistividad capa superior: 29.48 [Ωm]
- Resistividad capa inferior: 12.5 [Ωm]
- Espesor de capa (H): 0.6651 [m]
- Error porcentual: 0.502%

5.1.14 Simulación del sistema de puesta a tierra en el programa ASPIX

Para el caso en cuestión se simuló la malla del sistema de puesta a tierra con el programa ASPIX, esto debido a su facilidad.

Partiendo de las corrientes de cortocircuitos entregada por el operador de red en el punto de conexión y teniendo en cuenta la resistividad de la capa superior e inferior encontradas previamente se procede a simular la malla. Los parámetros de entrada se muestran en la FIGURA 28.



The screenshot shows the 'Settings' dialog box for the ASPIX program. It contains a table of properties and values, a system frequency dropdown, and a checkbox for parallel equivalent impedance.

Properties	Values
Project Name	Faizán
Upper layer resistivity (Ohm_m)	23.3
Lower layer resistivity (Ohm_m)	12.47
Upper layer thickness (m)	0.72
Crushed rock resistivity (Ohm_m)	10000
Thickness of crushed rock surfacing (m)	0.2
Fault duration (s)	0.5
Maximum ground fault current (A)	5190
Remote Current Contribution (%)	100

System Frequency (Hz) 60

Parallel Equivalent Impedance

Buttons: Cancel, Save

FIGURA 28. Parámetros de entrada en Aspix.

La FIGURA 29 y FIGURA 30 muestran la malla a simular.

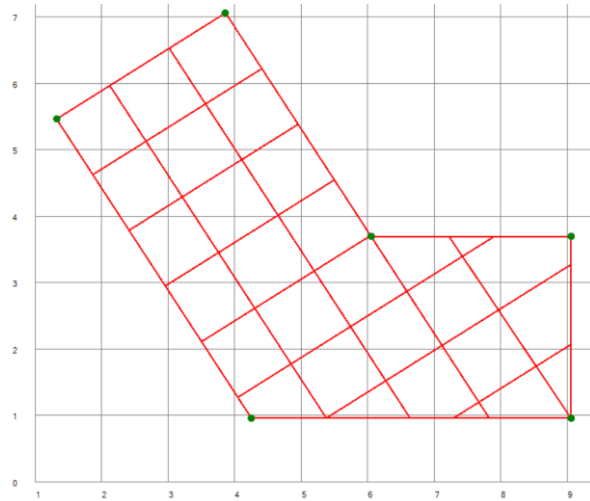


FIGURA 29. Malla del sistema de puesta a tierra en Aspix.

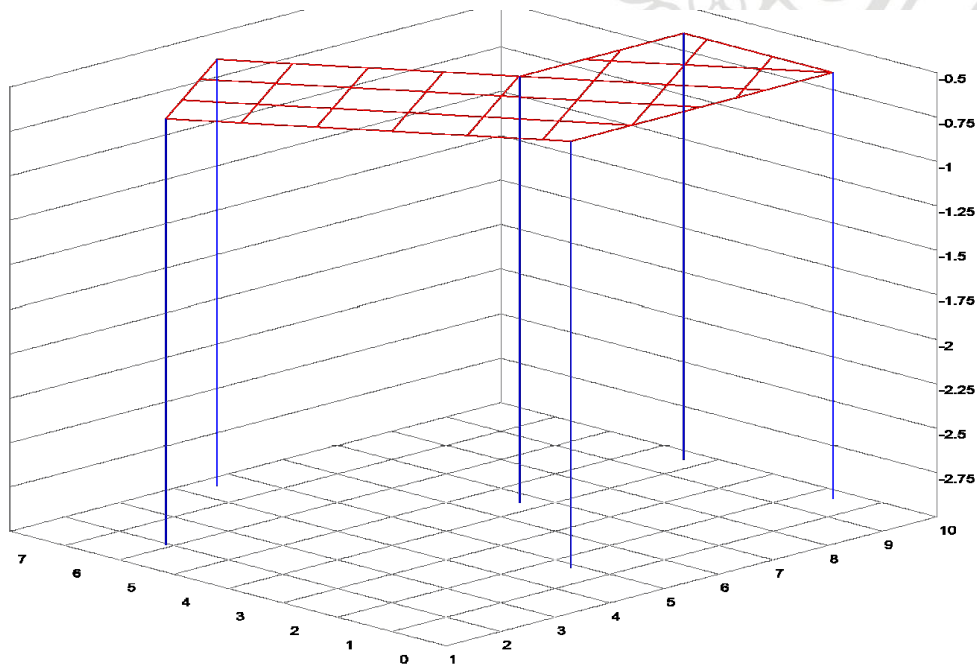


FIGURA 30. Malla del sistema de puesta a tierra en Aspix.

Los resultados obtenidos se muestran en la FIGURA 31. Obsérvese que el GPR es de 4384.78V, las tensiones de paso y contactos calculadas están por debajo de las permisibles para una persona de 50 kg y la resistencia de la malla es de 0.845Ω .

Description	Value
Grounding grid resistance (Ohm)	0.845
Ground Potential Rise GPR (V)	4384.788
Grid Current (A)	5190.000
Fault Current Division Factor Sf	1.000
Tolerable Touch Voltage - 70 kg person (V)	2942.210
Tolerable Touch Voltage - 50 kg person (V)	2173.862
Touch Voltage (V)	2787.997
Tolerable Step Voltage - 70 kg person (V)	11102.746
Tolerable Step Voltage - 50 kg person (V)	8203.303
Step Voltage (V)	970.920
Total length of the conductor (m)	65.083
Total number of rods	6

FIGURA 31. Resultados obtenidos para la malla del sistema de puesta a tierra en Aspix.

La FIGURA 32 y FIGURA 33 ilustra las tensiones contacto y de paso respectivamente.

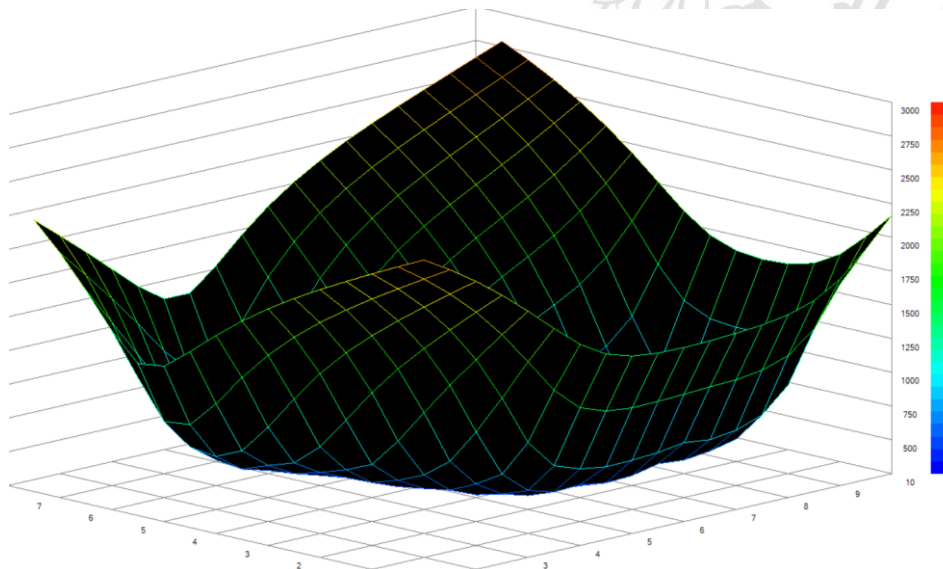


FIGURA 32. Tensiones de contacto.

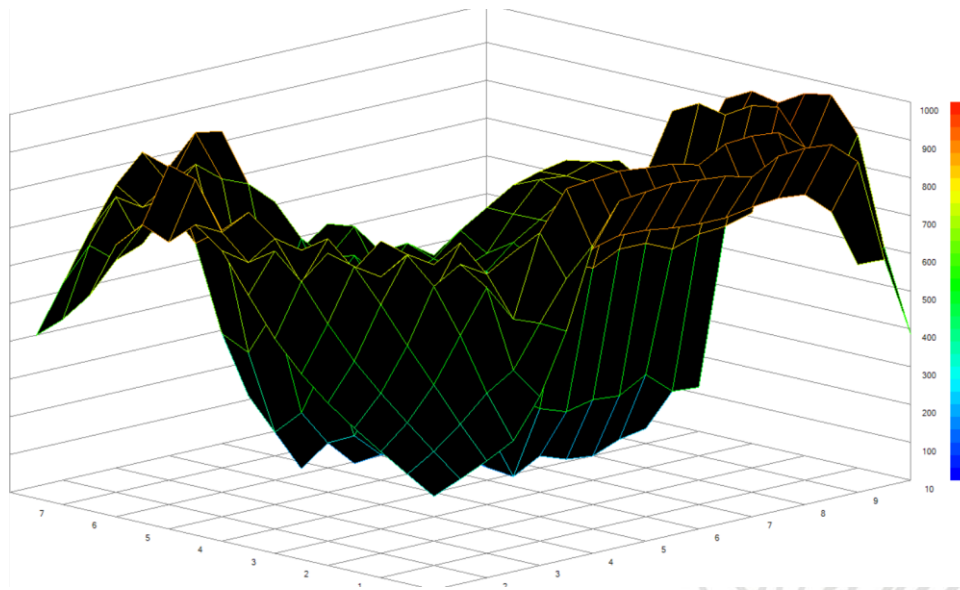


FIGURA 33. Tensiones de paso.

5.2 Sistema de apantallamiento para la instalación CONASFALTOS.

5.2.1 La empresa

Es una empresa de ingeniería dedicada a la gestión de proyectos de infraestructura vial y de minería de materiales para la construcción a nivel nacional.

5.2.2 La necesidad

La empresa requería de un diseño de ingeniería para un sistema de apantallamiento debido a un traslado de sus instalaciones operativas; para esto, se contactó al cliente se identificó cual era sus necesidades, cuáles eran sus prioridades y se orientó respecto a los beneficios que obtendrían al apantallar adecuadamente la instalación.

5.2.3 Implementación de la metodología según la norma Colombiana NTC 4552.

Si bien la protección contra descargas atmosféricas es un fenómeno que en muchas de las ocasiones preocupan a las personas por su seguridad o daños a equipos, las descargas eléctricas 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. La necesidad de protección, las ventajas económicas de instalación de la protección y la selección de las medidas adecuadas para la protección se deben determinar en términos del manejo del riesgo.

Los rayos a tierra son peligrosos para las estructuras y sus acometidas de servicios. Los peligros a la estructura se manifiestan como:

- Daños a la estructura y su contenido.
- Fallas asociadas a sistemas eléctricos y electrónicos.

- Lesiones a seres vivos dentro o fuera de la estructura.

Los efectos de los daños y fallas se pueden extender a los alrededores de la estructura o pueden involucrar su entorno. Los peligros en las acometidas de servicios pueden generar:

- Daños a los mismos servicios.
- Fallas asociadas a los equipos eléctricos y electrónicos.

El nivel del riesgo es un cálculo que se realiza teniendo en cuenta la probabilidad de que una descarga atmosférica impacte la estructura y su acometida de servicio, considerando los posibles daños y perjuicios que pueda causar esta situación.

A partir de la evaluación del nivel del riesgo se determinó 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 esta evaluación se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- Las características de la estructura (dimensiones, materiales y contenido)
- La acometida de servicio
- Condiciones meteorológicas de la zona.

Para realizar el análisis de riesgo se hace un comparativo entre los niveles de riesgo tolerables que se establecen normativamente y los calculados con el software IEC Risk Assessment Calculator, sin medidas de protección y se calcula el nivel de protección necesario en caso de necesitarla.

La NTC 4552-I, [5], NTC4552-II, [6] y NTC 4552-III, ilustra los tipos de pérdidas pueden aparecer dependiendo de las características del mismo objeto y de su contenido. Pérdida de vida humana, pérdida de servicios públicos, pérdida de patrimonio cultural y pérdida económica (estructura y contenido, lucro cesante), además ilustra el nivel de riesgo que debe ser evaluado para los tipos de pérdida asociados a la estructura y las acometidas de servicios. Los riesgos son: riesgo de pérdida de vida humana, riesgo de pérdida del servicio público, riesgo de pérdida de patrimonio cultural y riesgo de pérdida de valor económico.

5.2.4 Sistema de captación

La metodología utilizada para la ubicación de las puntas de captación es el método de la esfera rodante, tal como se describe en la norma NTC 4552 – 3 [7]. El método de la esfera rodante consiste en dejar rodar una esfera imaginaria sobre el volumen de la estructura a proteger, las zonas de la estructura que logre tocar la esfera son las que estarán expuestas al impacto directo de una descarga atmosférica, el objetivo es que solo las puntas de captación y el anillo equipotencializador sean tocados por la esfera. El radio de la esfera rodante depende del nivel de protección adoptado según la evaluación del nivel de riesgo.

5.2.5 Radio de la esfera rodante – modelo electrogeométrico

Según la NTC 4552-3 [7], dependiendo el nivel de protección de acuerdo con la NTC 4552-1 el radio de la esfera rodante se puede escoger a partir de la FIGURA 34.

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

FIGURA 34. Valores máximos del radio de la esfera rodante según el nivel de protección [7].

El procedimiento es posicionar los terminales de captación de tal forma que con el radio de la esfera seleccionada por el nivel de protección nunca se toque ninguna parte de la estructura. De esta manera la esfera indicaría el espacio protegido y siempre estaría soportada por algún elemento del sistema de captación.

La FIGURA 35 muestra la utilización del método.

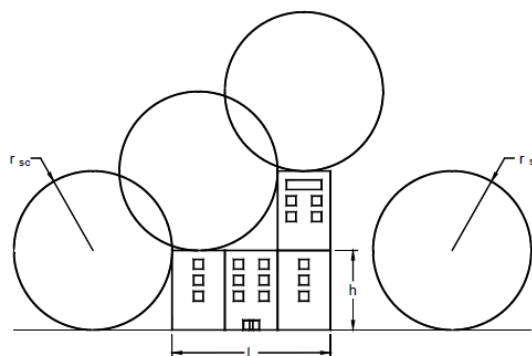


FIGURA 35. Utilización del método de la esfera rodante [7].

Si se considera la tensión de ruptura dieléctrica de grandes espacios, empíricamente se ha establecido una ecuación dependiente de la corriente de retorno del rayo I_{max} , de la que depende r_{sc} , el cual es el radio de una esfera que gira en torno a la punta captadora, generando un área de protección de revolución.

El radio de la esfera rodante depende del nivel de protección adoptado según la evaluación del nivel de riesgo y se estima aplicando la expresión propuesta en la tesis doctoral Vargas, M “Nuevo Modelo Integral Del Canal De La Descarga Eléctrica Atmosférica y Su Enlace Con Estructuras En Tierra” (ver ecuación 5).

$$S_r = 3.9(i_p)^{0.78} [m] \quad (5)$$

Donde:

Sr: distancia de impacto para terreno plano (sin estructura)

I_p : es la corriente pico mínima en la zona tropical para cada nivel de protección dictaminada en la NTC 4552-1 [5].

La FIGURA 36 muestra los valores mínimos del rayo que asocia al radio de la esfera rodante.

Criterio de interceptación			NPR			
	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Corriente pico mínima	I	kA	17	21	26	30
Radio esfera rodante	R	m	35	40	50	55

FIGURA 36. Valores mínimos del rayo relativos al radio de la esfera rodante[5].

Para el caso en estudio la distancia de impacto para terreno plano o radio de la esfera rodante (S_r) es de 55m, a partir de una corriente pico de impacto de 30kA, cualquier corriente igual o superior, será interceptada por el SPE. Estos parámetros del rayo de acuerdo con la Norma NTC 4552 – 1 tienen una probabilidad del 84% de ser superados.

5.2.6 Sistema de bajantes

Un sistema de protección externa contra rayos debe contar con un sistema de conductores bajantes ubicados de tal manera que cumplan algunos requisitos, tales como: existencia de varios caminos paralelos para tratar de reducir la probabilidad de daño debido a corrientes de rayo, fluyendo por el sistema externo de protección, además de tratar de reducir la longitud de los caminos de los bajantes.

Para cada sistema de protección externo el número de bajantes no debe ser inferior a 2 y debe ser distribuido por el perímetro de la estructura a proteger, sujeto a restricciones prácticas y arquitectónicas. En la FIGURA 37, se muestra la distancia de separación promedio para las bajantes de acuerdo con el nivel de protección.

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

FIGURA 37. Separación recomendada en bajantes. De [5]

En los 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.

5.2.7 Resultados obtenidos en AutoCAD 3D

AutoCAD [14] es de los programas más útiles y usados en ingeniería, AutoCAD es un programa de dibujo por computadora CAD 2 y 3 dimensiones, puedes crear dibujos o planos

genéricos, documentar proyectos de ingeniería, arquitectura, mapas o sistemas de información geográfica, de [15].

En la FIGURA 38 se muestra la estructura sin sistema de protección contra rayos.

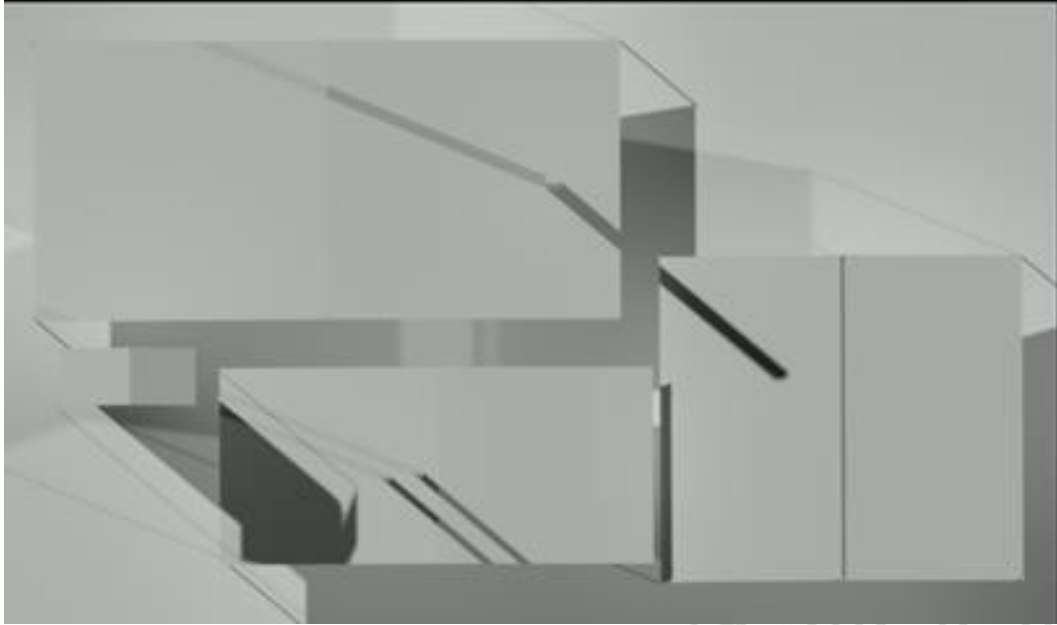


FIGURA 38. Estructura para proteger.

Usando el programa AutoCAD 3D 2018 se realizó el sistema de apantallamiento para la estructura, la FIGURA 39 y FIGURA 40 ilustran los resultados obtenidos.

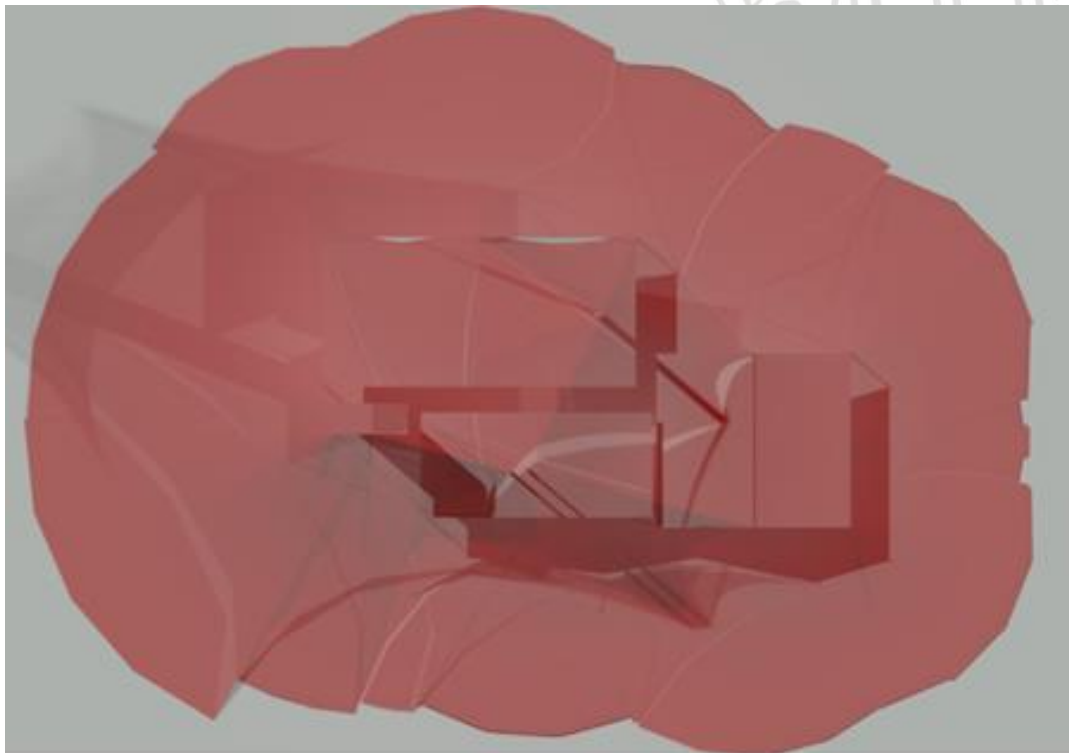


FIGURA 39. Estructura protegida usando el método de la esfera rodante.

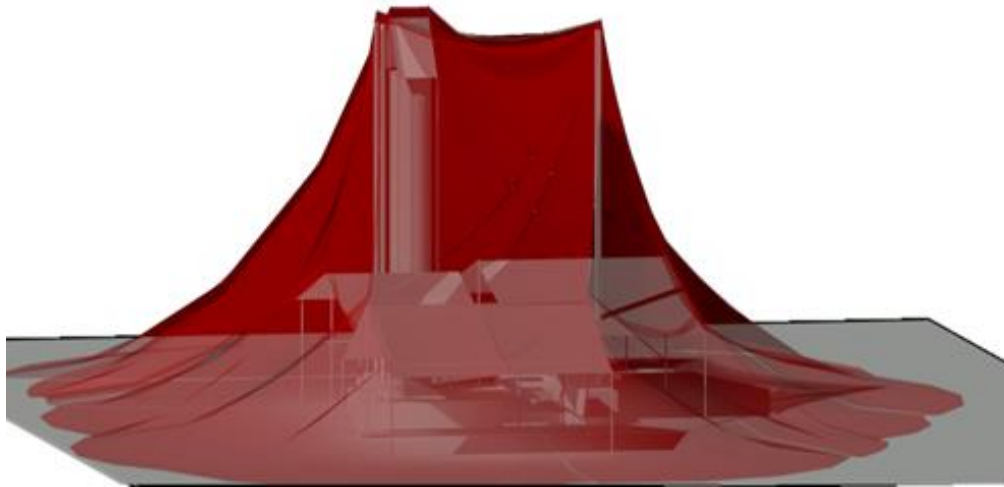


FIGURA 40. Estructura protegida usando el método de la esfera rodante.

5.3 Simulación para el sistema de iluminación para la clínica Antioquia.

5.3.1 La empresa

Empresa de la salud encargada de brindar calidad, la humanización, seguridad y la gestión del riesgo en la prestación de servicios de salud, buscando el bienestar de los pacientes y la confianza de nuestros clientes, [16].

5.3.2 La necesidad

La empresa requería de un diseño de un sistema de iluminación con base al reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP)[17].

Para este caso en particular se ilustra la metodología usada para el cálculo del sistema de iluminación teniendo en cuenta el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP [17]. Todo proyecto de iluminación o alumbrado público debe de conocer las condiciones físicas y arquitectónicas del espacio a iluminar, los requerimientos de luz para los usos que se pretendan. Además, contar con un plan de mantenimiento del sistema que garantice atender los requerimientos de iluminación durante la vida útil del proyecto. Para este caso en particular la clínica no tenía áreas clasificadas, por tanto, no requería de productos especiales para este tipo de lugares.

5.3.3 Requerimientos de Luz.

Las zonas de trabajo deben cumplir con unos niveles de Lux (lumen por metro cuadrado), un índice de deslumbramiento y una uniformidad, entre otros; establecidas en el reglamento RETILAP. En la Tabla 7 se muestra algunos de los valores que debe cumplir, los cuales se encuentran en la tabla 410.1 capítulo 4 del RETILAP [17].

Tabla 7. Índice de deslumbramiento unificado (UGR) máximo y niveles de iluminancia (lx) exigibles para diferentes áreas y actividades

[17].

Tipo de recinto y actividad	UGR	Nivel medio de iluminancia (lx)		
		Mínimo	Medio	Máximo
Sala de exámenes				
Iluminación general	19	300	500	750
Consultorios				
Iluminación general	19	300	500	750
Iluminación local	19	500	750	1000

5.3.4 Características de reproducción cromática y de temperatura de color.

El índice de reproducción cromática y la temperatura de color de la fuente luminosa pueden incidir en las condiciones psicológicas y la percepción estética cuando se realiza una tarea, tales factores pueden acentuarse en función del nivel de iluminación. Por tanto, la selección de las fuentes luminosas son factores de gran importancia a considerar en adición a las preferencias personales, la presencia o ausencia de luz natural y el clima exterior. En la FIGURA 41 y TABLA 8 se muestra la clasificación de las fuentes luminosas de acuerdo con el índice de reproducción y la temperatura del color.

La FIGURA 41 ilustra las fuentes luminosas en función de sus características de temperatura de color e inducción de reproducción cromática.

Índice de reproducción cromática (Ra) o (CRI) %	Clase	Cálido < 3.300 K	Neutro 3.300 – 5.000K	Frío >5.000 K	Criterio de aplicación
≥ 90	1 A	Halógenas	Fluorescente lineal y compacta	Fluorescente lineal y compacta	Principalmente donde la apreciación del color sea un parámetro crítico
		Fluorescente lineal y compacta Halogenuros metálicos y cerámicos	Halogenuros metálicos y cerámicos		
80 - 89	1 B	Fluorescente lineal y compacta	Fluorescente lineal y compacta	Fluorescente lineal y compacta	En áreas donde la apreciación correcta del color no es una consideración primaria pero donde es esencial una buena reproducción de colores
		Halogenuros metálicos y cerámicos	Halogenuros metálicos y cerámicos		
		Sodio Blanco			
70 - 79	2 A	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos	En áreas donde la calidad de apreciación correcta del color es de poca importancia
< 70	2 B, 3 y 4	Mercurio	Mercurio		
		Sodio			

FIGURA 41. Fuentes luminosas. De [18].

Clase	Índice de reproducción de color
-------	---------------------------------

Tabla 8.
las fuentes
acuerdo con su
de
color [17].

	(CRI o Ra)%
1A	>90
1B	80 a 89
2A	70 a 79
2B	60 a 69
3	40 a 59
4	<20

Clasificación de
luminosas de
índice
reproducción de

5.3.5 Plan de mantenimiento

La eficiencia de las lámparas disminuye con sus horas de utilización, la limpieza frecuente de las mismas aporta a que el flujo luminoso se mantenga, las personas encargadas de la operación y el mantenimiento de las instalaciones eléctricas y de los sistemas de iluminación son los responsables de mantenerlas en condiciones seguras por lo tanto son los que garantizan que se cumplan las disposiciones y requisitos que deben tener los sistemas de iluminación y verificar que estas conexiones no presenten ningún riesgo para la salud, la vida de las personas, animales o el medio ambiente.

5.3.6 Factor de mantenimiento

Para el diseño del proyecto, se calculó el factor de mantenimiento FM a partir de la ecuación descrita en el numeral 430.5.1 del RETILAP [17].

$$FM = FE \times DLB \times Fb \quad (6)$$

Donde:

- FE: Depreciación de la luminaria por ensuciamiento.
- DLB: Depreciación por disminución del flujo luminoso de la bombilla
- FB: Factor del balasto 1 según datos del fabricante.

Para el factor de depreciación de la luminaria por ensuciamiento FE, se toma como 0,9 teniendo en cuenta un periodo de limpieza cada 18 meses, todo con base a lo indicado en la CIE136-2000. En la FIGURA 42 se muestra el factor de depreciación por suciedad de la luminaria en función del tiempo de exposición.

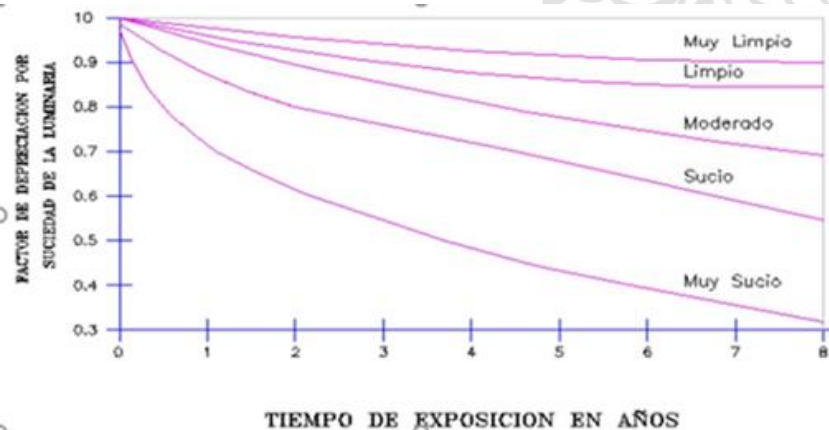


FIGURA 42. Factor de depreciación por suciedad de la luminaria vs tiempo de exposición [4].

De acuerdo con la información suministrada por el fabricante de la tecnología LED.

$$FM=0.8. \quad (7)$$

Se recomienda un periodo de limpieza de cada 18 meses, tipo moderado según la gráfica.

5.3.7 Inspección y mantenimiento de las luminarias.

Los conductores que se usan para conectar el equipo o luminaria se deben seleccionar adecuadamente, se tuvo en cuenta la potencia de la luminaria que se va a alimentar, con el fin de realizar la correcta selección del conductor que se utilizara. Al realizar el mantenimiento de la luminaria se debe observar el estado del conductor alimentador y verificar que el calibre del conductor sea el indicado para la carga que se está alimentando.

En el mantenimiento e inspección de la luminaria y las demás instalaciones eléctricas se debe observar el estado de dichas instalaciones, verificando los siguientes puntos:

- Verificar que el empalme no presente sulfatación.
- Observar el estado de los conectores, en muchos casos se aflojan o pierden su hermeticidad.
- Ausencia de voltaje: cerciorarse que no existan daños en el circuito de alimentación y que no se encuentren apagados uno o varios interruptores.
- Para la ejecución del mantenimiento correctivo es importante tener en cuenta los siguientes aspectos. Este consistirá en la realización de las siguientes actividades:

5.3.7.1 Sustitución de fuentes:

Una vez que haya cumplido la vida útil de las fuentes de acuerdo con las especificaciones del fabricante, éstas deben ser cambiadas por otras con las mismas características de manera tal que se evite la falta de iluminación. Dado que las luminarias tienen distintos tiempos de vida útil se realizará el reemplazo de fuentes inmediatamente ellas fallen, en caso de no ser posible se realizará un mantenimiento general de toda la instalación cada 12 meses entre cada mantenimiento.

5.3.7.2 Sustitución de balastos:

Se debe realizar el cambio del balasto inmediatamente estos presenten fallas con el fin de evitar daños en las fuentes, estos se deben cambiar por una de las mismas características técnicas.

5.3.7.3 Limpieza de las luminarias:

Se debe realizar una limpieza de la luminaria, y el conjunto óptico de las luminarias cada vez que se realice la sustitución de las luminarias o cualquier elemento. Además, cada 18 meses como se estableció en el factor de depreciación por ensuciamiento de la luminaria, ya que estas suelen acumular polvo y suciedades que pueden alterar su buen funcionamiento. Para mantener el sistema de iluminación se recomienda lo siguiente, esto con el fin de garantizar

una iluminación adecuada, por lo tanto, se deben aplicar los siguientes criterios de mantenimiento.

- Utilizar fuentes y balastos que tengan certificado RETILAP.
- Apagar las luminarias cuando no se estén utilizando y aplicar el plan de mantenimiento recomendado.
- Realizar los cambios de los equipos cuando estos ya cumplieron la vida promedio.
- Reemplazar las fuentes y donde sea necesario, los equipos auxiliares y cerciorarse que el casquillo de la fuente este perfectamente adaptado o coincida con la portalámpara.
- Revisar el encendido, apagado y el correcto funcionamiento de la luminaria.
- Realizar el mantenimiento mecánico y eléctrico de la luminaria.
- Los cristales de las ventanas y las superficies que forman techos y paredes deben ser limpiados periódicamente para mantener la transmisión de luz natural y la reflectancia de estas.
- La limpieza o repintado de las paredes y techos tendrá gran importancia en el caso de salas pequeñas y de alumbrados indirectos.
- Las luminarias deben ser limpiadas regularmente, sobre todo las superficies reflectoras y difusoras. Si incorporan difusores de policarbonato, bien sea liso o prismático, y están envejecidos por el uso, deberán ser sustituidos.
- La realización de una limpieza programada a intervalos regulares permite mantener de una forma más constante los niveles de iluminación de un local. Para obtener una máxima ventaja económica, el intervalo de limpieza deberá mantener una relación con el intervalo de reposición de las fuentes.

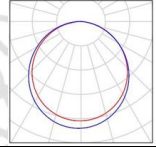
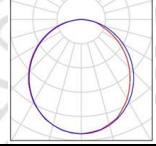
5.3.8 Selección de luminarias y fuentes luminosas.

Se deben elegir las luminarias y fuentes luminosas teniendo en cuenta, la eficacia lumínica, flujo luminoso, características fotométricas, reproducción cromática, temperatura del color de la fuente, duración y vida útil de la fuente, tipo y características de la luminaria, todo esto acorde con las actividades y objetivos de uso de los espacios a iluminar; así como de consideraciones arquitectónicas, ambientales y económicas.

Los criterios que se deben usar para identificar los tipos de luminarias son:

- Su fotometría
- Su uso
- El tipo de fuente de luz o bombilla
- Las dimensiones y forma de la luminaria
- El tipo de montaje o instalación requerido
- Su cerramiento o índice de protección IP

Tabla 9. Luminarias seleccionadas para la instalación.

Luminaria	Tipo de fuente	Cantidad	Potencia	Flujo luminoso	Índice de reproducción cromática (CRI)	Fotometría
VCP ECOLIGHTING LED 15W	LED	16	15	1328	>80	
VCP ECOLIGHTING LED 45W	LED	24	45	3856	>80	

La Tabla 9 muestra las luminarias seleccionadas para la instalación, teniendo en cuenta los distintos espacios que requieren ser iluminados, es decir, consultorios, pasillos, sala de espera, etc.

5.3.9 Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación

Un sistema de iluminación eficiente es aquel que, además de satisfacer necesidades visuales y crear ambientes saludables, seguros y confortables, posibilita a los usuarios disfrutar de ambientes agradables, empleando los recursos tecnológicos más apropiados y evaluando todos los costos que se incurren en la instalación, operación y mantenimiento del proyecto de iluminación se llegue al menor valor. La eficiencia energética de la instalación de iluminación de una zona se evaluará mediante el indicador Valor de Eficiencia Energética de la instalación VEEI expresado en (W/m²) por cada 100 luxes, mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{Px100}{SxE_{Prom}} \quad (8)$$

Dónde:

- P: potencia total instalada en las bombillas más los equipos auxiliares, incluyendo sus pérdidas (W)
- S: superficie iluminada (m²)
- E_{prom}: iluminancia promedio horizontal mantenida (lux)

$$E_{Prom} = (\Phi_{Tot} \times CU \times FM)/A \quad (9)$$

Dónde:

- Φ_{Tot} : flujo luminoso total de las bombillas
- A: área del plano de trabajo (m²)
- CU: coeficiente o factor de utilización para el plano de trabajo
- FM: factor de mantenimiento

Con ayuda del de programa DIALux 4.13 podemos ver la eficiencia de toda la instalación. Eficiencia energética para la Clínica Antioquia en general:

Valor de eficiencia energetica: $7.64 \text{ W/m}^2 = \frac{2.02}{\text{m}^2} / 100\text{lx}$ (base: 175.62 m²). (10)

Al comparar las eficiencias energéticas obtenidas por el programa de diseño DIALux, [19] con las de la FIGURA 43 tomada del RETILAP en numeral 440.1, [14], vemos que es una instalación eficiente, esto debido al diseño y al uso de iluminación led.

Grupo	Actividades de la zona	Límites de VEEI
a Zonas de baja importancia lumínica	Administrativa en general	3,5
	Andenes de estaciones de transporte	3,5
	Salas de diagnóstico (4)	3,5
	Pabellones de exposición o ferias	3,5
	Aulas y laboratorios (2)	4,0
	Habitaciones de hospital (3)	4,5
	Otros recintos interiores asimilables a grupo 1 no descritos en la lista anterior	4,5
	Zonas comunes (1)	4,5
	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Parqueaderos	5
	Zonas deportivas (5)	5
b Zonas De alta importancia lumínica	Administrativa en general	6
	Estaciones de transporte (6)	6
	Supermercados, hipermercados y grandes almacenes	6
	Bibliotecas, museos y galerías de arte	6
	Zonas comunes en edificios residenciales	7,5
	Centros comerciales (excluidas tiendas) (9)	8
	Hostelería y restauración (8)	10
	Otros recintos interiores asimilables a grupo 2 no descritos en la lista anterior	10
	Centros de culto religioso en general	10
	Salones de reuniones, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, y salas de conferencias (7)	10
	Tiendas y pequeño comercio	10
	Zonas comunes (1)	10
	Habitaciones de hoteles, etc.	12

FIGURA 43. Límite de VEEI. De [17]

5.3.10 Iluminación de Emergencia

En las instalaciones de la Clínica Antioquia, el alumbrado de emergencia está ubicado según el RETILAP en las instalaciones donde tengan tableros de distribución, de accionamiento de la instalación de alumbrado, zonas de baños de uso público y recorridos de las rutas de evacuación.

La localización de las luminarias de emergencia debe situarse por lo menos a 2 metros por encima del nivel del suelo y debe instalarse en las puertas existentes en los recorridos de evacuación; en las escaleras; en cualquier otro cambio de nivel; en los cambios de dirección y en las intersecciones de pasillos.

5.3.11 Diseño de la iluminación

Para el diseño de la iluminación fue necesaria la utilización de dos software de diseño, el primero fue el AutoCAD en el cual es necesario para la exportación del plano en 2D

estructura para DIALux 4.13, el segundo software que se utilizó fue DIALux 4.13, en el cual se realizó el levantamiento de los planos, para posteriormente colocar las luminarias y realizar las respectivas simulación. En la FIGURA 44, FIGURA 45, FIGURA 46 y FIGURA 47 se muestran los resultados de las simulaciones.



FIGURA 44. Iluminación general Clínica Antioquia Itagüí.

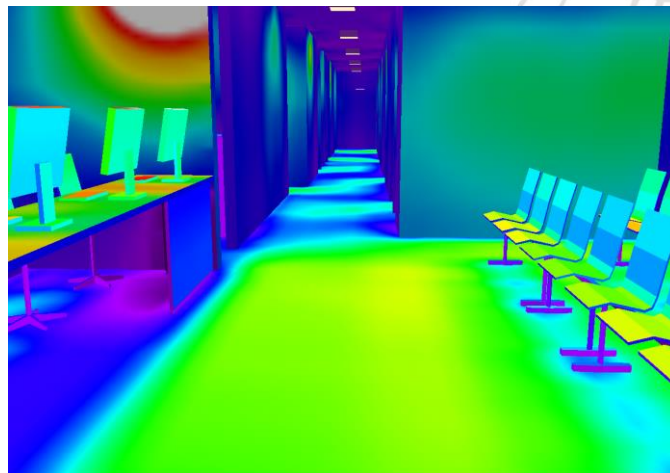


FIGURA 45. Iluminación general colores falsos Clínica Antioquia Itagüí.



FIGURA 46. Iluminación emergencia Clínica Antioquia Itagüí

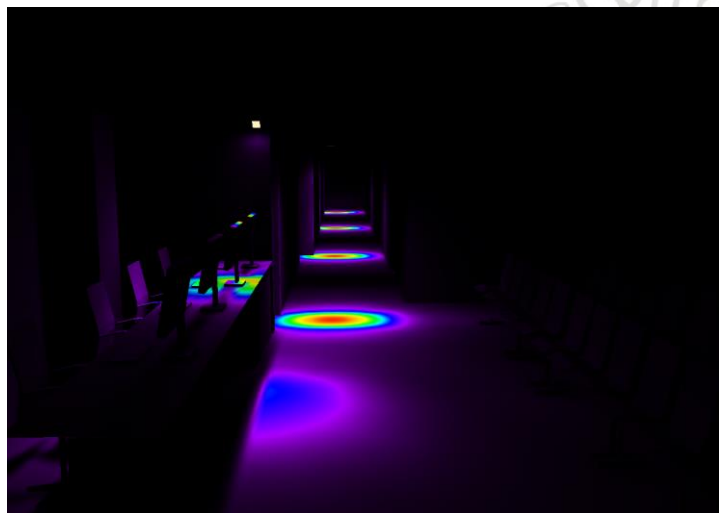


FIGURA 47. Iluminación emergencia colores falsos Clínica Antioquia Itagüí.

6 Conclusiones

Para la instalación FAIZÁN se aprobó una subestación de 630 kVA tipo interior en un segundo piso, en la cual se tuvo en cuenta lo establecido por el operador de red para el sistema de ventilación natural, las distancias de seguridad, distancias de trabajo seguro, sistema de puesta a tierra y toda la norma que avale el diseño teniendo en cuenta el reglamento y las normas del operador de red.

La prioridad del RETIE es garantizar la seguridad de las personas, animales, medio ambiente y equipos, un sistema de puesta a tierra bien caracterizado minimiza el riesgo de muerte. Para el diseño del sistema de puesta a tierra el factor más importante es la resistividad del terreno, una resistividad alta conlleva a buscar estrategias de diseño que permitan garantizar las tensiones de toque, contacto y transferida.

El modelo de dos capas busca caracterizar el suelo no homogéneo a una curva de dos capas, esto entrega información valiosa del terreno y define como deberá ser tratada la malla del sistema de puesta a tierra; Una malla realizada con la metodología del terreno de dos capas ayuda a evitar que el costo de esta sea elevado. La metodología de la IEEE 80 es recomendada para mallas pequeñas y donde la resistividad del terreno a su vez sea muy similar o uniforme.

Para el sistema de apantallamiento, comúnmente se usa el método electro-geométrico con resultados satisfactorios, todo sistema de apantallamiento debe equipotencializar todas las puntas de captación uniéndolas entre sí en la parte superior de la edificación, esto permite que la corriente del rayo se divida en la parte superior de la estructura. La tierra para el sistema de apantallamiento fue unida adecuadamente a la tierra de la malla de 60 Hz de la instalación, como lo establece en el artículo 15.1.

Se evidenció la estructura usada en la empresa COINSI para el diseño de los sistemas de iluminación, apoyándose en el RETILAP cuya premisa es generar un ambiente adecuado con base a la actividad a realizar en la instalación. Las clínicas son espacios que generan alta limpieza debido a la criticidad del trabajo allí realizado, por tanto, la recomendación es usar una luz fría que permita adecuar un ambiente para el trabajo y mantener a las personas despiertas (personal médico). En el programa DIALux 4.13 se generó resultados altamente cercanos a la realidad; Uno de los resultados más importantes que genera el DIALux 4.13 aparte de los niveles de flujo luminoso sobre los espacios de trabajo es la eficiencia energética de la instalación, esto permite cuestionar o corroborar si la tecnología usada para iluminar el recinto es adecuada y económicamente viable.

Finalmente realizar las prácticas en la empresa COINSI S.A.S ha sido el primer acercamiento formal de trabajo respecto a la ingeniería, en donde la experiencia logró activar nuevos retos a nivel personal y profesional; COINSI S.A.S es una empresa donde se viven los grandes valores humanos y donde existe una hermandad muy alta entre colegas, por tanto, he estado muy agradecido por la oportunidad y la confianza que ellos brindaron en mí para generar y apoyar los distintos proyectos a los que me he enfrentado hasta el momento.

7 Referencias bibliográficas

- [1] Ministerio de Minas y Energía, «RETIE». .
- [2] «IEEE Xplore Full-Text PDF»: [En línea]. Disponible en: <https://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2488/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6799983>. [Accedido: 27-may-2018].
- [3] «Redes de Distribución de Energía». .
- [4] «MÓDULO 6 V22 febrero28 -2017 .pdf». .
- [5] «NTC 4552-1.pdf». .
- [6] «NORMA_TECNICA_NTC_COLOMBIANA_4552-2.pdf». .
- [7] «NTC 4552-3.pdf». .
- [8] G. Parise, L. Parise, y L. Martirano, «Needs of Management of the Grounding Systems», *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 51, n.º 6, pp. 5017-5022, nov. 2015.
- [9] N. Ntc, «NTC 2050», p. 955.
- [10] «Claridad, transparencia, calidad e innovación son nuestros compromisos con el consumidor | Carnes Frías Faizán Medellín». [En línea]. Disponible en: <http://www.faizan.co/content/que-es-faizan>. [Accedido: 12-ene-2019].
- [11] J. S. R. Castaño y E. A. C. Plata, «SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF», p. 122.
- [12] «Guía de uso del medidor MI-2088», p. 20.
- [13] «WIPI_OM2.PDF». .
- [14] «Consejos de AutoCAD | Software de CAD | Autodesk». [En línea]. Disponible en: https://latinoamerica.autodesk.com/campaigns/autocad-33tips?mktvar002=1050528&&mkwid=s8VNwJ7xv%7cpcrid%7c339578067971%7cpkw%7cautocad%7cpmt%7ce%7cpdv%7cc%7cslid%7c%7cpgrid%7c67980600213%7cptaid%7ckwd-14891210%7c&intent=&utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_campaign=&utm_term=autocad&utm_content=s8VNwJ7xv%7cpcrid%7c339578067971%7cpkw%7cautocad%7cpmt%7ce%7cpdv%7cc%7cslid%7c%7cpgrid%7c67980600213%7cptaid%7ckwd-14891210%7c&addisttype=g&s_kwid=AL!8131199977!3!339578067971!e!!g!!autocad&gclid=EAIaIQobChMI-pWc3PLG4QIVBESGCh2SOQtHEAAYASAAEgKuEvD_BwE&gclsrc=aw.ds. [Accedido: 10-abr-2019].
- [15] «AutoCAD es un programa de dibujo por computadora CAD». [En línea]. Disponible en: <http://www.3dcadportal.com/autocad.html>. [Accedido: 10-abr-2019].
- [16] «Clínica Antioquia | Por tu bien». .
- [17] «RETILAP180540_2010.pdf». .
- [18] «Análisis comparativo de parámetros generales entre las lámparas de alumbrado público (página 2) - Monografias.com». [En línea]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos93/analisis-comparativo-lamparas/analisis-comparativo-lamparas2.shtml>. [Accedido: 30-may-2019].
- [19] D. GmbH, «DIALux Download», *DIAL GmbH*. [En línea]. Disponible en: <https://www.dial.de/es/dialux-desktop/download/>. [Accedido: 10-abr-2019].

8 Visto bueno del asesor interno y asesor externo

Juan David Saldarriaga L

Nombre del asesor interno
C.C.

Firma del asesor interno

Orley Molina Sánchez

Nombre del asesor externo
C.C.

Firma del asesor externo

