

Rediseño de la Instalación Eléctrica de la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño en
el municipio de San Alberto Cesar

Gina Marcela Montiel Pineda y Diego Fernando Nieto Olarte

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

Rolando Andrés Rincón Saravia

Ingeniero electricista, Magister en dirección de empresas MBA

Codirector

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Ingeniero electricista, Doctor en tecnología

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánica

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2026

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida, ya que sin su apoyo, esfuerzo y dedicación constante nada de esto habría sido posible. Su acompañamiento incondicional ha sido clave en mi formación personal y profesional.

De igual manera, agradezco a mis hermanos Elkin y Alex, quienes han sido un gran apoyo durante toda la carrera, brindándome motivación, compañía y respaldo en los momentos más importantes de este proceso.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento a Yulieth, quien ha sido mi compañera de convivencia durante toda la carrera, compartiendo este proceso y brindándome apoyo constante en el día a día. También a mi cuñada Silvia, por su apoyo permanente y por estar siempre pendiente, siendo una parte clave en mi paso por la sede principal de Bucaramanga, aportando motivación y acompañamiento en distintos momentos de la carrera.

De igual manera, quiero expresar mi agradecimiento a mis amigos Oscar, Michael, Edward, Michel, Fabián, Miguel, Juancho, Brayan, Hernando, Andrés, Aldair, José y Karen, quienes hicieron parte importante de esta etapa de mi vida universitaria. A cada uno de ellos les agradezco por su amistad, apoyo y compañía durante la carrera, por los momentos compartidos, por las enseñanzas y por haber estado presentes en diferentes situaciones a lo largo de este proceso. Su compañía fue fundamental para hacer más llevadero este camino y motivarme a seguir adelante en los momentos de mayor dificultad.

De manera especial, Gina, mi compañera de trabajo de grado, por su apoyo constante a lo largo de toda la carrera. Su acompañamiento en el ámbito académico fue fundamental, ya que

siempre estuvo dispuesta a colaborar, compartir conocimientos y brindar ayuda en diferentes asignaturas y momentos del proceso formativo. El apoyo mutuo fue clave para afrontar los retos académicos durante la vida universitaria, convirtiéndose no solo en una gran compañera de estudio, sino también en una gran amiga, con quien se compartieron experiencias importantes dentro y fuera del ámbito académico.

De igual manera, expreso mi agradecimiento a todos los docentes que hicieron parte de mi proceso de formación a lo largo de la carrera, por su dedicación, compromiso y entrega en la enseñanza. Cada uno de ellos contribuyó de manera significativa a mi crecimiento académico y profesional, brindando conocimientos, orientación y herramientas fundamentales para mi desarrollo como ingeniero en formación.

Finalmente, expreso mi agradecimiento a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a mi formación como estudiante, ingeniero en formación y a mi crecimiento personal. Este logro no es únicamente individual, sino el resultado del acompañamiento, apoyo y enseñanza de todas las personas que hicieron parte de mi proceso durante mi etapa en la Universidad Industrial de Santander.

Diego Fernando Nieto Olarte

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres, Jorge y Elizabeth, por ser mi principal apoyo a lo largo de toda mi carrera, por estar presentes en cada paso que di y por brindarme la fortaleza necesaria en aquellos momentos en los que sentí que este camino no era para mí y pensé en renunciar. Papi y mami, gracias por darme la oportunidad de convertirme en ingeniera, por sus valiosos consejos y por escucharme cada vez que los necesité. Este logro también les pertenece, los amo profundamente

A mi hermanita Lore, por ser ese apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado brindándome fortaleza y por ser mi compañera en cada etapa de mi vida, igualmente agradecer a mis hermanos Cristian y Jorge. Del mismo modo, a mis abuelos, Arinda y Ubaldo, porque sé que siempre me han llevado en sus oraciones, también a mis tíos, Yulieth y Ubaldo, a mis primos, especialmente Abel, todos ustedes son el principal motivo por el que siempre anhelo la llegada de diciembre y porque me han acompañado con su cariño, aun en la distancia. También, a mi tía nayo, porque cada una de tus oraciones, buenos deseos y palabras de aliento han sido una bendición en mi vida. A todos ustedes gracias por estar a mi lado, por su amor, apoyo y confianza incondicional, los amo.

A mis amigos, especialmente a aquellos con quienes inicié este camino, Camila, Pilar y Miguel que aún siguen formando parte de mi vida, y a quienes fui conociendo a lo largo de la carrera: Mene, Juls, Santi, Tina, Aldair, Andrés, Cris, Michael y Jhona. Solo ustedes saben lo duro que fue este proceso, las largas noches de desvelo y el esfuerzo compartido. Los adoro.

A mi compañero de trabajo de grado, Diego, gracias por compartir conmigo este último paso para alcanzar esta gran meta. Gracias por ser esa parte positiva que me impulsó a seguir

avanzando en este proyecto, por tu apoyo constante en estos últimos semestres y por brindarme tu amistad.

Por último, a mis profesores, por su dedicación, enseñanza y compromiso a lo largo de mi formación académica, por compartir sus conocimientos y contribuir significativamente al desarrollo de este trabajo y a mi crecimiento profesional.

Gina Marcela Montiel Pineda

Tabla de contenido

Introducción	14
Objetivos	16
Objetivo general.....	16
Objetivos específicos	16
Alcance	17
1. Levantamiento eléctrico	17
1.1. Medidor y acometida	19
1.2. Planos eléctricos.....	21
1.3. Diagrama unifilar	24
1.4. Sistema de puesta a tierra.....	25
1.5. Sistema de protección contra descargas atmosféricas.....	27
1.6. Sistema de iluminación.....	28
2. Diseño detallado	30
2.1. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.	31
2.2. Análisis de riesgos por descargas eléctricas atmosféricas (rayos) y medidas de protección. 31	
2.3. Análisis y cálculo de cargas iniciales y futuras, incluyendo factor de potencia y armónicos.....	34
2.4. Coordinación de aislamiento eléctrico.....	34
2.5. Análisis y cálculos de cortocircuito, arco eléctrico y falla a tierra.	35

Rediseño de la Instalación Eléctrica de la I. E. La Llana sede Puerto Carreño	7
2.6. Análisis del nivel tensión requerido.....	36
2.7. Cálculo de campos electromagnéticos	36
2.8. Cálculo de transformadores incluyendo efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.....	37
2.9. Sistema de puesta a tierra.....	37
2.10. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.....	38
2.11. Especificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, la corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor, de acuerdo con la norma IEC 60909 u otra equivalente.....	41
2.12. Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción y soporte de redes de transmisión, de distribución, subestaciones y centrales de generación.	41
2.13. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes. En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947-2 Anexo A.	42
2.14. Cálculos de canalizaciones (tubos, ductos, canales y electroductos), bandejas portacables y volumen de encerramientos (cajas, conduletas, armarios, etc.).....	43
2.15. Cálculo de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia. 43	
2.16. Cálculos de regulación de tensión.....	44
2.17. Áreas clasificadas como peligrosas.	45

Rediseño de la Instalación Eléctrica de la I. E. La Llana sede Puerto Carreño	8
2.18. Diagramas unifilares.....	45
2.19. Planos eléctricos para construcción.....	47
2.20. Distancias de seguridad o servidumbre requeridas.....	49
2.21. Justificación de desviaciones técnicas cuando sea estrictamente necesarias, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.....	49
2.22. Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.....	50
2.23. Selección, cálculo y especificación de equipos de generación de energía convencionales y no convencionales.....	50
3. Sistema de iluminación.....	50
3.1. Luminarias seleccionadas.....	51
4. Análisis de costos referenciales.....	52
Conclusiones.....	55
Recomendaciones.....	57
Referencias Bibliográficas.....	58

Lista de Tablas

Tabla 1	Fallas identificadas	18
Tabla 2	Distribución de la instalación	20
Tabla 3	Resultados de iluminancia de cada punto de la malla	29
Tabla 4	Tabla de resultados	32
Tabla 5	Tabla de resultados totales	33
Tabla 6	Tabla de protecciones	42

Lista de Figuras

Figura 1 Medidor de la instalación actual	20
Figura 2 Planos eléctricos de tomacorrientes (bloque A).....	22
Figura 3 Planos eléctricos de tomacorrientes (bloque B).....	22
Figura 4 Planos eléctricos de iluminación (bloque A)	23
Figura 5 Planos eléctricos de iluminación (bloque B)	23
Figura 6 Diagrama unifilar de la instalación actual existente	25
Figura 7 Cableado tomacorriente	26
Figura 8 Techo de la escuela en diferentes sectores.....	27
Figura 9 Requisitos de iluminación en aulas de clase.....	28
Figura 10 Simulación realizada en LSPS.....	36
Figura 11 Ubicación del sistema de puesta a tierra	38
Figura 12 Resultados de pérdida de energía	44
Figura 13 Resultados de regulación tensión.....	45
Figura 14 Diagrama unifilar de la instalación actualizado.....	46
Figura 15 Planos eléctricos de iluminación actualizados (Bloque A).....	47
Figura 16 Planos eléctricos de iluminación actualizados (Bloque B).....	48
Figura 17 Planos eléctricos de tomacorrientes actualizados (Bloque A).....	48
Figura 18 Planos eléctricos de tomacorrientes actualizados (Bloque B).....	49

Lista de Apéndices

Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional

Apéndice A. Diagramas Unifilares.

Apéndice B. Planos eléctricos.

Apéndice C. Levantamiento eléctrico.

Apéndice D. Sistema de puesta a tierra.

Apéndice E. Memorias de cálculo DIALUX.

Apéndice F. Cuadro de cargas

Apéndice G. Cálculo de cortocircuito.

Apéndice H. Diseño detallado de la instalación eléctrica.

Apéndice I. Fichas técnicas de iluminación y equipos nuevos.

Apéndice J. Presupuesto

Resumen

Título: Rediseño de la instalación eléctrica de la institución educativa la Llana sede Puerto Carreño en el municipio de San Alberto Cesar*

Autores: Gina Marcela Montiel Pineda y Diego Fernando Nieto Olarte**

Palabras clave: Rediseño, instalación, normativa, RETIE, RETILAP

Descripción:

El proyecto tiene como propósito el rediseño de la instalación eléctrica de la Institución Educativa La Llana, sede Puerto Carreño, ubicada en el municipio de San Alberto, Cesar, debido a deficiencias en el sistema eléctrico actual que comprometen la seguridad, funcionalidad y el cumplimiento de la normativa vigente. La instalación actual presenta condiciones inadecuadas asociadas a la ubicación incorrecta de tableros de distribución, deterioro de componentes eléctricos y deficiencias en los niveles de iluminación en diferentes áreas de la escuela. Estas situaciones representan un riesgo significativo para la comunidad educativa y afectan el desarrollo normal de las actividades académicas y administrativas, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP).

El proyecto incluye la elaboración de memorias de cálculo, especificaciones técnicas y la estimación de un presupuesto referencial de los materiales y equipos requeridos, constituyendo una base técnica sólida para la futura implementación del sistema eléctrico, garantizando condiciones seguras, confiables y acordes a la normativa vigente.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Fisicomecánica. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Rolando Andrés Rincon Saravía. Magister en dirección de empresas MBA, Codirector: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. PdH en tecnología

Abstract

Title: Redesign of the electrical installation of the educational institution la Llana, Puerto Carreño headquarters in the municipality of San Alberto Cesar*

Authors: Gina Marcela Montiel Pineda and Diego Fernando Nieto Olarte**

Keywords: Redesign, installation, regulation, RETIE, RETILAP

Description:

The project aims to redesign the electrical installation of the Educational Institution La Llana, headquarters Puerto Carreño, located in the municipality of San Alberto, Cesar, due to deficiencies in the current electrical system that compromise safety, functionality and compliance with current regulations. The current installation has inadequate conditions associated with incorrect placement of switchboards, deterioration of electrical components and deficiencies in lighting levels in different areas of the facility. These situations represent a significant risk to the educational community and affect the normal development of academic and administrative activities, in accordance with the provisions of the Technical Regulations for Electrical Installations (RETIE) and the Technical Regulation of Lighting and Public Lighting (RETILAP).

The project includes the elaboration of calculation memories, technical specifications and the estimation of a reference budget for the required materials and equipment, constituting a solid technical basis for the future implementation of the electrical system, ensuring safe conditions, reliable and in accordance with current regulations.

*Bachelor Thesis

**Facultad de Fisicomecánica. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Rolando Andrés Rincon Saravia. Magister en dirección de empresas MBA, Codirector: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. PdH en tecnología

Introducción

La seguridad y confiabilidad de las instalaciones eléctricas para el usuario final son un factor determinante en la prestación de servicios, tales como las instituciones educativas. Una red eléctrica adecuada no solo permite el buen funcionamiento de equipos y recursos tecnológicos, sino que también protege la vida de estudiantes, docentes y personal administrativo.

En el contexto colombiano, muchas instituciones rurales enfrentan deficiencias en infraestructura eléctrica debido a limitaciones presupuestales, ausencia de mantenimiento preventivo y la antigüedad de sus instalaciones. La problemática mayor radica en que el incumplimiento de los reglamentos técnicos nacionales, como el RETIE y el RETILAP, expone a riesgos eléctricos a muchos estudiantes en el país, incrementando la posibilidad de accidentes, fallas en el suministro y deterioro en los equipos de apoyo escolar. Además, estas falencias comprometen el derecho a una educación segura y de calidad, especialmente en zonas rurales donde las instituciones suelen ser el único centro formativo disponible.

En este marco, la Institución Educativa La Llana, sede Puerto Carreño, ubicada en el municipio de San Alberto, Cesar, evidencia un problema específico de alto impacto: la instalación eléctrica actual no cumple con la normatividad vigente, presenta tableros mal ubicados, puntos eléctricos deteriorados y ausencia de iluminación en sectores clave. Estas deficiencias no solo ponen en riesgo a los estudiantes de preescolar a quinto de primaria que asisten al plantel, sino que también limitan el adecuado funcionamiento de espacios como el restaurante escolar y la biblioteca.

Por lo tanto, este proyecto propone el rediseño de la instalación eléctrica de la sede Puerto Carreño como un aporte fundamental al fortalecimiento de la infraestructura educativa de la

región. Al corregir las falencias detectadas y garantizar el cumplimiento de la normatividad RETIE y RETILAP, se busca mejorar la seguridad, confiabilidad y capacidad de la red eléctrica, contribuyendo de manera directa al bienestar de la comunidad educativa y al desarrollo social del corregimiento.

Objetivos

Objetivo general

Rediseñar la instalación eléctrica de la Institución Educativa La Llana, sede Puerto Carreño, en el municipio de San Alberto, Cesar, para la actualización de la instalación existente a la reglamentación vigente.

Objetivos específicos

Realizar el levantamiento de la instalación eléctrica actual, identificando planos, diagramas, tableros, canalizaciones, protecciones, cargas, puntos de consumo y falencias frente a la normatividad RETIE y RETILAP.

Diseñar la nueva propuesta de la instalación eléctrica de la institución, garantizando seguridad, confiabilidad, eficiencia energética y cumplimiento con los requisitos de RETIE y RETILAP.

Elaborar el análisis de costos referenciales, incluyendo la memoria técnica, selección de materiales y equipos eléctricos necesarios para la futura implementación del diseño.

Alcance

El rediseño se desarrollará considerando únicamente las instalaciones eléctricas aguas abajo del medidor, incluyendo tableros, circuitos derivados y cargas, sin contemplar modificaciones en la acometida ni en los sistemas asociados aguas arriba del punto de medición, conforme a lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones eléctrica, RETIE y el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, RETILAP.

1. Levantamiento eléctrico

Se realizaron tres visitas a la escuela “Institución educativa La Llana sede Puerto Carreño” con el fin de realizar un diagnóstico del estado real de la instalación y recopilar la información necesaria para el posterior proceso de rediseño. Para llevar a cabo estas inspecciones se habló con el director del colegio para el ingreso a la escuela. A primera vista se observaron las falencias que presentaba el establecimiento, concluyendo que en su estado actual no cumple con la normativa RETIE y RETILAP vigente.

Inicialmente, llevó a efecto un reconocimiento general de las áreas que conforman la instalación, donde se identificaron la ubicación de los tableros de distribución, la acometida, los circuitos derivados, la iluminación de pasillos y salones, tomacorrientes y demás elementos relacionados con la instalación eléctrica. También, se verificó el estado físico de los conductores, canalizaciones y sistema de puesta a tierra.

Al hacer la verificación visual de la instalación, se evaluaron las condiciones de seguridad eléctrica, identificando el incumplimiento normativo, ya que se presentan conductores expuestos, sobrecargas, tomacorrientes en mal estado, deficiencia en el sistema de puesta tierra, la ausencia

del sistema de iluminación en pasillos y unidades sanitarias, tableros de distribución ubicados en salones al alcance de los estudiantes y tubería en PVC expuesta. En la tabla 1 se presentan las fallas identificadas durante el levantamiento de la instalación eléctrica, indicando la descripción del hallazgo, su ubicación y la normativa vigente que se considera incumplida, con el fin de facilitar su análisis técnico.

Tabla 1*Fallas identificadas*

DESCRIPCIÓN	ÁREA EVALUADA	INCUMPLIMIENTO NORMATIVO
Conductores eléctricos expuestos y fijados de manera improvisada, sin canalización adecuada	Biblioteca	RETIE – Art. 3.27.1 y 3.27.2 (inciso a)
Caja de derivación metálica con corrosión, ingreso de conductores sin sellamiento y vegetación cercana	Exterior / Pasillo	RETIE – Art. 3.17.6.1; 3.27.1 y 3.27.2
Luminaria en exterior con canalización deteriorada, corrosión y conductores expuestos	Pasillo	RETIE – Art. 3.17.6.1; 3.27.1 y 3.27.2
Caja de derivación sin tapa, con conexiones expuestas y empalmes sin aislamiento adecuado	Baños	RETIE – Art. 3.17.13 (inciso d)
Interruptor parcialmente desprendido con conductores expuestos	Baños	RETIE – Título 2, Libro 2 (inciso g)
Interruptor con tapa deteriorada, mal ajuste y mecanismo interno expuesto	Baños	RETIE – Título 2, Libro 2 (inciso g)
Interruptor tipo “cuchilla” instalado de forma improvisada sin fijación ni protección adecuada	Baños	RETIE – Art. 2.3.17.3.1 (parágrafo 1)
Tomacorriente desprendido con exposición de la caja interna	Restaurante escolar	RETIE – Art. 2.3.8.1 (inciso b)
Tablero sin diagrama unifilar y rotulación ilegible	Salón	RETIE – Art. 3.17.8 (incisos s y w)
Tablero sin diagrama unifilar y rotulación ilegible	Biblioteca	RETIE – Art. 3.17.8 (incisos s y w)
Tablero ubicado bajo tubería con riesgo por posible fuga de agua y sin rotulación ni diagrama	Restaurante Escolar	RETIE – Art. 3.17.8 (incisos y, s y w)

Tablero sin diagrama unifilar y rotulación ilegible	Salón	RETIE – Art. 3.17.8 (incisos s y w)
---	-------	-------------------------------------

Con el fin de evidenciar las fallencias encontradas y apoyar lo dicho en el levantamiento realizado, en el Apéndice C se encuentra el registro fotográfico que soporta cada uno de los hallazgos.

Por último, se llevó a cabo un inventario de las cargas instaladas, ordenándose según su tipo, ya sea tomacorrientes generales, iluminación y equipos especiales, identificando su distribución por circuito, tal y como lo muestra la tabla 2. También se determinó el calibre de los conductores y el tipo de canalización empleada. Estas visitas nos permitieron establecer el estado operativo y normativo de la instalación existente; gracias a esto se pueden definir los criterios técnicos fundamentales para garantizar que el nuevo diseño satisfaga las necesidades de las cuales carece el establecimiento, cumpliendo con la seguridad, confiabilidad y eficiencia energética requeridas.

1.1. Medidor y acometida

La infraestructura de la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño está distribuida en dos áreas separadas dentro del predio institucional. En la primera área se localizan cuatros salones, así como la biblioteca, un cuarto de almacenamiento y un bloque de baños. Por otra parte, aproximadamente a una cuadra de distancia, se encuentra una segunda área donde están ubicados el restaurante, un salón y un segundo bloque de baños. En la inspección se identificó que el suministro de energía de toda la escuela se realiza a través de un único punto de acometida y un solo medidor (*figura 9*). El medidor es monofásico a tensión de 120 V y frecuencia 60 Hz modelo Hexing CIU EV500, es una Unidad de Interfaz de Cliente (CIU) con teclado, diseñado para recargar medidores de energía prepago de forma remota o local y la acometida es trifásica con conductor calibre 1/0 AWG.

Figura 1*Medidor de la instalación actual***Tabla 2***Distribución de la instalación*

Tablero de distribución	Circuitos	Distribución	Cantidad de tomas	Cantidad de luminarias	Cargas instaladas
Tablero 1 (Salón 2)	1	Salón 2	5	4	ventiladores
		Salón 3	5	4	ventiladores
	2	Salón 1	5	4	-----
	3	Salón 4	5	4	ventiladores
	4	Baños	-----	3	-----
Tablero 2 (Biblioteca)	1		6	4	
	2	Gabinete de telecomunicaciones	-----	-----	-----
Tablero 3 (Biblioteca)	1	Gabinete de Telecomunicaciones	-----	-----	-----
	2	Auxiliar			

Tablero 4 (Restaurante)	1	Salón 5, Restaurante	4 (salón 5)	7 (restaurante), 4 (salón 5)	-----
	2	Tomas cocina	3	-----	Licuidora, nevera
	3	Tomas comedor	4	-----	Congelador, ventiladores
	4	Auxiliar	----	-----	-----
Tablero 5 (Salón 5)	1	Salón 5, baños	4 (salón 5)	4 (salón 5), 3 (baños)	ventiladores, TV, Router

1.2. Planos eléctricos

Como etapa inicial, se solicitó a la secretaría de planeación municipal los planos arquitectónicos y eléctricos de la institución educativa La Llana sede Puerto Carreño; sin embargo, dicha información no se encontraba disponible por parte de planeación.

Debido a esta situación, fue necesario realizar un levantamiento técnico de toda la infraestructura eléctrica y arquitectónica de la escuela. Esta actividad incluyó la medición de áreas, para los planos físicos y la identificación de circuitos existentes para los planos eléctricos. Con base en la información recolectada, se procedió a la elaboración de los planos actualizados, los cuales fueron desarrollados mediante el software AutoCAD, permitiendo una representación técnica precisa, organizada y acorde con la simbología normalizada.

Figura 2

Planos eléctricos de tomacorrientes (bloque A)

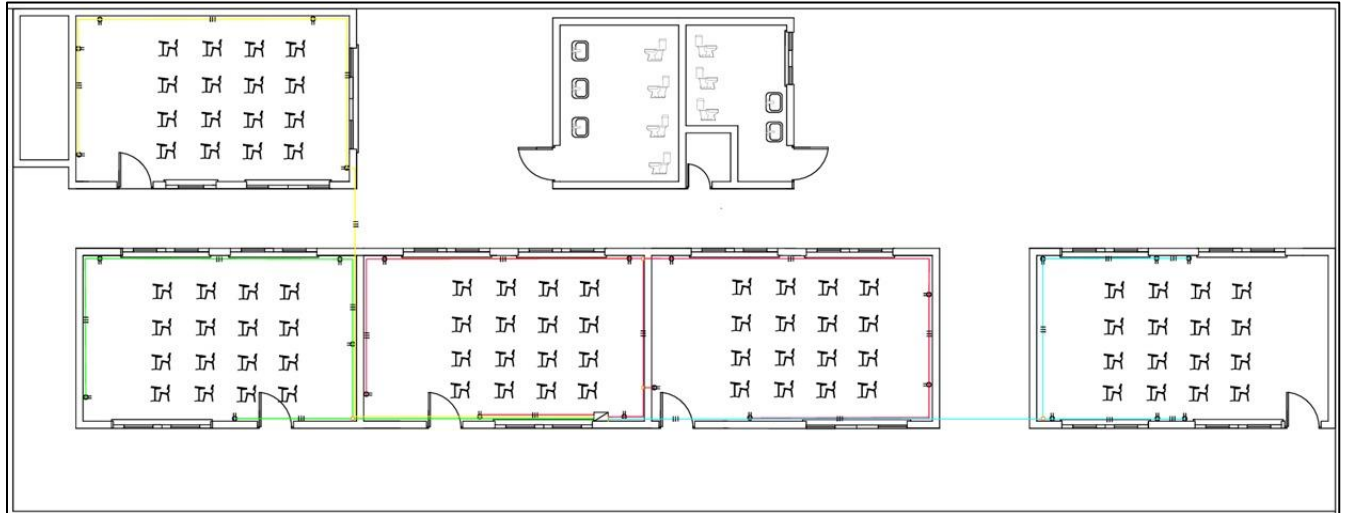


Figura 3

Planos eléctricos de tomacorrientes (bloque B)

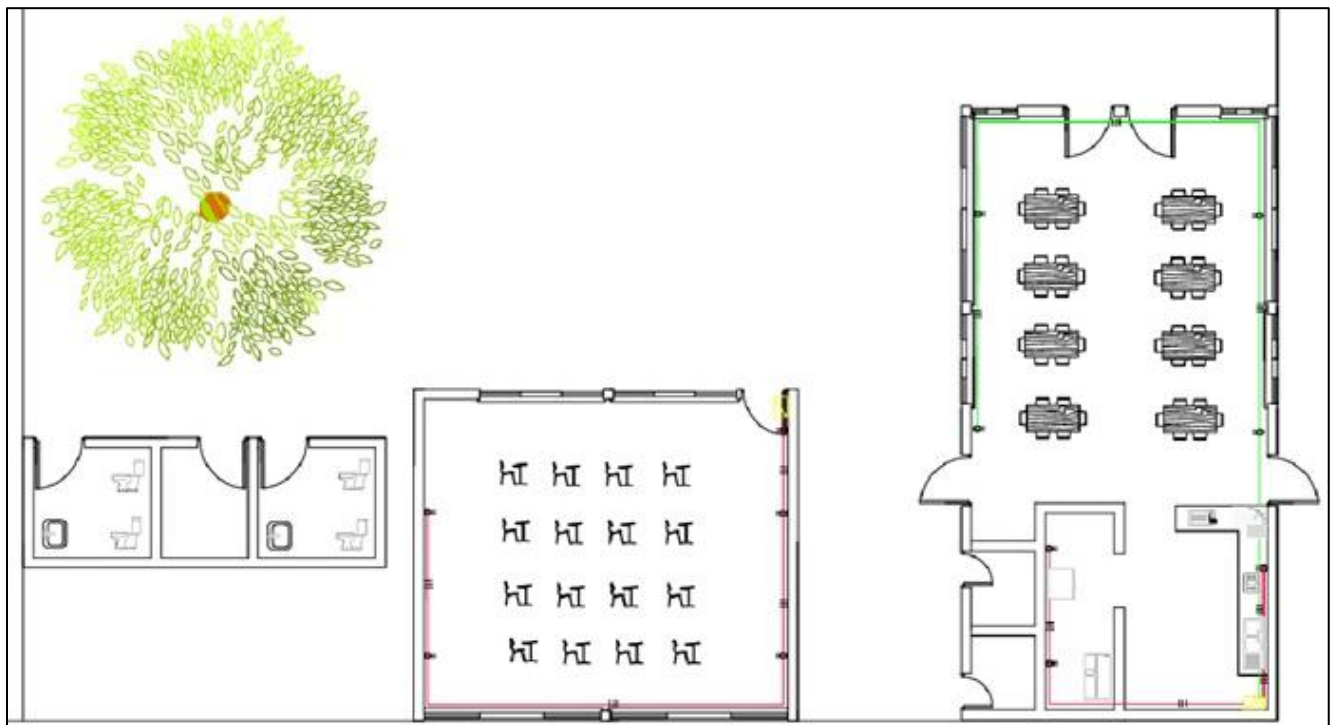


Figura 4

Planos eléctricos de iluminación (bloque A)

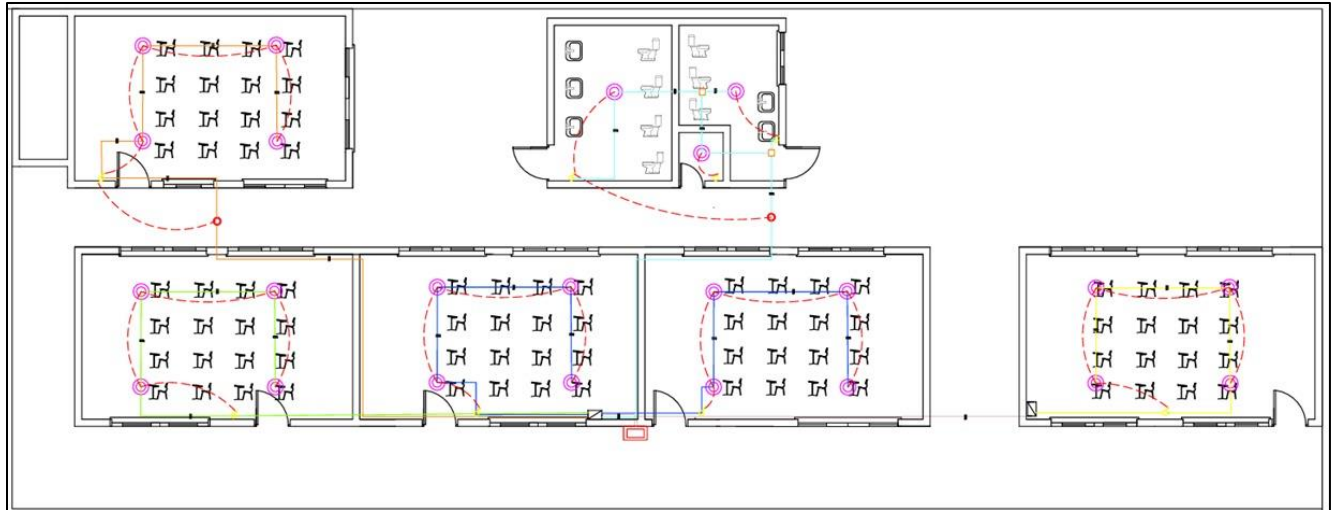
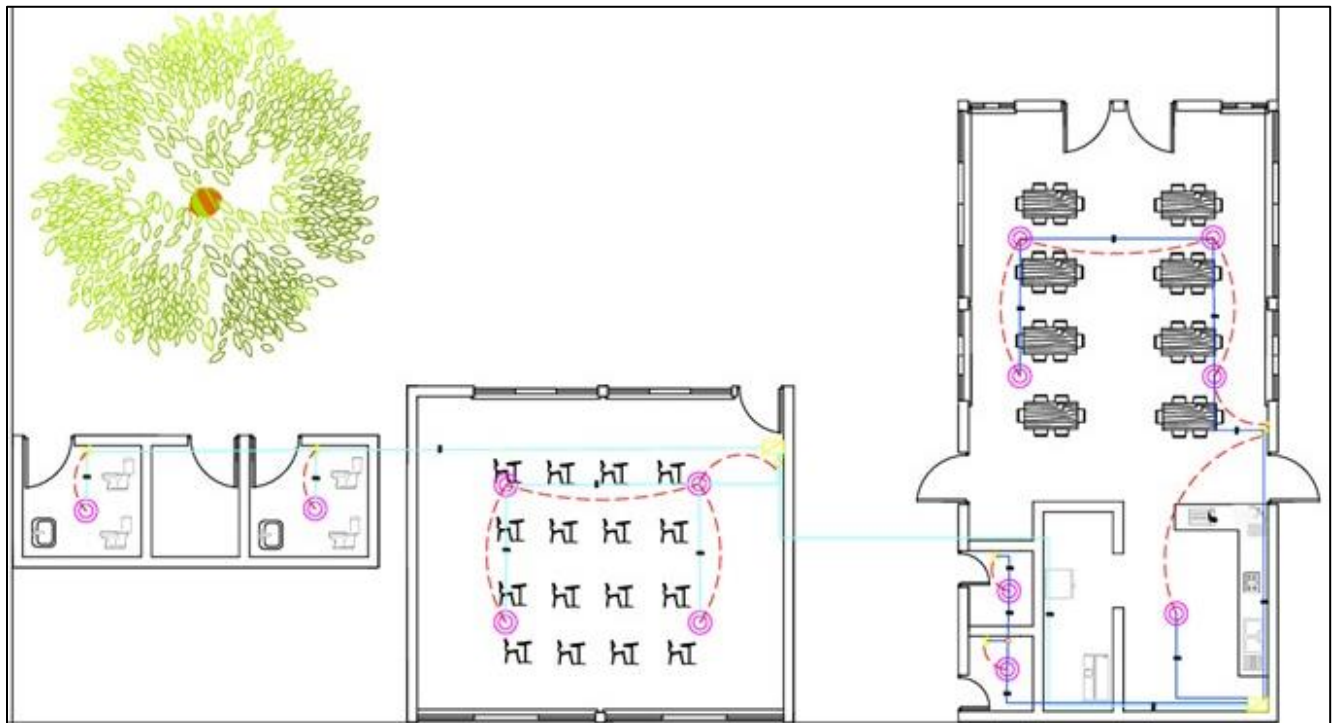


Figura 5

Planos eléctricos de iluminación (bloque B)



Para una mayor observación y detalle de la instalación eléctrica, los planos correspondientes se encuentran disponibles en el Apéndice B.

1.3.Diagrama unifilar

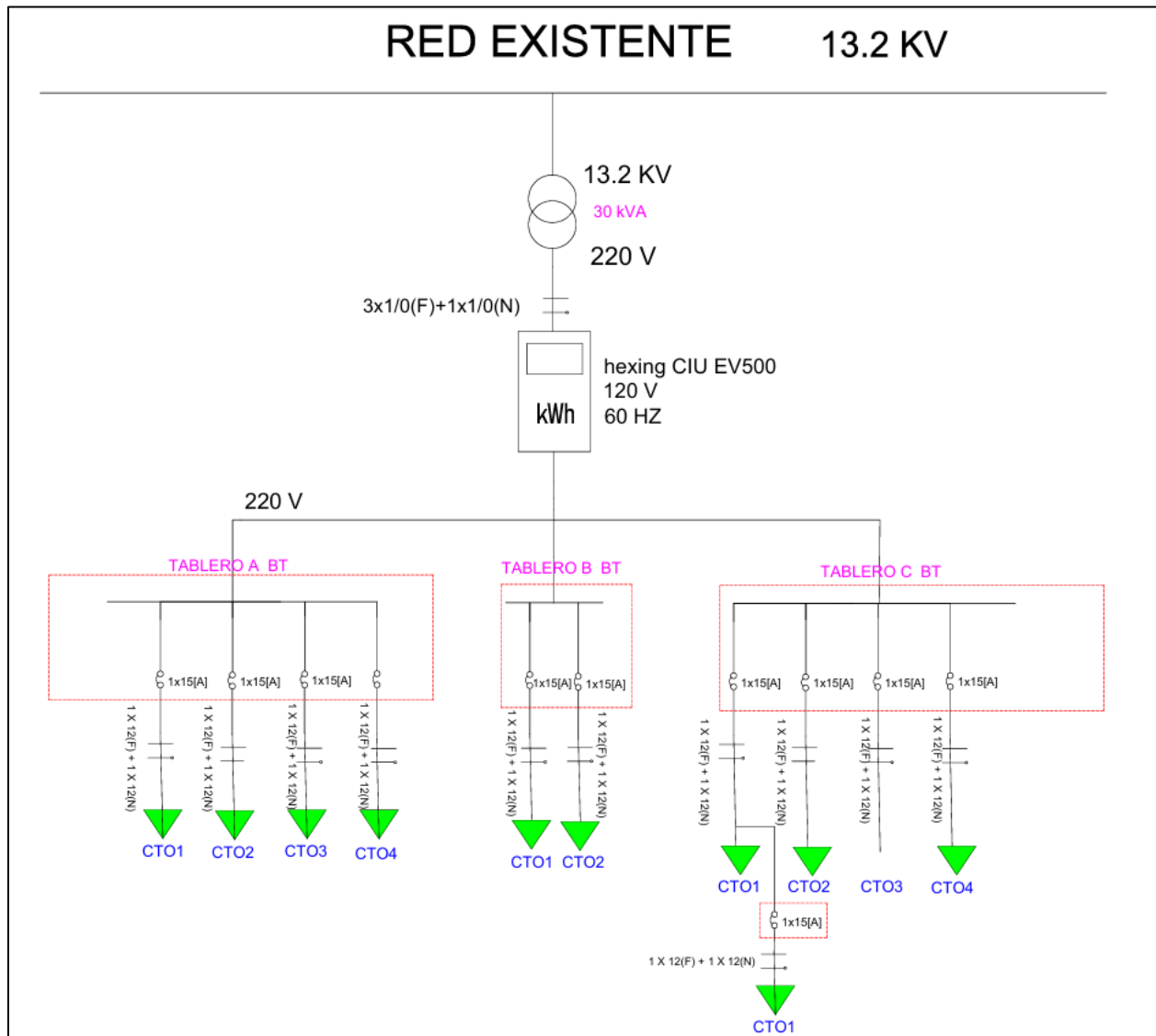
Para la elaboración del diagrama unifilar de la instalación eléctrica de la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño, fue necesario realizar previamente un levantamiento eléctrico, ya que no se contaba con documentación que permitiera identificar la organización de los circuitos y la relación entre los diferentes tableros existentes.

Al realizar la inspección se observó que la mayoría de los tableros no contaban con información o rotulación que indicarán el diagrama unifilar correspondiente, exceptuando el tablero que alimenta el gabinete de telecomunicaciones.

En base a la información recolectada durante el levantamiento, se procedió a la elaboración del diagrama unifilar de la instalación eléctrica utilizando el software AutoCAD, lo que permite mostrar de manera clara y organizada la relación entre el punto de medición, los tableros de distribución y los diferentes circuitos que alimenta las áreas de la escuela. En el apéndice A se encuentra el diagrama unifilar de la instalación eléctrica actual, además en el apéndice C ítem 2 se encuentra la distribución por circuito de cada tablero del sistema eléctrico.

Figura 6

Diagrama unifilar de la instalación actual existente



1.4. Sistema de puesta a tierra

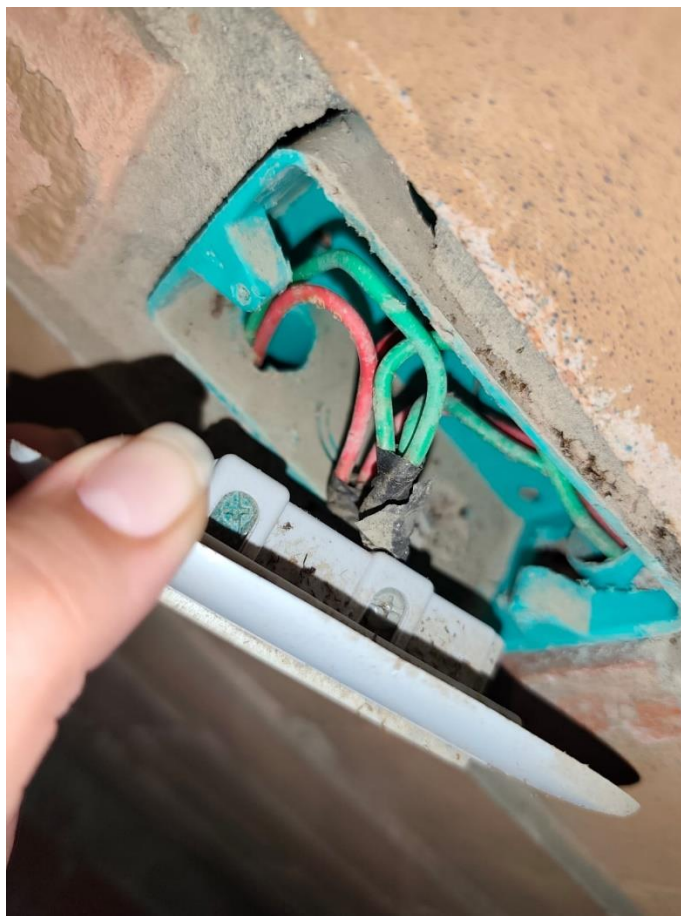
Durante el levantamiento de la instalación eléctrica de la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño, se realizó una inspección visual de las condiciones relacionadas con el sistema de puesta a tierra de la escuela, si bien se identificó la presencia de tomacorrientes con

terminal de puesta a tierra, se evidencio que el terminal de puesta a tierra no se encuentra conectado a un sistema de protección, tal y como se muestra en la figura 5.

Del mismo modo, la escuela no dispone de planos eléctricos, memorias de cálculo ni diagramas unifilares que certifique el diseño o la implementación del sistema de puesta a tierra por lo que el sistema eléctrico de la escuela está incumpliendo lo establecido en el título 12 del RETIE – Libro 3 (Ministerio de Minas y Energía, 2024).

Figura 7

Cableado tomacorriente



1.5.Sistema de protección contra descargas atmosféricas

Durante la inspección realizada en la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño, se revisó la posible existencia de un sistema de protección contra rayos en la infraestructura de la escuela. A partir de la observación no se visualizaron dispositivos como captadores, varillas instaladas en el techo de la escuela tal y como se muestra en la figura 6.

Figura 8

Techo de la escuela en diferentes sectores



La ausencia de estos elementos sugiere que la infraestructura no dispone actualmente de un sistema de protección, esto incumple lo establecido en el artículo 3.13.1.1 (RETIE) (Ministerio de minas y enegía, 2024) lo cual representa un aspecto importante a considerar en el proceso de rediseño de la instalación eléctrica.

1.6. Sistema de iluminación

Durante el levantamiento realizado en la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño, se llevó a cabo la inspección del sistema de iluminación presente en las diferentes áreas de la escuela. Se observó que los salones de clase y la biblioteca cuentan con luminarias instaladas que se encuentra en buen estado de funcionamiento. Se realizaron las medidas correspondientes con un luxómetro para verificar si las luminarias actuales cumplen con los requisitos de iluminación en el área de trabajo, establecidos en la tabla 3.2.2.6 a del libro 3 del RETILAP (Ministerio de Minas y Energía, 2024).

Figura 9

Requisitos de iluminación en aulas de clase

Ref.	36. Locales educativos. Edificios educativos.	\bar{E}_m (Lx)	U_o	R_a	UGR_L	\bar{E}_m, z (Lx)	$\bar{E}_m, pared$ (Lx)	$\bar{E}_m, techo$ (Lx)	Requisitos específicos
	Tipo de tarea o área de actividad								
36,1	Aula o salón de clases, salas de lectura - Actividades generales	500	0,60	80	19	150	150	100	La iluminación debe ser controlable, para diferentes actividades y ajustes de escena.

Nota: Tomado del RETILAP – libro 3 (Ministerio de Minas y Energía, 2024)

Para realizar la malla de medición conforme al RETILAP, el procedimiento se realizará para una instalación interior, para ubicar los puntos donde se evaluarán los niveles de iluminación se realizó el siguiente procedimiento.

1. Dimensión del área

- Ancho: 5 m
- Largo: 8 m

2. Cálculo del tamaño de la celda (p):

El tamaño máximo de cada celda de la cuadrícula se estima mediante la siguiente ecuación:

$$p = 0.2 * 5^{\log_{10}(d)}$$

Donde d es la dimensión de mayor valor en este caso 8, por ende, el valor de p es igual a 0.85558

3. Determinación de número y ubicación de puntos

El número de punto se obtuvieron dividiendo la dimensión (ancho y largo) entre el tamaño de la celda p,

- ancho = 5
- largo = 9

Ya obtenidos los puntos a lo largo y ancho de lugar se procedió a medir con el luxómetro el nivel de iluminación para obtener la malla, los resultados están en la tabla 3

Tabla 3

Resultados de iluminancia de cada punto de la malla

64.3	74.1	80.8	80.7	74.6
79.9	101.8	113.5	141.2	101.4
99.4	119.8	141.4	141.3	116.8
81.9	113.3	119.3	105	101.8
81.6	118.2	119.3	119.3	99.9
112	170.6	148.8	149	108.7
110.3	148.8	142.2	141.5	83.5
69.7	84.5	84.8	75.3	59.4
38.8	51.6	48.6	43.8	41.4

Para determinar la iluminancia promedio mantenida (E_m) es igual al promedio de los datos de la malla, donde $E_m = 100.086667$ [lx]. Ahora, se determina el valor de uniformidad de iluminancia (U_o) dividiendo el valor mínimo de la malla entre la iluminancia promedio, el resultado es 0,387664.

Comparando estos resultados se concluye que el sistema de iluminación de las aulas no cumple con los requisitos mínimos que establece el RETILAP.

Por otra parte, se evidencio que algunas áreas de la institución no cuentan con luminarias instaladas, tales como los baños y los pasillos y cuartos de almacenamiento. Además, en la cocina del restaurante se observaron luminarias en mal estado. Esto incumple lo establecido en artículo 1.1.1 del RETILAP – Libro 1 (Ministerio de Minas y Energía, 2024).

2. Diseño detallado

El diseño detallado de la instalación eléctrica de la Institución Educativa La Llana, sede Puerto Carreño, se desarrolló a partir del análisis de las condiciones actuales del sistema y la información obtenida durante el levantamiento realizado en la institución.

Este diseño contempla la reorganización de los circuitos eléctricos, la mejora en la distribución de los tableros y el dimensionamiento adecuado de conductores y protecciones, teniendo en cuenta criterios técnicos como la capacidad de corriente y la caída de tensión. Asimismo, se incluye la propuesta de un sistema de puesta a tierra y un sistema de iluminación adecuados para las necesidades de la institución.

El desarrollo del diseño se realizó conforme a los lineamientos del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, la Norma Técnica Colombiana NTC 2050 y el Reglamento Técnico de

Iluminación y Alumbrado Público, garantizando condiciones de seguridad, funcionalidad y cumplimiento normativo.

2.1. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.

El análisis de riesgos de origen eléctrico según el numeral 1.5.1.3 del RETIE – Libro 1 (Ministerio de minas y energía, 2024) es un proceso obligatorio que busca crear conciencia sobre los peligros en lugares donde se utiliza la electricidad y aplicar medidas para evitar que estos riesgos se materialicen.

Para gestionar correctamente el riesgo eléctrico, se debe seguir un proceso basado en el RETIE que incluye: establecer los criterios de análisis, evaluar y tratar el riesgo. La norma indica que factores son los causantes de la mayoría de los accidentes y propone medidas de protección. Para determinar la gravedad de una situación, se hace uso de la matriz de análisis de riesgo, establecida en el numeral 1.5.1.4.1 del RETIE – Libro 1 (Ministerio de minas y energía, 2024), que tiene como variables la probabilidad y las consecuencias, dependiendo de los niveles de riesgo se dictan las decisiones a tomar.

En el apéndice H del diseño detallado en el inciso A se encuentran la matriz de análisis de riesgo para cada factor de riesgo, además las causas, medidas de protección y decisiones a tomar.

2.2. Análisis de riesgos por descargas eléctricas atmosféricas (rayos) y medidas de protección.

El análisis de descargas atmosféricas constituye una etapa importante en el diseño de instalaciones eléctricas, ya que permite estimar la probabilidad de impacto de rayos sobre una estructura y evaluar la necesidad de implementar sistemas de protección. Este tipo de estudios cobra especial relevancia en función de la ubicación geográfica y las características propias de la

edificación. Para el presente caso, correspondiente a una edificación ubicada en San Alberto, se realizó la estimación del número de descargas esperadas a partir de las dimensiones de la estructura y la densidad de descargas a tierra de la zona.

El procedimiento empleado se fundamenta en lo establecido por el RETIE, tomando como referencia la metodología propuesta en la norma IEC 62305, la cual define los criterios para la evaluación del riesgo por descargas atmosféricas

Tabla 4

Tabla de resultados

Bloque	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Área equivalente Ae (m²)	Ng (desc/km²·año)	Nd (impactos/año)
A	13	36.75	3	804.52	4	0.00322
B	23	24.54	3	877.93	4	0.00351

Para la estimación del número de descargas atmosféricas sobre la edificación ubicada en San Alberto, se aplicó la metodología establecida en el RETIE, basada en los lineamientos de la IEC 62305. Inicialmente, se definieron las dimensiones geométricas de cada bloque (largo, ancho y altura), las cuales permiten calcular el área equivalente de captación (Ae). Esta área representa la superficie efectiva mediante la cual la estructura puede ser impactada por una descarga atmosférica, considerando tanto su proyección horizontal como su exposición vertical.

Posteriormente, se adoptó un valor de densidad de descargas a tierra (Ng) de 4 descargas/km²·año, correspondiente a valores típicos de la región. Este valor utilizado en el presente análisis fue obtenido a partir del geovisor oficial del IDEAM (IDEAM, 2024), disponible

en el visualizador de amenazas, vulnerabilidades y riesgos ambientales. Con estos datos, se procedió a calcular el número esperado de impactos anuales (Nd) para cada bloque, empleando la relación entre la densidad de descargas y el área equivalente.

Finalmente, se sumaron los valores obtenidos para cada bloque con el fin de determinar el nivel de exposición total de la edificación frente a descargas atmosféricas. Este resultado constituye la base para evaluar la necesidad de implementar medidas de protección contra rayos.

Tabla 5

Tabla de resultados totales

Descripción	Nd (impactos/año)
Bloque A	0.00322
Bloque B	0.00351
Total (A + B)	0.00673

De acuerdo con los resultados obtenidos, el valor total de descargas esperadas para la edificación es 0.00673 impactos por año, lo que representa una baja probabilidad de ocurrencia de impactos directos de rayo. Este valor equivale aproximadamente a un impacto cada 149 años, lo cual indica un nivel de riesgo reducido para la estructura analizada. En este sentido, y conforme a los criterios establecidos en el RETIE y la IEC 62305, cuando el riesgo calculado es bajo, la implementación de un sistema de protección contra descargas atmosféricas no se considera estrictamente necesaria.

No obstante, se deja a consideración la posible implementación de medidas adicionales de protección como criterio de seguridad complementaria, dependiendo del uso de la edificación y la importancia de los equipos instalados.

2.3. Análisis y cálculo de cargas iniciales y futuras, incluyendo factor de potencia y armónicos.

El cuadro de cargas de la instalación eléctrica de la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño fue realizado de acuerdo a las necesidades básicas de la escuela, teniendo en cuenta que una de las principales fallencias era el estado del sistema de iluminación, por lo que en el rediseño se tuvieron en cuenta nuevas luminarias que cumplen con lo establecido en la norma (RETILAP), además se agregaron nuevas cargas como aires acondicionados, aprovechando que el corregimiento de Puerto Carreño es de clima cálido lo que favorece el bienestar de la comunidad estudiantil.

En el apéndice F se encuentran los cuadros de cargas por tablero de distribución, cabe resaltar que la escuela cuenta con dos bloques por lo que se tiene un tablero por bloque y estos son dependientes de un tablero general de baja tensión. En el apéndice muestra la distribución por circuito de cada tablero y parámetros que influyen si se cumple la normativa vigente, tales como la regulación de tensión.

2.4. Coordinación de aislamiento eléctrico.

Las tensiones normalizadas de soportabilidad, según la IEC 60071-1 (AENOR, 1993), se presentan en la tabla correspondiente de niveles de aislamiento. Estas definen los valores de soportabilidad a frecuencia industrial e impulso atmosférico para configuraciones fase-fase, fase-tierra y aislamiento longitudinal, conforme a las restricciones establecidas por la norma.

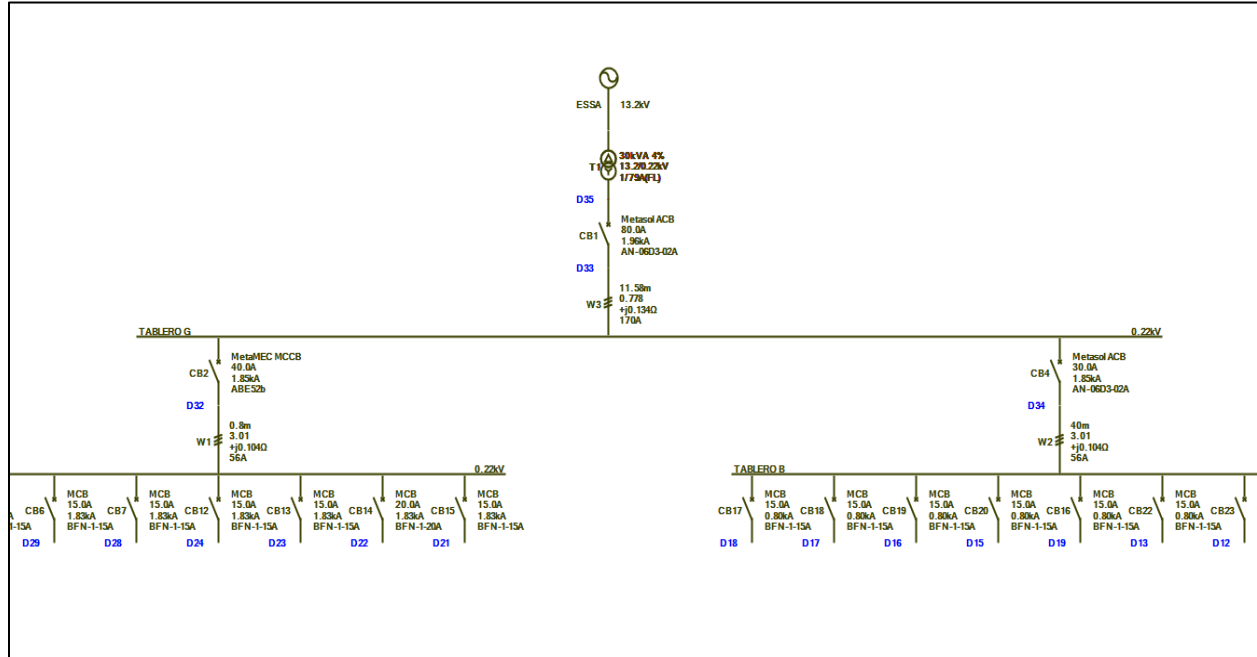
Sin embargo, de acuerdo con el RETIE 2024, la frontera entre baja y media tensión se establece en 1000 V nominal. Dado que la instalación del proyecto corresponde a baja tensión (≤ 1000 V), no se requiere la aplicación de este análisis de aislamiento propio de sistemas de media tensión, por lo tanto, este estudio no aplica para la instalación.

2.5. Análisis y cálculos de cortocircuito, arco eléctrico y falla a tierra.

El análisis de cortocircuito, arco eléctrico y falla a tierra de la instalación eléctrica se realizó considerando el cumplimiento de la normativa vigente, incluyendo el RETIE 2024, la IEC 60909 para cortocircuito, la IEC 60364 en aspectos de instalaciones eléctricas de baja tensión y las recomendaciones de seguridad asociadas a arco eléctrico y coordinación de protecciones.

Estos estudios permiten garantizar la correcta operación del sistema, la adecuada selección de protecciones y la seguridad de las personas y equipos. El análisis de cortocircuito se realizó mediante el software LSPS (LSPowerSoft) como se muestra en la figura 10, obteniendo las corrientes de falla en los principales puntos del sistema eléctrico modelado. Los resultados permiten evaluar el comportamiento del sistema ante condiciones de cortocircuito y verificar la correcta selección de los dispositivos de protección.

El desarrollo completo de los criterios de diseño y su justificación se encuentra en el apéndice H ítem E. Adicionalmente, se elaboró un informe específico donde se presentan de forma completa los cálculos, resultados y verificaciones correspondientes a estos análisis (apéndice G).

Figura 10*Simulación realizada en LSPS***2.6. Análisis del nivel tensión requerido.**

No aplica, debido a que el proyecto corresponde al rediseño de una instalación eléctrica en baja tensión en un colegio, el cual ya cuenta con un nivel de tensión definido por la red de distribución y el transformador existente (220/127 V), por lo que no es objeto de modificación dentro del alcance del diseño.

2.7. Cálculo de campos electromagnéticos

No aplica, debido a que el proyecto corresponde a una instalación eléctrica en baja tensión de tipo convencional para un colegio, donde los niveles de tensión y corrientes manejados no generan la necesidad de realizar estudios específicos de campos electromagnéticos.

Adicionalmente, las canalizaciones y equipos utilizados cumplen distancias y disposiciones estándar establecidas en la normativa, lo que garantiza condiciones seguras de exposición.

2.8.Cálculo de transformadores incluyendo efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.

No aplica, debido a que el proyecto corresponde a un rediseño de la instalación eléctrica de un colegio, en el cual se mantiene el transformador de distribución existente sin modificación de sus características ni redimensionamiento. Adicionalmente, las cargas del sistema no presentan niveles significativos de distorsión armónica, por lo que no se requiere un análisis detallado de efectos por armónicos ni ajuste del dimensionamiento del transformador, considerando únicamente su operación dentro de las condiciones actuales de servicio.

2.9.Sistema de puesta a tierra.

Partiendo del hecho que la instalación actual de la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño no cuenta con un sistema de puesta a tierra, por lo que para el rediseño era indispensable que se hiciera un adecuado diseño para la protección del sistema eléctrico cumpliendo la normativa vigente.

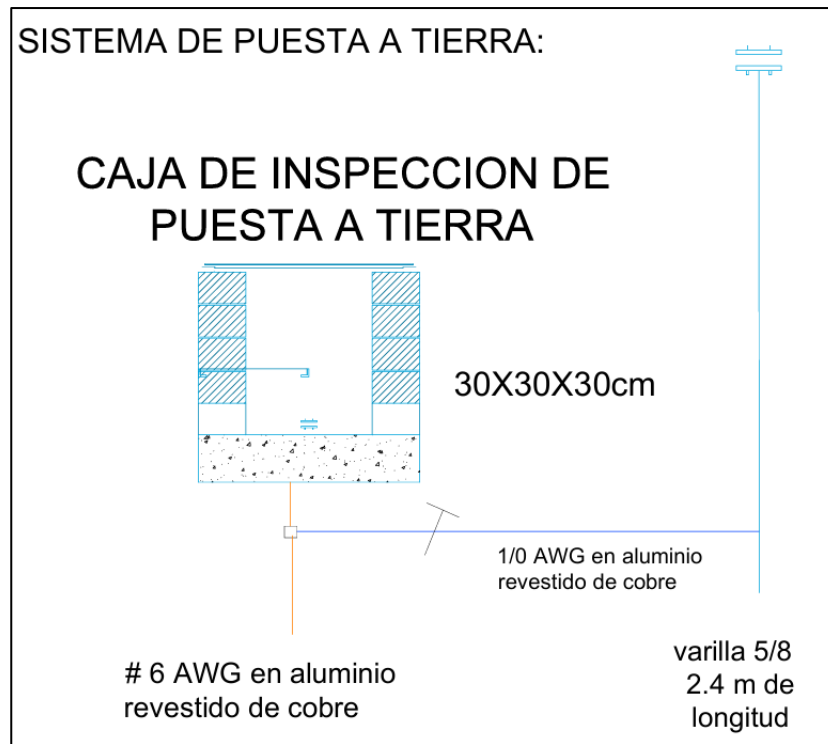
Para estimar la resistividad del terreno se hizo uso de la IEEE std 80 (IEEE Power and Energy Society, 2013), ya que no se contaba con un telurómetro para medir la resistividad real del suelo, por lo que se tomó un valor aproximado.

En el apéndice D se muestran los cálculos realizados para la varilla para el diseño de la puesta a tierra, en base a los establecido en la NTC 2050 (ICONTEC, 2020) la varilla tiene las siguientes dimensiones: una longitud de 2.44 [m] y un diámetro de 15.875 [mm], además de un calibre 1/0 AWG para un arreglo de 3 electrodos en paralelo, donde la separación por electrodo

son 3 [m] y están enterrados a una profundidad de 75 [cm], tal y como indica el RETIE (Ministerio de minas y enegía, 2024).

Figura 11

Ubicación del sistema de puesta a tierra



2.10. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.

De acuerdo con lo establecido en el numeral 3.3.1.1 del RETIE – Libro 3, ítem j, se realizó el cálculo económico de conductores para la instalación eléctrica proyectada, considerando las pérdidas de energía, las cargas resultantes y los costos asociados al consumo energético. Este análisis se desarrolló para el conductor alimentador entre el Tablero General de Baja Tensión (TGBT) y el Tablero B de Baja Tensión (TBBT), debido a que este tramo presenta una longitud considerable y, por tanto, mayores pérdidas eléctricas durante su vida útil.

Para el desarrollo del cálculo se tuvieron en cuenta las características técnicas y económicas del sistema. La instalación corresponde a un sistema bifásico tetrafilas de red aérea, una tensión de operación de 220 V y una potencia calculada de 8.0109 kVA, obtenida a partir del cuadro de cargas del TGBT. Además, se consideró un factor de potencia de 0.9, una temperatura ambiente de 30 °C y una distancia total del conductor de 87.58 m.

En cuanto a las variables económicas, se empleó un costo de energía de \$0.81576/Wh, una tasa de descuento del 12.40 % (valor tomado de la resolución 016 de 2018 de la CREG), una tasa de crecimiento anual de la carga del 3 % y una tasa de crecimiento anual del costo de la energía del 1 %, valores tomados de la guía de cálculo económico del operador de red. Asimismo, se consideró un costo anual asociado a las pérdidas por suministro adicional de \$0.015 y un tiempo de operación de 1440 horas anuales, correspondiente al funcionamiento de un año escolar.

Inicialmente se realizó la validación técnica de los conductores mediante criterios de capacidad amperimétrica y regulación de tensión, obteniendo como resultado un calibre mínimo de #8 AWG. A partir de este resultado se efectuó el análisis económico comparando los calibres #8 AWG, #6 AWG y #4 AWG.

El cálculo de pérdidas se desarrolló a partir de las pérdidas por efecto Joule, utilizando la relación entre la corriente nominal del circuito y la resistencia del conductor. Posteriormente, se determinó la energía perdida anual y el costo asociado a dichas pérdidas durante un periodo de 20 años de operación. Para ello, se incluyeron factores de crecimiento de carga, incremento del costo de energía y tasa de descuento, obteniendo los coeficientes de cálculo necesarios para determinar el costo presente de las pérdidas energéticas.

Adicionalmente, se calculó el costo inicial de cada conductor teniendo en cuenta el valor del material, la longitud requerida, los costos de mano de obra y el transporte. Los resultados obtenidos mostraron que el conductor calibre #8 AWG presenta el menor costo inicial con un valor de $CI = \$570.891,20$, mientras que el conductor #4 AWG posee el mayor costo de instalación, con un valor de $CI = \$1'253.859,20$ debido a su mayor sección y precio comercial

Finalmente, al comparar el costo total de cada alternativa, se observó que el conductor calibre #4 AWG presenta el menor costo total a largo plazo gracias a sus menores pérdidas de energía con un valor de $CT = \$2'364.708,32$. Sin embargo, su inversión inicial es considerablemente superior respecto al conductor #8 AWG, cuyo costo total es de $CT = \$3'358.904,68$. Aunque el calibre #4 AWG permite una mayor reducción de pérdidas energéticas durante los 20 años de operación, el ahorro obtenido no compensa significativamente el incremento en la inversión inicial.

Por esta razón, se concluye que el conductor calibre #8 AWG representa la alternativa más conveniente para el proyecto, debido a que ofrece un equilibrio adecuado entre desempeño técnico y viabilidad económica, permitiendo una reducción importante en los costos iniciales de instalación sin afectar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico.

El cálculo de los costos se encuentra en el apéndice H , donde se explica el paso a paso para estimar los valores de costos totales y costos iniciales.

2.11. Especificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, la corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor, de acuerdo con la norma IEC 60909 u otra equivalente.

Se verifica la capacidad térmica de los conductores frente a corrientes de cortocircuito, conforme al RETIE 2024 (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2024) y la norma IEC 60909 (AENOR, 2002), garantizando su resistencia durante el tiempo de despeje de las protecciones. Con 1.85 kA, 0.2 s y conductores XLPE, se evalúan distintos calibres comerciales donde 12 AWG y 10 AWG no cumplen la verificación térmica, mientras que a partir de 8 AWG se cumple.

Por lo tanto, el calibre mínimo que garantiza el cumplimiento es 8 AWG. Sin embargo, en ramales alejados del punto de alimentación la corriente de cortocircuito disminuye debido al aumento de la impedancia del sistema, lo que permite el uso de conductores 12 AWG con la debida coordinación de protecciones. Esta información se desarrolla con mayor detalle en el Apéndice H, inciso J de la memoria de cálculos.

2.12. Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción y soporte de redes de transmisión, de distribución, subestaciones y centrales de generación.

No aplica, debido a que el proyecto no incluye el diseño de estructuras de soporte para redes eléctricas aéreas, subestaciones o equipos de generación. La instalación eléctrica del colegio se desarrolla mediante canalizaciones internas en tubería y ductos, donde las cargas mecánicas son mínimas y no requieren verificación estructural especializada.

2.13. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes. En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947-2 Anexo A.

En cumplimiento de la IEC 60947-2 y el RETIE 2024, se establece una coordinación de protecciones jerárquica con interruptores termomagnéticos curva C, organizada por niveles, garantizando selectividad mediante curvas tiempo–corriente y verificación de energía I^2t , para asegurar la protección del sistema y la continuidad del servicio.

Tabla 6

Tabla de protecciones

Nivel	Elemento protegido	Dispositivo de protección	Tipo de interruptor	Curva	Certificación
1	Acometida general (Tablero General)	Breaker 3P 80 A	Termomagnético	C	IEC 60947-2
2	Alimentador Tablero A	Breaker 2P 40 A	Termomagnético	C	IEC 60947-2
3	Alimentador Tablero B	Breaker 2P 30 A	Termomagnético	C	IEC 60947-2
4	Circuito de aire acondicionado	Breaker 1P 20 A	Termomagnético	C	IEC 60947-2
5	Circuitos de iluminación y tomacorrientes	Breaker 1P 15 A	Termomagnético	C	IEC 60947-2

Este esquema permite la actuación selectiva de las protecciones, garantizando la adecuada protección de los conductores y la reducción de desconexiones ante fallas localizadas en el sistema eléctrico. La memoria de cálculos de este análisis se presenta en el Apéndice H, ítem M. De igual

manera, en el Apéndice F se incluyen los cuadros de cargas, donde se expone de forma organizada la distribución, caracterización y asignación de los circuitos del sistema.

2.14. Cálculos de canalizaciones (tubos, ductos, canales y electroductos), bandejas portacables y volumen de encerramientos (cajas, conduletas, armarios, etc.).

El dimensionamiento de las canalizaciones se realizó conforme a lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE 2024) y la NTC 2050, garantizando el cumplimiento de los límites de ocupación, las condiciones de seguridad mecánica, la adecuada ventilación y la correcta disposición de los conductores dentro del sistema eléctrico proyectado. De igual manera, se verificó la selección apropiada de las canalizaciones de acuerdo con el tipo de instalación, los circuitos asociados y las características de los conductores empleados.

El desarrollo completo de los criterios, procedimientos y resultados obtenidos se detalla en la memoria de cálculos, ítem N del Apéndice H.

2.15. Cálculo de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.

El cálculo de pérdidas de energía en los conductores se realiza para evaluar la energía disipada por efecto Joule y la eficiencia del sistema eléctrico. Para ello, se emplea una expresión que considera la corriente de diseño incrementada al 125%, la resistencia del conductor, la longitud del circuito, la tensión del sistema y el factor de potencia, cuyo desarrollo y justificación se presentan en el diseño detallado, ítem O (Apéndice H). En la figura 11, se incluyen los resultados obtenidos para el tablero general de baja tensión y los tableros de distribución, A y B, donde se evidencia el comportamiento y la eficiencia energética del sistema. Además, se verifica que las

perdidas no superen el valor máximo establecido por el operador de red, cuyo valor es de 5.17% para un nivel de tensión menor a 1 kV.

Figura 12

Resultados de pérdida de energía

Circuito	Perdidas de energía TABT	Perdidas de energía TBBT	Circuito	Perdidas de energía TGBT
1	0.855854%	0.461285%	TABT	0.014293%
3	1.476759%	0.551053%	TBBT	1.133195%
5	1.230087%	0.624061%		
7	1.112086%	1.223804%		
9	0.394423%	0.905809%		
11	2.503278%			
2	0.762550%	1.103583%		
4	2.206028%	0.339972%		
6	2.012986%	0.033740%		
8	1.120704%	0.034167%		
10	1.540062%	0.753802%		
12	0.572593%			

2.16. Cálculos de regulación de tensión.

Para el cálculo de la regulación de tensión se utilizó la fórmula establecida en la memoria de cálculo en el apéndice H, ítem P, donde se tienen como variables, la tensión de línea, la potencia del circuito, la distancia del tablero a las cargas, el factor de corrección el cual se estima con lo establecido en la tabla 3.26 de la norma ESSA (ESSA, 2024) y la impedancia eficaz que se calcula con los valores de resistencia y reactancia estimados en la tabla 9 de la NTC 2050 (ICONTEC, 2020).

Para evaluar el cumplimiento de la regulación de tensión por circuito, se tomó como criterio lo establecido en el Título 26, inciso (f) del RETIE – Libro 3, el cual establece que la regulación de tensión en los circuitos ramales debe ser inferior al 5 %. En la Figura 12 se presentan los

resultados obtenidos para la regulación de tensión de cada circuito, evidenciando que todos cumplen con el límite máximo permitido por la norma, sin sobrepasar el valor establecido.

Figura 13

Resultados de regulación tensión

Regulación de tensión TATB	Regulación de tensión TBTB	Regulación de tensión TGTB
$\Delta V\%$	$\Delta V\%$	$\Delta V\%$
0.025348434	0.01366221	0.000520795
0.043738229	0.016320943	0.041289515
0.036432361	0.018483259	
0.032937452	0.03624626	
0.011681896	0.026828002	
0.074141358		
0.022584998	0.032685612	
0.065337493	0.010069206	
0.059620041	0.000999289	
0.033192697	0.001011938	
0.045613103	0.022325892	
0.01695889		
0.01695889		

2.17. Áreas clasificadas como peligrosas.

No aplica, debido a que en la instalación eléctrica del colegio no se presentan zonas con riesgo de explosión o ignición dentro del sistema eléctrico, ya que no existen atmósferas peligrosas asociadas a gases, vapores, polvos combustibles ni procesos industriales. Por lo tanto, no se requiere clasificación de áreas eléctricas peligrosas ni la aplicación de requisitos especiales para este tipo de ambientes.

2.18. Diagramas unifilares.

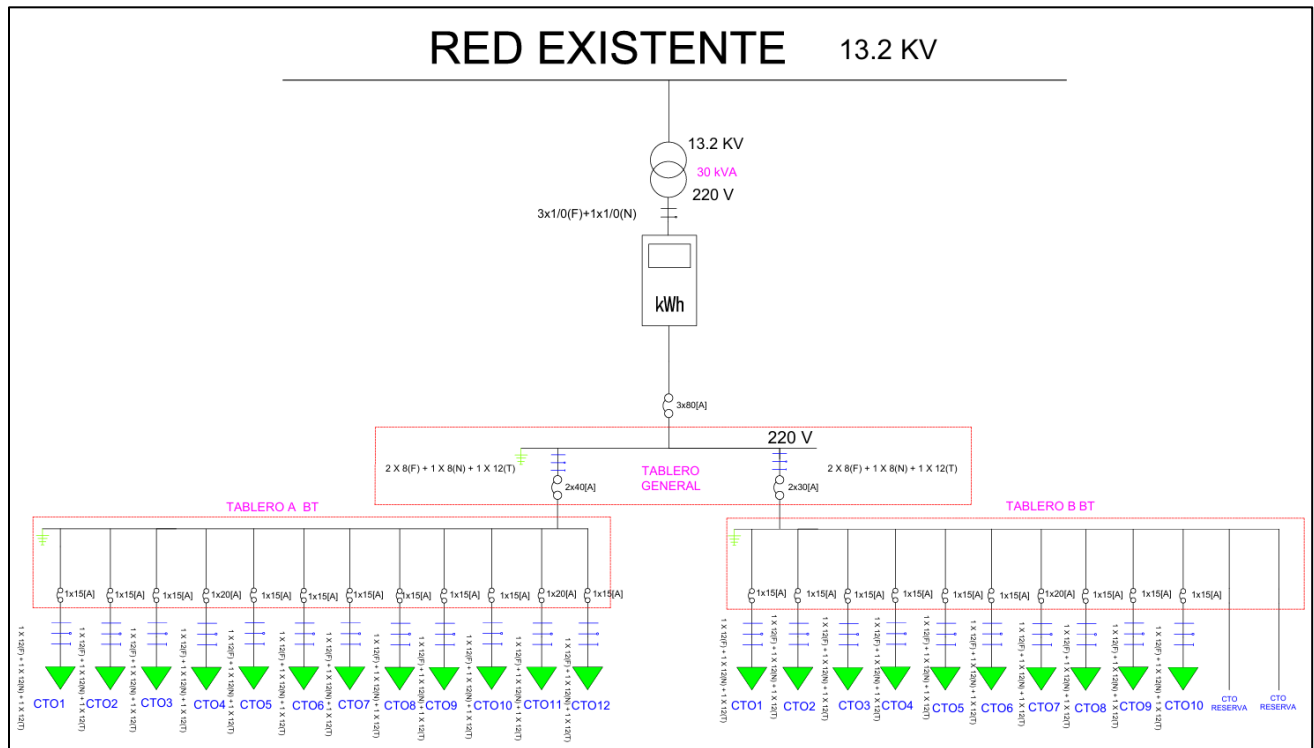
El diagrama unifilar del proyecto se incluye en los apéndices del documento y representa la configuración general del sistema eléctrico de la escuela y su distribución interna. En él se

muestran las conexiones desde el tablero general hacia los tableros de distribución A y B, así como la alimentación de los circuitos finales de iluminación y tomacorrientes.

Este esquema se elabora conforme a lo establecido en el RETIE 2024 (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2024), para la representación de sistemas eléctricos en baja tensión, garantizando una adecuada identificación de los elementos, circuitos y protecciones del sistema. Permite una interpretación clara y ordenada de la estructura eléctrica propuesta. Toda la información se encuentra en el Apéndice A “Diagrama Unifilar Rediseño”.

Figura 14

Diagrama unifilar de la instalación actualizado



2.19. Planos eléctricos para construcción.

En el Apéndice B “Planos Rediseño” se encuentra la documentación gráfica correspondiente al proyecto, la cual hace parte integral del diseño eléctrico de la Escuela y sirve como soporte técnico para su correcta interpretación, análisis y futura ejecución. Estos planos fueron elaborados mediante el software AutoCAD, lo que permitió una representación precisa y detallada del sistema eléctrico.

En ellos se presenta la disposición de los circuitos eléctricos, la ubicación de los tableros de distribución, el trazado de las canalizaciones, así como los puntos de utilización como iluminación y tomacorrientes, entre otros elementos que conforman el sistema eléctrico proyectado. Esta información permite comprender la configuración general de la instalación y las condiciones de diseño adoptadas para el desarrollo del proyecto.

Figura 15

Planos eléctricos de iluminación actualizados (Bloque A)

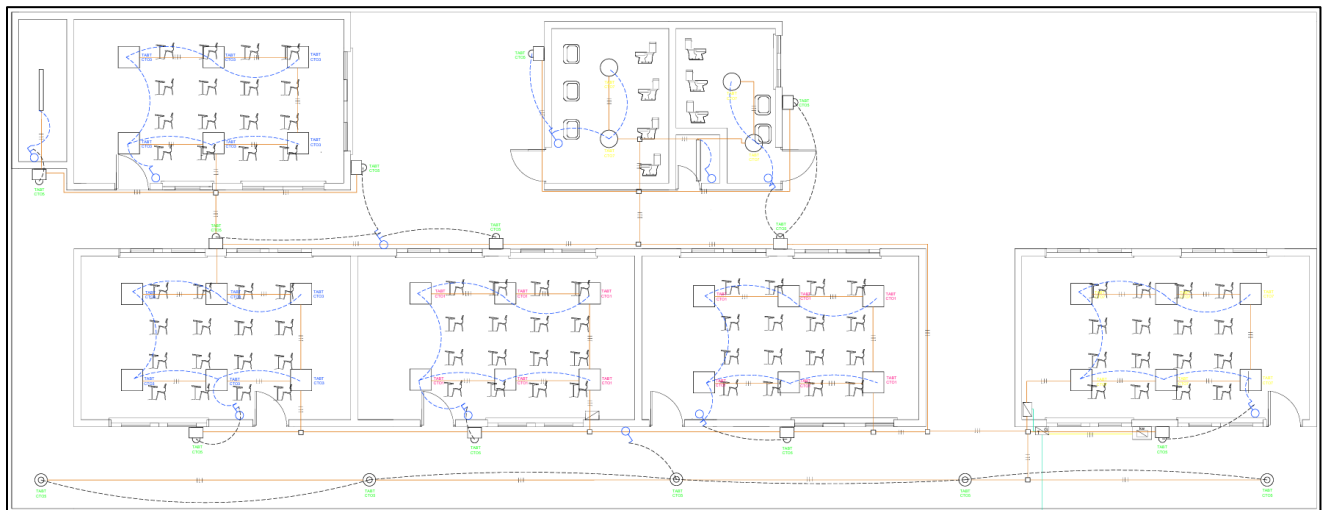


Figura 16

Planos eléctricos de iluminación actualizados (Bloque B)

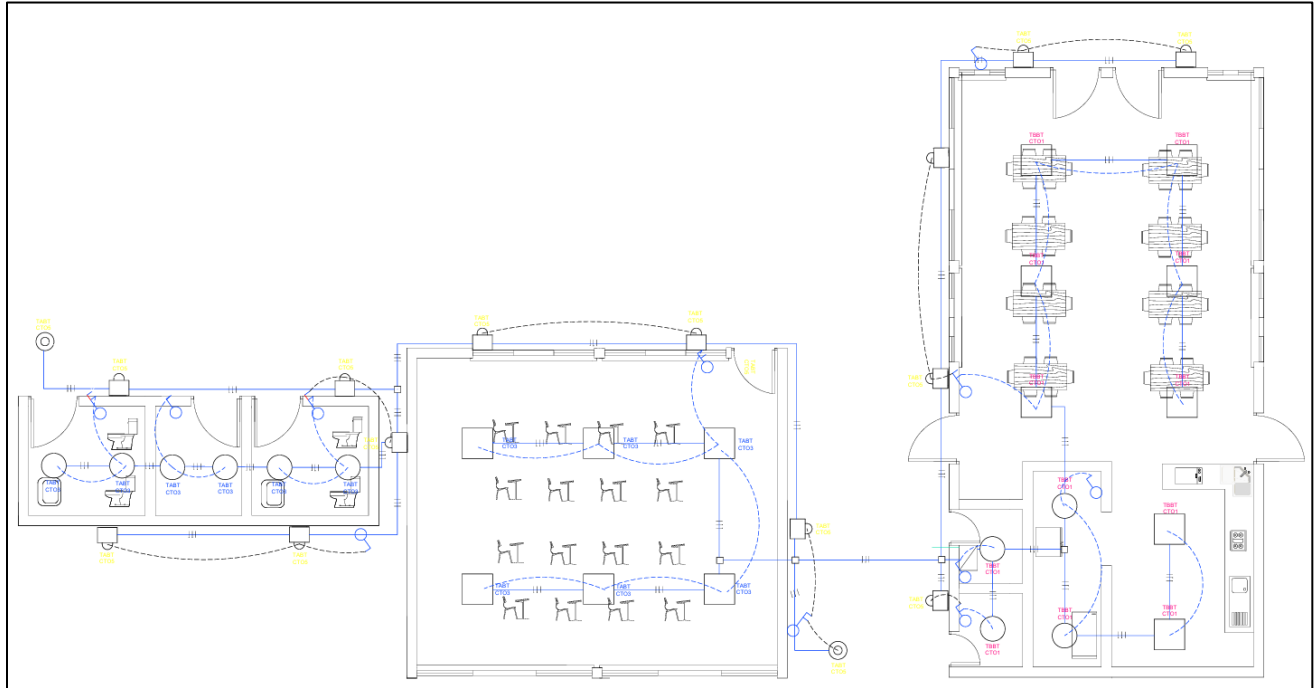


Figura 17

Planos eléctricos de tomacorrientes actualizados (Bloque A)

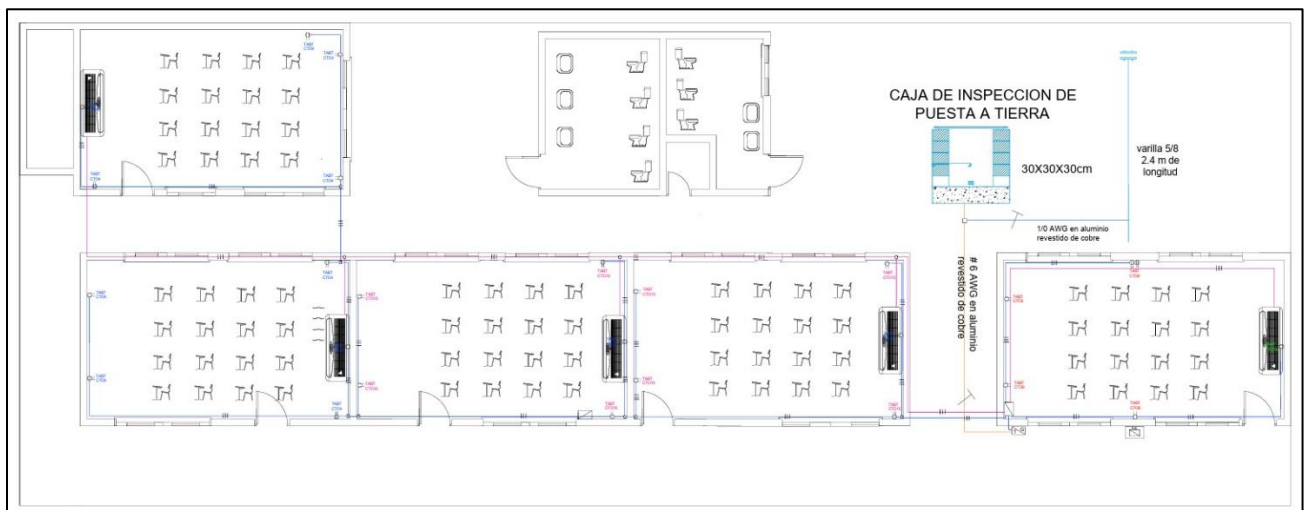
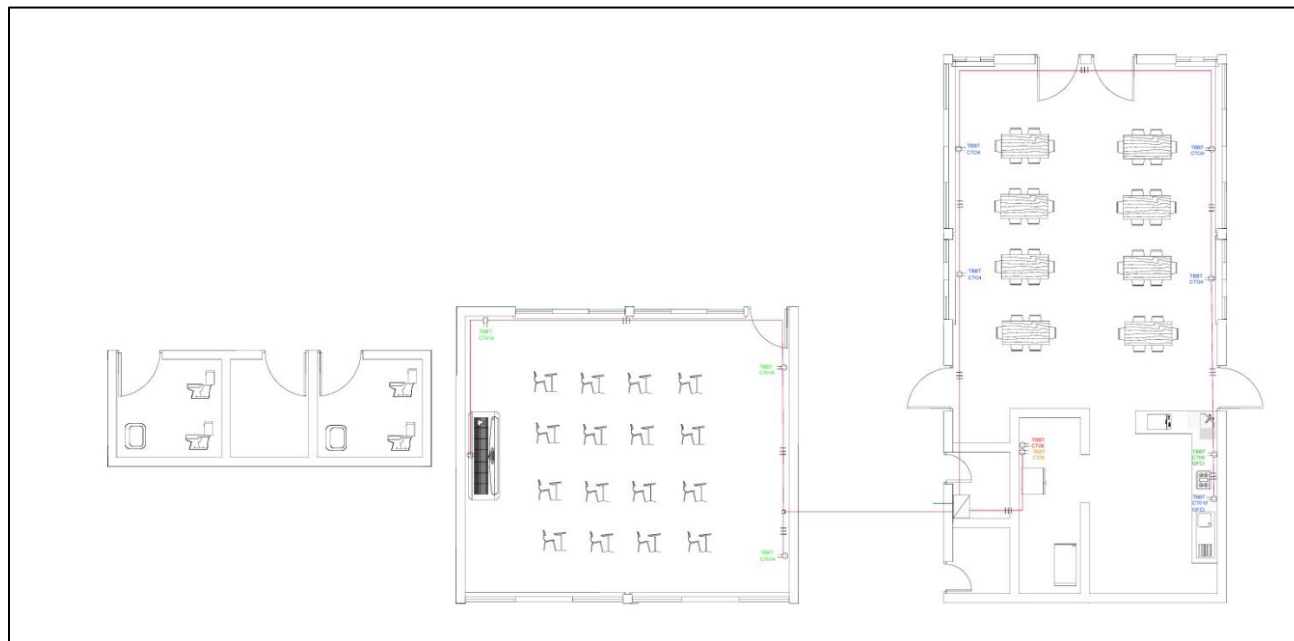


Figura 18

Planos eléctricos de tomacorrientes actualizados (Bloque B)

**2.20. Distancias de seguridad o servidumbre requeridas.**

No aplica el análisis de servidumbres para redes de transmisión o distribución, ya que el proyecto corresponde a una instalación eléctrica interna en baja tensión dentro de una edificación existente. Las distancias de seguridad se consideran únicamente a nivel de instalación interior, cumpliendo con los requerimientos establecidos para separación de conductores, canalizaciones y equipos eléctricos según la normativa vigente, sin intervención sobre redes externas ni afectación de franjas de servidumbre.

2.21. Justificación de desviaciones técnicas cuando sea estrictamente necesarias, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.

No aplica, debido a que el rediseño de la instalación eléctrica de la escuela se realizó conforme a los lineamientos establecidos en la normativa vigente, utilizando criterios técnicos

estándar, sin requerir la implementación de soluciones especiales ni desviaciones técnicas respecto a los requisitos establecidos en el reglamento

2.22. Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.

No aplica, ya que el alcance del proyecto corresponde al rediseño de una instalación eléctrica en baja tensión dentro de una edificación existente, la cual no presenta condiciones especiales que requieran estudios adicionales de tipo sísmico, acústico, mecánico o térmico, más allá de los criterios convencionales de diseño eléctrico establecidos en la normativa vigente.

2.23. Selección, cálculo y especificación de equipos de generación de energía convencionales y no convencionales.

No aplica, debido a que el proyecto corresponde al rediseño de la instalación eléctrica de un colegio alimentado desde la red de distribución existente, sin contemplar la incorporación, modificación o dimensionamiento de sistemas de generación de energía convencionales o no convencionales dentro del alcance del diseño.

3. Sistema de iluminación

El sistema de iluminación propuesto para la Institución Educativa La Llana, sede Puerto Carreño, ubicada en el municipio de Puerto Carreño, fue diseñado mediante el uso del software DIALux, el cual permitió modelar los espacios y evaluar parámetros como iluminancia, uniformidad y distribución de la luz.

El diseño contempla diferentes áreas de la institución, incluyendo salones de clase, biblioteca, baños, pasillos, restaurante, cocina, cuartos de almacenamiento y zonas exteriores,

asignando a cada un nivel de iluminación específicos de acuerdo con su uso. En general, se establecieron valores de iluminancia de aproximadamente 500 lux para aulas, entre 300 y 500 lux para biblioteca, entre 200 y 300 lux para baños, y niveles variables entre 100 y 500 lux para áreas como cocina, restaurante y zonas de servicio.

Para garantizar el cumplimiento de estos requerimientos, se realizó la selección de luminarias LED adecuadas, tales como paneles LED, luminarias empotrables, bilámparas y luminarias exteriores, priorizando criterios de eficiencia energética, confort visual y adecuada reproducción cromática. Asimismo, se definió la distribución estratégica de las luminarias en cada espacio, con el fin de asegurar una correcta uniformidad y evitar zonas con iluminación deficiente.

Los resultados obtenidos mediante simulación evidencian que el sistema cumple con los niveles exigidos por el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, garantizando condiciones adecuadas para el desarrollo de actividades académicas, seguridad en la circulación y confort visual en todas las áreas de la institución.

3.1.Luminarias seleccionadas

Entre las luminarias seleccionadas se destacan los paneles LED, utilizados principalmente en salones de clase y áreas académicas, debido a su capacidad de proporcionar una iluminación uniforme, buen índice de reproducción cromática ($IRC \geq 80$) y condiciones adecuadas de confort visual. Asimismo, se emplearon luminarias tipo bala empotrable, las cuales permiten complementar la iluminación general o resaltar zonas específicas, integrándose de manera estética en los espacios interiores.

Para áreas como pasillos y zonas comunes, se seleccionaron luminarias bilámpara LED, que ofrecen una mayor cobertura lumínica y una distribución más amplia del flujo luminoso. En

las zonas exteriores, se utilizaron luminarias diseñadas para condiciones ambientales exigentes, como las tipo clima, meridiana y torpedo, las cuales garantizan resistencia a factores como humedad y polvo, además de proporcionar una adecuada iluminación para circulación y seguridad.

La selección de estas luminarias se realizó priorizando aspectos como alta eficiencia lumínica, bajo consumo energético, larga vida útil y reducido mantenimiento, lo que permite optimizar el desempeño del sistema de iluminación. De esta manera, se asegura el cumplimiento de los requisitos establecidos en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, garantizando un sistema adecuado, seguro y eficiente para la institución.

4. Análisis de costos referenciales

Para la elaboración del presupuesto del proyecto, se definieron las especificaciones técnicas de los equipos y materiales requeridos para el rediseño del sistema eléctrico, asegurando su coherencia con la normativa vigente y los criterios de diseño establecidos. A partir de esto, se identificaron y cuantificaron las actividades necesarias para la ejecución, incluyendo suministro, instalación y puesta en servicio. Posteriormente, se determinaron los costos directos mediante el análisis de precios unitarios (APU), considerando materiales, mano de obra y equipos.

Los valores empleados se basaron en la investigación de mercado, utilizando referencias de proveedores y precios actualizados, con el fin de obtener un presupuesto realista y acorde a las condiciones del proyecto.

Algunos de los ítems considerados dentro de este proceso se describen a continuación, como parte representativa del conjunto de actividades y componentes que integran el presupuesto del proyecto.

Se contemplan tableros eléctricos de diferente tipo, los cuales incluyen interruptores termomagnéticos de diferentes capacidades según los requerimientos de cada circuito. Estos tableros incorporan dispositivos de protección para tomacorrientes y otros puntos de consumo, además de interruptores principales acordes al nivel de carga de cada sistema. Asimismo, cuentan con elementos de identificación como rotulación y etiquetas, garantizando una adecuada organización y seguridad en la operación del sistema eléctrico.

Se contemplan tomacorrientes sencillos y dobles, incluyendo tomacorrientes de 208 V para aplicaciones específicas. Asimismo, se incluyen terminales de compresión y dispositivos de conexión asociados, así como interruptores sencillos e interruptores dobles, destinados al control de los diferentes puntos de uso dentro de la instalación eléctrica.

El sistema de iluminación está conformado por luminarias LED de diferentes tipos y potencias, incluyendo paneles LED de 40 W, luminarias tipo lineal de 9 W, luminarias tipo proyector de 51 W y equipos LED de 36 W. También se contemplan luminarias decorativas y de uso general, así como luminarias con sensor de 24 W, seleccionadas según las necesidades de iluminación de cada espacio del proyecto.

Se emplean conductores eléctricos en aluminio tipo THHN en diferentes calibres, principalmente #8, #12 y #14 AWG. Estos conductores se utilizan para la alimentación de los diferentes circuitos del sistema, garantizando la correcta distribución de energía en iluminación y tomacorrientes, de acuerdo con los requerimientos del diseño eléctrico.

Se contempla la implementación de un sistema de puesta a tierra conformado por varillas copperweld, conductor de cobre desnudo, barra de cobre electrolítica y cajas de inspección. Adicionalmente, se incluyen elementos de conexión como terminales de compresión, soldadura

exotérmica y accesorios de fijación, garantizando una adecuada disipación de corrientes de falla y seguridad del sistema eléctrico.

El sistema de canalización está compuesto por tubería en PVC de diferentes diámetros, utilizada para la protección y conducción de los conductores eléctricos. Asimismo, se incluyen cajas de derivación y cajas de paso en PVC o metálicas, tanto octogonales como rectangulares, empleadas para la distribución y conexión de los circuitos eléctricos en las diferentes áreas del proyecto.

Se incluye un medidor bifásico para el registro del consumo de energía y un breaker principal de 80 A como elemento de protección general de la instalación.

El detalle de los ítems considerados en este presupuesto se presenta en el Apéndice J, donde se especifican los materiales, equipos y actividades necesarios para la ejecución del sistema eléctrico diseñado.

En este punto, se estima que el costo total de la instalación eléctrica, incluyendo materiales, mano de obra, imprevistos e IVA, asciende a la suma de \$44'519,016.00 COP. Este valor reúne todos los elementos requeridos para la correcta implementación del sistema, como tableros eléctricos, canalizaciones, iluminación, tomacorrientes y protecciones. Este presupuesto permite tener una visión general del costo total y asegura la relación entre el diseño técnico y su viabilidad económica

Conclusiones

A partir de las visitas técnicas realizadas en sitio, se pudo observar el estado de la instalación eléctrica de la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño, allí se identificó el equipo de medida, los tableros de distribución, tomacorrientes, luminarias y que cargas están instaladas. También, cabe resaltar la ausencia de planos, diagramas unifilares, del sistema de puesta a tierra y del sistema de protección contra rayos, además de un sistema de iluminación en mal estado. En base a lo observado, se concluye que el sistema eléctrico actual presenta diferentes falencias incumpliendo con lo establecido en la normativa vigente, por lo que se realizó un registro fotográfico (ver apéndice C) como evidencia, fundamentando cada falencia según lo establecido en el RETIE y RETILAP, además de la elaboración de planos eléctricos (ver apéndice B) y el diagrama unifilar (ver apéndice A) de la instalación eléctrica actual. El levantamiento eléctrico nos permitió tener un punto de partida para el desarrollo del rediseño, orientando a mejorar las condiciones de seguridad, confiabilidad y eficiencia energética.

Consecutivamente, en cumplimiento del segundo objetivo se realiza un diseño detallado cumpliendo cada ítem establecido por la norma RETIE en el numeral 3.3.1.1 del libro 3. Para empezar, la ubicación de la escuela no muestra una probabilidad de impacto de rayos significativa por lo que no se ve necesario implementar una protección contra descargas atmosféricas (ver apéndice K). En consecuencia, ante la falta de un sistema de puesta a tierra se diseña una adecuada protección, teniendo en cuenta los valores de referencia de resistencia de puesta a tierra, para una instalación de baja tensión la resistencia debe ser como máximo 20Ω y la resistencia del diseño es de 1.715Ω , por ende, cumple con lo establecido en el RETIE. Por otra parte, para considerar que el diseño es eficiente, se escogió un conductor calibre #8 AWG, ya que el ahorro de la inversión es más significativo que el ahorro de costos totales a lo largo de 20 años (ver apéndice H, ítem J),

además se verifica que las pérdidas de energía permitidas por el operador de red no sobrepasen el 5% (ver apéndice H, ítem O) y se comprueba que la regulación de tensión es menor al 3% (ver apéndice H, ítem P) tal y como lo indica el RETIE. También, ante un sistema de iluminación en mal estado se realiza un rediseño cumpliendo con los niveles de iluminación requeridos por área (ver apéndice E), donde se hace uso de software Dialux. En cuanto a la documentación técnica se realizan los planos eléctricos de iluminación y tomacorriente teniendo en cuenta la ubicación de las nuevas cargas y luminarias escogidas según el diseño de iluminación (ver apéndice B), además del diagrama unifilar teniendo en cuenta la nueva distribución y los conductores calculados. Por lo tanto, podemos concluir que rediseño cumple con lo establecido en la norma RETIE y RETILAP al verificarse cada uno de los requerimientos establecidos por estas normas, garantizando un diseño seguro, confiable y eficiente.

Por último, en cumplimiento del tercer objetivo se realiza un análisis de costos, incluyendo una tabla de recursos donde se encuentran los materiales necesarios para implementación de la instalación, además del costo unitario por material, dependiendo de su valor actual en el mercado y la cantidad a utilizar, con el fin de realizar una estimación del presupuesto del proyecto con un valor de \$ 44'519,016 COP.

Recomendaciones

Se recomienda que para una posible ejecución se haga la medición adecuada de la resistividad, ya que el valor de la resistividad es una aproximación estándar tomada de la IEEE std 80.

Se realiza un cuadro de cargas por tablero, teniendo las cargas actuales y las futuras, se recomienda que por cada bloque se tenga un tablero de distribución y que estos dos dependan de un tablero general de baja tensión.

Se recomienda que, en caso de llevar a cabo el proyecto, instalar aires acondicionados tipo A para garantizar el uso eficiente de la energía.

Se recomienda el cambio del medidor por uno trifásico, ya que la acometida actual es trifásica y esta no fue modificada en el rediseño

Referencias Bibliográficas

- AENOR. (1993). *NORMA INTERNACIONAL CEI IEC 60071-1* . Madrid.
- AENOR. (2002). *Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna - IEC 60909-0*. Madrid: AENOR.
- COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. (29 de Enero de 2018). *Gestor Normativo Alejandría 2.0*. Obtenido de Gestor Normativo Alejandría 2.0: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0016_2018.htm
- EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN. (2019). *Guía Metodológica: Cálculo de conductor económico*. Medellín: Unidad Centro de Excelencia Técnica Normalización.
- ESSA. (2024). *NORMAS PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN* . Bucaramanga.
- ICONTEC. (2020). *Código Eléctrico Colombiano -NTC 2050. Segunda actualización*. Bogotá.
- IDEAM. (2024). *GEOVISOR IDEAMV1*. Obtenido de https://visualizador.ideam.gov.co/GEOVISOR_IDEAM/?page=Geovisor---IDEAM&views=Vista-Amenazas-Vulnerabilidades-Riesgos-Ambientales
- IEEE. (2007). *Práctica recomendada de IEEE para la puesta a tierra de sistema de energía industriales y comerciales*. New York: IEEE.
- IEEE Power and Energy Society. (2012). *IEEE std 81* . New York: IEEE.
- IEEE Power and Energy Society. (2013). *IEEE Guide for Safety in AC Substation*. New York: IEEE.

Ministerio de Minas y Energía. (2024). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público -RETILAP*. Bogotá.

Ministerio de minas y enegía. (2024). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE*. Bogotá.