

DISEÑO DE LA RED DE ALUMBRADO PUBLICO DE LA CARRERA 27 DE
BUCARAMANGA

Juan David Bayona Vargas y Neilder Duvan Ramirez Pérez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

PhD en Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingeniería Fisicomecánica

Escuela de ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2023

Agradecimientos

En este momento tan significativo de mi vida, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron parte de este proceso. Quiero agradecer en primer lugar a Dios quien me dio la sabiduría y la fortaleza de salir adelante en este proceso tan enriquecedor.

A mis padres Olga y Neilder quien son el pilar fundamental de mi vida, sin ellos nada de esto sería posible y cada día con su amor y palabras de apoyo me motivaban en a salir adelante y alcanzar todas mis metas. Agradezco profundamente cada uno de sus esfuerzos y oraciones, su confianza en mí y su apoyo emocional y financiero. A mis hermanas Paula y Sharid que con su existencia me motiva a cada día ser mejor y ser siempre su ejemplo por seguir.

También agradezco a personas maravillosas que conocí a lo largo de estos años. A mis amigos de los cuales he aprendido muchas cosas para la vida. Sus palabras de ánimo y su respaldo incondicional me han dado fuerzas para superar los desafíos y mantenerme enfocado en este proyecto.

Agradezco a mis profesores, quienes han compartido su conocimiento y experiencia conmigo a lo largo de mi carrera. Su dedicación, orientación y pasión por la ingeniería eléctrica han sido inspiradoras y han dejado una huella en mi desarrollo académico y profesional.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a la Universidad Industrial de Santander y a la escuela E3T por brindarme una educación de calidad y las oportunidades necesarias para desarrollarme como profesional. Agradezco a los docentes, personal administrativo y técnico por su compromiso y dedicación en la formación de futuros ingenieros eléctricos.

¡Gracias de todo corazón!"

Neilder Duvan Ramirez Pere

Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi profundo agradecimiento a Dios por su amor, guía y por haberme brindado la sabiduría, perseverancia y determinación en cada paso de mi proyecto de grado. Su dirección divina iluminó los momentos de duda y fue mi refugio en las dificultades.

A mis queridos padres, Elizabeth y Hernán, les agradezco su confianza en mí desde el principio, ya que han sido mi mayor motivación. Gracias por creer en mis habilidades y por alentarme a perseguir mis sueños. Su apoyo inquebrantable y fe en mis capacidades han sido una fuente inagotable de inspiración. En los momentos de desafío y dificultad, siempre han estado ahí para mí.

Agradezco a mi esposa Zully y a mis hijos Samuel y Anny por su paciencia y comprensión durante las largas horas de estudio y trabajo dedicadas a este proyecto. Gracias por entender las ausencias y por apoyarme incondicionalmente, incluso cuando mi tiempo estuvo limitado.

Expreso mi agradecimiento a mis profesores por su dedicación y orientación, por compartir su conocimiento y experiencia a lo largo de mi carrera académica.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a la Universidad Industrial de Santander y a la escuela E3T por brindarme una educación de calidad y las oportunidades necesarias para desarrollarme como profesional. Agradezco a los docentes, personal administrativo y técnico por su compromiso y dedicación en la formación de futuros ingenieros eléctricos.

Con amor y gratitud.

Juan David Bayona Vargas

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	15
1. Objetivos.....	17
1.1 Objetivo General.....	17
1.2 Objetivos Específicos	17
2. Marco Conceptual	18
2.1 Conceptos de diseño eléctrico	18
2.1.1 Análisis de cortocircuito	18
2.1.2 Regulación de tensión.....	18
2.1.3 Sistema de puesta a tierra	18
2.1.4 Distancias de seguridad	18
2.1.5 Coordinación de protecciones.....	19
2.1.6 Cálculo de perdidas	19
2.1.7 Tensión nominal.....	19
2.1.8 Circuitos de alumbrado publico.....	19
2.1.9 Circuito de baja tensión	20
2.1.10 Ocupación de ductos.....	20
2.2 Metodología del CAUE	20
3. Metodología.....	22
3.1 Etapa 1- Elaboración del diseño eléctrico.	22
3.2 Etapa 2 Diseño fotométrico	24
3.3 Etapa 3- Presupuesto	24

4. Resultados.....	25
4.1. Diseño Eléctrico	26
4.1.1. Planos de la red de alumbrado público	26
4.1.2. Memorias de cálculos	28
4.1.2.1 Cuadros de cargas, análisis de factor de potencia y armónicos	28
4.1.2.2 Análisis de cortocircuito y falla a tierra	29
4.1.2.3 Coordinación de protecciones contra sobre corrientes	31
4.1.2.4 Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos	35
4.1.2.5 Análisis de riesgo eléctrico y medidas para mitigarlos.....	38
4.1.2.6 Niveles de tensión requerido	44
4.1.2.7 Calculo de conductores.....	44
4.1.2.8 Cálculo de canalizaciones y cajas de inspección.....	45
4.1.2.9 Cálculos de pérdidas de potencia.....	46
4.1.2.10 Cálculos de regulación.....	47
4.2. Diseño Fotométrico.....	49
4.2.1. Selección de las luminarias.....	49
4.2.2. Diseño geométrico y validación de los puntos de apoyo.....	52
4.2.3. Simulación de fotometría y resultados en DIALux evo.	55
4.2.3.1 Perfil vial (M2)	55
4.2.3.1a Resultados con DXPRO.....	57
4.2.3.1b Resultados con Sylvania.....	57
4.2.3.2 Glorieta del Caballo de Bolívar (C2).....	58
4.2.3.2a Resultados con DXPRO.....	60

4.2.3.2b Resultados con Sylvania.....	61
4.2.3.2c Resultados con Philips.....	61
4.2.3.3 Intersección ubicado en la calle 36 con carrera 27 (C2).....	62
4.2.3.3a Resultados con DXPRO.....	63
4.2.3.3b Resultados con Sylvania.....	64
4.2.3.3c Resultados con Philips.....	64
4.2.4. Sistemas de medida y control eléctrico.....	65
4.2.5. Análisis económico - CAUE.....	66
4.3. Presupuesto.....	68
4.3.1 Retiro de infraestructura existente.....	70
4.3.2 Estructuras.....	70
4.3.3 Equipos.....	71
4.3.4 Salidas.....	72
4.3.5 Certificación, legalización y documentación de la instalación.....	73
Referencias Bibliográficas.....	75

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Valores mínimos de vida útil de la infraestructura de alumbrado publico	21
Tabla 2 Red canalizada de baja tensión.....	27
Tabla 3 Corriente de cortocircuito de los circuitos de la subestación S1	29
Tabla 4 Corriente de cortocircuito de la subestación S1	29
Tabla 5 Corriente de cortocircuito de los circuitos de la subestación S2	30
Tabla 6 Corriente de cortocircuito de la subestación S2	30
Tabla 7 Corriente de cortocircuito de los circuitos de la subestación S3	30
Tabla 8 Corriente de cortocircuito de la subestación S3	31
Tabla 9 Indicador de parámetros del rayo	35
Tabla 10 Subindicador relacionado con el uso de estructura	36
Tabla 11 Subindicador relacionado con el tipo de estructura.....	37
Tabla 12 Subindicador relacionado con la altura y el área de estructura	37
Tabla 13 Indicador de gravedad	37
Tabla 14 Matriz de niveles de riesgo.....	38
Tabla 15 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de arco eléctrico	38
Tabla 16 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de contacto directo	39
Tabla 17 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de contacto indirecto	39
Tabla 18 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de corto circuito.....	40
Tabla 19 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de electricidad estática	40
Tabla 20 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de ausencia de electricidad.....	41

Tabla 21 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de equipo defectuoso.....	41
Tabla 22 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de rayos	42
Tabla 23 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de sobre cargas	42
Tabla 24 Decisiones y acciones para controlar el riesgo.....	43
Tabla 25 Volumen de la caja de inspección.....	46
Tabla 26 Perdidas de energía por cada subestación.....	46
Tabla 27 Regulación por subestación.....	48
Tabla 28 Equipo de Telemida	66
Tabla 29 Cantidades iniciales de puntos de iluminación.....	67
Tabla 30 Calculo de CAUE.....	67
Tabla 31 Presupuesto.....	69

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Características y curva de la protección aguas arriba de los cto de la S1, S2 y S3	32
Figura 2 Características y curva de la protección del circuito 1 de la S1	32
Figura 3 características y curva de la protección del circuito 2 de la S1	33
Figura 4 Características y curva de la protección del circuito 1 de la S2	33
Figura 5 Características y curva de la protección del circuito 2 de la S2	34
Figura 6 Características y curva de la protección del circuito 1 de la S3	34
Figura 7 Características y curva de la protección del circuito 2 de la S3	35
Figura 8 Luminaria DXPRO DX-APGR-120-SL.....	49
Figura 9 Espectro luminoso DXPRO DX-APGR-120-SL.....	50
Figura 10 Placa de datos DXPRO DX-APGR-120-SL.....	50
Figura 11 Luminaria DXPRO DX-APGR-60-SL	51
Figura 12 Espectro luminoso DXPRO DX-APGR-60-SL.....	51
Figura 13 Placa de datos DXPRO DX-APGR-60-SL.....	51
Figura 14 Poste Brazo Doble Propósito.....	53
Figura 15 Poste Brazo Sencillo.....	54
Figura 16 Poste Brazo Doble	54
Figura 17 Perfil vial carrera 27	55
Figura 18 Características del punto de luz.	56
Figura 19 Montaje en 3D del perfil vial.....	56
Figura 20 Resultados de con la luminaria DXPRO.	57
Figura 21 Resultados de con la luminaria Sylvania.....	57

Figura 22 Resultados de con la luminaria Philips.....	58
Figura 23 Plano glorieta Caballo de Bolívar (C2)	59
Figura 24 Resultados de con la luminaria Sylvania.....	61
Figura 25 Resultados de con la luminaria Philips.....	61
Figura 26 Plano intersección calle 36- carrera 27 (C2)	62
Figura 27 Áreas de calculo.....	62
Figura 28 Vistas 3D del montaje del cruce vial (C2).....	63
Figura 29 Resultados de con la luminaria DXPRO	63
Figura 30 Resultados de con la luminaria Sylvania.....	64
Figura 31 Resultados de con la luminaria Philips.....	64
Figura 32 Fococelda	65

Glosario

Fotometría: La fotometría en el alumbrado público se encarga de medir y analizar la distribución de la luz emitida por las luminarias. Su objetivo es diseñar sistemas de iluminación eficientes y seguros para las áreas públicas, determinando la cantidad de luz necesaria y evaluando la eficiencia energética. Esto garantiza una iluminación adecuada, reduciendo costos y promoviendo la visibilidad y seguridad en espacios públicos.

Memorias de Cálculo: Las memorias de cálculo en un proyecto de alumbrado público son documentos técnicos que contienen los cálculos detallados y las justificaciones utilizadas para dimensionar y diseñar el sistema de iluminación.

NTC 2050: es una norma acorde a la invención de tecnologías en un ámbito global relacionadas a la eficiencia energética, sin dejar de lado las técnicas y materiales que se pueden implementar en las instalaciones eléctricas.

Perfil de vía M2: se considera perfil de vía M2 a las vías de acceso controlado y vías rápidas.

PQRS: El Sistema de Peticiones, Quejas, Reclamos y Sugerencias (PQRS) es una herramienta que nos permite conocer las inquietudes y manifestaciones que tienen nuestros grupos de interés para que tengamos la oportunidad de fortalecer nuestro servicio y seguir en el camino hacia la excelencia operativa.

RETIE: El RETIE (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas) es un documento legal y técnico emitido por el Ministerio de Minas y Energía en Colombia. Este reglamento establece los parámetros esenciales que deben considerarse al diseñar, construir, mantener y modificar una instalación eléctrica en el país, con el objetivo de garantizar la seguridad en su funcionamiento. El RETIE proporciona pautas y requisitos específicos para asegurar que las instalaciones eléctricas cumplan con los estándares de seguridad más altos posibles en Colombia.

RETILAP: Es el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, comprende un conjunto de normas y medidas que establecen los requisitos para los sistemas de iluminación y alumbrado público. Su objetivo primordial es garantizar niveles adecuados y de calidad en la energía lumínica necesaria para una correcta visión, a la vez que se asegura la seguridad en el suministro de energía, se protege a los consumidores y se preserva el medio ambiente. Asimismo, el RETILAP tiene la finalidad de prevenir, reducir o eliminar los riesgos asociados a la instalación y uso de los sistemas de iluminación.

APUS: El análisis de precio unitario (APUS) es un proceso detallado utilizado en proyectos para examinar una unidad de obra específica. Consiste en desglosar la unidad de obra en sus componentes y determinar los costos asociados a cada elemento, como materiales, mano de obra y equipos. Este análisis permite establecer el precio total de la unidad de obra antes de su construcción y tomar decisiones informadas sobre su viabilidad económica. El APUS es útil en la gestión de proyectos, la elaboración de presupuestos y la estimación de costos.

CAUE: El método del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) es utilizado para evaluar si un proyecto de inversión es rentable o no. Se calcula el costo anual total del proyecto, considerando los costos iniciales, los costos de operación y mantenimiento, y los ingresos esperados. Este costo se distribuye de manera uniforme a lo largo de la vida útil del proyecto. Luego, se compara el costo anual con los ingresos proyectados. Si el costo anual es menor que los ingresos, se considera que el proyecto es viable y rentable desde una perspectiva financiera. Si el costo anual es mayor que los ingresos, el proyecto puede no ser viable. El método CAUE ayuda a tomar decisiones informadas sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión.

Resumen

Título: Diseño de la red de alumbrado público de la carrera 27 de Bucaramanga*.

Autor: Neilder Duvan Ramirez Perez, Juan David Bayona Vargas **.

Palabras Clave: CAUE, Alumbrado público, luminaria led, cálculos, planos, RETIE, RETILAP, CREG.

Descripción: Este proyecto consiste en diseñar la red eléctrica del alumbrado público de la Carrera 27 desde la Calle 9 hasta la Calle 60 en el municipio de Bucaramanga utilizando las referencias normativas RETIE y RETILAP.

En este sector de la ciudad se ha presentado un deterioro evidente en la infraestructura debido a su antigüedad de hace aproximadamente 30 años, lo que indica que estas redes ya cumplieron su ciclo de vida y según la CREG, las redes deben cambiarse cada 30 años. Esta vía es de gran importancia para la ciudad y está categorizada como vía tipo M2 según el RETILAP. Todo lo anterior conduce a zonas oscuras o mal iluminadas que aumentan la inseguridad para los peatones o los accidentes para peatones y vehículos.

A raíz de esta situación, la Secretaría de Infraestructura y Alumbrado Público del municipio de Bucaramanga ha decidido realizar un proyecto de modernización y nuevo diseño de la red de alumbrado público de todo el tramo de la Carrera 27.

Se pretende desarrollar el nuevo diseño eléctrico en la modalidad de práctica empresarial.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánica. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga.

Abstract

Title: Design of the public lighting network Carrera 27 of Bucaramanga *.

Author: Neilder Duvan Ramirez Perez, Juan David Bayona Vargas**.

Keywords: CAUE, public lighting, led luminaire, calculations, plans, RETIE, RETILAP, CREG.

Description: This project consists of designing the electrical network of the public lighting of Carrera 27 from Calle 9 to Calle 60 in the municipality of Bucaramanga using RETIE and RETILAP normative references.

In this sector of the city there has been an evident deterioration in the infrastructure due to its age of approximately 30 years ago, which indicates that these networks have already completed their life cycle and according to the CREG, networks must be changed every 30 years. This road is of great importance for the city and is categorized as a M2 type road according to the RETILAP technical regulations for public lighting and illumination. All the above leads to dark or poorly lit areas that increase insecurity for pedestrians or accidents for pedestrians and vehicles.

As a result of this situation, the Secretary of Infrastructure and Public Lighting of the municipality of Bucaramanga has decided to carry out a modernization and new design project for the public lighting network of the entire stretch of Carrera 27.

It is intended to develop the new electrical design in the modality of business practice.

* Degree Work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering.

Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga.

Introducción

El alumbrado público es un componente esencial de la infraestructura de las ciudades y es de vital importancia garantizar calidad y buen funcionamiento. Por tal motivo fue creado el Sistema Integrado de Gestión del servicio de Alumbrado Público de la ciudad de Bucaramanga está cuenta con certificación ICONTEC y varias normas internacionales. Su objetivo principal es que la ciudad esté a la vanguardia en tecnología y diseños de iluminación. También en temas de eficiencia energética, buscando reducir costos y promover el desarrollo sostenible.

De acuerdo con lo anterior, se realizará la intervención de la red de alumbrado público aguas debajo de los tableros de baja tensión de la carrera 27 específicamente en el tramo comprendido entre la calle 9 hasta la calle 60, con una distancia aproximada del proyecto de 3.5 km. Este corredor vial es uno de los más importantes y de alto flujo vehicular pues la vía comunica directamente el sur con norte de la ciudad.

La selección del diseño fotométrico y luminarias más rentables respecto a costos de operación se realizará por medio del método CAUE (Costo Anual Equivalente), por medio del el cual se calcula el costo anual equivalente de un proyecto, y se tienen en cuenta conceptos como: Costos Iniciales (CI) de la infraestructura, que incluye luminarias, cables, postes, materiales, entre otros, junto con los gastos de transporte y mano de obra, constituyen los costos iniciales. Por otro lado, los costos anuales de operación (CAO) están compuestos por el mantenimiento de la infraestructura y el consumo de energía eléctrica del sistema.

En este método es necesario tener varias propuestas de diseños fotométricos con el fin de poder realizar los cálculos respectivos y así obtener distintos valores de CAUE para cada diseño.

Al obtener los resultados de este método se procede a realizar una comparación para elegir el diseño que genere un menor costo de mantenimiento a largo plazo.

Este proyecto traerá a la ciudad grandes beneficios, ya que se reducirán las zonas oscuras que afectan a la comunidad aumentando la seguridad del sector para peatones y vehículos, reducirá la cantidad de PQRS en la oficina de alumbrado público sobre este sector. Y, además, le dará a la ciudad un aspecto moderno y estético.

En este informe se plasmaron los objetivos, metodología, resultados de cada uno de los objetivos específicos y conclusiones del proyecto. También, junto con este archivo se entregó una carpeta de anexos llamada documentos adicionales en la cual encontraremos a detalle el desarrollo de este proyecto incluyendo: Análisis económico-CAUE, diseño fotométrico que incluye los planos para simulación y archivos de DIALux evo., especificaciones técnicas, las memorias de cálculo, archivos de planos en PDF y editables de: diagrama unifilar y detalles de la red de alumbrado público para cada subestación, el presupuesto-APUS y por ultimo los informes en ECODIAL para la coordinación de protecciones por subestación.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar la red de alumbrado público de la carrera 27 desde la calle 9 hasta la calle 60 de la ciudad de Bucaramanga, usando el método CAUE para la valoración de alternativas.

1.2 Objetivos Específicos

Seleccionar una de las alternativas de diseño fotométrico suministradas por la Dirección de Alumbrado Público de Bucaramanga teniendo en cuenta el CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente) de las diferentes opciones de luminaria recomendadas.

Validar y proponer una alternativa de acuerdo con las dimensiones de las estructuras de apoyo (altura de postes y longitud del brazo) que se adapte a la realidad y necesidades de la vía, en base la alternativa que presente el mayor costo beneficio utilizando la metodología de menor CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente).

Elaborar el diseño de distribución de luminarias y circuitos ramales de la red de alumbrado público de la carrera 27 considerando los requisitos técnicos.

Elaborar los presupuestos y especificaciones técnicas (memorias de cálculo) del diseño eléctrico de la red de alumbrado público de acuerdo con los estándares establecidos por la Alcaldía de Bucaramanga.

2. Marco Conceptual

2.1 Conceptos de diseño eléctrico

2.1.1 Análisis de cortocircuito

El análisis de cortocircuitos incluye el cálculo de la corriente de defecto y la evaluación del funcionamiento de los dispositivos. (IEEE Std 3002.3-2018,2019)

2.1.2 Regulación de tensión

Para el suministro de energía en el servicio de alumbrado público, es responsabilidad del operador de la red asegurar la regulación de tensión de baja tensión. Es necesario que el nivel de tensión se mantenga dentro del rango óptimo de funcionamiento de los equipos. En este sentido, la variación de tensión de alimentación no debe superar un margen de $\pm 5\%$ de la tensión nominal de las luminarias de alumbrado público. (Norma NTC 1340). (RETILAP, s.f.)

2.1.3 Sistema de puesta a tierra

Comprende todas las facilidades de tierra interconectadas en un área específica. (ANSI - IEEE Std 80/2000, s.f.) y la implementación de la Tabla 250-95 de la NTC 2050.

2.1.4 Distancias de seguridad

Según las disposiciones de este reglamento, se establecen las distancias mínimas que deben mantenerse entre líneas o redes eléctricas y elementos físicos presentes a lo largo de su trazado, como carreteras, edificaciones, áreas destinadas a cultivos, pastizales o bosques. Se reconoce que, en términos de prevención de riesgos eléctricos, la medida más efectiva es mantener una distancia segura con respecto a las partes energizadas, ya que el aire actúa como un excelente aislante. Estas medidas tienen como objetivo principal evitar contactos accidentales. (RETIE,2013)

2.1.5 Coordinación de protecciones

Los objetivos de la coordinación de sobreintensidades son determinar las características, valores nominales y ajustes de los dispositivos de protección contra sobreintensidades que minimicen los daños a los equipos e interrumpan cortocircuitos lo más rápidamente posible. (ANSI– IEEE Std 242-2001,2001)

2.1.6 Cálculo de pérdidas

Para este cálculo existen varios tipos de pérdidas como lo son:

Pérdidas técnicas, son inherentes a la operación normal de un sistema eléctrico y se generan debido a los aspectos físicos inherentes del fenómeno eléctrico: los efectos de la circulación de corriente, los materiales y métodos constructivos de la infraestructura eléctrica.

Pérdidas por armónicos, siendo estos las tensiones y corrientes sinusoidales, cuyas frecuencias son múltiplos de la frecuencia fundamental para la cual está diseñado el sistema eléctrico y que se originan debido a las características no lineales de las cargas y equipos de dichos sistemas. (EPM,2019)

2.1.7 Tensión nominal

Determinar las condiciones de aislamiento y funcionamiento de un equipo. Este valor especificado es crucial para garantizar el correcto rendimiento y seguridad del equipo en términos de aislamiento eléctrico y su funcionamiento adecuado. (RETIE,2013)

2.1.8 Circuitos de alumbrado público

Las instalaciones eléctricas de los circuitos de alumbrado público deben cumplir con las disposiciones de seguridad contempladas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, y sus materiales y equipos deben tener certificado de conformidad de acuerdo con dicho Reglamento Técnico. (RETIE,2013)

2.1.9 Circuito de baja tensión

En el caso de los circuitos de baja tensión alimentados por transformadores exclusivos para el alumbrado público, se requiere que la tensión utilizada no permita la conexión de servicios residenciales. En sistemas de redes trifásicas de media tensión, los circuitos de baja tensión deben ser trifásicos tetrafilares, con una tensión fase a fase de 380 V. Las luminarias deben conectarse entre fase y neutro a 220 V. En sistemas de redes monofásicas, se requiere una salida secundaria monofásica trifilar de 480/240 V, y las luminarias deben conectarse entre fase y neutro a 240 V. Es importante destacar que el neutro debe estar correctamente aterrizado para garantizar la seguridad del sistema.. (RETILAP, s.f.).

2.1.10 Ocupación de ductos

Se obtiene las secciones de cada uno de los conductores eléctricos y las secciones de los ductos posibles a ser utilizados, posteriormente se suma las secciones de los conductores y se divide con la sección de los ductos cuyo resultado es la ocupación del ducto, se recomienda que el ducto a ser utilizado no sobrepase el 40% de su ocupación. (Tabla 1 del capítulo 9 de la NTC 2050).

2.2 Metodología del CAUE

Se debe considerar un período de evaluación de 30 años teniendo en cuenta la vida útil de los diferentes componentes del proyecto y un valor de salvamento de cero pesos. Para el efecto se establecen como valores mínimos de vida útil los de la siguiente tabla:

Tabla 1 Valores mínimos de vida útil de la infraestructura de alumbrado público

EQUIPOS	VIDA UTIL (años)	EQUIPOS	VIDA UTIL (años)
Transformadores	20	Postes de concreto	30
Redes eléctricas (conductores, herrajes y aisladores)	30	Cajas de inspección, ducterías y demás obras civiles asociadas	30
Bombillas de sodio	3.5	Luminarias	
		En zonas con alta contaminación	7.5
		En Zonas normales	15

Nota. Tomado del RETILAP.

- ❖ Costos Iniciales (CI.) de infraestructura (luminarias o proyectores, transformadores, conductores, postes, materiales, etc.), transporte y mano de obra. Estos costos son presentes.
- ❖ Costos Anuales de Operación (CAO), los cuales están compuestos por el mantenimiento de la infraestructura y el consumo de energía eléctrica del sistema de alumbrado. Estos costos son anualizados y deben traer a valor presente, con la siguiente fórmula:

$$VP(CAO) = CAO * \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right)$$

- ❖ En la fórmula anterior, i corresponde a la tasa de descuento (TD), la cual se establece en el 16,06% (o la que aplique la CREG para la red domiciliaria)
- ❖ n corresponde al número de año de análisis, que en este caso es de 30 años

El valor presente total del proyecto (PT) se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$VPN = P_T = CI + VP(CAO) - VP(VS)$$

VS es el valor de Salvamento al final de la vida, es decir, el valor de la vida útil remanente del sistema de iluminación. En el caso de la evaluación de proyectos de alumbrado y con el fin de simplificar el procedimiento sin afectar el resultado, se considera nulo el valor de salvamento; luego

$$P_T = CI + VP(CAO)$$

El Valor Total (PT) se multiplica por el factor de anualidad para obtener el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) del proyecto.

$$CAUE = CAO - VP(VS) + \frac{CI}{(1+i)^n}$$

Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) del proyecto = valor presente total del proyecto (PT) por el factor de anualidad. (RETILAP,2010)

3. Metodología

Como practicantes se nos fue asignado el proyecto de diseño de alumbrado público para la CRA 27 del municipio de Bucaramanga. Para cumplir a cabalidad con los alcances del proyecto se decidió implementar una metodología compuesta por las siguientes etapas.

3.1 Etapa 1- Elaboración del diseño eléctrico.

Para iniciar con el diseño eléctrico tuvimos como base un levantamiento topográfico a general de la ciudad de Bucaramanga el cual no estaba actualizado a lo que existe hoy en día en la ciudad. Procedimos a acotar el área de interés de nuestro proyecto en este caso la carrera 27 desde la calle 9 hasta la calle 60. Y posteriormente actualizar el plano con ayuda del GOOGLE EARTH comparando y agregando al plano zonas críticas como el Mesón de los Búcaros y algunos cruces que no existían, además se incluyó arborización, luminarias existentes y luminarias de apoyo las cuales faltaban en el plano suministrado por la Alcaldía de Bucaramanga del departamento de alumbrado público. También se realizó una visita técnica

a las subestaciones y los tableros existentes, evaluando la capacidad disponible que requiere el nuevo diseño y condiciones físicas de estas.

En esta etapa se realizó lo siguiente:

- Planos de la red de alumbrado público: En esta fase del proyecto se realizó el diseño eléctrico de la nueva red de alumbrado aguas abajo de los tableros de distribución de baja tensión, en el cual se incluye: luminarias, puntos de apoyo, conductores, canalización, cajas de inspección, circuitos ramales, subestaciones y tableros de alumbrado público. Por otro lado, se realizaron los planos de obras civiles, unifilares para cada subestación y tableros existentes.
- Memorias de cálculo: Se realizó un documento en EXCEL con la recopilación de los datos obtenidos en el proceso de diseño, anexando los cálculos de regulación, ocupación de ductos, pérdidas, cuadro de carga, calibres de los conductores y protecciones.
- Realización del informe: También, se redactó un informe requerido por la oficina de alumbrado público, con base en el diseño realizado, un diagrama unifilar de la red de alumbrado público, también se incluyen los cálculos realizados, los parámetros de diseño, la normativa que rige estos parámetros.

3.2 Etapa 2 Diseño fotométrico

Lo primero que se realizó en esta etapa fue redactar una invitación formal a los fabricantes y/o comercializadores de equipos de iluminación a presentar una propuesta de diseño fotométrico en cumplimiento al marco regulatorio establecido en el RETILAP. Desafortunadamente, los proveedores solo presentaron la propuesta de la luminaria, entregando únicamente la ficha técnica y los precios de estas. Los proveedores que participaron en esta propuesta fueron: SYLVANIA, PHILIPS y DXPRO.

A partir de estos datos de las luminarias, se procedió a realizar el montaje en el programa DIALux evo. En el cual se simularon 3 zonas específicas de la vía: perfil vial de la carrera 27 catalogada según el RETILAP como una vía tipo (M2), glorieta del Caballo de Bolívar tipo (C1), y una intersección o zona crítica (C2) para efectos de la simulación se tomó como referencia el cruce ubicado en la calle 37 con carrera 27. Estos montajes se simularon con cada una de las propuestas realizadas por los proveedores.

Teniendo en cuenta los resultados arrojados por las simulaciones, los costos y las fichas técnicas de las luminarias se procedió a realizar el cálculo del Costo Anual Uniforme Equivalente CAUE para cada luminaria, por medio de una plantilla establecida y proporcionada por la oficina de alumbrado público con el objetivo de seleccionar la luminaria más apropiada que genere el menor costo anual de operación.

3.3 Etapa 3- Presupuesto

Para la realización del presupuesto del proyecto, se utilizó una plantilla suministrada por la oficina de alumbrado público de la alcaldía de Bucaramanga, la cual fue tomada del RETILAP.

Esta plantilla consiste en una serie de APUS (Análisis de Precios Unitarios); estos aspectos permitieron realizar un presupuesto detallado y preciso para el proyecto, teniendo en cuenta los costos asociados a cada componente del sistema de alumbrado público. Dichos aspectos son:

Retiro de infraestructura existente: Se tuvo en cuenta el costo asociado a la remoción de la infraestructura de alumbrado público existente, incluyendo postes, cables, acometidas, luminarias, transporte entre otros.

Estructuras: Se tuvo en cuenta el costo de las estructuras requeridas para sostener las luminarias, como postes, brazos de sujeción, acometidas canalizadas, cajas de inspección, transporte y otros elementos estructurales necesarios.

Equipos: Se incluyeron los costos de los equipos necesarios para la instalación y funcionamiento del sistema de alumbrado público, como equipos para la instalación de las estructuras, luminarias entre otros equipos.

Salidas: Se estimaron los costos asociados a las salidas de luminarias.

Certificación, legalización y documentación de la instalación: Se tuvo en cuenta el costo de los trámites y procesos necesarios para obtener las certificaciones, permisos y documentación requerida para la instalación del sistema de alumbrado público, cumpliendo con las regulaciones y normativas correspondientes

4. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto "Diseño de la red de alumbrado público de la Carrera 27 de Bucaramanga". Este proyecto se llevó a cabo como parte de una etapa práctica empresarial en la oficina de alumbrado público de la ciudad de Bucaramanga.

4.1. Diseño Eléctrico

En el diseño eléctrico se contemplan diferentes etapas:

4.1.1. Planos de la red de alumbrado público

Partiendo de la adecuación del levantamiento topográfico de la Carrera 27 se ubicaron las subestaciones y tableros de distribución que actualmente se encuentran en funcionamiento. Nos encontramos con 3 subestaciones de 75kVA cada una, ubicadas estratégicamente a lo largo de esta importante vía, la primera ubicada en la glorieta del Mesón de los Bucaros la cual alimentara los circuitos posteriormente diseñados que distribuirán la energía a las luminarias ubicadas desde este punto hasta la glorieta del Caballo de Bolívar. La segunda se encuentra en el parque de los niños esta alimenta los circuitos desde el Mesón de los Bucaros hasta la avenida la Rosita y la última subestación la encontramos en la carrera 27 con calle 53 (frente al Smart Fit), esta alimentara los circuitos comprendidos entre la avenida Rosita hasta la carrera 60,

Posteriormente se realizó el diseño y distribución de luminarias y puntos de apoyo en este caso utilizamos la configuración **CENTRAL MEDIA** dado que este es el más se adapta a las características de la vía. con una Inter distancia entre postes de aproximadamente 30 m, además para las características de los postes se tuvo en cuenta la coexistencia de los árboles con las luminarias con el objetivo de que no interfieran con la distribución de los puntos de apoyo ni generaran sombras adicionales que afecten la iluminación. estos parámetros se explicarán más a profundidad en la sección 4.2 **Diseño Fotométrico**. También se cada punto de apoyo se ubicó una caja de inspección de dimensiones 60x60x88 cm.

Por otro lado, para la distribución de los circuitos se tuvo en consideración que las luminarias que se encuentran en el mismo punto de apoyo no sean alimentadas por el mismo circuito, por lo tanto, se implementaron el uso de dos circuitos trifásicos por cada subestación y/o tablero de distribución, de tal forma que al momento de presentar algún tipo falla en alguno de los dos circuitos no se presente un apagón del 100% del alumbrado público.

Para finalizar esta epata se realiza la demarcación de la acometida canalizada de la siguiente forma:

Tabla 2 *Red canalizada de baja tensión*

Red de distribución en baja tensión	Símbolo	Descripción
Circuito red canalizada trifásico subterráneo 380 V para cada subestación	A	CU 3x1/0 (Fases) + 1/0 (Neutro) + 6 (Tierra) THW
Circuitos red canalizada trifásica trefilar subterráneo 380 V subestación para la S1 por cada circuito	B	3 AL No 4/0 THHN SERIE 8000 (Fases) + 1 AL No 4/0 THHN SERIE 8000 (Neutro) + 1 AL No 6 THHN SERIE 8000 (Tierra)
Circuitos red canalizada monofásico subterráneo 380 V subestación para la S2 y S3 por cada circuito	D	3 AL No 2/0 THHN SERIE 8000 (Fases) + 1 AL No 2/0 THHN SERIE 8000 (Neutro) + 1 AL No 6 THHN SERIE 8000 (Tierra)
Circuito de red canalizada para luminarias	C	Cable de cobre No 3x6 AWG THHN encauchetado 75°/600V
Canalización para la acometida de las subestaciones	E	Ducto 3" PVC Tipo pesado
Canalización para la acometida de la subestación al tablero de distribución	F	Ducto 2" PVC Tipo pesado

Se observa con más detalle en los documentos en PDF: “Detalles S1 de la red de alumbrado público”, “Detalles S2 de la red de alumbrado público” y “Detalles S3 de la red de alumbrado público” que se encuentra en la carpeta de planos de la carpeta de documentos adicionales.

4.1.2. Memorias de cálculos

4.1.2.1 Cuadros de cargas, análisis de factor de potencia y armónicos

Ubicadas las luminarias y definidos los circuitos se procede a calcular la potencia por cada circuito, como los circuitos serán trifásicos la carga se repartió equitativamente en las fases (R, S y T) de tal manera quedara balanceada la carga en la red. Esto aplica para las 3 subestaciones implicadas en el proyecto.

El factor de potencia utilizado para todos los circuitos fue de 0.9. En cuanto a la distorsión armónica, todos los circuitos presentan un valor del 20% y 1.02 en el desplazamiento. Debido a que el valor del desplazamiento es pequeño, no es necesario realizar una corrección armónica.

EL cálculo del efecto de la distorsión armónica de corriente en el sistema y su factor de potencia, se calcula el factor de desplazamiento F.D., el cual modifica el factor de potencia F.D. del equipo, obteniéndose el factor de potencia desplazado. F.D.* del circuito.

$$FP * = \frac{FP_1}{\sqrt{1 + THD_i^2}}$$

Los resultados se observan con más detalle en el documento en EXCEL: “Memorias de cálculo – Cra 27” en la hoja “Cuadro de cargas TAP” que se encuentra en la carpeta de Memorias de cálculo de la carpeta de documentos adicionales.

4.1.2.2 Análisis de cortocircuito y falla a tierra

Utilizando el software de cálculo de protecciones ECODIAL, se procedió al montaje del diagrama unifilar del proyecto. El objetivo era llevar a cabo un análisis de cortocircuito y falla a tierra, y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 3 Corriente de cortocircuito de los circuitos de la subestación S1

Corriente de cortocircuito [kA]						
Subestación S1	3 ϕ Max	2 ϕ Max	1 ϕ Max	3 ϕ Min	2 ϕ Min	1 ϕ Min
Circuito 1	0.36	0.31	0.26	NA	0.26	0.20
Circuito 2	0.35	0.31	0.25	NA	0.25	0.14

Tabla 4 Corriente de cortocircuito de la subestación S1

Corriente de cortocircuito [kA]						
Subestación S1	3 ϕ Max	2 ϕ Max	1 ϕ Max	3 ϕ Min	2 ϕ Min	1 ϕ Min
Aguas arriba de los circuitos	3.28	2.84	2.96	NA	2.37	2.44

Se observa con más detalle en los documentos que se encuentran en la carpeta de “Subestación S1”; se encuentran en la carpeta de protecciones de la carpeta de documentos adicionales.

Tabla 5 *Corriente de cortocircuito de los circuitos de la subestación S2*

Corriente de cortocircuito [kA]						
Subestación S2	3 ϕ Max	2 ϕ Max	1 ϕ Max	3 ϕ Min	2 ϕ Min	1 ϕ Min
Circuito 1	0.31	0.27	0.20	NA	0.22	0.15
Circuito 2	0.33	0.28	0.21	NA	0.22	0.16

Tabla 6 *Corriente de cortocircuito de la subestación S2*

Corriente de cortocircuito [kA]						
Subestación S2	3 ϕ Max	2 ϕ Max	1 ϕ Max	3 ϕ Min	2 ϕ Min	1 ϕ Min
Aguas arriba de los circuitos	3.62	3.14	3.57	NA	2.64	3.00

Se observa con más detalle en los documentos que se encuentran en la carpeta de “Subestación S2”; se encuentran en la carpeta de protecciones de la carpeta de documentos adicionales.

Tabla 7 *Corriente de cortocircuito de los circuitos de la subestación S3*

Corriente de cortocircuito [kA]						
Subestación S3	3 ϕ Max	2 ϕ Max	1 ϕ Max	3 ϕ Min	2 ϕ Min	1 ϕ Min
Circuito 1	0.32	0.28	0.20	NA	0.22	0.15
Circuito 2	0.35	0.30	0.22	NA	0.17	0.12

Tabla 8 *Corriente de cortocircuito de la subestación S3*

Corriente de cortocircuito [kA]						
Subestación S3	3 ϕ Max	2 ϕ Max	1 ϕ Max	3 ϕ Min	2 ϕ Min	1 ϕ Min
Aguas arriba de los circuitos	3.62	3.14	3.57	NA	2.64	3.00

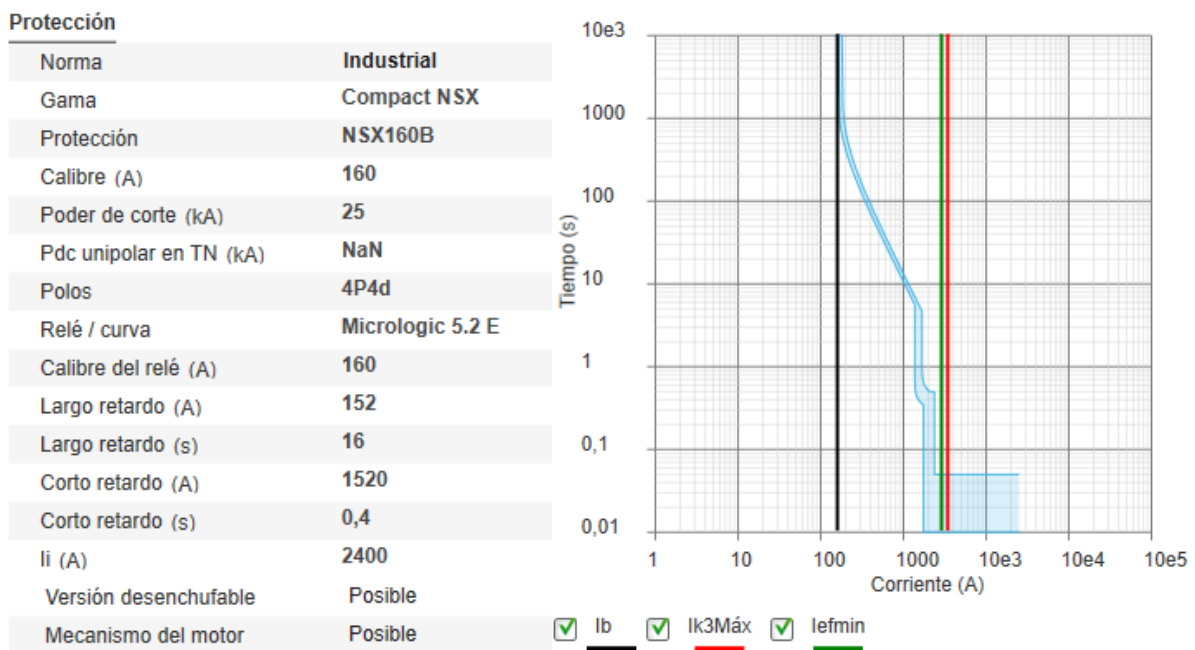
Se observa con más detalle en los documentos que se encuentran en la carpeta de “Subestación S3”; se encuentran en la carpeta de protecciones de la carpeta de documentos adicionales.

4.1.2.3 Coordinación de protecciones contra sobre corrientes

La coordinación de protecciones se calcula utilizando el software de cálculo de protecciones ECODIAL. El cálculo de las protecciones es el mismo para las tres subestaciones.

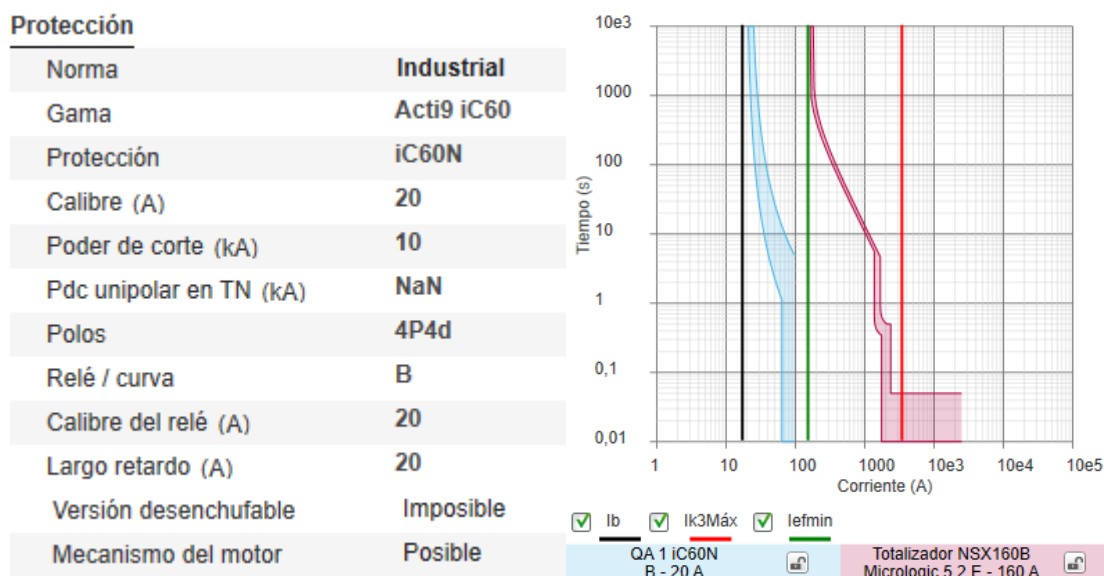
Se debe tener en cuenta que las protecciones obtenidas en el estudio realizado en ECODIAL pueden arrojar valores no comerciales, por lo tanto, para los circuitos se debe seleccionar una protección comercial que tenga la corriente por encima más próxima a la ofrecida por el software.

Figura 1 Características y curva de la protección aguas arriba de los cto de la S1, S2 y S3



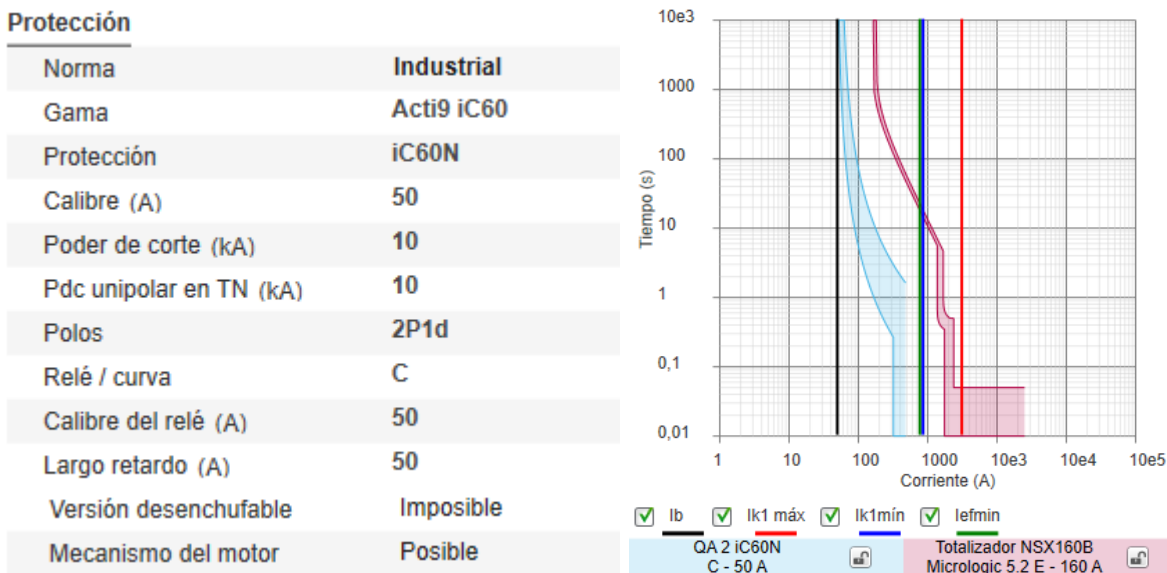
Nota. Tomado del software ECODIAL.

Figura 2 Características y curva de la protección del circuito 1 de la S1



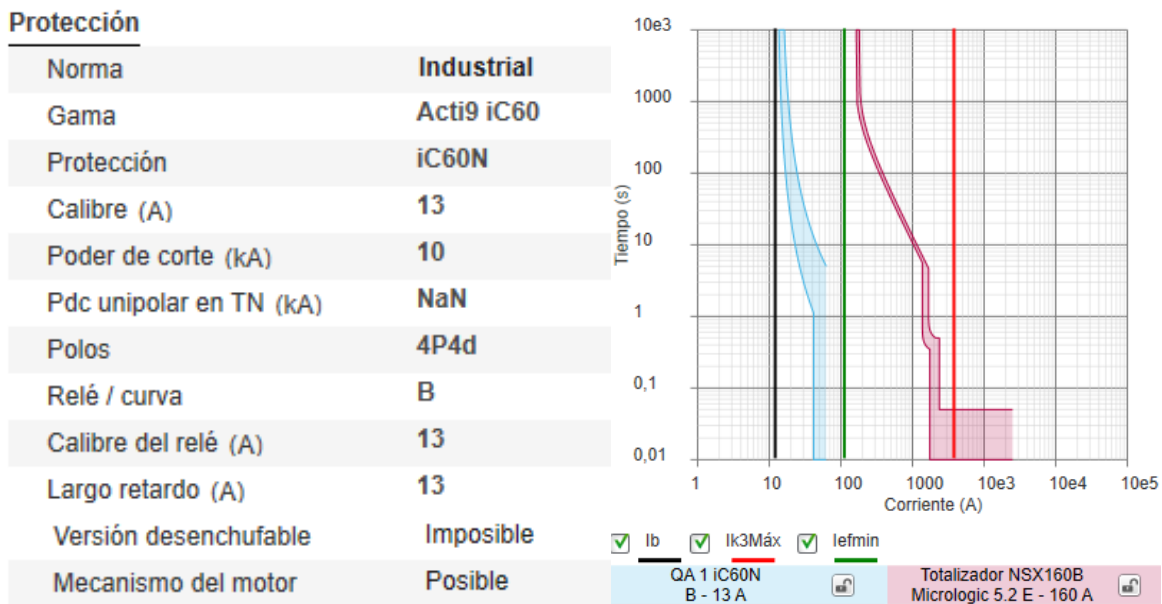
Nota. Tomado del software ECODIAL.

Figura 3 características y curva de la protección del circuito 2 de la S1



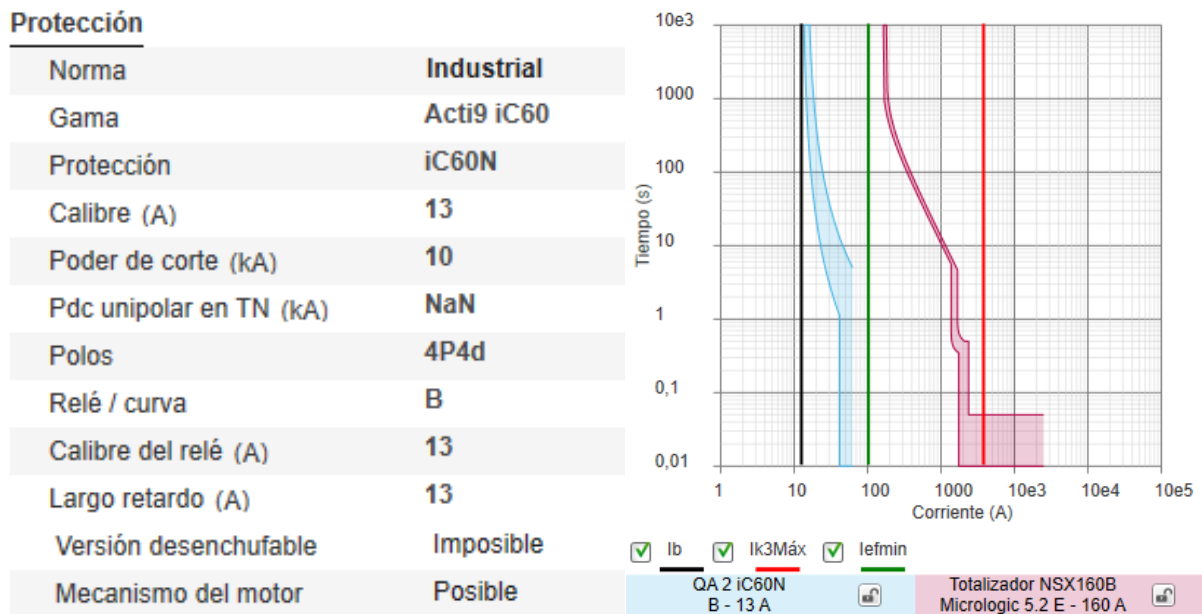
Nota. Tomado del software ECODIAL.

Figura 4 Características y curva de la protección del circuito 1 de la S2



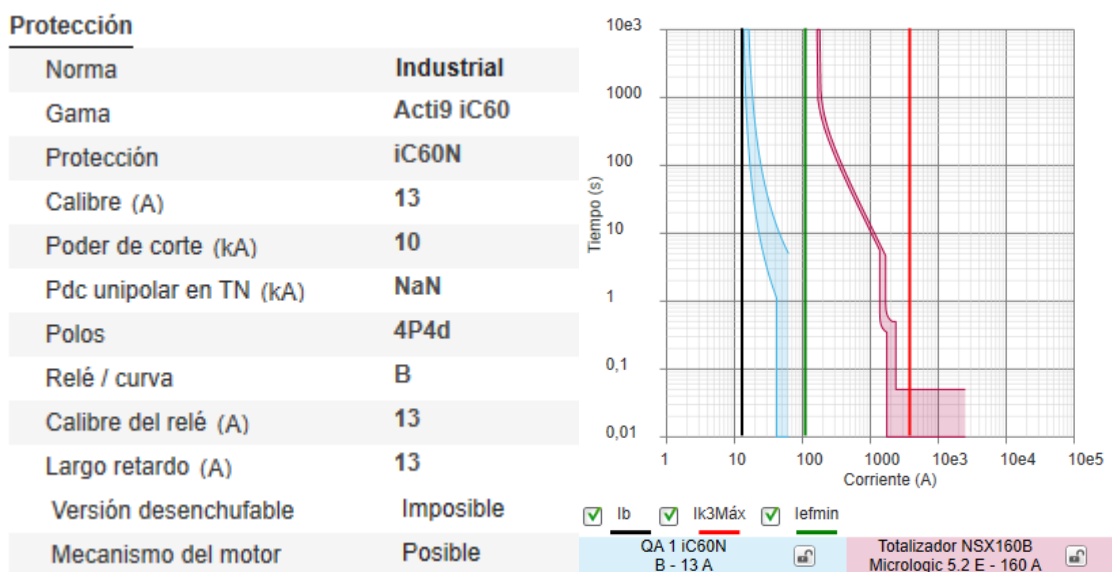
Nota. Tomado del software ECODIAL.

Figura 5 Características y curva de la protección del circuito 2 de la S2



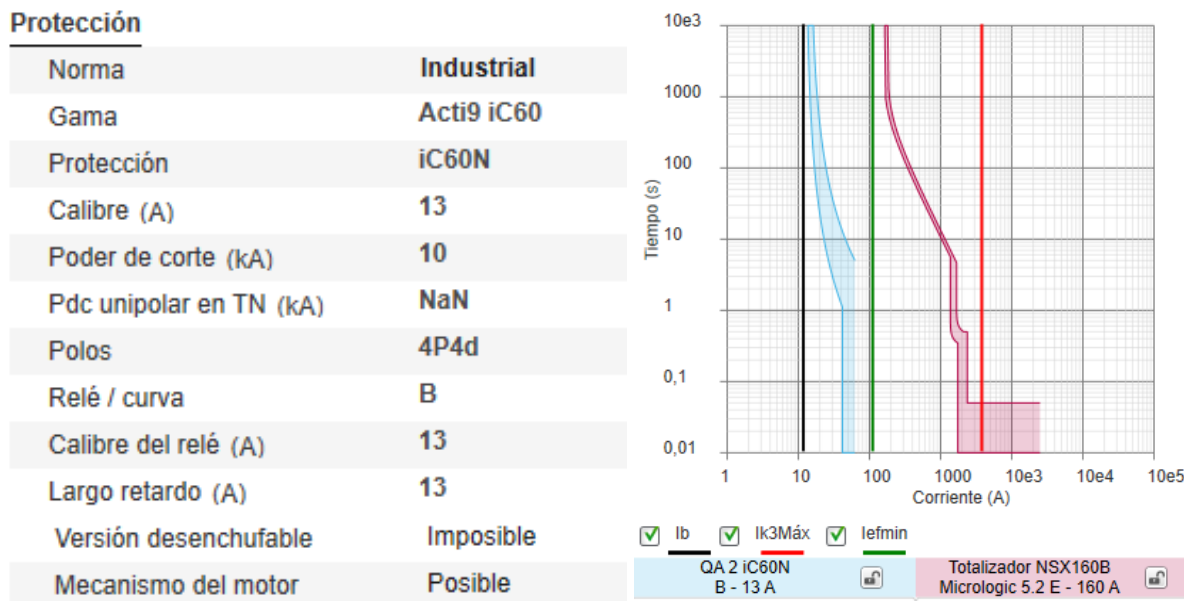
Nota. Tomado del software ECODIAL.

Figura 6 Características y curva de la protección del circuito 1 de la S3



Nota. Tomado del software ECODIAL.

Figura 7 Características y curva de la protección del circuito 2 de la S3



Nota. Tomado del software ECODIAL.

4.1.2.4 Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos

Para realizar el análisis del nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos se usarán los parámetros establecidos en la NTC 4552. Como primera medida se evalúa el indicador de parámetros del rayo, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9 Indicador de parámetros del rayo

Densidad de descargas a tierra [Descargas/km ² -año]	Corriente pico absoluta promedio [kA]		
	$40 \leq I_{abs}$	$40 \leq I_{abs} < 40$	$I_{abs} < 40$
$30 \leq DDT$			
$15 \leq DDT < 30$			
$5 \leq DDT < 15$			
$DDT < 5$			

<div style="background-color: #FFDAB9; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> Severos	<div style="background-color: #FFFF00; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> Altos
<div style="background-color: #FF69B4; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> Medios	<div style="background-color: #90EE90; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> Bajos

Nota. Tomado y adaptado de la Norma NTC 4552.

La densidad de descargas a tierra (DDT) en la ciudad de Bucaramanga es de 1, y una corriente pico absoluto menor a 20 kA. Por consiguiente, el indicador de parámetros de rayo será **bajo**, se procede a evaluar el indicador de gravedad a partir de la siguiente ecuación:

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

Donde:

I_{USO} = Subindicador relacionado con el uso de la estructura.

I_T = Subindicador relacionado con el tipo de estructura.

I_{AA} = Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura.

A partir de las siguientes tablas se les dio valor a las variables de la ecuación:

Tabla 10 *Subindicador relacionado con el uso de estructura*

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

Nota. Tomado y adaptado de la Norma NTC 4552.

$$I_{USO} = 0$$

Tabla 11 Subindicador relacionado con el tipo de estructura

Tipo de estructura	Indicador
No metálica	40
Mixta	20
Metálica	0

Nota. Tomado y adaptado de la Norma NTC 4552.

$$I_T = 20$$

Tabla 12 Subindicador relacionado con la altura y el área de estructura

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

Nota. Tomado y adaptado de la Norma NTC 4552.

$$I_{AA} = 10$$

El indicador de gravedad será:

$$I_G = 0 + 20 + 10 = 30$$

Tabla 13 Indicador de gravedad

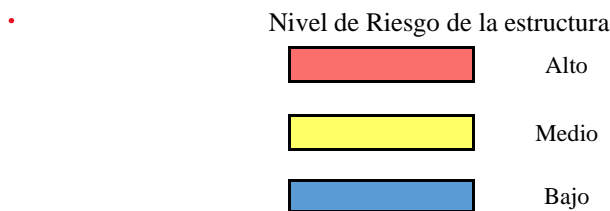
Resultado de la suma de subindicadores de estructura	Indicador de Gravedad
0 a 35	Leve
36 a 50	Baja
51 a 65	Media
66 a 80	Alta
81 a 100	Severa

Nota. Tomado y adaptado de la Norma NTC 4552.

A partir de los valores obtenidos previamente se determina el nivel de riesgo:

Tabla 14 Matriz de niveles de riesgo

Gravedad Parámetros	Severa	Alta	Media	Baja	Leve
Severo					
Alto					
Medio					
Bajo					X



Nota. Tomado y adaptado de la Norma NTC 4552.

En la matriz de riesgos se obtiene un nivel de riesgo **bajo** por lo tanto no se realiza un sistema de protección contra rayos externa.

4.1.2.5 Análisis de riesgo eléctrico y medidas para mitigarlos.

Para el análisis de riesgos de origen eléctrico se tomó la matriz de análisis de riesgos sugerida en el RETIE.

Tabla 15 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de arco eléctrico

Fuentes	Tablero eléctrico				Nivel de riesgo:	Alto				
Factor de riesgo	Consecuencia				Frecuencia					
	Personas	Económicas	Ambientales	Imagen empresa	No ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en la empresa.	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa	
Arco eléctrico	Una o más muertes.	Daño grave en infraestructura regional	Contaminación irreparable.	internacional	Medio	Alto	Alto	Alto	Muy alto.	

Incapacidad parcial permanente.	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor.	Nacional	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
Incapacidad temporal > 1 día.	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada.	Regional	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto
Lesión menor sin incapacidad.	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto mayor.	Local	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral).	Daños leves. Sin interrupción	Sin efecto.	Interna.	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

Tabla 16 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de contacto directo

Fuentes	Tablero eléctrico, cajas de inspección, conjunto poste-luminaria.				Nivel de riesgo:	Alto			
Factor de riesgo	Consecuencia				Frecuencia				
	Personas	Económicas	Ambientales	Imagen empresa	No ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en la empresa.	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
Contacto directo	Una o más muertes.	Daño grave en infraestructura regional	Contaminación irreparable.	internacional	Medio	Alto	Alto	Alto	Muy alto.
	Incapacidad parcial permanente.	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor.	Nacional	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
	Incapacidad temporal > 1 día.	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada.	Regional	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto
	Lesión menor sin incapacidad.	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto mayor.	Local	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral).	Daños leves. Sin interrupción	Sin efecto.	Interna.	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

Tabla 17 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de contacto indirecto

Fuentes	Tablero eléctrico, cajas de inspección, conjunto poste-luminaria.				Nivel de riesgo:	Alto			
Factor de riesgo	Consecuencia				Frecuencia				
	Personas	Económicas	Ambientales	Imagen empresa	No ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en la empresa.	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
Contacto indirecto	Una o más muertes.	Daño grave en infraestructura regional	Contaminación irreparable.	internacional	Medio	Alto	Alto	Alto	Muy alto.

	Incapacidad parcial permanente.	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor.	Nacional	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
	Incapacidad temporal > 1 día.	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada.	Regional	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto
	Lesión menor sin incapacidad.	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto mayor.	Local	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral).	Daños leves. Sin interrupción	Sin efecto.	Interna.	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

Tabla 18 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de corto circuito

Fuentes	Tablero eléctrico, cajas de inspección, conjunto poste-luminaria.				Nivel de riesgo:	Medio				
Factor de riesgo	Consecuencia				Frecuencia					
	Personas	Económicas	Ambientales	Imagen empresa	No ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en la empresa.	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa	
Corto circuito	Una o más muertes.	Daño grave en infraestructura regional	Contaminación irreparable.	internacional	Medio	Alto	Alto	Alto	Muy alto.	
	Incapacidad parcial permanente.	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor.	Nacional	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	
	Incapacidad temporal > 1 día.	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada.	Regional	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto	
	Lesión menor sin incapacidad.	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto mayor.	Local	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral).	Daños leves. Sin interrupción	Sin efecto.	Interna.	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	

Tabla 19 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de electricidad estática

Fuentes	Tablero eléctrico, cajas de inspección, conjunto poste-luminaria.				Nivel de riesgo:	Muy bajo				
Factor de riesgo	Consecuencia				Frecuencia					
	Personas	Económicas	Ambientales	Imagen empresa	No ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en la empresa.	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa	
Electricidad estática	Una o más muertes.	Daño grave en infraestructura regional	Contaminación irreparable.	internacional	Medio	Alto	Alto	Alto	Muy alto.	
	Incapacidad parcial permanente.	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor.	Nacional	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	

Incapacidad temporal > 1 día.	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada.	Regional	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto
Lesión menor sin incapacidad.	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto mayor.	Local	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral).	Daños leves. Sin interrupción	Sin efecto.	Interna.	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

Tabla 20 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de ausencia de electricidad

Fuentes	Tablero eléctrico, cajas de inspección, conjunto poste-luminaria.				Nivel de riesgo:	Medio			
Factor de riesgo	Consecuencia				Frecuencia				
	Personas	Económicas	Ambientales	Imagen empresa	No ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en la empresa.	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
Ausencia de electricidad	Una o más muertes.	Daño grave en infraestructura regional	Contaminación irreparable.	internacional	Medio	Alto	Alto	Alto	Muy alto.
	Incapacidad parcial permanente.	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor.	Nacional	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
	Incapacidad temporal > 1 día.	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada.	Regional	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto
	Lesión menor sin incapacidad.	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto mayor.	Local	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral).	Daños leves. Sin interrupción	Sin efecto.	Interna.	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

Tabla 21 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de equipo defectuoso

Fuentes	Tablero eléctrico, conjunto poste-luminaria.				Nivel de riesgo:	Medio			
Factor de riesgo	Consecuencia				Frecuencia				
	Personas	Económicas	Ambientales	Imagen empresa	No ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en la empresa.	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
Equipo defectuoso	Una o más muertes.	Daño grave en infraestructura regional	Contaminación irreparable.	internacional	Medio	Alto	Alto	Alto	Muy alto.
	Incapacidad parcial permanente.	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor.	Nacional	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
	Incapacidad temporal > 1 día.	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada.	Regional	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto

	Lesión menor sin incapacidad.	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto mayor.	Local	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral).	Daños leves. Sin interrupción	Sin efecto.	Interna.	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

Tabla 22 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de rayos

Fuentes	Tablero eléctrico, conjunto poste-luminaria.				Nivel de riesgo:	Alto				
Factor de riesgo	Consecuencia				Frecuencia					
	Personas	Económicas	Ambientales	Imagen empresa	No ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en la empresa.	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa	
Rayos	Una o más muertes.	Daño grave en infraestructura regional	Contaminación irreparable.	internacional	Medio	Alto	Alto	Alto	Muy alto.	
	Incapacidad parcial permanente.	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor.	Nacional	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	
	Incapacidad temporal > 1 día.	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada.	Regional	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto	
	Lesión menor sin incapacidad.	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto mayor.	Local	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral).	Daños leves. Sin interrupción	Sin efecto.	Interna.	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	

Tabla 23 Decisiones y acciones para controlar el riesgo de sobre cargas

Fuentes	Tablero eléctrico, conjunto poste-luminaria.				Nivel de riesgo:	Medio				
Factor de riesgo	Consecuencia				Frecuencia					
	Personas	Económicas	Ambientales	Imagen empresa	No ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en el sector.	Ha ocurrido en la empresa.	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa	
Sobre carga	Una o más muertes.	Daño grave en infraestructura regional	Contaminación irreparable.	internacional	Medio	Alto	Alto	Alto	Muy alto.	
	Incapacidad parcial permanente.	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor.	Nacional	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	
	Incapacidad temporal > 1 día.	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada.	Regional	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto	
	Lesión menor sin incapacidad.	Daños importantes	Efecto mayor.	Local	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	

		Interrupción breve						
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral).	Daños leves. Sin interrupción	Sin efecto.	Interna.	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

Tabla 24 Decisiones y acciones para controlar el riesgo

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

Nota. Adaptado de la normativa RETIE.

4.1.2.6 Niveles de tensión requerido

El nivel de tensión requerido para este proyecto de alumbrado público es 13.2 kV en media tensión y de 380/220 V para baja tensión, ya que estos niveles de tensión son los más usuales y además es el nivel de tensión presente en la zona.

4.1.2.7 Calculo de conductores

Los conductores que se seleccionaron fueron los siguientes:

- Para el trayecto entre la subestación y el tablero de distribución se seleccionó el conductor CU No. 1/0 AWG - THHN a 75°/600V.
- Para el trayecto que recorre los circuitos que salen del tablero de alumbrado público TAP-1, se seleccionó el conductor AL-THHN SERIE 8000 No.4/0.
- Para el trayecto que recorre los circuitos que salen de los tableros de alumbrado público TAP-2 y TAP-3, se seleccionó el conductor AL-THHN SERIE 8000 No. 2/0.
- Para el trayecto que recorre los circuitos que salen de las cajas de paso hasta la conexión de cada luminaria del TAP-1, TAP-2 y TAP-3, se seleccionó el conductor CU-THHN No. (3x6), Encauchetado.
- Para el trayecto que recorre el cable de puesta tierra de los circuitos que salen de los tableros de alumbrado público TAP-1, TAP-2 y TAP-3, se seleccionó el conductor AL-THHN SERIE 8000 No. 6.

Corriente nominal, regulación de tensión, pérdidas de potencia y ocupación de ductos fueron los criterios utilizados para la selección de cada uno de los conductores correspondientes a cada circuito; los cuales salen de cada tablero de alumbrado público.

Los resultados se observan con más detalle en el documento en EXCEL: “Memorias de cálculo – Cra 27” en las hojas “Trafo y Acom S1”, “Trafo y Acom S2”, “Trafo y Acom S3”, “Regulación S1”, “Regulación S2”, “Regulación S3”, “Ocp Ductos S1”, “Ocp Ductos S2” y “Ocp Ductos S3”, que se encuentra en la carpeta de Memorias de cálculo de la carpeta de documentos adicionales.

4.1.2.8 Cálculo de canalizaciones y cajas de inspección

Para calcular las canalizaciones, se emplearon las tablas del apéndice C de la Norma NTC 2050, específicamente para ductos de PVC para cableado THHN. Se optó por utilizar ductos de 3" para alojar conductores eléctricos calibres No 4/0 y No 6 que son los alimentadores de las redes de alumbrado público.

Los resultados se observan con más detalle en el documento en EXCEL: “Memorias de cálculo – Cra 27” en las hojas “Ocp Ductos S1”, “Ocp Ductos S2” y “Ocp Ductos S3”, que se encuentra en la carpeta de Memorias de cálculo de la carpeta de documentos adicionales.

A continuación, se presenta el cálculo del volumen de las cajas de inspección, utilizando la tabla suministrada por alumbrado público que cumple con los requisitos establecidos en la sección 370 de la norma NTC 2050.

Tabla 25 *Volumen de la caja de inspección*

DESCRIPCION medidas internas mm	CAJA		DUCTOS X FILA				FILAS			
	L/W min mm	H	1"	1-1/2"	2"	3"	1"	1-1/2"	2"	3"
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
			33,4	48,26	60,32	88,9	33,4	48,26	60,32	88,9
Baja tensión 800x800x880	800	820	18	11	8	N/A	8	6	6	N/A
Baja tensión 600x600x880	600	820	12	7	4	N/A	8	6	6	N/A

4.1.2.9 *Cálculos de pérdidas de potencia*

Se realizaron cálculos de pérdidas de potencia para cada uno de los circuitos ramales de cada subestación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 26 *Perdidas de potencia por cada subestación*

Subestación	Perdidas de Potencia [%]	
	CIRCUITO 1	CIRCUITO 2
S1	4.37	4.26
S2	4.71	4.71
S3	5.21	4.62

La expresión que se muestra a continuación fue extraída de la guía metodológica "Cálculo de pérdidas de energía" de EPM. fue utilizada para calcular las pérdidas de potencia.

$$P_P\% = \frac{R * nf * i^2}{D_{tramo} * f \cdot p} * 100$$

Donde:

- $P_P\%$: *Perdida de potencia por tramo.*

- R : Resistencia del conductor a 50 °C y a 60 Hz dada en Ω/Km .
- nf : Numero de fases.
- i : Corriente por tramo.
- D_{tramo} : Demanda máxima en kVA del tramo.
- $f.p$: Factor de potencia.

El límite máximo que debe tener las pérdidas de potencia es 5.5%, la cual está definida en la Tabla 2.4 de la norma ESSA.

4.1.2.10 Cálculos de regulación.

Se realizó el cálculo de la regulación para cada tramo de los circuitos pertenecientes a las subestaciones. Al implementar el Método de Momentos según la norma EESA, se consideró la constante de regulación de tensión KG la cual es una propiedad física de todo conductor eléctrico. También se tuvo en cuenta el momento eléctrico, calculado en función de la demanda máxima y la distancia en kilómetro de cada tramo.

Para el cálculo de regulación de tensión se calculó a través de la siguiente ecuación.

$$\% \Delta V = K * M$$

$$M = S * L$$

$$KG = (R\cos(\alpha) + XL\sin(\alpha))$$

$$K = \frac{KG * 100}{(V)^2}$$

Donde:

- M : momento eléctrico.

- *S*: Potencia en *kVA*
- *L*: Longitud de tramo en *km*
- *K*: Constante de regulación
- *R*: Resistencia del conductor (*ohm/km*)
- *XL*: Reactancia inductiva (*ohm/km*)
- α : Angulo de fase ($^{\circ}$)
- *V*: Tensión (*V*)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por cada subestación:

Tabla 27 Regulación por subestación

Subestación	Regulación [%]	
	Circuito 1	Circuito 2
S1	4.78	4.98
S2	4.16	4.16
S3	4.55	3.63

El límite máximo que debe tener la regulación es 5% valor que el operador de red permite que en este caso es la ESSA, la cual esta definida en la Tabla 2.3 Porcentaje de regulación de tensión, ítem Alumbrado público.

Los resultados se observan con más detalle en el documento en EXCEL: “Memorias de cálculo – Cra 27” en las hojas “Regulación S1”, “Regulación S2” y “Regulación S3”, que se encuentra en la carpeta de Memorias de cálculo de la carpeta de documentos adicionales.

4.2. Diseño Fotométrico

Para mostrar los resultados del estudio fotométrico tuvimos en cuenta los siguientes aspectos:

4.2.1. Selección de las luminarias

Las luminarias seleccionadas para este proyecto fueron las presentadas por la empresa de DUMALUX con su nueva línea de productos DXPRO, la cual propuso 2 tipos de luminarias una de 120W usada para el perfil vial M2 la otra es de 60W usada para iluminación peatonal y puntos de apoyo. Las luminarias seleccionadas fueron: DX-APGR-120-SL y DX-APGR-60-SL.

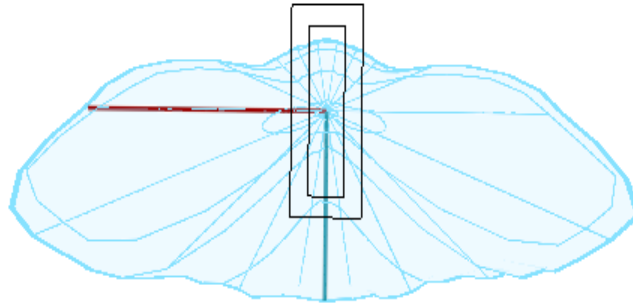
Características de las luminarias

DXPRO DX-APGR-120-SL: Tiene una potencia de 120W, una tensión de entrada de 220V, un flujo de 15885 lumen (lm), una eficiencia luminosa de 130 lm/W, una temperatura de color (CCT) de 4000 °K, un índice de reproducción cromática (CRI) de 70, un índice de salida de luz (LOR) del 88% y un controlador NEMA DALI-2 con 4 de salida y 2 de entrada.

Figura 8 Luminaria DXPRO DX-APGR-120-SL

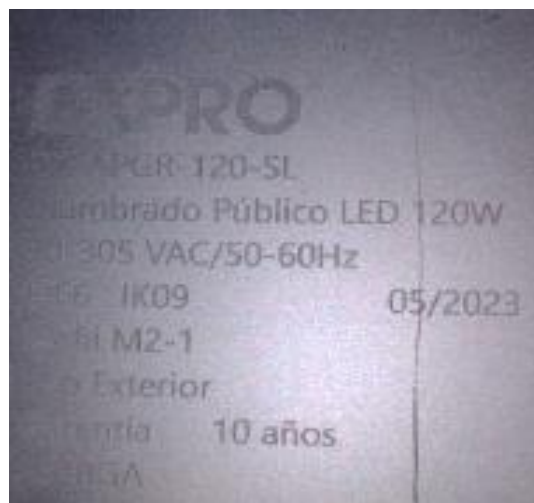


Figura 9 Espectro luminoso DXPRO DX-APGR-120-SL



Nota. Adaptado del software DIALux evo

Figura 10 Placa de datos DXPRO DX-APGR-120-SL.

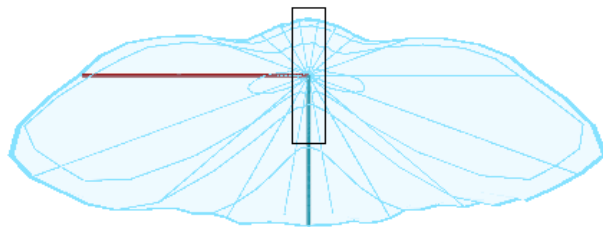


DXPRO DX-APGR-60-SL: tiene una potencia de 60W, una tensión de entrada de 220V, un flujo de 7100 lumen (lm), una eficiencia luminosa de 144.9 lm/W, una temperatura de color (CCT) de 4000 °K, un índice de reproducción cromática (CRI) de 70%, un índice de salida de luz (LOR) del 90% y un controlador NEMA DALI-2 con 4 de salida y 2 de entrada.

Figura 11 *Luminaria DXPRO DX-APGR-60-SL*

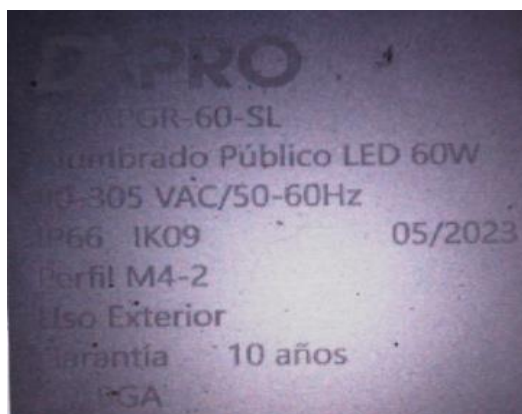


Figura 12 *Espectro luminoso DXPRO DX-APGR-60-SL*



Nota. Adaptado del software DIALux evo.

Figura 13 *Placa de datos DXPRO DX-APGR-60-SL.*



Nota. Cabe resaltar que estas luminarias fueron seleccionadas previamente por la oficina de alumbrado público antes que se realizara el método CAUE. Esta situación se explicará mas a detalle

en la sección **4.2.5. Análisis económico - CAUE**

4.2.2. Diseño geométrico y validación de los puntos de apoyo.

En el diseño geométrico o disposición de los puntos se tuvieron en cuenta factores que impactaron en gran medida el diseño y decisiones que se tomaron al respecto de este:

En primer lugar, las características de la vía: longitud, ancho, cruces y el separador vial. Esto nos ayudó a determinar que la mejor configuración que podíamos usar era **CENTRAL DOBLE**. Y la Inter distancia era aproximadamente de 30m entre puntos de apoyo. Por otro lado, tuvimos en cuenta la coexistencia con los árboles de la vía, la carrera 27 en un eje vial que cuenta con gran cantidad de árboles es sus separadores. Lo que implico que a la hora de realizar el diseño se analizaron los puntos donde se encontraban ubicados dichos árboles para que no interfirieran con los puntos de apoyo que se van a instalar. También, se observó que en la actualidad estos árboles generan sombras sobre la vía ya que en promedio estos se encuentran en un rango de altura (9m -12m) lo que implica que las luminarias actuales queden dentro de la copa del árbol generando así la sombra.

Par solucionar esta situación se propuso disminuir la altura del poste a 8.8m con ubicación del punto de luz a 8.2m y alargar el avance del brazo 2.5m para que las luminarias queden por debajo de la copa y no interfiera con la misma. Tengamos en cuenta que tramo de la carrera. 27 que estamos diseñando cuenta con algunas zonas especiales como la glorieta del Caballo de Bolívar esto implico que se usaran tres tipos de postes de acuerdo con lo que

requería cada zona de la vía: poste brazo doble, poste brazo sencillo ambos con altura total de 8.8m, ubicación del punto de luz a 8.2m y saliente del brazo de 2.5m. Por otro lado, los postes doble propósito que en el brazo que ilumina la vía se encuentra a 8.8m de altura y el otro utilizado para las zonas peatonales quedo ubicado a 7m de altura, la ubicación del punto de luz se ubican a 8.2 y 6m adicionalmente la saliente del brazo es de 2.5 y 0.8 respectivamente.

A continuación, se observan el esquema de los postes utilizados:

Figura 14 *Poste Brazo Doble Propósito*

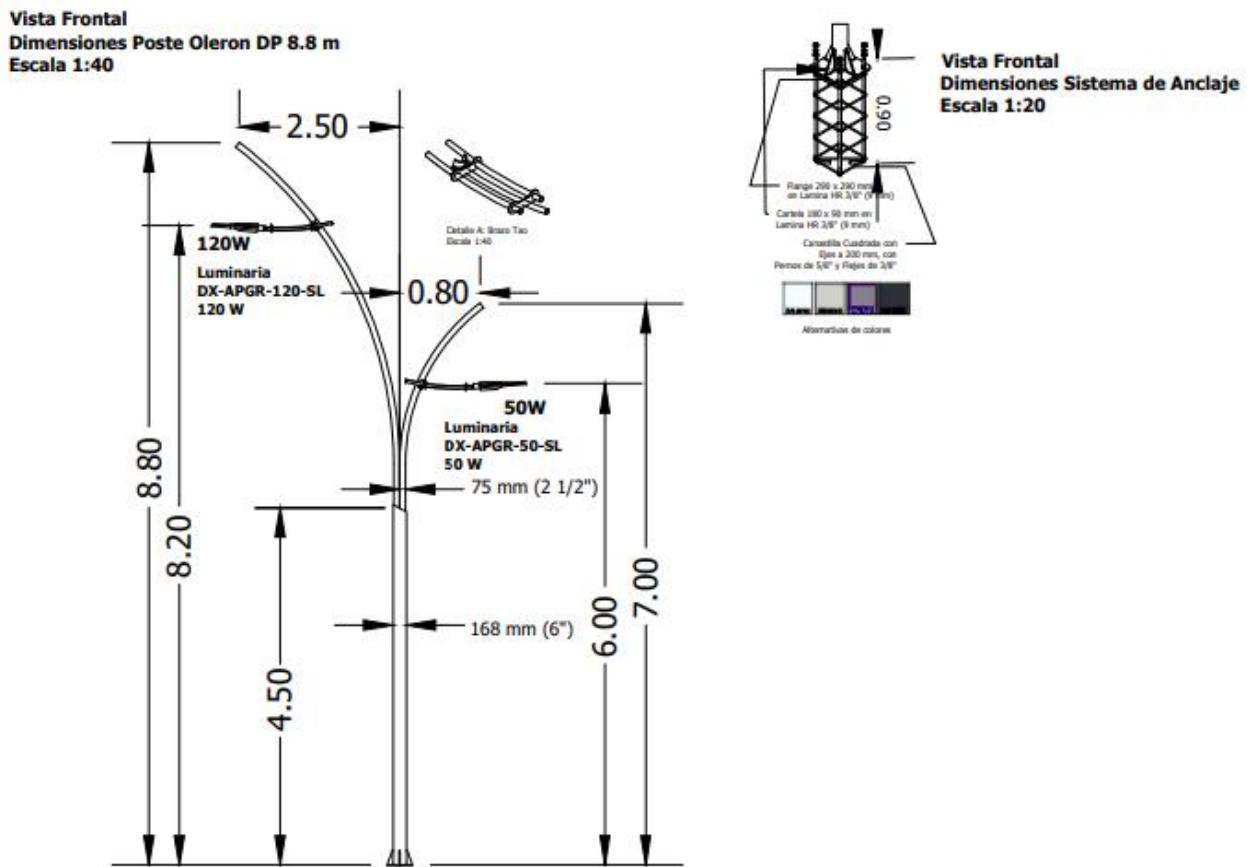


Figura 15 Poste Brazo Sencillo

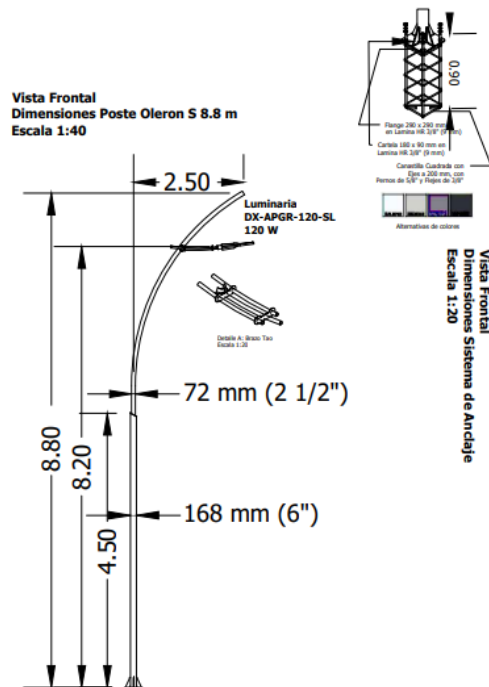
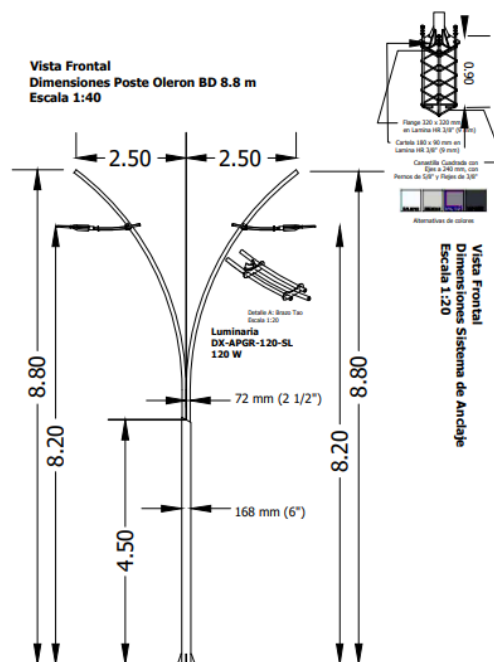


Figura 16 Poste Brazo Doble



4.2.3. Simulación de fotometría y resultados en DIALux evo.

Como se mencionó anteriormente se realizó el montaje y simulación de 3 zonas específicas de la vía: perfil vial de la carrera 27 catalogada según el RETILAP como una vía tipo (M2), glorieta del Caballo de Bolívar tipo (C2), y una intersección o zona crítica (C2) para efectos de la simulación se tomó como referencia el cruce ubicado en la calle 36 con carrera 27. Estos montajes se simularon con cada una de las propuestas realizadas por los proveedores.

4.2.3.1 Perfil vial (M2)

Para la simulación montamos la vía según los planos con las siguientes características, este montaje se realizó para las 3 luminarias. Lo único que cambio fue el tipo de luminaria usada:

Figura 17 Perfil vial carrera 27

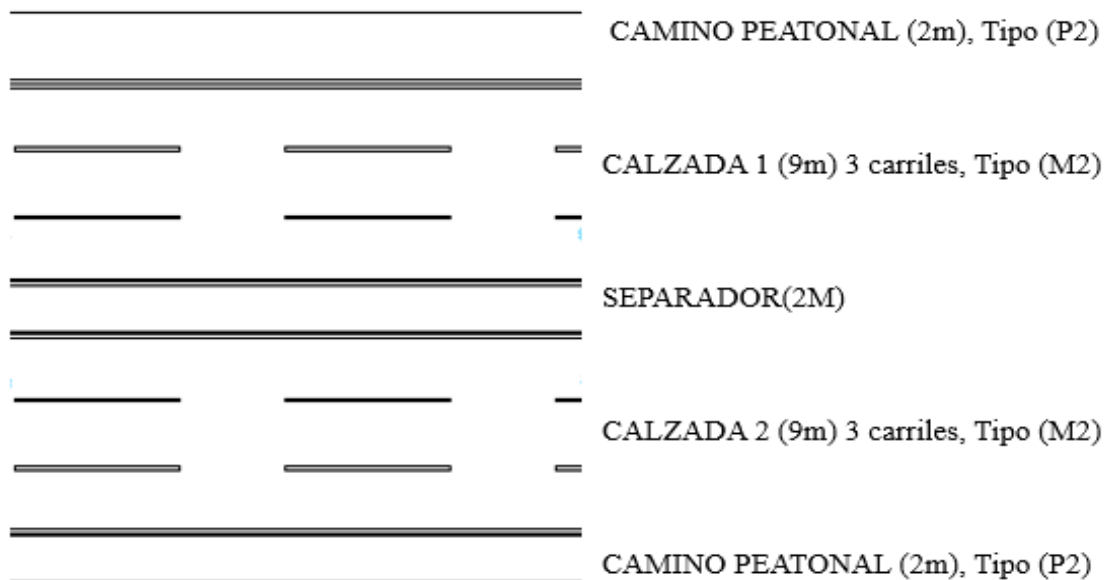
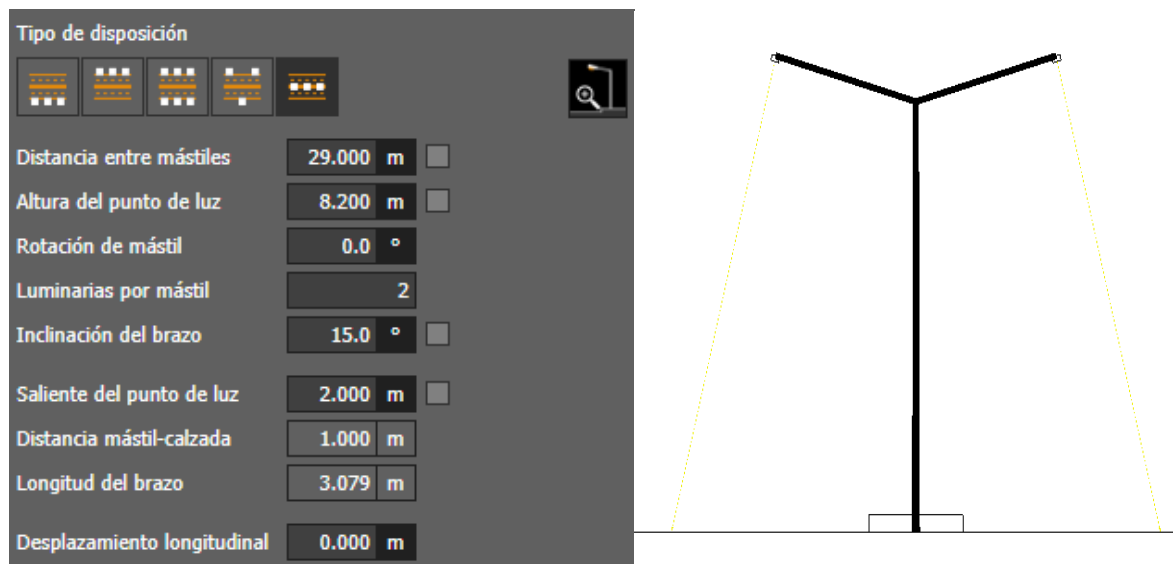
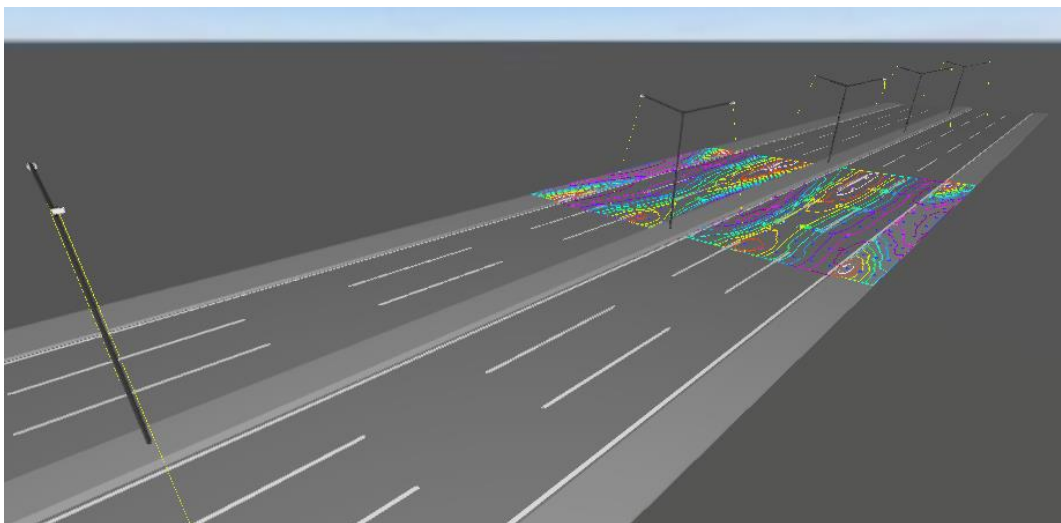


Figura 18 Características del punto de luz.**Figura 19** Montaje en 3D del perfil vial.

4.2.3.1a Resultados con DXPRO.

Figura 20 Resultados de con la luminaria DXPRO.

Recuadro de evaluación (M2)	Calzada 2 (M2)		
L_m	[cd/m ²]	✓ ≥ 1.50	1.59 ✓
U_o		✓ ≥ 0.40	0.64 ✓
U_i		✓ ≥ 0.50	0.88 ✓
TI	[%]	✓ ≤ 10	9 ✓
R_{Et}		✓ ≥ 0.35	0.87 ✓
Recuadro de evaluación (M2)	Calzada 1 (M2)		
L_m	[cd/m ²]	✓ ≥ 1.50	1.66 ✓
U_o		✓ ≥ 0.40	0.62 ✓
U_i		✓ ≥ 0.50	0.91 ✓
TI	[%]	✓ ≤ 10	10 ✓
R_{Et}		✓ ≥ 0.35	0.87 ✓
Recuadro de evaluación (P2)	Camino peatonal 2 (P2)		
E_m	[lx]	✓ ≥ 10.00 ≤ 15.00	14.42 ✓
E_{min}	[lx]	✓ ≥ 3.00	7.29 ✓
Recuadro de evaluación (P2)	Camino peatonal 1 (P2)		
E_m	[lx]	✓ ≥ 10.00 ≤ 15.00	14.40 ✓
E_{min}	[lx]	✓ ≥ 3.00	7.30 ✓

4.2.3.1b Resultados con Sylvania

Figura 21 Resultados de con la luminaria Sylvania

Recuadro de evaluación (M2)	Calzada 2 (M2)		
L_m	[cd/m ²]	✓ ≥ 1.50	2.07 ✓
U_o		✓ ≥ 0.40	0.49 ✓
U_i		✓ ≥ 0.50	0.77 ✓
TI	[%]	✓ ≤ 10	9 ✓
R_{Et}		✓ ≥ 0.35	0.68 ✓
Recuadro de evaluación (M2)	Calzada 1 (M2)		
L_m	[cd/m ²]	✓ ≥ 1.50	2.06 ✓
U_o		✓ ≥ 0.40	0.49 ✓
U_i		✓ ≥ 0.50	0.69 ✓
TI	[%]	✓ ≤ 10	8 ✓
R_{Et}		✓ ≥ 0.35	0.68 ✓
Recuadro de evaluación (P2)	Camino peatonal 2 (P2)		
E_m	[lx]	✓ ≥ 10.00 ≤ 15.00	20.02 ✗
E_{min}	[lx]	✓ ≥ 3.00	13.12 ✓
Recuadro de evaluación (P2)	Camino peatonal 1 (P2)		
E_m	[lx]	✓ ≥ 10.00 ≤ 15.00	20.02 ✗
E_{min}	[lx]	✓ ≥ 3.00	13.12 ✓

4.2.3.1c Resultados con Philips

Figura 22 Resultados de con la luminaria Philips

Recuadro de evaluación (M2)		Calzada 2 (M2)		
L_m	[cd/m ²]	✓ ≥ 1.50	1.52	✓
U_o		✓ ≥ 0.40	0.63	✓
U_l		✓ ≥ 0.50	0.73	✓
TI	[%]	✓ ≤ 10	10	✓
R_{Et}		✓ ≥ 0.35	0.78	✓
Recuadro de evaluación (M2)		Calzada 1 (M2)		
L_m	[cd/m ²]	✓ ≥ 1.50	1.52	✓
U_o		✓ ≥ 0.40	0.63	✓
U_l		✓ ≥ 0.50	0.73	✓
TI	[%]	✓ ≤ 10	10	✓
R_{Et}		✓ ≥ 0.35	0.78	✓
Recuadro de evaluación (P2)		Anden 2 (P2)		
E_m	[lx]	✓ ≥ 10.00 ≤ 15.00	17.74	✗
E_{min}	[lx]	✓ ≥ 3.00	14.31	✓
Recuadro de evaluación (P2)		Camino peatonal 1 (P2)		
E_m	[lx]	✓ ≥ 10.00 ≤ 15.00	17.74	✗
E_{min}	[lx]	✓ ≥ 2.00	14.31	✓

Como podemos observar la única luminaria que cumple con todos los parámetros de diseño determinados por el RETILAP es la luminaria DXPRO a pesar de que las otras tienen valores cercanos se quedan cortas en el área peatonal ya que sobrepasan los niveles de iluminación en estas áreas.

4.2.3.2 Glorieta del Caballo de Bolívar (C2)

Para la simulación se montó el plano de la glorieta y sus alrededores en DIALux evo. Adecuando los detalles constructivos lo más similares a la realidad, este montaje se realizó para las 3 luminarias. Lo único que cambio fue el tipo de luminaria usada en la simulación:

Figura 23 Plano glorieta Caballo de Bolívar (C2)

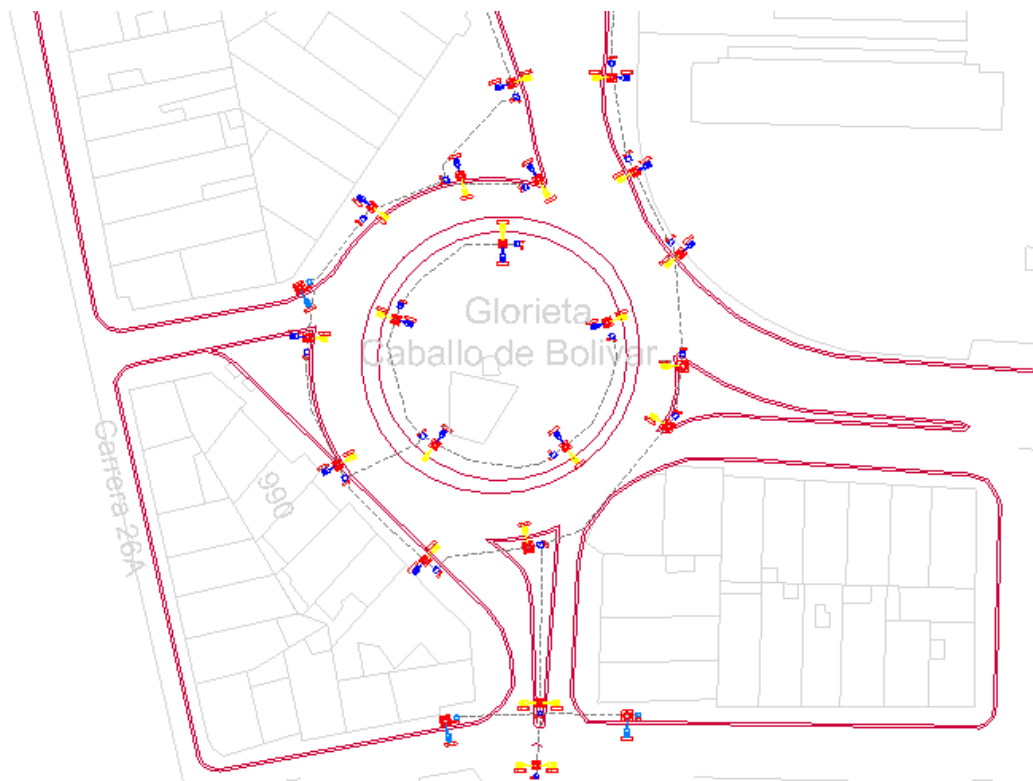
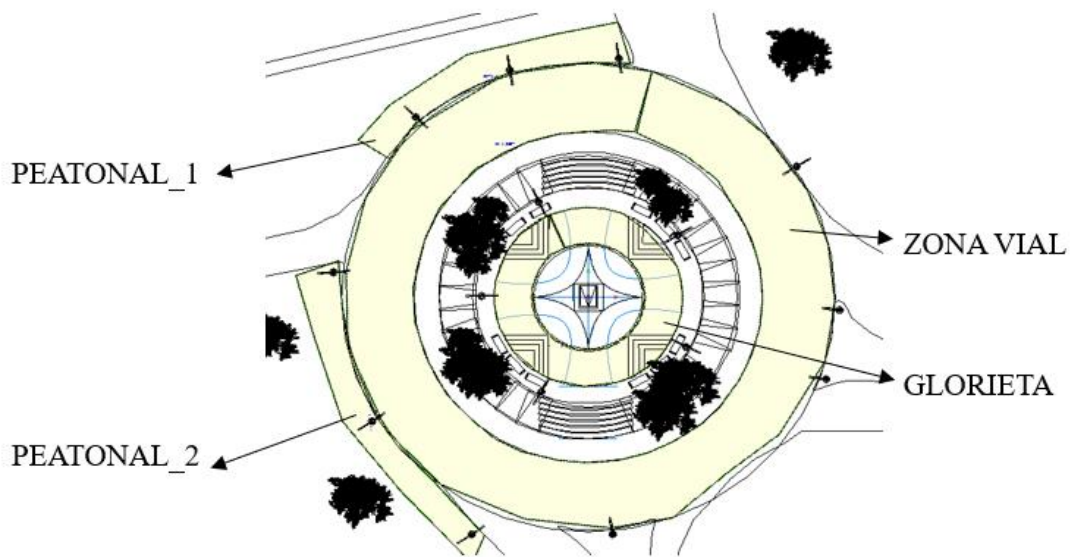
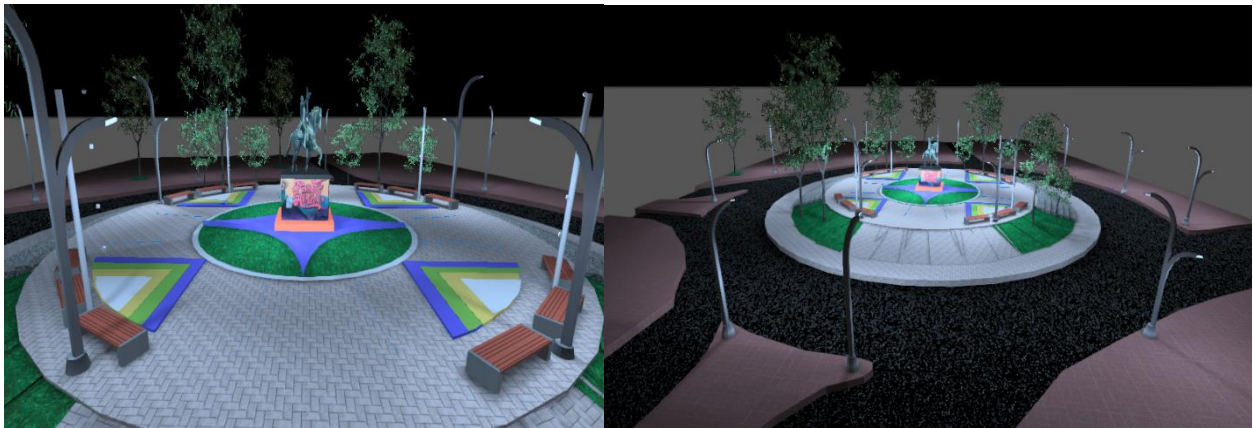


Figura 24 Áreas de calculo



Cada una de estas zonas fue adecuada a los valores mínimos requeridos por el RETILAP para zonas críticas en este caso una glorieta tipo C2

Figura 25 Vista 3D de la Glorieta caballo de Bolívar



4.2.3.2a Resultados con DXPRO

Figura 26 Resultados de con la luminaria DXPRO

Cálculo de iluminación			
Terreno			■
GLORIETA			■
Plano útil (GLORIETA)			■
	58.5 lx	0.40	■
PEATONAL_1			■
Plano útil (PEATONAL_1)			■
	56.2 lx	0.72	■
	43.8 lx	0.82	■
VIA_GLORIETA			■
Plano útil (VIA_GLORIETA)			■
	42.3 lx	0.87	■

4.2.3.2b Resultados con Sylvania

Figura 24 Resultados de con la luminaria Sylvania

Cálculo de iluminación			
Terreno			
GLORIETA			
Plano útil (GLORIETA)			
	43.4 lx	0.35	
PEATONAL_1			
Plano útil (PEATONAL_1)			
	78.3 lx	0.66	
	61.5 lx	0.71	
VIA_GLORIETA			
Plano útil (VIA_GLORIETA)			
	59.0 lx	0.78	

4.2.3.2c Resultados con Philips

Figura 25 Resultados de con la luminaria Philips

Cálculo de iluminación			
Terreno			
GLORIETA			
Plano útil (GLORIETA)			
	44.2 lx	0.35	
PEATONAL_1			
Plano útil (PEATONAL_1)			
	50.5 lx	0.79	
	39.8 lx	0.76	
VIA_GLORIETA			
Plano útil (VIA_GLORIETA)			
	42.8 lx	0.88	

4.2.3.3 Intersección ubicado en la calle 36 con carrera 27 (C2)

Para la simulación se montó el plano de la intersección y sus alrededores en DIALux evo. Adecuando los detalles constructivos lo más similares a la realidad, este montaje se realizó para las 3 luminarias. Lo único que cambio fue el tipo de luminaria usada en la simulación:

Figura 26 Plano intersección calle 36- carrera 27 (C2)

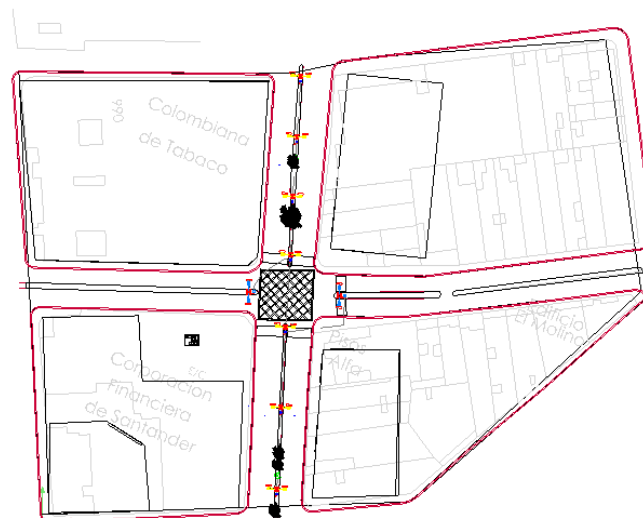
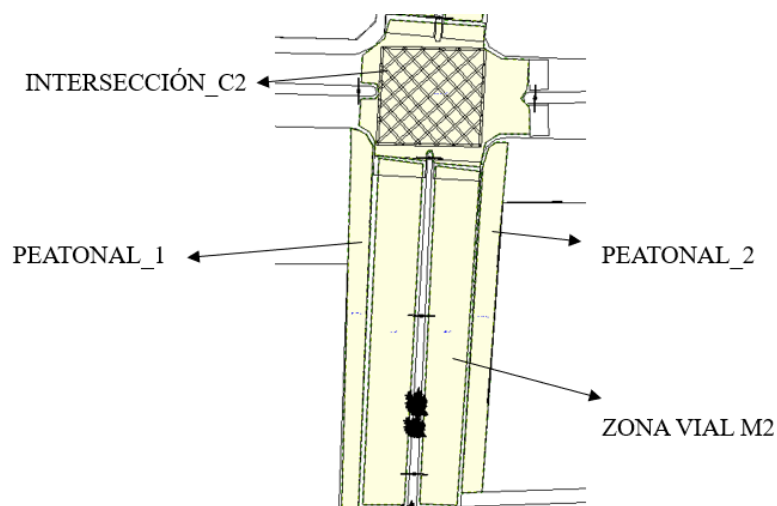
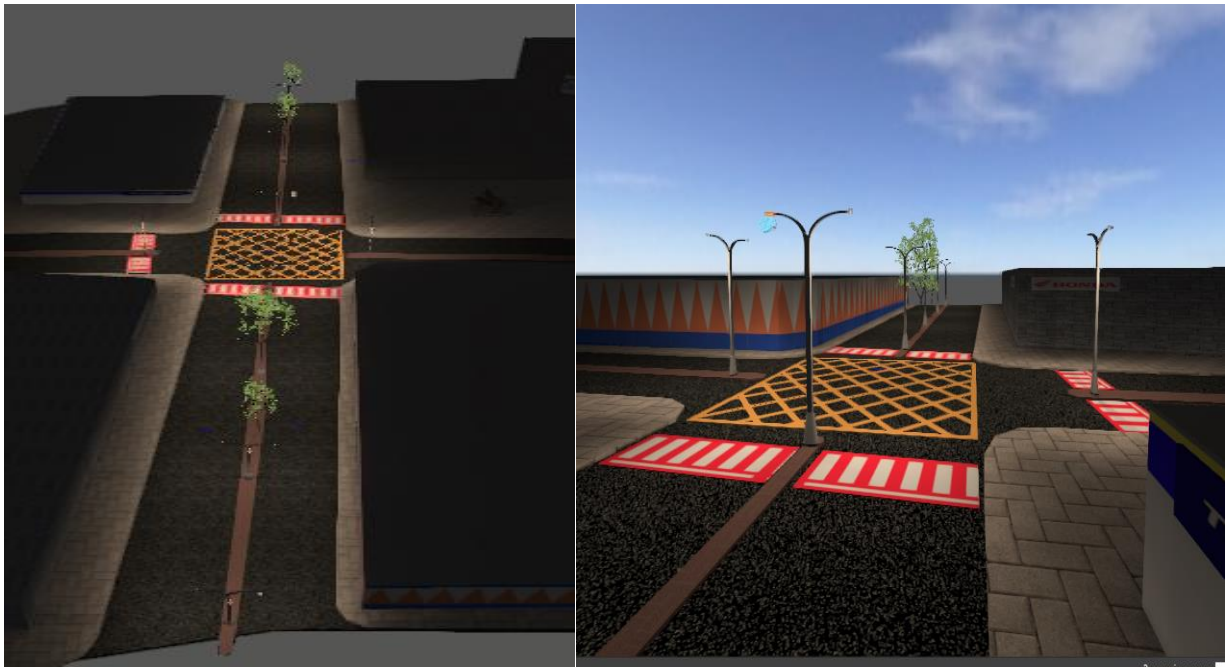


Figura 27 Áreas de calculo



Cada una de estas zonas fue adecuada a los valores mínimos requeridos por el RETILAP para zonas críticas en este caso un cruce vial tipo C2.

Figura 28 *Vistas 3D del montaje del cruce vial (C2)*



4.2.3.3a Resultados con DXPRO

Figura 29 *Resultados de con la luminaria DXPRO*

Cálculo de iluminación			
Terreno			
Área externa 1			
ZONA CRITICA CURVE			
	52.6 lx	0.51	
PEATONAL_1			
Plano útil (PEATONAL_1)			
	11.2 lx	0.41	
	12.4 lx	0.45	
VIA_M2_1			
Plano útil (VIA_M2_1)			
	42.8 lx	0.62	
	31.9 lx	0.50	
	41.2 lx	0.45	
	31.6 lx	0.49	

4.2.3.3b Resultados con Sylvania

Figura 30 Resultados de con la luminaria Sylvania

Cálculo de iluminación			
Terreno			■
Área externa 1			■
ZONA CRITICA CURCE			■
	57.6 lx	0.60	■
PEATONAL_1			■
Plano útil (PEATONAL_1)			■
	15.5 lx	0.49	■
	16.9 lx	0.52	■
VIA_M2_1			■
Plano útil (VIA_M2_1)			■
	46.8 lx	0.53	■
	34.5 lx	0.41	■
	44.3 lx	0.44	■
	34.1 lx	0.39	■

4.2.3.3c Resultados con Philips

Figura 31 Resultados de con la luminaria Philips

Cálculo de iluminación			
Terreno			■
Área externa 1			■
ZONA CRITICA CURCE			■
	46.5 lx	0.51	■
PEATONAL_1			■
Plano útil (PEATONAL_1)			■
	10.1 lx	0.42	■
	11.3 lx	0.42	■
VIA_M2_1			■
Plano útil (VIA_M2_1)			■
	37.3 lx	0.63	■
	27.9 lx	0.48	■
	36.0 lx	0.47	■
	27.5 lx	0.41	■

Los diseños fotométricos de algunos tramos de la vía se encuentran en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de Diseño Fotométrico.

4.2.4. Sistemas de medida y control eléctrico


El proyecto de la carrera 27 maneja un control por medio de telemedida y telegestión todo esto es diseñado y gestionado por la oficina de alumbrado público. La telegestión se hace de manera individual a cada luminaria lo que implica que estas deben tener unas características específicas para que se adapten al sistema utilizado. En este caso las luminarias DXPRO cuentan con el driver electrónico de marca UPOWERTEK este está diseñado con una alta tecnología NEMA DALI-2, cuenta con 6 pines en la base de la fotocelda; 2 pines para control, 2 para Dimerización (configuración de la intensidad lumínica) y 2 pines para transmisión de datos. En la base se instalará una foto control inteligente que comunicara al sistema de gestión y se podrán ver las variables eléctricas y el estado del mismo así como gestionar el on/off y ver sus gráficos d tendencia y comportamiento de las luminarias.

Figura 32 Fotocelda.



Para el proceso de telemedida y telegestión en cada circuito se efectúa mediante un Medidor/Controlador de energía WM-0.5Y monofásico para circuitos monofásicos, el cual permite el encendido y apagado remoto del circuito, con las siguientes características:

Tabla 28 Equipo de Telemedida

	<p style="text-align: center;">Medidor monofásico de medida directa.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Parámetros de medida: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Energía Activa. ✓ Energía Reactiva. ✓ Potencia Activa. ✓ Potencia Reactiva. ✓ Voltaje por fase. ✓ Corriente por fase. ✓ Factor de Potencia. ➤ Certificado para Clase 1 Energía Activa. ➤ Certificado para Clase 2 Energía Reactiva. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Voltaje 127V. ✓ Corriente 10(65) A. ✓ Nivel de protección: Categoría II ✓ Puerto de Comunicaciones RS485. ✓ Salida pulsos (LED) 1000imp/KWh. ✓ Salida pulsos (LED) 1000imp/KVARh. ✓ Dimensiones máximas de 100.5x36.5 mm. ✓ Cumple con el estándar: IEC 62053- 22, IEC 62053-23, IEC 62052-11. ✓ Certificación de conformidad de producto
--	--	---

4.2.5. Análisis económico - CAUE

Para el análisis económico se tuvo en cuenta el método del CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente) que es utilizado para evaluar la viabilidad económica del proyecto a lo largo de su vida útil. Para esto se debe tener en cuenta las cantidades de puntos de iluminación y puntos de apoyo.

Tabla 29 *Cantidades iniciales de puntos de iluminación*

Ítem	Descripción	Cantidad
1	DXPRO DX-APGR-120-SL 120W	382
2	DXPRO DX-APGR-60-SL 60W	22
3	Postes METALICO DOBLE PROPOSITO 6 - 8.2 METROS.	22
4	Postes METALICO BRAZO DOBLE 8.2 METROS	139
5	Postes METALICO BRAZO SENCILLO 8.2 METROS	44

Siguiendo con el desarrollo del método de CAUE se realiza un análisis de cumplimiento de requisitos entre las propuestas recibidas y posteriormente se ejecuta el cálculo de todas las componentes que evalúa el CAUE.

Tabla 30 *Calculo de CAUE*

ítem	Descripción	PHILIPS	SYLVANIA	DXPRO
1	Documentos de la propuesta	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
2	Revisión de memorias de cálculo	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	Revisión de planos de diseño fotométrico	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
	Revisión de características técnicas mínimas exigidas de los equipos (anexo 1.1A y 1.2)	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
3	Costos Iniciales	\$ 3.264.682.052	\$ 3.026.655.926	\$ 3.158.076.038
	Costo inicial anualizado (Cia = CI*FRC)	\$ 237.175.597	\$ 219.883.258	\$ 229.430.786
	Costo de mantenimiento anual (CMa)	\$ 25.380.000	\$ 25.315.000	\$ 25.315.000
	Costo de Energía anual (CEa) Valor de KW/H Tarifa Alumbrado Público ESSA mes de junio 2023	\$ 140.271.465	\$ 140.928.894	\$ 140.271.465
CAUE (COSTO ANUAL UNIFORME EQUIVANTE)		\$ 402.827.062	\$ 386.127.152	\$ 395.017.251

Concluyendo que, aunque la luminaria SYLVANIA genera una mejor viabilidad económica ante su competencia, esta no cumple con los requisitos de fotometría y características técnicas, además su proveedor no podría mantener su precio ofertado al momento de la ejecución del proyecto debido a que no tuvo en cuenta otros factores económicos. Entre otras cosas no es recomendado realizar el método CAUE con luminarias que no cumplan las especificaciones técnicas para el proyecto, pero esta fue incluida en el método por petición de la oficina de alumbrado público.

Pero se selecciona la alternativa propuesta por la marca ***DXPRO*** que además de cumplir con los requisitos mínimos de fotometría y características técnicas el proveedor realiza una oferta del 30% de descuento en el total de la compra. Además, esta luminaria ya había sido escogida previamente por la oficina de alumbrado público antes de realizar el CAUE justificándose en que esta ya había sido seleccionada en proyectos similares obteniendo excelentes resultados.

Los resultados se observan con más detalle en el documento en EXCEL: “CAUE – Cra 27” en la hoja “Resumen CAUE”, que se encuentra en la carpeta de Análisis económico – CAUE, de la carpeta de documentos adicionales.

4.3. Presupuesto

La presente propuesta de presupuesto tiene como objetivo proporcionar una estimación detallada de los recursos financieros necesarios para la ejecución exitosa de este proyecto, considerando cuidadosamente todos los elementos y actividades requeridas.

Este presupuesto fue diseñado a partir de una base de datos proporcionada por la oficina de alumbrado público, en el cual es empleado un formato nacional para licitación de obras públicas para realizar el análisis de costos unitarios, además se adoptaron los valores de rendimiento utilizados por las cuadrillas de alumbrado público y por último se tuvieron en cuenta los valores de las cotizaciones realizadas por la empresa SISO SUMINISTRO E INGENIERIA S.A.S la cuales provee los suministros eléctricos, la empresa VECTA INGENIERIA la cual realiza las obras civiles, tenemos la empresa de MOBILIARIO URBANO COLOMBIA LTDA la cual ofrece lo todos puntos de apoyo para proyecto y por ultimo encontramos la propuesta economía de las luminarias directamente de la oficina de alumbrado público.

Nota. Las cotizaciones se encuentran en la carpeta Presupuesto-APUS de la carpeta de documentos adicionales.

A continuación, se presenta el detalle completo del presupuesto, junto con la documentación necesaria para respaldar las estimaciones realizadas.

Tabla 31 *Presupuesto*

Descripción	Valor total
Retiro de infraestructura existente	\$ 38.588.439
Estructuras	\$ 1.335.009.932
Equipos	\$ 788.994.012
Salidas	\$ 654.533.316
Certificación, legalización y documentación de la instalación	\$ 7.188.362
<i>Presupuesto total</i>	\$ 2.824.314.063

Los resultados se observan con más detalle en el documento en EXCEL: “APUS – Cra 27” en la hoja “01-PTO”, que se encuentra en la carpeta de Presupuesto–APUS de la carpeta de documentos adicionales.

4.3.1 Retiro de infraestructura existente

- Demolición de caja de inspección. Incluyendo relleno, retiro y disposición final de escombros.
- Retiro de postes metálicos existentes. Incluye demolición de base y cimentación en concreto, retiro de escombros y transporte a bodega del municipio.
- Retiro, transporte y entrega en bodega del municipio de conductor de acometidas aéreas/subterráneas en cualquier calibre.
- Retiro, transporte y entrega en bodega del municipio de luminarias existentes.

4.3.2 Estructuras

- Suministro, transporte e instalación de acometida canalizada en cable Cu 3x1/0 F + 1x1/0 N + 1x6 T AWG LSHF. Incluye accesorios de instalación y señalización RETIE.
- Suministro transporte e instalación de caja de inspección de 600 x 600 x 880 mm AP 274 (medidas internas). Incluye tapa de concreto reforzado de 3000 psi de 720 x 720 mm con marco y contramarco metálico soldados, fondo de gravilla, espuma de poliuretano y señalización RETIE para todos los circuitos. Especificaciones e instalación de elementos diseño eléctrico.
- Suministro transporte e instalación de conector de derivación tipo gel GHFC-1 calibre principal 6-4/0 y derivación 14-6 AWG.

- Suministro, transporte e instalación de red canalizada en cable No 3x6 AWG THHN encauchetado 75°/600V y accesorios de instalación.
- Suministro, transporte e instalación de banco de ducto 3 x 3" PVC Conduit tipo pesado. Incluye excavación 0.9m, base compactada en arena de peña, relleno compactado en arena de peña y tierra de excavación, banda plástica de señalización, terminal tipo campana, retiro de escombros y disposición final.
- Suministro, transporte e instalación de banco de ductos 2 x 2" PVC DB con canalización con topo misil. Incluye canalización con topo misil para cada ducto independiente, retiro y disposición final de escombros. Especificaciones e instalación de elementos según diseño eléctrico.
- Suministro, transporte e instalación de red canalizada en 1 Al No. 4/0 THHN SERIE 8000 (F) + 1 Al No. 4/0 THHN SERIE 8000 (N) + 1 Al No. 6 THHN SERIE 8000 (T). Especificaciones e instalación de elementos según diseño eléctrico.
- : Suministro, transporte e instalación de red canalizada en 1 Al No. 2/0 THHN SERIE 8000 (F) + 1 Al No. 2/0 THHN SERIE 8000 (N) + 1 Al No. 6 THHN SERIE 8000 (T). Especificaciones e instalación de elementos según diseño eléctrico.

4.3.3 Equipos

- Suministro, transporte e instalación en zona urbana de Poste metálico certificado de 8.8m de altura total, 6"/2 1/2" Brazo Sencillo curvo avance 2.5m. Cortes biselados de excelente acabado. Galvanizado en caliente en su totalidad y Pintura Polvo poliéster aplicada de manera electrostática, Horneado doble Laca mate. Dispuesto para instalar Luminarias AP. Incluye punta led decorativa Blue, canastilla de anclaje para

cimentación con tuercas wasas y arandelas galvanizadas en su totalidad, 50cm de pintura epóxica en la base del poste y demás accesorios de instalación. Color: Gris Ral 7035+L. Peso: 47,17Kg.

- Suministro, transporte e instalación en zona urbana de Poste metálico certificado de 8.8m de altura total, 6"/ 2 1/2" Brazo Doble curvo avance 2.5m. Cortes biselados de excelente acabado. Galvanizado en caliente en su totalidad y Pintura Polvo poliéster aplicada de manera electrostática, Horneado doble Laca mate. Dispuesto para instalar Luminarias AP. Incluye punta led decorativa Blue, canastilla de anclaje para cimentación con tuercas wasas y arandelas galvanizadas en su totalidad, 50cm de pintura epóxica en la base del poste y demás accesorios de instalación. Color: Gris Ral 7035+L. Peso: 202,90 Kg.
- Suministro, transporte en zona urbana, ahoyada e hincada de poste metálico doble propósito de 8.8m (8.8m-6m),6"/2 1/2". Avances de 2.5m y 0.8m respectivamente. Galvanizado en caliente y terminado en pintura electrostática o polvo poliéster, con base placa y canastilla de anclaje. Incluye: cimentación de canastilla de anclaje, marcación y demás accesorios de instalación.

4.3.4 Salidas

- Suministro, transporte e instalación de luminaria de marca DXPRO Ref.: DX-APGR-120-SL de 120W. Especificaciones e instalación de elementos según diseño eléctrico.
- Suministro, transporte e instalación de luminaria de marca DXPRO Ref.: DX-APGR-60-SL de 60W. Especificaciones e instalación de elementos según diseño eléctrico.

4.3.5 Certificación, legalización y documentación de la instalación

- Elaboración de planos y memorias de obra eléctrica As Build.
- Certificación plena de conformidad con RETIE expedida por organismo acreditado ONAC (E).
- Certificación plena de conformidad con RETILAP para alumbrado exterior o interior expedida por organismo acreditado ONAC (C).

Se observan con más detalle en el documento en PDF: “Especificaciones técnicas”, que se encuentra en la carpeta de Especificaciones de la carpeta de documentos adicionales.

5. Conclusiones

En desarrollo del proyecto de *DISEÑO DE LA RED DE ALUMBRADO PÚBLICO DE LA CARRERA 27 DE BUCARAMANGA*, se logró obtener un diseño sólido, evaluando la viabilidad económica del proyecto a lo largo de su vida útil a través el método del CAUE. Lo que permitió estimar los costos iniciales y evaluar sus beneficios a largo plazo. A pesar de que la luminaria fue seleccionada antes de realizar el método CAUE se logró corroborar que esta es la mejor opción respecto a su competencia ya que son las que mayor rentabilidad y beneficios técnicos podría traer al proyecto a largo plazo y gracias a los estudios fotométricos realizados observamos que estas luminarias son las que mejores resultados lumínicos dieron, sin hablar de la tecnología de su driver que les dio un plus a las luminarias DXPRO.

Por otra parte, se confirmó la importancia que tiene la coexistencia de los árboles en un proyecto de alumbrado público. A pesar de que estos pueden mejorar significativamente la estética del entorno, proporcionando un aspecto más natural y agradable. Afectan directamente la iluminación de la vía ya que si no se tiene un buen diseño estos generaran sombras y afectaran la uniformidad de la luz. Para esto se propuso que los puntos de apoyo quedaran con una altura menor al promedio de los árboles que encontramos a lo largo de la carrera 27 lo que nos dio como resultado un poste con características de 8.8m de altura y 2m de avance del brazo para el perfil vial.

El diseño propuesto y los cálculos realizados cumplen con la normatividad aplicable a este tipo de proyectos garantizando una adecuada iluminación en el tramo intervenido de la Carrera 27, mejorando la seguridad y la calidad de vida de los residentes y transeúntes. Dando así cumplimiento al objetivo principal del proyecto.

Referencias Bibliográficas

EPM. (2019). *Guía metodológica cálculo de pérdidas de energía*.

Icontec nuevo Código Eléctrico Colombiano 2050: 2020 – CONTE Consejo Nacional de

Técnicos Electricistas. (s.f.). [https://www.conte.org.co/icontec-lanza-al-mercado-el-nuevo-codigo-electrico-colombia-2050-](https://www.conte.org.co/icontec-lanza-al-mercado-el-nuevo-codigo-electrico-colombia-2050-2020/#:~:text=La%20nueva%20versión%20del%20Código,implementar%20en%20las%20instalaciones%20eléctricas)

[2020/#:~:text=La%20nueva%20versión%20del%20Código,implementar%20en%20las%20instalaciones%20eléctricas](https://www.conte.org.co/icontec-lanza-al-mercado-el-nuevo-codigo-electrico-colombia-2050-2020/#:~:text=La%20nueva%20versión%20del%20Código,implementar%20en%20las%20instalaciones%20eléctricas)

IEEE. (2001). *ANSI-IEEE* (Std 242-2001).

IEEE. (2019). *IEEE* (std. 3002.3-2018).

IEEE. (s.f.). *ANSI-IEEE* (std 80/2000).

Los Análisis de Precios Unitarios — Data Construcción. (s.f.). Data Construcción. <https://www.dataconstruccion.com/blog/analisis-de-precios-unitarios-apus>

Ministerio de Minas y Energía. (2010). *RETILAP*.

Ministerio de Minas y Energía. (2013). *RETIE*.

QUE ES EL CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente) - QUE ES EL CAUE (COSTO ANUAL UNIFORME - Studocu. (s.f.). Studocu.

<https://www.studocu.com/co/document/escuelanormal-superior-de-uraba/matematicas/que-es-el-caue-costo-anual-uniforme-equivalente/23423423>

Sistema PQRS (Peticiones, Quejas, Reclamos y sugerencias). (s.f.).

Intertek. <https://www.intertek.com.co/sistema-PQRS/>