

Modernización de la red de alumbrado público de la calle 45 del municipio de Bucaramanga utilizando el método de CAUE (método empleado para seleccionar el tipo de luminaria y el diseño fotométrico propuesto por la empresa encargada -Alcaldía de Bucaramanga-).

Frank Camilo Núñez Manosalva, Jorge Andrés Pinzón Silva

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

José David Cortés Torres

Msc. En Ingeniería eléctrica

Codirector

Óscar 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

Este proyecto va dedicado especialmente a aquellas personas y organizaciones cuya contribución fue de suma importancia para la realización del mismo, quienes garantizaron un efectivo cumplimiento.

Primero, a Dios por concederme sabiduría para sobrellevar todas las dificultades, como también para alcanzar mis metas. A mis padres, quienes son mi impulso vital, los que me brindan un apoyo constante durante toda mi trayectoria profesional.

A mis profesores agradezco el acompañamiento y orientación en sus enseñanzas, han sabido inculcarme todos sus conocimientos y así desafiarme en pro de mi crecimiento personal.

A mis compañeros de clase, me han brindado ayuda académica, y han compartido conmigo momentos de desafíos y triunfos durante todos los semestres universitarios, especialmente a mi compañero de grado Jorge Andrés Pinzón, con el cual tuve la oportunidad de dar testimonio del esfuerzo y trabajo en equipo puesto para alcanzar nuestro objetivo.

También a mi director de proyecto, José David Cortés, dándole un reconocimiento por su orientación estratégica, y apoyo continuo.

A la Alcaldía de Bucaramanga, con sus distinguidos líderes que me permitieron profundizar conocimientos académicos, dándome la confianza de llevar a cabo mis prácticas empresariales, generosamente compartieron su experiencia conmigo, les agradezco profundamente por enriquecer mi aprendizaje.

Este logro está dedicado a cada uno de ustedes, siendo prueba fiel del arduo trabajo de todos los resultados mostrados. Con cariño y agradecimiento,

Frank Camilo Nuñez Manosalva

Agradecimientos

En primer lugar, les agradezco a mis padres, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y no desfallecer ante las adversidades. Además de que son las personas encargadas de ofrecerme el soporte material y económico.

También quiero expresar mi profunda gratitud a cada uno de los profesores que estuvieron e hicieron parte de este proceso, por sus conocimientos brindados, sus palabras de aliento desde la experiencia vivida, los valores inculcados y el respeto con el que siempre me hicieron saber que el camino indicado para una parte de la realización como persona es la formación íntegra académica profesional. A mi director del proyecto, el profesor José Cortez quien ha sido de vital ayuda durante todo el proyecto, compartiendo sus enseñanzas como también guiándome constantemente para que todo resultara con las más excelentes y apropiadas condiciones, así mismo quiero extender mi gratitud a cada uno de los ingenieros de la Alcaldía de Bucaramanga que permitieron mi participación en el proyecto de prácticas empresariales las cuales fomentaron en mi aprendizaje muchas más experiencias para complementar con los conocimientos teóricos ya fundamentados.

Un especial agradecimiento a mi compañero de proyecto de grado Frank Camilo Nuñez quien no solo ha sido la persona que ha estado junto a mi durante este trayecto si no también el que me ha ayudado a sobrellevar cada una de las dificultades que se han presentado, hemos sabido trabajar en equipo para mostrar los mejores resultados, vivencias plenas de un esfuerzo en equipo.

Jorge Andrés Pinzón Silva

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	15
1. Objetivos	19
1.1 Objetivo General	19
1.2 Objetivos Específicos.....	19
2. Descripción de la Empresa.....	20
2.1 Misión de AP	21
2.2 Visión de AP	21
3. Marco Conceptual	21
3.1 Conceptos de iluminación.....	21
3.1.1 Iluminancia (E)	21
3.1.2 Flujo luminoso (Φ).....	21
3.1.3 Luminancia (L)	21
3.1.4 Coeficiente de Utilización (CU ó K)	22
3.1.5 Factor de mantenimiento (Fm).....	22
3.1.6 Factor de uniformidad general de la luminancia (U _o).....	22
3.1.7 Factor de uniformidad longitudinal de luminancia (U _l)	23
3.1.8 Temperatura de color	23
3.1.9 Deslumbramiento	23
3.2 Conceptos de diseño eléctrico.....	23
3.2.1 Análisis de cortocircuito	23
3.2.2 Alimentador	23

3.2.3 Caída de tensión.....	24
3.2.4 Capacidad de corriente de cortocircuito (Icc).....	24
3.2.5 Banco de ductos	24
3.2.6 Calculo de la malla de puesta a tierra (MPT)	24
3.2.7 Sistema de puesta a tierra (SPT)	25
3.2.8 Selectividad total.....	25
3.2.9 Coordinación de protecciones.....	25
3.2.10 Distancias de seguridad.....	25
3.2.11 Cálculo de pérdidas.....	26
3.3 Metodología del CAUE	26
4. Metodología	28
4.1 Diseño Eléctrico.....	28
4.2 Diseño Fotométrico.....	30
4.3 Presupuesto	31
5. Resultados	32
5.1 Diseño Eléctrico.....	32
5.1.1 Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.....	32
5.1.2 Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.....	36
5.1.3 Análisis de cortocircuito y falla a tierra.....	36
5.1.4 Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos	38
5.1.5 Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos	43
5.1.6 Análisis del nivel de tensión requerido.....	45

5.1.7 Cálculo de campos electromagnéticos	45
5.1.8 Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga	46
5.1.9 Cálculo del sistema de puesta a tierra	46
5.1.10 Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía	48
5.1.11 Verificación 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 ..	49
5.1.12 Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos	51
5.1.13 Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes	51
5.1.14 Cálculo de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.)	54
5.1.15 Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia	55
5.1.16 Cálculos de regulación	56
5.1.17 Clasificación de área	58
5.1.18 Elaboración de diagramas unifilares	58
5.1.19 Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción	59
5.1.20 Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares	60
5.1.21 Establecer las distancias de seguridad requeridas	60
5.1.21.1 Distancias de mínima seguridad para diferentes lugares y situaciones.	61
5.1.21.2 Distancias mínimas de seguridad en subestaciones.	62

5.1.22 Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación	63
5.1.23 Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas	63
5.2 Diseño Fotométrico.....	65
5.2.1 Levantamiento de la infraestructura de alumbrado público existente	66
5.2.2 Selección de las luminarias a utilizar.....	66
5.2.3 Diseño geométrico y sistema de montaje.....	69
5.2.4 Cantidades definitivas totales de obra civil, eléctrica y análisis económico	70
5.3 Presupuesto	72
6. Conclusiones.....	74
Referencias Bibliográficas	75

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Valores mínimos aceptables de vida útil de los equipos utilizados	26
Tabla 2 Carga circuitos ramales de las subestaciones	34
Tabla 3 Cuadro de carga TAP.....	35
Tabla 4 Corrientes de cortocircuito para los circuitos ramales de la subestación 1	37
Tabla 5 Corrientes de cortocircuito aguas arriba de los circuitos ramales de la subestación 1	37
Tabla 6 Corrientes de cortocircuito para los circuitos ramales de la subestación 2	37
Tabla 7 Corrientes de cortocircuito aguas arriba de los circuitos ramales de la subestación 2	38
Tabla 8 Indicador de parámetros del rayo.....	39
Tabla 9 Subindicador relacionado con el uso de la estructura (IUSO).....	40
Tabla 10 Subindicador relacionado con el tipo de estructura I_T	40
Tabla 11 Subindicador relacionado con la altura y el área de estructura.....	41
Tabla 12 Indicador de gravedad.....	42
Tabla 13 Matriz de niveles de riesgo	42
Tabla 14 Análisis de riesgos de origen eléctrico	43
Tabla 15 Decisiones y acciones para controlar el riesgo	44
Tabla 16 Escenario para la MPT s1	47
Tabla 17 Situación para la MPT s2.....	48
Tabla 18 Especificaciones de la protección aguas arriba de los circuitos ramales de la subestación 1 y 2.....	52
Tabla 19 Especificaciones de la protección para los circuitos ramales de las subestaciones 1 y 2	54

Tabla 20 Volumen de las cajas de inspección	55
Tabla 21 Resultados cálculos de regulación de los circuitos ramales de cada subestación.....	57
Tabla 22 Distancias mínimas de seguridad.....	61
Tabla 23 Distancias de seguridad en subestaciones exteriores.....	62
Tabla 24 Diseño eléctrico detallado de la A a la W del RETIE	63
Tabla 25 Resultados simulación en DIALux de la disposición central doble.....	68
Tabla 26 Resultados simulación en DIALux de la disposición bilateral	68
Tabla 27 Cantidades iniciales para el diseño fotométrico	70
Tabla 28 Resultados cálculo CAUE	71
Tabla 29 Presupuesto del proyecto	73

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Esquema resumen de la metodología	32
Figura 2 Corrientes de la protección aguas arriba de los circuitos ramales de las subestaciones 1 y 2.....	52
Figura 3 Característica tiempo-corriente de interruptores para el circuito ramales de las subestaciones 1 y 2.....	53
Figura 4 Distancia “d1” y “d” en cruce y recorrido de vías.....	61
Figura 5 Distancias de seguridad en subestaciones exteriores.....	62
Figura 6 Parámetros de la luminaria DX-APGR-120-SL	66
Figura 7 Luminaria DX-APGR-120-SL	67
Figura 8 Sistema de la luminaria DXPRO	67
Figura 9 Espectro luminoso	67
Figura 10 Poste brazo sencillo	69
Figura 11 Poste brazo doble.....	70

Glosario

APUS: el análisis de precio unitario (APUS) es el examen detallado que se hace a una unidad de obra con la finalidad de conocer por separado, sus características constructivas y los elementos de costos que lo componen para sacar conclusiones y establecer su precio previo a la construcción y demostrar lógicamente su valor monetario.

CAUE: costo anual uniforme equivalente (CAUE) es un método que sirve para aceptar o rechazar un proyecto en el cual una empresa piense en invertir, teniendo en cuenta que todo depende de la utilidad que éste brinde en el futuro frente a los ingresos y a las tasas de interés con las que se evalúe.

Corredor vial: vía particularmente diseñada/adaptada para un paso preferente de determinado tipo de vehículo a una velocidad superior al promedio, con paraderos que no afectan el flujo.

Diseño Fotométrico: diseño del Alumbrado Público encargado de asignar la luminaria e iluminancia mínima requerida por el reglamento de iluminación vigente RETILAP.

Memorias de Cálculo: las memorias de cálculo son métodos estructurados y detallados de ingeniería para el desarrollo de proyectos, donde se establecen las bases y criterios necesarios para asegurar su óptimo diseño. La principal función de las memorias de cálculo es contar con un respaldo, con el cual el proyectista o constructor evaluó o diseñó equipos dinámicos, ductos, conductores, centros de distribución, etc. Y, además, sirven para entender cada uno de los criterios con los que se determinan los aspectos más importantes de ingeniería.

Norma ESSA: el cubrimiento que hace esta norma abarca las redes y subestaciones de distribución, lo mismo que las acometidas de media y baja tensión. Igualmente, se aplica a toda nueva instalación o ampliación a partir de su entrada en vigencia.

La presente norma se fundamenta en algunos casos en la normatividad técnica del Grupo EPM, disponible en la página web www.epm.com.co, sin embargo, donde se encuentre alguna diferencia con la presente norma de ESA (NTG-02 MARCO GENERAL NORMA URBANA), prevalecerá lo dispuesto en esta última.

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 permite conocer las inquietudes y manifestaciones que tienen los grupos de interés para que de esta manera exista la oportunidad de fortalecer el servicio y seguir en el camino hacia la excelencia operativa.

RETIE: el RETIE (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas) es un documento técnico-legal para Colombia expedido por el ministerio de Minas y energía. En él se pueden encontrar los parámetros más importantes que deben ser tenidos en cuenta al momento de diseñar, construir, mantener y modificar una instalación eléctrica en Colombia de la manera más segura posible.

RETILAP: es el acrónimo del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, el cual establece los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendientes a garantizar los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos originados por la instalación y uso de sistemas de iluminación.

Resumen

Título: Modernización de la red de alumbrado público de la calle 45 del municipio de Bucaramanga utilizando el método de CAUE (método empleado para seleccionar el tipo de luminaria y el diseño fotométrico propuesto por la empresa encargada -Alcaldía de Bucaramanga-).

Autor: Frank Camilo Núñez Manosalva, Jorge Andrés Pinzón Silva.**

Palabras Clave: Alumbrado público, CAUE, luminaria LED, plano, RETIE, RETILAP, subestación.

Descripción: Debido a la red de alumbrado público existente en el municipio de Bucaramanga en la calle 45, exactamente en el tramo comprendido entre el puente de la novena hacia abajo hasta la vía a Chimitá; esta red, o el diseño con el que cuenta este tramo específicamente lamentablemente no proporciona un servicio de calidad para los usuarios finales. Por lo tanto, la necesidad de hacer la sustitución de las redes eléctricas de baja tensión, ubicando en la totalidad del recorrido dos nuevas subestaciones eléctricas estratégicamente debido a la distancia comprendida en dicho tramo para que de esta manera se haga el cumplimiento permitido en cuanto a la regulación. Y, teniendo en cuenta que, la empresa encargada del cobro de energía eléctrica en este sector (Electrificadora de Santander -ESSA-), realiza dicho cobro de manera general de la carga instalada de toda la red de alumbrado público omitiendo las luminarias que no están en servicio; es por esto que, la oficina de alumbrado público ha decidido buscar la alternativa de medición empelando el método de telegestión, y de esta manera llevar a cabo el mejoramiento del diseño de la red existente con el fin de brindar el servicio esperado por los usuarios y dando cumplimiento a las peticiones de los mismos para de esta manera satisfacer en su totalidad las necesidades de cada uno de ellos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Ingeniería eléctrica. Director: José David Cortés Torres. Msc. En Ingeniería eléctrica. Codirector: Óscar Arnulfo Quiroga Quiroga. PhD en Ingeniería.

Abstract

Title: Modernization of the public street lighting network on 45th Street in the municipality of Bucaramanga using the CAUE method (method employed to select the luminaire type and the photometric design proposed by the responsible company -Bucaramanga City Hall-).*

Author(s): Frank Camilo Núñez Manosalva, Jorge Andrés Pinzón Silva.**

Key Words: Public lighting, CAUE, LED luminaire, plan, RETIE, RETILAP, substation.

Description: Due to the existing public street lighting network in the municipality of Bucaramanga on 45th Street, precisely in the stretch between the ninth bridge down to the Chimitá road; this network, or the design specific to this stretch, unfortunately doesn't provide a quality service for end users. Therefore, there is a need to replace the low-voltage electrical networks, placing two new electrical substations strategically along the entire route due to the distance covered in this stretch. This is to ensure compliance with the allowed regulations. Additionally, considering that the company responsible for electricity billing in this sector (Electrificadora de Santander - ESSA) charges based on the installed load of the entire public lighting network, disregarding non-operational luminaires; the public lighting office has decided to explore the alternative of metering using the remote management method. This approach aims to improve the existing network design to provide the expected service for the users and fulfill their requests, ultimately meeting the needs of each one of them comprehensively.

* Degree Work

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Ingeniería eléctrica. Director: José David Cortés Torres. Msc. En Ingeniería eléctrica. Codirector: Óscar Arnulfo Quiroga Quiroga. PhD en Ingeniería.

Introducción

Para empezar, es de vital importancia tener claro el hecho de la eficiencia y el uso de las LED en las luminarias de la ciudad de Bucaramanga. Es por esto que, este tipo de tecnología se ha establecido como de implementación ya que la ciudad de Bucaramanga podría reducir hasta un 60% el consumo de energía eléctrica y de la misma manera, aumentar la eficiencia en un poco menos de la mitad del total de efectividad, es decir, en un 40%. Además de esto, esta tecnología conlleva a una vida útil de la misma de hasta 50.00 horas, lo que significaría en términos de costos, reducir los mismos en cuanto al mantenimiento y de la misma forma, la existencia de menos contaminación lumínica.

A medida que la ciudad busca ser más sostenible y eficiente, es indispensable considerar la implementación de dicha tecnología en sus luminarias públicas ya que, Bucaramanga denominada 'La ciudad bonita' debido a su desarrollo infraestructural, industrial y cultural, junto a la amabilidad de su gente. Además, cuenta con floridos parques, grandes avenidas y una agitada vida comercial. Es por esto, que, de otra manera, pero no menos importante, la ciudad debe -vestirse- brillante y estar siempre lúcida con la implementación de la tecnología LED aplicada a las luminarias que hacen parte de ella y sobre todo las que vestirán la calle 45 más específicamente en el tramo comprendido desde el puente de la novena hasta la vía que conduce a Chimita.

En el caso de las luminarias de uso exterior se debe indicar el valor de Flujo Hemisférico Superior (FHS), que se define como el porcentaje (%) de flujo luminoso emitido por el equipo de iluminación por encima del plano horizontal, e indica el nivel de contaminación lumínica que

produce el equipo con un ángulo de inclinación de 0° . Lo que quiere decir que, para el caso de las luminarias impuestas ya sobre el plano fotométrico de la calle 45 de Bucaramanga, tienden a ser un poco más contaminantes al emitir el rayo de luz que las de tipo LED. Esto se refleja en su eficiencia, que varía entre 0.45 y 0.85 para las luminarias viales de vapor de sodio, mientras que, para las LED, la eficiencia oscila entre 0.7 y alcanza casi su máxima efectividad, la cual se puede entender como un concepto global que relaciona la eficiencia, en donde está estrechamente ligada al rendimiento de las luminarias. Este enfoque busca lograr una respuesta óptima y máxima en su uso, es decir, alcanzar el valor de referencia que corresponde a la unidad, expresado también como el 100% en términos porcentuales, llegando a 0.99. Y, teniendo en cuenta estos valores, servirán para encontrar el reemplazo óptimo y de esta manera, obtener algunos ahorros significantes que es lo que al final, cada uno de los usuarios espera ver reflejado aparte de en términos de calidad del servicio.

La red de alumbrado público que se encuentra en operación en la calle 45 sobre el tramo comprendido desde el puente de la novena hasta la vía que conduce a Chimitá, del municipio de Bucaramanga tiene una distancia aproximada de 4,962 km y una antigüedad de aproximadamente 30 años, es por esto que es necesario un ajuste, modificación y rediseño de dicha red de alumbrado, para lograr brindar un mejor servicio de calidad al usuario que finalmente paga una cierta cantidad mensual por éste para que lo encuentre en óptimas condiciones. Debido a ciertas necesidades que se han venido presentando a lo largo del tiempo en el que cada vez el tipo de vida de dichas luminarias impuestas ya, se acorta, es lo que ha llevado a que la comunidad en general del sector, se vea en la obligación de presentar cierto tipo de quejas, reclamos y algunas sugerencias con el fin de mejorar el servicio brindado. Es por esto

que la empresa de alumbrado público como una empresa responsable y consciente de lo sucedido, con el fin de prestar el servicio dentro del marco regulatorio vigente, y respondiendo a las necesidades de la ciudadanía y a su vez velando por los derechos de los usuarios que es claro que exigen y que deben ser cumplidos por ser una empresa organizacional, responden con eficiencia y eficacia, apuntando a la calidad cada vez más y la confiabilidad.

De acuerdo con la evolución demográfica, urbanística, ambiental y económica de la ciudad ha tomado la decisión y ha puesto en marcha el proyecto de modernización bilateral de la red de alumbrado público comprendida en la mencionada sección.

Algunas de las causas por las que se ha tomado la determinación de la realización del proyecto son entre otras, algunos factores ambientales que hacen que, las luminarias de este tipo existentes, ya no cumplan con su objetivo final que es el de proporcionar un servicio de calidad, escaso mantenimiento, es por esto, que según lo que indica la CREG se debe realizar su cambio oportuno. Teniendo en cuenta lo anterior, esta situación ha resultado en la falta de iluminación en ciertas áreas y escasez de luz en otras, lo que ocasiona inseguridad en el sector tanto para transeúntes como para los vehículos en el tema de accidentes. Los técnicos del alumbrado público y personal especializado en el tema eléctrico y de iluminación, han realizado visitas donde se han encontrado deterioros en la parte del cableado, alguna ausencia en las cajas de inspección y postes de toda la red de iluminación defectuosos. Por otra parte, en la red de alumbrado público existente hay ausencia de una subestación eléctrica, es por esto que la Electrificadora de Santander ESSA, realiza un cobro general de la carga instalada de toda la red de alumbrado sin tener en cuenta las luminarias que se encuentran fuera de servicio. De esta manera, la oficina de alumbrado público ha tomado la decisión de instalar por ahora dos nuevas subestaciones eléctricas que permitan

realizar un cobro por medición de consumo, en coordinación con la entidad responsable de estos asuntos en el área metropolitana (ESSA).

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Actualizar la propuesta de diseño de la red de alumbrado público existente de la calle 45 desde el puente de la novena hasta la vía a Chimitá del municipio de Bucaramanga empelando la tecnología LED.

1.2 Objetivos Específicos

Diseñar los planos del proyecto en el software de AUTOCAD teniendo como referencia los planos brindados que se obtuvieron a partir del levantamiento topográfico por la empresa encargada del mismo aplicando la normativa y requisitos proporcionados por el RETIE y la norma ESSA.

Elegir una de las alternativas de diseño fotométrico suministradas por parte de alumbrado público y tomando como referencia el método de CAUE de cada diseño a tener como opción viable.

Elaborar los presupuestos y especificaciones técnicas del diseño eléctrico de la red de alumbrado público de acuerdo con los estándares establecidos por la empresa correspondiente - Alcaldía de Bucaramanga-.

2. Descripción de la Empresa

El Sistema Integrado de Gestión del servicio de ALUMBRADO PÚBLICO está Certificado por el ICONTEC, bajo las normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, OHSAS 18001:2007, ISO 50001:2011 con el propósito de Garantizar a la comunidad la satisfacción mediante la prestación eficiente e ininterrumpida del servicio de Alumbrado Público optimizando recursos y mejorando continuamente los procesos, apoyados con personal calificado y la aplicación de tecnología de punta. Todo enfocado a actividades de prevenir y mitigar la contaminación del medio ambiente y a garantizar la seguridad y la prevención de lesiones y enfermedades del personal y demás partes interesadas, identificando y valorando los riesgos e impactos ambientales, cumpliendo con los requisitos legales aplicables (Alumbrado Público Bucaramanga, s.f.).

De igual manera garantiza el compromiso de mejora continua con el desempeño energético y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero desarrollando actividades a través de una gestión sistemática de la energía y asegurando los recursos necesarios para garantizar la disponibilidad de información y alcanzar los objetivos y metas establecidos, reconocemos a la eficiencia energética entre las más altas prioridades de gestión y entendemos que el uso racional eficiente y el consumo moderado de energía son factores clave para la reducción de costos de la energía y el desarrollo sostenible en la organización y de la comunidad, por ello se gestiona la adquisición de productos y servicios energéticamente eficientes además del desarrollo de diseños que mejoren el desempeño energético (Alumbrado Público Bucaramanga, s.f.).

2.1 Misión de AP

Prestar el servicio de Alumbrado Público en el municipio de Bucaramanga dentro del marco regulatorio vigente, respondiendo a las necesidades de la ciudadanía con eficiencia y eficacia, buscando calidad y confiabilidad, de acuerdo con la evolución demográfica, urbanística, ambiental y económica de la ciudad (Alumbrado Público Bucaramanga, s.f.).

2.2 Visión de AP

Ser para el año 2019 la entidad líder en la prestación de servicios de Alumbrado Público a nivel nacional mediante el mejoramiento continuo de sus procesos, el uso racional de la energía, la utilización de nuevas tecnologías y la optimización de los recursos, buscando siempre el equilibrio con el medio ambiente (Alumbrado Público Bucaramanga, s.f.).

3. Marco Conceptual

3.1 Conceptos de iluminación

3.1.1 Iluminancia (E)

Densidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie. La unidad de iluminancia es el lux (lx). (RETILAP, 2010)

3.1.2 Flujo luminoso (Φ)

Cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo. Su unidad es el lumen (lm). (RETILAP, 2010)

3.1.3 Luminancia (L)

En un punto de una superficie, en una dirección, se interpreta como la relación entre la intensidad luminosa en la dirección dada producida por un elemento de la superficie que rodea el

punto, con el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada. La unidad de luminancia es candela por metro cuadrado. (Cd/m^2). Bajo el concepto de intensidad luminosa, la luminancia puede expresarse como: (RETILAP, 2010).

$$L = \left(\frac{dI}{dA} \right) * \left(\frac{1}{\cos \Phi} \right) \quad (1)$$

3.1.4 Coeficiente de Utilización (CU ó K)

relación entre el flujo luminoso que llega a la superficie a iluminar (flujo útil) y el flujo total emitido por una luminaria. Usualmente, se aplica este término cuando se refiere a luminarias de alumbrado público. También se conoce como factor de utilización de la luminaria. (RETILAP, 2010)

3.1.5 Factor de mantenimiento (Fm)

Factor usado en el cálculo de la luminancia e iluminancia después de un periodo dado y en circunstancias establecidas. Tiene en cuenta la hermeticidad de la luminaria, la depreciación del flujo luminoso de la bombilla, la clasificación de los niveles de contaminación del sitio y el periodo de operación (limpieza) de la luminaria. (RETILAP, 2010)

3.1.6 Factor de uniformidad general de la luminancia (Uo)

Relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio sobre la superficie de una calzada. $U_o = L_{\text{min}}/L_{\text{pro}}$ en %. Es una medida del comportamiento visual que no puede ser inferior a 40% para L comprendido entre el rango de $1 \text{ cd}/\text{m}^2$ a $3 \text{ cd}/\text{m}^2$, con el fin de que un objeto sea perceptible el 75% de los casos en un tiempo no mayor a 0.1 s.

3.1.7 Factor de uniformidad longitudinal de luminancia (Ul)

La menor medida de la relación $L_{min}/L_{máx}$ sobre un eje longitudinal paralelo al eje de la vía que pasa por la posición del observador y situado en el centro de cada uno de los carriles de circulación. (RETILAP, 2010)

3.1.8 Temperatura de color

Temperatura absoluta de un cuerpo negro radiador que tiene una cromaticidad igual a la de la fuente de luz. Se mide en Kelvin (K). (RETILAP, 2010)

3.1.9 Deslumbramiento

Sensación producida por la luminancia dentro del campo visual que es suficientemente mayor que la luminancia a la cual los ojos están adaptados y que es causa de molestias e incomodidad o pérdida de la capacidad visual y de la visibilidad. Existe deslumbramiento cegador, directo, indirecto, incómodo e incapacitivo.

Nota. La magnitud de la sensación del deslumbramiento depende de factores como el tamaño, la posición y la luminancia de la fuente, el número de fuentes y la luminancia a la que los ojos están adaptados. (RETILAP, 2010)

3.2 Conceptos de diseño eléctrico

3.2.1 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)

3.2.2 Alimentador

Conjunto de conductores de un circuito entre el equipo de acometida, la fuente de un sistema derivado independiente u otra fuente de suministro de energía eléctrica, y el dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito ramal final o subestación. (ESSA, 2019)

3.2.3 Caída de tensión

El cálculo de regulación se realiza con el fin de determinar el porcentaje de caída de tensión, entre la fuente y la carga, debida a la distancia de esta última. Como valores de referencia para las variaciones de tensión en estado estable se toman +5% y -10% del valor de tensión nominal del sistema. (EPM, 2019)

3.2.4 Capacidad de corriente de cortocircuito (I_{cc})

Es la intensidad de corriente que no provoca ninguna disminución de las características mecánicas de los conductores, incluso después de un número elevado de cortocircuitos. Se calcula admitiendo que el calentamiento de los conductores se realiza mediante un proceso a calor constante. (EPM, 2019)

3.2.5 Banco de ductos

Este método de alambrado podrá ser utilizado cuando se requiera las instalaciones de redes de energía subterráneas, que pases por zonas con riesgo de explosión, cruces de vías, zonas de baja interferencia con redes enterradas, o zonas donde exista riesgo de robo de materiales o energía. Para el dimensionamiento de canalizaciones para rutas de cableado se deberán aplicar todos los requisitos del artículo 25.7.2 Conductores subterráneos del RETIE. (EPM, 2019)

3.2.6 Calculo de la malla de puesta a tierra (MPT)

Sistema de electrodos de tierra horizontales que consiste en un número de conductores desnudos interconectados y enterrados en la tierra, proporcionando una tierra común para dispositivos eléctricos o estructuras metálicas, usualmente en un lugar específico. (ANSI - IEEE Std 80/2000, s.f.)

3.2.7 Sistema de puesta a tierra (SPT)

Conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico específico, sin interruptores ni fusibles, que conectan los equipos eléctricos con el terreno o una masa metálica. Comprende la puesta a tierra y el cableado puesto a tierra. (ESSA, 2019)

3.2.8 Selectividad total

Selectividad es la coordinación de los dispositivos de corte automático para que un defecto, ocurrido en un punto cualquiera de la red, sea eliminado por el interruptor automático colocado inmediatamente aguas arriba del defecto, y solo por él.

Selectividad total existe para todos los valores del defecto, desde la sobrecarga hasta el cortocircuito franco, la distribución selectiva si D2 abre y D1 permanece cerrado.

3.2.9 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)

3.2.10 Distancias de seguridad

Para efectos del presente reglamento y teniendo en cuenta que frente al riesgo eléctrico la técnica más efectiva de prevención, siempre será guardar una distancia respecto a las partes energizadas, puesto que el aire es un excelente aislante, en este apartado se fijan las distancias mínimas que deben guardarse entre líneas o redes eléctricas y elementos físicos existentes a lo largo de su trazado (carreteras, edificaciones, piso del terreno destinado a sembrados, pastos o bosques, etc.), con el objeto de evitar contactos accidentales. (RETIE,2013)

3.2.11 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)

3.3 Metodología del CAUE

Para el Costo Anual Uniforme Equivalente es necesario tener en cuenta la vida útil y durabilidad de cada uno de los diferentes elementos del proyecto respecto a un periodo de análisis de 30 años, asumiendo así un valor de cero pesos el cual será el de recuperación, según lo que establece el RETILAP en su sección 610.7.3.

A continuación, se muestran los valores mínimos aceptables de vida útil de los equipos utilizados.

Tabla 1

Valores mínimos aceptables de vida útil de los equipos utilizados

Equipos utilizados	Vida útil en años
Transformadores	20
Redes eléctricas (conductores, herrajes y aisladores)	30
Cajas de inspección, ducterías y demás obras civiles asociadas	30
Bombillas de sodio	3.5

Postes de concreto	30
Luminarias en zonas con alta contaminación	7.5
Luminarias en zonas normales	15

Nota. Adaptado del RETILAP.

Con la información de la tabla anterior se pueden calcular y presentar todos los costos empleados para tener un orden más detallado de estos. Empezando con los costos iniciales (CI) correspondientes a la mano de obra y transporte, como también a la infraestructura inicial de transformadores, conductores, herrajes, aisladores, postes, luminarias, entre otros. Están los costos anuales de operación (CAO) calculados con la siguiente fórmula:

$$P_T = CI + VP(CAO) \quad (2)$$

Donde se muestra el consumo de energía eléctrica de la red de alumbrado y el mantenimiento necesario de la infraestructura inicial. De la misma manera, se hace uso del RETILAP en la sección 610.7.3, resolución No. 180540 de marzo 30 de 2010 en la página 205 de 227 para emplear la ecuación final correspondiente al CAUE.

El Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) del proyecto se calcula multiplicando el valor total (PT) de los CAO, por el factor de anualidad. La fórmula para el CAUE es:

$$CAUE = CAO - VP(VS) + \frac{CI}{(1+i)^n} \quad (3)$$

4. Metodología

De acuerdo a una necesidad de un proyecto existente en la oficina de alumbrado público, surgió el hecho de aplicar y llevar de una manera más cercana los conocimientos adquiridos a lo largo del desarrollo de la formación de cada uno de los integrantes del proyecto como futuros ingenieros, en donde, en este caso; en la modalidad de practicantes, la responsabilidad es llevar a cabo la realización de dicho proyecto de modernización de la red de alumbrado existente asignado para la vía especificada al inicio del presente documento; es por esto que, teniendo como referencia la necesidad presente, se establecieron algunos ítems y se distribuyó la parte correspondiente a la metodología del proyecto estructurada de la siguiente manera, iniciando con la mejora del diseño eléctrico de la vía. Acto seguido, para la parte del diseño fotométrico se lleva a cabo la realización de la simulación en el software de diseño gráfico DIALux para la planificación de iluminación de exteriores.

Para finalizar esta sección sobre la metodología empleada en el proyecto, se hace de vital importancia llevar a cabo el planteamiento de la parte concerniente al presupuesto, donde se establecen y se especifican de manera detallada los pasos empleados para la implementación de dicho presupuesto.

4.1 Diseño Eléctrico

En este apartado, se procede a hacer uso del levantamiento actual de la vía establecida y realizado en el mes de diciembre del año anterior (2022) entregado por el arquitecto de la empresa encargada -Alcaldía de Bucaramanga-, Departamento de Alumbrado Público; se realiza un estudio y un análisis preliminar a dicho levantamiento topográfico, para en primera instancia identificar si se encontraban posibles falencias en el diseño, teniendo en cuenta que previo a recibir el

levantamiento se debe realizar una visita y una inspección de la vía a ser intervenida en cuanto al diseño. Posteriormente, se procede a hacer el mejoramiento de la red eléctrica de alumbrado público de la vía que consiste en la ubicación de dos subestaciones, postes y luminarias nuevas, todo esto se obtiene teniendo en cuenta el RETILAP y el RETIE, de esta última normativa se analiza cuáles de los ítems propuestos se cumplen y cuáles no.

Los aspectos desde la A hasta la W, que son objeto de estudio en este caso para garantizar el total cumplimiento del RETIE, abarcan una variedad de análisis y consideraciones cruciales. Estos incluyen la evaluación y elaboración de cuadros detallados de las cargas actuales y futuras, incorporando análisis de factores de potencia y armónicos. Asimismo, se aborda el análisis de posibles cortocircuitos y fallas a tierra, la evaluación del nivel de riesgo por rayos y la implementación de medidas de protección correspondientes. También, el análisis de nivel de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos. Dentro de estos ítems se incluye el cálculo detallado de transformadores, teniendo en cuenta los efectos de los armónicos y el factor de potencia en la carga. Se aborda el diseño del sistema de puesta a tierra y la verificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores. La corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de conducción de los conductores. Además, se realizan cálculos y coordinación exhaustiva de las protecciones contra sobrecorrientes. También se llevan a cabo cálculos relacionados con la infraestructura eléctrica, tales como el diseño de canalizadores (tubos, ductos, canales y electroductos) y el volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.), los cálculos de pérdidas de energía, considerando los efectos de armónicos y factor de potencia, así como los cálculos de regulación y otros aspectos fundamentales. Adicionalmente, se desarrollan diagramas unifilares, planos y esquemas eléctricos detallados que resultan esenciales para la correcta ejecución de la construcción, las especificaciones de

construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales junto con sus condiciones particulares y, por último, se determinan las distancias de seguridad requeridas.

4.2 Diseño Fotométrico

Como primer aspecto a tener en cuenta para este paso, fue el hecho de la caracterización del tipo de vía que hace parte del proyecto, la cual es de tipo M2; de la mano con el tipo de luminarias a emplear que son de tipo bilateral y doble central. Después de esto, con ayuda del software de simulación de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones para alumbrado externo DIALux se procede a hacer una prueba completa con cada una de las luminarias contenidas en su respectivo poste, a la altura indicada mencionadas en el CAUE, y debido a la que mejor se acomoda a las necesidades a ser suplidas por lo que se busca con el proyecto, es la de tipo DXPRO de 120 [W] de acuerdo con el indicador utilizado en la evaluación de proyectos -Costo Anual Uniforme Equivalente- y sus especificaciones técnicas en general que apuestan por ser la mejor opción para la iluminación de calles, aceras, que además cuenta con el certificado RETILAP donde para este paso fueron proporcionados los archivos .ies de dicha luminaria para poder llevar a cabo la óptima simulación donde se aprecian tramos de vías como lo son las bilaterales, las centrales dobles, los cruces y las glorietas. Una vez obtenidos estos resultados, se realiza la comparación conforme a lo establecido en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público para corroborar el cumplimiento de las simulaciones con lo que aplica la norma y teniendo como resultado que la información resultante es la acertada o la esperada, se procede a dejar como resultado final la mencionada anteriormente. Cabe aclarar que, para la selección de la luminaria, se realiza el proceso de selección de varias empresas proveedoras como lo son Philips, Sylvania y DXPRO con tal de tener una idea de los precios que maneja cada una y el tipo de luminaria que ofrecen.

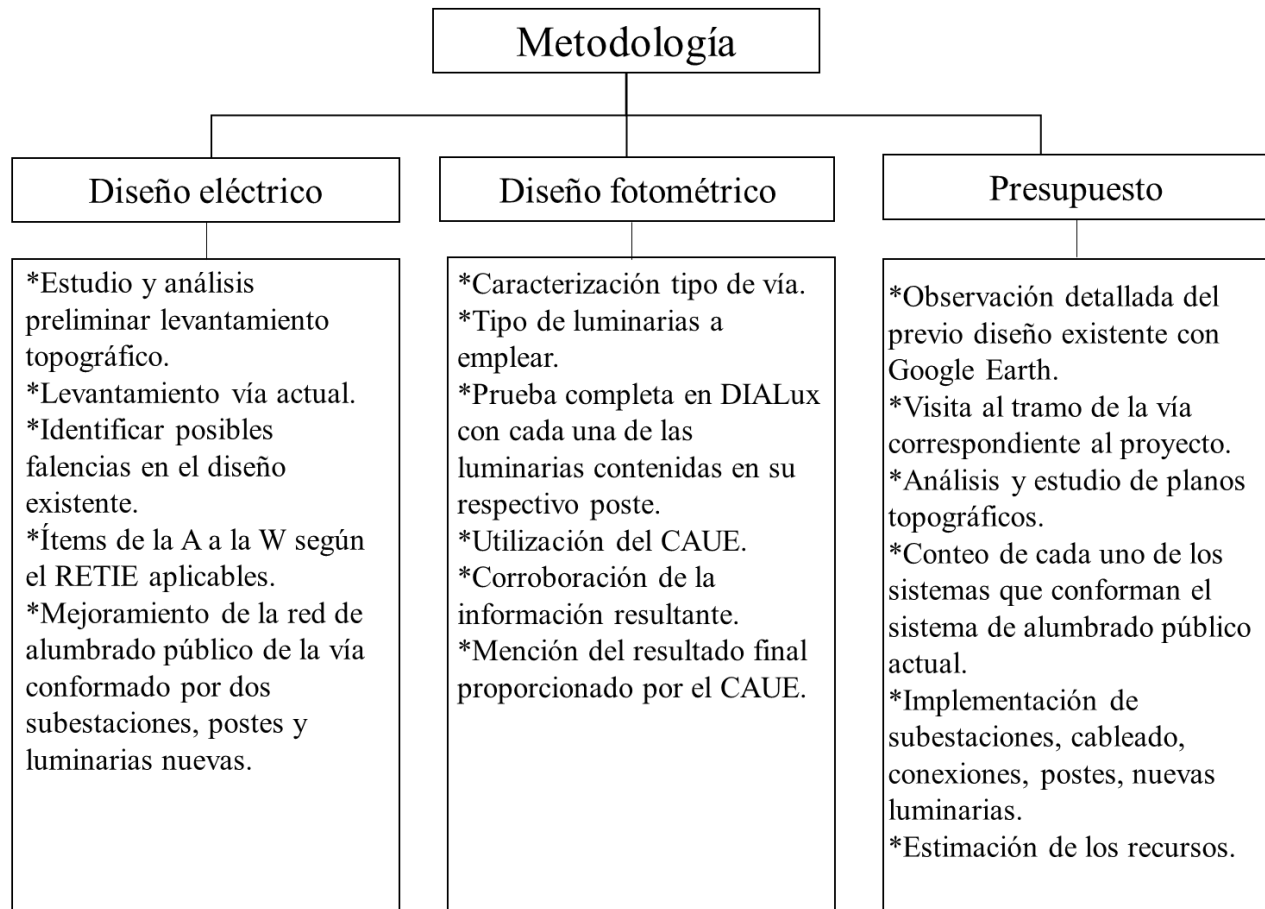
4.3 Presupuesto

Para llevar a cabo, o establecer el presupuesto necesario para llevar a cabo la finalización y asimismo esclarecer el mismo en la realización oportuna del proyecto que se tiene previsto desarrollar en un futuro próximo físicamente. En primer lugar, se hace un estudio o una observación detallada del previo diseño existente con ayuda del programa computacional Google Earth que consiste en un sistema de información geográfica que muestra o facilita un globo terráqueo virtual donde es posible visualizar una amplia cartografía en este caso como guía para tener una estimación aproximada de los recursos ya existentes en el área a trabajar donde se pudo contar cada uno los sistemas que conforman el sistema de alumbrado público actual, es decir, las cajas de inspección, las luminarias. Acto seguido, se procede a añadir lo relacionado a lo que va a hacer parte del diseño final del proyecto, teniendo en cuenta las subestaciones, el cableado, las conexiones, la parte mecánica, los postes, las nuevas luminarias; todo esto con ayuda del formato de Excel proporcionado por parte de la oficina de alumbrado público que consiste en un análisis detallado de precios unitarios donde se establecen una lista de materiales.

Por otra parte, se realiza una petición de solicitud de factibilidad para el proceso de conexión a la red de alumbrado público a llevar a cabo en el desarrollo del proyecto, donde se realiza el proceso de diligenciamiento del formato propuesto en la página web de la empresa comercializadora de energía -ESSA- en el departamento donde se lleva a cabo el desarrollo del presente proyecto (Santander). Proceso que se tarda en obtener respuesta al cabo de una semana aproximadamente.

Figura 1

Esquema resumen de la metodología



5. Resultados

5.1 Diseño Eléctrico

5.1.1 Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos

Al momento de ubicar las nuevas luminarias y los componentes restantes complementarios esenciales para realizar el diseño, se llevó a cabo el siguiente paso que fue hacer una disposición

de los circuitos comprendidos para con esto hacer el cálculo de la potencia de circuito por circuito mediante los cuadros de cargas para las dos subestaciones nuevas a implementar en el desarrollo del proyecto. Ahora bien, teniendo en cuenta dicha distribución de los circuitos que está conformada como sigue: el circuito 1, 2 y 3 cada uno para las fases R, S y T, para el caso de la subestación 1, para el siguiente caso que es el de la subestación 2, los circuitos 1,2,3,4 y 5 cada uno de ellos conformados también por las tres fases R,S,T; en este caso esto con el fin de buscar el balanceo en cada una de ellas y no saturar ninguna a la vez, buscando una mayor fiabilidad del servicio a brindar ya que al momento de implementar la distribución circuital de esta manera, llegado el caso en algún momento que ocurriera alguna falla en un punto específico, exista la disposición de la fase y el neutro ya que cada circuito está conectado de esta manera. Para el caso inicial, es decir, el correspondiente al de la subestación uno las fases R, S y T están compuestas por la potencia de los circuitos ya mencionados anteriormente (1, 2 y 3 respectivamente) valores correspondientes a 3280 [W], para las tres fases del circuito 1, obteniendo un valor total de potencia en dicho circuito de 9840 [W]. Para el caso del circuito 2 se da de la misma manera cada fase con un valor de 2600 [W] para así obtener un valor total igual a 7800 [W]; para el caso final correspondiente al del circuito 3 se obtienen los mismos resultados que los del caso anterior, es decir, valores correspondientes al circuito 2. Para el siguiente caso correspondiente a la subestación dos, las fases R, S y T están compuestas por las potencias de los circuitos 1,2,3,4 y 5 cuyos valores son 2920 [W] para las fases R, S y T cada una, con una potencia total de 8760 [W] para el primer circuito. Para el segundo circuito cada una de las tres fases cuenta con un valor de 2320 [W] para de esta manera, obtener una potencia total de 6960 [W], para el circuito 3, cada fase por individual cuenta con un valor de 2360 [W]; obteniendo así un valor total de potencia en [W] de 7080, para el circuito número 4, cada fase cuenta con un valor de 2160 [W], para lograr obtener un resultado

final de 6480 [W] y para el último caso, cada una de las fases por individual cuenta con un valor de 2080 [W], con el fin de resultar un valor de 6240,0 [W]. Estos valores se ven consignados de manera completa en la siguiente tabla (2).

Tabla 2

Carga circuitos ramales de las subestaciones

CIRCUITOS	POTENCIA							
	SUBESTACIÓN 1 [W]				SUBESTACIÓN 2 [W]			
	FASES			POTENCIA	FASES			POTENCIA
	R	S	T	TOTAL	R	S	T	TOTAL
1	3280	3280	3280	9840	2920	2920	2920	8760
2	2600	2600	2600	7800	2320	2320	2320	6960
3	2600	2600	2600	7800	2360	2360	2360	7080
4					2160	2160	2160	6480
5					2080	2080	2080	6240

Para obtener una revisión detallada de los datos, se puede consultar la hoja perteneciente a cuadro carga tap del documento de Excel llamado Memorias de cálculo en la carpeta de documentos adicionales, en el apartado de memorias de cálculo.

En cuanto al efecto de la distorsión armónica de corriente en el sistema y su factor de potencia, se estableció hallando el factor de desplazamiento F.D., el que modifica el factor de potencia F.P. del equipo, de donde se consigue el factor de potencia desplazado F.P.* del circuito. Los resultados obtenidos se observan en los cuadros de carga y regulación.

Tabla 3*Cuadro de carga TAP*

CIRCUITOS	SUBESTACIÓN 1				SUBESTACIÓN 2			
	FASES	F.P	F.D	F.P*	FASES	F.P	F.D	F.P*
1	RST	0,9	1,02	0,88	RST	0,9	1,02	0,88
2	RST	0,9	1,02	0,88	RST	0,9	1,02	0,88
3	RST	0,9	1,02	0,88	RST	0,9	1,02	0,88
4	RST				RST	0,9	1,02	0,88
5	RST				RST	0,9	1,02	0,88

Para el f.p. empleado para obtener los resultados mencionados, fue necesario hacer uso en cada uno de los circuitos de un valor por debajo de la unidad que es lo más conveniente, en este caso, 0,9, ya que dicho valor es el empleado por la oficina de alumbrado público del municipio de Bucaramanga. Estos resultados tienen el mismo valor para los dos casos de las subestaciones.

Los circuitos presentan un factor de desplazamiento, correspondiente a 1.02; es por esto que, para este caso, no hay la necesidad de acudir a una corrección armónica.

$$FP^* = \frac{FP_1}{\sqrt{1 + THD_i^2}} \quad (4)$$

Este entregable es aplicable, ya que no implica realizar modificaciones con respecto a los armónicos incluso a pesar de que el factor de desplazamiento entrega un valor pequeño, es por esto que, aun siendo la última parte planteada a tratar del ítem es claro considerar este aspecto para uno de los entregables que se consolidan en la metodología.

5.1.2 Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico

En este campo, para el caso objeto de estudio, no es tratado el análisis de la coordinación de aislamiento eléctrico ya que la tensión requerida o necesaria para llevar a cabo el proyecto a desarrollar es un nivel de tensión eléctrica catalogado de media tensión (MT) según el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas con un valor de 13200 [V] y, por otra parte, un nivel de 380/220 [V] correspondiente a baja tensión. El análisis de coordinación de aislamiento eléctrico es un análisis que se realiza para los sistemas de transición, es decir, para tensiones eléctricas iguales o superiores a 57.5 [kV] e iguales o inferiores a 230 [kV]. RETIE (Artículo 12°. Clasificación de los niveles de tensión).

5.1.3 Análisis de cortocircuito y falla a tierra

Como respuesta a este ítem mencionado es claro hacer referencia al análisis de cortocircuito y falla a tierra como estructuras esenciales e indispensables para garantizar la seguridad y la operación confiable de los sistemas eléctricos, y se fundamenta en la protección, coordinación y detección, oportuna y adecuada de los dispositivos para prevenir daños y posibles accidentes; es por esto que, fue de vital importancia la implementación del cálculo de las corrientes de cortocircuito por medio del software de Schneider Electric Ecodial que facilita los cálculos en instalaciones eléctricas siendo este el caso de protecciones.

En la tabla 4 de corrientes de cortocircuito calculadas a través del software ya mencionado para los circuitos 1, 2 y 3 que son los que corresponden a la primera subestación se muestran a continuación:

Tabla 4

Corrientes de cortocircuito para los circuitos ramales de la subestación 1

Descripción	Corriente de Cortocircuito Trifásica Máxima	Corriente de Cortocircuito Trifásica Mínima
	[kA]	[kA]
Circuito ramal 1	1.26	NA
Circuito ramal 2	1.21	NA
Circuito ramal 3	1.26	NA

Tabla 5

Corrientes de cortocircuito aguas arriba de los circuitos ramales de la subestación 1

Descripción	Corrientes de Cortocircuito (kVA)			
	3 ϕ Max.	2 ϕ Max.	3 ϕ Min.	2 ϕ Min.
Aguas arriba de los circuitos ramales	3.63	3.14	NA	2.65

Siguiendo exactamente la metodología empleada anteriormente, las corrientes de cortocircuito obtenidas gracias al software Ecodial para los mismos circuitos correspondientes a la subestación 1, que aplican para este caso de la segunda subestación se muestran así:

Tabla 6

Corrientes de cortocircuito para los circuitos ramales de la subestación 2

Descripción	Corriente de Cortocircuito Trifásica Máxima [kA]	Corriente de Cortocircuito Trifásica Mínima [kA]
Circuito ramal 1	1.26	NA
Circuito ramal 2	1.54	NA
Circuito ramal 3	1.60	NA
Circuito ramal 4	1.60	NA
Circuito ramal 5	1.60	NA

Tabla 7

Corrientes de cortocircuito aguas arriba de los circuitos ramales de la subestación 2

Descripción	Corrientes de Cortocircuito (kVA)			
	3 ϕ Max.	2 ϕ Max.	3 ϕ Min.	2 ϕ Min.
Aguas arriba de los circuitos ramales	3.63	3.14	NA	2.65

Para tener acceso a la información correspondiente al informe del cálculo de protecciones para las dos subestaciones, se hace necesario recurrir a la carpeta de documentos adicionales, en la parte donde están asignadas las carpetas de Protecciones Subestación 1 y Protecciones Subestación 2 exactamente en los documentos de Microsoft Word “Informe Cálculo Protecciones Subestación 1” e “Informe Cálculo Protecciones Subestación 2”.

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

De acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica Colombiana en su apartado 4552 – 3 Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos) se efectúa un análisis del nivel de riesgo por estas descargas atmosféricas y las medidas de protección.

Para llevar a cabo el análisis se tiene en cuenta en primera instancia el cuadro que muestra el indicador de los parámetros del rayo como se muestra a continuación.

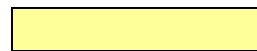
Tabla 8

Indicador de parámetros del rayo

Densidad de descargas a tierra [Descargas/Km ² - año]	Corrientes pico absoluta promedio [kA]		
	$40 \leq I_{abs}$	$20 \leq I_{abs} < 40$	$I_{abs} < 20$
$30 \leq DDT$			
$15 \leq DDT < 30$			
$5 \leq DDT < 15$			
$DDT < 5$			



Severos



Altos



Medios



Bajos

Nota. Adaptado de la norma NTC 4552

Esto, para establecer y definir la DDT (Densidad de Descargas a Tierra) dada en [Descargas/km² – año] en el municipio de Bucaramanga donde tiene un valor igual a la unidad y una corriente pico absoluta menor a 20 [kA]. Una vez hecho mención de lo anterior, se puede decir que, según lo que indica la tabla, el nivel de riesgo para el indicador de los parámetros del rayo es bajo en dicho municipio.

En segunda instancia, se ejecuta un cálculo del indicador de gravedad a partir de la siguiente ecuación:

$$I_G = I_{USO} + I_T + I_{AA} \quad (5)$$

En 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.

Como estos tres términos mencionados anteriormente son desconocidos, se procede a hacer uso de las siguientes tablas donde se establece un valor para cada una de las variables de la ecuación (5) como sigue:

Tabla 9

Subindicador relacionado con el uso de la estructura (I_{USO})

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. Adaptado de la norma NTC 4552

Por lo tanto, se obtiene un valor nulo para la primera variable como se muestra a continuación

$$I_{USO} = 0 \quad (6)$$

Tabla 10

Subindicador relacionado con el tipo de estructura I_T

Tipo de estructura	Indicador
No metálica	40
Mixta	20
Metálica	0

Nota. Adaptado de la norma NTC 4552

De esta manera, el segundo valor encontrado para el término correspondiente a I_T se da de la siguiente manera:

$$I_T = 20 \quad (7)$$

Tabla 11

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 a 900 m ²	
Altura menor a 25 m	10
Altura mayor o igual a 25 m	20

Nota. Adaptado de la norma NTC 4552

Como tercer variable solución se tiene:

$$I_{AA} = 10 \quad (8)$$

Por último, ya habiendo obtenido los valores de las variables necesarias para así encontrar el indicador de gravedad reemplazando estos valores seleccionados en la ecuación (5) obteniendo como resultado final:

$$I_G = 0 + 20 + 10 = 30 \quad (9)$$

Tabla 12*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. Adaptado de la norma NTC 4552

Ahora, adaptando el valor del indicador de gravedad en donde se deduce que es un indicador leve de acuerdo a lo que muestra la figura anterior. A partir de los valores obtenidos ya se define el nivel de riesgo que es el siguiente paso para llevar a cabo el proceso de tener en cuenta las medidas de protección contra rayos.

Tabla 13*Matriz de niveles de riesgo*

<u>Gravedad</u>	Severa	Alta	Media	Baja	Leve
Parámetros					
Severos	Alto			Medio	
Altos					
Moderados	Medio		Bajo		
Bajos					

Nivel de Riesgo de la estructura ■ Alto ■ Medio ■ Bajo

Nota. Adaptado de la norma NTC 4552

Como se puede observar en la tabla anterior correspondiente a la matriz de riesgos, esta arroja un nivel de riesgo bajo debido a que como se puede apreciar en la selección de los diferentes parámetros de la tabla (13), éstos indican dicho nivel teniendo en cuenta los aspectos tenidos en cuenta a la hora de obtener una definición del indicador de gravedad que claramente está conformado por las tres variables ya encontradas; es por esto que no hubo la necesidad de llegar a realizar el sistema completo de protección contra rayos externo.

5.1.5 Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos

Dar respuesta a este inciso requiere obtener una explicación para la parte primeramente del análisis de riesgos de origen eléctrico como se hace mención en el subtítulo; y para esto se toma como referencia la matriz de análisis de riesgos que sugiere el RETIE.

Como se pueden ver los resultados del análisis de riesgos continuamente

Tabla 14

Análisis de riesgos de origen eléctrico




Fuentes	Factor de riesgo	Consecuencias	Nivel de riesgo
Tablero eléctrico	Arco eléctrico	Puede generar una o más muertes, daños mayores y salida de subestación.	Alto
Tablero eléctrico, cajas de inspección, conjunto poste- luminaria.	Contacto directo e indirecto	Puede generar una más muertes, daños importantes e interrupción breve.	Alto
Tablero eléctrico, cajas de inspección, conjunto poste- luminaria.	Corto circuito	Puede generar molestia funcional (afecta rendimiento laboral), daños importantes e interrupción breve.	Medio
Tablero eléctrico, cajas de inspección, conjunto poste- luminaria.	Electricidad estática	Puede generar molestia funcional (afecta rendimiento laboral) y daños leves sin interrupción.	Muy bajo

Tablero eléctrico, cajas de inspección, conjunto poste-luminaria.	Ausencia de electricidad	Puede generar molestia funcional (afecta rendimiento laboral) y daños severos con interrupción temporal.	Medio
Tablero eléctrico, conjunto poste-luminaria.	Equipo defectuoso	Puede generar molestia funcional (afecta rendimiento laboral) y daños severos con interrupción temporal	Medio
Tablero eléctrico, conjunto poste-luminaria.	Rayos	Puede generar una o más muertes, daños mayores con salida de subestación y contaminación localizada.	Alto
Tablero eléctrico, conjunto poste-luminaria.	Sobre carga	Puede generar molestia funcional y daños importantes con interrupción breve.	Medio
Malla de puesta a tierra.	Tensión de paso o contacto	Puede generar una o más muertes y daños mayores con salida de subestación.	Medio

A continuación, se encuentran las decisiones y acciones para controlar el riesgo.

Tabla 15

Decisiones y acciones para controlar el riesgo

COLOR	NIVEL DE RIESGO	DECISIONES A TOMAR Y CONTROL	PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS
	Muy alto	<i>Inadmisibles para trabajar.</i> 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 participa y aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y autoriza su realización, mediante un Permiso Especial de Trabajo (PES).
	Alto	<i>Minimizarlo.</i> Buscar alternativas que presenten menor riesgo. Demostrar cómo se va a controlar el riesgo, aislar con barreras o distancia, usar EPP. Requiere permiso de trabajo.	El jefe o supervisor del área involucrada, aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el Permiso de Trabajo (PT) presentados por el líder a cargo del trabajo.
	Medio		

	<p>Aceptarlo. Aplicar los sistemas de control (minimizar, aislar, suministrar EPP, procedimientos, protocolos, lista de verificación, usar EPP). Requiere permiso de trabajo.</p>	El líder del grupo de trabajo diligencia el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el jefe de área aprueba el Permiso de Trabajo (PT) según procedimiento establecido.
Bajo	<p>Asumirlo. Hacer control administrativo rutinario. Seguir los procedimientos establecidos. Utilizar EPP. No requiere permiso especial de trabajo</p>	El líder de trabajo debe verificar: *¿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.

5.1.6 Análisis del nivel de tensión requerido

Para el presente proyecto a llevar a cabo, y teniendo en cuenta el análisis del nivel de tensión que el proyecto demanda -media y baja tensión-, la sección encargada por parte de la oficina de alumbrado público del municipio de Bucaramanga, estimó de acuerdo a la zona en la que se va a desarrollar el proyecto los valores que emplea el operador de red de los niveles de tensión a tener en cuenta según la capacidad instalada tenida en cuenta y como referencia se establecen en dos partes o ítems fundamentales; por un lado, en cuanto a media tensión con un nivel de 13200 [V] y en cuanto al apartado restante, correspondiente al lado de baja tensión, un nivel requerido de 380/220 [V]. Es por esto que, en este caso no se hace efectivo o no se da cumplimiento al ítem en mención (análisis del nivel de tensión requerido). No se realizó un análisis del nivel de tensión requerido debido a las limitaciones existentes. Lo que sí se hizo fue una verificación del nivel de tensión proporcionado compatible con el área del tramo de la vía.

5.1.7 Cálculo de campos electromagnéticos

Para hacer mención de lo que establece este ítem, y teniendo como base lo que rige o concierne a este proyecto, fundamentando con un complemento del capítulo 14 exactamente en el

apartado 14.4. Cálculo y medición de campos electromagnéticos del RETIE en su última versión (año 2013) que hace mención en su primer párrafo a la parte correspondiente al diseño de subestaciones de tensión superior a 57,5 [kV], en zonas donde se tengan en las cercanías o edificaciones ya construidas.

Habiendo hecho mención de esto, no fue necesario el hecho de llevar a cabo un cálculo como tal de campos electromagnéticos, ya que la tensión del proyecto no supera los 57,5 [kV] debido a que es un proyecto de baja tensión. RETIE 2013 (Artículo 14.4 cálculo y medición de campos electromagnéticos).

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

A la hora de hacer la selección de cada uno de los transformadores a ser empleados, teniendo en cuenta los efectos de los armónicos y el factor de potencia en la carga, los cálculos que se emplearon para dicha elección están consignados en el documento de Microsoft Excel nombrado Memorias de cálculo en las hojas correspondientes a Trafo y acom s1; trafo y acom s2. Para la parte de los niveles de tensión a emplear, de acuerdo a la demanda calculada para cada subestación, se hace conveniente poner a disposición dos transformadores de 45 [kVA] cada uno de tipo semisumergibles; que serán instalados finalmente en bóvedas de concreto subterráneas, con niveles de tensión correspondientes a 13200/380/220 [V].

5.1.9 Cálculo del sistema de puesta a tierra

Para dar una respuesta concreta al cálculo del sistema de puesta a tierra, es claro hacer mención a la norma que lo fundamenta y hace énfasis en lo relacionado con este tema como lo es la NTC 389/03 donde indica que para llevar a cabo el cálculo de la malla de puesta a tierra es necesario localizar primeramente el SPT -Sistema de Puesta a Tierra- dentro del sistema eléctrico

claramente, en segunda instancia, no pasar por alto la existencia de los sistemas derivados independientes, y, por último, los requisitos de los procesos y las necesidades de los equipos para las dos subestaciones donde fue necesario tener en cuenta los siguientes valores; para la subestación 1 la corriente de falla es de 2.31 [kA] rms; este valor fue suministrado por la empresa comercializadora de energía a nivel de la región (Santander), la ESSA. El tiempo de despeje de la falla según el RETIE fue de 0.2 [s] y el calibre mínimo del conductor es de 2/0. Ahora bien, para la subestación restante -subestación 2- la corriente de falla es de 3.76 [kA] rms donde este valor eficaz fue proporcionado a su vez también por la ESSA, el tiempo de despeje de la falla según el Reglamento técnico de instalaciones eléctricas fue el mismo, es decir, de 0.2 [s] y el calibre mínimo del conductor corresponde al valor exacto para la subestación 1 que es de 2/0.

Una vez mencionado lo anterior y haciendo uso de la plantilla de Excel que consta de una serie de tablas con fórmulas que rige la NTC 389/3 se determinó si los valores implementados posibilitan o no el hecho de que la malla de puesta a tierra en general, o el SPT obedezca las condiciones que se muestran en la figura próxima para lo que comprenden las dos subestaciones. Además de la utilización de la norma IEEE 80 aprobada el día 11 de diciembre del año 2013 para determinar la memoria de cálculo para el diseño de mallas de puesta a tierra empleando esta metodología que adopta dicha norma.

Tabla 16

Escenario para la MPT s1

IMPEDANCIA EQUIVALENTE APRÓX. R_{tg}/R_{dg}					3,334367
TENSIÓN DE MALLA $EM \leq$ CONTACTO TOLERABLE					
EM [kV]	0,452	\leq	ET [kV] (50 Kg)	3,379	SI
EM [kV]	0,452	\leq	ET [kV] (70 Kg)	4,573	SI

TENSIÓN DE PASO REAL \leq TENSIÓN DE PASO TOLERABLE					
ES [kV]	0,224	\leq	ES [kV] (50Kg)	0,864	SI
ES [kV]	0,224	\leq	ES [kV] (70Kg)	1,170	SI

Tabla 17

Situación para la MPT s2

IMPEDANCIA EQUIVALENTE APRÓX. Rtg/Rdg					3,334367
TENSIÓN DE MALLA EM \leq CONTACTO TOLERABLE					
EM [kV]	0,617	\leq	ET [kV] (50Kg)	3,584	SI
EM [kV]	0,617	\leq	ET [kV] (70Kg)	4,851	SI
TENSIÓN DE PASO REAL \leq TENSIÓN DE PASO TOLERABLE					
ES [kV]	0,315	\leq	ES [kV] (50Kg)	0,915	SI
ES [kV]	0,315	\leq	ES [kV] (70Kg)	1,239	SI

Para tener un concepto más claro, o corroborar lo observado en las tablas (16) y (17), donde se evidencia que la malla de puesta a tierra es la adecuada conforme a los valores que contiene cada uno de los cuadros para dar cumplimiento a cada una de las condiciones ya establecidas; éstos cálculos se encuentran en las hojas que llevan por nombre ‘Cálculo SPT 1’ y ‘Cálculo SPT 2’, en el documento de Excel denominado Memorias de cálculo-calle 45, en la carpeta de Memorias de cálculo en la parte de documentos adicionales.

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

En primera instancia, para el desarrollo completo de este ítem, para la parte económica o el cálculo económico de conductores no se lleva a cabo; razón por la que, al momento de elegir la mejor opción para el conductor, no se tiene en cuenta ya que no es un componente determinante

para tomar la decisión. En cuanto al desarrollo de este ítem al momento de elegir el conductor a ser empleado en cada circuito fue necesario tener en cuenta una serie de parámetros para que, de esta manera, la elección a ser tomada en cuenta sea la más adecuada; parámetros como la regulación, la ocupación de los ductos y la corriente nominal. Esto considerando que a cada uno de los parámetros establecidos y ya habiendo hecho referencia, se les desarrolla un análisis previo para una vez realizado este estudio, definir el tipo de conductor que es el que más se acomoda al tipo de circuito de cada subestación haciendo mención que para este caso, existe la presencia de dos subestaciones a implementar. Los datos que se tuvieron en cuenta para realizar esta selección y que son arrojados para cada parámetro se pueden ver en la parte de memorias de cálculo precisamente en las hojas llamadas ‘circuito 1 subestación 1’, ‘circuito 2 subestación 1’, ‘circuito 2 subestación 1’ ‘OCP DUCTOS S1’, ‘circuito 1 subestación 2’, ‘circuito 2 subestación 2’, ‘circuito 3 subestación 2’, ‘circuito 4 subestación 2’, ‘circuito 5 subestación 2’ y ‘OCP DUCTOS S2’ que se encuentran en el documento de Excel ‘MEMORIAS DE CALCULO – CALLE 45’. Una vez tenido en cuenta y habiendo mencionado esto, el conductor seleccionado en primera instancia fue el de tipo AL-THHN No. 2 para los tres circuitos de la subestación 1 y el circuito 1 de la subestación 2 para la fase y el neutro; y AL-THHN Serie 8000 No. 6 para la tierra. El de tipo AL-THHN No. 1/0 para el circuito 2,3, 4 y 5 de la subestación 2 para la fase y el neutro, y AL-THHN Serie 8000 No. 6 para la tierra.

5.1.11 Verificación 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

Como primera parte a dar solución, el caso correspondiente a la verificación de los conductores se ejecutó con base en Ecodial; donde se comprueba la corriente de cortocircuito, ya

que al realizar la simulación el software arroja una alternativa precisa del conductor a usar en cada uno de los circuitos que conforman las dos subestaciones.

Para el caso inicial -correspondiente a la subestación uno- los seis circuitos que componen el sistema correspondiente presentaron el mismo tipo de conductor que es idéntico para la fase y el neutro de tipo AL-THHN Serie 8000 No. 2 y para la tierra de tipo: AL-THHN Serie 8000 No. 6.

Siguiendo el prototipo anterior, para la subestación dos, el primer circuito de los cinco, presentó las mismas características en cuanto al tipo de conductor que en el caso anterior (subestación uno) para el caso correspondiente a la fase y al neutro que es el de tipo AL-THHN Serie 8000 No. 2 y para la tierra AL-THHN Serie 8000 No. 6, mientras que los cuatro circuitos restantes presentaron algunas diferencias en cuanto al tipo de conductor el cual es para la fase y el neutro y es de tipo AL- THHN No. 1/0 y para la tierra el mismo comportamiento que el primer circuito AL-THHN No. 6, o respecto a la subestación número uno, pero todos ellos cuatro con el mismo prototipo debido al aumento de carga en estos cuatro circuitos especialmente.

El conductor escogido de acuerdo a lo mencionado en el ítem anterior (5.1.10. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.) es claro hacer mención que, el conductor por el que se opta es el mismo que el que proporciona el software de simulación Ecodial, de donde se puede decir que es una clara muestra que la decisión tomada es la correcta para cada caso según corresponda.

Para acceder a los resultados que proporciona Ecodial se puede por medio de la carpeta de documentos adicionales, en la parte de las carpetas de 'Protecciones Subestación 1' y 'Protecciones Subestación 2' específicamente en los documentos de Word "Informe Cálculo Protecciones Subestación 1" e "Informe Cálculo Protecciones Subestación 2".

5.1.12 Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos

Inicialmente, en la parte correspondiente a la estructura de los postes el apartado está asignado en la carpeta de Planos en el documento PDF ‘Plano de Detalles Obras Civiles’ en la carpeta de documentos adicionales. Para esta parte del cálculo mecánico de estructuras que para el proyecto en este caso consta de postes; donde es la parte inicial de este punto, no se realizó debido a que al proveedor Mobiliario Urbano Colombia -MUC- SAS, se le realiza una solicitud detallada del costo y a su vez del diseño basado en la norma técnica de la ESSA correspondientes a la parte de los cálculos y diseños de sistemas de distribución para los postes tipo TAO.

5.1.13 Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes

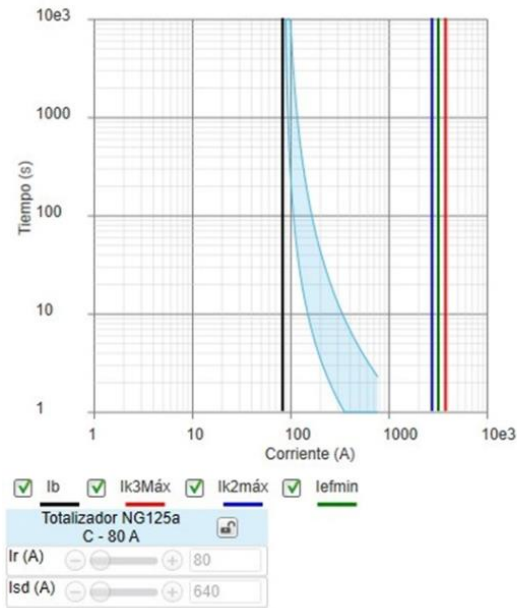
El proceso crítico en sistemas eléctricos capaz de afianzar que, en caso de una sobrecarga o un cortocircuito, se active la protección precisa de cierta manera que sea eficaz para así poder aislar o separar la falla y reducir las interrupciones en el suministro de la energía es el proceso de la coordinación de protecciones contra sobrecorrientes, donde esta coordinación, se construye con la ayuda de la herramienta de diseño para este cálculo llamada Ecodial donde se lleva a cabo un previo estudio y análisis de selectividad respectivo a cada una de las subestaciones por aparte, esto con el objetivo de distinguir las protecciones necesarias y que se adecúan a lo que demanda cada circuito, donde por medio de gráficas se pudieron obtener los siguientes hallazgos:

En primera medida, la subestación uno aguas arriba de los circuitos la protección que escogió el software fue NG125A, como se ve reflejado en la figura (2) y en la tabla (18).

Caso particular de los circuitos ramales la protección brindada por el software fue la IDPN, este resultado se puede observar en las últimas figuras de esta primera parte.

Figura 2

Corrientes de la protección aguas arriba de los circuitos ramales de las subestaciones 1 y 2



Nota. Extraído de la simulación del software ECODIAL

Tabla 18

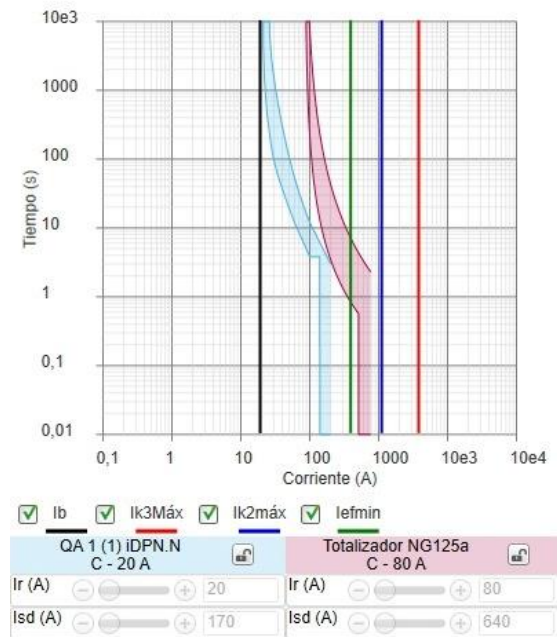
Especificaciones de la protección aguas arriba de los circuitos ramales de la subestación 1 y 2

Protección	
Norma	Industrial
Gama	Acti9 NG125
Protección	NG 125a
Calibre (A)	80
Poder de corte (A)	16
Pdc unipolar en TN (kA)	NaN
Polos	3P3d
Relé / Curva	C
Calibre del relé (A)	80
Largo retardo (A)	80
Versión desenchufable	Imposible
Mecanismo del motor	Imposible

Nota. Extraído de la simulación del software ECODIAL

Figura 3

Característica tiempo-corriente de interruptores para el circuito ramales de las subestaciones 1 y 2



Nota. Extraído de la simulación del software ECODIAL

Para la subestación continua, es decir, la subestación dos aguas arriba, para los circuitos contenidos en la subestación presente la protección que determinó el Ecodial fue la de NG125A, como pasó en el caso anterior, se obtuvieron los mismos resultados.

De igual manera, para el asunto de los circuitos ramales la protección que sugiere dicho software fue la IDPN, como se mencionó anteriormente.

Dichos resultados se pueden ver en la figura (3) y en la tabla (19) expuesta a continuación.

Tabla 19

Especificaciones de la protección para los circuitos ramales de las subestaciones 1 y 2

Protección	
Norma	Industrial
Gama	Acti9 iDPN
Protección	iDP.N
Calibre (A)	20
Poder de corte (A)	10
Pdc unipolar en TN (kA)	NaN
Polos	3P3d
Relé / Curva	C
Calibre del relé (A)	20
Largo retardo (A)	20
Versión desenchufable	Imposible
Mecanismo del motor	Imposible

Nota. Extraído de la simulación del software ECODIAL

5.1.14 Cálculo de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.)

El cálculo de canalizaciones mencionados en el subtítulo anterior, y el volumen de encerramientos indicados previamente, se hicieron uso de las tablas del apéndice C de la norma NTC 2050 donde resaltan los cuadros de ocupación de los tubos y tuberías por conductores y cables de aparatos, para ducto PVC y cableado de tipo THHN donde se fueron escogidos los ductos de 2” para los conductores eléctricos del alimentador de las redes de alumbrado público en calibre #4.

Para validar el cálculo del volumen de las cajas de inspección, a continuación, se expone la tabla (20) basada en la misma Norma Técnica Colombiana -NTC 2050- en su sección 370 (Cajas

de salida, de dispositivos, de paso y de empalmes, conduletas y sus accesorios) proporcionada por parte de la oficina de alumbrado público.

Tabla 20

Volumen de las cajas de inspección

DESCRIPCIÓN Medidas internas [mm]	CAJA		DUCTOS POR FILA				FILAS			
	L/ W min [mm]	H [mm]	1"	1- 1/2"	2"	3"	1"	1- 1/2"	2"	3"
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
			33,4	48,26	60,32	88,9	33,4	48,26	60,32	88,9
Media Tensión 700x1200x1200	800	1200	18	11	8	3	10	8	7	6
Bajo Tensión 1000x1000x880	1000	820	24	15	11	N/A	8	6	6	N/A
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

5.1.15 Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia

Las pérdidas de potencia se llevan a cabo por medio de la expresión mostrada en las líneas abajo, proporcionada por la oficina de alumbrado público, donde para cada una de dichas pérdidas se realiza por tramo de los circuitos existentes en las dos subestaciones, y donde se aplica la demanda por horas facilitada por la ESSA (operador de red) para determinar el porcentaje de pérdidas de potencia y de energía para una a una de las subestaciones, obteniendo los siguientes resultados y para los que hay más información o se pueden evidenciar claramente en la carpeta de documentos adicionales, consignada la carpeta de Memorias de cálculo precisamente en el

documento adjunto de Excel Memorias de cálculo-calle 45, en las hojas ‘circuito 1 subestación 1’, ‘circuito 2 subestación 1’, ‘circuito 2 subestación 1’, ‘circuito 1 subestación 2’, ‘circuito 2 subestación 2’, ‘circuito 3 subestación 2’, ‘circuito 4 subestación 2’, ‘circuito 5 subestación 2’.

Los circuitos que conforman la subestación uno como lo son el circuito 1,2 y 3 obtuvieron una pérdida de energía de 0.7137, %; 2,7460% y 2,6330% respectivamente.

Igualmente, para los mismos circuitos y añadiendo los circuitos 4 y 5 en este caso de la subestación dos se obtuvo una pérdida de energía de 1,7199% para el circuito 1, para el circuito 2 un valor de 3,0304%, para el circuito número 3 un valor de 2,9890%, para el siguiente circuito que es el número 4, un valor de 2,5421% y una pérdida de energía de 2,3673% para el circuito final (circuito número 5).

$$Pp\% = \frac{l * r}{1000 * \#fases * f.p.* (imáx * demanda)^2} \quad (10)$$

Donde,

Concepto	
Pp%	Porcentaje de pérdida de potencia por tramo
l	Longitud del tramo en unidades de metros
r	Resistencia del conductor a 50°C y a 60 [Hz] en [Ω /Km]
f.p	Factor de potencia
imáx	Corriente máxima por tramo
demanda	Demanda

5.1.16 Cálculos de regulación

Tabla 21

Resultados cálculos de regulación de los circuitos ramales de cada subestación

Cálculo de Regulación			
	Circuito	%Regulación Max. (<5%)	Distancia [m]
Subestación 1	1	3.05	1.588
	2	4,60	1.389
	3	4,57	1.412
Subestación 2	1	3.05	891
	2	4.10	2.304
	3	4.12	2.369
	4	3,92	2.417
	5	3,67	2.393

Estos resultados obtenidos se pueden evidenciar también en el documento de Excel que tiene por nombre ‘Memorias de cálculo-calle 45’ en las hojas correspondientes a ‘circuito 1 subestación 1’, ‘circuito 2 subestación 1’, ‘circuito 2 subestación 1’, ‘circuito 1 subestación 2’, ‘circuito 2 subestación 2’, ‘circuito 3 subestación 2’, ‘circuito 4 subestación 2’, ‘circuito 5 subestación 2’ respectivamente, en la parte proporcionada para la carpeta de documentos adicionales. De estos datos obtenidos en la tabla mostrada previamente, se puede ver que dichos porcentajes de regulación máx., no exceden el margen establecido por la ESSA correspondiente al 5%, por lo que se puede mencionar que tanto el calibre del conductor seleccionado como la cantidad de circuitos fueron distribuidos de una manera equitativa y correcta para cada subestación.

5.1.17 Clasificación de área

Para dar respuesta a lo relacionado con la clasificación de área, según lo que expone la Norma Técnica Colombiana -NTC 2050- que tiene como fin salvaguardar las personas y los bienes contra riesgos que se puedan presentar o sean causados por la electricidad, establece áreas de clase 1, 2 y 3 con sus respectivos niveles que se consideran como áreas peligrosas no siendo este el caso para el desarrollo del actual proyecto; es por esto que esta parte vinculada al área y clasificación de la misma no aplica. En el Código eléctrico colombiano NTC 2050 (Primera actualización), específicamente en el capítulo 5 que aborda los Ambientes especiales, se destaca la sección 500 relacionada con "Lugares Peligrosos (Clasificados)". En esta sección, que comprende desde la 500 hasta la 505, se detallan los requisitos de los equipos eléctricos, sin importar la tensión, instalados en lugares, tales como Clase I (Divisiones 1 y 2), Clase II (Divisiones 1 y 2) y Clase III (Divisiones 1 y 2). En la última sección, la Sección 505, del Código Eléctrico Colombiano NTC 2050, se esclarecen los requisitos de los lugares peligrosos de Clase I, Zona 0, Zona 1 y Zona 2. En el apartado -3 de la Sección 500, denominado "Generalidades", se encuentra el ítem a) "Clasificaciones de Lugares", donde se establecen los parámetros esenciales para la clasificación de estos lugares. Cabe aclarar que, en la Sección 510, titulada "Lugares peligrosos (Clasificados) – Específicos", se menciona que desde la Sección 511 hasta la Sección 517 se nombran los lugares que pueden ser o no peligrosos, según indica la norma.

5.1.18 Elaboración de diagramas unifilares

El contenido con el que cuentan los diagramas unifilares, o la elaboración de los mismos, que se trazaron, o son planeados con el fin de llevar a cabo este proyecto contienen entre otras cosas las proyecciones para cada circuito, que juegan un papel fundamental en el desarrollo del mismo, así como el sistema completo de telegestión, la acometida de media tensión, transformador

de 45 [kVA], las cajas de inspección, el medidor, conductores para cada circuito, información respectiva de los ductos y cables; donde cada uno de los diagramas unifilares que equivale a la subestación correspondiente cuenta con la misma información básicamente y están contenidos en la parte de documentos adicionales en donde se ubica la carpeta que contiene los Planos concretamente en los documentos tipo PDF 'Plano de Detalles Alumbrado Público S1' y 'Plano de Detalles Alumbrado Público S2'.

5.1.19 Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción

Para la construcción del proyecto en general, es necesario elaborar los siguientes planos:

- Plano detallado de media tensión: aquí se encuentra contenida la malla del sistema de puesta a tierra, lo referente al nivel de media tensión con el que cuenta dicho proyecto, así como las cajas de distribución, el poste de apoyo empleado para dicha acometida; plano que se encuentra con el nombre de 'Plano de Detalles MT', con presentación de formato PDF en la carpeta de Planos, en la parte que corresponde a los documentos adicionales, además de los detalles de la subestación semisumergible a poner en la bóveda.
- Plano detallado de alumbrado público: para el desarrollo a cabalidad de estos planos se encuentran los diagramas unifilares correspondientes a cada subestación nueva a ser creada, así como los detalles exteriores del tablero de alumbrado público y los cuadros de cargas, dichos planos se localizan en la carpeta de documentos adicionales también, donde está la carpeta de Planos precisamente en los documentos PDF 'Plano de Detalles AP Subestación 1' y 'Plano de Detalles AP Subestación 2'.
- Plano general del proyecto: este plano contempla el diseño eléctrico de lleno del tramo correspondiente a la vía estipulada a ejecutar en el presente proyecto, esta parte es la que abarca por completo la totalidad del proyecto y se evidencia en la carpeta de documentos

adicionales, donde en la carpeta de Planos específicamente en el documento Pdf ‘Plano General’ está contenida toda la información que respecta al proyecto como tal.

- Plano detallado de las obras civiles: para la realización subjetiva del plano se realiza un listado a tener en cuenta conformado por las cajas de inspección, los postes a utilizar en general y las cajas de baja tensión, este plano se encuentra consignado en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de Planos justamente en el documento de pdf ‘Plano de Detalles obras civiles’.

5.1.20 Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares

En la etapa previa a la finalización, se presenta este apartado de especificaciones de construcción que complementan los planos, donde se incluyen las de tipo técnicas de los elementos y materiales, con cada una de las condiciones en particular, del proyecto se encuentran con el nombre asignado de ‘Especificaciones Técnicas’ de forma pdf en la carpeta de especificaciones en la parte de documentos adicionales.

5.1.21 Establecer las distancias de seguridad requeridas

Teniendo en cuenta que, la prioridad es siempre guardar una distancia respecto a las partes energizadas debido a que el aire como mezcla homogénea de gases atmosféricos es un excelente aislante, en esta parte se fijan las distancias mínimas que deben guardarse o conservarse entre líneas o redes eléctricas y elementos físicos existentes a lo largo de su trazado, para este preciso caso, en la carretera que comprende la vía conforme existe en el tramo relacionado con la longitud del proyecto.

5.1.21.1 Distancias de mínima seguridad para diferentes lugares y situaciones. Las distancias mínimas propuestas por el RETIE para casos generales son como se muestra a continuación:

Tabla 22

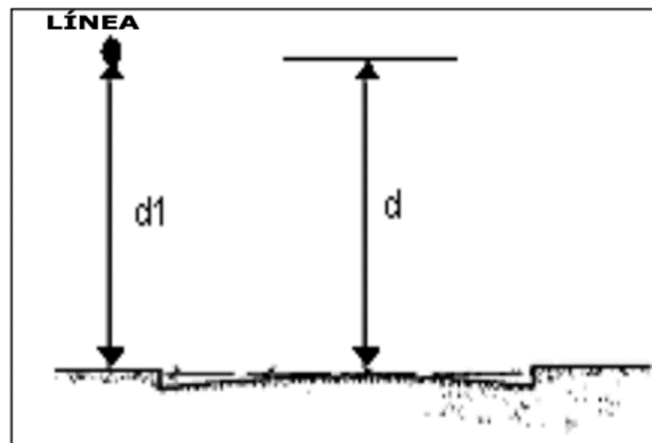
Distancias mínimas de seguridad

Distancias mínimas de seguridad		
Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia mínima al suelo "d"	115	6,1
en cruces con carreteras,	66	5,8
calles, callejones, zonas	34,5	5,6
peatonales, áreas sujetables a	13,2	5,6
tráfico vehicular	< 1	5

Nota. Adaptado de la normativa RETIE

Figura 4

Distancia "d1" y "d" en cruce y recorrido de vías



Nota. Adaptado de la normativa RETIE

5.1.21.2 Distancias mínimas de seguridad en subestaciones. En cuanto a este apartado, es de obligatoriedad para las subestaciones dar cumplimiento a las distancias mínimas mostradas a continuación:

Tabla 23

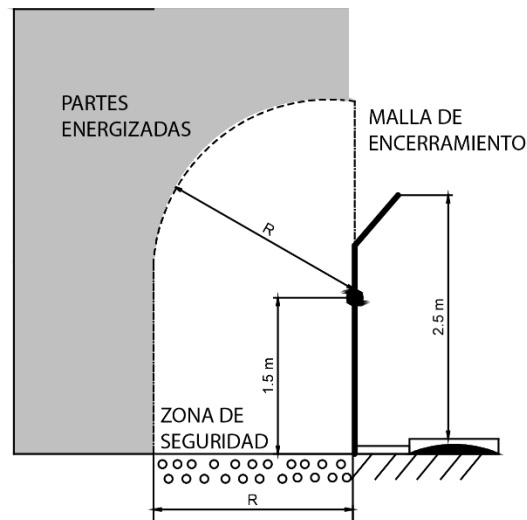
Distancias de seguridad en subestaciones exteriores

Tensión nominal entre fases (kV)	Dimensión "R" (m)
0,151-7,2	3,0
13,8/13,2/11,4	3,1
34,5/44	3,2
66/57,5	3,5
115/110	4,0
230/220	4,7
500	5,3

Nota. Adaptado de la normativa RETIE.

Figura 5

Distancias de seguridad en subestaciones exteriores.



Nota. Adaptado de la normativa RETIE.

Para la parte del diseño de la bóveda para las subestaciones, y el tablero general cumple con las distancias mínimas de seguridad requeridas.

5.1.22 Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación

Para la realización, y finalización de este proyecto, se considera la Norma Técnica Colombiana 2050 teniendo en cuenta que en ningún momento se comprometa la seguridad de los individuos quienes son los usuarios finales o beneficiarios del cumplimiento satisfactorio de dicho proyecto, o incluso de la instalación en general. Gracias a esto, se puede decir que, dentro de la normalidad o lo establecido por las instituciones en este caso (universidad y oficina de alumbrado público) el proyecto no requiere un diseño que no se esté incluido en las normativas vigentes de la norma en mención en las dos primeras líneas del presente escrito.

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

De acuerdo a lo establecido y contemplado al momento de dar inicio al proyecto, dentro de la normalidad no existe la necesidad de llevar a cabo un estudio quizá más detallado o complementario a los ya expuestos. Siendo así que, de esta manera el tipo de instalación empleado sea y cumpla una correcta operación y con el mismo valor de seguridad para los destinatarios finales.

Tabla 24

Diseño eléctrico detallado de la A a la W del RETIE

ITEM	APLICA	NO APLICA
A. Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.	X	

B. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.		X
C. Análisis de cortocircuito y falla a tierra.	X	
D. Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.	X	
E. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.	X	
F. Análisis del nivel de tensión requerido.		X
G. Cálculo de campos electromagnéticos.		X
H. Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.	X	
I. Cálculo del sistema de puesta a tierra.	X	
J. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.		X
K. Verificación 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.	X	
L. Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos.		X
M. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes.	X	
N. Cálculo de canalizadores (tubo, ductos, canales y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.).	X	
O. Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.	X	

P. Cálculos de regulación.	X	
Q. Clasificación de área.		X
R. Elaboración de diagramas unifilares.	X	
S. Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.	X	
T. Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.	X	
U. Establecer las distancias de seguridad requeridas.	X	
V. Justificación técnica de desviación de la ntc 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.		X
W. Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.		X

Nota. En este apartado de los resultados se estudiará el caso aplicable y no aplicable.

5.2 Diseño Fotométrico

Para los resultados del diseño fotométrico, es esencial abordar en esta fase los aspectos clave del proyecto, como la selección de luminarias, su diseño geométrico y sistemas de montaje, los sistemas de alimentación, comando y control eléctricos, y la instalación de alumbrado de emergencia y seguridad si es necesario. Asimismo, se realizan cálculos económicos, se propone un esquema funcional para la eficiencia energética, y se establece un presupuesto del proyecto. Todo esto se documenta en planos, memorias descriptivas y cálculos eléctricos detallados, garantizando un diseño integral y efectivo para el sistema de iluminación.

5.2.1 Levantamiento de la infraestructura de alumbrado público existente

El levantamiento de la infraestructura actual se hace con el fin de conocer el actual estado de la red de alumbrado público de la calle 45, para así poder determinar el área geográfica exacta que se va a cubrir en dicho proyecto, una vez realizado esto, se hace el levantamiento topográfico que cuenta con toda la información de la vía, luminarias existentes, cajas de inspección existentes, ubicación de zonas verdes, para así poder ubicar las nuevas luminarias cumpliendo con los estándares del RETILAP.

5.2.2 Selección de las luminarias a utilizar

Las luminarias para utilizar fueron suministradas por la empresa Dumalux con la referencia DXPRO, DX-APGR-120-SL de 120W, esto para la iluminación de la vía, previamente estipulada por la entidad encargada. A continuación, las especificaciones de la luminaria:

Figura 6

Parámetros de la luminaria DX-APGR-120-SL

Referencia	DX-APGR-120-SL
Potencia	120w
Eficiencia	132,375 Lm/W
CRI	>70
Flujo luminoso	15.885
Conexión	Bornera Interna
Color de Luz	4000K
Vida Útil	100.000 Horas
Dimerizable	Si
Fotocelda	Base 7 Pines
Voltaje	100-277 VAC 50/60HZ
Protección Sobretensiones	DPS Externo 10KV
Factor de Potencia	>0.9
Temperatura	-20° ~ 55°C
Método de Instalación	Sistema de fijación graduable entre -10° y 10°
Material	Cuerpo en Aluminio inyectado de alta presión Difusor de Policarbonato Protegido con Vidrio Templado
Ambiente	Húmedo Exterior
IP	66
IK	08
Aislamiento	Clase II
Garantía	10 años

Figura 7

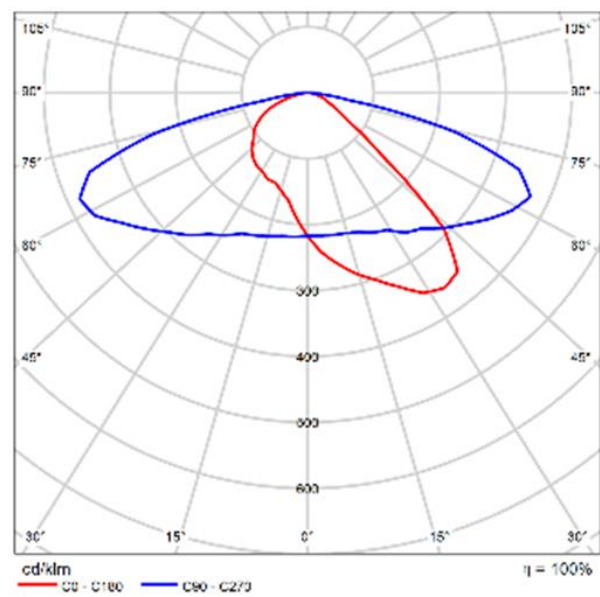
Luminaria DX-APGR-120-SL

**Figura 8**

Sistema de la luminaria DXPRO

**Figura 9**

Espectro luminoso



A continuación, se presentan los resultados que se obtuvieron en la simulación de DIALux correspondientes a las disposiciones de las luminarias con la luminaria a utilizar:

Tabla 25

Resultados simulación en DIALux de la disposición central doble

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (M2)	L _m	1,93 cd/m ²	≥ 1,50 cd/m ²	✓
	U _o	0,66	≥ 0,40	✓
	U ₁	0,81	≥ 0,50	✓
	TI	3%	≤ 10%	✓
	R _{EI}	0,55	≥ 0,35	✓
Calzada 2 (M2)	L _m	1,98 cd/m ²	≥ 1,50 cd/m ²	✓
	U _o	0,63	≥ 0,40	✓
	U ₁	0,68	≥ 0,50	✓
	TI	3%	≤ 10%	✓
	R _{EI}	0,55	≥ 0,35	✓

Nota: Extraído del DIALux

Tabla 26

Resultados simulación en DIALux de la disposición bilateral

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 5 (ME2)	L _m	1,99 cd/m ²	≥ 1,50 cd/m ²	✓
	U _o	0,52	≥ 0,40	✓
	U ₁	0,55	≥ 0,50	✓
	TI	3%	≤ 10%	✓
	SR	0,73	≥ 0,50	✓

Nota: Extraído del DIALux

Como nos podemos fijar cumple con los estipulado en el capítulo 510.2.1 REQUISITOS DE ILUMINACION MANTENIDOS PARA VIAS VEHICULARES, expuesto en el RETILAP.

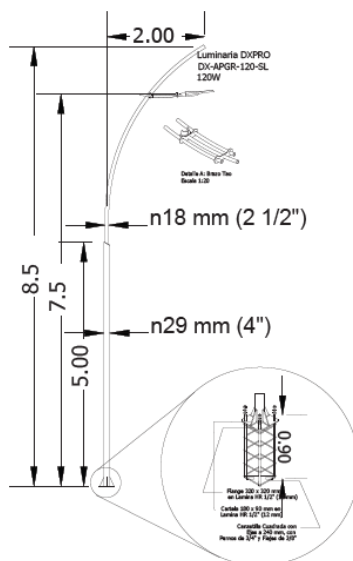
5.2.3 Diseño geométrico y sistema de montaje

Para este proyecto se utilizaron postes con doble brazo y postes con brazo sencillo, esto debido a las diferentes disposiciones que se utilizaron. En el caso de la disposición central doble se utilizó un poste de 10.5m de altura con doble brazo y el brazo con un avance de 2m. Para la disposición bilateral se utilizó un poste de 8.5m con brazo sencillo y este con un avance 2m. Dichos postes fueron suministrados por el MUC (Mobiliario Urbano Colombiano).

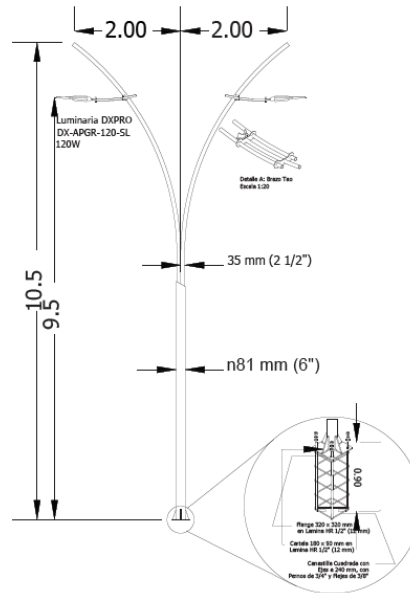
Para ambas disposiciones se tuvieron la misma separación de poste que fue de 20m, en algunos casos por la topografía de la vía, se tuvo una distancia mayor que oscila entre 22m y 26m, esto debido a que había cruces entre separadores más largos, esta medida es calculada en la simulación de DIALux para que se pudieran cumplir con los parámetros expuestos en el RETILAP. A continuación, se muestra los parámetros y medidas de los postes utilizados:

Figura 10

Poste brazo sencillo



Nota. Extraído del MUC.

Figura 11*Poste brazo doble*

Nota. Extraído del MUC.

5.2.4 Cantidades definitivas totales de obra civil, eléctrica y análisis económico

Para este ítem se realizó utilizando el método del CAUE, en la implementación del CAUE se hizo un inventario teniendo en cuenta la cantidad de luminarias y postes de diferente tipo a utilizar con el fin de determinar los costos iniciales. Teniendo en cuenta la luminaria escogida, se realizó la respectiva simulación en el software DIALux, inicialmente con la distancia sugerida (30 m) por parte de los encargados de orientar la práctica. No obstante, dicha simulación no cumplía con las indicaciones del RETILAP, por consiguiente, se toma la decisión de reducir dicha distancia a un valor de 20 m, para finalmente obtener las cantidades que se muestran en la tabla (27).

Tabla 27

Cantidades iniciales para el diseño fotométrico

Descripción	Cantidad
Luminaria DXPRO Ref: DX-APGR-120-SL 120W	508
Postes METALICO BRAZO DOBLE 10,5 METROS	176
Postes METALICO BRAZO SENCILLO 8,5 METROS	156

Una vez con estos datos, se aplica la ecuación del CAUE, para así poder obtener el valor de cada ítem que hace parte del CAUE.

El cálculo del CAUE se encuentra en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta CAUE y el archivo de Excel CAUE-CLL 45 en la página RESUMEN CAUE

Tabla 28

Resultados cálculo CAUE

Descripción	DXPRO
Costos Iniciales	\$ 5.358.296.956,20
Costo inicial anualizado (Cia = CI*FRC)	\$ 389.274.441,31
Costo de mantenimiento anual (Cma)	\$ 36.820.000,00
Costo de Energía anual (CEa) Valor de KW/H Tarifa Alumbrado Público ESSA mes junio 2023	\$ 182.167.629,36
CAUE	\$ 608.262.070,67

5.3 Presupuesto

Para obtener el resultado final del presupuesto que determina el coste general del proyecto a ser llevado a cabo, es un pilar fundamental el hecho de establecer o identificar una lista de pendientes particulares que conforman dicha estimación que será la tenida en cuenta para ejecutar el proyecto y consta de parámetros como el valor de las subestaciones, la certificación, legalización y documentación que requiere la instalación, el retiro de la infraestructura existente a ser reemplazada, los postes o estructuras, las redes del nivel de tensión de alumbrado público aplicable para el proyecto (media tensión), los equipos que son de uso indispensable, las salidas realizadas para inspeccionar el estado actual de las luminarias presentes en el terreno que abarca el proyecto y las luminarias a implementar, donde cada uno de ellos con su valor comercial, hacen parte del presupuesto global del presente proyecto que se realizó por medio de unos análisis de precios unitarios que son el resultado del estudio de una actividad detallada en cantidades, insumos, tiempos de ejecución y costos que acarrea el cumplimiento oportuno del proyecto. Cabe resaltar que, para llegar a este paso, previamente se debe hacer un análisis económico. Inicialmente la plantilla suministrada del presupuesto, contaba con precios de algunas cantidades correspondientes al año 2020, donde se optó por actualizar dichos valores. El presupuesto del proyecto a materializar, se puede encontrar con fines más detallados y específicos en la parte correspondiente a la carpeta de documentos adicionales exactamente en la carpeta de APUS incluido en el documento de Excel con nombre de APUS CALLE 45 en su hoja 01-PTO. Anexo a esto, por parte de la ESSA dio solución a las solicitudes de factibilidad pedidas en donde contestaron de manera positiva y se encuentra anexas en la carpeta de Factibilidad precisamente en los documentos tipo PDF llamados 'Respuesta Factibilidad S1' y 'Respuesta Factibilidad S2'.

Tabla 29*Presupuesto del proyecto*

Descripción	Valor total
Retiro de infraestructura existente	\$ 31.743.109
Redes de media tensión de alumbrado público	\$ 155.229.244
Subestación	\$ 165.163.402
Estructuras	\$ 1.264.716.855
Equipos	\$ 1.700.808.247
Salidas	\$ 794.431.736
Certificación, legalización y documentación de la instalación	\$ 7.486.367
Presupuesto total	\$ 4.516.794.828

6. Conclusiones

De acuerdo a lo establecido con el fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados para el desarrollo efectivo del proyecto, se puede decir que, se cumple con plenitud con el diseño de los planos que demanda el proyecto con ayuda del software de AUTOCAD; considerando los planos proporcionados por la Alcaldía de Bucaramanga como resultado del levantamiento topográfico realizado que acata las normas vigentes ESSA, RETIE, RETILAP, NTC con el propósito de actualizar la propuesta existente de la red de alumbrado público con la implementación de la tecnología LED.

Gracias al método del Costo Anual Uniforme Equivalente proporcionado por la empresa de Alumbrado Público, se determina la alternativa más factible correspondiente al diseño fotométrico de manera adecuada para el proyecto que fue proporcionada por la empresa Dumalux, con las luminarias DXPRO.

Una vez realizadas las especificaciones técnicas de los elementos correspondientes al diseño eléctrico del presente proyecto, gracias a los conocimientos previos obtenidos a lo largo de la carrera, con las recomendaciones y plantillas suministradas por el personal de Alumbrado Público, se logra la óptima estipulación del presupuesto final teniendo como referencia el costo-beneficio de cada componente de dicho presupuesto.

Referencias Bibliográficas

- Ministerio de minas y energía. (2008). *Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (RAYOS). Parte 1: Principios generales.* (NTC 4552-1).
- Ministerio de minas y energía. (2008). *Sistemas de puesta a tierra (SPT).* (NTC 389/3).
- IEEE. (2001). *ANSI-IEEE (std 242-2001).*
- IEEE. (2019). *IEEE (std 3002.3-2018).*
- IEEE. (s.f). *ANSI-IEEE (std 80/2000).*
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *RETILAP.*
- Ministerio de Minas y Energía. (2013). *RETIE.*
- ¿Qué es el CAUE? (Costo Anual Uniforme Equivalente). *¿QUE ES EL CAUE? (Costo anual uniforme - Studocu (s.f). Studocu.* <https://www.studocu.com/co/document/politecnico-grancolombiano/matematicas/que-es-el-caue-costo-anual-uniforme-equivalente/23423423>
- ¿Qué es el RETIE?, y porque es obligatoria la NTC 2050. (s.f). *Retie Ingeniería y Gestión.* <https://www.retieingenieriaygestion.com/que-es-el-retie/>
- ¿Qué es el RETILAP? – Retie Ingeniería y gestión. (s. f). *Retie Ingeniería y Gestión.* <https://www.retieingenieriaygestion.com/que-es-retilap/>
- ESSA. (s.f). *Proceso vinculación clientes.* <https://www.essa.com.co/site/clientes/hogar/proceso-vinculacion-clientes>
- León Vargas, E.P., & Ruiz Rojas, D.T. (2023) *Rediseño Eléctrico de la Red de alumbrado público desde la Calle 105 hasta la calle 66 del municipio de Bucaramanga.* [Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista, Universidad Industrial de

Santander]. Repositorio de la Universidad Industrial de Santander.

<https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/14302>

Pita Laverde, S.A., Meneses Contreras, J.A., & Pacheco Plazas, J.C. (2023) *Rediseño de las Instalaciones Eléctricas de la I. E. INEM Custodio García Rovira de Bucaramanga*. [Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio de la Universidad Industrial de Santander.

<https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/14497>

Sánchez Santander, M.A., & Jiménez Rosero, H.B. (2013) *Diseño de Alumbrado Público de la Calle 26 de Bogotá D.C. Con bombilla LED*. [Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista, Universidad de la Salle]. Repositorio de la Universidad de la Salle.

https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/38

Armijos Ramón, A.J., & Suquilanda Ramón, C.A. (2011) *Rediseño de la red distribución eléctrica y alumbrado público para las calles regeneradas de Saraguro*. [Tesis de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Electromecánico, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital de la Universidad Nacional de Loja.

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12428>

"IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding," in IEEE Std 80-2013 (Revision of IEEE Std 80-2000/ Incorporates IEEE Std 80-2013/Cor 1-2015) , vol., no., pp.1-226, 15 May 2015, doi: 10.1109/IEEESTD.2015.7109078.