

Rediseño eléctrico de la red de alumbrado público desde la calle 105 hasta la calle 66 del  
municipio de Bucaramanga.

Dany Tatiana Ruiz Rojas y Erika Paola León Vargas

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniera Electricista

Director

José David Cortes Torres

Msc. En Ingeniería eléctrica

Codirector

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

PhD en Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingeniería Fisicomecánica

Escuela de ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2023

### **Agradecimientos**

El principal agradecimiento es para Dios quién me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres Gilberto y Martha quienes me acompañaron en esta aventura que significó mi carrera como ingeniera y que, de forma incondicional, entendieron mis ausencias y malos momentos, a ellos que forman parte de mi vida y que desde un principio hasta el día de hoy siguen dándome ánimos para alcanzar las metas y objetivos propuesto.

A mis hermanas Daniela y Vanessa y a mi familia por su comprensión y estímulo constante, además de su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

A mi novio Daniel quien estuvo conmigo en toda ocasión y en los momentos en que el estudio ocupó mi tiempo y esfuerzo. Gracias por toda tu ayuda y comprensión en este proceso.

Gracias también a mi compañera de trabajo de grado Dany, quien me acompañó en todo este proceso y me permitió entrar en su vida durante todo este tiempo ya que sin su ayuda no hubiéramos logrado esta meta.

Agradezco de corazón a nuestro tutor durante las practicas el Ing. German Montero, por haber confiado en nosotras, por la paciencia y por la dirección de este trabajo. A nuestro director del trabajo de grado el Ing. José David Cortes Torres por sus consejos, el apoyo y el ánimo que nos brindó.

A la universidad y a la escuela de la E3T las cuales abren sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como profesionales consentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico. A todos mil gracias, Dios los bendiga.

**Erika Paola León Vargas**

### **Agradecimientos**

El principal agradecimiento es para Dios quién me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres Gonzalo y Amparo quienes me acompañaron en esta aventura que significó mi carrera como ingeniera y que, de forma incondicional, entendieron mis ausencias y malos momentos, a ellos que forman parte de mi vida y que desde un principio hasta el día de hoy siguen dándome ánimos para alcanzar las metas y objetivos propuesto.

A mi hermano Emanuel y a mi familia por su comprensión y estímulo constante, además de su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

Gracias también a mi compañera de trabajo de grado Erika, quien me acompañó en todo este proceso y me permitió entrar en su vida durante todo este tiempo ya que sin su ayuda no hubiéramos logrado esta meta.

Agradezco de corazón a nuestro tutor durante las practicas el Ing. German Montero, por haber confiado en nosotras, por la paciencia y por la dirección de este trabajo. A nuestro director del trabajo de grado el Ing. José David Cortes Torres por sus consejos, el apoyo y el ánimo que nos brindó.

A la universidad y a la escuela de la E3T las cuales abren sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como profesionales consentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico. A todos mil gracias, Dios los bendiga.

**Dany Tatiana Ruiz Rojas**

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>15</b>
<b>1. Objetivos .....</b>	<b>17</b>
1.1 Objetivo General .....	17
1.2 Objetivos Específicos.....	17
<b>2. Descripción de la Empresa.....</b>	<b>18</b>
2.1 Misión de AP .....	19
2.2 Visión de AP.....	19
<b>3. Marco Conceptual .....</b>	<b>19</b>
3.1 Conceptos de iluminación.....	19
3.1.1 Iluminancia .....	19
3.1.2 Flujo luminoso ( $\Phi$ ).....	19
3.1.3 Luminancia .....	19
3.1.4 Factor de uniformidad general de la luminancia ( $U_o$ ).....	20
3.1.5 Temperatura de color .....	20
3.1.6 Deslumbramiento.....	20
3.2 Conceptos de diseño eléctrico.....	21
3.2.1 Análisis de cortocircuito .....	21
3.2.2 Cálculo de la malla de puesta a tierra (MPT) .....	21
3.2.3 Sistema de puesta a tierra.....	21
3.2.4 Distancias de seguridad.....	21
3.2.5 Coordinación de protecciones.....	21

3.2.6 Cálculo de perdidas.....	22
3.3 Metodología del CAUE .....	22
<b>4. Metodología.....</b>	<b>24</b>
4.1. Diseño eléctrico .....	24
4.2. Diseño Fotométrico.....	27
4.3. Presupuesto .....	28
<b>5. Resultados.....</b>	<b>28</b>
5.1. Diseño Eléctrico.....	28
5.1.1. Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.....	29
5.1.2. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.....	30
5.1.3. Análisis de cortocircuito y falla a tierra.....	30
5.1.4. Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos. ....	32
5.1.5. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos. ....	35
5.1.6. Análisis del nivel tensión requerido.....	37
5.1.7. Cálculo de campos electromagnéticos.....	38
5.1.8. Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.....	38
5.1.9. Cálculo del sistema de puesta a tierra.....	38
5.1.10. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.....	39
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. .	40

5.1.12. Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos. ....	40
5.1.13. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes. ....	41
5.1.14. Cálculo de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.). ....	44
5.1.15. Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia. ....	46
5.1.16. Cálculos de regulación. ....	47
5.1.17. Clasificación de área. ....	48
5.1.18. Elaboración de diagramas unifilares. ....	48
5.1.19. Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción. ....	49
5.1.20. Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares. ....	50
5.1.21. Establecer las distancias de seguridad requeridas. ....	50
5.1.21.1. Distancias de mínima seguridad para diferentes lugares y situaciones. Las distancias mínimas sugeridas por el RETIE para casos generales son: ....	50
5.1.21.2. Distancias mínimas de seguridad en subestaciones. Las subestaciones deben satisfacer las distancias mínimas mostradas a continuación: ....	51
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. ....	52
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. ....	52
5.2. Diseño Fotométrico. ....	52
5.2.1. Selección de las luminarias. ....	52

5.2.2. Diseño geométrico y sistema de montaje.....	54
5.2.3. Sistemas de alimentación, comando y control eléctrico .....	56
5.2.4. Instalación del alumbrado de emergencia y seguridad .....	56
5.2.5. Análisis económico.....	57
5.3. Presupuesto .....	58
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>60</b>
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>61</b>

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Valores mínimos de vida útil de los equipos .....	23
Tabla 2. Diseño eléctrico detallado de la A a la W del RETIE .....	25
Tabla 3. Corrientes de cortocircuito para los circuitos ramales de la subestación 1 .....	30
Tabla 4. Corrientes de cortocircuito aguas arriba de los circuitos ramales de la subestación 1 ...	31
Tabla 5. Corrientes de cortocircuito para los circuitos ramales de la subestación 2 .....	31
Tabla 6. Corrientes de cortocircuito aguas arriba de los circuitos ramales de la subestación 2 ...	31
Tabla 7. Análisis de riesgo de origen eléctrico .....	35
Tabla 8. Número máximo de conductores en tuberías eléctricas.....	45
Tabla 9. Volumen de las cajas de inspección .....	45
Tabla 10. Cálculo de regulación para las dos subestaciones .....	48
Tabla 11. Cantidades iniciales para el diseño fotométrico .....	57
Tabla 12. Cálculo del CAUE .....	58
Tabla 13. Presupuesto total del proyecto .....	59

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Indicador de parametros del rayo .....	32
Figura 2. Subindicador relacionado con el uso de la estructura .....	33
Figura 3. Subindicador relacionado con el tipo de estructura.....	33
Figura 4. Subindicador relacionado con la altura y el area de estructura .....	34
Figura 5. Indicador de gravedad .....	34
Figura 6. Matriz de niveles de riesgo.....	35
Figura 7. Decisiones y acciones para controlar el riesgo.....	37
Figura 8. Condiciones para la MPT S1 .....	39
Figura 9. Condiciones para la MPT S2.....	39
Figura 10. Protección aguas arriba de los circuitos de la subestación 1 .....	42
Figura 11. Corrientes de la protección aguas arriba para la subestación 1 .....	42
Figura 12. Protección en uno de los circuitos de la subestación 1.....	42
Figura 13. Corrientes de la protección del circuito de la subestación 1 .....	42
Figura 14. Protección aguas arriba de los circuitos de la subestación 2 .....	43
Figura 15. Corrientes de la protección aguas arriba para la subestación 2 .....	43
Figura 16. Protección en uno de los circuitos de la subestación 2.....	44
Figura 17. Corrientes de la protección del circuito de la subestación 2 .....	44
Figura 18. Distancias minimas de seguridad .....	50
Figura 19. Distancia “d” y “d1” en cruce y recorrido de vías.....	50
Figura 20. Distancias minimas de seguridad en subestaciones.....	51

Figura 21. Esquema de distancias minimas de seguridad de una subestación.....	51
Figura 22. Luminaria BGP282 T25 DM10 LED 50/740.....	53
Figura 23. Espectro luminoso .....	53
Figura 24. Luminaria BGP283 T25 DM11 LED 160.....	53
Figura 25. Espectro luminoso .....	53
Figura 26. Poste brazo sencillo .....	55
Figura 27. Poste brazo doble.....	55
Figura 28. Poste brazo doble con diferentes alturas .....	55
Figura 29. Poste doble proposito .....	55
Figura 30. Luminaria de emergencia .....	56

## 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 este 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 luminancia 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 diseño equipos dinámicos, ductos, conductores, centros de distribución, etc. y además nos sirven para entender cada uno de los criterios con la cual se determinan los aspectos más importantes de ingeniería.

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

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

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

**Rediseño eléctrico:** Rediseño es la modificación de un antiguo diseño que en el presente resulta ser defectuoso por no cumplir con reglas y normas actuales.

**RETIE:** el RETIE (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas) es un documento técnico-legal para Colombia expedido por el ministerio de Minas y energía. En el podemos 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:** Rediseño eléctrico de la red de alumbrado público desde la calle 105 hasta la calle 66 del municipio de Bucaramanga\*.

**Autor:** Dany Tatiana Ruiz Rojas y Erika Paola León Vargas\*\*.

**Palabras Clave:** CAUE, Alumbrado público, luminaria led, cálculos, planos, subestación.

**Descripción:** En el municipio de Bucaramanga del departamento de Santander existe una vía comprendida desde la calle 105 hasta la calle 66, la cual cuenta con una red de alumbrado público que no brinda un servicio óptimo para los peatones y conductores que hacen uso de ella. Por otro lado, la red de alumbrado público existente no cuenta con una subestación eléctrica, debido a esto la ESSA realiza un cobro general de la carga instalada de toda la red de alumbrado sin tener en cuenta las luminarias que estén fuera de servicio. La oficina de alumbrado público ha decidido cambiar este método de medición y realizar un rediseño de la red de alumbrado público.

con el fin de mejorar el servicio de alumbrado público de esta vía se realiza este trabajo de grado el cual consiste en un nuevo diseño eléctrico de la red de alumbrado público partiendo de la elección previa del diseño fotométrico de esta vía. En este nuevo diseño se cambiarán las estructuras existentes, la red de baja tensión, el cableado y las luminarias, además se diseñarán e instalarán dos subestaciones eléctricas con sus respectivos transformadores.

Como referentes técnicos y normativos se utilizarán el RETIE, la norma ESSA y el Manual de Alumbrado público siguiendo las especificaciones técnicas y las certificaciones requeridas.

---

\* Trabajo de Grado

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

Director: José David Cortes Torres Codirector: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga.

### Abstract

**Title:** Electrical redesign of the public lighting network from 105th Street to 66th Street in the municipality of Bucaramanga\*.

**Author:** Dany Tatiana Ruiz Rojas, Erika Paola León Vargas\*\*.

**Keywords:** CAUE, public lighting, led luminaire, calculations, plans, substation.

**Description:** In the municipality of Bucaramanga in the department of Santander there is a road from 105th Street to 66th Street, which has a public lighting network that does not provide an optimal service for pedestrians and drivers who use it. On the other hand, the existing public lighting network does not have an electrical substation, which is why ESSA makes a general charge for the installed load of the entire lighting network without taking into account the luminaires that are out of service. The public lighting office has decided to change this measurement method and redesign the public lighting network.

In order to improve the public lighting service of this road, this degree work consists of a new electrical design of the public lighting network based on the previous choice of the photometric design of this road. In this new design, the existing structures, the low voltage network, the wiring and the luminaires will be changed, and two electrical substations with their respective transformers will be designed and installed.

The RETIE, the ESSA standard and the Public Lighting Manual will be used as technical and regulatory references, following the required technical specifications and certifications.

---

\* Degree Work

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

Director: José David Cortes Torres Co-Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga.

## Introducción

A lo largo de los años las redes de alumbrado público han presentado grandes cambios en cuanto a su tecnología, algunos de estos cambios que ha puesto en práctica la alcaldía de Bucaramanga ha sido la implementación de la telegestión y un nuevo método para la elección de diseños fotométricos a la hora de realizar un proyecto. En la actualidad existe un método que se emplea para seleccionar el diseño fotométrico más rentable en cuanto a costo de operación en un proyecto de alumbrado público, este método se conoce como el CAUE (Costo anual equivalente), el cual consiste en calcular el costo anual equivalente de un proyecto, para la implementación de este método se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

Costos Iniciales (CI.) de infraestructura (luminarias o proyectores, transformadores, conductores, postes, materiales, etc.), transporte y mano de obra. Estos costos son presentes.

Costos Anuales de Operación (CAO), los cuales están compuestos por el mantenimiento de la infraestructura y el consumo de energía eléctrica del sistema de alumbrado.

En este método es necesario tener varias propuestas de diseños fotométricos con el fin de poder realizar los cálculos respectivos y así obtener distintos valores de CAUE para cada diseño. Al obtener los resultados de este método se procede a realizar una comparación para elegir el diseño que genere un menor costo de mantenimiento a largo plazo. Este proyecto tiene como propósito el rediseño eléctrico de la red de alumbrado público desde la calle 105 hasta la calle 66 del municipio de Bucaramanga donde se quiere implementar un diseño moderno en el cual el diseño fotométrico cumpla con los criterios establecidos (costo de operación) en el método CAUE, de igual forma el diseño eléctrico debe cumplir con los parámetros establecidos de alumbrado

público, logrando así que este proyecto sea eficiente, del agrado de los usuarios y que genere seguridad a la hora de hacer uso de dicha red de alumbrado.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Rediseñar la red eléctrica del alumbrado público que inicia en la calle 105 y va hasta la calle 66 del municipio de Bucaramanga utilizando como referentes el RETIE y la norma ESSA

### **1.2 Objetivos Específicos**

Elaborar el diseño eléctrico de la red de alumbrado público (al cual se le realiza tele gestión) considerando los requisitos del RETIE y la norma ESSA.

Seleccionar una de las alternativas de diseño fotométrico suministradas por alumbrado público teniendo en cuenta el CAUE de cada diseño.

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

## 2. Descripción de la Empresa

El Sistema Integrado de Gestión del servicio de ALUMBRADO PUBLICO 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 (Historia de alumbrado público en 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 (Historia de alumbrado público en 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 (Misión de AP de 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 (Visión de AP de Bucaramanga s.f.).

## **3. Marco Conceptual**

### **3.1 Conceptos de iluminación**

#### ***3.1.1 Iluminancia***

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

#### ***3.1.2 Flujo luminoso ( $\Phi$ )***

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

#### ***3.1.3 Luminancia***

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<sup>2</sup>). Bajo el concepto de intensidad luminosa, la luminancia puede expresarse como: (RETILAP, s.f.)

$$L = \left( \frac{dl}{dA} \right) * \left( \frac{1}{\cos\phi} \right)$$

### **3.1.4 Factor de uniformidad general de la luminancia ( $U_o$ )**

Relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio sobre la superficie de una calzada.  $U_o = L_{min}/L_{pro}$  en [%]. Es una medida del comportamiento visual que no puede ser inferior a 40% para L comprendido entre el rango de 1 cd/m<sup>2</sup> a 3 cd/m<sup>2</sup>, con el fin de que un objeto sea perceptible el 75% de los casos en un tiempo no mayor a 0,1 s. (RETILAP, s.f.)

### **3.1.5 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, s.f.)

### **3.1.6 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, s.f.)

## **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 Cálculo 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.)

### ***3.2.3 Sistema de puesta a tierra***

Comprende todas las facilidades de tierra interconectadas en un área específica. (ANSI - IEEE Std 80/2000, s.f.)

### ***3.2.4 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)

### ***3.2.5 Coordinación de protecciones***

Los objetivos de la coordinación de sobreintensidades son determinar las características, valores nominales y ajustes de los dispositivos de protección contra sobreintensidades que

minimicen los daños a los equipos e interrumpan cortocircuitos lo más rápidamente posible. (ANSI – IEEE Std 242-2001,2001)

### ***3.2.6 Cálculo de pérdidas***

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

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

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

### **3.3 Metodología del CAUE**

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

**Tabla 1**

Valores mínimos de vida útil de los equipos

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

Nota. Adaptado del RETILAP.

⇒ Costos Iniciales (CI.) de infraestructura (luminarias o proyectores, transformadores, conductores, postes, materiales, etc.), transporte y mano de obra. Estos costos son presentes.

⇒ Costos Anuales de Operación (CAO), los cuales están compuestos por el mantenimiento de la infraestructura y el consumo de energía eléctrica del sistema de alumbrado. Estos costos son anualizados y deben traer a valor presente, con la siguiente fórmula:

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

⇒ En la fórmula anterior,  $i$  corresponde a la tasa de descuento (TD), la cual se establece en el 16,06% (o la que aplique la CREG para la red domiciliaria)

⇒  $n$  corresponde al número de año de análisis, que en este caso es de 30 años

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

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

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

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

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

$$CAUE = CAO - VP(VS) + CI / (1 + i)^n$$

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

#### **4. Metodología**

A partir de nuestra función como practicantes se nos fue asignado un proyecto de rediseño de alumbrado público para una vía del municipio de Bucaramanga. Para cumplir a cabalidad con los alcances del proyecto se decidió implementar una metodología compuesta por las siguientes actividades.

##### **4.1. Diseño eléctrico**

Para el diseño eléctrico, partimos del levantamiento actual de la vía entregado por el arquitecto de la Alcaldía de Bucaramanga del departamento de alumbrado público al cual se le hizo un análisis para identificar si se encontraban posibles falencias en el diseño, después de este análisis se realizó el rediseño de la red eléctrica de alumbrado público de la vía el cual consistió en la ubicación de

dos subestaciones, postes y luminarias nuevas, todo esto se realizó teniendo en cuenta el RETILAP y el RETIE, de esta última normativa se analizaron cuáles de los ítems propuestos se cumplen y cuáles no.

**Tabla 2**

*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 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 canalizaciones (tubo, ductos, canaletas 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

---

#### 4.2. Diseño Fotométrico

A la hora de realizar el diseño fotométrico del proyecto fue necesario contactar a varias empresas las cuales fueron: SYLVANIA, ALBOR Y PHILIPS; esto con el fin de conocer los tipos de luminarias y los precios que manejan.

A partir de los datos de luminarias suministrados por las empresas proveedoras se procedió a realizar el diseño fotométrico para ver que luminarias y que potencias de dichas luminarias generaban la mejor iluminación de las diferentes partes de la vía.

El diseño fotométrico que se realizó se hizo específicamente para diferentes tramos de la vía como lo son las zonas críticas (Glorieta grande, glorieta pequeña e intersecciones) y un tramo de la vía.

Una vez realizada la simulación del diseño fotométrico utilizando el software de DIALux con diferentes tipos de luminarias se procedió a escoger la luminaria con la potencia que generara una mejor iluminación para la vía evitando zonas de oscuridad.

Finalmente se procedió a calcular el CAUE para las luminarias de cada empresa seleccionadas anteriormente; para realizar este cálculo se utilizó una plantilla suministrada por el departamento de alumbrado público de la alcaldía de Bucaramanga, en la cual se calcula el costo anual de operación de cada una de las empresas y en base a esto se elige la empresa que genere un menor costo anual de operación.

### **4.3. Presupuesto**

Para la realización del presupuesto del proyecto se implementó una plantilla suministrada por el departamento de alumbrado público de la alcaldía de Bucaramanga la cual fue tomada del RETILAP, esta consiste en una serie de APUS (análisis de precios unitarios) y una tabla donde se encuentra los diferentes aspectos que se tuvieron en cuenta a la hora de realizar el presupuesto estos son: retiro de infraestructura existente, redes de media tensión de alumbrado público, subestación, estructuras, equipos, salidas, certificación, legalización y documentación de la instalación.

Por otro lado, ante el operador de red fue necesario realizar el trámite de la factibilidad de servicio, para esto se llenó el formato suministrado por la ESSA, se localizó el número del apoyo y se ubicó en el plano este apoyo. Para solicitar esta factibilidad se envió un correo al operador de red donde se adjuntaron el formato de la ESSA, la localización del apoyo, el número del apoyo y el plano de la zona donde se encontraba el apoyo. Cabe resaltar que este trámite se realizó para cada una de las subestaciones.

## **5. Resultados**

A partir de las practicas realizadas en el departamento de alumbrado público de la alcaldía de Bucaramanga los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

### **5.1. Diseño Eléctrico**

Para llevar a cabo el rediseño eléctrico de la vía fue necesario tener en cuenta la normativa RETIE específicamente el artículo 10 donde se habla de los requerimientos generales de las

instalaciones eléctricas. A continuación, se presentan cada uno de los criterios que aplican o no aplican en el rediseño eléctrico detallado del proyecto.

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

Una vez ubicadas las nuevas luminarias y demás elementos necesarios en el diseño se procedieron a realizar la distribución de los circuitos para las dos subestaciones; teniendo definidos los circuitos se elaboraron los cuadros de cargas en los cuales se calculó la potencia de cada circuito para así poder repartirla en las diferentes fases (R, S y T), de tal manera que cada fase quede balanceada. En el caso de la subestación uno las fases R, S y T están compuestas por la potencia de los circuitos uno y dos las cuales son 3707,3 W para las tres fases. Para la subestación dos las fases R, S y T están compuestas por las potencias de los circuitos uno y dos las cuales son 3599 W para las tres fases.

Para determinar el efecto de la distorsión armónica de corriente en el sistema y su factor de potencia, se calcula el factor de desplazamiento F.D., el cual modifica el factor de potencia F.P. del equipo, obteniéndose el factor de potencia desplazado. F.P.\* del circuito. Los resultados se muestran en los cuadros de carga y regulación.

El factor de potencia utilizado para todos los circuitos fue de 0.9 ya que este es el factor con el que trabaja alumbrado público. En el caso de la distorsión armónica todos los circuitos presentan un valor del 20% y 1.02 en el desplazamiento, al ser el valor del desplazamiento pequeño esto indica que no es necesario realizar una corrección armónica.

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

Los resultados obtenidos de los cuadros de carga se pueden observar detalladamente en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta memorias de cálculo específicamente en el documento de Excel Memorias de cálculo en la hoja “Cuadro de Cargas”.

### ***5.1.2. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.***

Este estudio no aplica debido a que el proyecto es de media tensión (13.2 kV) y baja tensión (380/220 V), y la coordinación de aislamiento es un análisis requerido para los sistemas de transición, es decir para tensiones mayores o iguales a 57.5 kV. RETIE (Artículo 12. Clasificación de los niveles de tensión).

### ***5.1.3. Análisis de cortocircuito y falla a tierra.***

Para realizar el análisis de cortocircuito y falla a tierra fue necesario calcular las corrientes de cortocircuito, para esto se utilizó el software de cálculo de protecciones ECODIAL.

Las corrientes de cortocircuito calculadas a través del software para los circuitos correspondientes a la subestación 1 se muestran a continuación:

**Tabla 3**

*Corrientes de cortocircuito para los circuitos ramales de la Subestación uno*

<b>Descripción</b>	<b>Corriente de Cortocircuito Trifásica Máxima [kA]</b>	<b>Corriente de Cortocircuito Trifásica Mínima [kA]</b>
Circuito ramal 1	0.99	N/A
Circuito ramal 2	0.96	N/A

**Tabla 4**

*Corrientes de cortocircuito aguas arriba de los circuitos ramales de la Subestación uno*

Descripción	Corrientes de cortocircuito (kVA)			
	3 $\phi$ Max.	2 $\phi$ Max.	3 $\phi$ Min.	2 $\phi$ Min.
Aguas arriba de los circuitos ramales	1.85	1.60	N/A	1.37

De igual forma las corrientes de cortocircuito calculadas a través del software para los circuitos correspondientes a la subestación 2 se muestran a continuación:

**Tabla 5**

*Corrientes de cortocircuito para los circuitos ramales de la Subestación dos*

Descripción	Corriente de Cortocircuito Trifásica Máxima [kA]	Corriente de Cortocircuito Trifásica Mínima [kA]
Circuito ramal 1	1.14	N/A
Circuito ramal 2	0.81	N/A

**Tabla 6**

*Corrientes de cortocircuito aguas arriba de los circuitos ramales de la Subestación dos*

Descripción	Corrientes de cortocircuito (kVA)			
	3 $\phi$ Max.	2 $\phi$ Max.	3 $\phi$ Min.	2 $\phi$ Min.
Aguas arriba de los circuitos ramales	1.85	1.60	N/A	1.37

El informe del cálculo de protecciones para las dos subestaciones se muestra en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra las carpetas de Protecciones S1 y Protecciones S2 específicamente en los documento de Word “Informe Protecciones S1” e “Informe Protecciones S2”.

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

Para realizar el análisis del nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos se usarán los parámetros establecidos en la NTC 4552.


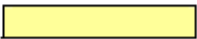


Como primera medida fue necesario evaluar el indicador de parámetros del rayo, tal como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 1**

*Indicador de parámetros del rayo*

Densidad de descargas a tierra [Descargas/km <sup>2</sup> - año]	Corriente pico absoluta promedio [kA]		
	$40 \leq I_{abs}$	$20 \leq I_{abs} < 40$	$I_{abs} < 20$
$30 \leq DDT$	Severos	Altos	Bajos
$15 \leq DDT < 30$	Severos	Altos	Bajos
$5 \leq DDT < 15$	Medios	Medios	Medios
$DDT < 5$	Medios	Bajos	Bajos

	Severos		Altos
	Medios		Bajos

*Nota.* Adaptado de la norma NTC 4552

Para Bucaramanga la densidad de descargas a tierra (DDT) es de 1 y tiene una corriente pico absoluta menor a 20 kA. A partir de estos datos se pudo observar que el indicador de parámetros de rayo será **bajo**.

Como segunda medida se procedió a evaluar el indicador de gravedad a partir de la siguiente ecuación que se encuentra en la figura:

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

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.

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

**Figura 2**

*Subindicador relacionado con el uso de la estructura*

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

*Nota.* Adaptado de la norma NTC 4552

$$I_{USO} = 0$$

**Figura 3**

*Subindicador relacionado con el tipo de estructura*

Tipo de estructura	Indicador
No metálica	40
Mixta	20
Metálica	0

*Nota.* Adaptado de la norma NTC 4552

$$I_T = 20$$

**Figura 4**

*Subindicador relacionado con la altura y el área de estructura*

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

*Nota.* Adaptado de la norma NTC 4552

$$I_{AA} = 10$$

Una vez obtenidos los valores de las variables necesarias el indicador de gravedad será:

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

**Figura 5**

*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

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

**Figura 6**

*Matriz de niveles de riesgo*

	<b>Gravedad</b>	<b>Severa</b>	<b>Alta</b>	<b>Media</b>	<b>Baja</b>	<b>Leve</b>
<b>Parámetros</b>						
<b>Severos</b>						
<b>Altos</b>						
<b>Moderados</b>						
<b>Bajos</b>						

Nivel de Riesgo de la estructura  Alto  Medio  Bajo

*Nota.* Adaptado de la norma NTC 4552

En la matriz de riesgos se obtuvo un nivel de riesgo **bajo** por lo tanto no fue necesario realizar un sistema de protección contra rayos externo.

**5.1.5. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.**

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

A continuación, se presenta los resultados del análisis de riesgo.

**Tabla 7**

*Análisis de riesgo de origen eléctrico*

<b>Fuentes</b>	<b>Factor de riesgo</b>	<b>Consecuencias</b>	<b>Nivel de riesgo</b>
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.

**Figura 7**

*Decisiones y acciones para controlar el riesgo*

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

*Nota.* Adaptado de la normativa RETIE.

**5.1.6. Análisis del nivel tensión requerido.**

El departamento de alumbrado público el municipio de Bucaramanga estipulo que para este proyecto los niveles de tensión que se manejarían son: 13.2 kV en media tensión y 380/220 V en baja tensión, ya que en esta zona el único valor para media y baja tensión que maneja el operador de red son los mencionados anteriormente, por ende, no se realizó un análisis del nivel de tensión requerido.

### ***5.1.7. Cálculo de campos electromagnéticos.***

En este proyecto no fue necesario realizar un análisis de campos electromagnéticos, debido a que es un proyecto de baja tensión. RETIE 2013 (Artículo 14.4 calculo y medición de campos electromagnéticos).

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

En base a la demanda calculada para cada subestación y los niveles de tensión a utilizar se estipularon dos transformadores de 30 kVA de tipo semisumergibles los cuales serán instalados en bóvedas de concreto subterráneas, con niveles de tensión 13200/380/220V.

Los cálculos realizados para la selección de estos transformadores se encuentran en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de Memorias de cálculo específicamente en el documento de Excel Memorias de cálculo en la hojas “Trafo y Acom S1” y “Trafo y Acom S2”.

### ***5.1.9. Cálculo del sistema de puesta a tierra.***

Para llevar a cabo el cálculo de la malla de puesta a tierra de las dos subestaciones fue necesario tener en cuenta los siguientes valores: para la subestación 1 la corriente de falla es de 2.46 kA rms este valor fue suministrado por la ESSA, el tiempo de despeje de la falla según el RETIE fue de 0.2s y el calibre mínimo del conductor es de 2/0 y para la subestación 2 la corriente de falla es de 2.21 kA rms este valor fue suministrado por la ESSA, el tiempo de despeje de la falla según el RETIE fue de 0.2s y el calibre mínimo del conductor es de 2/0, a partir de estos valores se realizó este cálculo siguiendo la metodología de la norma NTC 389/3.

Teniendo en cuenta lo anterior y usando una plantilla de Excel en la cual se encuentran una serie de tablas con fórmulas de la norma mencionada anteriormente se procedió a determinar si los

valores que se implementaron permitieron que la malla de puesta a tierra cumpliera con las condiciones que se muestran en la siguiente figura.

**Figura 8**

*Condiciones para la MPT S1*

TENSIÓN DE MALLA EM ≤ CONTACTO TOLERABLE					
EM [kV]	0,242	≤	ET[KV]	0,408	SI
TENSIÓN DE PASO REAL ≤ TENSION DE PASO TOLERABLE					
ES [kV]	0,227	≤	ES[KV]	0,121	SI

**Figura 9**

*Condiciones para la MPT S2*

TENSIÓN DE MALLA EM ≤ CONTACTO TOLERABLE					
EM [kV]	0,217	≤	ET[KV]	0,408	SI
TENSIÓN DE PASO REAL ≤ TENSION DE PASO TOLERABLE					
ES [kV]	0,204	≤	ES[KV]	0,121	SI

Como se puede observar en las figuras se evidencia que dichos valores hacen que si se cumplan las condiciones y esto permite que la malla de puesta a tierra sea la adecuada.

Los cálculos de las mallas de puesta a tierra se encuentran en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de Memorias de cálculo específicamente en el documento de Excel Memorias de cálculo en las hojas “Cálculo SPT S1” y “Cálculo SPT S2”.

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

Para la selección del conductor a utilizar en cada uno de los circuitos se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: corriente nominal, regulación y ocupación de ductos.

A cada uno de los parámetros mencionados anteriormente se les realizó un respectivo análisis con el fin de determinar cuál era el conductor apropiado para los circuitos de cada subestación, los datos obtenidos para cada parámetro se encuentran en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de Memorias de cálculo específicamente en el documento de Excel Memorias de cálculo en las hojas “Reg y Perdidas S1”, “Reg y Perdidas S2”, “OCP ductos S1” y “OCP ductos S2”. Los conductores seleccionados fueron AL-THHN No. 4 y AL-THHN No. 2.

Para este proyecto el cálculo económico del conductor no se realizó, ya que a la hora de seleccionar el conductor este factor no fue influyente en la decisión.

***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.***

La verificación del conductor se realizó por medio del software Ecodial donde se revisó la corriente de cortocircuito, ya que al realizar la simulación esta nos arroja una alternativa del conductor a utilizar en cada uno de los circuitos de las dos subestaciones.

En el caso de la subestación uno los dos circuitos presentaron el mismo tipo de conductor el cual es: para la fase AL- THHN No. 2 y para la tierra AL-THHN No. 6.

De igual forma para la subestación dos los dos circuitos presentaron el mismo tipo de conductor el cual es: para la fase AL- THHN No. 4 y para la tierra AL-THHN No. 6.

Como se puede observar el conductor que se seleccionó en el ítem 6.1.10 es igual al que arroja Ecodial en la simulación, lo que indica que el conductor que se selecciono es el apropiada para cada uno de los circuitos de las dos subestaciones.

Los resultados obtenidos por el software Ecodial se encuentran en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentran las carpetas de Protecciones S1 y Protecciones S2 específicamente en los documento de Word “Informe protecciones S1” e “Informe protecciones S2”.

***5.1.12. Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos.***

El cálculo mecánico de estructuras (postes) no se realizó debido a que estos postes fueron solicitados a proveedores como lo fue el Mobiliario urbano Colombia (MUC), a quien se le solicito el diseño y costo de los postes tipo TAO. MUC utilizo para el diseño la norma técnica ESSA para cálculos y diseños de sistemas de distribución.

La estructura de los postes se encuentra en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de Planos específicamente en el documento Pdf “Plano de Detalles Obras Civiles”.

### ***5.1.13. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes.***

La coordinación de protecciones se diseñó utilizando el software de cálculo de protecciones ECODIAL.

En ECODIAL se realizó un estudio de selectividad para cada una de las subestaciones con el fin de identificar cuáles serían las protecciones adecuadas para cada circuito, este estudio arrojó los siguientes resultados:

Para la subestación uno aguas arriba de los circuitos la protección que selecciono el software fue NG125A, este resultado se puede observar en la figura y la figura.

Para el caso de los circuitos ramales la protección seleccionada por el software fue la IDPN, este resultado se puede observar en las siguientes figuras.

### **Subestación 1:**

**Figura 10**

**Figura 11**

*Protección aguas arriba de los circuitos*

Protección	
Norma	Industrial
Gama	Acti9 NG125
Protección	NG125a
Calibre (A)	80
Poder de corte (kA)	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.* Adaptado del software ECODIAL

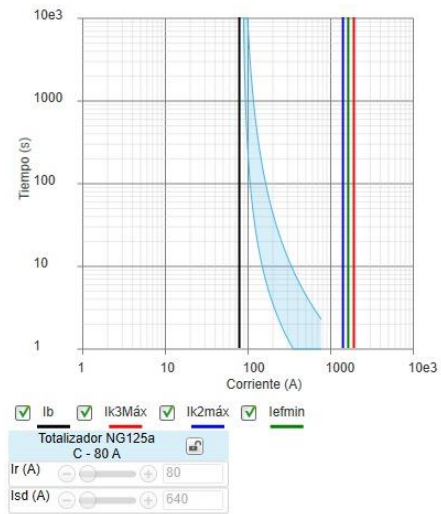
**Figura 12**

*Protección en uno de los circuitos*

Protección	
Norma	Industrial
Gama	Acti9 iDPN
Protección	iDPN.N
Calibre (A)	20
Poder de corte (kA)	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.* Adaptado del software ECODIAL

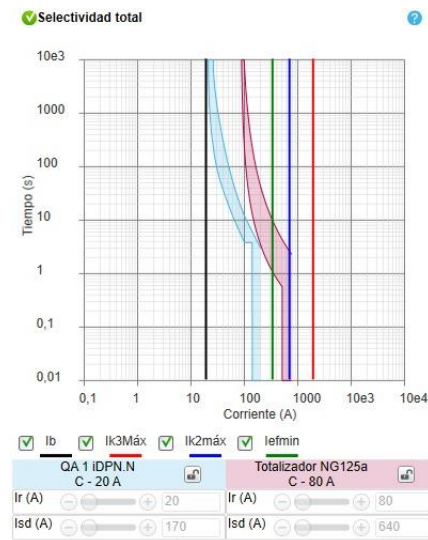
*Corrientes de la protección aguas arriba*



*Nota.* Adaptado del software ECODIAL

**Figura 13**

*Corrientes de la protección del circuito*



*Nota.* Adaptado del software ECODIAL

Para la subestación dos aguas arriba de los circuitos la protección que selecciono el software fue NG125A, este resultado se puede observar en la figura y la figura.

Para el caso de los circuitos ramales la protección seleccionada por el software fue la IDPN, este resultado se puede observar en la figura y la figura.

**Subestación 2:**

**Figura 14**

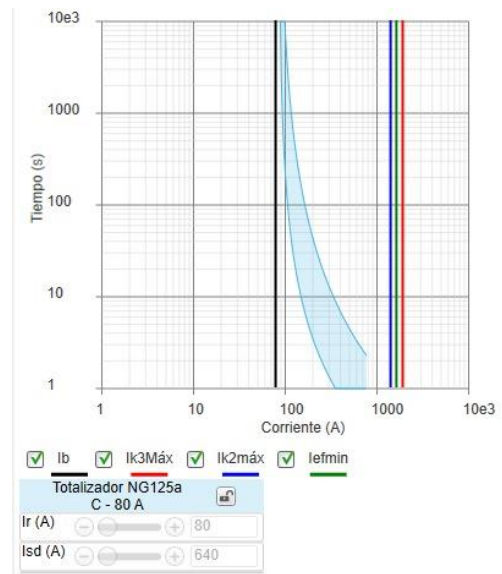
*Protección aguas arriba de los circuitos*

Protección	
Norma	Industrial
Gama	Acti9 NG125
Protección	NG125a
Calibre (A)	80
Poder de corte (kA)	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.* Adaptado del software ECODIAL

**Figura 15**

*Corrientes de la protección aguas arriba*



*Nota.* Adaptado del software ECODIAL

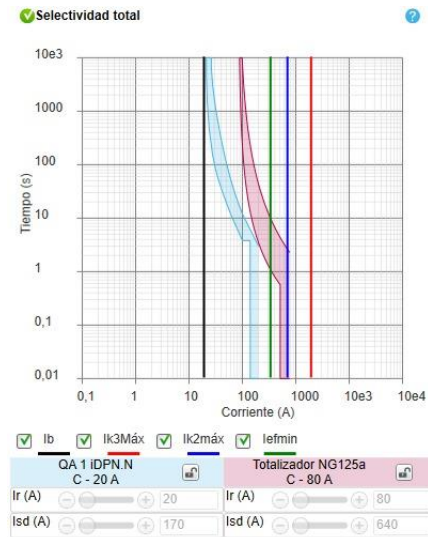
**Figura 16**

*Protección en uno de los circuitos*

**Figura 17**

*Corrientes de la protección del circuito*

Protección	
Norma	Industrial
Gama	Acti9 iDPN
Protección	iDPN.N
Calibre (A)	20
Poder de corte (kA)	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. Adaptado del software ECODIAL

Nota. Adaptado del software ECODIAL

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

Para el cálculo de las canalizaciones se utilizaron las tablas del apéndice C de la norma NTC 2050 para ducto PVC y cableado THHN. Se seleccionaron ductos de 1 1/2” para los conductores eléctricos del alimentador de las redes de alumbrado público en calibre #4 y en calibre #2.

**Tabla 8**

*Número máximo de conductores en tuberías eléctricas*

Letras de tipo	Sección transversal del conductor AWG/kcmil	Tamaño comercial pulgadas 1-1/2"
THHN	6	16
THWN	4	10
THWN-2	2	7

El cálculo del volumen de las cajas de inspección se muestra a continuación en la tabla suministrada por alumbrado público la cual cumple con lo establecido en la sección 370 de la norma NTC 2050.

**Tabla 9**

*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
Baja 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.**

Estas pérdidas de potencia se calcularon con la siguiente expresión la cual fue tomada de la guía metodológica – cálculo de pérdidas de energía de EPM, esta expresión fue desarrollada por Buller y Woodrow.

El cálculo de estas pérdidas se realizó para cada uno de los tramos de los circuitos existentes en cada subestación, para esto se aplicó la ecuación que se encuentra a continuación y se utilizó una demanda por horas suministrada por el operador de red (ESSA), de esta forma se pudo obtener el porcentaje de las pérdidas de potencia y de energía para cada subestación las cuales son:

Para el circuito uno y dos de la subestación uno se obtuvo una pérdida de potencia de 3.0 % y una pérdida de energía de 3.0 %.

Para el circuito uno de la subestación dos se obtuvo una pérdida de potencia de 2.6 % y una pérdida de energía de 2.6 %.

Para el circuito dos de la subestación dos se obtuvo una pérdida de potencia de 1.1 % y una pérdida de energía de 1.1 %.

$$P_p \% = \frac{3 * r * 10^{-3} * l * i^2}{D_{\text{tramo}} * 10^3 * f.p} * 100$$

Donde:

- $P_p\%$ : pérdida de potencia por tramo.
- $r$ : resistencia del conductor a 50 °C y a 60 Hz dada en  $\Omega/\text{Km}$ .
- $l$ : longitud del tramo en metros.
- $i$ : corriente por tramo.
- $D_{\text{tramo}}$ : demanda máxima en kVA del tramo.

- f.p: factor de potencia.

Los resultados de estas pérdidas se encuentran en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de Memorias de cálculo específicamente en el documento de Excel Memorias de cálculo en las hojas “Reg y Perdidas S1” y “Reg y Perdidas S2”.

#### ***5.1.16. Cálculos de regulación.***

El cálculo de regulación se realizó para cada uno de los tramos de cada circuito pertenecientes a las dos subestaciones, a la hora de implementar la ecuación fue necesario tener en cuenta la constante de regulación de tensión tomada de la norma NTC 2050, el momento eléctrico el cual se calculó teniendo en cuenta la demanda máxima y la distancia en metros de cada tramo, por último, el factor de corrección utilizado fue de uno ya que no fue necesario corregir por agrupamiento.

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

$$\delta\% = K * M * Fc$$

Donde:

- K: constante de regulación de tensión.
- M: momento eléctrico.
- Fc: Factor de Corrección.

Los resultados obtenidos del cálculo de la regulación para cada uno de los circuitos de las dos subestaciones se encuentran a continuación:

**Tabla 10***Cálculo de regulación para las dos subestaciones*

Cálculo de Regulación		
	Circuito	% Regulación Max.
Subestación 1	1	4.29
	2	4.09
Subestación 2	1	3.93
	2	1.93

Como se puede observar estos porcentajes de regulación no sobrepasan el 5% que es el valor límite estipulado por la ESSA.

Los resultados de la regulación se encuentran en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de Memorias de cálculo específicamente en el documento de Excel Memorias de cálculo en las hojas “Regulación S1” y “Regulación S2”.

#### **5.1.17. Clasificación de área.**

Este ítem no aplica debido a que en la norma NTC 2050 se estipulan áreas de clase 1, 2 y 3 consideradas como áreas peligrosas y en el caso de este proyecto esta vía no se contempla como un área peligrosa.

#### **5.1.18. Elaboración de diagramas unifilares.**

Los diagramas unifilares que se diseñaron para este proyecto contienen: acometida de media tensión, cajas de inspección, transformador de 30 KVA, medidor, protecciones para cada circuito, sistema de telegestión y conductores para cada circuito.

Los dos diagramas unifilares correspondientes a cada una de las subestaciones eléctricas del proyecto se encuentran en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta

de Planos específicamente en los documentos 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.***

Los planos elaborados para este proyecto son:

- Plano general: en este plano se encuentra el diseño eléctrico completo de toda la vía contemplada en el proyecto y se encuentra en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de Planos específicamente en el documento de Pdf “Plano General”.
- Plano de detalles de alumbrado público: en estos planos se encuentran los unifilares correspondientes a cada subestación, de igual forma los cuadros de cargas y los detalles exteriores del tablero de alumbrado público, estos planos se encuentran en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de Planos específicamente en los documentos Pdf “Plano de Detalles Alumbrado Público S1” y “Plano de Detalles Alumbrado Público S2”.
- Plano de detalles de MT: en este plano se encuentra la malla de puesta a tierra, los detalles de la subestación semisumergible, las cajas de distribución de media tensión y el poste de apoyo que se utilizó para la acometida de media tensión, este plano se encuentra en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de Planos específicamente en el documento de Pdf “Plano de Detalles MT”.
- Plano de detalles de obras civiles: en este plano se encuentran los postes a utilizar, las cajas de baja tensión y de inspección, este plano se encuentra en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de Planos específicamente 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.**

Las especificaciones técnicas de los elementos y materiales importantes del proyecto se encuentran en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de especificaciones en el documento de Pdf “Especificaciones Técnicas”.

**5.1.21. Establecer las distancias de seguridad requeridas.**

**5.1.21.1. Distancias de mínima seguridad para diferentes lugares y situaciones.** Las distancias mínimas sugeridas por el RETIE para casos generales son:

**Figura 18**

*Distancias mínimas de seguridad*

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

*Nota.* Adaptado de la normativa RETIE

**Figura 19**

*Distancia “d” y “d1” en cruce y recorrido de vías*

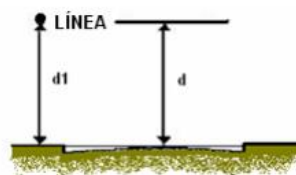


Figura 2 Distancias “d” y “d1” en cruce y recorridos de vías

*Nota.* Adaptado de la normativa RETIE

**5.1.21.2. Distancias mínimas de seguridad en subestaciones.** Las subestaciones deben satisfacer las distancias mínimas mostradas a continuación:

**Figura 20**

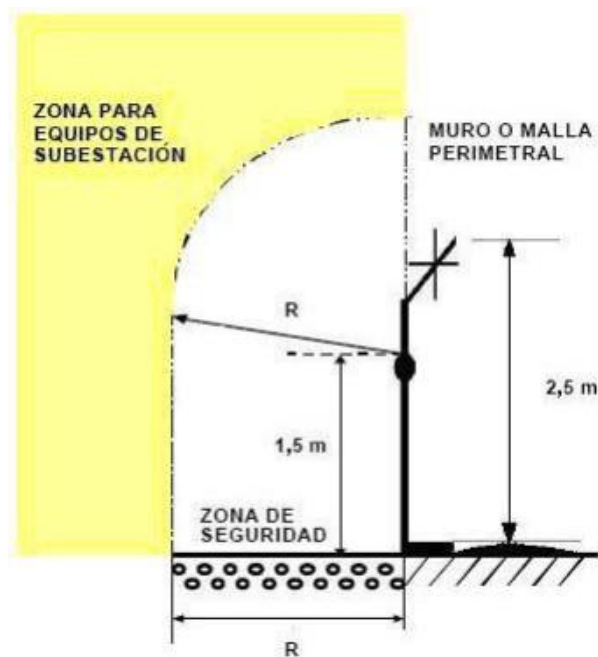
*Distancias mínimas de seguridad en subestaciones*

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

*Nota.* Adaptado de la ESSA

**Figura 21**

*Esquema de distancias mínimas de seguridad de una subestación*



*Nota.* Adaptado de la ESSA

El diseño de la bóveda para la subestación, y tablero general cumple con las distancias mínimas de seguridad.

**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.**

Este proyecto no considera un diseño que no se encuentre dentro de las normativas vigentes de la **NTC 2050**.

**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.**

Para el alcance de este proyecto no se realizarán estas consideraciones.

## **5.2. Diseño Fotométrico**

Los resultados del diseño fotométrico se dividen en los siguientes aspectos los cuales fueron tomados del RETILAP:

### **5.2.1. Selección de las luminarias**

Las luminarias seleccionadas para este proyecto fueron las presentadas por la empresa de Philips, se seleccionaron dos tipos de luminarias con diferente potencia debido a que la luminaria de mayor potencia fue implementada para la iluminación de la vía y la de menor potencia fue para la iluminación peatonal.

Las luminarias seleccionadas fueron: BGP282 T25 DM10 LED 50/740 31.5W y BGP283 T25 DM11 LED 160 97W.

Algunas de las características de las luminarias son:

**Philips BGP282 T25 DM10 LED 50/740:** tiene una potencia de 31.5W, una tensión de entrada de 220V, un flujo de 5000 lumen (lm), una eficiencia luminosa de 140 lm/W, una

temperatura de color (CCT) de 4000 °K, un índice de reproducción cromática (CRI) de 70, un índice de salida de luz (LOR) del 88% y un controlador Dali.

**Figura 22**

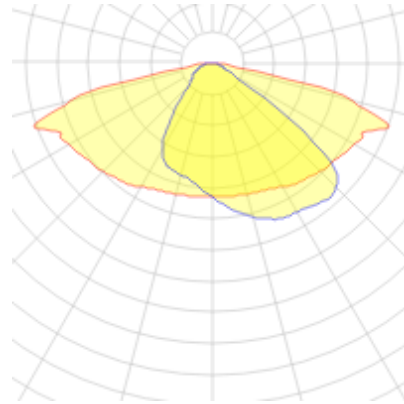
*Luminaria BGP282 T25 DM10 LED 50/740*



*Nota.* Adaptado del software Dialux EVO

**Figura 23**

*Espectro luminoso*



*Nota.* Adaptado del software Dialux EVO

**Philips BGP283 T25 DM11 LED 160:** tiene una potencia de 97W, una tensión de entrada de 220V, un flujo de 16000 lumen (lm), una eficiencia luminosa de 143 lm/W, una temperatura de color (CCT) de 5700 °K, un índice de reproducción cromática (CRI) de 70, un índice de salida de luz (LOR) del 87% y un controlador Dali.

**Figura 24**

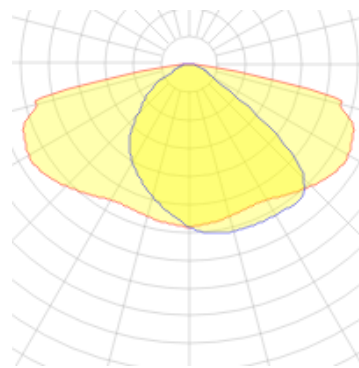
*Luminaria BGP283 T25 DM11 LED 160*



*Nota.* Adaptado del software Dialux EVO

**Figura 25**

*Espectro luminoso*



*Nota.* Adaptado del software Dialux EVO

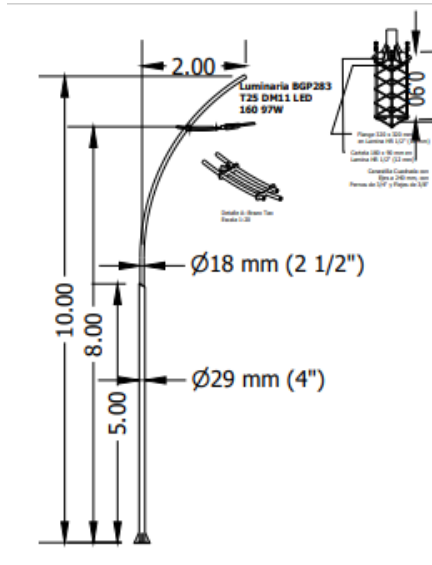
### ***5.2.2. Diseño geométrico y sistema de montaje***

Para el diseño geométrico se tuvieron en cuenta varios aspectos: la disposición de las luminarias que se utilizó dependiendo el tramo de la vía fueron: bilateral alterna, central doble y unilateral para el caso de las glorietas, la separación entre luminaria y luminaria fue de 30 m en todo el trayecto de la vía a excepción de las glorietas en las cuales la separación fue de 15 m, la altura de los postes que se utilizó en toda la vía fue de 10 m teniendo en cuenta que se implementaron tres tipos de postes de acuerdo a lo que requería cada zona de la vía, para el poste de brazo sencillo y brazo doble se utilizó un brazo con un avance de 2 m ubicado a 8 m de altura en el poste y para el poste doble propósito se utilizaron dos tipos de brazo ya que un brazo corresponde a la luminaria que se encuentra iluminando la vía y el otro brazo corresponde a la luminaria que se encuentra iluminando el paso peatonal, el primer brazo tiene un avance de 2 m ubicado a 8 m de altura en el poste y el segundo brazo tiene un avance de 1 m ubicado a 6 m de altura en el poste. Cabe resaltar que en un tramo de la vía se utilizaron postes de brazo doble con dos alturas diferentes para los brazos debido a que la vía presenta una leve inclinación en la separación de los dos carriles por ende la altura del primer brazo fue de 8m en el poste y la altura del segundo brazo fue de 6 m en el poste ambos brazos con un avance de 2m.

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

**Figura 26**

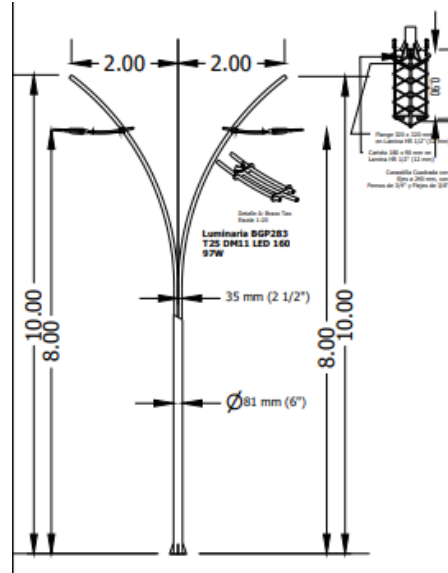
*Poste brazo sencillo*



*Nota.* Adaptado de MUC

**Figura 27**

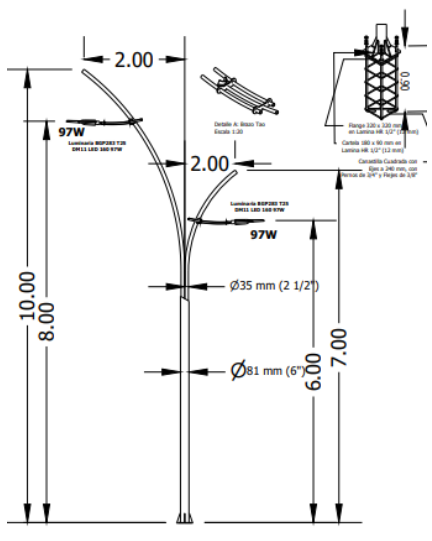
*Poste brazo doble*



*Nota.* Adaptado de MUC

**Figura 28**

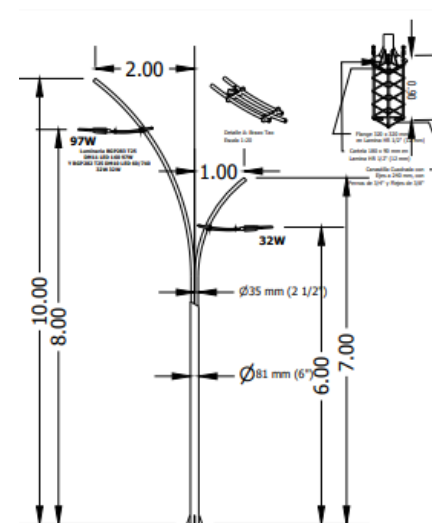
*Poste brazo doble con diferentes alturas*



*Nota.* Adaptado de MUC

**Figura 29**

*Poste doble propósito*



*Nota.* Adaptado de MUC

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

### ***5.2.3. Sistemas de alimentación, comando y control eléctrico***

Para este proyecto no se manejó un control por fotocelda si no que se implementó el uso de la telegestión la cual se realizó utilizando un controlador y un relé para cada uno de los circuitos de las dos subestaciones, los cuales se encargan de enviar una señal a un modem que se encuentra conectado a un computador; este controlador maneja un software y está programado para que el sistema opere de 6 de la tarde a 6 de la mañana.

### ***5.2.4. Instalación del alumbrado de emergencia y seguridad***

El alumbrado de emergencia fue únicamente implementado para las subestaciones, la luminaria que se seleccionó para este alumbrado de emergencia fue la doble spot direccionable de 2.8 W de Sylvania la cual tiene un flujo luminoso de 170 lm y una temperatura de color de 6500 °K.

### **Figura 30**

*Luminaria de emergencia*



Nota. Adaptado de Sylvania

### 5.2.5. Análisis económico

Para el diseño fotométrico se realizó un análisis económico implementando el método del CAUE.

En la implementación del CAUE los costos iniciales se calcularon teniendo en cuenta las luminarias y postes a utilizar con sus respectivas cantidades, estas cantidades se encuentran a continuación:

**Tabla 11**

*Cantidades iniciales para el diseño fotométrico*

Descripción	cantidad
Luminaria Philips BGP282 T25 DM10 LED 50/740 31.5W	9
Luminaria Philips BGP283 T25 DM11 LED 160 97W	221
Postes METALICO DOBLE PROPOSITO 10 METROS.	9
Postes METALICO BRAZO DOBLE 10 METROS	68
Postes METALICO BRAZO SENCILLO 10 METROS	76

A continuación, se muestran los resultados de cada uno de los criterios que hacen parte de la ecuación del CAUE para así obtener el valor de este.

**Tabla 12***Cálculo del CAUE*

<b>Descripción</b>		<b>PHILIPS</b>
Costos Iniciales	\$	<b>2.389.012.892</b>
Costo inicial anualizado (Cia =CI*FRC)	\$	<b>173.559.186</b>
Costo de mantenimiento anual (CMA)	\$	<b>16.845.000</b>
Costo de Energía anual (CEa) Valor de KW/H Tarifa Alumbrado Público ESSA mes noviembre 2022	\$	<b>49.025.512</b>
<b>CAUE</b>	\$	<b>239.429.699</b>

El cálculo del CAUE se encuentra en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de CAUE específicamente en el documento de Excel CAUE en la hoja “Resumen Evaluación”.

### **5.3. Presupuesto**

El presupuesto del proyecto esta diseño a partir de los APUS y consta de varios aspectos los cuales conforman el presupuesto total del proyecto como se puede observar a continuación:

**Tabla 13***Presupuesto total del proyecto*

<b>Descripción</b>	<b>Valor total</b>
Retiro de infraestructura existente	\$ 24.477.663
Redes de media tensión de alumbrado público	\$ 49.916.872
Subestación	\$ 156.096.750
Estructuras	\$ 718.607.738
Equipos	\$ 828.370.067
Salidas	\$ 193.385.923
Certificación, legalización y documentación de la instalación	\$ 7.486.367
<b>Presupuesto total</b>	<b>\$ 2.075.034.341</b>

El presupuesto de este proyecto se encuentra en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de APUS específicamente en el documento Excel APUS en la hoja “01-PTO”.

Las factibilidades de las subestaciones del proyecto fueron aprobadas y se encuentran en la carpeta de documentos adicionales, donde se encuentra la carpeta de Factibilidad específicamente en los documentos de Pdf “Respuesta Factibilidad S1” y “Respuesta Factibilidad S2”.

## 6. Conclusiones

Durante el periodo de prácticas en alumbrado público se logró realizar el diseño apropiado para la red eléctrica de la calle 105, este diseño cumplió a cabalidad con los requerimientos solicitados por alumbrado público los cuales implicaban tener presente las normativas RETIE, RETILAP y ESSA, además de tener en cuenta que a este proyecto al igual que a la mayoría de los proyectos realizados en alumbrado público se le realizo telegestión.

A partir del análisis realizado a cada uno de los CAUE suministrados por las diferentes empresas proveedoras se pudo elegir el CAUE que presentara la mejor rentabilidad para alumbrado público, luego de esta elección se logró seleccionar el diseño fotométrico más favorable para el proyecto el cual fue el diseño presentado por Philips.

Gracias a los conocimientos adquiridos durante la carrera, a la colaboración del tutor y las plantillas suministradas por alumbrado público se logró realizar un buen presupuesto detallado del proyecto el cual cumplió con los estándares establecidos por alumbrado público, de igual forma se logró realizar unas buenas especificaciones técnicas de algunos de los elementos y productos que se utilizaron en el proyecto.

### Referencias Bibliográficas

Colaboradores de [www.significadode.org](http://www.significadode.org). (2012, 8 de noviembre). *CORREDOR VIAL - Diccionario Abierto*. <https://www.significadode.org/corredor%20vial.htm>

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

*Icontec nuevo Código Eléctrico Colombiano 2050: 2020 – CONTE Consejo Nacional de Técnicos Electricistas*. (s.f.). <https://www.conte.org.co/icontec-lanza-al-mercado-el-nuevo-codigo-electrico-colombia-2050-2020/#:~:text=La%20nueva%20versión%20del%20Código,implementar%20en%20las%20instalaciones%20eléctricas>

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

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

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

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

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

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

*QUE ES EL CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente) - QUE ES EL CAUE (COSTO ANUAL UNIFORME - Studocu*. (s.f.). Studocu. <https://www.studocu.com/co/document/escuela-normal-superior-de-uraba/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 Gestion. <https://www.retieingenieriaygestion.com/que-es-el-retie/>

¿Qué es RETILAP? - *Retie Ingeniería y gestión*. (s.f.). Retie Ingeniería y gestión. <https://www.retieingenieriaygestion.com/que-es-retilap/>

(s.f.). Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE: Página de inicio. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10004/1/AC-ESPEL-EMI-0278.pdf>

(s.f.). Repositorio de la Universidad Tecnológica de Pereira: Inicio. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/d5f9106a-f4cd-4ccc-8049-bf79a017d610/content>

*Sistema PQRS (Peticiones, Quejas, Reclamos y sugerencias)*. (s.f.). Intertek. <https://www.intertek.com.co/sistema-PQRS/>