

DISEÑO DE LA RED DE BAJA TENSIÓN PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO EN  
EL MUNICIPIO DE COVARACHÍA BOYACÁ

Jeison Fabian Duran Castellanos

Pierry Silva Sepúlveda

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Electricista

Director

Manuel José Ortiz Rangel

MIE. en Ingeniería Eléctrica

Codirector

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

PhD. en Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones

Bucaramanga

2026

### **Agradecimientos**

Agradezco primeramente a Dios por guiarme en este largo y arduo camino. A mis padres Inés Sepúlveda y Nelson Romero por ese apoyo incondicional en los momentos difíciles y a mis dos tías Mary Luz y Olga Romero.

Finalmente agradezco al profesor Manuel José Ortiz por su calidad como persona y como docente, su compromiso y orientación fueron los pilares en mi proceso de formación.

**Pierry Silva Sepúlveda**

### **Agradecimientos**

Quiero agradecer primeramente a Dios por brindarme la salud y la sabiduría para culminar este camino universitario. A mi madre Flor Alba Castellanos Garcés, a ella que siempre me estuvo apoyando y motivando para nunca rendirme, gracias a su valentía y amor lograron que hoy logre este objetivo. A mi padre Libardo Duran Franco porque fue mi modelo a seguir, con su enseñanza y su esfuerzo guiaron el camino para culminar esta etapa. A mi hermana Karen Lorena Duran Castellanos a quien me alegraba los días para poder seguir adelante, a mi hermano Luis Mateo Duran Franco a ellos dos siempre me motivaron para que su hermano fuera un profesional. Mis abuelas y mi abuelo que siempre me han querido ver como un profesional. No puede faltar la persona que cambió el rumbo de mi vida, mi pareja Valery Sandrid Páez Celis, mi compañera de vida que siempre me motivo y nunca me abandono en este largo y arduo camino.

Al profesor Manuel Ortiz agradecerle por su enseñanza por su vocación y su compromiso por enseñarme y guiarme en esta profesión tan maravillosa, al profesor Quiroga por aportar su conocimiento y sus capacidades en el desarrollo de este nuestro proyecto de grado.

**Jeison Fabian Duran Castellanos**

## Tabla de contenido

Introducción.....	10
1. Objetivos .....	11
1.1 Objetivo General .....	11
1.2 Objetivos Específicos.....	11
2. Fundamentación técnica y normativa del diseño de la red de baja tensión .....	12
2.1 Referentes técnicos, conceptuales y normativos aplicados al diseño .....	12
2.2. Método. ....	14
3. Análisis técnico y económico del sistema.....	16
3.1. Diagnóstico y Recopilación de Información Técnica.....	16
3.2. Propuesta Técnica e Integral .....	20
3.2.1. Criterios técnicos de diseño.....	20
3.2.2. Configuración de la red de alumbrado público .....	20
3.2.3. Esquema de medición independiente.....	21
3.2.4. Selección de materiales y equipos.....	21
3.3 Dimensionamiento técnico de la red de baja tensión.....	21
3.3.1 Selección del transformador .....	21
3.3.2 Selección de conductores.....	22
3.3.3 Selección de protecciones.....	23
3.3.4 Selección del equipo de medida .....	24
3.3.5 El Burden .....	24
3.3.6 Regulación de tensión .....	25
3.3.7 Perdidas de potencia.....	25
3.3.8 Distancias de seguridad.....	26
3.3.9 Estructura de conexión .....	26
3.4 Perdidas monetarias.....	27
3.5 Costos de instalación .....	27
3.5.2 Costo mano de obra.....	29
4. Conclusiones .....	30
Referencias Bibliográficas .....	31

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Luminarias en inventario actualizado.....	18
<b>Tabla 2.</b> Precios en Colombia actualizados 2026.....	28
<b>Tabla 3.</b> Mano de obra.....	29

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Socialización con la comunidad del municipio .....	17
<b>Figura 2.</b> Alumbrado público polideportivo y de la carrera 2.....	18
<b>Figura 3.</b> Ubicación de los transformadores existentes .....	19
<b>Figura 4.</b> Tabla límites de regulación de tensión.....	25

## Glosario

**Alumbrado público:** Sistema de iluminación destinado a espacios públicos como vías, parques y zonas urbanas, cuyo propósito es mejorar la seguridad y visibilidad.

**Cortocircuito:** Falla eléctrica que ocurre cuando dos puntos de diferente potencial entran en contacto directo, generando una corriente elevada.

**DPS:** Dispositivo de protección contra sobretensiones.

**Eficiencia energética:** Uso óptimo de la energía para reducir pérdidas y maximizar el rendimiento del sistema eléctrico.

**NTC 2050:** Norma técnica colombiana basada en el National Electrical Code (NEC) cuyo objeto es la salvaguardia de las personas y de los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad.

**RETIE:** reglamento técnico de instalaciones eléctricas es una normativa obligatoria en Colombia, expedida por el ministerio de minas y energía, que establece los requisitos técnicos y legales para garantizar la seguridad en las instalaciones eléctricas

**Transformador:** Equipo eléctrico que permite modificar los niveles de tensión en un sistema de potencia

## Resumen

**Título:** DISEÑO DE LA RED DE BAJA TENSIÓN PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO EN EL MUNICIPIO DE COVARACHÍA BOYACÁ

**Autor:** Jeison Fabian Duran Castellanos, Pierry Silva Sepúlveda.

**Palabras Clave:** Alumbrado público, RETIE, NTC 2050, EBSA, eficiencia energética.

**Descripción:** El presente proyecto tiene como objeto presentar el diseño de la red de baja tensión para el alumbrado público del municipio de Covarachía, Boyacá, con el fin de mejorar la eficiencia energética, la confiabilidad del servicio y la gestión del consumo. Para ello, se realizó un levantamiento de información en campo que permitió actualizar el inventario de luminarias y así poder caracterizar el estado actual del sistema. Teniendo esta información recolectada, se llevó a cabo el dimensionamiento técnico de la red, incluyendo la selección del transformador, conductores, protecciones y equipos de medida, conforme a la normativa vigente como el RETIE y la NTC 2050. Adicionalmente, se verificaron parámetros de calidad como la regulación de tensión y las pérdidas de potencia, para si poder garantizar condiciones adecuadas de operación. Se propone un sistema de alumbrado público con medición independiente y mejor organización de los circuitos, lo que permite una adecuada gestión energética y facilita su futura implementación, operación y mantenimiento.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Director: Manuel José Ortiz Rangel, MIE in Electrical Engineering. Codirector: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, PhD in Engineering.

### Abstract

**Title:** DESIGN OF THE LOW VOLTAGE GRID FOR PUBLIC LIGHTING IN THE MUNICIPALITY OF COVARACHÍA, BOYACÁ

**Author:** Jeison Fabian Duran Castellanos, Pierry Silva Sepúlveda.

**Key Words:** Public lighting, RETIE, NTC 2050, EBSA, energy efficiency.

**Description:** This project aims to present the design of the low-voltage grid for public lighting in the municipality of Covarachía, Boyacá, in order to improve energy efficiency, service reliability, and consumption management. To this end, a field survey was conducted to update the inventory of luminaires and characterize the current state of the system. With this information gathered, the technical sizing of the grid was carried out, including the selection of the transformer, conductors, protective devices, and metering equipment, in accordance with current regulations such as RETIE and NTC 2050. Additionally, quality parameters such as voltage regulation and power losses were verified to ensure adequate operating conditions. A public lighting system with independent metering and improved circuit organization is proposed, enabling proper energy management and facilitating its future implementation, operation, and maintenance.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Director: Manuel José Ortiz Rangel, MIE in Electrical Engineering. Codirector: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, PhD in Engineering.

## **Introducción**

El alumbrado público es un servicio esencial para la seguridad y el bienestar de las comunidades, ya que influye directamente en la movilidad, la actividad económica y la percepción de seguridad ciudadana. En Colombia, la modernización de estos sistemas es una prioridad para los municipios, orientada a mejorar la eficiencia energética y la gestión técnica de las redes de distribución eléctrica.

El municipio de Covarachía, ubicado en el norte del departamento de Boyacá, presenta una infraestructura eléctrica que requiere actualización. La red de baja tensión que alimenta el sistema de alumbrado público evidencia deficiencias asociadas a su antigüedad, la falta de documentación técnica y la ausencia de planos actualizados. Además, opera bajo un esquema de red en aforo, lo que impide la medición independiente del consumo energético y dificulta la adecuada gestión de los recursos del impuesto de alumbrado público.

Aunque el marco normativo vigente, conformado por el RETIE, la NTC 2050 y las normas de la Empresa de Energía de Boyacá (EBSA), establece los lineamientos técnicos y de seguridad aplicables, en Covarachía no se cuenta con un diseño formal que garantice su cumplimiento ni que sirva como base para la operación y el mantenimiento del sistema.

Estas deficiencias se reflejan en interrupciones frecuentes del servicio y en demoras en la atención de fallas, afectando la calidad del alumbrado público, la seguridad vial y peatonal y la percepción de la gestión municipal. En este contexto, se identifica como problema central la ausencia de un diseño técnico actualizado de la red de baja tensión para el alumbrado público del

municipio de Covarachía, así como la falta de un esquema de medición independiente que permita cuantificar de forma precisa el consumo energético.

En respuesta a esta problemática, el presente trabajo de grado propone el diseño de la red de baja tensión del sistema de alumbrado público del municipio de Covarachía, Boyacá, considerando los requerimientos técnicos, normativos y sociales. La propuesta contempla la separación funcional del sistema y la implementación de medición independiente, con el fin de garantizar la confiabilidad del suministro, la eficiencia energética y la adecuada gestión del servicio.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Diseñar la red de baja tensión para el sistema de alumbrado público del municipio de Covarachía, Boyacá, atendiendo a los requerimientos técnicos, normativos y sociales.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- I. Diagnosticar el estado actual de la red de baja tensión del sistema de alumbrado público del municipio de Covarachía, mediante la recopilación de información técnica, levantamiento en campo y actualización de planos e inventarios eléctricos.
- II. Diseñar una propuesta técnica integral para la red de baja tensión del alumbrado público, aplicando los criterios establecidos en el RETIE (Ministerio de Minas y Energías, 2024), la NTC 2050 (ICONTEC, 2020) y las normas técnicas de la EBSA, garantizando la eficiencia, seguridad y capacidad de expansión del sistema.
- III. Elaborar la documentación técnica del proyecto, incluyendo memorias de cálculo, planos eléctricos, árbol de cargas y propuestas de mejora metodológica, con el fin de facilitar la

implementación y gestión futura del sistema por parte del municipio y el operador de red.

## **2. Fundamentación técnica y normativa del diseño de la red de baja tensión**

### **2.1 Referentes técnicos, conceptuales y normativos aplicados al diseño**

El presente trabajo de grado se fundamenta en referentes teóricos, conceptuales y normativos que sustentan el diseño de la red de baja tensión para el sistema de alumbrado público del municipio de Covarachía, Boyacá. Estos referentes permiten abordar la problemática desde una perspectiva técnica y académica, garantizando coherencia con los principios de la ingeniería eléctrica y con el marco regulatorio vigente en Colombia.

Desde el punto de vista teórico, el alumbrado público se concibe como un subsistema esencial de la infraestructura eléctrica urbana, encargado de proporcionar condiciones adecuadas de visibilidad, seguridad vial y peatonal en los espacios de uso público. Dichos sistemas son alimentados, en la mayoría de los casos, por redes de distribución en baja tensión, cuyo diseño debe responder a criterios de seguridad, confiabilidad y eficiencia energética.

En el marco conceptual, se consideran definiciones clave como red de baja tensión, alumbrado público, red en aforo, medición independiente y confiabilidad del suministro. En particular, la medición independiente del alumbrado público se reconoce como un elemento fundamental para la gestión técnica y económica del servicio, ya que permite cuantificar de manera precisa el consumo energético y facilita la planeación de inversiones.

Los antecedentes académicos también destacan la relevancia de la seguridad eléctrica en las instalaciones de alumbrado público. Investigaciones desarrolladas en la Universidad Industrial de Santander han abordado aspectos técnicos relacionados con el diseño y la operación de sistemas de alumbrado público, evidenciando la necesidad de cumplir estrictamente los requisitos del

servicio (Bayona & Ramírez, 2023). Asimismo, se han propuesto soluciones orientadas al monitoreo y gestión del alumbrado público mediante tecnologías modernas, aportando criterios relevantes para el análisis del comportamiento y operación de estos sistemas (Vera & Niño, 2021). Desde el punto de vista legal y normativo, el diseño de redes de baja tensión para alumbrado público en Colombia se rige por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), el cual establece las condiciones de seguridad necesarias para la protección de las personas y los bienes (Ministerio de Minas y Energía, 2024). De manera complementaria, la Norma Técnica Colombiana NTC 2050 define los criterios técnicos aplicables a las instalaciones eléctricas en baja tensión (ICONTEC, 2020). Adicionalmente, la prestación del servicio de alumbrado público se encuentra regulada por la Ley 142 de 1994 (Congreso de Colombia, 1994) y el Decreto 943 de 2018 (Presidencia de la República de Colombia, 2018), que asignan a los municipios la responsabilidad de garantizar un servicio eficiente, continuo y sostenible. En el departamento de Boyacá se rige bajo la Norma de Diseño de Redes de Distribución de Energía Eléctrica, el cual establece los criterios de diseño para las redes locales en el departamento (Empresa de Energía de Boyaca, 2014).

En este contexto, el presente trabajo de grado se apoya en los referentes teóricos, conceptuales, normativos y en los antecedentes académicos desarrollados en la Universidad Industrial de Santander para proponer un diseño técnico de la red de baja tensión del sistema de alumbrado público del municipio de Covarachía, acorde con las condiciones reales del entorno y con la normativa vigente.

## 2.2. Método.

El enfoque metodológico adoptado es de tipo descriptivo y proyectivo, ya que se parte del análisis de las condiciones actuales del sistema eléctrico en el municipio de Covarachía, Boyacá, para formular una propuesta técnica de red que responda a las necesidades reales del municipio.

El diseño conceptual de la solución se estructura en cuatro fases interdisciplinarias:

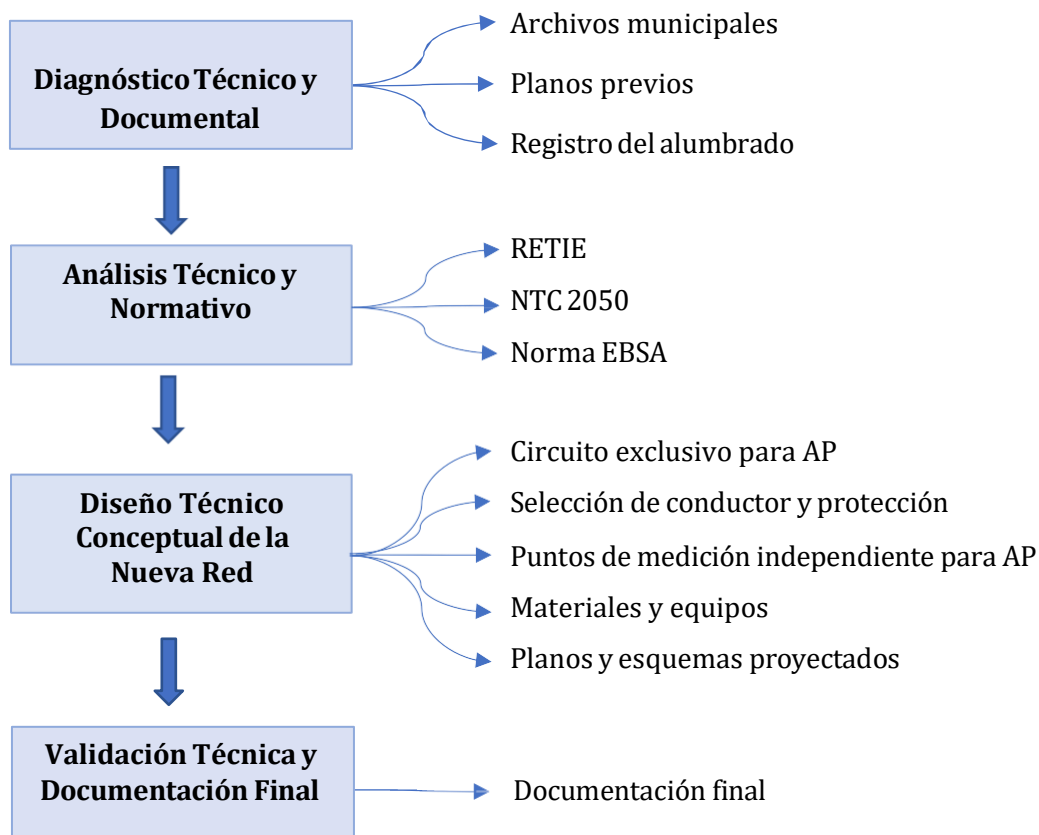


Diagrama de bloques. Fuente: Elaboración propia.

## **I. Diagnóstico Técnico y documental**

En esta etapa se recopila y organiza la información existente sobre el sistema de alumbrado público y la red de baja tensión. Las actividades incluyen la revisión de archivos municipales, planos previos, registro de alumbrado y observaciones aportadas por residentes y funcionarios. Se realizará una cateterización preliminar del estado actual del sistema, identificando tramos críticos, transformadores, elementos en funcionamiento y puntos de conexión. Este diagnóstico permitirá definir la línea base sobre la cual se construirá el nuevo diseño (ver Apéndice 1).

## **II. Análisis Técnico y Normativo**

A partir del diagnóstico, se procedió a analizar la red bajo los criterios de capacidad de carga, regulación de tensión, caídas admisibles y pérdidas eléctricas, aplicando las fórmulas establecidas en la NTC 2050 (ICONTEC, 2020) y RETIE (Ministerio de Minas y Energías, 2024). En paralelo, se revisaron las especificaciones técnicas de la EBSA para asegurar la compatibilidad del diseño con los parámetros exigidos por el operador de red. Se identificaron alternativas de solución y se evaluó la factibilidad de pasar de una red de aforo a un sistema con medición independiente del alumbrado público.

## **III. Diseño técnico conceptual de la nueva red**

Con base en el análisis anterior, se desarrolló el diseño conceptual de la nueva red de baja tensión, definiendo:

- La configuración de circuitos exclusivos para alumbrado público.
- El dimensionamiento de conductores y protecciones.

- Los puntos de medición independiente y sistema de control energético.
- Los materiales y equipos conforme a las normas técnicas vigentes.
- El diseño conceptual servirá como base para la elaboración de los planos eléctricos y memorias de cálculo detalladas en la fase siguiente.

#### **IV. Validación técnica y documentación final**

La última fase consistirá en la consolidación de los resultados de un documento técnico que incluya planos, memorias de cálculo, arboles de cargas y anexos normativos. Este documento será revisado por el director y codirector, de esta forma se garantizará la viabilidad técnica, económica y operativa del diseño, además de su alineación con las normas de seguridad y eficiencia energética.

### **3. Análisis técnico y económico del sistema**

#### **3.1. Diagnóstico y Recopilación de Información Técnica**

Como parte del desarrollo del presente proyecto, se lleva a cabo un recorrido en el municipio de Covarachía con el fin de identificar y conocer de primera mano las condiciones reales de operación del sistema de alumbrado público. Durante el recorrido se llevó a cabo una inspección visual de dicho sistema, verificando el estado de las luminarias, estructuras de soporte y puntos de conexión.

De igual manera, se realizó una socialización con residentes del municipio y representantes de la alcaldía municipal, lo cual permitió identificar las principales problemáticas asociadas al

servicio, entre ellas interrupciones frecuentes durante temporadas de lluvia y demoras en la atención en las fallas.

**Figura 1.**

*Socialización con la comunidad del municipio.*



Se pudo evidenciar que el sistema de alumbrado público opera bajo un esquema de red en aforo, sin medición independiente del consumo de energía. Así mismo, se constató la inexistencia de planos eléctricos y documentación formal de la red, lo que dificulta la gestión, mantenimiento y expansión del sistema. El diagnóstico obtenido en esta etapa permitió establecer la necesidad de un rediseño estructurado de la red de baja tensión, el cual se desarrolla en las secciones siguientes. Se pudo obtener por parte de la Alcaldía Municipal de Covarachía: Planos de las zonas urbanas del municipio y base de datos del alumbrado público. Se solicitó de igual manera: plano de las redes eléctricas de alumbrado público, copia del acuerdo vigente entre la Alcaldía y el OR (EBSA), planes de modernización y expansión del municipio y fichas técnicas de los equipos de alumbrado público actualmente instalados. La Alcaldía municipal no cuenta actualmente con estos últimos documentos solicitados. En cuanto a la base de datos del alumbrado público, se tiene una

fecha desactualizada por tal motivo se procede a la actualización de dicho inventario para tener una información actualizada y confiable del estado actual de la infraestructura.

En esta actividad se efectuó la georreferenciación y ubicación de cada luminaria instalada, así como la verificación de su potencia nominal, tecnología empleada y condiciones físicas de operación. Adicionalmente, se identificaron equipos fuera de servicio o con deterioro evidente.

**Figura 2.**

*Alumbrado público polideportivo y de la carrera 2*



El recorrido permitió consolidar una nueva base de datos actualizada, la cual permitió realizar el cálculo de la carga instalada, el análisis de demanda y el posterior dimensionamiento de la red de baja tensión propuesta.

**Tabla 1**

*Luminarias en inventario actualizado*

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Luminarias instaladas	93

Luminarias fuera de servicio	21
Luminarias en servicio	72

---

En el recorrido realizado se identificó de igual manera una red de media tensión (M.T) ubicada en el municipio en la Carrera 3 conectando un primer transformador de tensión ubicado entre la Calle 3 y la Calle 4, el cual tiene una potencia de 75 kVA, esta red de M.T sigue su recorrido por la Carrera 3 hasta un siguiente transformador de tensión de 75 kVA ubicado entre la Calle 1 y la Calle 2. Adicionalmente, el municipio cuenta con un tercer transformador de 30 kVA en la Carrera 2a. Estos transformadores son los encargados de reducir el nivel de tensión de la red de M.T (13.200 V) a nivel de baja tensión (B.T) (127/220 V) el necesario para la distribución residencial y comercial que alimenta las luminarias del alumbrado público para un correcto funcionamiento.

**Figura 3.**

*Ubicación de los transformadores de tensión existentes.*



*Nota: Tomado de Google Earth*

### **3.2. Propuesta Técnica e Integral**

Con base en el diagnóstico técnico realizado y en la caracterización de la red existente, se desarrolló la propuesta técnica de la nueva red de baja tensión para el sistema de alumbrado público del municipio de Covarachía. Este diseño tiene como finalidad mejorar la confiabilidad, eficiencia y gestión del sistema, en cumplimiento con la normativa vigente.

#### **3.2.1. Criterios técnicos de diseño**

El diseño conceptual se fundamenta en criterios técnicos orientados a garantizar la adecuada operación del sistema de alumbrado público. Entre los principales criterios considerados se encuentra la separación funcional del sistema respecto a otras cargas, la confiabilidad del suministro, la regulación de tensión dentro de los límites permitidos, la facilidad de mantenimiento y la compatibilidad con la infraestructura existente.

Adicionalmente, se tuvieron en cuenta las condiciones identificadas en campo, tales como la distribución de las luminarias, el estado de la red existente y la ausencia de medición independiente del sistema.

#### **3.2.2. Configuración de la red de alumbrado público**

Se definió una configuración de red tipo radial con circuitos exclusivos para el sistema de alumbrado público, permitiendo su independencia operativa respecto a otras cargas conectadas a la red de distribución. Esta configuración facilita la localización de fallas, mejora la continuidad del servicio y permite una gestión más eficiente del sistema.

La distribución de los circuitos se planteó de acuerdo con la ubicación de las luminarias y la estructura existente de la red, optimizando los recorridos eléctricos y garantizando una cobertura adecuada del servicio.

### ***3.2.3. Esquema de medición independiente***

Se definió la implementación de un sistema de medición independiente para el alumbrado público, mediante la instalación de equipos de medida ubicados en puntos estratégicos de la red. Este esquema permite el registro preciso del consumo energético del sistema, facilitando la trazabilidad del consumo de energía y mejora la gestión técnica y administrativa del servicio. Asimismo, contribuye a la transparencia en el manejo de los recursos asociados al alumbrado público.

### ***3.2.4. Selección de materiales y equipos***

La selección de materiales y equipos se realizó conforme a los lineamientos establecidos en el RETIE (Ministerio de Minas y Energías, 2024), la NTC 2050 (ICONTEC, 2020) y las especificaciones técnicas del operador de red (EBSA). Se priorizó el uso de elementos normalizados que garanticen condiciones adecuadas de seguridad eléctrica, durabilidad y facilidad de mantenimiento, asegurando la compatibilidad con la infraestructura existente y las condiciones de operación del sistema.

## **3.3 Dimensionamiento técnico de la red de baja tensión**

El dimensionamiento técnico de la red de baja tensión para el alumbrado público del municipio se realizó teniendo en cuenta la potencia instalada y la proyectada, considerando criterios de capacidad de conductores, regulación de tensión, protección eléctrica y cumplimiento de la normativa vigente. Este proceso permitió definir las características eléctricas de los elementos que conforman la red, garantizando condiciones adecuadas de operación, seguridad y eficiencia del sistema

### ***3.3.1 Selección del transformador***

La selección del transformador se realizó con base en la carga total instalada del sistema de alumbrado público del municipio, considerando un margen de capacidad en el transformador

para futuras ampliaciones del sistema y garantizando su adecuada operación. La potencia requerida se determinó a partir de la relación entre la potencia activa de las luminarias instaladas y el factor de potencia del sistema ( $fp=0.9$ ), teniendo así una potencia aparente de 11.89 [kVA].

Se tuvo en cuenta una proyección de crecimiento territorial por tal motivo se considera un margen de operación del 25% de la potencia aparente instalada, para así obtener una potencia de 14.86 [kVA] (ver Anexo 12). Es de esta manera como se selecciona un TRANSFORMADOR SIEMENS MONOFASICO EN ACEITE TIPO POSTE DE 25 kVA 13200 V / 240-120 V (ver Apéndice 5).

### **3.3.2 Selección de conductores**

La selección de los conductores que conforman la red de baja tensión del alumbrado público se realizó teniendo en cuenta la corriente de diseño obtenida a partir del análisis de carga del sistema de alumbrado público (ver Apéndice 13), considerando criterios de capacidad de conducción, regulación de tensión según la norma EBSA y condiciones de instalación, conforme a lo establecido en la NTC 2050 (ICONTEC, 2020).

Para cada tramo de la red se determinó el calibre del conductor adecuado, garantizando que su capacidad sea superior a la corriente de operación y que garantice su eficiencia y seguridad en el sistema. Los conductores adecuados en cada tramo son:

- **Conductor de acometida (L1 L2)**

Cable De Potencia Cu 90 °C XHHW-2 600V PVC TC 2X6 AWG.

- **Conductor de circuitos (L1 – L2)**

Cable De Potencia Cu 90 °C XHHW-2 600V PVC TC 2X10 AWG.

- **Conductor de tierra**

Cable De Cobre Desnudo **1/0** AWG para las bajantes de los DPS.

Cable THHN/THWN-2 600V C.12AWG para la puesta a tierra.

El detallado de las corrientes y la selección de conductores para los respectivos tramos, como las especificaciones de los conductores se presentan en el Apéndice 13 (ver Apéndice 13).

### **3.3.3 Selección de protecciones**

La selección de los equipos de protección se llevó a cabo con base en la corriente de diseño del sistema para cada tramo y la capacidad de cada uno de los conductores, con el fin de garantizar la seguridad y la eficiencia de la red ante condiciones de sobre carga y corto circuito.

Se tuvo en cuenta la adecuada coordinación entre la corriente de la carga, el dispositivo de protección y la capacidad de conducción del conductor, cumpliendo la siguiente condición, esta condición garantiza que la protección permita el funcionamiento normal de la carga y, al mismo tiempo, proteja el conductor contra sobrecorrientes y sobrecalentamientos:

$$I_{carga} \leq I_{protección} \leq I_{conductor}$$

Los dispositivos seleccionados corresponden a interruptores termomagnéticos normalizados, definidos a partir de valores comerciales que aseguran una correcta operación del sistema (ver Apéndice 13).

- **Protección de la acometida**

Breaker Industrial 70 AMP.

- **Protección de los circuitos**

Breaker Bipolar 2X6 AMP 6 kA.

Breaker Bipolar 2X30 AMP 50 kA.

### ***3.3.4 Selección del equipo de medida***

Con el fin de garantizar un registro del consumo energético independiente del sistema de alumbrado público del municipio de Covarachía, garantizando la adecuada gestión de los recursos de recaudados por el alumbrado público y una eficiencia gestión técnica, se seleccionó un medidor de energía activa de tipo bifásico, con características acordes a la tensión y corriente a la que opera el sistema, garantizando su operación dentro de los rangos nominales y que su vez cumpla con los requisitos legales del operador de red (EBSA).

La implementación de este equipo permite la trazabilidad del consumo energético del sistema, facilitando el control del consumo energético y la planificación de recursos asociados al servicio de alumbrado público (ver Anexo 13). La selección del equipo de medida se fundamenta en los lineamientos establecidos por la CREG en la Resolución 038 de 2014, donde se establece que el consumo de energía del alumbrado público debe determinarse preferiblemente mediante medición directa. En este contexto, la implementación de medición directa permite una mayor precisión en la determinación del consumo energético y en la gestión del servicio (CREG, 2014).

### ***3.3.5 El Burden***

De acuerdo con la corriente de diseño del sistema, teniendo en cuenta un factor de seguridad del 25%, estimada en aproximadamente 65.7 A (Ver Anexo 13), se verifica que el medidor seleccionado se encuentra dentro de su rango de operación nominal, por lo que no se requiere el uso de transformadores de corriente (CT). En consecuencia, al no existir un circuito secundario asociado a transformadores de medida, no es necesario realizar el cálculo del burden, ya que este únicamente aplica en sistemas de medición indirecta donde intervienen dichos dispositivos.

Por lo tanto, se garantiza una medición directa adecuada sin afectaciones por carga en el circuito de medida.

### 3.3.6 Regulación de tensión

La regulación de tensión del sistema de alumbrado público se evaluó con el fin de garantizar que los niveles de tensión en operación se mantengan dentro de los límites permisibles establecidos para redes de baja tensión según el operador de red (EBSA).

#### *Figura 4.*

*Tabla límites de regulación de tensión.*

**Tabla 70. Límites de regulación de tensión (desde bornera de baja tensión del transformador hasta caja de derivación).**

NIVEL DE TENSIÓN DE LA RED (V)	VALOR MÁXIMO DE REGULACIÓN (%)	
	SECTOR URBANO	SECTOR RURAL
240- 120	5,0	7,0
208 - 120	5,0	5,0

*Nota: Adaptado de la norma de diseño de redes de distribución de energía eléctrica (EBSA).*

Para ello, se verificó que la caída de tensión en los conductores no supere el 5% del valor nominal, considerando la longitud de los circuitos, la corriente de carga y las características eléctricas de los conductores. (ver Apéndice 2).

### 3.3.7 Pérdidas de potencia

Las pérdidas de potencia en la red de alumbrado público se verificaron con el propósito de saber y tener en cuenta la energía disipada en los conductores por el efecto Joule, garantizando un diseño eficiente del sistema (ver Apéndice 13).

A partir del análisis realizado, se determinó que las pérdidas corresponden aproximadamente al 0.81% de la capacidad nominal del transformador, equivalente a 0.2 [kW], lo cual se considera un valor adecuado para la operación del sistema (ver Apéndice 2).

Estos resultados evidencian una correcta selección de conductores y una adecuada distribución de la red que proporcionara energía a las luminarias que conforman el alumbrado público del municipio de Covarachía en el departamento de Boyacá.

### ***3.3.8 Distancias de seguridad***

En el diseño de la red de baja tensión para el sistema de alumbrado público se consideraron las distancias de seguridad establecidas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), con el fin de garantizar la protección de las personas, la infraestructura y la adecuada operación del sistema.

Se verificó el cumplimiento de las distancias mínimas entre el conductor y las estructuras, edificaciones y zonas de tránsito, así como las alturas de instalación requeridas para redes de baja tensión, asegurando condiciones seguras de operación y de mantenimiento (ver Apéndice 13).

### ***3.3.9 Estructura de conexión***

Para la alimentación del sistema de alumbrado público se definió una estructura de conexión a la red de media tensión, compuesta por elementos de soporte y protección que permiten la adecuada operación del sistema y el cumplimiento de los requisitos de seguridad establecidos en la normativa vigente.

Esta estructura integra los equipos necesarios para la conexión, protección y transformación de la energía eléctrica, garantizando la continuidad del servicio y la protección de los componentes del sistema (ver Apéndice 13).

### **3.4 Perdidas monetarias**

A partir del análisis realizado al sistema de alumbrado público del municipio de Covarachía, se pudo identificar que una parte de las luminarias instaladas actualmente no se encuentran en funcionamiento, lo cual tiene implicaciones técnicas como económicas.

En este caso, las luminarias fuera de servicio representan una potencia aproximada de 2.07 KW, lo cual tendrían un consumo mensual de 745.2 KWh si estuviesen operando normalmente, considerando un tiempo de funcionamiento de 12 horas diarias. Al llevar estos valores a términos económicos se obtiene un costo aproximado de \$690,000 COP mensuales, de acuerdo con la tarifa de energía usada en el análisis (Ver Apéndice 14).

Al proyectar estos valores, se observa que en un año el costo asociado a estas luminarias asciende a aproximadamente \$8.28 millones de pesos, y en un periodo de cuatro años supera los \$33 millones (Ver Apéndice 15). Esto muestra que, con el tiempo, el impacto económico puede ser considerable si no se toman medidas.

Por lo anterior, se considera necesario que el municipio revise tanto el estado real de las luminarias como la forma en que se está realizando la facturación del servicio de alumbrado público, en general este análisis permite evidenciar que no solo se trata de un tema técnico, sino también de una buena gestión del sistema, donde es clave tener información actualizada y un control adecuado sobre el funcionamiento y los costos asociados.

### **3.5 Costos de instalación**

Para el presente proyecto se considera el aprovechamiento de la infraestructura existente correspondiente a la postiería del sistema, con el fin de reducir los costos de inversión. Por lo tanto, el análisis económico se enfoca en la adquisición e instalación de los equipos eléctricos necesarios

para la correcta operación del sistema de alumbrado público. De acuerdo con la memoria de cálculo (ver Apéndice 12), los principales elementos requeridos son:

- Transformador de distribución
- Conductores eléctricos
- Sistema de medida
- Protecciones eléctricas
- Elementos de conexión y herrajes

### 3.5.1 Cuadro de materiales y costos estimados

**Tabla 2**

*Precios aproximados en Colombia 2026*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (COP)</b>	<b>Total (COP)</b>
Transformador 25 kVA 13,2 kV/120-240 V	und	1	\$ 5,164,350.00	\$ 5,164,350.00
Cable Cu 2x6 AWG XHHW-2	ml	130	\$ 20,000.00	\$ 2,600,000.00
Cable Cu 2x10 AWG XHHW-2	ml	3620	\$ 11,000.00	\$ 39,820,000.00
Cable Cu #12 AWG	ml	50	\$ 3,000.00	\$ 150,000.00
Breaker 70 AMP industrial	und	1	\$ 234,200.00	\$ 234,200.00
Medidor Bifásico	und	1	\$ 400,000.00	\$ 400,000.00
DPS Media tensión	und	1	\$ 600,000.00	\$ 600,000.00
Cortacircuitos 15 kV	und	3	\$ 300,000.00	\$ 900,000.00
Herrajes y accesorios	Global	1	\$ 500,000.00	\$ 500,000.00
Breaker 30 AMP	und	1	\$ 28,000.00	\$ 28,000.00

Breaker 6 AMP	und	6	\$ 36,000.00	\$ 216,000.00
Kit puesto a tierra SPT CGB	ml	12	\$ 29,000.00	\$ 348,000.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 50,960,550.00</b>

### 3.5.2 Costo mano de obra

**Tabla 3.**

*Mano de obra*

<b>Concepto</b>	<b>Valor aproximado</b>
Instalación del transformador	\$ 800,000.00
Tendido de conductores	\$ 1,200,000.00
Instalación de conductores	\$ 400,000.00
Sistema de puesta a tierra	\$ 300,000.00
<b>Total</b>	<b>\$ 2,700,000.00</b>

El costo total estimado del proyecto es de aproximadamente 53.6 millones de pesos, lo cual representa una inversión razonable considerando la modernización del sistema de alumbrado público del municipio. Es importante resaltar que el aprovechamiento de la infraestructura existente permite una reducción significativa en los costos, ya que la instalación de nueva postería representa uno de los rubros más elevados en este tipo de proyectos.

Si se compara esta inversión con las pérdidas económicas estimadas en más de 33 millones de pesos en un periodo de cuatro años, se evidencia que la intervención del sistema no solo es técnicamente necesaria, sino también económicamente viable.

#### 4. Conclusiones

- El desarrollo del presente proyecto permitió dar cumplimiento a lo proyectado y planteado mediante la formulación de una propuesta integral para el diseño de la red de baja tensión del sistema de alumbrado público del municipio de Covarachía, Boyacá.
- A partir del levantamiento de información en campo, permitió identificar características claves y detalladas de la infraestructura existente, lo que permitió identificar las principales fallas que ocasionaban la deficiencia del sistema y establecer criterios técnicos para su intervención. Teniendo esta información, se llevó a cabo el diseño y dimensionamiento de la red, considerando aspectos fundamentales como la selección del transformador, conductores, protecciones y equipos de medida, siguiendo los lineamientos normativos vigentes y criterios de eficiencia energética, así mismo garantizando la confiabilidad del servicio en el municipio.
- Además, la incorporación de un esquema de medición independiente constituye un aporte significativo para la trazabilidad del consumo y la adecuada gestión de los recursos asociados al alumbrado público.
- Finalmente, la documentación técnica desarrollada proporciona una herramienta útil que facilita la implementación, operación y mantenimiento del sistema. Contribuyendo al fortalecimiento de la gestión municipal y a la mejora de las condiciones de seguridad y calidad de vida de la comunidad.

### Referencias Bibliográficas

- Bayona Vargas, J. D., & Ramírez Pérez, N. D. (2023). Diseño de la red de alumbrado público de la carrera 27 de Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. <https://noesis.uis.edu.co/items/062e2a3a-7108-488f-90aa-70fc98909810>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2014). Resolución CREG 038 de 2014: Por la cual se establecen disposiciones para el servicio de alumbrado público. [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion\\_creg\\_0038\\_2014.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0038_2014.htm)
- Empresa de Energía de Boyacá (EBSA). (2014). Normas de diseño de redes de distribución de energía eléctrica.
- ICONTEC. (2020). NTC 2050: Código eléctrico colombiano. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Ministerio de Minas y Energía. (2018). Decreto 943 de 2018 por el cual se reglamenta el servicio de alumbrado público. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=86317>
- Ministerio de Minas y Energía. (2020). Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP). Resolución 40150 de 2020. Ministerio de Minas y Energía.
- Ministerio de Minas y Energía. (2024). Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE). <https://www.minenergia.gov.co/retie>
- Vera Negrón, M. F., & Niño Méndez, E. A. (2021). Diseño de una plataforma IoT para el monitoreo y reporte de fallas del alumbrado público tipo LED en zonas urbanas [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander]. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/41568>