

Evaluación comparativa de la eficiencia energética y costo-beneficio de lámparas solares versus luminarias convencionales en vías terciarias y rurales: Caso de estudio en la vía Saravena-Arauca-La Unión.

Marlon Fuentes Güiza y Andrés Felipe Carreño Bautista

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Electricista

Director

Rolando Andrés Rincón Saravia
MBA. Magister en Dirección de Empresas

Codirector

Oscar Arnulfo Qüiroga Qüiroga
PhD. En Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2026

Tabla de Contenido

Introducción	9
1. Objetivos.....	10
1.1 Objetivo General.....	10
1.2 Objetivos Específicos.....	10
2. Cuerpo del Trabajo	11
2.1 Marco Referencial.....	11
2.1.1 Marco Teórico.....	11
2.1.2 Marco Conceptual.....	13
2.1.3 Marco Legal.....	14
2.2 Método	15
2.2.1 Etapa 1. Revisión normativa, técnica y ambiental.....	16
2.2.2 Etapa 2. Condiciones actuales y socialización con la comunidad	17
2.2.3 Etapa 3. Evaluación comparativa de alternativas	17
2.2.4 Etapa 4. Diseño final del sistema seleccionado	17
3. Resultados	17
3.1 Desarrollo del del cumplimiento del primer objetivo especifico.....	18
3.1.1 Permisos para la ejecución del proyecto	18
3.1.2 Solicitud al operador de red	19
3.2 Desarrollo del cumplimiento del segundo objetivo especifico	19
3.2.1 Encuesta y socialización	20
3.2.2 Solicitud al alcalde y a secretaria de planeación.....	21
3.2.3 Condiciones Actuales de la Vía	21

LUMINARIAS SOLARES VS CONVENCIONALES	3
3.3 Desarrollo del cumplimiento del tercer objetivo específico	22
3.3.1 Tramo de 2.2 km en la vía la unión - Saravena	22
3.3.2 Irradiancia mínima de la zona.....	23
3.3.3 Estructura del Sistema de Alumbrado Convencional y solar.....	23
3.3.4 Luminarias seleccionadas	24
3.3.4.1 Luminaria Distecsa.	24
3.3.4.2 Luminarias Dumalux.	24
3.3.4.3 Luminarias Sylvania.	24
3.3.5 Simulación de Luminarias seleccionadas	25
3.3.5.1 Luminarias Convencionales.....	25
3.3.5.2 Luminarias Solar.....	26
3.3.6 Cotizaciones de equipos y elementos	26
3.3.7 Memoria de cálculos para el sistema convencional.....	27
3.3.7.1 Memoria de Cálculo Sylvania.....	27
3.3.7.2 Memoria de Cálculo Distecsa.	27
3.3.7.3 Memoria de Cálculo Dumalux.....	28
3.3.8 Sistema de puesta a tierra.....	28
3.3.8.1 Diseño de sistema de puesta a tierra conectas a la red.....	29
3.3.8.2 Diseño de sistema de puesta solar.....	29
3.3.9 CAUE.....	29
3.3.9.1 CAUE Convencional.	30
3.3.9.2 CAUE Solar.	30
3.3.9.3 Luminarias Elegida según el CAUE.	31

3.3.10 Comparación de las dos alternativas.....	31
3.3.10.1 Comparación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).....	31
3.3.10.2 Comparación económica.....	32
3.3.10.3 Comparación en eficiencia energética.	33
3.3.11 Comparación de beneficios otorgados por normas.....	33
3.3.12 Luminaria seleccionada	34
3.3.13 Diseño	34
3.3.13.1 Diseño en Tramo Recto.	35
3.3.13.2 Diseño en Tramo Curvo.....	35
4. Conclusiones.....	36
5. Recomendaciones	37
Referencias.....	39

Lista de Tablas

Tabla 1. CAUE convencional	30
Tabla 2. CAUE Solar	31
Tabla 3. Comparación económica.....	32
Tabla 4. Beneficios tributarios	33

Lista de Figuras

Figura 1. Metodología.....	16
Figura 2. Evidencia de la encuesta.....	20
Figura 3. Evidencia de inspección de la vía.....	22
Figura 4. Perfil de la vía e identificación de curvas.....	23
Figura 5. Sistema de puesta a tierra	28
Figura 6. Diseño en tramos rectos.....	35
Figura 7. Diseño para el tramo curvo.....	36

Resumen

Título: Evaluación comparativa de la eficiencia energética y costo-beneficio de lámparas solares versus luminarias convencionales en vías terciarias y rurales: Caso de estudio en la vía Saravena-Arauca-La Unión.

Autor: Andrés Felipe Carreño Bautista, Marlon Fuentes Güiza.

Palabras Clave: Alumbrado público, luminarias LED, sistemas solares, eficiencia energética.

Descripción: El presente proyecto tiene como objetivo diseñar un sistema de alumbrado público para un tramo de 2,2 km de la vía terciaria que conecta el municipio de Saravena con la vereda La Unión, en el departamento de Arauca. Actualmente esta vía no cuenta con iluminación, lo que genera condiciones de baja visibilidad durante la noche y aumenta el riesgo de accidentes para peatones, ciclistas y conductores que transitan por el sector. Ante esta problemática, se plantea la evaluación de diferentes alternativas de iluminación que permitan mejorar las condiciones de seguridad y movilidad en este corredor vial rural. Inicialmente se realizó un diagnóstico de las condiciones actuales de la vía, teniendo en cuenta su ubicación geográfica, las características del trazado y la disponibilidad del servicio de energía eléctrica en la zona. Posteriormente se analizaron dos alternativas de solución: un sistema de alumbrado público conectado a la red eléctrica y un sistema de alumbrado público solar autónomo. Para cada alternativa se evaluaron luminarias de tres fabricantes: Sylvania, Distecsa y Dumalux. La selección de la luminaria se realizó mediante el método del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), con el cual se determinó que la luminaria de la marca Sylvania presentaba el mejor desempeño económico entre las opciones analizadas. Posteriormente se compararon las dos alternativas utilizando luminarias de esta misma marca, considerando aspectos económicos, eficiencia energética, confiabilidad y mantenimiento. El diseño luminotécnico final se desarrolló mediante el software DIALux. Como resultado del análisis comparativo se determinó que la alternativa solar es la más conveniente para el tramo analizado, ya que, aunque presenta una mayor inversión inicial, ofrece beneficios ambientales, menores costos de mantenimiento y la posibilidad de acceder a incentivos tributarios establecidos en la Ley 1715 de 2014.

Trabajo de grado.

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Ingeniería Eléctrica. Director: Rolando Andrés Rincón Saravia. Codirector: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga.

Abstract

Title: Comparative Evaluation of Energy Efficiency and Cost–Benefit of Solar Lamps versus Conventional Luminaires on Tertiary and Rural Roads: Case Study on the Saravena–Arauca–La Unión Road

Author: Andrés Felipe Carreño Bautista, Marlon Fuentes Güiza

Key Words: Public lighting, LED luminaires, solar systems, energy efficiency.

Description: This project aims to design a public lighting system for a 2.2 km section of a tertiary road that connects the municipality of Saravena with La Unión village, located in the department of Arauca, Colombia. Currently, this road does not have a lighting system, which generates low visibility conditions during nighttime and increases the risk of accidents for pedestrians, cyclists, and drivers traveling through the area. In response to this problem, different lighting alternatives were evaluated in order to improve safety and mobility conditions along this rural road corridor. Initially, a diagnosis of the current road conditions was carried out, considering its geographical location, road characteristics, and the availability of electrical service in the area. Subsequently, two possible solutions were analyzed: a grid-connected public lighting system and an autonomous solar public lighting system. For each alternative, luminaires from three manufacturers were evaluated: Sylvania, Distecsa, and Dimalux. The luminaire selection was performed using the Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) method, which determined that the luminaire manufactured by Sylvania presented the best economic performance among the analyzed options. After selecting this manufacturer, both alternatives were compared using luminaires from the same brand, considering economic aspects, energy efficiency, reliability, and maintenance. The final lighting design was developed using the DIALux software. As a result of the comparative analysis, it was determined that the solar alternative is the most suitable option for the analyzed road section. Although it requires a higher initial investment, it provides environmental benefits, lower maintenance costs, and the possibility of accessing tax incentives established in Law 1715 of 2014.

Degree project.

Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Electrical Engineering. Director: Rolando Andrés Rincón Saravia. Co-director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga.

Introducción

En Colombia, gran parte de las zonas rurales carece de servicios esenciales como la electricidad y el alumbrado público, lo que impacta directamente la calidad de vida y la seguridad de sus habitantes. Cerca del 57 % del territorio nacional no está conectado al Sistema Interconectado Nacional (Bonilla, 2016), y esta carencia se refleja en una alta incidencia de accidentes viales. Aunque las zonas rurales presentan menor flujo vehicular, concentran el 62,7 % de las muertes por siniestros de tránsito en el país (Agencia Nacional de Seguridad Vial - ANSV, 2024).

En el departamento de Arauca, pese a que el 98 % de la población tiene acceso a electricidad (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria – UPRA, 2020), aún existen sectores rurales con infraestructura deficiente. Este estudio se enfoca en el tramo de 2,2 km entre Saravena y La Unión, donde la falta de alumbrado incrementa el riesgo de accidentes y la percepción de inseguridad.

El objetivo principal es determinar cuál de las dos tecnologías, luminarias LED (Light Emitting Diode) convencionales y sistemas solares autónomo. Para ello, se desarrolla una comparación técnica, económica y ambiental, evaluando parámetros como eficiencia luminosa, uniformidad, mantenimiento, costos de operación y huella de carbono.

El propósito final es ofrecer una alternativa de diseño que fortalezca la seguridad vial y el bienestar de las comunidades rurales. Este análisis comparativo constituye un aporte teórico y práctico que puede servir de referencia para futuras intervenciones de alumbrado público en regiones similares de Colombia y otros países en desarrollo.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de alumbrado público para el tramo de 2.2 km en la vía terciaria que conecta Saravena – Arauca con la vereda La Unión, garantizando la eficiencia energética, el costo-beneficio y la viabilidad técnica, a través de una evaluación comparativa entre lámparas solares y luminarias convencionales.

1.2 Objetivos Específicos

- I. Identificar y analizar los requisitos técnicos, normativos y ambientales necesarios para la instalación de sistemas de alumbrado público (lámparas solares y luminarias convencionales) en el tramo de 2.2 km de la vía terciaria Saravena Arauca–La Unión.
- II. Analizar las condiciones actuales de la vía Saravena–Arauca–La Unión en términos de iluminación, visibilidad nocturna y condiciones de seguridad e identificar los tramos críticos que requieren intervención prioritaria en el tramo seleccionado, por altos índices de accidentes o deficiencia de iluminación.
- III. Desarrollar la memoria de cálculo y plano del sistema de iluminación requerido para la vía para los 2,2 km de la vía Saravena–Arauca–La Unión, y a partir de ellos evaluar comparativamente el desempeño lumínico, la autonomía energética y los costos de lámparas solares frente a convencionales.

2. Cuerpo del Trabajo

2.1 Marco Referencial

El análisis comparativo entre luminarias solares y convencionales en vías rurales requiere un sustento claro que combine antecedentes, conceptos y normas aplicables. Con este propósito, se presentan los apartados teórico, conceptual y legal, que integran la revisión de investigaciones relevantes, la definición de los términos clave y el marco normativo vigente en Colombia.

2.1.1 Marco Teórico

El alumbrado público es un componente esencial en la seguridad, la movilidad y el desarrollo social tanto urbano como rural. Sin embargo, en Colombia persisten notorias brechas en su cobertura: mientras en las ciudades el servicio es casi total, en zonas rurales y vías terciarias, como el tramo Saravena–La Unión, la ausencia de iluminación limita la vida productiva y aumenta la inseguridad.

Diversos estudios evidencian que los problemas del alumbrado público en el país no solo son técnicos, sino también de gestión y sostenibilidad. Las investigaciones de (Barbosa T., 2021) y (Duque Valencia, 2023) destacan la baja cobertura en áreas apartadas, el uso de luminarias obsoletas de sodio y la falta de modelos financieros estables. Ante esto, la transición hacia tecnologías eficientes como las luminarias LED y los sistemas solares se plantea como una necesidad.

La comparación de (Rodríguez Patarroyo,2023) comparó luminarias LED convencionales y sistemas solares autónomos, concluyendo que, aunque los primeros implican menor inversión inicial, los sistemas solares ofrecen autonomía energética, menores costos operativos y mejor resistencia frente al vandalismo, lo que los hace más adecuados para zonas rurales. En la misma línea (Echavarría Arango, 2019) propuso una metodología para dimensionar sistemas

fotovoltaicos considerando irradiación solar, pérdidas y demanda lumínica, recomendando controladores MPPT y baterías selladas de bajo mantenimiento para mejorar la eficiencia.

Otros proyectos como el de (Delgado Arroyo, 2024) en Quibdó desarrollaron lámparas solares compactas e integradas, ideales para comunidades rurales por su autonomía y bajo mantenimiento. De igual forma (Bayona Vargas, 2023) demostró, en Bucaramanga, que el cumplimiento del RETILAP y el RETIE y las simulaciones luminotécnicas son claves para optimizar el consumo y la uniformidad lumínica. Cartagena Guayara (2023), en El Espinal, evidenció que el alumbrado público mejora la seguridad, impulsa el comercio y fortalece la apropiación comunitaria.

El proyecto de (Briñón Zapata, 2015) resalta que el éxito de los proyectos de iluminación depende de una planificación integral y del cumplimiento de las normas técnicas (RETILAP, RETIE y NTC 2050), incorporando análisis ambientales y planes de mantenimiento. A nivel internacional, Castro y Murcia destacan el avance de la iluminación inteligente con sensores y gestión remota, capaz de reducir hasta un 70 % del consumo energético, una tendencia que podría adaptarse a entornos rurales en el futuro.

Por su parte, la ANI (Agencia Nacional de Infraestructura en Colombia) y la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética) han identificado que el alumbrado convencional basado en sodio y mercurio representa el 2,7 % del consumo eléctrico nacional (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC, 2019). Estudios recientes de (Davidovic, 2022) confirman que los sistemas tradicionales son menos eficientes y generan mayores emisiones de CO₂ (dióxido de carbono), fortaleciendo la necesidad de migrar hacia soluciones LED y solares más sostenibles.

2.1.2 Marco Conceptual

El alumbrado público es un servicio esencial que permite usar los espacios al aire libre de forma segura durante la noche. Su función no es solo estética, sino garantizar la movilidad, reducir accidentes y brindar seguridad a peatones y conductores. Según el RETILAP, este sistema debe cumplir con parámetros de iluminancia, uniformidad y control del deslumbramiento (Ministerio de Minas y Energía, 2024).

Para su diseño es necesario conocer conceptos básicos como la iluminancia, que mide cuánta luz llega a una superficie, y la uniformidad, que asegura que la luz se distribuya de manera pareja evitando zonas oscuras.

En el pasado, el alumbrado público usaba luminarias convencionales, equipos que alojan la lámpara, dirigen la luz y protegen los componentes eléctricos. Estas empleaban lámparas de sodio de alta presión, reconocidas por su luz amarilla y su bajo índice de reproducción cromática, lo que dificultaba distinguir bien los colores (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC, 2019). Con el tiempo, fueron reemplazadas por luminarias LED, que consumen menos energía, duran más y permiten integrar sensores o sistemas de control automático (Rodríguez Patarroyo, 2023).

Los sistemas convencionales se alimentan directamente del Sistema Interconectado Nacional (SIN) y requieren redes eléctricas, acometidas, transformadores y equipos de control. Por su parte, los sistemas solares autónomos funcionan de manera independiente gracias a un panel fotovoltaico que capta la energía del sol, un controlador de carga que regula la corriente, una batería que almacena la energía y una luminaria LED que la usa durante la noche. Su diseño depende de la radiación solar del lugar y de la capacidad de almacenamiento de energía.

En términos ambientales, la huella de carbono mide las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el consumo energético. Los sistemas convencionales emiten más CO₂ porque dependen de la red eléctrica, mientras que los sistemas solares no generan emisiones durante su funcionamiento (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2015).

La eficiencia energética busca producir más luz con menos energía, reduciendo costos y el impacto ambiental (Velásquez, 2024). Para decidir qué alternativa es más conveniente, se aplica un análisis costo-beneficio, que compara inversión, mantenimiento y beneficios económicos y sociales (Davidovic, 2022).

Finalmente, los Criterios de Alumbrado Urbano y Espacios (CAUE) del RETILAP establecen los niveles mínimos de calidad, seguridad y eficiencia que deben cumplir los proyectos de iluminación en Colombia (Ministerio de Minas y Energía, 2024).

2.1.3 Marco Legal

A nivel internacional, el alumbrado público se rige por normas que buscan garantizar la seguridad, eficiencia energética y sostenibilidad. La Comisión Internacional de Iluminación establece estándares sobre iluminancia, uniformidad y control del deslumbramiento, mientras que la Comisión Electrotécnica Internacional regula los aspectos eléctricos y de seguridad de luminarias y equipos. En el ámbito ambiental, el Acuerdo de París promueve la reducción de emisiones y el uso de energías renovables, apoyado por metodologías como el ISO 14064-1 y el GHG Protocol para la medición de la huella de carbono.

En Colombia, el marco normativo del alumbrado público se basa principalmente en el RETILAP, que define los niveles de iluminación, uniformidad y eficiencia energética, y el RETIE, que regula la seguridad eléctrica en el diseño y operación de instalaciones. Estas normas

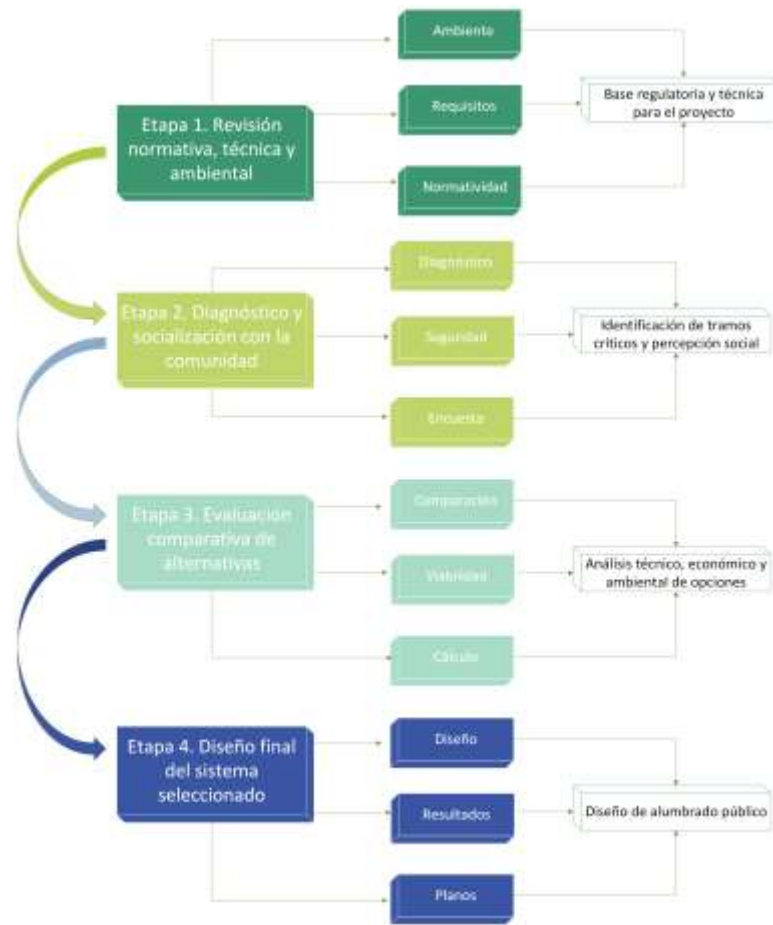
se complementan con la NTC 2050 para el diseño de sistemas eléctricos y la NTC 4595 para proyectos solares.

En cuanto a la transición energética, la Ley 1715 de 2014 promueve el uso de fuentes no convencionales de energía renovable mediante incentivos tributarios, fortalecidos posteriormente por la Ley 2099 de 2021. Además, la Resolución UPME 281 de 2015 establece lineamientos para la autogeneración, facilitando la implementación de proyectos solares descentralizados.

Desde el punto de vista ambiental y territorial, la Ley 99 de 1993 creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), mientras que el Decreto 1076 de 2015 consolidó la normativa ambiental para permisos y licencias. Finalmente, la Ley 388 de 1997 establece los lineamientos de los Planes de Ordenamiento Territorial, asegurando que los proyectos de infraestructura eléctrica sean viables técnica, ambiental y urbanísticamente.

2.2 Método

La metodología propuesta se estructura en cuatro etapas principales que permiten cumplir de manera ordenada los objetivos planteados y garantizar la pertinencia técnica, social y ambiental del proyecto.

Figura 1.*Metodología*

2.2.1 Etapa 1. Revisión normativa, técnica y ambiental

En la primera fase se recopila, identifica y analiza la normativa aplicable al diseño e instalación de sistemas de alumbrado público en Colombia para las lámparas solares y luminarias convencionales, las cuales garantizan la seguridad eléctrica y la calidad del diseño, también se revisan lineamientos ambientales relacionados con eficiencia energética, huella de carbono y control de la contaminación lumínica.

2.2.2 Etapa 2. Condiciones actuales y socialización con la comunidad

Se realiza un levantamiento de información en campo para evaluar las condiciones actuales de la vía en diferentes aspectos como la iluminación, la visibilidad nocturna, el nivel de accidentalidad, zonas de cauces de ríos, quebradas o alcantarillas y medidas de la vía. De forma paralela, se lleva a cabo una socialización con la comunidad mediante encuestas y entrevistas, con el fin de identificar la percepción de inseguridad, los hábitos de uso de la vía en horario nocturno y las expectativas frente a la implementación de alumbrado público.

2.2.3 Etapa 3. Evaluación comparativa de alternativas

En esta fase se desarrollará la memoria de cálculo preliminar y un prediseño técnico mínimo para cada una de las alternativas: el alumbrado convencional conectado a la red y el alumbrado solar autónomo. A partir de estos resultados, se analizará el CAUE, así como el análisis costo, la eficiencia energética, los requerimientos de mantenimiento y la huella de carbono asociada a cada opción.

2.2.4 Etapa 4. Diseño final del sistema seleccionado

Con base en los resultados de la evaluación comparativa, se procederá al diseño detallado de la alternativa que ofrezca la mejor relación entre costo, seguridad, sostenibilidad y beneficio social. En esta etapa se elaborarán la memoria de cálculo definitiva, los planos de instalación y los esquemas eléctricos, así como el dimensionamiento de los componentes estructurales y eléctricos necesarios para el proyecto.

3. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de estas etapas, los cuales no solo evidencian el cumplimiento de los objetivos planteados, sino que también

permiten visualizar de manera integral los aspectos técnicos, ambientales y sociales que fundamentan la propuesta de alumbrado público para este tramo vial.

3.1 Desarrollo del del cumplimiento del primer objetivo específico

Para dar cumplimiento al objetivo de identificar y analizar los requisitos técnicos, normativos y ambientales necesarios para la instalación de los sistemas de alumbrado público en el tramo de 2.2 km de la vía terciaria Saravena–Arauca–La Unión, se realizó una revisión de la normativa vigente aplicable al proyecto.

En el componente técnico se tomaron como base los requisitos establecidos en el RETIE y la NTC 2050, los cuales definen las condiciones de seguridad, protecciones eléctricas, conductores y sistemas de puesta a tierra. Asimismo, se contempló el cumplimiento de las normas técnicas del operador de red ENELAR, para la conexión y validación del servicio. Para el diseño del sistema de iluminación se aplicaron los criterios establecidos en el RETILAP, donde se determinó que el tramo corresponde a una vía tipo M5 y se clasifica como nivel C de alto impacto, lo que define los parámetros de una luminancia promedio requerida es de 0,50 cd/m², la uniformidad general (U_o) debe ser de 0,35 y la uniformidad longitudinal (UL) de 0,4 estos parámetros que deben cumplirse en ambas alternativas del proyecto (Ministerio de Minas y Energía, 2024).

3.1.1 Permisos para la ejecución del proyecto

Para la ejecución del proyecto se deben tener en cuenta varios permisos, ya que se contempla la intervención de árboles y la realización de excavaciones. Por esta razón, es necesario informar a la Corporinoquia (Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia), entidad encargada de la autoridad ambiental en la región. De igual manera, como se prevé realizar excavaciones para la instalación de postes o canalizaciones, se debe informar al Instituto

Colombiano de Antropología e Historia (ICANH), con el propósito de proteger el patrimonio arqueológico y cultural que pudiera existir en la zona de intervención. Asimismo, al tratarse del uso de espacio público, se le debe informar a la Secretaría de Planeación municipal de Saravena, en esta solicitud, se debe informar de manera formal sobre el uso del suelo.

En el capítulo 1 del anexo 1 en se encuentra como se debe y quien debe hacer los permisos ambientales.

3.1.2 Solicitud al operador de red

Se solicitó al operador de red ENELAR apoyo técnico para validar la disponibilidad de servicio en punto de conexión. Asimismo, se requirió información sobre la corriente y despeje de falla en dicho punto, con el fin de realizar correctamente los cálculos eléctricos de protecciones. Sin embargo, no se recibió respuesta por parte de ENELAR y la pagina no está actualizada (no funciona).

En el capítulo 2.2 del anexo 1 se encuentra el proceso de solicitud que se hizo al operador de red.

3.2 Desarrollo del cumplimiento del segundo objetivo específico

Para desarrollar el segundo objetivo específico, se realizó un recorrido técnico a lo largo del tramo de 2,2 km de la vía Saravena–Arauca–La Unión, con el fin de observar directamente las condiciones actuales del sector. Durante la visita se evidenció que el tramo no cuenta con sistema de alumbrado público, lo que afecta la visibilidad en horas de la noche y la madrugada. También se revisaron las características físicas de la vía y se identificaron zonas donde la oscuridad es mayor y representa un riesgo para quienes transitan por el lugar. Con apoyo de la información recolectada en la encuesta aplicada a la comunidad, se lograron identificar los puntos más críticos y las condiciones de seguridad.

3.2.1 Encuesta y socialización

Para la socialización del proyecto se encuestó a 17 personas de la vereda La Unión, incluyendo al presidente de la comunidad, con el fin de conocer las condiciones actuales de movilidad, economía y uso de la vía. La encuesta estuvo compuesta por 30 preguntas y permitió evidenciar que la economía del sector es principalmente agrícola, siendo esta la actividad que sustenta a la mayoría de las familias. Asimismo, se identificó que la motocicleta es el medio de transporte más utilizado por los habitantes para sus desplazamientos diarios. Durante el proceso también se verificó que en el tramo intervenido no hay presencia de comunidades indígenas cercanas. De igual manera, se determinó que la vía es utilizada con frecuencia en horas de la noche y la madrugada, especialmente por personas que se desplazan hacia la zona urbana de Saravena y por estudiantes que asisten al colegio Antonio Nariño.

En el capítulo 1 del anexo 2 se encuentran las preguntas aplicadas en la encuesta, con un resumen de las respuestas de la comunidad.

Figura 2.

Evidencia de la encuesta



3.2.2 Solicitud al alcalde y a secretaria de planeación

Se llevaron de manera presencial cartas a la Alcaldía de Saravena, dirigidas al alcalde municipal con el fin de solicitar una reunión para socializar el proyecto. Asimismo, se radicó una solicitud ante la Secretaría de Planeación requiriendo información técnica relacionada con la vía La Unión. Sin embargo, no se obtuvo respuesta por parte de ninguna de las dependencias.

En el capítulo 2.3 y 2.4 del anexo 1 se encuentran las cartas con el sello de recibido de la alcaldía de Saravena.

3.2.3 Condiciones Actuales de la Vía

Durante la inspección técnica se realizó un reconocimiento general del tramo a intervenir, identificando varios puntos críticos, se evidencio la presencia de árboles en la berma, también se evidencio cinco alcantarillas en el tramo. Se efectuó la medición de la sección transversal de la vía, obteniendo un promedio de 4 metros de calzada y 1,5 metros de berma. Además, se identificó que el punto más cercano de conexión eléctrica se encuentra aproximadamente a 30 metros de la vía y a 50 metros del punto de inicio del tramo.

En el capítulo 2 del anexo 2 se encuentra la evidencia fotográfica y los datos obtenidos de la vía.

Figura 3.

Evidencia de inspección de la vía

**3.3 Desarrollo del cumplimiento del tercer objetivo específico**

Para dar cumplimiento al tercer objetivo, se desarrolla la memoria de cálculo y el plano del sistema de iluminación requerido para el tramo de 2,2 km de la vía Saravena–Arauca–La Unión. A partir de estos elementos se realiza la evaluación comparativa del desempeño lumínico, la autonomía energética y los costos entre lámparas solares y luminarias convencionales. Los cálculos y análisis correspondientes se presentan a continuación.

3.3.1 Tramo de 2.2 km en la vía la unión - Saravena

El plano del tramo vial se elaboró inicialmente en la herramienta ArcGIS, donde se definió el trazado de la vía e identificación de sus características geométricas. Posteriormente, esta información fue exportada a AutoCAD, donde se realizó un bosquejo de las 8 curvas presente en el tramo y se modelaron para luego ser simuladas en DIALux.

En el anexo 3 se encuentra con más detalle el bosquejo del perfil de la vía.

Figura 4.

Perfil de la vía e identificación de curvas

**3.3.2 Irradiancia mínima de la zona**

De acuerdo con los datos de la plataforma NASA POWER para la ubicación aproximada de Arauca ($7,00^{\circ}$ N, $-71,74^{\circ}$ W), analizando el periodo comprendido entre 1999 y 2025, la irradiancia mínima sobre superficie horizontal registrada es de aproximadamente $2,96$ kWh/m²/día. Este valor corresponde al mes de junio, el cual representa el periodo con menor disponibilidad de recurso solar durante el año.

3.3.3 Estructura del Sistema de Alumbrado Convencional y solar

Para el sistema de alumbrado conectado a la red se consideró un poste de concreto pretensado de 10 m con capacidad de 510 kgf, destinado únicamente para la instalación del transformador del sistema. Para el soporte de las luminarias, tanto convencionales como solares, se seleccionaron postes en fibra de vidrio de 10 m con capacidad de 510 kgf, los cuales se eligieron por su mayor facilidad de transporte e instalación en campo. Estos postes deben

instalarse con una profundidad mínima de empotramiento de 1,6 m para garantizar su estabilidad y adecuado desempeño estructural. Asimismo, para la fijación de las luminarias se seleccionó un brazo horizontal de 1 1/2" de diámetro y 1,20 m de longitud con collarín 5/6.

En el anexo 4 se encuentra el estudio para escoger el tipo de poste y cálculos.

3.3.4 Luminarias seleccionadas

Para el desarrollo del estudio se seleccionaron tres marcas pertenecientes a diferentes distribuidores, Dumlux, Distecs y Sylvania. A cada uno de estos proveedores se les solicitó información técnica y la cotización del producto.

3.3.4.1 Luminaria Distecs. Para la marca Distecs se seleccionaron luminarias tanto para el sistema convencional como para el sistema solar de alumbrado público. La luminaria convencional corresponde al modelo DANTITA LED de 30 W, diseñada para operación en redes entre 100 y 277 V, con factor de potencia cercano a 0,95 y distorsión armónica inferior al 15 %. Estas luminarias cuentan con grado de protección IP66 e IK08.

3.3.4.2 Luminarias Dumlux. Para la marca Dumlux se empleó la luminaria DXPRO Slim de 40 W para el sistema convencional y una luminaria solar de 60 W para el sistema autónomo. Estas luminarias presentan eficacias luminosas cercanas a 150 lm/W, factor de potencia superior a 0,92 en el sistema conectado a la red y estructura en aluminio con protección IP66 e IK08.

3.3.4.3 Luminarias Sylvania. Para la marca Sylvania se seleccionó la luminaria LED Street ZD229 de aproximadamente 35 W para el sistema convencional y su versión solar equivalente para alumbrado autónomo. Estas luminarias presentan buena eficiencia luminosa, vida útil cercana a 100.000 horas y grado de protección IP66 e IK08.

3.3.5 Simulación de Luminarias seleccionadas

En la simulación en DIALux de las luminarias se tuvo en cuenta la disposición de los puntos de iluminación de acuerdo con las características geométricas de la vía. Conforme a lo establecido en el RETILAP, se implementó una configuración unilateral. Adicionalmente, Para el caso de las luminarias solares, también se realizó una simulación energética utilizando PVGIS, con el objetivo de verificar que la generación del panel fotovoltaico fuera suficiente para cargar la batería.

3.3.5.1 Luminarias Convencionales. En las simulaciones realizadas para las luminarias convencionales, los resultados obtenidos evidencian que las tres alternativas evaluadas cumplen con los requisitos mínimos establecidos por el RETILAP. Para lograr el cumplimiento de estos parámetros, cada luminaria fue modelada con un espaciamiento específico de acuerdo con su potencia y características fotométricas. En el caso de la luminaria Distecsa, se estableció una distancia aproximada de 30 m entre postes; para la luminaria Dumalux, el espaciamiento considerado fue de 35 m; mientras que para la luminaria Sylvania, se modeló una separación cercana a 35 m entre luminarias.

En el anexo 5 se encuentra el informe de las tres simulaciones, adicionalmente en los anexos 6, 7 y 8, se encuentran los resultados de las simulaciones en DIALux de las luminarias Distecsa, Dumalux y Sylvania.

3.3.5.2 Luminarias Solar. Los resultados obtenidos muestran que las luminarias analizadas permiten alcanzar niveles de iluminación acordes con los requerimientos del RETILAP. Para lograr estos resultados, cada luminaria fue modelada con un espaciamiento específico entre postes de acuerdo con su potencia y flujo luminoso. En el caso de la luminaria solar Distecsa, se consideró una distancia aproximada de 30 m entre luminarias; para la luminaria solar Dumalux de 60 W, se estableció un espaciamiento cercano a 35 m; mientras que para la luminaria solar Sylvania, se modeló una separación aproximada de 35 m entre postes.

Adicionalmente, para verificar la viabilidad energética del sistema de alumbrado solar, se realizó un análisis mediante la herramienta PVGIS. Los resultados muestran que, aunque las luminarias solares presentan un funcionamiento adecuado durante gran parte del año, en el caso de las luminarias Distecsa y Dumalux se identificaron algunos periodos en los que la energía generada por el panel fotovoltaico no alcanza a cargar completamente la batería.

En el anexo 9 se encuentra el informe de las tres simulaciones, adicionalmente en los anexos 10, 11 y 12, se encuentran los resultados de las simulaciones en DIALux de las luminarias Distecsa, Dumalux y Sylvania.

3.3.6 Cotizaciones de equipos y elementos

Para el costo de los materiales y equipos necesarios para la implementación del sistema de alumbrado público, se realizaron cotizaciones con asesor comercial a través del distribuidor Electrovera, así como directamente con las empresas Distecsa y Dumalux. De igual manera, se obtuvieron precios de forma presencial en los establecimientos En Construcciones Eléctricas Montajes Industriales (C.E.M.I) y El Punto Eléctrico de la 17 S.A.S., finalmente, también se consultaron valores y características técnicas a través de páginas web especializadas, como INTER ELÉCTRICAS y Surtielectronic.

En el anexo 13 se encuentra el proceso de cotización de cada producto.

3.3.7 Memoria de cálculos para el sistema convencional

Se realizaron cálculos para el diseño de la red de baja tensión, para las luminarias Dumalux, Sylvania y Distecsca, abarcando análisis de carga, selección de componentes de red, regulación de tensión y pérdidas de potencia.

3.3.7.1 Memoria de Cálculo Sylvania. Se elaboró un análisis de carga resumiendo la distribución de las 63 luminarias Sylvania. Se procedió con el diseño de la red de baja tensión, se eligió cable 2X2 + 1X2 en aluminio para L-L-N. Se determinó la selección del transformador, resultando ser uno monofásico de 5 kVA. Además, el conductor de la acometida es de cobre 2X8 + 1X8, un totalizador general de 3×20 A. Finalmente, se calculó la regulación de tensión para el tramo de 2.2 km, obteniendo un 2.65% (menor al 3% límite), y se determinaron las pérdidas de potencia en la red.

En el anexo 14 se detallan los cálculos para la red de baja tensión de dicha luminaria.

3.3.7.2 Memoria de Cálculo Distecsca. Se elaboró un análisis de carga resumiendo la distribución de las 74 luminarias Distecsca. Se procedió con el diseño de la red de baja tensión, se eligió cable 2X2 + 1X2 en aluminio para L-L-N. Se determinó la selección del transformador, resultando ser uno monofásico de 5 kVA. Además, el conductor de la acometida es de cobre 2X8 + 1X8, un totalizador general de 3×20 A. Finalmente, se calculó la regulación de tensión para el tramo de 2.2 km, obteniendo un 2.68% (menor al 3% límite), y se determinaron las pérdidas de potencia en la red.

En el anexo 15 se detallan los cálculos para la red de baja tensión de dicha luminaria.

3.3.7.3 Memoria de Cálculo Dumlux. Se elaboró un análisis de carga resumiendo la distribución de las 63 luminarias Dumlux. Se procedió con el diseño de la red de baja tensión, se eligió cable 2X2 + 1X2 en aluminio para L-L-N. Se determinó la selección del transformador, resultando ser uno monofásico de 5 kVA. Además, el conductor de la acometida es de cobre 2X8 + 1X8, un totalizador general de 3×20 A. Finalmente, se calculó la regulación de tensión para el tramo de 2.2 km, obteniendo un 2.9% (menor al 3% límite), y se determinaron las pérdidas de potencia en la red.

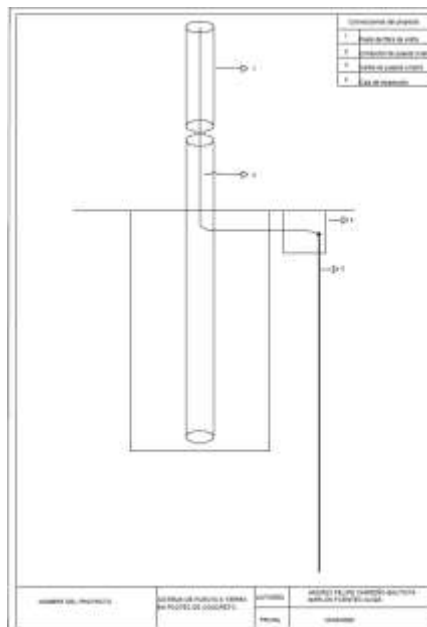
En el anexo 16 se detallan los cálculos para la red de baja tensión de dicha luminaria.

3.3.8 Sistema de puesta a tierra

Para el diseño del sistema de puesta a tierra, tanto en la propuesta convencional como en la solar, se contempla la instalación de un conductor de cobre desnudo calibre No. 4 AWG como bajante y un electrodo tipo varilla copperweld de 5/8" de diámetro por 2,4 m.

Figura 5.

Sistema de puesta a tierra



En el anexo 17 se encuentra el plano del sistema de puesta a tierra.

3.3.8.1 Diseño de sistema de puesta a tierra conectas a la red. Para garantizar la continuidad eléctrica y la adecuada disipación de corrientes de falla en la red, en el caso de postes no metálicos se establece la instalación de un sistema de puesta a tierra. En este proyecto, considerando que los postes de alumbrado son en fibra de vidrio, se dispuso la instalación del sistema de puesta a tierra cada tres postes.

En el anexo 18 se encuentra los cálculos del sistema de puesta a tierra.

3.3.8.2 Diseño de sistema de puesta solar. El sistema de puesta a tierra se realizará de manera individual en cada estructura, con el fin de proteger la vida de los seres vivos y los equipos instalados en el sistema de alumbrado, ante una posible falla fase–estructura, podría energizarse.

En el anexo 18 se encuentra los cálculos del sistema de puesta a tierra.

3.3.9 CAUE

El análisis económico de las tres alternativas evaluadas de las marcas Distecsa, Sylvania y Dumalux. Se consideran los costos iniciales de inversión, los costos anuales de operación y mantenimiento llevados a valor presente y el valor presente total del proyecto para un periodo de análisis de 21 años.

3.3.9.1 CAUE Convencional. Los resultados muestran un CAUE de 46.448.155 COP para Distecsa, 44.479.998 COP para Sylvania y 46.038.657 COP para Dumalux. De acuerdo con este indicador, la alternativa Sylvania resulta ser la más conveniente económicamente al presentar el menor CAUE.

Tabla 1.

CAUE convencional

Resumen del análisis para la evaluación económica				
OFERENTES	Costos iniciales CI	Costo anuales de operación y mantenimiento totales VP(CAO)	VPN de los costos anuales de operación y mantenimiento totales VPN=PT	Costo anual equivalente en el periodo de 21 años CAUE
Distecsa	\$ 180.995.926,00	\$ 16.472.690,82	\$ 197.468.616,82	\$ 46.448.155,38
Sylvania	\$ 160.059.146,00	\$ 14.567.205,37	\$ 174.626.351,37	\$ 44.479.997,87
Dumalux	\$ 162.724.154,00	\$ 14.809.751,45	\$ 177.533.905,45	\$ 46.038.657,16

En el anexo 19 se encuentra el informe con cálculo y la comparación de cada luminaria.

3.3.9.2 CAUE Solar. Los resultados muestran que Sylvania presenta el menor CAUE con un valor de \$68.231.563,00, seguido de Dumalux con \$69.917.916,16 y finalmente Distecsa con \$84.215.490,63. Por lo tanto, la alternativa Sylvania resulta ser la opción más conveniente desde el punto de vista económico, ya que representa el menor costo anual equivalente durante la vida útil del proyecto. Además, este sistema presenta una mejor configuración constructiva, ya que el panel solar y la luminaria se encuentran separados.

Tabla 2.*CAUE Solar*

Resumen del análisis para la evaluación económica				
OFERENTES	Costos iniciales CI	Costo anuales de operación y mantenimiento totales VP(CAO)	VPN de los costos anuales de operación y mantenimiento totales VPN=PT	Costo anual equivalente en el periodo de 21 años CAUE
Distecsa	\$ 294.374.886,00	\$ 26.791.467,57	\$ 321.166.353,57	\$ 84.215.490,63
Sylvania	\$ 335.564.964,00	\$ 30.540.233,82	\$ 366.105.197,82	\$ 68.231.563,00
Dumalux	\$ 229.459.230,00	\$ 20.883.403,48	\$ 250.342.633,48	\$ 69.917.916,16

En el anexo 20 se encuentra el informe con cálculo y la comparación de cada luminaria.

3.3.9.3 Luminarias Elegida según el CAUE. Mediante el CAUE de cada alternativa se elige las luminarias de la marca Sylvania.

3.3.10 Comparación de las dos alternativas

En esta sección se realizará la comparación de las alternativas de alumbrado analizadas. La evaluación se llevará a cabo considerando criterios económicos, eficiencia energética, huella de carbono y los beneficios establecidos en la normativa según la alternativa.

3.3.10.1 Comparación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Si se implementara el sistema convencional de alumbrado público, este tendría un consumo anual de aproximadamente 9,66 MWh/año, lo que generaría emisiones cercanas a 1,71 toneladas de CO₂ equivalente por año, de acuerdo con el factor de emisión del sistema eléctrico de la UPME. En contraste, al instalar luminarias solares, se reduciría este consumo de energía y lo que permitiría evitar dichas emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo así a la disminución de la huella de carbono.

En el anexo 21 se encuentra el informe de la comparación de las emisiones GEI.

3.3.10.2 Comparación económica. El análisis económico muestra que el sistema de alumbrado público solar presenta una inversión inicial considerablemente mayor en comparación con el sistema convencional, debido al alto costo de sus componentes y al mayor deterioro que pueden presentar algunos de ellos con el paso del tiempo. Aunque los costos de construcción, mantenimiento y operación del sistema solar son menores y permiten eliminar el consumo de energía eléctrica de la red, la diferencia en la inversión inicial sigue siendo significativa. Si bien con el paso de los años el sistema solar puede ir recuperando progresivamente su inversión inicial, para muchos inversionistas este alto costo inicial puede representar una limitación importante.

En el anexo 22 se encuentra el informe de la comparación económica.

Tabla 3.

Comparación económica

Comparación Económica Anual					
OFERENTES	Capex no recurrente	Capex recurrente	Opex no recurrente	Opex recurrente	Costo anual de consumo de energía
Sylvania Convencional	\$ 160.059.146,00	\$ 0,00	\$ 57.200.000,00	\$ 20.700.000,00	\$ 9.212.792,50
Sylvania Solar	\$ 335.564.964,00	\$ 11.201.970,95	\$ 18.100.000,00	\$ 12.450.000,00	\$ 0,00
Diferencia (Solar - Convencional)	\$ 175.505.818,00	\$ 11.201.970,95	-\$ 39.100.000,00	-\$ 8.250.000,00	-\$ 9.212.792,50
Total de la diferencia no recurrente (Solar - Convencional)			\$ 136.405.818,00		
Total de la diferencia recurrente (Solar - Convencional)			-\$ 6.260.821,55		

3.3.10.3 Comparación en eficiencia energética. La comparación entre las dos alternativas muestra que ambas luminarias presentan la misma eficiencia de energía, ya que utilizan el mismo equipo LED. Sin embargo, la diferencia principal se encuentra en la fuente de energía utilizada para su funcionamiento. El sistema convencional depende de la red eléctrica, lo que genera emisiones de CO₂ asociadas al consumo de energía. En cambio, el sistema de alumbrado solar no produce emisiones durante su operación. Además, al funcionar de manera independiente de la red eléctrica, el sistema solar ofrece una mayor confiabilidad del servicio.

En el anexo 23 se encuentra el informe de la comparación de eficiencia energética.

3.3.11 Comparación de beneficios otorgados por normas

Debido a que la base de este proyecto es la energía solar, se pueden aplicar los beneficios tributarios establecidos en la Ley 1715 de 2014, los cuales buscan promover el uso de fuentes no convencionales de energía renovable. Aunque la inversión inicial es de \$346.766.934,95, la aplicación de incentivos como la deducción de renta, la exclusión de IVA y la depreciación acelerada permite obtener beneficios tributarios por \$152.577.451,38. Gracias a estos incentivos, la inversión neta efectiva se reduce a \$194.189.483,57, lo que mejora la viabilidad económica del proyecto.

En el anexo 24 se encuentra el informe de la comparación de eficiencia energética.

Tabla 4.

Beneficios tributarios

Beneficios Tributarios		
Descripción	Años	Costo Anual
CAPEX total	1	\$346.766.934,95
Deducción de Renta (50%)	10	\$17.338.346,75
Exclusión de IVA (19%)	1	\$65.885.717,64
Depreciación Acelerada	5	\$69.353.386,99
Total Beneficios Tributarios		\$152.577.451,38
INVERSIÓN NETA EFECTIVA		\$194.189.483,57

3.3.12 Luminaria seleccionada

Al comparar las luminarias bajo criterios económicos, eficiencia energética, emisiones y beneficios tributarios, se determina que la luminaria solar de Sylvania es la alternativa más adecuada. Aunque presenta un costo inicial más alto, ofrece ventajas ambientales al reducir emisiones de gases de efecto invernadero y aprovechar una fuente de energía renovable. Además, los incentivos establecidos en la Ley 1715 de 2014 permiten disminuir parte de la inversión inicial mediante beneficios tributarios. En cuanto al mantenimiento, ambas tecnologías presentan periodos de mantenimiento similares; sin embargo, el sistema solar suele tener un proceso de intervención más simple y con menor complejidad operativa, también, aproximadamente cada 10 años se debe realizar la reposición de las baterías. A pesar de esto, las luminarias solares tienden a presentar una mayor confiabilidad operativa debido a su funcionamiento autónomo. Por estas razones y contemplando este análisis se selecciona la luminaria solar de Sylvania

3.3.13 Diseño

El diseño del sistema de alumbrado público fue simulado mediante el software DIALux, con el fin de verificar que se cumplieran los niveles de iluminación requeridos para la vía. Se estableció una distancia entre postes de 35 m y una altura de instalación de 8 m. Asimismo, se consideró una distancia de 1,2 m entre el poste y berma, junto con un brazo de soporte de 1,2 m para la luminaria, se definió una inclinación de 15° para la luminaria y una inclinación de 15° hacia el sur para el panel solar.

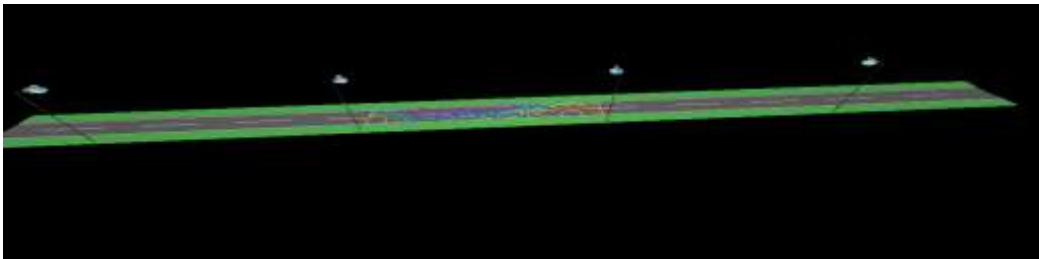
En el anexo 25 se encuentra el informe del diseño de cada tramo del proyecto.

3.3.13.1 Diseño en Tramo Recto. Para todos los tramos rectos que presenta el proyecto, la instalación de los postes y luminarias debe realizarse conforme a lo establecido en el diseño del sistema de alumbrado público, manteniendo una distancia de 35 m entre postes, tal como se definió en la simulación realizada en DIALux.

En el anexo 25 se encuentra el informe del diseño de cada tramo del proyecto, adicionalmente en el anexo 12 se encuentra la simulación de la luminaria.

Figura 6.

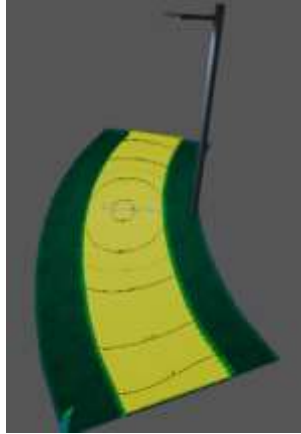
Diseño en tramos rectos



3.3.13.2 Diseño en Tramo Curvo. Para los tramos curvos del proyecto, se determinó que ninguna de las curvas presentes entra dentro de los criterios específicos establecidos por el RETILAP que requieran un tratamiento especial de iluminación. Por esta razón, se opta por ubicar una luminaria en el centro de cada curva, con el fin de mejorar la visibilidad en estos puntos y mantener una adecuada continuidad en la iluminación de la vía

Figura 7.

Diseño para el tramo curvo



En el anexo 25 se encuentra el informe del diseño de cada tramo del proyecto, adicionalmente para los tramos curvos se realizaron ocho simulaciones que se encuentran desde el anexo 26 al 33.

4. Conclusiones

El proyecto de alumbrado público con luminarias solares, la inversión inicial es mayor en comparación con un sistema conectado a la red eléctrica. Sin embargo, el gobierno colombiano promueve el uso de energías renovables mediante incentivos establecidos en la Ley 1715 de 2014, los cuales permiten acceder a beneficios tributarios que ayudan a reducir el costo real del proyecto y mejorar su viabilidad económica.

La configuración geométrica del sistema de alumbrado incluyendo la altura de montaje de 8 metros, el ángulo de inclinación de la luminaria y la disposición unilateral adoptada demostró ser determinante en el comportamiento fotométrico del proyecto. A través de la simulación en DIALux se evidenció que pequeñas variaciones en la ubicación longitudinal y transversal de los postes generan cambios significativos en la uniformidad. La disposición

unilateral, permitió una adecuada cobertura de la calzada sin incurrir en sobre iluminación, optimizando la relación entre niveles de iluminancia y consumo energético.

La implementación del sistema de alumbrado solar permite reducir de manera significativa la dependencia de la energía proveniente de la red eléctrica convencional, lo que conlleva una disminución directa en el consumo energético asociado a fuentes de generación tradicionales. En consecuencia, se logra una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero. Adicionalmente, este tipo de soluciones contribuye activamente al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad ambiental y transición energética, al promover el uso de fuentes renovables y fomentar modelos de infraestructura más eficientes, autónomos y resilientes a largo plazo.

El kit solar de Sylvania permite aclarar la lógica de iluminar más a iluminar mejor con recursos limitados, garantizando que el objetivo no es maximizar niveles de iluminancia, sino garantizar condiciones visuales estables, uniformes y eficientes. Se evidenció que un adecuado balance entre generación, almacenamiento y consumo, junto con una correcta distribución fotométrica, permite alcanzar resultados técnicamente satisfactorios sin incurrir en sobre dimensionamientos. Este enfoque no solo mejora la eficiencia energética, sino que también incrementa la confiabilidad del sistema.

5. Recomendaciones

Al implementarse el proyecto, durante la instalación se debe tener en cuenta la distancia entre postes, el ángulo de inclinación de la luminaria y el ángulo de inclinación del panel solar, siguiendo el diseño definido en la simulación realizada en DIALux, asimismo, se debe establecer un plan de mantenimiento anual que permita asegurar el correcto funcionamiento del sistema de

alumbrado público a lo largo del tiempo. También se recomienda presentar el proyecto ante la UPME para gestionar los beneficios tributarios establecidos en la Ley 1715 de 2014, es importante concientizar a la comunidad sobre el cuidado del sistema de alumbrado público con el fin de evitar daños o robos a la infraestructura.

Para futuras intervenciones en zonas rurales, y considerando que este documento puede servir como material de apoyo, se recomienda analizar previamente la similitud de las condiciones geográficas y técnicas del lugar donde se pretenda desarrollar el proyecto. De igual manera, si se desea realizar un diseño conectado a la red, teniendo en cuenta que la red eléctrica se encuentra cerca de la vía, se debe realizar la solicitud correspondiente al operador de red antes de efectuar los cálculos de protecciones y el diseño de conexión, con el fin de conocer la disponibilidad y las condiciones del servicio eléctrico en la zona.

Referencias

- Agencia Nacional de Seguridad Vial - ANSV. (2024). Víctimas por siniestros viales clasificadas por tipo de vía.
- Barbosa T., J. C. (2021). Estudio para determinar la viabilidad de la sustitución de luminarias sodio y otras tecnologías por luminarias tecnología LED para el sistema de alumbrado público del municipio de Anserma Caldas. Bogotá, D.C.: Universidad EAN.
- Bayona Vargas, J. D. (2023). Diseño de la red de alumbrado público de la carrera 27 de Bucaramanga. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Bonilla, M. (2016). La iluminación pública como eje de desarrollo en zonas rurales. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Briñón Zapata, M. E. (2015). Diseño de iluminación LED de alta eficiencia en el proyecto micro-red de la Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Buitrago, F. (2022). Relación entre la densidad de descargas a tierra (DDT) y algunos aspectos de la geografía colombiana usando la información del sistema de localización de rayos GLD360.
- Cárdenas Valencia, J. D. (2011). Manual para la interpretación del perfil de resistividad obtenido al realizar el estudio de la resistividad del suelo a partir de las configuraciones del método de Wenner. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Cartagena Guayara, J. S. (2023). Diseño de iluminación del alumbrado público en la vía principal del municipio de El Espinal – Tolima. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Castro, M. J. (Murcia). Smart Lighting solutions for Smart Cities.

- Comisión Internacional de Iluminación (CIE). (2017). CIE 150:2017. Obtenido de CIE 150:2017.
- Congreso de la República de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993. Obtenido de Ley 99 de 1993.
- Congreso de la República de Colombia. (1997). Ley 388 de 1997. Obtenido de Ley 388 de 1997.
- Congreso de la República de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014.
- Congreso de la República de Colombia. (2021). Ley 2099 de 2021.
- Corporinoquia. (22 de Diciembre de 2021). Permiso de aprovechamiento forestal. Obtenido de Permiso de aprovechamiento forestal: <https://corporinoquia.gov.co/es/atencion-al-ciudadano/tramites-y-servicios/permiso-aprovechamiento-forestal.html>
- Davidovic, M. (2022). Comparison of energy efficiency and costs related to street/road lighting.
- Delgado Arroyo, L. A. (2024). Prototipo de lámpara de iluminación de espacios públicos alimentado por energía solar fotovoltaica, apoyado bajo la metodología (IoT). Prototipo de lámpara de iluminación de espacios públicos alimentado por energía solar fotovoltaica, apoyado bajo la metodología (IoT).
- Duque Valencia, C. A. (2023). Problemáticas y perspectivas de los sistemas de alumbrado público en Colombia. Bogotá, D.C.: Universidad Externado de Colombia.
- Echavarría Arango, B. D. (2019). Implementación de un sistema de alumbrado público con paneles solares en el municipio de El Peñol: Estudio de prefactibilidad. Medellín: Universidad de Antioquia.
- ENELAR E.S.P. (2023). Normas de diseño y construcción de instalaciones eléctricas.
- ICONTEC. (2008). Norma Técnica Colombiana NTC 2050. Código Eléctrico Colombiano. Obtenido de Norma Técnica Colombiana NTC 2050. Código Eléctrico Colombiano.

ICONTEC. (2015). Norma Técnica Colombiana NTC 4595. Sistemas fotovoltaicos – requisitos de diseño e instalación. Obtenido de Norma Técnica Colombiana NTC 4595. Sistemas fotovoltaicos – requisitos de diseño e instalación.

Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH). (s.f.). Programa de Arqueología Preventiva. Obtenido de Programa de Arqueología Preventiva: <https://www.icanh.gov.co/transparencia-acceso-informacion-publica/tramites/programa-de-arqueologia-preventiva>

ISO (International Organization for Standardization). (2018). ISO 14064-1:2018. Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Decreto 1076 de 2015. Obtenido de Decreto 1076 de 2015.

Ministerio de Minas y Energía. (2020). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Obtenido de Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

Ministerio de Minas y Energía. (2024). Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP). Obtenido de Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP).

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Orzúa, S. (11 de Febrero de 2023). SOG Ingeniería. Obtenido de SOG Ingeniería: <https://sogingenieria.com/tierra-fisica-calculo-para-una-varilla/>

Rodríguez Patarroyo, D. J. (2023). Revisión del alumbrado público inteligente LED. Revisión del alumbrado público inteligente LED.

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. (2015). Resolución 281 de 2015. Obtenido de Resolución 281 de 2015.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA. (2020). Documento regional: departamento de Arauca. Kit territorial de planificación rural agropecuaria. Arauca.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria – UPRA. (2020). Unidad de Planificación Rural Agropecuaria – UPRA. Obtenido de Unidad de Planificación Rural Agropecuaria – UPRA.

United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC. (2019). Public lighting energy efficiency – Colombia.

Velásquez, C. G. (2024). Energy efficiency in public lighting systems friendly to the environment.