

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED ALIMENTADO POR ENERGÍA  
SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL PARQUE OBRERO DEL MUNICIPIO DE  
PUERTO BERRÍO, ANTIOQUIA**

**CRISTIAN CAMILO BUITRAGO MARTÍNEZ  
ANDRES FELIPE GUARÍN TORRES  
JUAN DAVID POSADA QUINTANA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA EN SUPERVISIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN Y  
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
PUERTO BERRÍO - ANTIOQUIA  
2025**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED ALIMENTADO POR ENERGÍA  
SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL PARQUE OBRERO DEL MUNICIPIO DE  
PUERTO BERRÍO, ANTIOQUIA**

**CRISTIAN CAMILO BUITRAGO MARTÍNEZ  
ANDRES FELIPE GUARÍN TORRES  
JUAN DAVID POSADA QUINTANA**

**Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Supervisión de Sistemas de  
Generación y Distribución de Energía Eléctrica**

**Asesor técnico**

**JAUDER ALEXANDER OCAMPO TORO  
Magister en Gestión energética industrial**

**Asesora metodológica**

**PAOLA MARITZA ORTIZ GRISALES  
Magister en Energía**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA EN SUPERVISIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN Y  
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
PUERTO BERRÍO - ANTIOQUIA**

**2025**

## Contenido.

	<b>Pág.</b>
Introducción.....	1
1. Planteamiento del problema .....	2
1.1 Descripción.....	2
1.2 Formulación .....	4
2. Justificación.....	6
3. Objetivos .....	9
3.1 Objetivo general .....	9
3.2 Objetivos específicos.....	9
4. Referentes teóricos .....	10
4.1 Iluminación de Espacios Públicos.....	10
4.2 La Eficiencia de los Alumbrados Públicos. ....	11
4.3 Iluminación LED.....	12
4.4 Energía Sostenible de la Iluminación LED .....	14
4.5 Tecnologías Convencionales Utilizadas en Alumbrados Públicos .....	14
4.6 Radiación Solar para la Generación de Electricidad .....	15
4.7 Contexto Climático y Geográfico de Puerto Berrío .....	16
4.8 Marco Normativo y Políticas Públicas, con Especificaciones para Alumbrado Tipo LED.....	18
5. Metodología .....	19
5.1 Tipo de proyecto.....	19
5.2 Método .....	19

6. Resultados .....	21
7 Conclusiones.....	55
8. Bibliografía.....	57

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Datos mensuales IDEAM de radiación solar para Puerto Berrio .....	17
Figura 2. Datos de Radiación Solar Puerto Berrío. ....	17
Figura 3. Luminaria actual del parque. ....	22
Figura 4. Estado nocturno actual del Parque Obrero de Puerto Berrío, aproximadamente 8pm.....	23
Figura 5. Luminarias actuales del parque obrero de Puerto Berrío.....	24
Figura 6. Acometida de alimentación de la iluminaria. ....	27
Figura 7. Luminosidad del estado actual del parque .....	28
Figura 10. nuevo proyecto. Radiación calorífica del nuevo proyecto.....	36
Figura 11. diseño del proyecto. Poste referente para el diseño del proyecto. ....	37
Figura 12. Vista aérea del parque y alrededores. ....	37
Figura 13. Plano del parque generado por DIALux. ....	38
Figura 14. Espectro de Iluminación. ....	40
Figura 15. Simulación del parque generado por DIALux .....	41
Figura 16. Simulación de radiación calorífica del parque generado por DIALux .....	42
Figura 18. Radiación solar para Puerto Berrío.....	46

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Resultado estado actual DIALux.....	28
Tabla 2. Recomendaciones técnicas de iluminación de RETILAP.....	30
Tabla 3. Resultado final dialux. ....	43
Tabla 4. Datos de Consumo por Luminaria .....	45

## **Resumen**

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL PARQUE OBRERO DEL MUNICIPIO DE PUERTO BERRÍO, ANTIOQUIA**

**CRISTIAN CAMILO BUITRAGO MARTÍNEZ**

**ANDRES FELIPE GUARÍN TORRES**

**JUAN DAVID POSADA QUINTANA**

El Parque Obrero del municipio de Puerto Berrío presenta un sistema de iluminación obsoleto, con un sistema de iluminación mal dimensionado, con luminarias fuera de servicio, lo que afecta negativamente la seguridad y el uso del espacio público en horarios nocturnos. Las luminarias existentes, de tipo incandescente, representan un alto consumo energético y requieren frecuentes mantenimientos, además de estar expuestas a vandalismo y conexiones no autorizadas. Esta situación ha disminuido la percepción de seguridad y el aprovechamiento ciudadano del parque, evidenciando la necesidad de un sistema eficiente, autónomo y sostenible.

El propósito principal de este trabajo es diseñar un sistema de iluminación LED alimentado por energía solar fotovoltaica para el Parque Obrero de Puerto Berrío, con el fin de mejorar la seguridad, promover la sostenibilidad energética y fomentar la integración social. El proyecto busca diseñar un sistema de iluminación alimentado con energía solar fotovoltaica, que se alinee

con los objetivos de desarrollo sostenible y brinde beneficios técnicos, económicos, sociales y ambientales a la comunidad.

La investigación se desarrolló como un proyecto aplicado de tipo descriptivo-experimental. Se realizó un diagnóstico técnico del sistema actual, se identificaron deficiencias y se recopilaron datos climáticos y normativos. Luego, se evaluaron tecnologías disponibles, se dimensionó el sistema de iluminación LED y del sistema fotovoltaico. El diseño fue validado con simulaciones luminotécnicas en DIALux para verificar el cumplimiento de las normativas RETILAP, asegurando una cobertura eficiente, distribución uniforme de la luz y rendimiento energético óptimo.

Los resultados del proyecto evidencian que el sistema de iluminación propuesto es técnicamente viable y ambientalmente favorable. A partir del diseño y dimensionamiento del sistema de alumbrado LED alimentado por energía solar fotovoltaica, se realizaron simulaciones en el software DIALux, las cuales mostraron mejoras significativas en los niveles de iluminancia y en la uniformidad lumínica del parque, eliminando zonas oscuras. El sistema diseñado contempla el uso de luminarias LED de alto rendimiento, paneles solares de 100 Wp, baterías de respaldo y reguladores de carga adecuados, con una vida útil estimada superior a 11 años. Esta propuesta ofrece una alternativa sostenible y autónoma que optimiza el uso de los recursos solares y mejora la funcionalidad del espacio público.

*Palabras claves:* Iluminación LED, energía solar, parque público, simulación DIALux, diseño sostenible

## **Abstract**

# **LED LIGHTING SYSTEM DESIGN POWERED BY PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY FOR PARQUE OBRERO, MUNICIPALITY OF PUERTO BERRÍO, ANTIOQUIA**

**CRISTIAN CAMILO BUITRAGO MARTÍNEZ**

**ANDRES FELIPE GUARÍN TORRES**

**JUAN DAVID POSADA QUINTANA**

The Parque Obrero, located in the municipality of Puerto Berrío, currently operates with an outdated and poorly dimensioned lighting system, including non-functional luminaires, which negatively impacts public safety and limits the effective use of the space during nighttime hours. The existing incandescent luminaires are energy-inefficient, require frequent maintenance, and are vulnerable to vandalism and unauthorized electrical connections. This situation has diminished the perceived safety and limited community use of the park, highlighting the urgent need for an efficient, autonomous, and sustainable lighting solution.

The main objective of this project is to design an LED lighting system powered by photovoltaic solar energy for Parque Obrero in Puerto Berrío, aimed at improving safety, promoting energy sustainability, and fostering social integration. The proposed system seeks to

align with the Sustainable Development Goals (SDGs), offering technical, social, environmental, and long-term community benefits.

The study was developed as an applied descriptive-experimental project. A technical assessment of the existing lighting system was carried out to identify its deficiencies, and climatic and regulatory data were collected. Subsequently, available technologies were evaluated, and both the LED lighting system and the photovoltaic power supply system were dimensioned. The design was validated using photometric simulations conducted in DIALux software to ensure compliance with the RETILAP standards, guaranteeing efficient coverage, uniform light distribution, and optimal energy performance.

The project results demonstrate that the proposed lighting system is technically feasible and environmentally favorable. Based on the detailed design and dimensioning of the solar-powered LED lighting system, simulations in DIALux revealed significant improvements in illuminance levels and lighting uniformity across the park, effectively eliminating dark zones. The proposed system includes high-efficiency LED luminaires, 100 Wp solar panels, backup batteries, and appropriate charge regulators, with an estimated lifespan exceeding 11 years. This solution presents a sustainable and autonomous alternative that maximizes solar resource utilization while enhancing the functionality and safety of the public space.

*Keywords:* LED lighting, Solar energy, Public park, DIALux simulation, Sustainable design

## Glosario

**Autonomía energética:** Capacidad de un sistema para operar sin depender de la red eléctrica convencional. (Chile, 2024)

**DIALux:** Software profesional utilizado para simular y calcular niveles de iluminación en espacios interiores y exteriores (DIALux, s.f.)

**Eficiencia energética:** Relación entre la energía consumida y el trabajo producido por un sistema (Corporativa, s.f.)

**Energía fotovoltaica:** Electricidad generada a partir de la radiación solar mediante paneles solares (Repsol, 2025).

**Fotocelda:** Sensor que enciende o apaga automáticamente las luces LED según la luminosidad ambiental (SAS, 2025)

**Iluminación LED:** Tecnología de luz eficiente y duradera usada para alumbrado público con bajo consumo energético (Enelx, s.f.)

**Inversor:** Equipo que convierte la corriente continua en corriente alterna o viceversa (Perú, s.f.).

**Luminaria:** Unidad que contiene el sistema de iluminación (Mateu, 2015).

## **Introducción**

El alumbrado público es un tema de sumo interés en Colombia dada las relaciones estado-sociedad que plantea tal tema, por ello un servicio de iluminación nocturna eficiente es una necesidad imperante en los espacios como parques, para tal efecto, amplia de las condiciones que son mucho más que sociales, entre ellas las necesidades medioambientales en la época, en el presente caso se analiza los principales espacios colectivos del municipio de Puerto Berrio, Antioquia presentan una deficiencia significativa. Un claro ejemplo de esta deficiencia es el estado de abandono y deteriorado en que se encuentran las luminarias de los parques muchas de las cuales están fuera de servicio debido a la acción natural y al bajo control en los mantenimientos tanto preventivo como correctivo (Molina, 2012).

La iluminación nocturna de uso público se hace más necesaria en espacios colectivos centrales, como el presente caso del Parque Obrero de Puerto Berrío, uno de los principales espacios públicos del municipio, ubicado frente a la iglesia del pueblo, el cual actualmente necesita urgentemente un sistema de iluminación eficiente y sostenible porque el sistema actual deja mucho que desear. En algunas ocasiones el parque muestra una parte iluminada destinada al deporte y la recreación, mientras que en otras no pueden disfrutar de esta porque la iluminación es deficiente o nula debido a las fallas recurrentes del sistema.

Por tal motivo, el siguiente trabajo se presenta como una alternativa de solución para esta problemática, la cual consiste en la realización de una propuesta de diseño de iluminación LED alimentado con energía solar fotovoltaica, lo cual mejora la seguridad y calidad del entorno, como su funcionalidad y sostenibilidad del espacio público a largo plazo.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción**

La iluminación nocturna de los espacios públicos constituye un bien común para las comunidades, principalmente por su impacto en la seguridad y la movilidad. Sin embargo, la insuficiencia o deterioro de los sistemas de iluminación se convierte en un problema concreto que trasciende las simples especificaciones sociales, como señala (Mora Freire, 2018). Este autor también afirma que, en el caso de un parque, pueden variar algunos aspectos; sin embargo, dadas las necesidades colectivas y considerando las demandas del mundo actual, prevalecen los principios ambientales. En este contexto, la iluminación LED, según el estudio de (Pérez Zulueta, 2019), representa una alternativa óptima y eficiente para las circunstancias contemporáneas, especialmente en lugares con alta radiación solar

En el caso específico del Parque El Obrero en el municipio de Puerto Berrío, Antioquia, se ha identificado una problemática recurrente en el sistema de alumbrado público que afecta tanto a la comunidad como a la administración municipal. La iluminación actual es insuficiente debido a que la mayoría de las luminarias están dañadas o en mal estado. Las pocas que permanecen operativas no proporcionan la capacidad lumínica adecuada para cubrir de manera eficiente toda el área del parque, lo que limita la seguridad y funcionalidad del espacio público.

Actualmente, la iluminación en el parque es insuficiente durante la noche, ya que la mayoría de las luminarias están dañadas o en mal estado. Las pocas fuentes de luz que permanecen operativas presentan un estado regular y no proporcionan la capacidad lumínica adecuada para cubrir de manera eficiente toda el área del parque. Esta deficiencia en la iluminación afecta la

percepción de seguridad y comodidad de los habitantes que visitan el parque en horas nocturnas, además, limita el uso adecuado de este espacio público.

El sistema de iluminación actual se basa en luminarias tradicionales incandescentes, las cuales son obsoletas e ineficientes desde el punto de vista energético. Estas luminarias implican un gasto elevado para la administración municipal debido a su alto consumo de energía y a los constantes costos de mantenimiento. Esta situación genera un impacto económico directo en los habitantes, ya que el incremento en los costos de alumbrado público se refleja en el alza de los impuestos municipales.

El sistema de alumbrado presenta fallas recurrentes de encendido debido al deterioro del cableado, lo que provoca que algunas zonas del parque permanezcan oscuras de manera intermitente. La antigüedad de las luminarias y la dificultad para conseguir repuestos adecuados agravan el problema, evidenciando la necesidad de una modernización tecnológica en el sistema de iluminación.

Ante esta situación, resulta indispensable realizar un nuevo diseño de iluminación que responda a las demandas actuales de eficiencia energética y sostenibilidad. La propuesta consiste en diseñar un sistema de iluminación LED alimentado mediante energía solar fotovoltaica. Esta solución permitiría reducir el consumo de energía, disminuir los costos de mantenimiento y garantizar una iluminación uniforme y eficiente en todo el parque.

El diseño de un nuevo sistema de iluminación para el Parque El Obrero permitirá establecer las bases para mitigar las deficiencias técnicas y económicas actuales. Si, tras un análisis de costos y beneficios, se decidiera implementar, el nuevo sistema podría mejorar la seguridad, la

funcionalidad y el impacto ambiental del espacio público, alineándose con las tendencias actuales de eficiencia energética y sostenibilidad.

## **1.2 Formulación**

El propósito de diseñar un sistema de iluminación eficiente y sostenible en el Municipio de Puerto Berrío es acorde a las ideas de aprovechamiento de los recursos naturales y la conservación de los mismos, consigna de los objetivos de desarrollo de la ONU Agenda 2030; el impacto de las acciones elaboradas a partir de estos principios como una acción sostenible en las comunidades, mejora la calidad de vida de las personas y en consecuencia establece mayores oportunidades benéficas, tal es el caso de implementar actualizaciones en los sistemas de alumbrados nocturnos que funcionen con energía solar, brindando iluminaciones tipo LED, una alternativa de vanguardia y actualizada, tal como confirman en sus estudios de factibilidad (Orellana Lalangui, 2015)), que además acuña que el avance tecnológico en energías renovables está aumentando a tal punto que en la actualidad existe mayor accesibilidad para incorporar éste tipo de fuentes de energía en zonas aisladas como urbanizadas; en virtud de lo expuesto es consecuente para tales fines proponer el diseño de un sistema de iluminación led alimentado con energía solar fotovoltaica, dada la intensidad de radiación solar, que es alta en un municipio como Puerto Berrio, que según el IDEAM, organismos que establece las condiciones climáticas de los municipios , para el municipio determina bosque medio-seco tropical (IDEAM, 2024), lo que implica favorabilidad a la propuesta en sus distintos componentes; la relación mejor iluminación en un espacio público como el parque de esta propuesta y concurrencia social, se expone en (Mora Freire, 2018), señalando este hecho

como un factor que genera nuevos espacios dando activación las economías de las comunidades cercanas a tale sitios.

Teniendo en cuenta lo anterior, se define la siguiente pregunta de investigación

¿Cómo diseñar un sistema de iluminación LED alimentado con energía solar fotovoltaica para el Parque Obrero del municipio de Puerto Berrío, Antioquia, que mejore la seguridad, promueva la sostenibilidad energética y fomente la integración social, considerando criterios técnicos, energéticos y sociales?

## 2. Justificación

La falta de un sistema de iluminación adecuado en el Parque Obrero del municipio de Puerto Berrío, Antioquia limita considerablemente su uso, especialmente durante la noche, cuando las condiciones de visibilidad y seguridad son deficientes. Esta carencia no solo afecta la calidad del ambiente y la funcionalidad del parque, sino que también contribuye al aumento de actividades delictivas y a una sensación de inseguridad entre los habitantes y visitantes del lugar debido al consumo de sustancias psicoactivas por personas en situación de calle.

La implementación de un sistema de iluminación LED alimentado con energía solar fotovoltaica representa una solución efectiva y sostenible que incide directamente en la transformación del entorno. Al proporcionar una iluminación adecuada y constante, se reduce la presencia de zonas oscuras que propician comportamientos delictivos, generando así un ambiente más seguro y controlado. Esta mejora en las condiciones de visibilidad no solo disuade actividades ilegales, sino que también fortalece la percepción de seguridad entre los ciudadanos, promoviendo una mayor apropiación del espacio público y favoreciendo su uso en horarios nocturnos.

Consecuentemente, la iluminación eficiente en los espacios públicos mejora la calidad del entorno urbano. Según (Molina, 2012), en su investigación sobre energía e impacto social, las técnicas actualizadas de generación de energía se presentan como una de las soluciones más utilizadas para impactar en la sostenibilidad energética. Además, las energías sostenibles, al ser más amigables con el medioambiente, ofrecen mayores beneficios en comparación con las energías eléctricas obtenidas por medio de combustibles fósiles, que son responsables de aproximadamente el 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero, según el documento de los Objetivos de

Desarrollo Sostenible de la ONU para 2030, (ONU, 2030). Por ello, la implementación de sistemas solares en zonas con deficiencias o problemas relacionados con el suministro eléctrico suele ser una medida efectiva y beneficiosa para el entorno.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar un sistema de iluminación LED eficiente alimentado con energía solar fotovoltaica, que mejorará la seguridad del parque, además, generará espacios de mayor incidencia económica al existir mayor concurrencia, facilitando su uso para el esparcimiento y la recreación durante las horas nocturnas, fomentando así una mayor interacción social y el aprovechamiento adecuado del espacio público, generando beneficios en las situaciones mencionadas.

Desde el punto de vista técnico-económico, el sistema propuesto ofrece ventajas significativas. En primer lugar, la tecnología LED presenta una vida útil superior a las luminarias convencionales, con un menor requerimiento de mantenimiento y reposición, lo que reduce los costos operativos a largo plazo. Además, al ser alimentado por energía solar fotovoltaica, el sistema disminuye la dependencia de la red eléctrica convencional, eliminando costos recurrentes de consumo energético y garantizando autonomía energética en una zona que puede enfrentar deficiencias en el suministro. Esta combinación de eficiencia energética y bajo costo operativo convierte al proyecto en una solución autosostenible, alineada con el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE) y criterios de inversión responsable, generando un retorno social y económico medible a través del incremento en el uso del parque, la dinamización de actividades económicas nocturnas y la valorización del entorno urbano.

Desde una perspectiva social, la implementación del sistema de iluminación LED alimentado con energía solar en el Parque Obrero representa una herramienta clave para la

transformación del tejido comunitario. Un espacio público bien iluminado promueve la apropiación ciudadana, fomenta la cohesión social y fortalece los vínculos entre los habitantes al facilitar actividades culturales, deportivas y recreativas en horarios extendidos. Esto permite que distintos grupos poblacionales —niños, jóvenes, adultos mayores y familias— hagan uso del parque en condiciones de seguridad y confort. Además, al generar un entorno más habitable y accesible, se mejora la percepción del barrio y se contribuye a la recuperación de espacios que anteriormente estaban asociados con la marginalidad o el riesgo. En consecuencia, el proyecto no solo mejora la calidad de vida, sino que también incide positivamente en la convivencia, la inclusión social y la construcción de ciudadanía.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Diseñar una propuesta de un sistema de iluminación LED alimentado con energía fotovoltaica para el Parque Obrero en Puerto Berrío con el fin mejorar la seguridad, promover la sostenibilidad energética y fomentar la integración y dinamización social en la comunidad.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Realizar un análisis técnico del sistema de iluminación actual en el Parque Obrero de Puerto Berrío para identificar deficiencias, necesidades y condiciones ambientales que afecten la eficiencia y seguridad del espacio.
- Definir los parámetros técnicos necesarios para el diseño del sistema de iluminación LED y del sistema de energía fotovoltaica, considerando factores como la intensidad lumínica requerida, el consumo energético, la radiación solar disponible y las condiciones climáticas locales.
- Diseñar un sistema de iluminación LED que cumpla con los estándares de eficiencia energética y sostenibilidad, asegurando una iluminación adecuada y continua en el Parque Obrero de Puerto Berrío.
- Diseñar un sistema de energía fotovoltaica para abastecer el sistema de iluminación LED diseñado, garantizando un suministro continuo y eficiente de energía en el Parque Obrero de Puerto Berrío.

## **4. Referentes teóricos**

La iluminación pública cumple un papel fundamental en la configuración de espacios urbanos seguros, accesibles y funcionales, especialmente en zonas destinadas al encuentro social como los parques. Su ausencia limita el uso adecuado de estos espacios durante las horas nocturnas, además, contribuye al aumento de la percepción de inseguridad y al deterioro del tejido social. En este contexto, el uso de tecnologías sostenibles como la energía solar fotovoltaica y los sistemas de iluminación LED de alta eficiencia se presenta como una alternativa viable para mejorar las condiciones del entorno, reducir el impacto ambiental y promover una mayor apropiación del espacio público por parte de la comunidad. La relación entre iluminación, seguridad ciudadana y sostenibilidad energética constituye un eje central en la transformación de los espacios públicos. Analizar esta conexión permite abordar el fenómeno desde una perspectiva integral. A partir de esta comprensión, se hace necesario recurrir a los enfoques teóricos que explican cómo la planificación urbana, el uso eficiente de la energía y la percepción de seguridad influyen directamente en la calidad de vida y en la apropiación del espacio por parte de la comunidad.

### **4.1 Iluminación de Espacios Públicos**

La iluminación pública es un bien común en sociedad, por ello la importancia de crear formas de sostenibilidad y durabilidad de estos espacios. En parques públicos, las normas de iluminación buscan garantizar la seguridad, comodidad y estética del espacio, el ente regente de la temática es el Ministerio de Minas y energía, quién proporciona la presente información.

Recomienda en estos espacios un nivel mínimo de iluminación de 1 FC (foot-candle), equivalente a 10 lux, para asegurar la visibilidad y facilitar la circulación. Se debe evitar el "agujero

negro" creando una iluminación general suave y resaltando elementos de interés con una iluminación más intensa. Para alumbrado público en Colombia, se recomiendan postes metálicos cónicos. Estos son ideales para sostener luminarias y garantizar una iluminación adecuada en calles, avenidas, parques y otras áreas públicas, la altura típica de estos postes oscila entre 2,4 y 15 metros, dependiendo de la necesidad de iluminación del área, generalmente están hechos de acero o hierro, y pueden ser galvanizados para mayor protección contra la corrosión (Ministerio de minas y energías, 2024).

#### **4.2 La Eficiencia de los Alumbrados Públicos.**

Siguiendo este juicio, si bien no se deben descuidar las características energéticas (eficiencia, eficacia energética), es necesario tener en cuenta al mismo tiempo otros criterios para la evaluación del alumbrado público. Con la finalidad de reducir el consumo de electricidad referente al alumbrado público se recomiendan seguir los siguientes puntos:

- Reducción del nivel de luminancia (oscurecimiento) en la duración de las horas con tráfico reducido, mediante la disminución de la tensión de alimentación de las lámparas. Esta medida adoptada permite una disminución en el consumo de energía eléctrica.
- Clasificación de calles que cumpla con los estándares internacionales y el establecimiento de los parámetros técnicos de luz basados en esta clasificación; utilización de lámparas de alto rendimiento y aparatos de iluminación.
- Propuestas para adoptar un precio especial para la energía eléctrica destinada al alumbrado público, debido al consumo en duración de la noche (vacío en curva de tarea del proveedor de energía eléctrica).

En este contexto, el alumbrado público tiene el objetivo de lograr el menor consumo de energía, tener una optimización sofisticada del sistema de iluminación para introducir tecnologías verdes o utilizar sistemas de control. Además de garantizar que exista una seguridad para la propiedad, el transporte y las personas.

En los siguientes puntos se expone sobre la energía sostenible en espacios públicos, cual es de “vital importancia para contribuir a la estabilidad medioambiental y el beneficio colectivo en sociedad, como los parques públicos” (Silva, 2021)

### **4.3 Iluminación LED**

Los LED son dispositivos electrónicos semiconductores que emiten luz cuando se aplica una corriente eléctrica. Su funcionamiento se basa en el fenómeno de electroluminiscencia, donde los electrones y huecos en el semiconductor se recombinan y liberan energía en forma de fotones, emiten luz cuando una corriente eléctrica pasa a través de ellos. Su nombre proviene de las siglas en inglés de diodo emisor de luz (Light Emitting Diode). El interior de un LED está compuesto por varias capas de materiales semiconductores que se combinan para producir la luz. Estos materiales están dopados con impurezas para crear una zona p y una zona n, que se unen en la unión p-n. Esta investigación se fundamentará con base en el conocimiento amplio de este sistema de iluminación.

Las bombillas LED son las más ecológicas, ya que no llevan ni tungsteno ni mercurio, duran unas 50.000 horas, que equivalen a 5 años de duración, consumen alrededor de un 80% menos que las incandescentes. Prácticamente no emiten calor, su único problema es que, comparadas con el resto, tienen un precio elevado. Aunque a la larga se rentabilizan, supondrá una incomodidad económica cada vez que haya que cambiarlas, y con relación a todo el consumo de un hogar

representa un ahorro de kilovatios, puesto que “El 20% del consumo de electricidad de una casa se debe a las bombillas.” (Endesa., 2022), una cantidad notable para un corto tiempo de uso, nocturno mayormente. Aunque el trabajo se enfoca en espacios públicos, en la actualidad, las luminarias LED son óptimas para todo tipo de ambientes, en iluminación de calles, plazas, jardines, oficinas, fábricas, hogares o vehículos.

Se ha hablado que la luminaria permite un importante ahorro energético, brindando eficiencia en su amplia vida útil frente a las luminarias incandescentes, por ello, enumeramos otros aspectos de la iluminación LED:

- Poca emisión de calor. Diseñadas con disipador de calor evitando la sobrecarga.
- Produce luz nítida y brillante con un encendido inmediato evitando parpadeos.
- Mayor duración que las bombillas tradicionales. La vida útil de los leds puede llegar a estar entre las 20.000 y 50.000 horas de vida (5 años aprox.), mientras que la de una bombilla halógena está en torno a las 2.000 horas
- Facilidad de instalación
- Importante ahorro factura de la luz, reflejan bajo consumo. (Valverde et al, 2024)
- Posibilidad de control de intensidad lumínica con control remoto. Algunas luminarias tienen integrado un regulador para cambiar la intensidad y tono de luz dependiendo de la calidez deseada. También pueden tener un controlador manual a distancia.
- Al no tener filamento como las bombillas incandescentes o halógenas, soportan golpes y vibraciones sin romperse. Mayor resistencia gracias a su protección IP contra polvo o agua. (LED., s.f.)

#### **4.4 Energía Sostenible de la Iluminación LED**

La energía Sostenible se relaciona con el termino energías renovables, debido a su bajo impacto medioambiental, una de ella es la energía generada por paneles solares LED, bastantes usados en espacios públicos con generación de energía de este tipo porque “Con el fin de aumentar su visualización y promover su uso, y dada la necesidad de proveer espacios públicos sustentables, como parques públicos, donde se puede optimizar el uso de esta energía dada su ubicación de cielo abierto la conversión de la energía radiante del sol en energía eléctrica se realiza mediante paneles fotovoltaicos (PF), también conocidos como paneles solares. El porcentaje total de la energía del sol convertida en energía eléctrica, depende en gran medida de la tecnología con la cual fue fabricado el módulo panel tal como define (Pérez Zulueta, 2019); se entiende así que es importante la importancia de la radiación solar en la generación de energía para bien público.

#### **4.5 Tecnologías Convencionales Utilizadas en Alumbrados Públicos**

Hasta ahora se ha brindado una información muy general del funcionamiento de la iluminación LED en cuestión, que responde a la interpretación de los conocedores y expertos en el tema, por ello, se hace necesario la siguiente descripción de elementos en estos sistemas de iluminación, mostrando el contraste con las luminarias que se encuentran actualmente en el parque obrero del municipio de Puerto Berrio, asimismo, se pretende dar a conocer las ventajas y desventajas.

En primer lugar, están las bombillas incandescentes, de interés principal en esta propuesta, por ser las luminarias a cambiar; son las tradicionales, su fabricación está prohibida en la Unión Europea desde 2012, pero aún se encuentran en las tiendas. Hay quien considera que su luz es más

cálida y familiar, son las más económicas del mercado según el informe de Fenalco 2020; se prohibió fabricarlas por su perfil poco ecológico, ya que tienen una vida útil corta (sobre las 1.000 horas) y un alto consumo de electricidad; de la energía producida por estas luminarias, gastan solo el 5% para iluminar, perdiéndose el 95% restante en calor (Bochmann, 2023).

Por último, pero no poco utilizado alumbrados públicos están las bombillas halógenas, son más pequeñas, se encienden al instante y tienen gran capacidad de iluminación y aunque consumen un 40% menos que las incandescentes, emiten mucho calor, para funcionar perfectamente necesitan un reajuste de la corriente y la instalación de un transformador de 12 o 24 voltios, dejando ver fallas de eficacia, sin embargo, su vida útil es de alrededor de 3.000 horas, claro, es una situación mejorable que los incandescentes (García y Beraldo, 2023).

#### **4.6 Radiación Solar para la Generación de Electricidad**

Se trata de una energía emitida por el sol en forma de ondas electromagnéticas, que se propaga a través del espacio y llega a la Tierra, A día de hoy el desarrollo de energías renovables, como afirma Muñoz (2008); La obtención directa de electricidad a partir de la luz se conoce con el nombre de efecto fotovoltaico. La existencia de este fenómeno fue puesta de manifiesto por el físico Antoine Becquerel, en el año 1839. Para conseguirlo, se requiere un material que absorba la luz del Sol y sea capaz de transformar la energía radiante absorbida en energía eléctrica, justo lo que son capaces de hacer las células fotovoltaicas, Solar (2007), para generar en redes esta electricidad, se elaboran sistemas solares fotovoltaicos que son sistemas que convierte la luz solar directamente en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico. Se basa en paneles solares (módulos fotovoltaicos) que contienen células fotovoltaicas que capturan la energía solar y la transforman en

corriente eléctrica, en los que se usan paneles solares tipo LED, los propuestos en el presente proyecto.

#### **4.7 Contexto Climático y Geográfico de Puerto Berrío**

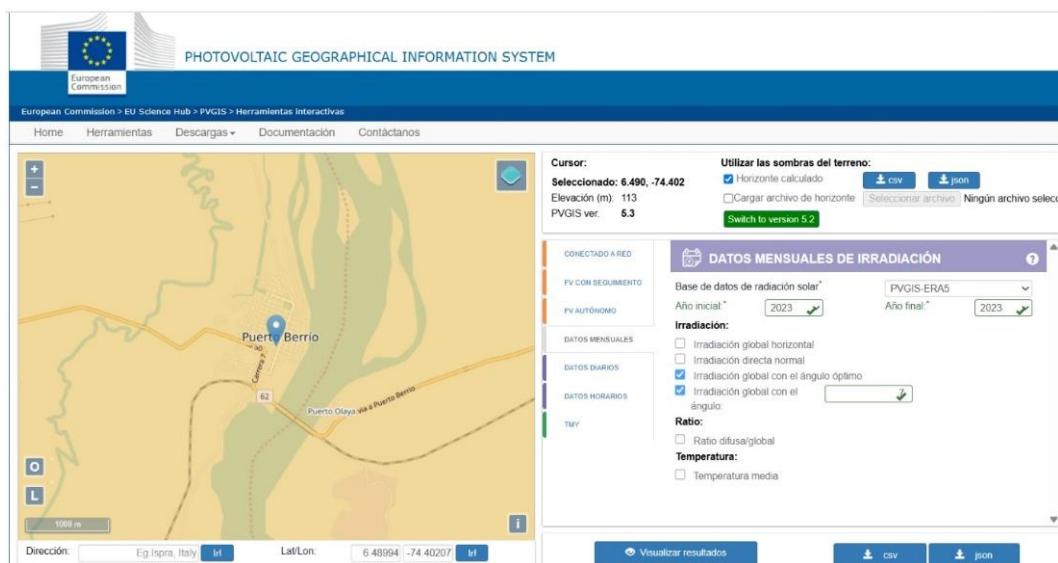
Según el Plan de Desarrollo de Puerto Berrío (2023-2027) menciona que está situado en la subregión del Magdalena Medio en el departamento de Antioquia, Colombia. El municipio abarca una extensión de 1184 kilómetros cuadrados y se encuentra a una altitud media de 125 metros sobre el nivel del mar.

La entidad encargada de llevar los datos climáticos en la zona del municipio de estudio en el presente proyecto es el IDEAM, Instituto encargado de llevar los datos exactos y manejar las estadísticas de este tema. La radiación solar es un factor importante que afecta el clima y la dinámica atmosférica, siendo un motor clave para los procesos naturales. La intensidad de la radiación solar global en esta zona puede variar dependiendo de la estación y la hora del día. En general, la región recibe una cantidad significativa de radiación solar, especialmente durante los meses secos, (IDEAM, 2024); por tales motivos expuestos donde los meses secos son mayores en el municipio, es viable presentar una propuesta de proyecto de iluminación con energía solar. En la Figura 1 es posible observar la información del servicio geográfico europeo donde se detalla gráficamente la radiación solar del municipio de Puerto Berrío.

La página web europea permite determinar con exactitud el ángulo de inclinación el cual es de  $7^\circ$ . Esta es la posición en la que se puede aprovechar la mayor parte de la radiación solar para tener una mayor eficiencia de los equipos. Adicional a esto permite identificar que las HSP (horas solar pico) en el municipio de Puerto Berrío son aproximadamente de 5 a 6 horas, las cuales

Figura 1.

*Datos mensuales IDEAM de radiación solar para Puerto Berrío*



*Nota:* tomado de IDEAM (s.f.) <https://www.ideam.gov.co/>

están en un rango de 10:00 am a 16:00 pm, esta información se puede observar de una manera más detallada en la Figura 2.

Figura 2.

*Datos de Radiación Solar Puerto Berrío.*



*Nota:* tomado de [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/tools.html#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html#MR)

#### **4.8 Marco Normativo y Políticas Públicas, con Especificaciones para Alumbrado Tipo**

##### **LED**

Para el caso de la iluminación propiamente dicha, asociada al concepto de luz, el Ministerio de Minas y Energía expidió la Resolución 181331 de agosto 6 de 2009, el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP, el cual es de cumplimiento obligatorio.

Este gestor normativo aplica a los productos de iluminación usados en alumbrado público, es decir, espacios como parques, zonas peatonales, calles y avenidas, intersecciones, etc. Los requisitos dispuestos en esta sección pretenden garantizar la seguridad y la comodidad visual de los peatones, conductores y usuarios de las zonas catalogadas como espacios públicos, y relaciona las disposiciones del Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía 1073 de 2015 y sus modificaciones (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2024).

Es el mismo gestor normativo para la iluminación LED, de norma NTC 6555:2023 de ICONTEC, también están incluidas las luminarias para iluminación vial, luminarias ornamentales (tipo farol, tipo hongo, urbanas o similares), directas e indirectas o combinadas, provistas o no con difusor, rejilla o refractor, además se incluyen aquellas que como medio de sujeción son suspendidas, tipo catenaria o ancladas a un poste o mástil, así como las de distribución asimétrica. (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2024).

## **5. Metodología**

### **5.1 Tipo de proyecto**

Este proyecto se clasifica como una investigación aplicada. Su propósito es abordar un problema que presenta actualmente el parque Obrero de Puerto Berrio en cuanto a la seguridad y desarrollo económico debido a la falta de iluminación, por lo cual se propone implementar soluciones concretas y prácticas basadas en el diseño de un sistema de iluminación LED que cumpla con los estándares de seguridad y eficiencia, dicho sistema va a ser alimentado por energía fotovoltaica.

### **5.2 Método**

Para llevar a cabo el proyecto, se empleará un método descriptivo y experimental, con un diagnóstico inicial de la situación actual del parque en cuanto a iluminación y seguridad, observando los tipos de luminarias existentes y sus condiciones, para el diseño de la propuesta del sistema de iluminación LED, donde se medirán y evaluarán mejoras en seguridad conforme al consumo energético y satisfacción de los usuarios del parque. Se realizarán las siguientes actividades:

La primera actividad consiste en evaluar el estado actual del sistema existente verificando sus fallas, tipo de tecnología de iluminación existente (halógeno), tipo de cable eléctrico, marca y calibre, distancia entre luminarias, distribución y cantidad. Verificar, si el sistema de iluminación y su distribución es el correcto según la normativa colombiana permitiendo descartar si la

distribución y ubicación de las luminarias y su potencia es la correcta o si el diseño debe partir desde cero.

Finalmente se realizará una consulta sobre todo lo relacionado con el diseño de sistemas de iluminación exterior o de parques públicos y la normativa vigente. Para esto, se utilizarán palabras claves en las diferentes bases de datos disponibles, por ejemplo: Google Académico, Science Direct e IEEE. La información encontrada será organizada y plasmada en el marco teórico. Así se hace más efectiva la búsqueda en relación con los diferentes tipos de luminarias existentes en la actualidad y su costo; además de sus ventajas y desventajas.

Para luego crear una matriz de ponderación o evaluación para definir el tipo de luminaria indicada para el parque según criterios como: costo, vida, eficiencia, entre otros; de este modo se dispone a realizar el diseño del nuevo sistema de iluminación según la normativa actual colombiana en relación con el flujo luminoso (cantidad de lúmenes), potencia, ubicación y cantidad.

Posteriormente, se realizarán los planos del sistema eléctrico y mecánicos del sistema de alumbrado general con sus correspondientes sistemas de protección. Por último, se realizará el documento final del proyecto con toda la información para la construcción del sistema de iluminación a partir de los planos eléctricos y mecánicos diseñados juntamente con las correcciones realizadas por los asesores del proyecto.

## **6. Resultados**

El Parque Obrero del municipio de Puerto Berrío enfrenta actualmente una problemática significativa debido al deterioro y mal funcionamiento de su sistema de iluminación, lo cual afecta la seguridad, limita el uso del espacio en horas nocturnas y reduce la apropiación ciudadana. Ante esta situación, el presente proyecto propone una solución basada en el diseño e implementación de un sistema de iluminación LED alimentado por energía solar fotovoltaica, orientado a ofrecer una solución eficiente, sostenible y adaptada a las condiciones locales.

### **6.1 Sistema de iluminación actual del parque obrero**

Como punto de partida, se consideró necesario examinar en detalle las condiciones actuales del parque, identificando las deficiencias técnicas del sistema de alumbrado, así como los factores ambientales que inciden en su desempeño y funcionalidad. A continuación, se presenta una descripción técnica del estado del Parque Obrero del municipio de Puerto Berrio, Antioquia.

El sistema actual de iluminación del municipio no se encuentra en funcionamiento ya que las luminarias se encuentran apagadas. El sistema consta de:

- 12 postes de 4 metros de alto con unas estructuras para las lámparas tipo bailarinas.
- 24 luminarias de marca korolev de 44 W, con foto celda, “conectadas” a la red, pero no cuenta con los conductores eléctricos ya que las acometidas de las luminarias fueron hurtadas, y algunas visiblemente están quemadas.
- Actualmente el sistema se encuentra fuera de servicio.

El parque también dispone de 8 reflectores multicolores, los cuales resultan inadecuados para el propósito de iluminación funcional en espacios públicos. Este tipo de luminarias, al emitir luz en tonalidades variables y no uniformes, generan distorsiones en la percepción visual, reduciendo la visibilidad efectiva y la seguridad del entorno. Además, su configuración no permite una distribución homogénea del flujo luminoso ni cumple con los niveles mínimos de iluminancia exigidos por normativas como el RETILAP, lo que compromete la eficacia del sistema de alumbrado en áreas de tránsito peatonal y recreativo. Por tanto, su uso se considera más decorativo que técnico, sin aportar a los requerimientos esenciales de iluminación vial o de parques urbanos.

En la Figura 3 se muestra el tipo de luminaria que se halla instalada el día de hoy en el parque la cual está conformada por una lampara tipo balasto montada en un poste metálico, en evidente estado de deterioro. Se observa una carcasa opaca y oscurecida, lo que indica desgaste por exposición prolongada a factores ambientales. El difusor presenta manchas internas y signos de decoloración, lo que sugiere una disminución en la eficiencia de transmisión del flujo luminoso.

Figura 3.  
*Luminaria actual del parque.*



*Nota.* Fuente, elaboración propia.

Esta condición compromete significativamente el rendimiento del sistema de iluminación, reduciendo la capacidad de cobertura lumínica y afectando la visibilidad en el entorno.

En la Figura 4 se muestra el estado nocturno del Parque Obrero de Puerto Berrío, específicamente en la zona de juegos infantiles. Se observa una iluminación deficiente, caracterizada por el uso de reflectores multicolores que proyectan luz en tonalidades azul, violeta y rojiza, generando un ambiente visualmente distorsionado y con bajo nivel de iluminancia funcional. Esta configuración, más decorativa que técnica, no garantiza una visibilidad adecuada ni uniforme, lo que compromete la percepción de seguridad y dificulta el uso seguro del espacio por parte de la comunidad en horas nocturnas. Además, se identifican zonas parcialmente oscuras, lo que evidencia la necesidad de una intervención en el sistema de alumbrado público.

Figura 4.

*Estado nocturno actual del Parque Obrero de Puerto Berrío, aproximadamente 8pm*



Nota. Fuente Elaboración Propia.

En la Figura 5 se resaltan algunos elementos que permiten observar la distribución actual de los postes de alumbrado en el Parque Obrero del municipio de Puerto Berrío. Se identifican

estructuras metálicas de color amarillo, equipadas con brazos curvos para la instalación de luminarias, dispuestas a lo largo de las zonas peatonales. A pesar de su presencia física, las luminarias no se encuentran operativas, lo que evidencia la falta de mantenimiento y la obsolescencia del sistema. Esta disposición, aunque estructuralmente adecuada, requiere una intervención técnica que garantice una iluminación eficiente y funcional acorde con las necesidades del entorno urbano y los estándares normativos vigentes.

Figura 5.  
*Luminarias actuales del parque obrero de Puerto Berrío.*



*Nota.* Fuente Elaboración Propia.

El sistema de iluminación actualmente instalado en el Parque Obrero del municipio de Puerto Berrío se basa en luminarias incandescentes conectadas directamente a un sistema de alimentación eléctrica en baja tensión, operando a 120 voltios (V) de corriente alterna (CA). Este sistema ha resultado ineficiente y vulnerable debido a la exposición de sus acometidas eléctricas, las cuales se encuentran fácilmente accesibles. Esta condición ha permitido que personas con

actividades comerciales informales o usuarios del espacio se conecten de manera no autorizada para suplir sus necesidades energéticas, generando una sobrecarga en la infraestructura eléctrica. Esta sobrecarga excede la capacidad nominal de los dispositivos de protección y maniobra como interruptores termomagnéticos, contactores y relés, los cuales están diseñados para operar con cargas específicas, lo que ha derivado en su progresivo deterioro.

Además de estos problemas de sobrecarga, se han presentado actos de vandalismo y hurto de los conductores eléctricos (acometidas), lo cual ha ocasionado cortocircuitos e interrupciones en el servicio. Como consecuencia directa, varias luminarias han sufrido daños internos, quedando fuera de operación. Este deterioro progresivo del sistema compromete tanto la integridad operativa de la infraestructura eléctrica como la percepción de seguridad por parte de los usuarios, disminuyendo significativamente la utilización y apropiación del espacio público durante las horas nocturnas.

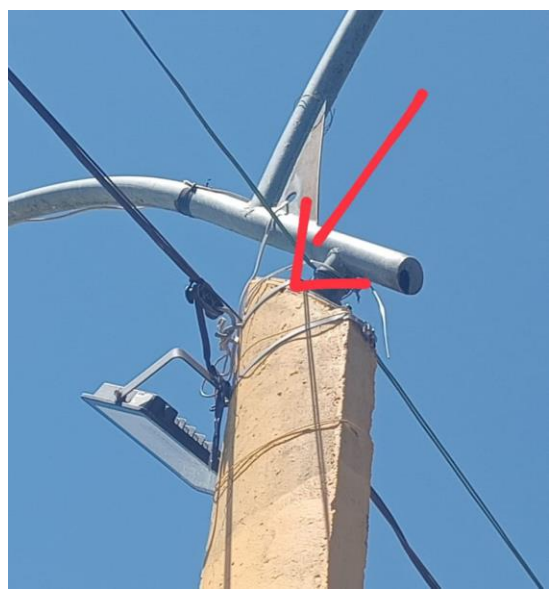
El sistema de iluminación actualmente instalado en el parque presenta múltiples deficiencias que lo alejan del cumplimiento de los requisitos técnicos establecidos por el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP). En primer lugar, los niveles de iluminancia horizontal y la uniformidad lumínica no se ajustan a los valores mínimos exigidos para espacios públicos de tránsito peatonal y recreativo, lo que compromete la seguridad de los usuarios y genera zonas con visibilidad insuficiente. A esto se suma la falta de un diseño fotométrico que garantice una distribución adecuada del flujo luminoso, lo que ocasiona pérdidas de luz útil y acumulación de sombras. Además, la exposición de las acometidas eléctricas ha permitido intervenciones indebidas, generando sobrecargas que deterioran los componentes internos de las luminarias, disminuyendo su eficiencia y reduciendo significativamente su vida útil.

Esta situación vulnera los lineamientos de diseño seguros exigidos por la normativa, además, incrementa los costos de mantenimiento y pone en riesgo a las personas que transitan por la zona.

En la visita al parque realizada para la toma de datos del estado actual de su iluminación se pudo también evidenciar la presencia de conexiones no autorizadas a la red de alimentación eléctrica de las luminarias, las cuales operan a 120 V de corriente alterna. Estas intervenciones externas, visibles en los puntos señalados, corresponden a cables ajenos al sistema original de iluminación, los cuales han sido añadidos de manera improvisada y sin criterios técnicos ni normativos. En la Figura 6 se puede observar una conexión directa sobre la estructura del brazo de soporte de la luminaria, donde se observa una derivación irregular del cableado, lo que representa un alto riesgo de corto circuito, electrocución o daño prematuro del sistema lumínico. Además, se logra evidenciar una intervención similar a nivel del poste como se observa en la Figura 6, donde se ha manipulado la acometida eléctrica, dejando expuestos los conductores sin aislamiento adecuado.

Estas condiciones comprometen la seguridad eléctrica de la infraestructura y propician el uso indebido de energía por parte de terceros, lo que incrementa considerablemente el riesgo de sobrecargas y fallos en el sistema. Frente a esta problemática, se evidencia la urgencia de adoptar un sistema autónomo como el planteado en este proyecto, fundamentado en tecnología LED alimentada por energía solar fotovoltaica. Esta solución permitiría eliminar la necesidad de acometidas visibles, reduciendo así la vulnerabilidad frente a manipulaciones externas.

Figura 6.  
*Acometida de alimentación de la iluminaria.*



*Nota.* Fuente elaboración propia

La Figura 7 muestra una simulación generada en el software Dialux, que permite percibir el nivel de luminosidad correspondiente al estado actual del sistema de iluminación del Parque Obrero. Se evidencia una distribución irregular del flujo luminoso, con múltiples zonas en penumbra y baja intensidad, lo que indica un rendimiento deficiente del sistema existente. Los valores de luminancia representados en escala de grises reflejan una cobertura parcial y no uniforme, en los cálculos realizados por este mismo software arroja una uniformidad entre 0,10 y 0,47 unidades lo cual es insuficiente, según el RETLAP, para garantizar visibilidad adecuada y condiciones óptimas de seguridad durante las horas nocturnas. Esta visualización respalda la necesidad de modernizar el sistema de alumbrado con tecnología eficiente y sostenible.

Figura 7.

*Luminosidad del estado actual del parque*



Nota: elaboración propia.

La simulación realizada arrojó la información sintetizada en la Tabla 1, donde aclara que los parámetros de iluminación con los que cuenta actualmente el parque de Puerto Berrio no cumplen con la normatividad.

Tabla 1

*Resultado estado actual DIALux.*

Superficie de cálculo	Valor medio	$U_o$ (Uniformidad)	Glare GR	Cumple RETILAP	Observaciones
Area externa 1 (zona marginal)	8,90 lx	0,15	18,8	✗	Nivel minimo recomendado: $\geq 20$ lx (zona recreativa).
Superficie de calculo 6	26,4 lx	0,35	18,8	✗	Aunque cumple en nivel de iluminacion, no cumple en uniformidad ( $U_o \geq 0,40$ ).
Superficie de cálculo 7	16,6 lx	0,10	26,51	✗	
Superficie de calculo 8	12,7 lx	0,25	20,3	✗	Nivel minimo recomendado: $\geq 20$ lx. $U_o$ muy baja. GR aceptable.
Superficie de cálculo 9	13,9 lx	0,47	23,0	✗	Valor medio e uniformidad por debajo de lo requerido.

Nota: elaboración propia

## **6.2 Diseño del sistema de iluminación LED**

Una vez identificadas las deficiencias del sistema de alumbrado actual y caracterizadas las condiciones del entorno, se procede a establecer los parámetros técnicos fundamentales para el diseño del nuevo sistema de iluminación. Este proceso requiere considerar variables como la intensidad lumínica requerida para garantizar una visibilidad adecuada, el consumo energético asociado al funcionamiento continuo de las luminarias, así como la disponibilidad de radiación solar y las condiciones climáticas locales que influirán directamente en el desempeño del sistema fotovoltaico.

En el diseño del sistema de iluminación LED alimentado por energía fotovoltaica, es fundamental definir con precisión los parámetros técnicos que garanticen su eficiencia y funcionalidad. Para ello, se deben considerar variables como la intensidad lumínica requerida, el consumo energético, la radiación solar disponible y las condiciones climáticas locales. Los dispositivos de iluminación se seleccionan en función de su construcción, funcionalidad y especificaciones técnicas, las cuales incluyen: consumo de energía eléctrica, flujo luminoso, eficacia luminosa, vida útil, depreciación del flujo luminoso, comportamiento térmico, capacidad de atenuación, tiempo de respuesta y otros factores que inciden directamente en el rendimiento global del sistema.

Para que exista eficiencia en alumbrado público es necesario que se cumpla con factores esenciales dentro del servicio energético, la seguridad es un aspecto importante dentro de este apartado ya que al contar con una instalación de alumbrado público que transmita confianza en la noche con niveles de iluminación eficientes, el usuario tiende a sentir un nivel de confianza ante la delincuencia aumentando el nivel de seguridad y el confort de los usuarios. Generando una

sensación agradable a la vista, que no tenga deslumbramientos que sean molestos a la vista del usuario.

La Tabla 2 sintetiza los niveles mínimos de iluminación exigidos por el RETILAP. Esta información es esencial para garantizar condiciones adecuadas de visibilidad, seguridad y confort visual en espacios exteriores e interiores de uso colectivo, de acuerdo con los estándares nacionales de eficiencia energética y desempeño técnico. Cada valor corresponde a la iluminancia media mantenida (medida en lux), considerando criterios de uniformidad establecidos por la norma. Estos parámetros deben ser tenidos en cuenta desde la etapa de diseño de los sistemas de iluminación, pasando por la selección de luminarias, su distribución espacial y la implementación de sistemas de control que aseguren el cumplimiento del ciclo de vida útil.

Tabla 2  
*Recomendaciones técnicas de iluminación de RETILAP*

ZONA	Iluminancia promedio mínima Emed.(lux)	Uniformidad mínima (Emin/Emed)
Zonas de Juegos de Niños, ubicados en parques urbanos dentro de ciudades o municipios	50	0,40
Plazas, Plazoletas o malecones, dentro de parques urbanos de ciudades o municipios.	30	0,30
Senderos peatonales en parques urbanos dentro de ciudades o municipios.	10	0,20
Zona de bancas o sillas dentro de parques urbanos de ciudades o municipios	10	0,20
Zonas verdes en parques urbanos de ciudades o municipios (ver condiciones en el presente artículo), o donde el Municipio o Distrito determine casos particulares o excepcionales, en los cuales se otorgará autorización para instalar iluminación de seguridad. <sup>2</sup>	2	0,20
Senderos Peatonales o ciclorrutas dentro del casco urbano alejados de zonas de vías vehiculares o ubicados en humedales, en rondas de ríos, que estén estipuladas como de uso nocturno <sup>1</sup>	10	0,20
Ciclorrutas ubicadas dentro de parques recreativos que estén estipuladas como de uso nocturno <sup>1</sup>	10	0,20
Senderos peatonales ubicados dentro de parques recreativos que estén estipuladas como de uso nocturno <sup>1</sup>	7,5	0,20
Ciclorrutas en parques forestales o de reserva natural que estén estipuladas como de uso nocturno <sup>1</sup>	3	0,20

Nota: tomado de <https://www.minenergia.gov.co/>

Este criterio técnico normativo es fundamental para:

- Minimizar la probabilidad de accidentes por falta de visibilidad.
- Promover la percepción de seguridad en los espacios públicos.
- Asegurar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de alumbrado.

Los elementos que conforman la instalación deben cumplir con una eficiencia se calcula mediante la Ecuación 1.

$$\eta = \varepsilon \cdot \beta \cdot \rho \cdot \delta \quad (1)$$

Donde:

$\eta$  = Eficiencia total (de la instalación) [lm/W]

$\varepsilon$  = Eficiencia de lámpara [lm/W]

$\beta$  = Eficiencia del equipo auxiliar

$\rho$  = Eficiencia del artefacto de iluminación

$\delta$  = Eficiencia del diseño de la instalación

La expresión que define la eficiencia total del sistema de iluminación ( $\eta$ ) permite evaluar el rendimiento global de la instalación en lúmenes por vatio consumido. Esta eficiencia resulta del producto entre la eficiencia de la lámpara ( $\varepsilon$ ), la eficiencia del equipo auxiliar ( $\beta$ ), la eficiencia del artefacto de iluminación ( $\rho$ ) y la eficiencia del diseño de la instalación ( $\delta$ ). Cada uno de estos factores representa un componente clave que influye directamente en el desempeño del sistema, desde la fuente emisora de luz hasta la configuración del espacio y su implementación. Esta fórmula constituye una herramienta fundamental para verificar el cumplimiento de los criterios de eficiencia

energética establecidos por el RETILAP y sustentar técnicamente la elección de luminarias LED en el presente proyecto.

En el desarrollo del presente proyecto se evaluaron tres alternativas tecnológicamente viables para la modernización del sistema de alumbrado del Parque Obrero del municipio de Puerto Berrío. Las opciones consideradas incluyeron: (1) luminarias LED alimentadas desde la red eléctrica convencional con sistemas de protección y control inteligente; (2) luminarias LED híbridas, operando principalmente con energía solar y respaldo de la red; y (3) luminarias LED autónomas con integración de panel solar y batería incorporada.

La primera opción, aunque técnicamente funcional, mantiene la dependencia de la red eléctrica, lo que implica la necesidad de proteger adecuadamente las acometidas expuestas, uno de los principales problemas identificados en el sistema actual. Si bien la incorporación de controladores inteligentes y gabinetes de seguridad permite mitigar riesgos de manipulación externa, los costos de implementación y mantenimiento asociados al refuerzo de la infraestructura existente resultan elevados, sin eliminar por completo las vulnerabilidades operativas.

La segunda alternativa, basada en un sistema híbrido solar/red, ofrece autonomía energética parcial y respaldo continuo, garantizando el funcionamiento aun en condiciones de baja irradiación solar. No obstante, esta solución exige una infraestructura más compleja, mayor espacio para la instalación de equipos de respaldo, y una inversión inicial significativamente más alta, lo cual la hace menos viable en el contexto económico y estructural del parque.

En contraste con lo anterior, la tercera opción fue seleccionada como la solución óptima, al responder de forma integral a los requerimientos técnicos, normativos, operativos y económicos del proyecto. Este sistema es completamente autónomo, no requiere acometidas eléctricas visibles,

elimina la posibilidad de intervenciones no autorizadas y reduce sustancialmente los costos de operación y mantenimiento. Además, cumple con los parámetros exigidos por el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), garantizando niveles adecuados de iluminancia, uniformidad y eficiencia energética. Su facilidad de instalación, resistencia a condiciones ambientales y compatibilidad con las estructuras físicas existentes en el parque consolidan su elección como la alternativa más segura, sostenible y eficiente para la renovación del sistema de alumbrado.

Se ha decidido implementar un sistema de iluminación aprovechando los postes existentes, se instalarán lámparas led de doble brazo para un total de 22 bombillas luminarias LED.

Las luminarias LED representan una alternativa ideal para aplicaciones de alumbrado público alimentadas por energía solar debido a su alta eficiencia energética, bajo consumo y larga vida útil. Estas luminarias pueden ofrecer una eficacia luminosa de hasta 120 lm/W, lo que permite un excelente rendimiento con una demanda energética mínima. Su vida útil puede superar las 50.000 horas de operación, lo que reduce significativamente los costos de mantenimiento y reposición. Además, presentan encendido instantáneo, resistencia a vibraciones, bajo nivel de emisión térmica y compatibilidad con sistemas de control automático.

En el contexto de un sistema fotovoltaico, estas características son fundamentales, ya que permiten maximizar el aprovechamiento de la energía almacenada, garantizando una iluminación eficiente durante toda la noche, incluso en condiciones de irradiación solar moderada. Su bajo voltaje de operación y compatibilidad con baterías de corriente continua facilitan la integración con módulos solares y controladores de carga, optimizando el desempeño general del sistema

autónomo. Por estas razones, la tecnología LED constituye la mejor opción para una solución sostenible, eficiente y segura en el alumbrado público del Parque Obrero de Puerto Berrío.

La luminaria seleccionada, con un flujo luminoso de 5400 lúmenes y una potencia de 40 W, permite estimar el comportamiento real del sistema en condiciones operativas, garantizando niveles adecuados de visibilidad para una circulación segura y continua en el entorno del parque. Adicionalmente, las luminarias operan con una temperatura de color de 6000 K (luz fría), lo cual mejora la visibilidad nocturna, incrementa la percepción de seguridad y es compatible con la preservación del entorno natural, al minimizar el deslumbramiento y el impacto sobre la fauna local. El índice de reproducción cromática (CRI) de 80 asegura una adecuada percepción de los colores, aspecto contemplado por RETILAP como requisito para zonas de tránsito peatonal, ya que mejora la identificación de objetos y personas durante la noche. Estas características técnicas permiten cumplir con los criterios de eficiencia, confort visual y sostenibilidad establecidos por la normativa vigente. A continuación, se detallan los aspectos más relevantes:

- Cuenta con una potencia máxima de trabajo de 40 W, lo que hace que la luminaria con su carga total tenga una eficiencia de trabajo del 100%.
- Este modelo es un sistema autónomo de fácil instalación, no requiere acometida o cableado eléctrico, su diseño es ideal para postes.
- Respecto a la coherencia ambiental, el municipio de Puerto Berrío cuenta con una condición climática de una temperatura promedio de 31°C a 35°C, con una humedad relativa del 50% y vientos de 6 a 8 km/h, y estas luminarias cuentan con una temperatura de trabajo de -45°C ~ +80°C lo que la hace apta para nuestro clima.

- Se cuenta con una radiación solar de 4000 a 5000 kWh/m<sup>2</sup>/día la gran mayoría del año teniendo en cuenta que nuestro municipio se encuentra geográficamente bien posicionado.

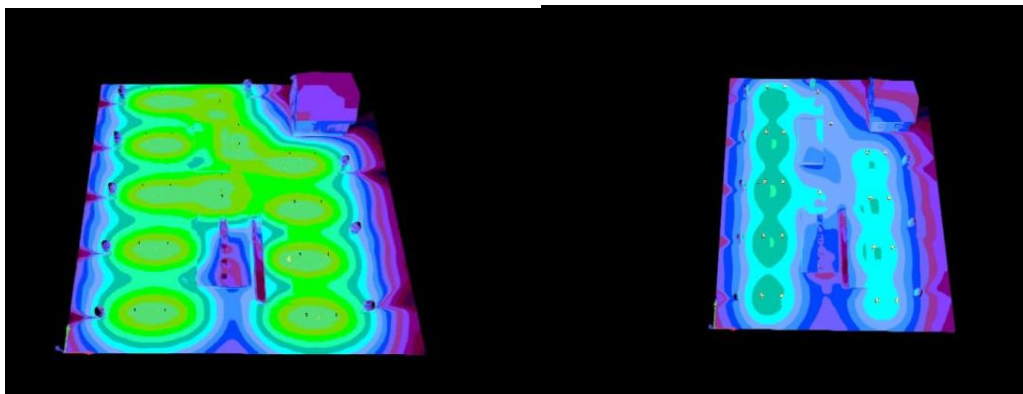
Para validar el desempeño lumínico del sistema propuesto y garantizar el cumplimiento de los niveles de iluminancia requeridos en un entorno público, se realizaron simulaciones mediante el software especializado DIALux. Esta herramienta permite modelar con precisión la distribución del flujo luminoso en el espacio intervenido, teniendo en cuenta variables como el tipo de luminaria, su potencia, altura de instalación y disposición espacial. A partir de estas simulaciones, se evaluó la cobertura luminosa en las diferentes áreas del Parque Obrero, contrastando el escenario actual con el sistema diseñado. A continuación, se presentan los resultados gráficos obtenidos, los cuales evidencian la mejora significativa en términos de uniformidad, intensidad y eficiencia del alumbrado.

La Figura 8 representa la simulación fotométrica del sistema de iluminación donde se puede comparar el sistema propuesto y el actual, realizada mediante el software DIALux. En la izquierda se observa el sistema propuesto con una distribución uniforme del flujo luminoso en el parque, evidenciada por la presencia de isolíneas concéntricas en tonalidades verde y amarillo, que corresponden a niveles de iluminancia superiores a 50 lux. Esta simulación permite verificar que el diseño garantiza una cobertura eficiente, sin zonas críticas de penumbra, lo cual mejora la visibilidad, seguridad y funcionalidad del espacio durante el horario nocturno; y en la derecha (sistema actual) se puede notar todo lo contrario a lo mencionado. Esta es una de las razones por las cuales la propuesta que se quiere implementar es viable, ya que se contaría con una mayor

intensidad de iluminación lo que brindaría una gran solución a todas las problemáticas mencionadas anteriormente.

Figura 8.

*Radiación luminosa del nuevo proyecto.*



*Nota.* Fuente elaboración propia.

Con base en lo consultado se ha optado por elegir una lámpara LED en particular, ya que el costo beneficio y durabilidad van de la mano, estas lámparas brindan 50.000 horas de trabajo; haciendo cuentas, se utilizarán 12 horas diarias promedio de 6pm a 6am por lo tanto anualmente serán 4380 horas trabajadas, esto nos da como resultado 11.5 años y medio de durabilidad, siempre y cuando se hagan los respectivos mantenimientos rutinarios, (SURET, 2023). Los postes cumplen estándares según la norma RETILAP, ya mencionada en las fuentes normativas, el cual se puede observar en la Figura 9.

Para el diseño del sistema de alumbrado público, se utilizó como base el plano o fotografía tomada por un dron del parque correspondiente al área de intervención del proyecto como se observa en la Figura 10. Este plano sirvió como referencia principal para el modelado en el software de simulación luminotécnica. La precisión en la inserción de datos dentro del entorno digital es

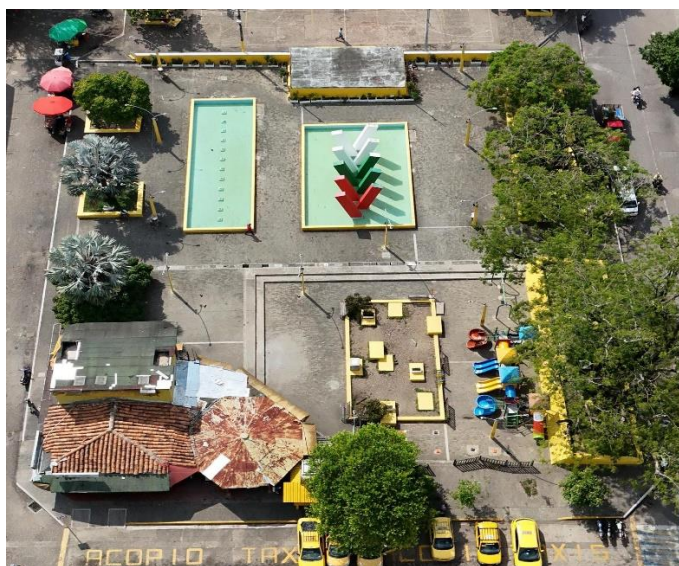
fundamental, ya que los resultados obtenidos dependen directamente de la fidelidad del modelo respecto a las dimensiones y características reales del espacio físico.

Figura 9.  
*Poste referente para el diseño del proyecto.*



*Nota.* Dielco. (2024). Líneas de negocio. <https://www.dielco.co/1%C3%ADneas-de-negocio-dielco/>

Figura 10.  
*Vista aérea del parque y alrededores.*

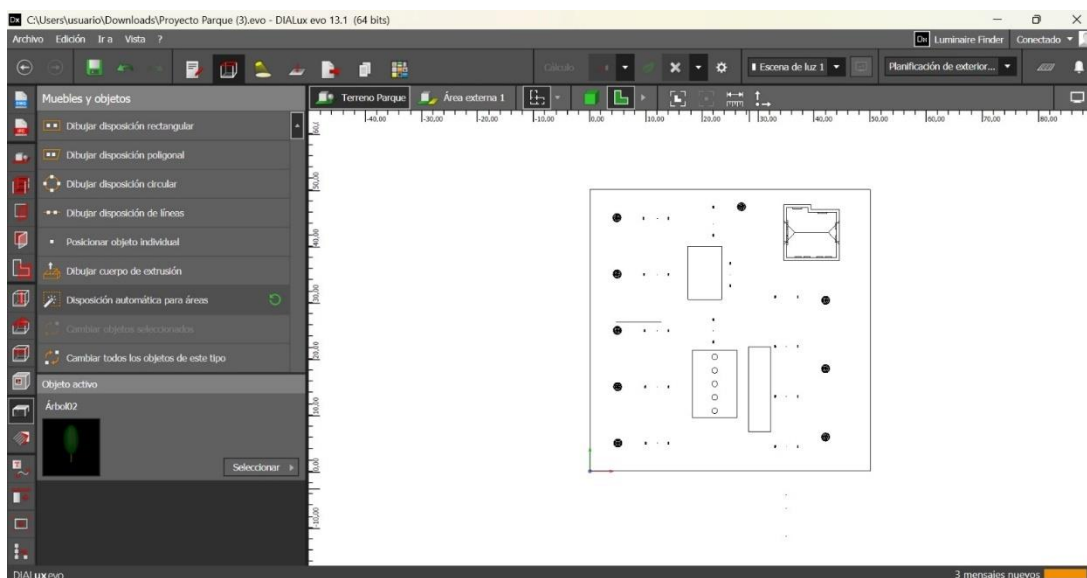


*Nota.* Fuente Elaboración propia.

Una vez establecido el plano de trabajo, se ingresan los datos en el software DIALux, para lograr identificar las luminarias necesarias para el alumbrado público. Se sugiere que para empezar a trabajar en el diseño y la simulación del mismo se siga la recomendación de comenzar a trabajar en alumbrado público antes de iniciar a simular otro tipo de alumbrado, ya que esto afectaría al cálculo de alumbrado público, debido a que puede llegar afectar de manera directa los resultados obtenidos en el cálculo de los diferentes campos de estudio, lo que afectaría negativamente a los estudios fotométricos llegando así alterar las isólinas de los planos luminotécnicos, afectando a los resultados.

A continuación, en la Figura 11, se presenta el plano generado para el programa DIALux.

Figura 11.  
*Plano del parque generado por DIALux.*



*Nota.* Elaboración Propia.

La Figura 11 muestra el modelo arquitectónico digital del Parque Obrero de Puerto Berrío desarrollado en el software DIALux evo, utilizado como base para el diseño y simulación del sistema de alumbrado público. En el plano se representa la disposición espacial de elementos del entorno, como zonas de circulación, áreas recreativas, vegetación y estructuras existentes. También se visualiza la ubicación estratégica de los puntos de instalación de luminarias, distribuidos de forma uniforme para garantizar una cobertura adecuada del flujo luminoso.

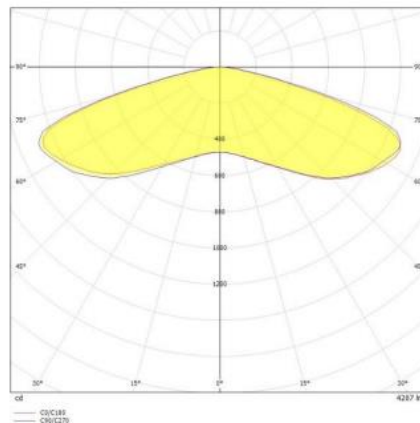
Este plano es fundamental para asegurar que los cálculos fotométricos reflejen fielmente las condiciones reales del sitio. La incorporación precisa de las dimensiones y objetos del entorno permite realizar simulaciones confiables, evaluar diferentes configuraciones de iluminación y verificar el cumplimiento de los niveles mínimos de iluminancia requeridos por la normativa vigente.

Una vez definidos los parámetros técnicos del sistema y validados mediante simulación los niveles de iluminancia requeridos para el parque, el siguiente paso consiste en estructurar el diseño del sistema de iluminación LED. Este diseño debe cumplir con criterios de eficiencia energética, sostenibilidad y funcionalidad, garantizando una iluminación continua y adecuada en todo el espacio intervenido. A continuación, se describe la configuración del sistema propuesto, detallando las especificaciones de los componentes, la disposición de las luminarias y las condiciones técnicas que aseguran su desempeño óptimo en el entorno del Parque Obrero de Puerto Berrío.

Para el diseño del sistema se optó por el uso de tecnología LED, debido a su alta eficiencia energética, bajo consumo eléctrico y reducido impacto ambiental en comparación con otras tecnologías convencionales. La fotometría de las luminarias varía según el modelo y su aplicación específica, por lo que se seleccionaron diferentes tipos de distribución luminosa adaptados a las

necesidades del entorno. En particular, para las zonas peatonales se consideró una fotometría con amplio ángulo de cobertura, orientada directamente hacia el plano horizontal, con el fin de garantizar una iluminación uniforme, sin deslumbramientos y adecuada para la circulación segura. La distribución fotométrica de la luminaria seleccionada para esta aplicación se puede observar en la Figura 12.

Figura 12.  
*Espectro de Iluminación.*



*Nota:* elaboración propia

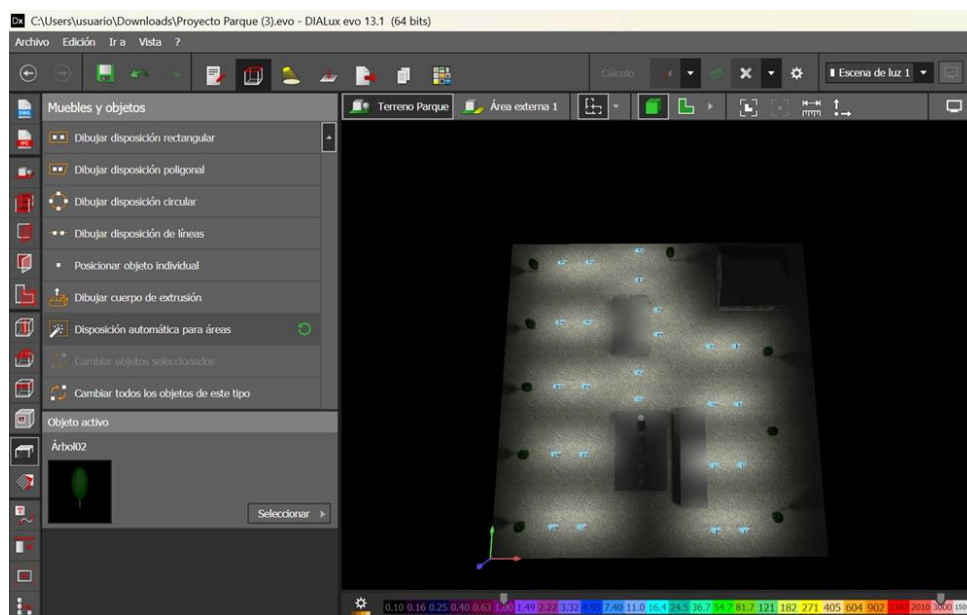
La Figura 12 presenta la curva fotométrica de la luminaria LED seleccionada para el proyecto, correspondiente a un patrón de distribución tipo batwing, caracterizado por un haz de luz amplio y simétrico en el plano horizontal. Este tipo de distribución es ideal para espacios públicos como parques y zonas peatonales, ya que proporciona una cobertura uniforme a lo largo del eje transversal, reduciendo zonas de sombra y mejorando la visibilidad lateral.

La mayor concentración del flujo luminoso se encuentra entre los  $60^\circ$  y  $120^\circ$  con respecto al eje vertical, lo que permite una distribución eficiente de la luz sobre la superficie útil sin pérdidas

hacia el cielo ni hacia áreas no deseadas. Esta configuración favorece la eficiencia energética, minimiza el deslumbramiento y cumple con los criterios técnicos establecidos por el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) para espacios abiertos urbanos.

La disposición de las luminarias ha sido diseñada estratégicamente para dirigir el flujo luminoso hacia las áreas de tránsito peatonal, asegurando una iluminación focalizada y eficiente sobre la calzada y zonas de uso común. En conjunto, el sistema de alumbrado público propuesto está orientado a cubrir de manera uniforme el parque en su totalidad, cumpliendo con los criterios técnicos de seguridad, eficiencia energética y confort visual. La Figura 13 muestra el comportamiento lumínico que actualmente tiene el parque.

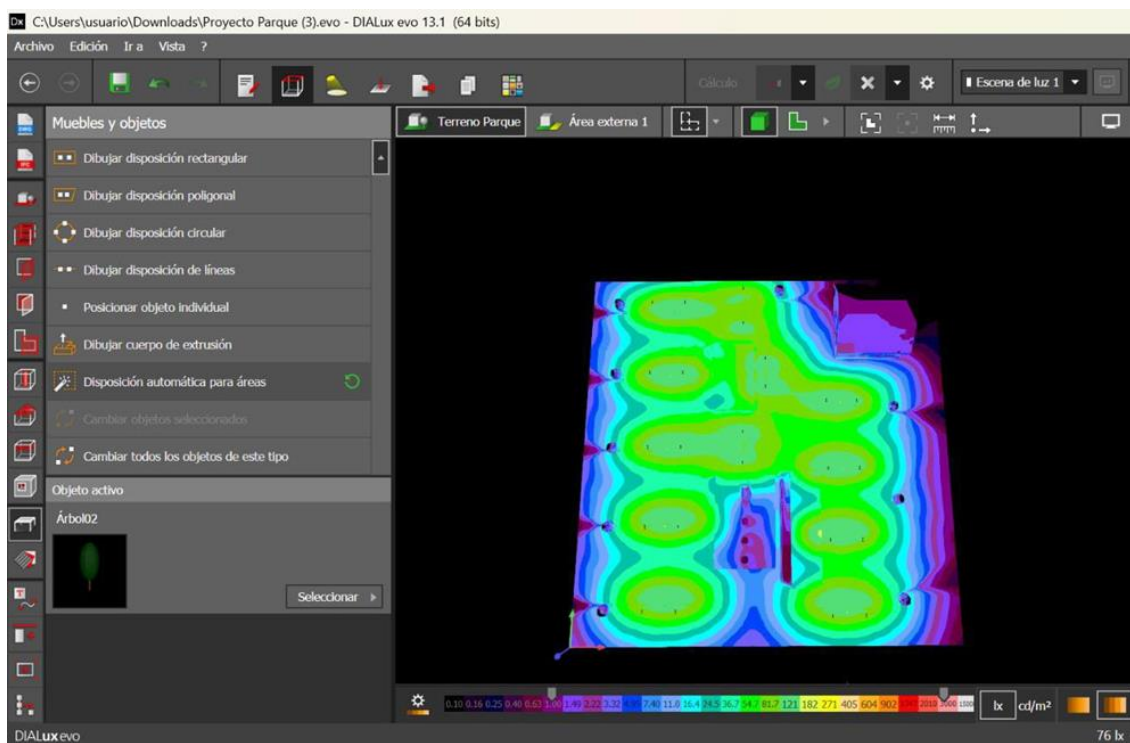
Figura 13  
*Simulación del parque generado por DIALux*



Nota: Elaboración Propia.

La Figura 14 muestra la simulación luminotécnica del Parque Obrero de Puerto Berrío, realizada en el software DIALux evo 13.1, utilizando el plano arquitectónico del terreno con la disposición final de las luminarias LED seleccionadas. La visualización corresponde al análisis de niveles de iluminancia (lux) distribuidos en el área intervenida, representados mediante una escala cromática ubicada en la parte inferior de la imagen. Los colores verde, amarillo y celeste predominantes en la simulación indican que los niveles de iluminancia se encuentran dentro del rango óptimo para espacios públicos, con valores que oscilan entre 30 y 100 lux, superando el mínimo exigido por la normativa RETILAP para parques y zonas recreativas.

Figura 14  
*Simulación de radiación calorífica del parque generado por DIALux*



Nota: Elaboración Propia.

La uniformidad en la distribución de la luz, sin zonas críticas de penumbra, demuestra la eficiencia del diseño y la correcta selección de fotometrías y potencias para las luminarias empleadas.

La simulación también arrojó la información de la Tabla 3 donde indica que los parámetros cumplen con la normatividad.

Tabla 3  
*Resultado final dialux.*

Zona Evaluada	$\bar{E}$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$U_o$	Requisitos RETILAP	¿Cumple?
Peatonal 1	58.0	26.7	0.46	$\geq 20$ lx, $U_o \geq 0.25$	Sí
Peatonal 2	60.0	34.7	0.58	$\geq 20$ lx, $U_o \geq 0.25$	Sí
Peatonal y bancas	69.2	41.7	0.6	$\geq 20$ lx, $U_o \geq 0.25$	Sí
Zona de juego 1	65.7	39.2	0.6	$\geq 30$ lx, $U_o \geq 0.40$	Sí
Zona de juego 2	70.5	44.7	0.63	$\geq 30$ lx, $U_o \geq 0.40$	Sí

*Nota:* elaboración propia

Una vez definido el sistema de iluminación LED con sus respectivos parámetros técnicos y verificada su eficiencia mediante simulaciones, es necesario dimensionar el sistema de generación que lo alimentará de forma autónoma. Dado el enfoque sostenible del proyecto, se opta por una fuente de energía renovable que permita garantizar el funcionamiento continuo del alumbrado sin dependencia de la red eléctrica convencional. A continuación, se desarrolla el diseño del sistema de energía fotovoltaica, encargado de abastecer la demanda energética de las luminarias instaladas, considerando variables como el consumo total, la radiación solar disponible, la autonomía requerida y la configuración óptima de paneles, baterías y dispositivos de control.

El primer paso en el diseño del sistema fotovoltaico autónomo consiste en determinar el consumo energético diario de la carga a alimentar, lo cual es fundamental para dimensionar adecuadamente los componentes del sistema.

Para garantizar el suministro energético de cada luminaria LED de 40 W, con un tiempo promedio de funcionamiento de 7 horas diarias, se realizó el dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo siguiendo un enfoque técnico que contempla: el cálculo del consumo energético diario, la capacidad del banco de baterías, la potencia requerida de generación solar y el dimensionamiento del regulador de carga.

Cálculo de la Energía Teórica Diaria ( $E_t$ ):

El cálculo de la energía teórica diaria constituye el punto de partida para dimensionar cualquier sistema fotovoltaico, ya que permite estimar la demanda energética diaria de la carga que se desea alimentar. En este caso, la carga corresponde a una luminaria LED de 40 W de potencia, programada para funcionar durante un promedio de 7 horas continuas cada noche.

La fórmula empleada está dada por la Ecuación 2:

$$E_t = P \times H \quad (2)$$

Donde:

P: Potencia de la luminaria (W)

H: Horas de funcionamiento diario

Sustituyendo los valores en la Ecuación 2 se obtiene:

$$Et = 40 \text{ W} \times 7 \text{ h} = 280 \text{ Wh}$$

Este resultado indica que cada luminaria consume teóricamente 280 Wh por día, sin considerar aún las pérdidas propias del sistema (ver Tabla 4). Este valor será la base para dimensionar la capacidad de almacenamiento (baterías) y el sistema de generación solar.

Tabla 4  
*Datos de Consumo por Luminaria*

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Horas uso diario	Consumo diario (Wh)
Luminaria led	1	40	7	280

*Nota:* elaboración propia

### **6.3 Diseño del sistema de energía solar para abastecer el sistema de iluminación LED**

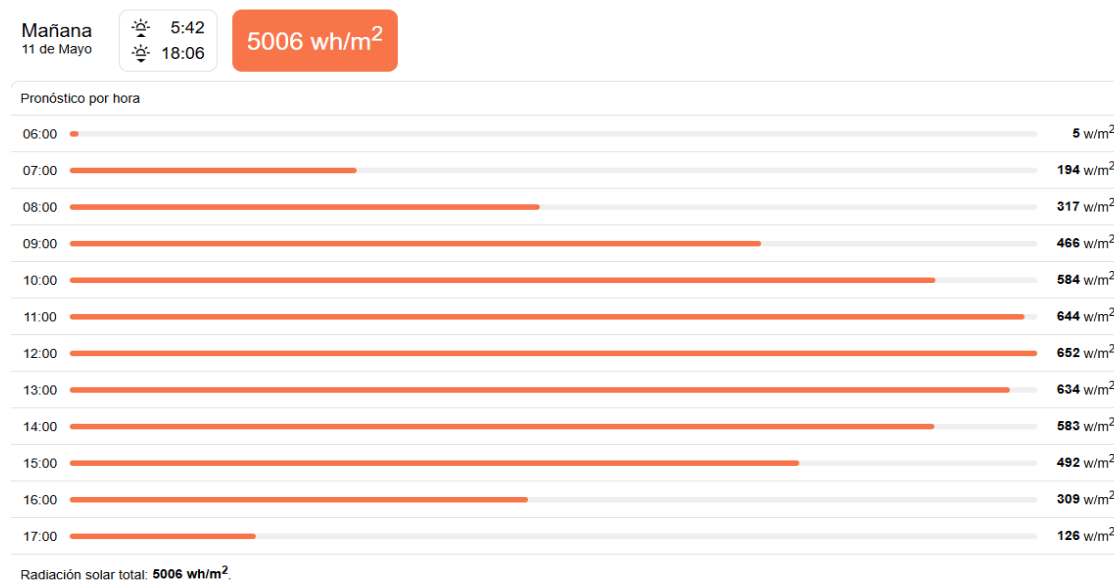
El Parque Obrero está ubicado en la zona céntrica del municipio y presenta una configuración urbana con baja densidad de vegetación o arborización, lo cual representa una condición favorable para la implementación de un sistema de iluminación fotovoltaico, al garantizar una adecuada exposición solar durante la mayor parte del día. La solución propuesta contempla el uso de luminarias solares autónomas, las cuales reemplazarían las unidades actuales. Este tipo de tecnología permite una instalación sencilla, sin requerir acometidas eléctricas ni infraestructura de cableado, lo cual resuelve una de las principales limitaciones técnicas del sistema anterior. Además, son compatibles con postes de baja altura como los existentes en el parque, optimizando así los recursos disponibles y facilitando el proceso de adecuación.

En este contexto, la configuración física del parque favorece la implementación de tecnología fotovoltaica, además de las condiciones climáticas locales. La ubicación geográfica del

municipio ofrece un recurso solar abundante. Según análisis de la fuente tu tiempo la radiación sola en puerto Berrio es de aproximadamente 4000 a 5000 ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) la cual hace que puerto Berrio tenga una óptima radiación para un sistema fotovoltaico. Como se puede observar de manera gráfica lo expresado.

En la Figura 2 presenta el pronóstico horario de radiación solar global en Puerto Berrío, expresado en vatios por metro cuadrado ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). En la parte superior se indica el valor total acumulado del día: 5006  $\text{Wh}/\text{m}^2$ , lo cual representa la disponibilidad de recurso solar necesaria para sistemas fotovoltaicos autónomos. El gráfico de barras muestra la intensidad de radiación solar para cada hora del día, iniciando a las 6:00 a.m. con valores mínimos ( $5 \text{ W}/\text{m}^2$ ) y alcanzando su pico entre las 11:00 a.m. y 1:00 p.m., con valores superiores a  $640 \text{ W}/\text{m}^2$ . A partir de las 2:00 p.m., la radiación comienza a disminuir progresivamente hasta las 5:00 p.m.

Figura 15  
Radiación solar para Puerto Berrío.



Nota. TuTiempo.net. (2024). Radiación solar en Puerto Berrío. <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/puerto-berrio.html>

Este comportamiento evidencia que el municipio cuenta con al menos 5 a 6 horas solares pico (HSP), lo cual es un parámetro fundamental en el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos. Estas condiciones aseguran una carga eficiente de baterías y un funcionamiento autónomo del sistema de iluminación propuesto, sin comprometer su rendimiento energético.

De acuerdo con las descripciones expuestas, por el estado actual de la iluminación de este parque, las consecuencias de seguridad y el bienestar general en la comunidad se ven afectado, por ello la pertinencia del presente proyecto, aunado a las condiciones ambientales y geográficas favorables para la propuesta

Ajuste por Rendimiento del Sistema:

Una vez calculada la energía teórica diaria requerida por la luminaria, es necesario ajustar ese valor considerando las pérdidas propias del sistema fotovoltaico. Estas pérdidas pueden deberse a factores como la temperatura ambiente, resistencia en los conductores, eficiencia del controlador de carga, inclinación del panel, suciedad en la superficie del módulo, entre otros.

Para ello, se aplica un coeficiente de rendimiento global del sistema (R), el cual representa el porcentaje de eficiencia con el que opera todo el conjunto. En este proyecto se ha considerado un valor de 0.809 (80.9 %), que es un estimado técnico razonable para instalaciones reales.

La fórmula empleada está dada por la Ecuación 3:

$$E = \frac{Et}{R} \quad (3)$$

Donde:

E= Energía real requerida por el sistema [Wh]

Et = Energía teórica diaria [Wh]

R = Rendimiento global del sistema (valor entre 0 y 1)

Sustituyendo los valores en la Ecuación 3 se obtiene:

$$E = \frac{280}{0.809} \approx 346 \text{ Wh}$$

Este resultado indica que, para compensar las pérdidas del sistema y garantizar el suministro continuo a la luminaria, se deben generar aproximadamente 346 Wh diarios. Este valor será utilizado en los siguientes pasos para dimensionar correctamente los paneles solares y las baterías.

Cálculo de la Capacidad del Banco de Baterías (CB):

La capacidad del banco de baterías se define como la cantidad de energía que debe ser almacenada para garantizar el funcionamiento continuo de la luminaria durante los días en que no haya suficiente radiación solar. Este cálculo es fundamental para asegurar la autonomía del sistema, especialmente en condiciones climáticas adversas.

La fórmula empleada está dada por la Ecuación 4:

$$CB = \frac{E \times N}{V \times PD} \quad (4)$$

Donde:

CB = Capacidad del banco de baterías [Ah]

E = Energía real requerida por día [Wh]

N = Número de días de autonomía

V = Tensión nominal del banco de baterías [V]

PD = Profundidad de descarga (expresada como valor decimal)

Para este diseño se considera:

$$E=346\text{Wh}$$

$$N=2 \text{ días de autonomía}$$

$$V=12 \text{ V}$$

PD=0.7PD (lo que implica una descarga máxima del 70 %, recomendada para baterías de ciclo profundo)

Sustituyendo los valores en la Ecuación 4 se obtiene:

$$CB = \frac{346 \times 2}{12 \times 0.7} \approx 82.38 \text{ Ah}$$

Este resultado indica que cada luminaria requiere un banco de baterías con una capacidad mínima de 82.38 Amperios-hora a 12 V, para garantizar un funcionamiento autónomo durante dos días sin generación solar. Esta capacidad puede dividirse en una o más baterías dependiendo de la configuración del sistema (serie o paralelo) y del tipo de batería seleccionada.

Potencia Requerida de los Paneles Solares ( $W_p$ ):

Una vez determinada la energía diaria que debe generar el sistema, es necesario calcular la potencia total que deben aportar los paneles solares para cubrir dicha demanda de manera eficiente. Este valor dependerá de la radiación solar disponible en la zona, expresada en horas solares pico (HSP), así como de un coeficiente de pérdidas adicionales en la conversión.

La fórmula empleada está dada por la Ecuación 5:

$$W_p = \frac{E}{HSP \times 0.9} \quad (5)$$

Donde:

$W_p$  = Potencia requerida del generador fotovoltaico [W]

$E$  = Energía diaria real ajustada por pérdidas [Wh]

HSP = Horas solares pico promedio del sitio [h/día]

0.9 = Coeficiente de corrección para pérdidas (10 % por suciedad, orientación no óptima, etc.)

Para el caso de Puerto Berrío, se considera un promedio de 5.7 horas solares pico.

Sustituyendo los valores en la Ecuación 5 se obtiene:

$$W_p = \frac{346}{5.7 \times 0.9} \approx 67.4 \text{ Wp}$$

Este resultado indica que se requiere una potencia mínima de 67.4 Wp por luminaria para garantizar la generación energética diaria necesaria. En términos prácticos, se recomienda seleccionar paneles comerciales de al menos 100 Wp para cubrir esta demanda con holgura y permitir un funcionamiento confiable del sistema incluso en días parcialmente nublados.

Número de Paneles:

Una vez calculada la potencia mínima requerida para cubrir el consumo energético diario de cada luminaria, se procede a determinar cuántos paneles solares deben instalarse por unidad de carga. Este cálculo depende de la potencia nominal del panel fotovoltaico seleccionado ( $W_{p\_panel}$ ) y se redondea al valor entero superior para garantizar un margen de seguridad.

La fórmula empleada está dada por la Ecuación 6:

$$NP = \frac{W_p}{W_{p\_panel}} \quad (6)$$

Donde:

NP = Número de paneles solares

Wp = Potencia total requerida [W]

Wp\_panel = Potencia nominal del panel seleccionado [W]

En este proyecto se ha estimado que cada luminaria requiere aproximadamente 67.4 Wp, y se propone utilizar paneles comerciales de 100 Wp. Sustituyendo los valores en la Ecuación 6 se obtiene:

$$NP = \frac{67.4}{100} = 0.674$$

Esto asegura un margen adicional de generación, que resulta útil para compensar pérdidas por suciedad, degradación de los módulos y variaciones en la radiación solar. Así, cada luminaria del sistema estará alimentada por un panel solar independiente de 100 Wp, garantizando su autonomía y eficiencia operativa.

Dimensionamiento del Regulador de Carga:

El regulador de carga es un componente esencial en cualquier sistema fotovoltaico autónomo, ya que controla el flujo de energía entre el panel solar y la batería, evitando la sobrecarga y la descarga profunda, y prolongando así la vida útil del sistema de almacenamiento.

Para su dimensionamiento, es necesario calcular la corriente máxima que debe manejar, la cual depende directamente de la corriente de cortocircuito del panel ( $I_{sc}$ ) y del número de paneles conectados en paralelo.

La fórmula empleada está dada por la Ecuación 7:

$$Reg = I_{sc} \times NP \quad (7)$$

Donde:

Reg = Corriente mínima que debe soportar el regulador [A]

$I_{sc}$  = Corriente de cortocircuito del panel [A]

NP = Número de paneles solares conectados (por luminaria)

Considerando que el panel seleccionado tiene una corriente de cortocircuito de aproximadamente 5.5 A y que se utiliza un panel por luminaria. Sustituyendo los valores en la Ecuación 7 se obtiene:

$$Reg = 5.5 \text{ A} \times 1 = 5.5 \text{ A}$$

Por criterios de seguridad y margen operativo, se recomienda seleccionar un regulador con una capacidad nominal superior a la corriente calculada. En este caso, se sugiere utilizar un regulador de al menos 10 A por luminaria, lo que garantiza un funcionamiento estable bajo variaciones de temperatura, radiación y carga.

Este regulador debe ser compatible con el voltaje del sistema (12 VDC) y preferiblemente contar con tecnología PWM o MPPT, según disponibilidad y presupuesto del proyecto.

El diseño del sistema fotovoltaico realizado para alimentar cada luminaria LED del Parque Obrero de Puerto Berrío demuestra la viabilidad técnica de implementar una solución energética autónoma y sostenible. A partir del cálculo del consumo diario, se dimensionaron de manera precisa los componentes clave: paneles solares, banco de baterías y regulador de carga, asegurando una operación confiable incluso en condiciones de irradiación solar moderada y considerando un margen de autonomía de dos días.

La selección de paneles de 100 Wp por luminaria, junto con baterías de ciclo profundo y reguladores adecuados, garantiza el equilibrio entre capacidad de generación, almacenamiento y control del sistema. Además, la configuración modular facilita el mantenimiento, la instalación y la escalabilidad del sistema en futuras intervenciones.

La implementación articulada del sistema de iluminación LED con un sistema fotovoltaico autónomo permite consolidar una propuesta técnicamente viable, ambientalmente sostenible y operativamente eficiente para el Parque Obrero de Puerto Berrío. Cada componente fue dimensionado con base en parámetros reales de consumo, condiciones climáticas locales y criterios normativos, garantizando así una solución que responde tanto a las necesidades del entorno como a los objetivos de eficiencia energética del proyecto.

El sistema de iluminación ofrece una distribución lumínica uniforme, niveles adecuados de iluminancia y bajo consumo, mientras que el sistema solar asegura el suministro energético continuo sin depender de la red eléctrica convencional. Esta integración tecnológica no solo permite cubrir las demandas funcionales del espacio, sino que también promueve la autonomía energética, reduce los costos de operación y mantenimiento, y aporta al mejoramiento de la seguridad y habitabilidad del parque.

Como resultado del proceso de diseño, se estructuró un sistema de iluminación autónomo para el Parque Obrero del municipio de Puerto Berrío, el cual integra tecnología LED de alta eficiencia y generación solar fotovoltaica. El diseño final contempla la instalación de 22 luminarias tipo LED, seleccionadas por su alto flujo luminoso (5400 lúmenes), eficacia energética (120 lm/W) y vida útil superior a 50.000 horas. Estas luminarias estarán distribuidas estratégicamente en los puntos existentes del parque, mediante postes metálicos de doble brazo, cumpliendo con la normativa RETILAP para garantizar cobertura uniforme, seguridad y confort visual.

Cada luminaria estará alimentada de forma independiente por un sistema fotovoltaico autónomo, compuesto por un panel solar de 100 Wp, un banco de baterías de 82.38 Ah a 12 V con autonomía de dos días, y un regulador de carga dimensionado para proteger la integridad del sistema. Esta configuración asegura un funcionamiento continuo durante la noche, sin necesidad de conexión a la red eléctrica, y una alta confiabilidad frente a condiciones climáticas variables. En conjunto, el sistema diseñado representa una solución sostenible, eficiente y replicable para la modernización del alumbrado público en espacios urbanos, optimizando el uso de los recursos solares disponibles en la región.

## 7 Conclusiones

El proyecto de implementación de un sistema de iluminación LED en el Parque Obrero de Puerto Berrío surge como una respuesta a las problemáticas de inseguridad y de la poca actividad económica y social en uno de los principales espacios públicos del municipio. Actualmente, el parque se enfrenta a desafíos como la falta de visibilidad nocturna, esto no solo afecta la seguridad y tranquilidad de los habitantes, sino que también genera un impacto negativo en los comerciantes locales, quienes ven disminuido su flujo de clientes y sus ingresos debido a la falta de tránsito en horas de la noche a causa de la inseguridad que se puede presentar por la poca iluminación, así como la presencia de acciones delictivas o de habitantes de la calle.

La implementación de un sistema de iluminación LED tiene diversos beneficios que se presentan a corto y largo plazo, principalmente la seguridad de los habitantes, este aspecto es fundamental, ya que permite a las familias, jóvenes y turistas sentirse seguros al utilizar el espacio público, lo cual contribuye a la reactivación de la vida comunitaria. Si se habla en términos económicos, un parque bien iluminado atrae actividades comerciales y sociales, lo que promueve el desarrollo económico del lugar.

Considerando una visión sostenible, la tecnología LED es una opción responsable y eficiente en el consumo de energía ya que las luminarias LED consumen significativamente menos electricidad en comparación con las bombillas tradicionales, lo que permite ahorrar en costos de operación y reducir la huella de carbono asociada al alumbrado público. Por otro lado, este tipo de luminarias cuentan con una vida útil prolongada, Esta característica asegura que el proyecto no solo sea funcional y eficiente en el presente, sino también económicamente viable en el futuro,

alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible del municipio, además el proyecto cuenta con el cumplimiento de las normas técnicas establecidas por el RETILAP lo que garantiza que el diseño del sistema de iluminación LED cumpla con altos estándares de seguridad y eficiencia. Este proyecto no solo se enfoca en resolver una problemática específica del Parque Obrero, sino que busca ofrecer una solución integral que impacte positivamente en la seguridad, la economía y el medio ambiente de Puerto Berrío.

## 8. Bibliografía

- Blanco, J. (s.f.). *Composición y funcionamiento del LED: todo lo que necesitas saber*. Obtenido de *ELECTRIUM*. Obtenido de [https://electrium.es/electronica/hecho-led/?expand\\_article=1](https://electrium.es/electronica/hecho-led/?expand_article=1)
- Castillo, A. (23 de noviembre de 2022). *Diseño de un sistema de iluminación para parques y zonas peatonales de la ciudad de Bogotá*. Obtenido de UAN. Obtenido de <https://repositorio.uan.edu.co/server/api/core/bitstreams/5676bafb-7ba0-45bd-895b->
- Chile, S. (29 de Julio de 2024). *¿Qué son los proyectos On Grid y Off Grid?* Obtenido de <https://solcorchile.com/on-grid-off-grid/>
- Corporativa, I. (s.f.). *Eficiencia energética: qué es y cómo funciona*. Obtenido de Iberdrola: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/medio-ambiente/eficiencia-energetica>
- DIALux. (s.f.). *El diseño de iluminación hecho fácil con DIALux evo*. Obtenido de <https://www.dialux.com/es-ES/dialux>
- Endesa. (10 de enero de 2022). *Tipos de bombillas: consumo, vida útil y ventajas*. Obtenido de <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/tipos-bombillas>
- Enelx. (s.f.). *¿Cuáles son las ventajas del alumbrado público led e inteligente?* Obtenido de Enel X: <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/advantages-of-led-street-lights#:~:text=La%20iluminaci%C3%B3n%20eficiente%20con%20tecnolog%C3%ADa,led%2C%20pero%20hay%20muchas%20m%C3%A1s>.
- Fitzgerald, A. K. (2003). *Electric Machinery*. Mc.Graw Hill, Internationa.

García-Peñalvo, F. J. (2019). *Inteligencia Artificial. Una perspectiva desde la ficción a la realidad.*

<https://bit.ly/2Q0jap0>. doi: 10.5281/zenodo.2818903.

Grandas, S. (Marzo de 2023). *Más de 81 mil luminarias modernizadas a tecnología led en el alumbrado público de Bogotá. Obtenido de Unidad administrativa especial de servicios públicos.* Obtenido de <https://www.uaesp.gov.co/noticias/mas-81-mil-luminarias-modernizadas- tecnologia-led-alumbrado-publico-Bogotá>

IDEAM. (2024). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.* Obtenido de [https://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual/-/document\\_library\\_display/xYvIPc4uxk1Y/view/126677699](https://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual/-/document_library_display/xYvIPc4uxk1Y/view/126677699)

LED., E. (s.f.). *10 ventajas de la iluminación led en el hogar.* Obtenido de <https://www.ecoluzled.com/blog/10-ventajas-de-la-iluminacion-led-hogar/>

Llamuca Landa, A. B. (2016). *Control y monitoreo de un sistema de generación de energía eléctrica con paneles solares para el alumbrado público en la Facultad de Informática y Electrónica (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).* Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/234593297.pdf>

Mateu, C. (1 de marzo de 2015). *Cuales son las unidades de medida de la iluminación?* Obtenido de SueloSolar.com.: <https://suelosolar.com/noticias/iluminacion/espana/3-1-2015/cuales-son-unidades-medida-iluminacion>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. (3 de mayo de 2024). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP.* Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos->

Ministerio de minas y energías. (02 de abril de 2024). *INSTALACIONES OBJETO DEL RETIE*.

Obtenido de [https://www.minenergia.gov.co/documents/11566/4.\\_Libro\\_3\\_-\\_Instalaciones.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/11566/4._Libro_3_-_Instalaciones.pdf)

Molina, J. (2012). *Conflicto en las interpretaciones sobre la naturaleza jurídica del servicio de alumbrado público en Colombia*. Revista de derecho 245-266. Obtenido de

<https://www.redalyc.org/pdf/851/85123909010.pdf>

Mora Freire, J. F. (2018). *Optimización de iluminación de parques conforme a la Norma RTE INEN 069 basado en restricciones fotométricas (Bachelor's thesis)*. Obtenido de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16067/1/UPS%20-%20ST003744.pdf>

ONU. (2030). *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*.

Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

Orellana Lalangui, A. G. (2015). *Estudio de factibilidad para el uso de energía solar y eólica en sistemas de alumbrado público para la vía de Integración Barrial, sector El Plateado*

*servido por Empresa Eléctrica Regional del Sur (Bachelor's thesis)*. Obtenido de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7872/1/UPS-CT004708.pdf>

Pérez Zulueta, J. A. (2019). *Diseño de un Sistema de Iluminación Fotovoltaico Mediante*

*Tecnología Led para el Parque Central de la Provincia De Jaén–Cajamarca*. Obtenido

de [http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/74/1/P%C3%A9rez\\_ZJA.pdf](http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/74/1/P%C3%A9rez_ZJA.pdf)

Perú, A. (s.f.). *¿Qué diferencia hay entre un inversor y un convertidor?* Obtenido de

<https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/que-diferencia-hay-entre-un-inversor-y-un->

convertidor?srsltid=AfmBOosnGfIruguvhasBMcx6GjdMdPyqD07clCJ2Xq4f0sxi-1LbTj9

Repsol. (9 de junio de 2025). *Energía solar: qué es, características y ventajas principales*.

Obtenido de REPSOL: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-solar/index.cshtml#:~:text=Energ%C3%ADa%20solar%20fotovoltaica.,las%20capas%20del%20panel%20solar>.

SAS, E. (9 de junio de 2025). *FotoCelda SE15-A*. Obtenido de Ecolite:

[https://ecolite.com.co/producto/fotocelda-se15-a/?srsltid=AfmBOopVJ-S9MtbzCKk0CsU3L9\\_h0c2Q\\_QLFehUteQmEMdjZxT5SVt5k](https://ecolite.com.co/producto/fotocelda-se15-a/?srsltid=AfmBOopVJ-S9MtbzCKk0CsU3L9_h0c2Q_QLFehUteQmEMdjZxT5SVt5k)

Silva, D. (Agosto de 2021). *La iluminación led llegó al parque La Calleja en el norte de Bogotá*.

Obtenido de Unidad administrativa especial de servicios público:

<https://www.uaesp.gov.co/noticias/la-iluminacion-led-llego-al-parque-la-calleja-norte-Bogotá>

SURET. (2023). *LÁMPARA LED 100W MULTIPUNTO CON FOTOCELDA*. Obtenido de

<https://iluminacionsuret.com/wp-content/uploads/2023/07/LAMPARA-LED-100W-CON-FOTOCELDA.pdf>