

Prototipo de lámpara de iluminación de espacios públicos alimentado por energía solar fotovoltaica, apoyado bajo la metodología (IoT)

Lamp prototype for lighting public spaces powered by photovoltaic solar energy, supported under the methodology (IoT)

Lubin Delgado Arroyo¹
Yuneivi Abadia Hurtado²
Kendy Yised Mena Gonzales³

¹ Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba.
Email: lubin.delgadoa@utch.edu.co

² Fundación Universitaria Claretiana Colombia.
Email: yabadia@uniclaretiana.edu.co

³ Fundación Universitaria Claretiana Colombia.
Email: kendy.mena@uniclaretiana.edu.co

 OPEN ACCESS



Copyright:

©2024. La revista *Ingenierías USBmed* proporciona acceso abierto a todos sus contenidos bajo los términos de la licencia [creativecommons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) Atribución no comercial SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

Tipo de artículo: Investigación.

Recibido: 18-01-2023.

Revisado: 29-04-2024.

Aprobado: 09-07-2024.

Doi: 10.21500/20275846.6200

Referenciar así:

L. Delgado Arroyo, Y. Abadia Hurtado y K. Y. Mena Gonzalez, "Prototipo de lámpara de iluminación de espacios públicos alimentado por energía solar fotovoltaica, apoyado bajo la metodología (IoT)," *Ingenierías USBMed*, vol. 15, n.º 2, pp. 11–18, 2024.

Disponibilidad de datos:

todos los datos relevantes están dentro del artículo, así como los archivos de soporte de información.

Conflicto de intereses:

los autores han declarado que no hay conflicto de intereses.

Editor: Andrés Felipe Hernández.
Universidad de San Buenaventura,
Medellín, Colombia.

Resumen. El objetivo de esta investigación se debe a la necesidad sobre las problemáticas presentes en el sistema de alumbrado público del municipio de Quibdó. El desarrollo de un prototipo funcional de alumbrado público, y utilizando la tecnología del Internet de las Cosas, alimentado por un módulo solar, es considerado como la mejor opción para desarrollar la presente investigación, teniendo claro que nuestros objetivos son: diseñar un prototipo funcional que monitoree el estado del alumbrado público mediante las tecnologías IoT, crear un evento que alerte sobre los fallos que presente el prototipo funcional a través de la plataforma Ubidots, demostrar el funcionamiento del prototipo desarrollado mediante los resultados obtenidos, hacer seguimiento y monitoreo del estado de la lámpara mediante el software Ubidots. Los resultados alcanzados muestran la viabilidad en el funcionamiento del sistema de alumbrado público con promedio de 6 horas diarias de funcionamiento, lo que representa una disminución en casi un 80% del consumo de energía eléctrica asociada a alumbrado público, por su parte, el diseño desarrollado se ajusta a las condiciones climáticas de la región aprovechando las 4 horas promedio de sol diarias.

Palabras Clave. Modulo solar, internet de las cosas (IoT), lámpara solar, alumbrado público.

Abstract. The objective of this research arises from the need to address the issues present in the public lighting system of the municipality of Quibdó. The development of a functional prototype for public lighting, utilizing Internet of Things (IoT) technology and powered by a solar module, is considered the best option for this research. Our objectives are clear: design a functional prototype that monitors the state of public lighting using IoT technologies, create an alert system for any faults detected in the prototype through the Ubidots platform, demonstrate the operation of the developed prototype based on the results obtained, and track and monitor the status of the lamp using Ubidots software. The results achieved demonstrate the feasibility of the public lighting system operating for an average of 6 hours daily, representing a nearly 80% reduction in electricity consumption associated with public lighting. Moreover, the designed prototype is tailored to the region's climatic conditions, taking advantage of the average of 4 hours of sunlight per day.

Keywords. Solar module, internet of things, solar lamp, public lighting.

I. Introducción

Uno de los sistemas de alumbrado más robustos y necesarios en las ciudades es el alumbrado público, el cual es responsable de generar un alto consumo de electricidad [1], [2], pues cuando se enciende opera todo el tiempo al 100% de su capacidad, lo que genera un aumento innecesario de los costos operativos [3]. Alrededor del 30% del consumo eléctrico en las ciudades es producto del alumbrado público.

Debido a la evolución de la humanidad, el hombre cada vez experimenta diferentes tipos de cambios, los cuales sirven de beneficios al mismo.

En Colombia toda la energía que se consume en las luminarias acarrea un costo económico que debe ser asumido, según la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) en su (Resolución N° 123) de 2011, por los municipios o distritos correspondientes, ya que estos “son los responsables de la prestación del servicio de alumbrado público” [4].

El alumbrado público en la ciudad de Quibdó no cuenta con un sistema que monitoree el correcto funcionamiento y consumo eléctrico de las lámparas de manera que se garantice la prestación de un servicio adecuado a los habitantes. Además, cuando las luces no funcionan correctamente el proceso de reparación puede ser muy largo y ubicar las que están en mal estado es muy difícil, lo que tiene un gran impacto en el aspecto económico, energético y social [5].

Las instalaciones de alumbrado público tienen la finalidad de iluminar las vías de circulación y los espacios públicos que por sus características deben permanecer iluminadas permanente o circunstancialmente. El alumbrado público debe proporcionar unas condiciones de visibilidad idóneas para la conducción de vehículos, el paseo de viandantes o la observación del entorno [6].

En algunas ciudades del mundo se ha implementado, en las redes de alumbrado público, un sistema de control con el Internet de las Cosas (IoT). La ciudad de San Diego, California, ha impulsado la iniciativa de la transformación del alumbrado público convencional que tienen a uno inteligente y autogestionable. La idea se refuerza con la utilización de las luminarias como puntos de monitoreo de diferentes variables como temperatura, humedad, presión, niveles de ruido y tráfico de personas. El objetivo no solo es incorporar un sistema de iluminación inteligente, sino también variables que puedan ser monitoreadas por otros organismos de la administración local, como la policía o el servicio meteorológico, para detectar variables en puntos importantes de la ciudad [4].

Por su parte, se conoce que el potencial de las ciudades inteligentes compete a todos los entes interesados de la ciudad: las empresas de servicios públicos, los ciudadanos y, por supuesto, el gobierno municipal. La infraestructura de comunicaciones y de analítica de da-

tos de las ciudades inteligentes puede generar ahorros energéticos, ganar eficiencia en las operaciones de la ciudad, mejorar la seguridad pública y otros beneficios para la comunidad. Sin embargo, numerosas aplicaciones tienen modelos de negocio ambiguos cuando se trata de cuantificar costos y beneficios [5].

El prototipo funcional de la lámpara de iluminación en espacios públicos con implementación de metodologías del Internet de las Cosas, fue desarrollado con el propósito de mejorar la eficiencia y consumo energético en el municipio de Quibdó, este prototipo consta de un módulo solar que alimentará los componentes electrónicos de la lámpara, lo que será de gran utilidad en la reducción del consumo eléctrico; a su vez constará de un sistema de monitoreo al estado y funcionamiento de la lámpara [6], [7].

En el documento se presenta la metodología de trabajo que rige el proceso de desarrollo del diseño del sistema en las distintas etapas correspondientes, así como los resultados obtenidos en cada una de las fases. De igual manera, esta investigación se realizó con el objetivo de desarrollar un prototipo funcional basado en lámparas de iluminación en espacios públicos apoyado bajo la metodología de Internet de las Cosas (IoT) alimentado por energía solar fotovoltaica en el municipio de Quibdó, permitiendo así mejorar el consumo eléctrico y poder conocer el estado de la lámpara utilizando la plataforma de Ubidots, la cual fue de mucha importancia para determinar el correcto funcionamiento y obtención de resultados para el desarrollo de la investigación [8].

Para la revisión bibliográfica se seleccionaron 13 documentos (tesis de grado y artículos científicos), entre los 38 revisados, que exponen diferentes alternativas empleadas para el monitoreo y seguimiento de lámparas de iluminación públicas como alternativas de ahorro energético, como se puede ver en la Tabla 1.

Abinaya plantea, ante la deficiencia del alumbrado público en India, automatizar las farolas de alumbrado público aumentando la productividad y precisión del sistema de forma rentable, así como dar acceso remoto para el monitoreo y control [9]. El sistema se vale de un fotorresistor, un relé, un microcontrolador y un sensor de temperatura y humedad. Cada uno de los dispositivos ensamblados está en capacidad de controlar entre 6 y 8 lámparas. Para la comunicación inalámbrica se usa un módulo wifi, mediante el cual la información recolectada es enviada a una base de datos, que es accedida a partir una aplicación web desde la que se monitorea y administra el sistema [3].

La idea requiere de IoT en los postes de luminarias, como puntos donde convergen datos e información necesaria para el alumbrado público y otros departamentos locales [11]. El proyecto tuvo como objetivo el reemplazo de 14000 luminarias de las 40000 que posee la ciudad

Tabla 1. Revisión bibliográfica enfocada en documentos de monitoreo y seguimiento de lámparas de iluminación públicas

Autor	Año	Título	País	Palabras clave
X. Jiang [1]	2016	“Innovación en el sistema de alumbrado público del ayuntamiento de Brisbane con led de energía solar: un estudio de viabilidad técnico-económica”	Escocia	Alumbrado Gestión Intensidad
Saifuzzaman N. Moon N. Nur [2]	2017	“Sistema de gestión de tráfico y alumbrado público basado en IoT”	UU.EE	Monitoreo Alumbrado Sistemas inteligentes
J. T. Kim y T. Hwang [3]	2017	“Estudio de viabilidad sobre alumbrado público led con sistemas de atenuación inteligente en Wooi Stream, Seúl”	India	Wifi Fotorresistor Sistemas renovables
M. C. V. S. Mary, G. P. Devaraj A. Theepak [4]	2018	“Sistema inteligente de control de alumbrado público de bajo consumo basado en IoT para ciudad inteligente”	Australia	IoT <i>Smart city</i>
F. Cugurullo [5]	2018	“El origen del imaginario smart city: de los albores de la modernidad al eclipse de la razón”	España	Sensor Intensidad iluminación
K. S. Murthy, P. Herur, B. R. [6]	2018	“Controlador de intensidad de luz basado en IoT”	Correa del sur	Intensidad
S. Carnevale G. Bonci [7]	2018	“Telegestión de luminarias”	Colombia	Iluminación inteligente
R. Matos, P. S. Paulo, R. Ribeiro [8]	2016	“Implementación de sistemas de iluminación led inteligente en el área metropolitana de Lisboa”	Portugal	Monitoreo Led Sistemas inteligentes
T. S. Perry [10]	2018	“Las farolas de San Diego se vuelven inteligentes”	UU.EE	IoT Iluminación
B. Abinaya, S. Gurupriya, y M. Pooja [9]	2017	“Iluminación inteligente y adaptativa basada en IoT en el alumbrado público”	India	Iluminación inteligente Fotorresistor
E. Y. P. Gonzalez [11]	2020	“Diseño de prototipo funcional de alumbrado público basado en tecnologías IoT para la ciudad de Bucaramanga”	Colombia	IoT Alumbrado
R. Pinto y J. Antonio [12]	2010	“Proyecto piloto de telegestión del servicio de alumbrado público de la ciudad de Bucaramanga”	Colombia	Telegestión Iluminación IoT
E. Duque, A. Isaza, P. Ortiz [13]	2017	“Innovación en conjuntos urbanos: diseño de un sistema fotovoltaico de árbol solar para cargar lámparas en Medellín-Colombia”	Colombia	Lámparas IoT

por iluminación LED, estas se ajustan perfectamente con el concepto de alumbrado inteligente [10].

Con base en cada uno de los autores referentes en este documento, se puede argumentar que en cada una de las ciudades en las que se ha iniciado con la implementación del sistema de luminarias utilizando los protocolos del Internet de las Cosas (IoT), este resultó beneficioso [12]-[14].

El uso de las tecnologías IoT en lámparas para la iluminación de espacios públicos es de gran beneficio para los sitios donde hay poca visibilidad en ciertas horas del día, ya que esto nos permitirá conocer el estado de las lámparas (encendido y apagado), y notificar si se encuentran fallos en horas donde debería estar en funcionamiento; esto hace de nuestras ciudades que sean inteligentes, a su vez, minimiza el uso de energías

no renovables y contribuyen de forma positiva con el medio ambiente [15].

II. Metodología

En esta investigación se partió bajo el enfoque cuantitativo, donde en primera medida se hace una descripción general del desarrollo de un prototipo funcional para establecerlo en una lámpara de iluminación en espacios públicos utilizando la tecnología del Internet de las Cosas, alimentado por un módulo solar propuesto para su implementación en el municipio de Quibdó. Se analizaron algunos aspectos fundamentales como su funcionamiento convencional, el ciclo de vida de las lámparas y el monitoreo de su estado. En segunda medida se analizaron las variables de funcionamiento del proto-

tipo (corriente, voltaje y potencia) para establecer la viabilidad del proyecto en el área del alumbrado público del municipio de Quibdó y el nivel de conformidad de la población con respecto a esta propuesta; se realizó una revisión de casos prácticos ya establecidos de ciudades inteligentes, y a su vez, se hizo una investigación del estado actual de las lámparas en Quibdó.

La investigación cualitativa es el proceso mediante el cual se indaga información reportada en textos de naturaleza técnico-científico, argumentaciones en comunicaciones de entes oficiales o profesionales, aplicaciones de entrevistas, gráficos e imágenes que representan un conocimiento extraído de una realidad fáctica y experimentalmente evaluada en un contexto ingenieril con el fin de comprender de manera previa y en conjunto las múltiples propiedades o atributos que se extraen de un fenómeno mediante mediación u observación de la realidad. Por lo anterior, el diseño metodológico fue desarrollado dentro de un contexto cualitativo basado en una metodología descriptiva para evidenciar las circunstancias actuales del alumbrado público, determinando sus características a través de la observación directa y obtener información clara del estado de las lámparas en la zona de estudio, y posteriormente, para el diseño del prototipo.

A. Diseño metodológico

Para el abordaje del prototipo de lámpara de iluminación en espacios públicos utilizando la tecnología del Internet de las Cosas, alimentado por un módulo solar en la ciudad de Quibdó, se efectuó un diseño metodológico que consta de tres fases, con sus respectivos momentos, aplicadas en un tiempo determinado. Cada fase responde a la consecución de un objetivo específico, permitiendo, paralelamente, el avance del proceso, retroalimentación y evaluación permanente.

Como se puede ver en la Figura 1, las fases constituyen los métodos de trabajo con los que se desarrollaron las fases del proyecto, cada una de estas se divide en momentos, donde las técnicas empleadas en la operacionalización de dichas fases parten del uso diario de las condiciones del alumbrado público, la consulta de información directa, consultas a páginas web de instituciones, sistematización de la información y, por último, del análisis de los resultados obtenidos.

B. Fase de desarrollo

Corresponde a la búsqueda del cumplimiento del primer objetivo: crear un prototipo funcional de lámpara de iluminación en espacios públicos utilizando los protocolos de las tecnologías IoT alimentado por un módulo solar. Aquí se realizó todo lo requerido en cuanto al ensamble de cada uno de los componentes que permitirían el funcionamiento de la lámpara. Esta fase está conformada por tres momentos:

- Diseño y construcción del brazo metálico: En este primer momento se realizó la construcción del brazo que soporta el panel solar, la fotorresistencia y el reflector,

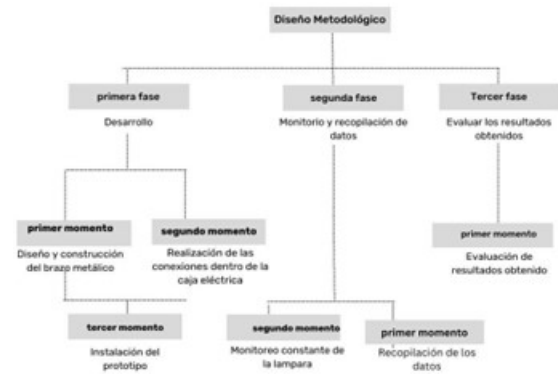


Figura 1. Esquema del diseño metodológico

para el cual se utilizaron dos partes metálicas unidas por una tuerca en la parte central del brazo metálico que permite regular el ángulo de la lámpara.

- Realización de las conexiones dentro de la caja eléctrica: se llevó a cabo el almacenamiento y cubrimiento de la intemperie de los componentes electrónicos que conformaban el circuito de la lámpara.
- Instalación del prototipo: se procedió a realizar la instalación del prototipo en un punto específico de la Fundación Universitaria Claretiana para adelantar el proceso de recopilación de datos mediante un constante monitoreo y seguimiento de la lámpara.

C. Fase de monitoreo y recopilación de datos

Esta segunda fase corresponde a la búsqueda del cumplimiento del segundo objetivo: hacer seguimiento del estado de las lámparas mediante la plataforma Ubidots y, a su vez, demostrar el funcionamiento del prototipo desarrollado mediante los resultados obtenidos. Se monitoreó el estado y funcionamiento de la lámpara y se realizaron tres mediciones de voltaje y corriente durante el día por un periodo 15 días, los cuales fueron proporcionados por el módulo solar. Esta fase está conformada por dos momentos:

- Recopilación de los datos: utilizando un tester (multímetro) se realizó el cálculo de los voltajes y corrientes proporcionados por el módulo solar durante los 15 días en los cuales se recopilaban los datos.
- Monitoreo constante de la lámpara: periódicamente se realizó un constante monitoreo, vigilancia del estado y funcionamiento del prototipo con el propósito de hacer levantamiento de la información y, así mismo, obtener los datos para los resultados esperados.

D. Fase de evaluación de resultados

Esta tercera fase corresponde a la búsqueda del cumplimiento del tercer objetivo: realizar el análisis de los resultados obtenidos del consumo energético suministrado por el módulo solar. Aquí se analizaron los datos arrojados por el módulo solar, la plataforma Ubidots y validar la viabilidad del proyecto; esta última fase está conformada por un momento:

- Evaluación de resultados obtenidos: se evaluaron los resultados desde la durabilidad de encendido y apagado del prototipo, los días de carga de la batería y el funcionamiento del circuito en general y se determinó la viabilidad del proyecto.
- En relación con el panel solar empleado para la generación de energía eléctrica, en la Tabla 2, se presenta la información de la ficha técnica que reporta el fabricante. En cuanto a las mediciones de las variables de (Temperatura y Radiación solar), se tomaron bases de datos proporcionadas por la estación meteorológica de la Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba, de la ciudad de Quibdó.

Tabla 2. Ficha técnica reportada por el fabricante del panel solar

Parámetros eléctricos	Datos
Material	Silicio monocristalino
Proceso	Laminado de PET
Potencia máxima	6 W
Voltaje de trabajo	12 V
Corriente de salida	0–500 mA
Temperatura de funcionamiento	0 a + 60 °C
Tamaño del producto	20×17 cm

En la Figura 2, se muestra el emplazamiento del panel solar en las instalaciones de la universidad, el cual se encuentra a la exposición directa de las condiciones climáticas del medio y conectado a su vez a los demás equipos como inversor de potencia, regulador y tarjetas de medición.



Figura 2. Panel solar instalado

Como dispositivo de iluminación se empleó un reflector led, el cual se observa en la Figura 7, el dispositivo funciona a una potencia de 20 W, la demás información se encuentra en la Tabla 3, por su parte, hay que mencionar que el prototipo cuenta con un sensor fotosensible a la luz, que hace que el reflector funcione durante las horas de la noche, lo que le permite al sistema de generación almacenar energía durante las horas de sol.

Tabla 3. Ficha técnica del reflector empleado en el prototipo
Fuente: Elaboración propia

Parámetros	Datos
Potencia	20 W
Voltaje de trabajo	110 V
Protección	IP65, IK08
Lúmenes	900
Ángulo de luz	120°
Medidas	13.5 cm×10 cm×2.5 cm

Para el control y monitoreo de la lámpara solar se utilizó la plataforma Ubidots: (IoT platform Internet of Things). La plataforma configura el valor que toma la fotorresistencia (ver Figura 5), la cual está programada con una condición de 1000Ω para el encendido de la lámpara, lo cual se activa cuando se presenta radiación muy baja o días lluviosos. La fotorresistencia se configura mediante la ecuación 1.

$$R = AE^{-\alpha} \quad (1)$$

Donde R : resistencia de la fotorresistencia, A y α : constantes que dependen del semiconductor utilizado y E : densidad superficial de la energía recibida.

III. Resultados y discusión

Con los resultados hallados se analizaron a detalle los valores suministrados por el prototipo y la plataforma Ubidots, lo que sirvió para determinar la viabilidad, comportamiento y funcionamiento de la lámpara de iluminación en espacios públicos implementando las metodologías del Internet de las Cosas, siendo este alimentado por energía solar fotovoltaica.

En cuanto a la medición de las variables de temperatura y radiación solar, se tomaron bases de datos proporcionadas por la estación meteorológica de la Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba de Quibdó. Se analizó un año completo de medición de radiación y temperatura (2021), como se muestra en la Figura 3. De los datos se pudo analizar que la radiación promedio para el municipio de Quibdó fue de 31.3 W/m², con mínima de 30.74 W/m², con brillo solar aproximado a 3.8 horas diarias; para la temperatura se presentó un promedio de 25°C, con mínima de 22°C grados y máxima de 26.2°C, lo cual contrasta con algunas mediciones realizadas por otras instituciones como las del IDEAN.

En cuanto a la medición de los datos de generación de energía suministrada por el módulo solar empleado para la alimentación eléctrica de la lámpara de alumbrado público, se dispuso de un panel de silicio monocristalino de 6 W a 12 V con corriente de salida entre 0–500 mA y con un funcionamiento de exposición de temperatura entre 0 a + 60°C. En cuanto a los resultados de funcionamiento del panel solar, se pudo

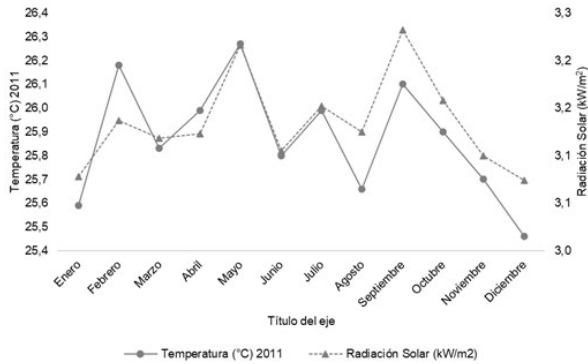


Figura 3. Promedio de radiación solar y temperatura ambiente en Quidó, Colombia, 2021

observar que para un periodo de medición de 15 días de prueba, se presentan resultados para voltaje, corriente y potencia como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Promedios de datos (voltaje, corriente y potencia)
Fuente: Elaboración propia

Fecha	Voltaje (Vp)	Corriente (Ip)	Potencia (Wp)
4/05/2022	6.00	0.05	0.03
5/05/2022	6.63	0.04	0.31
6/05/2022	6.73	0.06	0.39
7/05/2022	6.73	0.06	0.41
8/05/2022	7.50	0.06	0.51
9/05/2022	5.83	0.04	0.25
10/05/2022	6.33	0.04	0.23
11/05/2022	7.60	0.06	0.56
12/05/2022	7.73	0.07	0.67
13/05/2022	6.50	0.04	0.30
14/05/2022	6.70	0.05	0.34
15/05/2022	7.77	0.06	0.49
16/05/2022	5.97	0.03	0.21
17/05/2022	6.77	0.04	0.33
18/05/2022	7.50	0.05	0.39

En la Figura 4, se presentan los resultados para las variables voltaje y corriente, en un periodo de medición de 15 días, lo que deja muestra que con la radiación solar el panel genera un voltaje 7.76 V y una corriendo de 0.07 A, la cual se almacena en el banco de batería que opera a 12 V y con corriente de 7.5 Ah, indicando que el funcionamiento del panel solar bajo condiciones reales de radiación y temperatura, permiten el almacenamiento de energía para ser utilizada en el reflector de iluminación de espacios públicos.

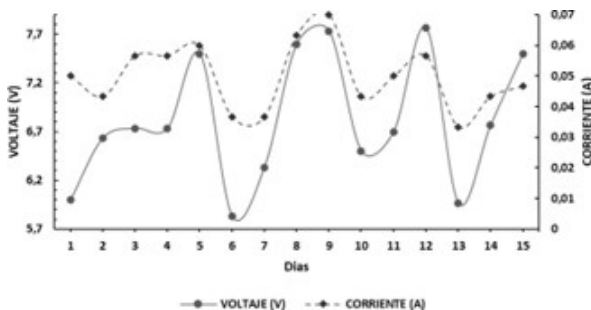


Figura 4. Curva de Voltaje-Corriente del módulo solar con radiación y temperatura no estándar

En relación con la curva Corriente-Potencia en la

Figura 5, se muestra, que dado a la irradiancia solar a la que se encuentra expuesto el panel solar, se presenta una variación en cuanto a el voltaje de generación, con variación entre 5.8 y 7.7 V lo que permite generar una potencia máxima de 0.61 W en relación con el voltaje, lo cual es almacenado en el banco de batería para su posterior uso en el reflector según Tabla 3.

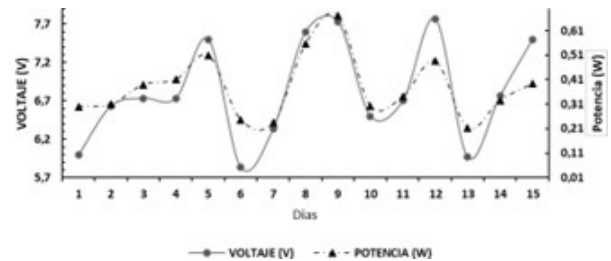


Figura 5. Curva de Voltaje-Potencia del módulo solar con radiación y temperatura no estándar

A partir de la Figura 6, se puede analizar que, con la corriente generada por el panel solar, se genera una potencia con capacidad de 146 W aproximadamente al día, con lo cual se logra iluminar alrededor de 7 horas con el reflector durante horas nocturnas.

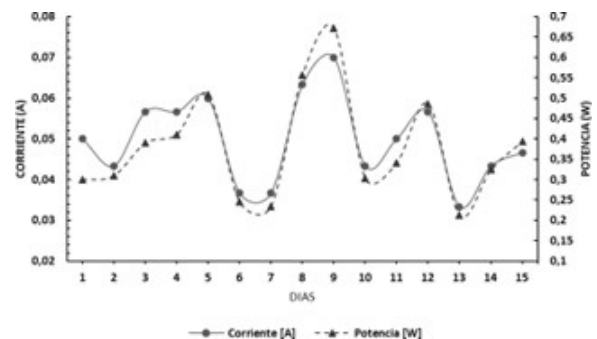


Figura 6. Curva de Corriente-Potencia del módulo solar con radiación y temperatura no estándar

En cuanto al comportamiento de la potencia, con respecto al voltaje y la corriente, se observan patrones similares, dado que la potencia aprovechada de la radiación solar presente en el medio y la eficiencia del panel; muestran que a mayor radiación solar mayor voltaje y corriente, aprovechando casi 15% de la radiación que ofrece el medio, lo cual genera una corriente con la capacidad de ser empleada para la iluminación de espacios públicos, caminos y carreteras.

En cuanto a la incidencia de la radiación solar sobre el funcionamiento del panel solar, se muestra que a mayor radiación solar mayor voltaje y corriente ver Figura 4, demostrando así, que con el aprovechamiento del recurso solar en el departamento del Chocó (3.13 kW/m²), se genera corriente adecuada para el funcionamiento de sistemas de iluminación autónomos con capacidad de ser empleada para la iluminación de espacios públicos, lo que contribuye a la disminución de

los costos asociados al pago de facturas eléctricas y por su parte, favorece el aprovechamiento de los recursos naturales de tipo renovables.

En relación con el diseño y puesta en marcha del prototipo de lámpara de iluminación, en la Figura 7, se muestra el emplazamiento del prototipo en la estructura de la Universidad, donde se observa el reflector de la lámpara encendido dado que el fotorresistor está percibiendo una baja intensidad solar.



Figura 7. Prototipo de lámpara solar instalado en espacio público de la UniClaretiana

La Figura 8, detalla la cantidad de valores de (0-apagado y 1 encendido), datos proporcionados por la plataforma ubidots, a partir de los 15 días de prueba dejando como resultado un 80% de funcionamiento con respecto al tiempo de operación. La exposición de la fotorresistencia al espectro de luz visible muestra una longitud de onda para OFF (apagado) desde 0.2 hasta 0.5 donde se presentan valores acumulados de 7000 Ω , lo que hace que la lámpara se mantenga apagada. Por encima del valor de longitud 0.5 la fotorresistencia presenta valores inferiores a 1000 Ω lo que hace que se indique 0.1 para encendido de la lámpara mostrando valores entre 40000 Ω y 90000 Ω .

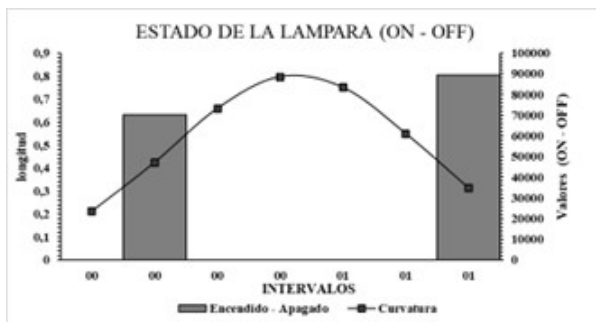


Figura 8. Curva de variación de encendido y apagado de lámpara

IV. Conclusiones

Con el desarrollo de la investigación se logra la implementación de un prototipo de lámpara de iluminación para espacios públicos alimentado por energía solar fotovoltaica, donde a partir de la evaluación del potencial solar (Radiación solar promedio de 3.13 kW/m²) y temperatura promedio de 25°C, se puso en marcha el funcionamiento del prototipo, el cual dejó como resultado 7 horas promedio de funcionamiento diario lo que brinda oportunidad para la disminución del gasto en facturas de energía eléctrica, aprovechamiento de los recursos naturales renovables y cuidado del medio ambiente. Para el monitoreo y puesta en marcha del prototipo de lámpara de iluminación se empleó la plataforma ubidots, la cual requirió de la tecnología IoT como interfaz de comunicación entre el prototipo y el entorno virtual para el monitoreo en tiempo real de las variables de generación de energía y por su parte el estado actual del reflector, la cual permitió la generación de las curvas de voltaje, corriente y potencia.

Finalmente, se afirma que el prototipo desarrollado presenta condiciones adecuadas para ser tenido en cuenta como alternativa de reemplazo de lámpara de iluminación de espacios públicos en la ciudad de Quibdó, puesto que dado a las condiciones climáticas es favorable su aprovechamiento, brinda oportunidades de reducción económicas y cuidado del medio ambiente.

Trabajos futuros

La investigación puede continuar de dar el paso de prototipo a implementación, por tanto, se espera continuar con el desarrollo de una plataforma integral de monitoreo en tiempo real para un grupo de lámparas de alumbrado público en la ciudad de Quibdó.

Otra alternativa de investigación que se espera seguir en el tiempo es el desarrollo de un sensor integrado de ubicación de lámparas de alumbrado para el seguimiento y monitoreo de apagado y encendido, buscando mejorar los tiempos de respuestas ante daños o fallas de estas.

VI. Agradecimientos

Los autores reconocen la contribución del Grupo de Investigación en Energía y Meteorología de la Universidad Tecnológica del Chocó, quienes suministraron sus bases de datos de medición de radiación y temperatura. De igual manera se agradece a la Fundación Universitaria Claretiana, la cual nos permitió realizar las pruebas del prototipo en sus instalaciones.

Referencias

- [1] X. Jiang, "Innovation to brisbane city council street lighting system with solar powered LED: A

- techno-economic feasibility study,” en *2016 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, 2016, págs. 1-6. DOI: 10.1109/aupec.2016.7749376.
- [2] M. Saifuzzaman, N. N. Moon y F. N. Nur, “IoT based street lighting and traffic management system,” en *2017 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*, 2017, págs. 121-124. DOI: 10.1109/R10-TC.2017.8288921.
- [3] J. T. Kim y T. Hwang, “Feasibility study on LED street lighting with smart dimming systems in wooi stream, Seoul,” *J. Asian archit. build. eng.*, vol. 16, n.º 2, págs. 425-430, DOI: 10.3130/jaabe.16.425.
- [4] M. C. V. S. Mary, G. P. Devaraj, T. A. Theepak, D. J. Pushparaj y J. M. Esther, “Intelligent energy efficient streetlight controlling system based on IoT for smart city,” en *2018 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, 2018, págs. 551-554.
- [5] F. Cugurullo, “The origin of the Smart City imaginary: from the dawn of modernity to the eclipse of reason,” *The Routledge Companion to Urban Imaginaries*, págs. 113-124, 2018. DOI: 10.1177/0042098018797501.
- [6] K. S. Murthy, P. Herur, B. R. Adithya y H. Lokesh, “IoT-based light intensity controller,” en *2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, 2018, págs. 455-460. DOI: 10.1109/ICIRCA.2018.8597416.
- [7] S. Carnevale Yonzo y M. Grassi Bonci, “Telegestión de Luminarias,” 2018. <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/3468/Telegestion%20Luminarias%20LED%20-%20CarnevaleGrassi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [8] R. Matos, P. S. Paulo, R. Ribeiro, J. Oliveira Nunes y P. Valverde, “Smart led lighting systems implementation in Lisbon metropolitan area,” en *CIREC Workshop 2016*, 2016, págs. 1-4. DOI: 10.1049/cp.2016.0623.
- [9] B. Abinaya, S. Gurupriya y M. Pooja, “Iluminación inteligente y adaptativa basada en Iot en el alumbrado público,” en *2.a Conferencia internacional sobre tecnologías informáticas y de comunicaciones (ICCCT) de 2017*, 2017, págs. 195-198. DOI: 10.1109/ICCCT2.2017.7972267.
- [10] T. S. Perry, “San Diego’s streetlights get smart,” *IEEE Spectr*, vol. 55, n.º 1, págs. 30-31, 2018. DOI: 10.1109/MSPEC.2018.8241729.
- [11] E. Y. P. Gonzalez, “Diseño de Prototipo Funcional de Alumbrado Público Basado En Tecnologías IoT Para La Ciudad De Bucaramanga,” Edu.co, 2020 [Online]. Available: <https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12272/3468/Telegestion%20Luminarias%20LED%20-%20CarnevaleGrassi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [12] R. Pinto y J. Antonio, “Proyecto piloto de telegestión del servicio de alumbrado público de la ciudad de Bucaramanga / Pilot remote management of public lighting of the city of Bucaramanga,” 2010 [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/25986989_9_Sistemas_Inteligentes_de_Iluminacion_Publica, 2010.
- [13] E. Duque, A. Isaza, P. Ortiz, S. Chica, A. Lujan y J. Molina, “Urban sets innovation: Design of a solar tree PV system for charging mobile devices in Medellín – Colombia,” en *2017 IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 2017, págs. 495-498. DOI: 10.1109/ICRERA.2017.8191109.
- [14] O. Rudrawar, S. Daga, J. R. Chadha y P. S. Kulkarni, “Smart Street lighting system with light intensity control using power electronics,” en *2018 Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP)*, 2018, págs. 1-5. DOI: 10.1088/1742-6596/1973/1/012112.
- [15] Gartne, “Tendencias en iluminación, LED y alumbrado,” 2018 [Online]. Available: <https://www.lighting.philips.es/soporte/contacto/tendencias-en-iluminacion.section>. [Last access: 21-09-2022].