



Sistema móvil de medición inteligente de luminancia basado en IoT

IoT-based mobile smart luminance measurement system



Carlos Guerrero Granda¹,
Javier Cabrera Mejía²

¹ Laboratorio de Simulación en Tiempo Real CIITT

² Universidad Católica de Cuenca

carlos.guerrero@ucacue.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.26871/killkanatecnica.v7i1.1467>



Resumen

En los últimos años muchas investigaciones sobre iluminación en carreteras se han llevado a cabo evidenciando la falta de una plataforma que posibilite la visualización de datos y el libre acceso a los mismos. Debido a lo anteriormente expuesto, se tomó la decisión de construir un dispositivo móvil para el monitoreo de luminancia en carreteras del cantón Cuenca usando una arquitectura IoT. La propuesta se basa en el método experimental de campo basado en la norma INEN 069 Alumbrado público, misma que contempla dos fases, la primera es inductivo – deductivo, con una revisión del estado de la técnica y del arte, seguido del método analítico - sintético, mismo que, a través de la toma de datos cuantitativos de luminancia mientras el vehículo está en movimiento, las mediciones serán geolocalizadas a través de un GPS Neo 6-M. La propuesta técnica nos permite recabar datos dinámicos y en tiempo real de la luminancia, con un margen de error inferior al 15%, como resultado es posible realizar una evaluación inicial del estado de la iluminación sin intervención de personal humano del alumbrado público a lo largo de las carreteras y disponer un acceso a la data a través de un portal web.

Palabras clave: *Polución, Medición, Luminancia, IoT, Movilidad*

Abstract

In recent years, many research studies on road lighting have highlighted the lack of a platform that enables data visualization and open access to such data. Due to the aforementioned issue, we have made the decision to build a mobile device for monitoring luminance on the roads of Cuenca, using an IoT architecture. The proposal is based on the experimental field method according to the INEN 069 Public Lighting standard, which includes two stages. The first one is inductive-deductive, involving a review of the state of the art and technology, followed by the analytical-synthetic method. Through the collection of quantitative luminance data while the vehicle is in motion, the measurements are geolocated using a Neo 6-M GPS. The technical proposal allows us to collect dynamic and real-time luminance data with an error margin of less than 15%. As a result, an initial evaluation of the lighting condition can be conducted without the need for human intervention from the public lighting department along the roads and providing data access through a website.

Keywords: *Pollution, Measure, Luminance, IoT, Mobility*

Introducción

La iluminación artificial ha desempeñado un papel importante en el crecimiento de las ciudades, las luminarias han sufrido varios cambios tecnológicos, pero a la par las mismas deben cumplir con estándares para ofrecer una gran eficiencia energética y óptica. La principal tarea de las luminarias públicas es brindar las condiciones necesarias para que los diversos actores de la misma se sientan seguros y puedan realizar actividades nocturnas de manera cómoda. En la actualidad en la ciudad de Cuenca no se cuenta con estudios detallados de la situación de las luminarias en las diferentes calles de la ciudad. En 2014 en [18] se llevó a cabo un estudio obteniendo resultados de luminancia de zonas de la ciudad encontrando que estaban fuera de los rangos recomendados.

Mantener los niveles de calidad de servicio puede ser una tarea muy compleja y puede llegar a tomar demasiado tiempo debido a la gran cantidad de luminarias que están instaladas en la ciudad, los niveles de iluminación excesivos producen una gran cantidad de reflexión en la calzada u objetos cercanos fomentando la contaminación lumínica, siendo objeto de estudio debido a efectos negativos que esta produce, en contraparte una deficiente iluminación limita el alcance o visibilidad sobre la calzada.

El número de accidentes de tránsito relacionados a la falta de correcta iluminación representa un porcentaje inferior al 1%, según un estudio realizado en la ciudad de Loja [17]. En [29] se ha demostrado que los niveles adecuados de las luminarias pueden prevenir accidentes de tráfico, pero se evidencio además un efecto adverso debido a que los conductores se sienten más seguros en la vía resultando en un aumento de velocidad y reducción de la concentración.

El uso de luz artificial ha traído efectos negativos a

nivel mundial, se evidencia su impacto en animales causando desorientación, mortalidad (insectos), insomnio [1], [7], [16]. Además, la exposición a fuentes artificiales de luz produce importantes cambios en los seres humanos, un ejemplo de ello son los daños en la retina o bajo niveles de melatonina modificando el ritmo circadiano [15], [19].

Es importante también vigilar el consumo eléctrico que se produce al iluminar una área, el mismo aumenta si la disposición de las luminarias no son las correctas [8], [9], [23]. Diversos estudios muestran que existen ahorros superiores al 30% realizando el cambio de tecnología de sodio de alta presión (HPS) a diodo emisor de luz (LED), esta última provee muchas ventajas debido a su bajo consumo energético y a la facilidad de realizar variaciones en la intensidad lumínica [14], [31].

Existen dos parámetros que son usados para cuantificar la luz en un espacio, la luminancia y la iluminancia, la primera se define como la medición de la cantidad de luz emitida, que pasa o es reflejada por una superficie esta indica la intensidad luminosa que es percibida por el ojo humano. El segundo término describe la cantidad de luz que recae sobre una superficie [6], [32]

La realización técnica de este trabajo está fundamentada en la norma RTE INEN 069 de Alumbrado Público emitida por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) como reglamento ecuatoriano de alumbrado público, misma que incorpora aspectos normativos relevantes con la finalidad de satisfacer las necesidades técnicas y condiciones básicas de iluminación de carreteras en zonas urbanas o rurales, con el fin de garantizar la integridad de las personas [21], [24].

La normativa ecuatoriana se fundamenta en las regulaciones emitidas por la Comisión Interna-

cional de la Iluminación (CIE), esta organización es la encargada de emitir las normativas de iluminación y color a nivel mundial, específicamente se basa en la norma CIE 140-2000 Road Lighting calculations [3], la cual incluye el cálculo de iluminancia, luminancia y metodología para realizar las mediciones de la mismas a través de una grilla de puntos sobre la calzada.

La metodología propuesta por la CIE consiste en seleccionar una calzada, donde sea necesario realizar una medición para proponer una mejora tecnológica o verificar si las condiciones de iluminación son las correctas, la zona debe estar delimitada por dos luminarias consecutivas y de acuerdo a las dimensiones de la carretera formar una grilla para realizar las mediciones, como se aprecia en la Figura 1.

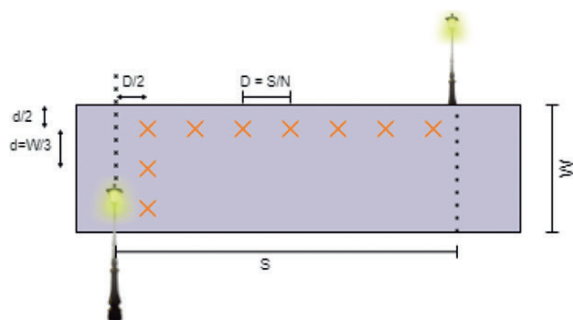


Figura 1. Método de medición de luminancia
Fuente: CIE 140-2000,2000 [3]

La normativa CIE 140-2000 detalla que el espaciado de los puntos debe de hacerse de acuerdo a las características longitudinales de la carretera, para ello se aplicara la ecuación (1):

$$D = \frac{S}{N} \tag{1}$$

Donde D es la distancia en metros entre los puntos como se aprecia en la Figura 1, S el espacio entre las luminarias y N el número de puntos a calcular, donde si $S \leq 30$ se debe establecer el valor de N en 10; si $S > 30$ se debe establecer el valor de $D \leq 3$ metros. La normativa establece una separación transversal calculada por la ecuación 2:

$$d = W/3 \tag{2}$$

Donde W es el ancho de la carretera en metros, para las ubicaciones iniciales de la grilla la normativa señala que la primera fila a lo largo y ancho deberá estar a una distancia de $d/2$ como se puede apreciar en la Figura 1. Las mediciones deben hacerse a 60m de los puntos marcados y no deben influir ninguna otra fuente de luz que no sean de las luminarias escogidas, además de realizar las mediciones siempre y cuando no hubiera existido presencia de lluvia antes y durante las mediciones.

En la Tabla 1 se muestra los valores de luminancia que se debe tener de acuerdo al tipo de vía.

Tabla 1. Tabla de condiciones mínima de luminancia de acuerdo al tipo de vía.

Tipo de iluminación	Condición vía	Luminancia promedio mínima (cd/m^2)
M1	Una calzada vehicular de 12m por lado; tres carriles de 4m cada uno, separados por un parterre central.	≥ 2.0
M2	Una calzada vehicular de 8m por lado; dos carriles de 4m cada uno, separados por un parterre central.	≥ 1.5
M3	Una calzada vehicular de 8m de ancho; dos carriles de 4m cada uno.	≥ 1.2
M4	Una calzada vehicular de 7m por lado; dos carriles de 3.5m cada uno.	≥ 0.8
M5 y M6	Calzada vehicular de 4m de ancho	≥ 0.6

Fuente. CIE 115-2010 [2]

El dispositivo usado para el sistema móvil es un fotómetro SQM-LU de Unihedron, este dispositivo es frecuentemente usado en mediciones de contaminación lumínica, mide la luminancia en magnitud sobre arco segundo al cuadrado ($mag/arcsec^2$) en donde mientras más alta sea representará menos iluminación, el dispositivo tiene un campo de visión de 20° [26], [27]. Las unidades de medición que nos ofrece el SQM ($mag/arcsec^2$) es ampliamente usada en estudios de contaminación lumínica; pero se utilizara la unidad candela sobre metro cuadrado (cd/m^2) para describir el estado de la iluminación pública. Para realizar la transformación se utilizó la formula descrita continuación [28]:

$$valor\ en\ [cd/m^2] = 10.8 \cdot 10^4 \cdot 10^{(-0.4 \cdot valor\ en\ mag/arcsec^2)}$$

Diversos estudios han sido llevados a cabo, en [30] se utilizó el SQM-LU para obtener datos de el brillo del cielo nocturno en la ciudad de Bajar, para la implementación se usó un Raspberry Pi [20] y la librería PySQM para leer la información provista por el sensor. En [5] se implementó un sistema automático medición de brillo nocturno usando diferentes dispositivos entre ellos el SQM-LU en la ciudad de Torun usando LoRaWan como solución para el envío de datos.

Soluciones móviles también han sido planteadas en [22] los autores utilizaron el SQM-LU instalado sobre un vehículo para tomar mediciones del brillo nocturno de carretera en Madrid, en [4] se determinó la iluminancia en carreteras usando un vehículo con sensores fotométricos adaptados con el fin de medir iluminancia para la geolocalización usaron un GPS RTK para tener una precisión de cm.

Los datos obtenidos a través del monitoreo de los diferentes estudios anteriormente mencionados no se pueden visualizar a través de alguna plataforma, este inconveniente se puede superar gracias a una arquitectura IoT la cual se encarga de la recopilación análisis y visualización de la información. Los dispositivos IoT son un conjunto de hardware y software que enviados datos a través de un red, actualmente no existe un estándar predefinido para los componentes que lo componen pero han identificado las capas esenciales [10]–[13]:

Capa de Percepción/Sensores: es la responsable de recolectar los datos del mundo físico a través de los diferentes sensores los cuales se eligen de acuerdo a los requerimientos de la aplicación.

Capa de Almacenamiento: es la encargada de realizar la limpieza y almacenamiento de datos los cuales pueden ser de manera local en un servidor o en la nube, esta capa se encarga de convertir los datos en datos estructurados típicamente en un base de datos relacional (SQL).

Capa de Análisis y Visualización: el objetivo de esta capa es analizar los datos y permitir la visualización de los mismos a través de diferentes herramientas como Power BI, R, Tableau etc.

Capa de Negocio: se integra con aplicaciones de negocio, se encarga del control de los modelos de negocio y las transacciones asociadas con los dispositivos.

Metodología

La investigación se basa en un método experimental, de campo y analítico. El sistema de medición de polución lumínica móvil propuesto, utiliza como configuración a tres SQM en línea separados a 1,2m cada uno, los mismos se colocan de manera perpendicular al soporte del vehículo. El soporte se encuentra a una distancia de 1.8m sobre el nivel del suelo para evitar sombras de otros vehículos o persona que afecten la medición, cabe indicar que esta altura es la del vehículo de pruebas. Para realizar la georreferenciación de cada una de la medición se utiliza un GPS de bajo costo NEO 6-M el cual nos ofrece una precisión de 2.5m en horizontal y 1 m/s en velocidad.

Resultados y discusión

El sistema propuesto se basa en una ventana de tiempo, el muestreo de los datos se realiza cada segundo manteniendo una velocidad constante de 10 km/h. Con esta velocidad se obtuvo un desplazamiento de muestreo menor a 3m, cumpliendo con la normativa de la CIE (Figura 2) la cual establece que si la distancia entre luminarias es mayor a 30m D debe ser menor a 3m,

cabe destacar además que el muestreo se lo ha realizado cada segundo, debido a las limitaciones técnicas del instrumento de medición.

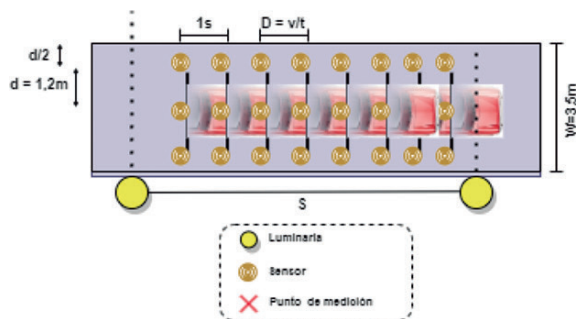


Figura 2. Método de medición de luminancia implementado.

Fuente: Autor, 2023

Para evitar medidas fuera de tiempo y tener una correcta correlación de las medidas de los sensores y su ubicación geográfica, se usa multitarea para la toma de datos en simultáneo. Todos los dispositivos antes mencionados tienen una interfaz de comunicación serial, con la cual se pudo realizar la integración con un computador de bolsillo Raspberry Pi a través de un script programado en Python.

Para enviar la información, se ha elegido a la red de telefonía móvil como la mejor tecnología para este proyecto debido a su amplia cobertura y a su velocidad de transmisión de datos. Para evitar un alto consumo energético la mayor cantidad de datos posibles se almacenan en la memoria interna del dispositivo, el monitoreo de la velocidad de desplazamiento del vehículo se realiza constantemente, solo cuando el vehículo este parado se realiza el envío de datos.

El manejo de los datos es importante debido a que su correcto trato evitara errores en la plataforma de almacenamiento, debido a que no es necesario una estructura de datos relacional para este estudio se implementó una base de datos no relaciona usando Mongo Atlas.

Para el tratamiento y visualización de datos se

utiliza R para el tratamiento de los datos, además, la librería Shiny como plataforma de visualización la cual nos permite crear un contenido web interactivo de manera sencilla (Figura 3) [25].

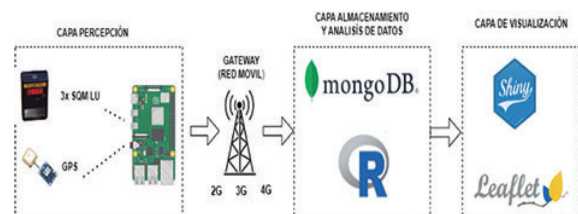


Figura 3. Arquitectura IoT sistema móvil implementado.

Fuente: Autor, 2023

La plataforma móvil de medición se instaló en el vehículo eléctrico perteneciente al laboratorio de Simulación en Tiempo Real del Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT); es importante recalcar que, la normativa menciona que la medición debe hacerse a nivel del piso. Para encontrar la correlación entre las medidas se procedió a realizar el procedimiento de manera manual. El mismo se realizó en la calle C Eloy Monje clasificada como tipo M4, se eligió dos postes y se procedió con una medida en campo, los mismos tienen una separación de 39m, cabe destacar que la medición se lo realizó en el lado de la vía donde se encontraba la luminaria; para todo el estudio no se consideró los dos carriles debido a las limitaciones de precisión del GPS en la cual no es posible obtener una grilla de puntos uniforme.



Figura 4. Método de medición de luminancia implementado

Fuente: Autor, 2023

Aplicando la normativa se debe cumplir con $N < 3m$; para esta medición se eligió $N=15$, lo que nos da una separación de 2.6m aproximadamente:

$$D=S/N = 39/15 = 2.6m$$

Obteniendo la siguiente tabla de mediciones:

Tabla 1. Resultados de mediciones de luminancia con el método fijo [cd/m²]

	(Izquierdo)	(Central)	(Derecho)
1	0.44	0.31	0.88
2	0.24	0.21	0.30
3	0.24	0.21	0.30
4	0.14	0.15	0.17
5	0.10	0.10	0.12
6	0.09	0.09	0.10
7	0.09	0.09	0.10
8	0.09	0.08	0.09
9	0.08	0.08	0.10
10	0.08	0.09	0.11
11	0.10	0.17	0.14
12	0.14	0.31	0.13
13	0.32	3.92	0.24
14	0.33	0.32	0.29
15	0.41	0.36	0.31

Fuente: Autor, 2023

El valor medio de luminancia es de: 0.2831 cd/m², en las siguientes tablas se detalla las mediciones con la plataforma móvil:

Tabla 2. Resultados de mediciones #1 de luminancia con el método móvil [cd/m²]

	Izquierdo	Central	Derecho
1	0.15	1.84	0.20
2	0.06	0.06	0.08
3	0.06	0.06	0.06
4	0.05	0.06	0.06
5	0.05	0.06	0.06
6	0.06	0.07	0.07
7	0.08	0.12	0.08
8	0.19	0.38	0.11
9	0.29	0.09	0.23
10	0.27	1.89	0.21
11	0.27	1.89	0.21

Fuente: Autor, 2023

Tabla 3. Resultados de mediciones #2 de luminancia con el método móvil [cd/m²]

	Izquierdo	Central	Derecho
1	0.05	0.05	0.10
2	0.04	0.05	0.09
3	0.05	0.05	0.06
4	0.05	0.06	0.05
5	0.06	0.07	0.06
6	0.08	0.20	0.07
7	0.12	0.16	0.08
8	0.23	0.16	0.11
9	0.20	1.25	0.23
10	0.20	1.25	0.19
11	0.45	0.38	0.71

Fuente: Autor, 2023

El valor medio se aproxima a 0.23 cd/m², calculando el valor de ajuste entre los dos tipos de mediciones (fijo y móvil) alcanza un valor de 15% aproximadamente, por esta causa se procede a actualizar el valor de las mediciones para cumplir con esta desviación en la plataforma web. Se aplica el método de la d de cohen para encontrar la diferencia de medias, lo cual nos da los siguientes valores mostrados en la Tabla 4:

Tabla 4. Mediciones de tamaño de efecto.

Grupos		d de Cohen
medición movil-1	medición movil-2	0.3678
medición móvil promedio	medición manual promedio	0.1354

Fuente: Autor, 2023

De igual manera la Figura 5 muestra la serie de tiempo del valor promedio de las mediciones llevadas a cabo con la plataforma móvil.

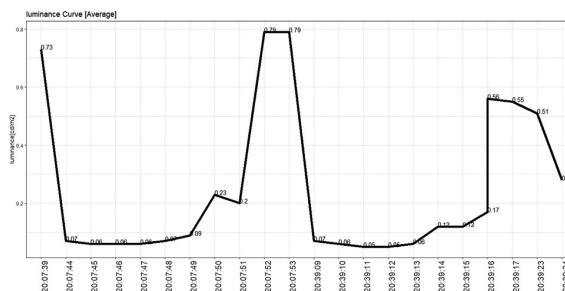


Figura 5. Series de tiempo de las mediciones con la plataforma móvil. Fuente: Autor, 2023

Como era de esperarse en la Figura 5 se aprecia un crecimiento de las mediciones a medida que se aproxima a la luminaria; para ambas mediciones móviles la tendencia es la misma, correlacionándose con las mediciones manuales realizadas, para el cálculo de la luminancia se utilizó el promedio debido a que así lo detalla la normativa propuesta por la CIE, pero a través de la gráfica implementada se puede evidenciar como cambian los valores de luminancia con la distancia ($1s = 2.7m$) pudiendo analizar en detalle el cambio de la luminancia a lo largo de la carretera.

Al implementar un sistema de datos en tiempo real, un operador puede monitorear remotamente los datos recabados y en caso de encontrar anomalías reportarlos a los operarios para proceder en ese momento con la reparación reduciendo costos de operación y tiempos de reacción que elevaran la satisfacción de la población acerca

de la iluminación en su sector.

Con el fin de reducir la pérdida de datos que podrían darse debido a que el vehículo se encuentre en una zona de mala cobertura se integró en el dispositivo una función que almacena los datos del mismo en caso de no tener cobertura de la red móvil.

Los datos de las mediciones recabadas muestran una desviación de alrededor del 15%, entre las mediciones a nivel de piso y a la de la altura del vehículo, el tamaño de efecto calculado para los valores promedio son muy pequeños es decir no existe una diferencia significativa entre las dos mediciones llevadas a cabo, presentándose un error del 3,36%. En la plataforma web strlab.shinyapps.io/luminanceMonitor/ (Figura 6) se coloca el valor de la desviación como factor de corrección, pudiendo inclusive apreciar que la línea tranviaria resalta sobre las demás carreteras de la ciudad.

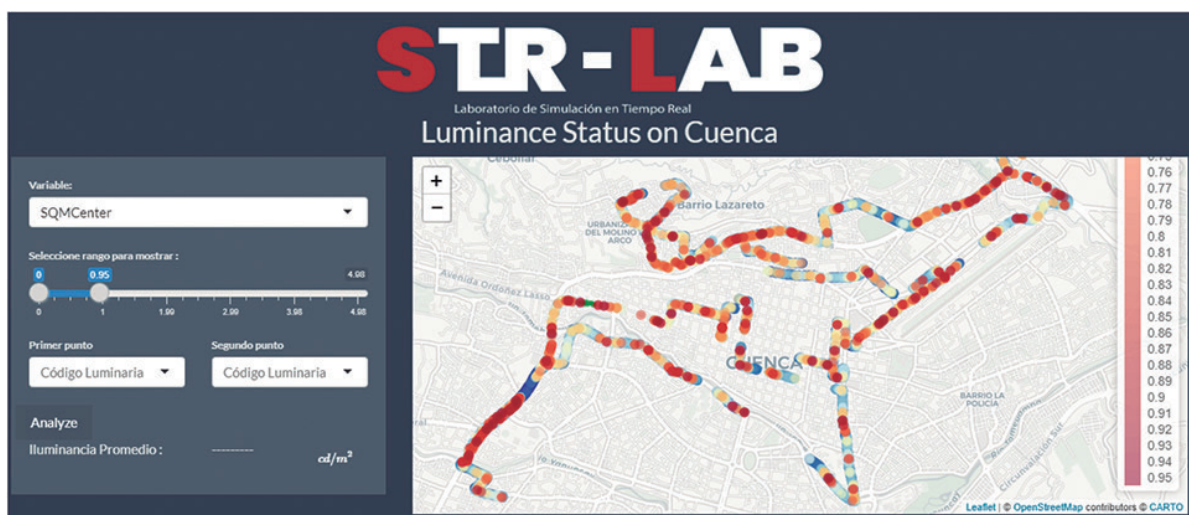


Figura 6. Plataforma de visualización
Fuente: Autor, 2023

Conclusión

Este estudio demostró que es posible calcular la luminancia a nivel de carreteras con dispositivos

IoT, las mediciones se realizaron con un fotómetro de bajo costo ampliamente usado en el ámbito científico además la visualización de los datos se la realiza a través de una página web creada a partir de los datos medidos, la misma es diná-

mica y permite mostrar de una manera sencilla los valores de luminancia en las diferentes vías de la ciudad.

La plataforma móvil permite de manera sencilla y rápida estimar la luminancia de una carretera para analizar si cumple con los niveles adecuados y determinar si las condiciones son las correctas. Se puede comprobar de manera visual que muchas carreteras no cumplen con valor mínimo establecido en las normativas, pero aparte de las deficiencias lumínicas puede deberse a la presencia de obstáculos ejemplo de ello es la presencia de árboles que no han sido podados, esto podría suponer un riesgo para los conductores y transeúntes que evitarían pasar por esas zonas. Como se detalló anteriormente si bien el método de medición se aplicó solo a un lado de la calzada, el mismo no afecta la efectividad del estudio debido a que la normativa establece el valor medio de las mediciones realizadas.

El tiempo de muestreo de 1s que nos ofrece el fotómetro SQM es muy alto lo que imposibilita la adquisición de más medidas, otra limitación se dio en la precisión demasiado baja del GPS, se puede tener una mayor precisión de georreferencia incorporando un RTK. Para la medición se necesita que la velocidad sea constante (10m/s) pero en la práctica resulto muy difícil debido a la existencia de obstáculos en la vía como vehículos en movimiento o estacionados que generan sombras, reflexión de la luz y turbulencias en el lugar de instalación de los sensores modificando los resultados.

Trabajos futuros deben centrarse en mejorar la precisión de los sensores, obtener una referencia geográfica a nivel de centímetros con el final de recabar más información que permita tener datos más precisos de las condiciones de iluminación de las carreteras.

Referencias

- [1] “A Brief Overview on Light Pollution,” M. I. Azman, M. N. Dalimin, M. Mohamed, and M. F. Abu Bakar, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 269, no. 1, p. 012014, Jul. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/269/1/012014.
- [2] “CIE 115-2010 Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic,” CIE, 2010.
- [3] “CIE 140-2000 Road Lighting Calculations,” CIE, 2000.
- [4] “Construction of a Measurement System with GPS RTK for Operational Control of Street Lighting,” P. Jaskowski, P. Tomczuk, and M. Chrzanowicz, *Energies* 2022, Vol. 15, Page 9106, vol. 15, no. 23, p. 9106, Dec. 2022, doi: 10.3390/EN15239106.
- [5] “Device for automatic measurement of light pollution of the night sky,” D. Karpińska and M. Kunz, *Sci. Reports* 2022 121, vol. 12, no. 1, pp. 1–12, Oct. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-20624-7.
- [6] “Illuminance: Definition,” T. Eppig, *Encycl. Ophthalmol.*, pp. 921–921, 2018, doi: 10.1007/978-3-540-69000-9_629.
- [7] “Influence of Illuminance on Sleep Onset Latency in IoT Based Lighting System Environment BT - Bioinformatics and Biomedical Engineering,” M. Jurić, M. Gaiduk, and R. Seepold, I. Rojas, O. Valenzuela, F. Rojas, and F. Ortuño, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 429–438.
- [8] “Intelligent control and reduce energy consumption of smart street lighting system,” Y. Mouaadh, B. Bousmaha, and R. Mohamed, *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*,

- vol. 13, no. 4, pp. 1966–1974, 2022, doi: 10.11591/ijpeds.v13.i4.pp1966-1974.
- [9] “Intelligent street lighting in a smart city concepts—a direction to energy saving in cities: An overview and case study,” K. H. Bachanek, B. Tundys, T. Wiśniewski, E. Puzio, and A. Maroušková, *Energies*, vol. 14, no. 11, 2021, doi: 10.3390/en14113018.
- [10] “Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications,” P. Sethi and S. R. Sarangi, *J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/9324035.
- [11] “Internet of Things (IoT): Research, Architectures and Applications,” M. Mahato, 2018.
- [12] “IoT-Enabled Smart Cities: A Review of Concepts, Frameworks and Key Technologies,” R. Sánchez-Corcuera et al., *Appl. Sci.* 2022, Vol. 12, Page 1607, vol. 12, no. 3, p. 1607, Feb. 2022, doi: 10.3390/AP12031607.
- [13] “IoT Solution for Smart Cities’ Pollution Monitoring and the Security Challenges,” C. Toma, A. Alexandru, M. Popa, and A. Zamfiroiu, *Sensors (Basel)*, vol. 19, no. 15, Aug. 2019, doi: 10.3390/S19153401.
- [14] “LED (Light-Emitting Diode) road lighting in practice: An evaluation of compliance with regulations and improvements for further energy savings,” A. K. Jägerbrand, *Energies*, vol. 9, no. 5, 2016, doi: 10.3390/en9050357.
- [15] “Light pollution: the possible consequences of excessive illumination on retina,” M. A. Contín, M. M. Benedetto, M. L. Quinteros-Quintana, and M. E. Guido, *Eye*, vol. 30, no. 2, pp. 255–263, 2016, doi: 10.1038/eye.2015.221.
- [16] “Light Pollution and Its Effect on the Environment,” F. Bashiri, Fereshteh Bashiri, C. Rosmani, and C. Hassan, *Fundam. Journals Int. J. Fundam. Phys. Sci. IJFPS*, vol. 4, no. 1, pp. 8–12, 2014, doi: 10.14331/ijfps.2013.330061.
- [17] “Método aplicado en la disminución de accidentes de tránsito en el cantón Loja,” W. Jaramillo Sangurima and V. A. Muñoz Sotomayor, *INNOVA Res. J.*, vol. 2, no. 5, pp. 1–13, May 2017, doi: 10.33890/INNOVA.V2.N5.2017.150.
- [18] “Metodología para evaluar la polución lumínica causada por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca,” R. M. Q. A., M. V. G. L., J. L. E. A., and G. S. P. G., *Maskana*, vol. 5, 2014.
- [19] “Nighttime dim light exposure alters the responses of the circadian system,” D. Shuboni and L. Yan, *Neuroscience*, vol. 170, no. 4, pp. 1172–1178, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2010.08.009>.
- [20] “Raspberry Pi,” Raspberry Pi Foundation. <https://www.raspberrypi.com/> (accessed Mar. 31, 2023).
- [21] “REGULACIÓN No. CONELEC 008/11,” CONELEC, QUITO.
- [22] “Report of the 2014 LoNNe Intercomparison Campaign,” P. Pescatori, G. W. Salvador J. Ribas, Alejandro Sánchez de Miguel Philipp Staubmann, Carlos Tapia Ayuga, and J. Zamorano, 2015.
- [23] “Road lighting energy reduction: From HPS to LEDs - A case study of uganda street, Addis Ababa, Ethiopia,” J. K. Ndaaru, P. M. Moses, and C. W. Wabuge, in *2021 IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2021*, 2021. doi: 10.1109/PowerAfrica

- ca52236.2021.9543238.
- [24] “RTE INEN 069 (1R) ‘ALUMBRADO PÚBLICO,’” INEN, QUITO, ECUADOR, 2016.
- [25] “Shiny: web application framework for R,” W. Chang et al. R package version, 2021.
- [26] “Sky Quality Meter-L,” Unihedron. <http://unihedron.com/projects/sqm-l/> (accessed Mar. 31, 2023).
- [27] “Sky quality meter measurements in a colour-changing world,” A. S. de Miguel, M. Aubé, J. Zamorano, M. Kocifaj, J. Roby, and C. Tapia, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 467, no. 3, 2017, doi: 10.1093/mnras/stx145.
- [28] “Sky Quality Meter Units Conversion,” Unihedron. <http://unihedron.com/projects/darksky/magconv.php> (accessed Mar. 31, 2023).
- [29] “Street lighting for preventing road traffic injuries,” F. R. Beyer and K. Ker, *Cochrane Database Syst. Rev.*, no. 1, 2009, doi: 10.1002/14651858.CD004728.PUB2/EPDF/ABSTRACT.
- [30] “The IoT implementation on the night sky brightness measurement in Banjar using the sky quality meter,” P. Pribadi, Y. Pramudya, Muchlas, and Okimustava, *AIP Conf. Proc.*, vol. 2202, no. 1, p. 020023, Dec. 2019, doi: 10.1063/1.5141636.
- [31] “Tutorial: Road Lighting for Efficient and Safe Traffic Environments,” E. Tetri et al., *LEUKOS - J. Illum. Eng. Soc. North Am.*, vol. 13, no. 4, pp. 223–241, 2017, doi: 10.1080/15502724.2017.1283233.
- [32] “Understanding Light: Luminance vs Illuminance,” M. L. Global, linkendin, 2021.
- <https://www.linkedin.com/pulse/understanding-light-luminance-vs-illuminance-magnatech-led-global> (accessed Mar. 30, 2023).

Recibido: 01 de marzo de 2023

Aceptado: 01 de abril de 2023

