

REVISIÓN

Diagnóstico de fallas eléctricas en alumbrado público

Andrés Matiz^a, Daniel Silva^a y Sandra Rocío Forero^b

^a Estudiantes, Programa de Ingeniería, Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.

^b Jefe de Investigación, Escuela de Ciencias Administrativas, Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA. Villavicencio, Meta, Colombia.

RESUMEN

El alumbrado público es esencial para la seguridad y la visibilidad en áreas urbanas, pero su eficacia se ve afectada por fallas que, sin una detección oportuna, incrementan los costos de mantenimiento y reducen su impacto en la seguridad. En Colombia, el monitoreo del alumbrado público aún es limitado, lo que impide una respuesta proactiva ante fallas y representa un reto para los municipios que buscan reducir el consumo energético y mejorar el servicio. Este trabajo analiza la viabilidad de un sistema de detección de fallas eléctricas en tiempo real para el alumbrado público, que permitiría optimizar el mantenimiento, reducir los costos operativos y contribuir a una gestión más sostenible del servicio. La implementación de tecnología avanzada y estrategias de monitoreo podría ofrecer una solución competitiva y escalable para las ciudades del país, alineada con iniciativas de eficiencia energética y sostenibilidad.

Palabras clave: eficiencia energética; prevención de accidentes; calidad de vida; desarrollo sostenible; alumbrado público.

Diagnosis of Electrical Faults in Public Lighting

ABSTRACT

Street lighting is essential for safety and visibility in urban areas, but its effectiveness is affected by failures that, without timely detection, increase maintenance costs and reduce its impact on safety. In Colombia, street lighting monitoring is still limited, which prevents a proactive response to failures and represents a challenge for municipalities seeking to reduce energy consumption and improve service. This work analyses the feasibility of a real-time electrical fault detection system for public lighting, which would optimize maintenance, reduce operating costs, and contribute to more sustainable service management. The implementation of advanced technology and monitoring strategies could offer a competitive and scalable solution for cities across the country, aligned with energy efficiency and sustainability initiatives.

Keywords: energy efficiency; accident prevention; quality of life; sustainable development; public lighting.

* Autor de correspondencia.
Correo electrónico:
sandraocioforero@yahoo.es

I. Introducción

El alumbrado público es un servicio no domiciliario cuyo objetivo es iluminar vías, parques y espacios municipales para facilitar actividades nocturnas y proporcionar seguridad a peatones y visibilidad a conductores. Sin embargo, este objetivo se ve afectado cuando el alumbrado empieza a fallar; por ello, para asegurar el correcto funcionamiento de las lámparas de alta intensidad, es necesario un plan de mantenimiento correctivo y preventivo que incluya la revisión y reparación periódica de todos los dispositivos del alumbrado exterior (Alarcón & Poveda, 2018). Las demandas energéticas representan un problema global que exige soluciones sostenibles, apoyadas por programas como el IEE (Intelligent Energy Europe) de la UE, con impacto positivo en la eficiencia energética (Delgado-Arroyo *et al.*, 2024).

Aunque en Colombia el monitoreo del alumbrado público es poco aplicado, resulta necesario para optimizar el mantenimiento y reducir costos operativos. Un enfoque innovador para esta problemática es crucial para el sector energético y las empresas de mantenimiento, con potencial para expandirse a nivel nacional (Martínez *et al.*, 2022). El alumbrado público es vital para la seguridad, pero su eficacia depende de un buen mantenimiento; en Colombia, la falta de monitoreo limita esa eficiencia.

El alumbrado público supone uno de los mayores gastos para las administraciones municipales, por su alto consumo energético y su funcionamiento ineficiente. Uno de los principales problemas es la falta de información sobre el estado actual de los sistemas, que permita conocer su consumo, costes, rendimiento, seguridad y cumplimiento de normativas (Silva Cala, 2017). Actualmente, las fallas se detectan de manera reactiva, atendiendo problemas solo tras reportes o inspecciones, lo que resulta ineficiente y costoso (Alarcón & Poveda, 2018). El gobierno colombiano promueve políticas que integran el ahorro energético con la sostenibilidad (Arévalo Morantes & Rubio Quevedo, 2017).

Por ello, en la gestión del alumbrado público es importante la aplicación progresiva de avances tecnológicos que permitan la detección y prevención de fallas (ODIR Certificaciones, 2025). Por ejemplo, Huawei ofrece una solución de iluminación conectada que reduce hasta un 80 % el consumo mediante LED y sensores inteligentes, y su plataforma IPv6 permite expandir el soporte a aplicaciones en redes a gran escala (Alcaldía de Bogotá, 2022). En el municipio de Moa, la introducción de un sistema de gestión de mantenimiento con SIG permitió mejor planificación, reducción de fallas y ahorro económico (Pacific Institute, 2005).

Se propone el desarrollo de un detector de fallas eléctricas para el alumbrado público que detecte y reporte automáticamente la falla en tiempo real, mejorando la respuesta de mantenimiento y la seguridad comunitaria. Proyectos similares, como el de Riobamba (Ecuador), ya utilizan redes de sensores para este propósito (Prieto, 2018), y el prototipo de la Universidad Autónoma de Bucaramanga demuestra la viabilidad de diseñar soluciones efectivas para la supervisión y el mantenimiento de luminarias (Sierra *et al.*, 2013). Evaluada por su impacto económico, la iluminación LED

ofrece altos ahorros energéticos, bajos costos de mantenimiento y durabilidad (Alcaldía de Medellín, 2025), además de ventajas ambientales en reciclaje y mantenimiento, como se demostró en la vía Cota-Siberia (Chowdhury *et al.*, 2025).

La gestión con sistemas como SimplySnap en Ecuador ha mostrado resultados positivos, con una reducción de potencia del 25 % mediante red Wi-Fi (Khemakhem & Krichen, 2024). En Colombia se han hecho progresos: un sistema embebido con módulo Ethernet y protocolo TCP/IP permite monitorear luminarias y generar alertas a través de una interfaz web (Huang *et al.*, 2014). En Tocancipá se encontró que un sistema de telegestión es la mejor solución para mejorar el tiempo de respuesta (Chen, 2018), y en Landázuri (Santander) se propuso georeferenciación, diseño en AutoCAD y simulación con DIALux para cumplir el reglamento RETILAP (Bhosale *et al.*, 2017).

El gran desafío de los municipios es la preservación y el seguimiento de indicadores de desempeño de la red de alumbrado (Carli *et al.*, 2018). El crecimiento de la población exige infraestructuras inteligentes para una vida sostenible, y la proliferación de áreas urbanas ha aumentado la demanda energética del alumbrado (Dimitrakis *et al.*, 2025). Un detector de fallas permitiría la identificación y el reporte automáticos y en tiempo real de las deficiencias, con una respuesta más rápida de los equipos de mantenimiento. La propuesta debe cumplir además las normativas vigentes sobre niveles de voltaje y reducción de pérdidas técnicas y no técnicas (Nur, 2025).

Por tal motivo, el objetivo de este artículo es realizar el diseño conceptual de un sistema de detección de fallas eléctricas en alumbrado público que permita el monitoreo en tiempo real y el reporte automático de fallas a la oficina de mantenimiento, mejorando la seguridad comunitaria y optimizando el mantenimiento preventivo y correctivo.

II. Marco de referencia

El alumbrado público facilita la visibilidad para conductores y la seguridad de peatones en espacios públicos, especialmente de noche. Como señalan Solórzano (2017), su funcionamiento adecuado depende de un mantenimiento constante, preventivo y correctivo (Alarcón & Poveda, 2018). En Colombia, el monitoreo es poco extendido, lo que limita la capacidad de optimizar el mantenimiento; la mayoría se realiza de forma reactiva, solo cuando las fallas ya han sido reportadas, lo que genera demoras y mayores costos (Alarcón & Poveda, 2018). La falta de información adecuada sobre consumo, costos y rendimiento limita la posibilidad de aplicar mejoras (Silva Cala, 2017).

La tecnología de Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas embebidos han abierto nuevas posibilidades. En Riobamba (Ecuador) se emplean redes de sensores para monitorear el estado de las luminarias, con alertas automáticas ante fallas (Prieto, 2018). La telegestión, como en Tocancipá, reduce el tiempo de respuesta y los costos operativos (Chen, 2018). El uso de luminarias LED y sistemas de control inteligentes permite ahorro energético y reducción de la huella de carbono; en la vía Cota-Siberia las LED resultaron beneficiosas por su bajo consumo y su

reciclaje (Chowdhury *et al.*, 2025). Un modelo sostenible debe integrar el ahorro energético con la reducción de emisiones para contribuir a las ciudades inteligentes (Carli *et al.*, 2018). La incorporación de sistemas inteligentes de monitoreo mejora, además, la percepción de seguridad en los espacios públicos (Dimitrakis *et al.*, 2025), reduce costos de mantenimiento y prolonga la vida útil de los equipos (Alcaldía de Bogotá, 2022).

III. Metodología

La metodología se estructuró en dos etapas complementarias. En primer lugar, se realizó un análisis bibliográfico sistemático del estado del arte en la gestión inteligente del alumbrado público, consultando bases de datos especializadas como IEEE Xplore y Scopus con términos clave como «detección de fallas en alumbrado público», «IoT» y «mantenimiento predictivo». La revisión se centró en publicaciones de los últimos cinco años, en normativas técnicas como el RETILAP (Bhosale *et al.*, 2017) y en estudios de caso relevantes en Latinoamérica (Khemakhem & Krichen, 2024; Prieto, 2018).

Posteriormente, el estudio se centró en un análisis de caso en el barrio Villa Bolívar de Villavicencio (Cra. 39 n.º 5C-11), para diagnosticar las limitaciones del sistema actual. El diagnóstico se basó en la observación directa de las fallas recurrentes y en el análisis de los reportes históricos del sistema municipal Alborada, que depende de la notificación ciudadana. La integración de los hallazgos teóricos con el diagnóstico local permitió definir los requisitos del diseño de un prototipo de detección automática, priorizando la medición de parámetros eléctricos, el uso de protocolos de comunicación accesibles y la generación de alertas que complementen el sistema de gestión existente.

IV. Análisis y resultados

El alumbrado público es un servicio fundamental para la seguridad ciudadana, la movilidad nocturna y la calidad de vida (Solórzano Jaramillo, 2017). Su eficacia depende de una operación continua y confiable; la falta de mantenimiento oportuno degrada el servicio y erosiona la confianza en la gestión pública (Alarcón & Poveda, 2018). Este problema se agudiza bajo un modelo reactivo, en el que las intervenciones solo ocurren tras el reporte de una falla ya consumada. El diagnóstico del caso de Villa Bolívar revela que este paradigma es predominante y conlleva ineficiencias operativas y económicas significativas.

En el área de estudio, la práctica más común es el mantenimiento reactivo (Alarcón & Poveda, 2018): la reparación de una luminaria solo se ejecuta tras el reporte ciudadano o una inspección rutinaria. Esto genera periodos de oscuridad prolongados y resulta ineficiente en logística y costos, al impedir la optimización de rutas (Silva Cala, 2017). El sistema Alborada canaliza las quejas, pero no resuelve la raíz del problema: la dependencia de la iniciativa del ciudadano introduce una latencia inherente e impide una visión integral y en tiempo real de la red.

La consecuencia es una gestión opaca y de alto costo: las administraciones carecen de información sistemática

sobre el estado operativo de cada luminaria, su consumo real y su vida útil remanente, lo que limita la planificación de intervenciones preventivas (Silva Cala, 2017). En Villa Bolívar, esto se traduce en fallas recurrentes percibidas como abandono, un problema que trasciende lo técnico para convertirse en un asunto de gobernanza y bienestar social.

Frente a este escenario, la gestión inteligente del alumbrado se erige como una necesidad estratégica. La tendencia global apunta a sistemas de monitoreo en tiempo real que registran y transmiten datos de cada luminaria, detectando apagados, fluctuaciones de voltaje o consumos anómalos. En Riobamba, una red de sensores optimizó los recursos de mantenimiento y redujo costos (Prieto, 2018). La telegestión permite también el control operativo: SimplySnap logró reducciones de hasta el 25 % del consumo mediante ajuste remoto de la intensidad (Khemakhem & Krichen, 2024). En Colombia, un sistema embebido con módulo Ethernet y protocolo TCP/IP permite monitorear luminarias y generar alertas web (Huang *et al.*, 2014), lo que confirma la viabilidad técnica.

La transición hacia la iluminación LED es el otro pilar de una gestión eficiente y sostenible. Un estudio de la Universidad Autónoma de Bucaramanga resalta que la combinación de LED con monitoreo inteligente reduce el consumo, disminuye costos y prolonga la vida útil (Sierra *et al.*, 2013). Su naturaleza digital las hace más compatibles con sistemas de control y detección de fallas, con beneficios tangibles en corredores como la vía Cota-Siberia (Chowdhury *et al.*, 2025). La implementación debe enmarcarse en el RETILAP (Bhosale *et al.*, 2017), que establece los parámetros obligatorios de iluminación, uniformidad y eficiencia; un sistema de detección de fallas puede ser una herramienta para garantizar su cumplimiento continuo al verificar voltaje y corriente.

La integración en Villa Bolívar requiere un diseño que considere las particularidades locales. La arquitectura debe partir de componentes probados: sensores de corriente y voltaje acoplados a cada luminaria, un microcontrolador con capacidad de diagnóstico básico y un módulo de comunicación inalámbrica (Wi-Fi o LPWAN), apoyándose en experiencias como el sistema embebido con protocolo TCP/IP (Huang *et al.*, 2014). La clave es que el dispositivo no actuaría de forma aislada, sino integrado con el sistema Alborada: en lugar de reemplazarlo, lo potenciaría con alertas automáticas y precisas, creando un flujo de información dual —la percepción ciudadana y la telemetría objetiva— que permitiría una priorización más inteligente de las órdenes de trabajo.

Los beneficios esperados son multifacéticos. En lo operativo, al conocer la falla y su naturaleza en tiempo real, los equipos se desplazan con el personal y los repuestos adecuados, reduciendo visitas múltiples y costos (Chen, 2018). En lo energético, el sistema promueve la eficiencia y, en una etapa futura, habilita estrategias de atenuación basadas en datos reales, siguiendo el modelo de SimplySnap (Khemakhem & Krichen, 2024). En seguridad y gobernanza, una red confiable fortalece la percepción de seguridad, disuade la delincuencia (Dimitrakis *et al.*, 2025) y genera datos históricos para una planeación presupuestal basada en evidencia.

V. Conclusiones

La gestión eficiente del alumbrado público es un pilar de la seguridad ciudadana, el bienestar comunitario y el desarrollo urbano sostenible. El análisis del caso de Villa Bolívar demuestra que el modelo de mantenimiento reactivo vigente, dependiente de reportes ciudadanos a través de sistemas como Alborada, es intrínsecamente ineficiente: genera latencias, elevados costos y periodos de inseguridad. La implementación de un sistema de detección de fallas con monitoreo y reporte en tiempo real se configura como una transformación estratégica necesaria para migrar de una gestión reactiva a una preventiva y predictiva.

Los hallazgos confirman la viabilidad técnica de la propuesta: la sensórica IoT, los protocolos de comunicación inalámbrica y las plataformas de telegestión, validadas en experiencias internacionales y nacionales (Huang *et al.*, 2014; Khemakhem & Krichen, 2024; Prieto, 2018), proporcionan los componentes para un diseño robusto y adaptable. La integración del detector con el sistema Alborada permitiría reducir los tiempos de respuesta, planificar la logística del personal y generar un historial de datos para el análisis predictivo, en línea con el RETILAP (Bhosale *et al.*, 2017).

En resumen, este estudio proporciona un diseño conceptual para un sistema automatizado de detección de fallas en el alumbrado público. Su aplicación piloto en un punto crítico como la Cra. 39 n.º 5c-11 representaría un avance concreto hacia la modernización de la gestión pública local, con beneficios en la seguridad percibida, la transparencia y la resiliencia urbana. Se recomienda avanzar hacia la fase de prototipado e implementación, como un modelo replicable escalable a otras zonas de Villavicencio y a municipios con desafíos similares.

Tipo de artículo

Artículo de investigación (diseño conceptual).

Procedencia

Producto de investigación del programa de Ingeniería, UNIMETA.

Financiación

Sin financiación externa.

Referencias

- Alarcón, A., & Poveda, M. (2018). *Análisis del potencial de eficiencia energética en iluminación pública: el caso de municipios pequeños y medianos de Brasil* (Nota Técnica BID-1574). Banco Interamericano de Desarrollo.
- Alcaldía de Bogotá. (2022). *Distrito podrá detectar y arreglar fallas en alumbrado público de manera remota*. Portal Noticias Bogotá. <https://bogota.gov.co>
- Alcaldía de Medellín. (2025). *Medellín ya tiene 2.218 luminarias inteligentes en su alumbrado público y avanza hacia una Smart City*. Sala de Prensa.
- Arévalo Morantes, Y. M., & Rubio Quevedo, Y. K. (2017). *Contaminación por alumbrado público en la vía Cota-Siberia* [Informe, Universidad La Gran Colombia].
- Bhosale, S., Gaware, K., Phalke, P., Wadekar, D., & Ahire, P. (2017). IoT based dynamic control of street lights for smart city. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4, 1181–1183.
- Carli, R., Dotoli, M., & Pellegrino, R. (2018). A decision-making tool for energy efficiency optimization of street lighting. *Computers & Operations Research*, 96, 223.
- Chen, S. (2018). The smart street lighting system based on NB-IoT. En *Chinese Automation Congress (CAC)* (pp. 1196–1200).
- Chowdhury, C., Hasan, M., Aziz, T., & Rahman, M. (2025). Centralized monitoring system for faulty street light detection and location tracking. *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, 11(2), 1940–1949.
- Delgado-Arroyo, L., Abadía-Hurtado, Y., & Mena-González, K. Y. (2024). Prototipo de lámpara de iluminación de espacios públicos, alimentado por energía solar fotovoltaica, bajo la metodología IoT. *Ingenierías USBMed*, 15(2), 11–18.
- Dimitrakis, A., Konstantinou, E., & Georgakopoulos, S. (2025). A new approach to street lighting design through LED technology and optical system optimization. En *Lighting Conference* (pp. 1–6).
- Huang, Z., Yuan, F., & Li, Y. (2014). Implementation of IPv6 over low-power wireless personal area network based on wireless sensor network in smart lighting. *Journal of Computer Applications*, 34(10), 3029–3033.
- Khemakhem, S., & Krichen, L. (2024). A comprehensive survey on an IoT-based smart public street lighting system for smart cities. *Franklin Open*, 8, Artículo 100142.
- Martínez, F., Ruiz, F., Barrazaeta, G., & Lozada, P. (2022). Red de sensores inalámbricos para la supervisión y control en tiempo real de fallas en luminarias del alumbrado público. *Revista Perspectivas*, 4(1), 1–10.
- Nur, A. (2025). IoT and LED-based approach in smart street lighting: A review. *Electrical Engineering & Energy*, 4(3), 178–188.
- ODIR Certificaciones. (2025). *Todo lo que debes saber sobre el RETILAP en Colombia*. <http://odir.vivandeluz.com>
- Pacific Institute. (2005). *Taking into account the importance: Public lighting and community safety*.
- Prieto, M. (2018). *Estudio sobre la iluminación pública y su incidencia en el crimen de Nueva York* [Entrada de blog]. Smart Lighting.
- Sierra, C., Sanz Ciria, R., González-Benítez, M., & García-Cascales, M. (2013). GPS based measured system for urban lighting. En *17th International Congress on Project Management & Engineering*. Logroño, España.
- Silva Cala, Y. S. (2017). *Gestión de mantenimiento de alumbrado público utilizando sistemas de información geográficos (SIG)* [Tesis de maestría, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa].
- Solórzano Jaramillo, C. R. (2017). *Evaluación del programa de mantenimiento preventivo de alumbrado público del cantón Cuenca de la Empresa Regional CENTROSUR C.A.* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca].