

**Control methodology for tje management of public lighting Maintenance
in the Machala canton**

**Metodología de control para la gestión de mantenimiento de alumbrado
público en el cantón Machala**

Autores:

Olmedo-López, Pablo Ignacio
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Estudiante de la Maestría Académica con trayectoria profesional en
Gestión de Proyectos
Facultad de Posgrado
Portoviejo – Ecuador



polmedo6165@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0005-8217-0939>

Loor-Castillo, Guillermo Antonio
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Ingeniero Eléctrico, Magíster en Gerencia Educativa
Profesor Titular de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería Aplicada
Portoviejo – Ecuador



guillermo.loor@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-4986-7524>

Fechas de recepción: 25-JUN-2024 aceptación: 14-JUL-2024 publicación:15-SEP-2024



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

La investigación pretende proponer una metodología de control para la gestión de mantenimiento del sistema de alumbrado público, mediante la integración de métodos básicos que garantizan la elevación de la confiabilidad, calidad, economía e imagen ambiental del sistema en el cantón Machala. Se parte del método deductivo que permitió el análisis del problema, el examen de las teorías generales relacionadas con la iluminación pública y los métodos para el mantenimiento periódico del sistema, la discusión de los resultados y llegar a conclusiones precisas sobre el tema estudiado. Se aplican las técnicas de observación y el análisis documental. En los resultados se exponen los criterios generales que demuestran la viabilidad del mantenimiento técnico integrado para el control del alumbrado público. Se concluye que el alumbrado público es un sistema complejo que desempeña un papel clave para la seguridad de la movilidad humana, del transporte y un elemento de imagen social para el territorio, por lo que se requiere la adopción de una metodología integrada de mantenimiento periódico, que asegure su confiabilidad, calidad y la introducción de nuevas tecnologías económicas de bajo impacto ambiental.

Palabras clave: control de mantenimiento; luminarias; métodos de mantenimiento; sistema de alumbrado público



Abstract

The research aims to propose a control methodology for the maintenance management of the public lighting system, through the integration of basic methods that guarantee the improvement of the reliability, quality, economy and environmental image of the system in the Machala canton. The deductive method was used to analyze the problem, examine the general theories related to public lighting and the methods for the periodic maintenance of the system, discuss the results and reach precise conclusions on the subject studied. Observation techniques and documentary analysis are applied. The results present the general criteria that demonstrate the feasibility of integrated technical maintenance for the control of public lighting. It is concluded that public lighting is a complex system that plays a key role for the safety of human mobility, transportation and an element of social image for the territory, so it is required the adoption of an integrated methodology of periodic maintenance, which ensures its reliability, quality and the introduction of new economic technologies with low environmental impact.

Keywords: maintenance control; luminaires; maintenance methods; street lighting system; maintenance control; street lighting system



Introducción

Los servicios públicos son esenciales y cumplen una función clave para la sociedad, dentro de los cuales, el alumbrado público tiene una significativa importancia para garantizar la seguridad de los peatones y el tránsito vehicular, ya que proporciona la visibilidad adecuada en las calles, parques públicos y otros espacios de circulación nocturna (Ramírez et al, 2019).

Una iluminación apropiada en las avenidas, calles y espacios públicos fomenta la creación de entornos seguros, propicia un especial atractivo de la ciudad para la promoción del comercio, la cultura, la recreación e incluye aspectos como el manejo adecuado del impacto ambiental del servicio que se brinda a la ciudadanía.

Como parte de las características esenciales del alumbrado público se encuentra su confiabilidad, calidad y eficiencia. Lo que representa el ofrecimiento de un servicio ininterrumpido, que responda a las necesidades de los usuarios y realice un consumo eficiente de energía con mínimo impacto ambiental (Alcívar-Centeno et al., 2023).

El sistema de alumbrado público constituye un elemento de imagen social, que es importante por el papel que desempeña para el desarrollo de diversas actividades socioeconómicas, pero su inadecuada gestión y mantenimiento puede generar impactos sociales negativos.

Para el servicio de alumbrado público la instrumentación de métodos de gestión en su mantenimiento constituye un elemento clave, que intenta armonizar el contexto social de la prestación con los intereses de la sociedad y la protección ambiental basado en el principio de la continuidad con el menor impacto y el aprovechamiento adecuado de los recursos energéticos (Pachucho, 2020).

En la gestión del alumbrado público es importante considerar la aplicación progresiva y permanente de los avances tecnológicos, que permitan la detección y prevención de fallas técnicas en el sistema de iluminación pública.

Durante el período de vida útil del sistema de iluminación pública se deben garantizar cuidados específicos encaminados a lograr su correcto funcionamiento, lo que se logra mediante el control de la depreciación, envejecimiento de la tecnología y la adaptación a las necesidades del entorno. Se requiere la renovación y perfeccionamiento tecnológico constante para garantizar la confiabilidad, calidad y eficiencia del servicio.

El diagnóstico adecuado del sistema como parte del mantenimiento garantiza la generación de resultados predictivos, que posibilitan la aplicación de medidas correctivas que garantizan la confiabilidad, calidad y eficiencia en la gestión sistémica del alumbrado público (Cueva y



Rojas, 2021).

Por tanto, los requerimientos del mantenimiento del sistema de alumbrado público se deben considerar desde la etapa de diseño y abarca las actividades de gestión y explotación de las instalaciones de modo eficiente, económica y con el menor impacto ambiental.

La planificación de la mejora como proceso continuo implica la realización del diagnóstico sistémico de las instalaciones, que permita la obtención de resultados confiables aplicados al ámbito de estudio.

En la regulación 005/2017 (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables [Arconel], 2017), dispone las medidas a cumplir por las empresas distribuidoras de energía y establece parámetros para el funcionamiento del sistema de alumbrado público.

Como parte de los problemas que se confrontan en el sistema de alumbrado público en el cantón Machala se pueden mencionar: las luminarias apagadas durante la noche y encendidas durante el día debido a la existencia de sensores de iluminación defectuosos, cableado deteriorado, estructuras de soporte en mal estado que implica un gasto excesivo de energía y la existencia de luminarias ineficientes, en consonancia con lo analizado por (Ramírez et al., 2019).

En el cantón Machala se lleva a cabo un proceso de regeneración urbana encaminado a elevar la imagen social de la ciudad, donde se puede apreciar que en algunas áreas existe falta de atención al sistema de alumbrado público. Por lo que el problema de investigación consiste en: ¿Cómo se puede contribuir a mejorar el alumbrado público en el cantón Machala?

A partir del análisis del problema, el objetivo de la investigación consiste en: proponer una metodología de control para la gestión de mantenimiento del sistema de alumbrado público en el cantón Machala. Y como objetivos específicos: resignificar la importancia social y complejidades del sistema de iluminación pública; profundizar en los métodos para el mantenimiento del sistema y; diseñar una metodología integrada de mantenimiento técnico, que garantice la confiabilidad, calidad, economía e imagen ambiental del sistema de iluminación pública.

Particularidades técnicas del sistema de alumbrado público

El sistema de iluminación pública de calles, plazas, parques y edificios se considera como un sistema físico con dinámica propia, demanda de insumos de materiales, utilización de instalaciones y nuevas tecnologías, que permiten establecer su interacción permanente con la población para dotar a los espacios públicos como lugares seguros para la vida social



(González, 2022).

De acuerdo con el criterio del Consejo Nacional de Electricidad de Ecuador el alumbrado público está integrado por la iluminación de las vías públicas para el tránsito seguro de personas y vehículos. Se excluye la iluminación en zonas comunes inmobiliarias declaradas como propiedad horizontal, así como la iluminación pública ornamental e intervenida (Arconel, 2015).

Los diferentes componentes del sistema de alumbrado público como luminarias, proyectores, sistemas de control y estructuras de soporte, tienen como propósito la conversión de la energía eléctrica en energía lumínica en interés de garantizar el servicio en las áreas de uso público para la satisfacción de las necesidades socioeconómicas (Calle y Pucha, 2017).

Como parte de los componentes principales del sistema de alumbrado público se encuentran: las lámparas que transforman la energía eléctrica en luz visible para garantizar el ofrecimiento del servicio. Para el funcionamiento de las luminarias se requieren dispositivos eléctricos y electrónicos como medios complementarios, que mediante su interacción con la lámpara y los elementos ópticos conforman la luminaria y el conjunto de un sistema de iluminación (Calle y Pucha, 2017).

Los conductores eléctricos, transformadores y elementos de soporte constituyen parte del sistema de alumbrado, que sin ser elementos constitutivos de la luminaria son necesarios para el funcionamiento del sistema (Rodríguez et al., 2017).

En la actualidad se suelen utilizar distintos tipos de lámparas, que según su tecnología o principio de funcionamiento tienen mayor o menor eficiencia. Pueden ser de sodio de alta presión, de sodio de baja presión, fluorescentes, mercurio y leds (Rodríguez et al., 2017).

La iluminación pública a escala mundial

A escala mundial se utilizan diferentes sistemas de alumbrado público, que son usados de modo diferente en correspondencia con las necesidades de los usuarios. Pueden ser para la iluminación de vías de tránsito peatonal o vehicular, iluminación de espacios recreativos o para iluminación ornamental (Calle y Pucha, 2017).

Como regla general la iluminación vial se estructura con luminarias de sodio de alta presión, que se caracterizan por su eficacia y en menor cantidad las de sodio de baja presión. También se usan las luminarias de mercurio que son sustituidas por su baja ineficiencia y en su lugar se introducen de modo masivo las tecnologías leds. En los parques, áreas deportivas y de ocio se utilizan sistemas de iluminación que imitan la luz natural, basadas en luminarias halogenuros metálicos, leds y mercurio halogenado (Cueva y Rojas, 2021).



En especial la iluminación ornamental se garantiza con luminarias de mercurio halogenado, sodio de alta presión de luz blanca y leds, con el auxilio de un sistema de control para dinamizar diferentes efectos de luz de acuerdo con las características del área a iluminar (Gutiérrez et al., 2013).

Los países europeos poseen características diferentes de la población, horas de funcionamiento del alumbrado público o la superficie iluminada. España tiene un consumo de energía eléctrica promedio entre 114-118 kWh/año por ciudadano, superior a Francia y Alemania. De ello entre el 40% y 60% del consumo se destina al alumbrado público, con un gasto económico significativo por año (Gutiérrez et al., 2013).

En la figura 1 se muestra la distribución de las horas noche año por países.

Figura 1
Horas noche año por países



Nota: elaboración propia

En términos de eficiencia energética se mide a partir del consumo por habitante, sin considerar la superficie, el nivel de iluminación o el número de horas que funcionan las luminarias. Dada la disponibilidad anual de luz natural que posee el Reino Unido se experimenta un 3% de utilización del sistema de iluminación pública más que España (Gutiérrez et al., 2013).

En algunos países de Latinoamérica se realiza un plan de modernización del sistema de alumbrado público mediante la introducción masiva de luminarias leds, que estima lograr un ahorro por consumo de energía del 59% (Barragán et al., 2022).

Algunos investigadores van más lejos para demostrar la factibilidad de la introducción de las luminarias fotovoltaicas para lograr una mayor eficiencia y calidad del servicio, así como una reducción importante de los impactos ambientales derivados de la generación de electricidad (Rodríguez et al., 2017; Vázquez, 2022)

En Ecuador se utilizan para el servicio de alumbrado público 1.104.072 luminarias que consumen el 5,63% de la energía generada con una tasa de crecimiento anual del 3%, que se

incrementa de modo progresivo y puede llegar hasta el 7%. En el sistema predominan las tecnologías basadas en el vapor de sodio de alta presión en un 86% y una participación simbólica de las tecnologías leds con la existencia de 1.034 luminarias (Calle y Pucha, 2017).

Estructura técnica general de las luminarias

Desde el punto de vista técnico las luminarias constituyen el elemento clave en el sistema de iluminación pública y están conformadas por varios elementos, accesorios y mecanismos indispensables para el soporte, protección de las bombillas y su conexión a la fuente de alimentación (Bonilla, 2022).

La carcasa es el soporte que protege los accesorios mecánicos y eléctricos de los agentes externos y suelen estar construidas de aluminio fundido o plástico resistente.

El brazo o soporte de fijación sostiene la luminaria y debe estar construido con material resistente, que al propio tiempo sea flexible para permitir la realización del mantenimiento.

El refractor es un elemento traslúcido empleado para la distribución espacial del flujo luminoso mediante el proceso de refracción de la luz.

La bombilla se encarga de la transformación de la energía eléctrica en luz.

La función del reflector es redirigir la luz emitida por la bombilla.

El balasto garantiza las condiciones requeridas del circuito para el encendido y la operación de la bombilla.

El condensador se utiliza para almacenar las cargas eléctricas y evitar los cambios bruscos de la tensión y sirve como corrección del factor de potencia para el mejor aprovechamiento de la energía.

El fusible constituye la protección eléctrica de la luminaria en caso de sobrecarga de tensión.

El arrancador tiene la función de generar pulsos para encender la bombilla sin ocasionar calentamiento de los electrodos.

El fotocontrol garantiza la conexión y desconexión automática de la luminaria.

Tipos de mantenimiento

En el reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 Alumbrado Público (Servicio Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2020) se estipula que, “todas las instalaciones de



alumbrado público deben contar con un plan de mantenimiento, que garantice la elevación de los niveles de eficiencia energética y los parámetros de iluminación requeridos en cada caso”. Se especifica que debe incluir el tiempo de limpieza para la visualización óptima del alumbrado, el cambio de luminarias para mantener el flujo luminoso y la permanencia de las lámparas.

De modo general existen dos tipos de mantenimiento para el sistema de alumbrado público: preventivo y correctivo.

El mantenimiento preventivo se realiza para prevenir y encontrar las fallas técnicas en el equipamiento y garantizar un tiempo mayor entre fallas. Los trabajos están encaminados a lograr la prolongación del tiempo de vida útil de las infraestructuras y garantizar la mayor continuidad del servicio de alumbrado público (García, 2011). Se realiza de forma programada sin la necesidad que exista un reporte de averías. Se pretende el desarrollo de actividades preventivas que permitan corregir los problemas y evitar la ocurrencia de fallas.

El mantenimiento preventivo consiste en un trabajo especializado mediante la observación y medición de parámetros técnicos, que se realiza de forma periódica a partir de la naturaleza técnica de cada componente del sistema, con el objetivo de descubrir posibles defectos que ocasionen interrupciones inesperadas de los equipos que perjudiquen su vida útil. Como parte de la inspección se realizan mediciones eléctricas en diferentes puntos de la red, niveles de armónicos y parámetros eléctricos para el funcionamiento de las luminarias.

El mantenimiento correctivo persigue corregir las causas de interrupciones imprevistas en el sistema de alumbrado público. Se realiza de modo rápido y eficiente para lograr la visualización e iluminación y responde a las exigencias de la confiabilidad del sistema. En la mayoría de los casos se realiza a partir del reporte de interrupciones (Cerdán, 2020). Durante su realización se realizan diferentes acciones o correcciones para el restablecimiento del correcto funcionamiento del equipo dañado. Se exige que el personal técnico posea conocimientos rigurosos de las tecnologías utilizadas en el sistema de alumbrado público (Alfonso et al., 2015).

Como parte de la ejecución de los trabajos del mantenimiento correctivo se debe considerar la limpieza de las bombillas y el conjunto óptico que garantiza la distribución del flujo luminoso, el reemplazo de las bombillas, componentes de la lámpara y los equipos auxiliares que se encuentran dañados y la realización del mantenimiento eléctrico y mecánico general del sistema (Primero et al., 2015).



Material y métodos

Métodos

A criterio de Guamán et al. (2021) durante la investigación científica se requiere el acceso a conocimientos sobre los conceptos, principios y leyes que garantizan la dirección del proceso investigativo, que permite el cumplimiento de los objetivos propuestos y la comprobación de la hipótesis.

A partir del paradigma deductivo se realizó el examen del problema y el análisis de las teorías asociadas con el sistema de iluminación pública y sus repercusiones para la seguridad y el ordenamiento social, lo que permitió diseñar la hipótesis, el objetivo de la investigación y el análisis y discusión de los resultados, que permitieron arribar a conclusiones precisas sobre el tema estudiado (Palmero, 2021).

La investigación tiene un enfoque cualitativo que permitió explicar, predecir, describir y explorar el estudio relacionado con el alumbrado público, la utilización de tecnologías modernas y la gestión del mantenimiento que permita la estabilidad y alta calidad del servicio de iluminación pública.

El diseño investigativo es de tipo descriptivo a partir de la descripción y relación de información existentes sobre los sistemas de iluminación pública, su mantenimiento y perfeccionamiento.

El trabajo de campo se realizó en el cantón Machala y permitió aportar los fundamentos que permitieron proponer una metodología de mantenimiento compleja, que integra métodos básicos de trabajo predictivo, correctivo y de perfeccionamiento del sistema de iluminación pública, en interés de garantizar la mejora continua y una alta calidad del servicio.

El estudio es de tipo transversal a partir del análisis de la información obtenida durante la realización de la investigación (Valladolid y Chávez, 2020).

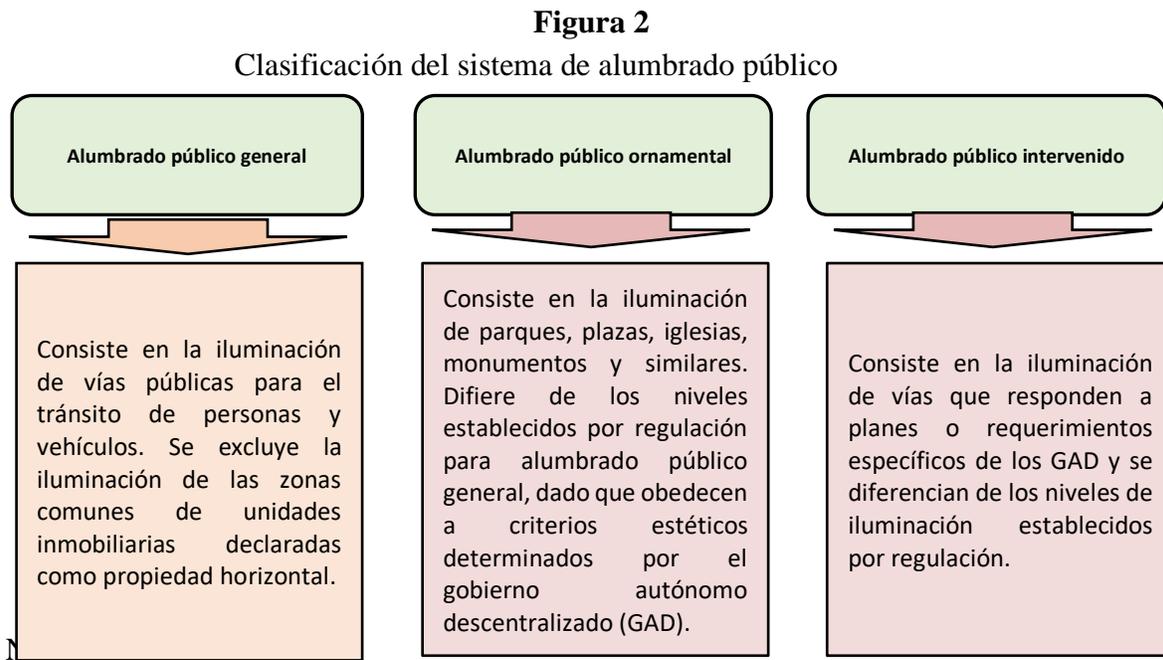
Como técnica básica de investigación se aplicó la observación directa e indirecta, que permitió la apreciación del problema vinculado con la baja calidad del servicio de iluminación pública en el cantón Machala, el mal estado y deterioro de los componentes técnicos del sistema, el alto consumo de energía y los impactos ambientales generados que atentan contra la buena imagen social de la seguridad del tránsito de las personas y vehículos. Todo lo que posibilitó la obtención de información útil para la investigación.

La técnica de revisión bibliográfica y documental permitió la realización del examen de artículos científicos, libros y otros documentos publicados, así como la información primaria



publicada, que se relaciona con el servicio de iluminación pública.

Durante la investigación se consideró la clasificación y destinación del sistema de alumbrado público, en interés de garantizar la iluminación de vías y espacios públicos consignados para la movilidad y ornamentación, según se expone en la figura 2 (Arconel, 2015).



Con independencia del tipo de luminaria a utilizar para la instalación del servicio de iluminación en las vías, se deben aplicar las regulaciones establecidas en el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE) INEN 069 “Alumbrado Público”, según se expone en la tabla 1.

Tabla 1
Iluminación según el tipo de vía

Clases de Iluminación	Descripción de vía	Velocidad de circulación (km/h)	Tránsito de vehículos T(Veh/h)
M1	Autopista y carreteras	Extra alta $V > 80$	Muy importante $T > 1000$
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas	Alta $60 < V < 80$	Importante $500 < T < 1000$
M3	Vías principales y ejes Viales	Media $30 < V < 60$	Media $250 < T < 500$

M4	Vías primarias o colectoras	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250
M5	Vías secundarias	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	T<100

Nota: elaboración propia

Se consideró que los aspectos regulados en el RTE sobre el alumbrado público requieren de un control y atención permanente para garantizar el funcionamiento de las luminarias y reducir su depreciación y envejecimiento (INEN, 2020).

La luminancia promedio de la calzada (L_{av}) se calcula a partir del promedio aritmético de las luminancias obtenidas en cada uno de los puntos de cálculo y constituye el valor mínimo que se debe mantener a lo largo de la vida útil de la instalación (Álvarez y Medina, 2023; INEN, 2020).

La uniformidad general de luminancia de la calzada (U_o) es la relación entre la luminancia mínima y promedio de la vía y depende de los mismos factores que inciden en la luminancia promedio (Martínez, 2020).

El coeficiente de uniformidad longitudinal (U_l) consiste en la relación que existe entre la luminancia mínima y la luminancia máxima medidas sobre uno o varios ejes paralelos al eje principal de la vía y para ello se analiza la comodidad visual de la iluminación en la vía (Álvarez y Medina, 2023). En la tabla 2 se exponen los niveles requeridos para cada clase de iluminación de las vías y los parámetros fotométricos necesarios para la luminancia de la calzada.

Tabla 2
Niveles fotométricos requeridos

Clases de iluminación	Tipo de Superficie				Incremento de Umbral	Relación de alrededor
	Seco		Mojado			
	L_{av}	$\frac{cd}{m^2}$	U_o	U_f	U_o	Ti (%)
M1	2,0	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M3	1,0	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,5
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,5



Nota: elaboración propia

El deslumbramiento es un fenómeno de la visión que genera molestias y disminución en la capacidad de visión y la distinción de objetos por la incorrecta distribución de la luminancia o como efecto al excesivo contraste (Jima, 2022).

La intensidad luminosa (I) es el flujo luminoso sobre una pequeña superficie centrada y normal en una dirección, dividido por el ángulo sólido subtendido por la superficie en la fuente I. Su intensidad se expresa en candelas (cd) (Labán, 2018).

En la tabla 3 se exponen las recomendaciones necesarias para la disposición de las luminarias a partir de las diferentes clases de iluminación (Gutiérrez et al., 2013; INEN, 2020).

Tabla 3
Recomendaciones para disposición de luminarias

Clases de Iluminación	Altura (m)	Relación S/H	Disposición de las luminarias	
			Criterio	Disposición
M1	12-14	3,5-4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M2	10-12	3,5-4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M3	8,5-10	3,5-4	Ancho de la calzada menor	Unilateral
M4	7 - 9	3,5-4	Unilateral	
M5	6	3,5-4	Al criterio del diseñador	

Nota: elaboración propia a partir de (Gutiérrez et al., 2013; INEN, 2020)

La ubicación de las luminarias en la vía se relaciona con la localización y ubicación de las luminarias, de lo que se obtiene la luminancia necesaria para el servicio de alumbrado público. Los puntos de luz se relacionan con el ancho de la vía (W), con la altura de montaje (H) de la luminaria, con el perfil de la vía, la proximidad a las redes de alta y media tensión y la distancia de cada poste para la iluminación (S) será la que resulte de un estudio fotométrico de iluminación de la vía (INEN, 2020).



Las disposiciones para la iluminación de las vías pueden ser: unilateral, central doble, bilateral alternada, bilateral opuesta sin separador y bilateral opuesta con separador.

Dentro de las características que se deben observar y garantizar en el mantenimiento del sistema de iluminación pública se encuentran las siguientes:

- La eficacia luminosa, que se manifiesta en la relación entre el flujo luminoso total emitido y la potencia de la luminaria. Se expresa en lúmenes/vatio (lm/W) (INEN, 2020). Su control y corrección garantiza la disminución del costo de la instalación y los gastos de explotación, evitando pérdidas y gastos (Calle y Pucha, 2017).
- La durabilidad de la vida económica, que se traduce en el tiempo de vida óptima con el costo más bajo del lumen por hora (lm/h), dependiendo del tiempo de duración de la vida real de las lámparas en las condiciones de instalación y de utilización, así como el flujo luminoso de la luminaria y su evolución en el transcurso del tiempo (Murillo et al, 2019).
- Se deben considerar los factores económicos como el precio de la lámpara, costo de instalación, de reemplazo, así como la temperatura de color (Gutiérrez et al., 2013).

Resultados

Dada la complejidad y extensión del sistema de iluminación pública en el cantón Machala, la metodología para su mantenimiento se debe basar en tres métodos básicos:

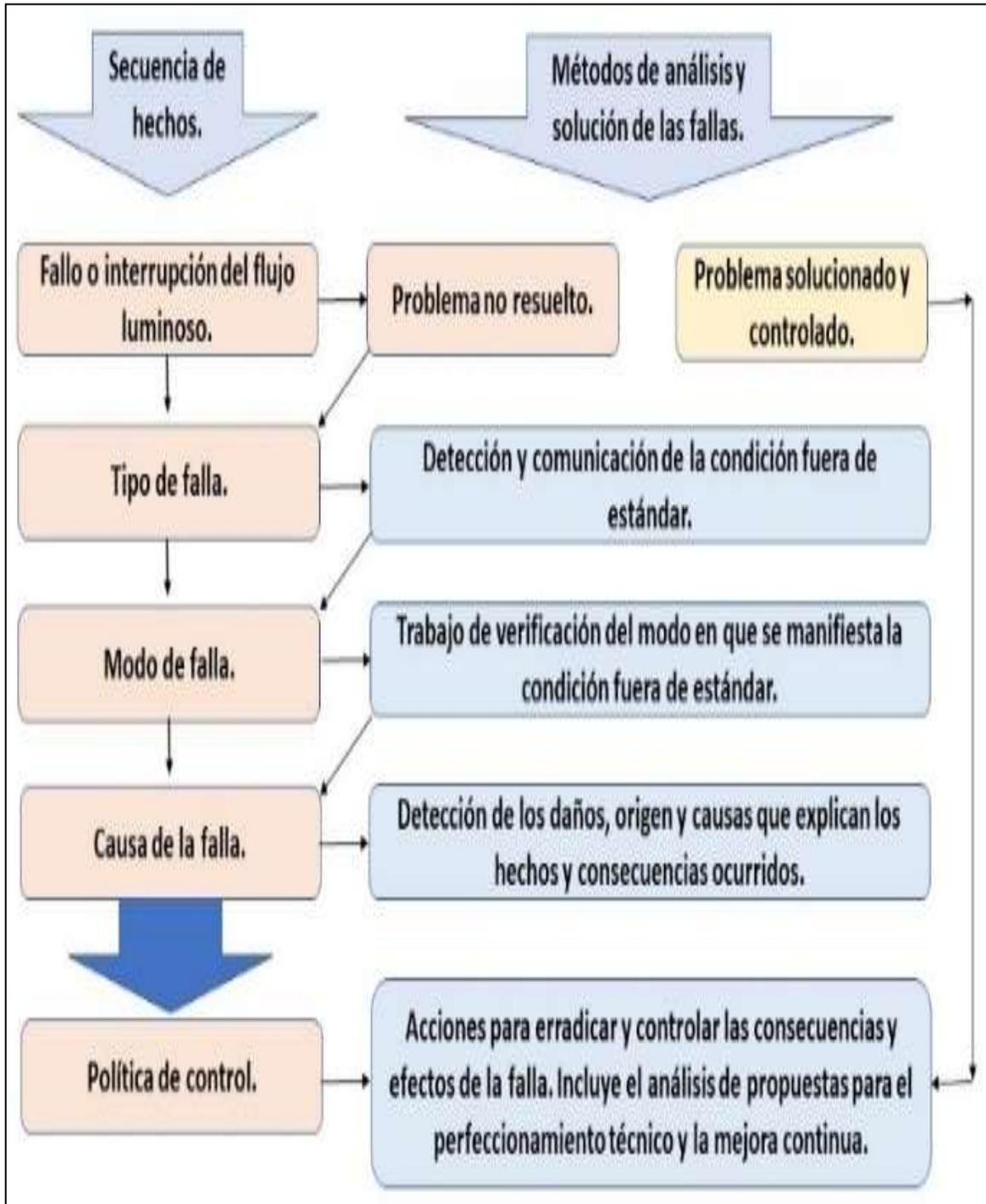
- Método centrado en la confiabilidad (RCM);
- Método basado en el análisis de modos de fallos y efectos críticos (FMECA) y;
- Método de análisis de causa raíz (RCA), en consonancia con lo analizado por Gutiérrez (2006) y Mora (2009).

Método de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

En correspondencia con el criterio de (Mora, 2009) el método RCM persigue la detección preventiva y anticipada de las anomalías futuras en la funcionalidad del sistema de alumbrado público, para lo que se debe cumplimentar el método de análisis de fallas según se describe en la figura 3.



Figura 3
 Método RCM según falla y causa



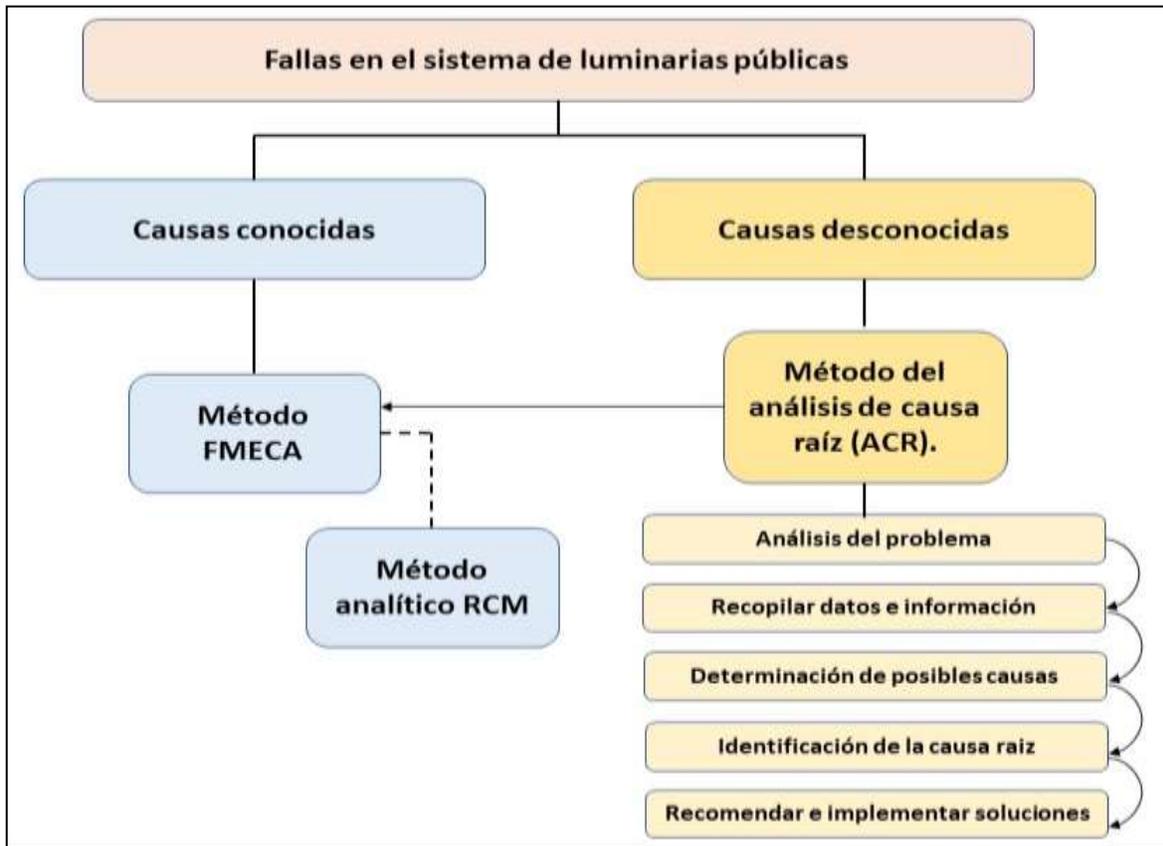
Nota: elaboración propia a partir de (Mora, 2009)

Método basado en el análisis de modos de fallos y efectos críticos (FMECA) y el método de análisis de causa raíz (RCA)

El método FMECA nació con el dominio de la ingeniería de fiabilidad y es muy útil para la evaluación de diseños de productos nuevos. Al comienzo se aplicó como método para el mantenimiento en el sector de la aviación. Debido a su éxito se difundió en el mantenimiento de plantas térmicas y centrales eléctricas (Gutiérrez, 2006).

El método permite la cuantificación y clasificación de las fallas críticas. Su propósito consiste en conocer completamente el equipamiento y la identificación de sus componentes, el diseño, los procesos, los materiales de fabricación, los ensambles y todos los aspectos pertinentes encaminados a lograr un análisis integral de fallas y la identificación de soluciones alternativas que permiten lograr una mayor economía estructural y funcional del sistema, que fomente el ahorro de recursos y la reducción de los impactos ambientales (Mora, 2009). En la figura 4 se muestra la metodología FMECA y ACR.

Figura 4
Método FMECA y ACR



Nota: elaboración propia a partir de (García, 2005; Mora, 2009)

Discusión

El objetivo de la gestión de la calidad del servicio del alumbrado público en el cantón Machala consiste en el control y atención técnica integral de las instalaciones, los recursos que intervienen en el control y la adecuación de las mismas a las condiciones propias de la prestación del servicio, en concordancia con lo expuesto por Calle y Pucha (2017).

La gestión de la calidad del servicio requiere la planificación de actuaciones preventivas y correctivas, que se materializan mediante el trabajo de mantenimiento y la aplicación de metodologías complejas, con el fin de integrar métodos de control y predicción novedosos. La gestión se debe centrar en la coordinación de todos los factores implicados en el mantenimiento del sistema con el fin de garantizar su funcionamiento óptimo y un nivel adecuado del servicio, en consonancia con lo señalado por Murillo et al. (2019).

La calidad del servicio del alumbrado público requiere de evaluaciones a corto plazo y un trabajo sistemático de mantenimiento, en especial las acciones preventivas que persiguen lograr la prolongación de la vida útil de los componentes que integran las luminarias, en concordancia con lo expuesto por Calle y Pucha (2017 y; Murillo et al. (2019). Se debe considerar como resultado del trabajo las propuestas que permitan el mejoramiento e integración de nuevas tecnologías ahorradoras de energía de bajo impacto ambiental.

El tema relacionado con la metodología del mantenimiento constituye un aspecto complejo para la gestión en cualquier campo de los servicios públicos y en especial de la energía, que por sus implicaciones económicas, ambientales y sociales requiere la elección correcta de procedimientos, que permiten lograr un adecuado funcionamiento del sistema mediante la reducción del consumo de energía y recursos económicos, en concordancia con lo señalado por Calle y Pucha (2017).

Para el éxito de la gestión funcional y estructural del alumbrado público resulta clave el logro de una buena organización y realización del mantenimiento preventivo, una comunicación óptima y la elección de soluciones adecuadas a los problemas, que posibilite la confiabilidad y calidad, a partir de alternativas centradas en la economía funcional, la reducción de los impactos ambientales y la satisfacción social del bien público que se brinda, en consonancia con lo expuesto por Cerdán (2020) y García (2011).

El mantenimiento preventivo en el sistema de iluminación pública se centra en la reducción de las probabilidades de fallos técnicos de las luminarias y sus componentes, de manera que se garantice la maximización del beneficio operativo. Comprende las revisiones, modificaciones y mejoras dirigidas a minimizar las averías mediante las revisiones periódicas



y la introducción de nuevas tecnologías ahorradoras de bajo impacto ambiental. Los planes de mantenimiento son el resultado de plasmar ordenadamente dichas acciones en períodos acordados, en correspondencia con las exigencias del sistema, en concordancia con lo señalado por García (2011).

La rutina de mantenimiento preventivo suele incluir el desmontaje, la reparación o cambio de componentes defectuosos, el montaje y las pruebas de verificación del sistema. Sin embargo se deben considerar las opciones que permitan la repotenciación técnica mediante la introducción de nuevas tecnologías de iluminación pública, que resultan más confiables, económicas, eficientes y amigables con el ambiente.

El método de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM por sus siglas en inglés (Reliability Centred Maintenance) permite la identificación de los fallos potenciales del sistema y sus posibles causas, la clasificación de su criticidad y adopción de las medidas para evitarlos, en consonancia con lo expuesto por Mora (2009).

El método FMECA persigue la identificación de las fallas para su corrección y el establecimiento de medidas preventivas y correctivas. Cuando se logra su aplicación de manera sistemática constituye un procedimiento metodológico de detección de fallos y defectos potenciales con capacidad de incrementar la confiabilidad y calidad del sistema de iluminación pública. Parte del supuesto de la realización de una actividad preventiva con el objetivo de evitar las averías, en concordancia con lo señalado por Gutiérrez (2006).

Conclusiones

A partir del método deductivo se logró argumentar sobre la importancia socioambiental del sistema de iluminación pública, como un requerimiento de seguridad para la movilidad de personas y el transporte, así como las complejidades asociadas con el mantenimiento técnico mediante la integración de métodos básicos, que permiten reducir las interrupciones, limitar el número de fallas, incrementar el tiempo de vida útil de la tecnología, la adopción de alternativas económicas y de perfeccionamiento del sistema con la introducción de equipamientos y componentes de bajo impacto ambiental.

La investigación permitió la realización del diseño y la propuesta de una metodología de mantenimientos compleja, a partir de la integración de los métodos RCM, FMECA y RCA, que ofrece la posibilidad de garantizar los trabajos periódicos de predicción y control integral de fallas en el sistema de alumbrado público, así como la incorporación de nuevas tecnologías ahorradoras de bajo impacto ambiental.



Una de las principales limitaciones consiste en el débil conocimiento que posee personal técnico y especialistas sobre los diferentes métodos de mantenimiento del alumbrado público y su posible integración metodológica, para garantizar la confiabilidad y calidad adecuada del sistema, la prolongación de la vida útil de las tecnologías y la incorporación de nuevas tecnologías de bajo impacto ambiental, que se sustenta en la economía operacional y el ahorro de recursos.

La investigación constituye un modesto aporte encaminado a la profundización del conocimiento relacionado con la metodología para el mantenimiento técnico del sistema de iluminación pública, como una solución integrada para la reducción de las fallas técnicas y la introducción de alternativas ahorradoras de bajo impacto ambiental.

Como proyecto inmediato se pretende proponer la introducción práctica de la metodología de control para la gestión de mantenimiento de alumbrado público en el cantón Machala, que permita la elevación de la confiabilidad, calidad y economía del sistema, mediante la aplicación de procedimientos técnicos integrados y la incorporación de nuevas tecnologías ahorradoras de bajo impacto ambiental, que posibiliten el incremento de la movilidad segura de las personas, el transporte y la elevación de la imagen social del territorio.

Referencias bibliográficas

- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables [Arconel]. (2015). Tercer Suplemento del Registro Oficial No.418 , 16 de Enero 2015 Normativa: Vigente Última Reforma: Cuarto Suplemento del Registro Oficial 452, 14-V-2021, de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía eléctrica. https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/11/14_Ley_Organica_Servicio_Publico_Energia_Electrica.pdf.
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables [Arconel]. (2017). Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica. Registro Oficial N° 162. <https://vlex.ec/vid/arconel-005-18-expidese-766576301>
- Alcívar-Centeno, J. R., Loor-Chalar, W. R., Vargas-Quiñonez, H. J., Quiñónez-Guagua, E. F., & Gresely-Santi, F. A. (2023). Análisis del sistema de alumbrado público de tipo sodio, mercurio y led con paneles fotovoltaicos. *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*, 3(1), 333-341. <https://tech.iberojournals.com/index.php/IBEROTECS/article/view/606>.
- Alfonzo, D. E. C. P. L. Mariño, S. I., y Godoy, M. V. (2015). Mantenimiento correctivo aplicado a un sitio basado en Joomla. Una propuesta centrada en la accesibilidad. *Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software*, 3(2), 101-107.



<https://revistas.unla.edu.ar/software/article/view/673>.

- Álvarez, O. G., y Mendia, L. P. (2023). Gestión inteligente de un sistema de iluminación exterior para eficiencia energética. [Tesis de grado]. Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26522>.
- Barragán, C. C., Contreras, K. L., y Estévez, H. (2022). Proyecto de Eficiencia Energética, Modernización Alumbrado Público de Mosquera Cundinamarca. [Tesis de grado]. Universidad Piloto de Colombia. <https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/11587>.
- Bonilla, W. A. (2022). Diseño de la red de medio, bajo voltaje y sistema de iluminación pública para el polideportivo de la parroquia el Dorado, del cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana. [Tesis de grado]. Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23290>.
- Calle, L. I., y Pucha, A. F. (2017). Gestión de mantenimiento para el alumbrado público del centro urbano de la ciudad de Cuenca. [Tesis de grado]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14866/1/UPS-CT007>.
- Cerdán, C. E. (2020). Diseño de las herramientas lean service para reducir los tiempos de mantenimiento correctivo y preventivo, en el taller de la empresa COANSA del Perú Ingenieros. [Tesis de licenciatura]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/23774>.
- Cueva, M. A., y Rojas, C. (2021). Sistema de alumbrado público en Pucallpa: diagnóstico y propuesta de mejoramiento. [Tesis de maestría]. ESAN Pucallpa Perú. https://qasrepositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/2392/2021_RET-MBA_14-1_01_R.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- García, C. E. (2011). Manual de procedimientos correctivos y preventivos de luminarias tipo exterior para bombillas Hid de sodio y halogenuros metálicos utilizadas en alumbrado público. [Tesis de grado]. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://repositorio.utp.edu.co/items/bfba3c07-c20c-4f51-b9f0-373e7056d4bd>.
- García, O. (2005). El Análisis Causa Raíz, estrategia de Confiabilidad Operacional. [Tesis de grado]. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia León, Gto. México. <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/1275/RED-54.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=es%20el%20RCFA%3F-,Qu%C3%A9%20es%20el%20RCFA%3F,conducen%20a%20las%20causas%20originales>
- González, D. X. (2022). Diseño eficiente de un sistema de alumbrado público y ornamental para el parque recreacional en la comunidad Pindo Rumiayacu. [Tesis de grado]. Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22579>.



- Guamán, K. A., Hernández, E. L., y Lloay, S. I. (2021). El proyecto de investigación: la metodología de la investigación científica o jurídica. *Conrado*, 17(81), 163-168. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1990-86442021000400163&script=sci_arttext&tlng=en.
- Gutiérrez, A. Castillo, A. Gómez, J. M. Gutiérrez, J. M.; y García-Cabot, A. (2013). Eficiencia energética del alumbrado exterior en España. *Actas del I Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-eficientes*. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/39509/19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Gutierrez, E. (2006). Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de bombeo del grupo GEMI basado en el análisis FMECA y en mediciones CMD. [Tesis de grado]. Universidad EAFIT Medellín Colombia. <https://core.ac.uk/download/pdf/47245269.pdf>.
- Jima, A. F. (2022). Análisis multicriterio para el diseño óptimo de alumbrado público con restricciones de eficiencia, costos y calidad de la iluminación. [Tesis de grado]. Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21880>.
- Labán, J. H. (2018). Análisis, diseño y selección de alternativas de iluminación para alumbrado público con nuevas tecnologías. [Tesis de grado]. Universidad Tecnológica de Perú. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/972>.
- Martínez, H. J. (2020). Procedimiento para diseñar un sistema de iluminación vial basado en normativa nacional y extranjera. Caso Aplicativo: Avenida Vice-Piura. [Tesis de grado]. Universidad del Piura Perú. <https://pirhua.udep.edu.pe/items/25fb8051-5c5a-4844-9827-e054c1df50ce>.
- Mora, A. (2009) Mantenimiento planeación, ejecución y control. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. México D.F. https://web.instipp.edu.ec/Libreria/libro/Libro_Mantenimiento_ed_1.pdf.
- Murillo, H. R., Galvis, I. A. A., y Huertas, A. G. G. (2019). Sistema de Monitoreo Para una Lámpara de Alumbrado Público. *Tecciencia*, 14(27), 33-43. <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA685492551&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=19093667&p=IFME&sw=w>.
- Pachucho, K. E. (2020). Propuesta de un método para la determinación y repartición de costos por servicio de alumbrado público. [Tesis de grado]. Universidad Técnica de Cotopaxi: UTC. Latacunga Ecuador. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7890>.
- Palmero, S. (2021). La enseñanza del componente gramatical: el método deductivo e inductivo. Tesis de maestría. Universidad de la Laguna. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/23240>.
- Primero, D. F., Díaz, J. C., García, L. F., y González-Vargas, A. (2015). Manual para la

- gestión del mantenimiento correctivo de equipos biomédicos en la fundación valle del Lili. Revista Ingeniería Biomédica, 9(18), 81-87. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-97622015000200021&script=sci_arttext
- Ramírez Murillo, H., Arias, A., y Garzón, A. (2019). Sistema de Monitoreo de una Luminaria de Alumbrado Público. Tecciencia, 14 (27). <https://doi.org/10.18180/tecciencia.2019.27.4>.
- Rodríguez, M. Vázquez, A. Saltos, W. M., y Guardarrama, J. R. (2017). El Potencial Solar y la Generación Distribuida en la provincia de Manabí en el Ecuador. Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721, 2(2), 41-45. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/1143>.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2020). Reglamento Técnico Ecuatoriano Rte INEN 069 Alumbrado Público. <https://es.scribd.com/document/451427192/REGLAMENTO-TECNICO-ECUATORIANO-RTE-INEN-069-ALUMBRADO-PUBLICO>
- Valladolid, M. N., y Chávez, L. M. N. (2020). El enfoque cualitativo en la investigación jurídica, proyecto de investigación cualitativa y seminario de tesis. Vox juris, 38(2), 69-90. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7628480>.
- Vázquez-Pérez, A. (2022). El manejo de fuentes renovables de energía para el desarrollo local endógeno y sostenible en la provincia de Manabí. Tesis doctoral. Universidad de Alicante, España. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/129052>



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

