

Análisis del sistema de alumbrado público de tipo sodio, mercurio y led con paneles fotovoltaicos

Analysis of the sodium, mercury and led street lighting system with photovoltaic panels

Jefferson Rafael Alcívar-Centeno
jefferson.centeno@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6039-9517>
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de
Esmeraldas, Ecuador

Wilson Reinaldo Loor-Chalar
wilson.loor@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-9340-0551>
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de
Esmeraldas, Ecuador

Hiltan Jordán Vargas-Quiróñez
hiltan.vargas@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3487-9968>
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de
Esmeraldas, Ecuador

Edson Francisco Quiróñez-Guagua
edson.quironez.guagua@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9209-4160>
Universidad Técnica Luis Vargas Torres
de Esmeraldas, Ecuador

Francisco Abel Gresely-Santi
francisco.gresely@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0684-2121>
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de
Esmeraldas, Ecuador

RESUMEN

El artículo trata sobre la comparación entre el alumbrado público de sodio y mercurio versus el uso de tecnología LED en combinación con paneles fotovoltaicos para el suministro de energía. El estudio se enfocó en evaluar los costos de implementación, el consumo de energía, el análisis de la eficiencia energética y la calidad de la iluminación en ambos sistemas. El alumbrado público es una parte esencial de la infraestructura urbana y su correcto funcionamiento es clave para la seguridad y el bienestar de la población. En los últimos años, se ha observado una tendencia a la sustitución de la iluminación convencional, basada en lámparas de vapor de sodio y mercurio, por tecnologías más eficientes y sostenibles, como la iluminación LED y los paneles solares. Los resultados indican que la combinación de LED y paneles solares ofrece una serie de ventajas en comparación con el alumbrado público convencional, incluyendo una mayor eficiencia energética, una reducción significativa de emisiones de gases de efecto invernadero y una mayor vida útil de las lámparas LED. Se observa que esta tecnología es más rentable a largo plazo, ya que requiere menos mantenimiento y su vida útil es más larga. Sin embargo, se reconoce que la inversión inicial necesaria para la instalación de la tecnología LED con paneles fotovoltaicos es mayor que la inversión inicial necesaria para la instalación de las tecnologías convencionales. Sin embargo, el estudio también señala que el costo y la eficacia de estos sistemas pueden variar según la ubicación geográfica y las condiciones climáticas.

Palabras claves: Alumbrado público, efecto invernadero, eficiencia energética, luminaria, paneles fotovoltaicos

ABSTRACT

The article deals with the comparison between sodium and mercury street lighting versus the use of LED technology in combination with photovoltaic panels for energy supply. The study focused on evaluating implementation costs, energy consumption, energy efficiency analysis and lighting quality in both systems. Street lighting is an essential part of urban infrastructure and its proper functioning is key to the safety and well-being of the population. In recent years, there has been a trend towards replacing conventional lighting, based on sodium vapor and mercury lamps, with more efficient and sustainable technologies, such as LED lighting and solar panels. The results indicate that the combination of LED and solar panels offers a number of advantages compared to conventional street lighting, including higher energy efficiency, a significant reduction in greenhouse gas emissions and a longer life of LED lamps. It is noted that this technology is more cost-effective in the long term, as it requires less maintenance and has a longer lifetime. However, it is recognized that the initial investment required for the installation of LED technology with photovoltaic panels is higher than the initial investment required for the installation of conventional technologies. However, the study also points out that the cost and efficiency of these systems may vary according to geographical location and climatic conditions.

Keywords: Public lighting, greenhouse effect, energy efficiency, lighting, photovoltaic panels.

INTRODUCCIÓN

El alumbrado público es esencial para garantizar el bienestar y la seguridad de la población por la noche. Tradicionalmente, las lámparas de sodio y mercurio se han utilizado mucho en el alumbrado público por su bajo coste y eficiencia energética. Sin embargo, en los últimos años, las luminarias LED han ganado popularidad como alternativa más eficiente y sostenible. En este análisis comparativo se evaluarán las ventajas e inconvenientes de ambas opciones de iluminación. Las lámparas de sodio y mercurio tienen un menor coste inicial cuando se conectan a la red eléctrica, pero presentan un mayor índice de averías y una menor eficiencia energética en comparación con la iluminación LED [1][2][3].

Por otro lado, las luminarias LED mejoran la eficiencia energética del alumbrado público, reducen la huella de carbono y, al estar alimentadas por paneles solares, ofrecen una mayor eficiencia energética y una vida útil más larga. Sin embargo, es importante señalar que las luminarias LED pueden tener un coste inicial más elevado. En consecuencia, es necesario analizar la relación coste-beneficio de cada opción para determinar la viabilidad de implantar luminarias LED con paneles solares en el alumbrado público. Para ello, hay que tener en cuenta varios indicadores [4][5].

Se evalúa el análisis del ahorro económico, que medirá el ahorro conseguido con la implantación de luminarias LED con paneles solares frente a las lámparas de sodio y mercurio conectadas a la red. Esto incluye los costes de instalación, reparación y mantenimiento de las luminarias. Se Examina la calidad de la luz, que medirá el número de lúmenes y la eficiencia luminosa de la iluminación LED en comparación con las lámparas de sodio y mercurio. La calidad de la luz es importante para garantizar la seguridad y el confort de los ciudadanos, evitando el deslumbramiento o la fatiga visual

[6][7][8].

El mantenimiento y la durabilidad, que medirá la frecuencia de mantenimiento de las distintas luminarias, así como la durabilidad de cada tipo de iluminación. La seguridad y continuidad del servicio, es indispensable para medir la capacidad de las diferentes luminarias para su óptimo funcionamiento durante los cortes de suministro eléctrico y su importancia en zonas donde se requiere una iluminación constante para garantizar la seguridad ciudadana. Por último, se evaluará el impacto medioambiental de las luminarias. Las lámparas de sodio y mercurio liberan sustancias contaminantes, mientras que las luminarias LED alimentadas por energía solar reducen su impacto ambiental y son más sostenibles [9][10][11].

Teniendo en cuenta estos indicadores, será posible realizar un análisis exhaustivo y comparativo de la eficiencia energética de las luminarias LED con paneles solares en comparación con las lámparas de sodio y mercurio conectadas a la red. Esta información será valiosa para los responsables de la toma de decisiones y los expertos en energía que busquen implantar soluciones eficientes y sostenibles en el alumbrado público [12][13].

BASES TEÓRICAS

El alumbrado público es un aspecto clave de la infraestructura urbana y ha sido objeto de constantes innovaciones tecnológicas para mejorar su eficiencia y reducir los costos energéticos y de mantenimiento [14] [15]. El alumbrado público tradicional se basa en tecnologías que utilizan lámparas de vapor de sodio o mercurio de alta presión, que emiten luz mediante la excitación de gases. A pesar de ser efectivas para iluminar grandes áreas, estas tecnologías presentan algunas desventajas, tales como la baja eficiencia energética y la emisión de radiación ultravioleta que puede ser dañina para la salud y el medio ambiente [16].

En los últimos años, se ha producido una revolución en el ámbito del alumbrado público gracias a la aparición de tecnologías LED (Light Emitting Diode). Los sistemas de iluminación LED son más eficientes, consumen menos energía y tienen una vida útil más larga que los sistemas convencionales de alumbrado público [17]. Los paneles fotovoltaicos se están utilizando cada vez más para proporcionar energía a las luces LED en el alumbrado público, lo que reduce la dependencia de la red eléctrica y reduce la huella de carbono. Además, los paneles fotovoltaicos pueden proporcionar energía de respaldo durante apagones y emergencias [18]. La tecnología LED ha experimentado una gran evolución en los últimos años, permitiendo una mayor eficiencia, una reducción del consumo de energía y una mayor durabilidad [5]. Además, los sistemas de iluminación LED son más flexibles y pueden ser ajustados según las necesidades de la iluminación pública, lo que reduce el consumo de energía y los costos de mantenimiento [19][20].

Alumbrado Publico

Da a conocer sobre el sistema de iluminación pública en Brasil y la posible transición hacia el uso de tecnología LED de alta luminosidad (HB-LED) como alternativa a las lámparas de sodio de alta presión (HPS) y lámparas de descarga de alta intensidad (HID) utilizadas actualmente. Se menciona que la tecnología LED ofrece beneficios en términos de eficiencia energética y ambiental, ya que permite ahorrar energía y no utiliza elementos químicos perjudiciales como el mercurio presente en las lámparas HID. Sin embargo, también se reconoce que el costo de implementar un sistema de iluminación pública con tecnología LED es un factor importante a considerar. Presenta un estudio de caso que compara el uso de lámparas HPS y LED en un sistema de iluminación pública de carretera, analizando diferentes Soluciones de tecnología LED disponibles en el mercado brasileño. El objetivo es determinar si es viable y beneficioso desde una perspectiva económica y ambiental realizar la transición hacia el uso de tecnología LED en la iluminación pública en Brasil [21].

El nexo energía-clima-salud en la planificación energética: un estudio de caso en Brasil, la cual se discute los desafíos que plantea la creciente demanda mundial de energía, incluyendo el aumento de las emisiones de CO₂ y su impacto negativo en el clima y la salud. Se sugiere que la descarbonización del sector eléctrico y el aumento de la generación de energía a partir de fuentes renovables son necesarios para satisfacer la creciente demanda de energía al mismo tiempo que se disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes del aire. El estudio se enfoca en el noreste de Brasil y explora la relación entre energía, clima y salud en la planificación energética, destacando la importancia de tener en cuenta los costos ambientales y de salud en la planificación energética. Los hallazgos enfatizan los compromisos entre el capital de infraestructura y los gastos operativos, y los impactos en el clima y la salud [22].

Impacto de las fluctuaciones de potencia en las variaciones de voltaje para redes de distribución remotas con alta penetración de PV. Se aborda el aumento dramático de la generación de energía fotovoltaica (PV) en las redes de distribución, especialmente en áreas remotas debido al bajo costo de la tecnología PV y los incentivos gubernamentales. Sin embargo, estas redes de distribución en áreas remotas son tradicionalmente débiles, lo que hace que la gestión de redes con alta penetración de PV sea un desafío. El principal problema identificado por estudios anteriores es el problema de voltaje causado por la integración de la energía PV. En la integración de PV a nivel residencial, el flujo de energía inversa puede provocar problemas de sobretensión. A nivel de plantas de PV a gran escala, hay un acuerdo de conexión que especifica el

rango de variación de voltaje. En las redes de distribución, la variación de carga y la fluctuación de la potencia PV son los dos factores principales que afectan al voltaje. Sin embargo, la mayoría de los estudios anteriores solo han investigado el impacto de la fluctuación de la potencia PV en la variación del voltaje, y no han considerado el impacto de la variación de carga [23].

Estudio comparativo de la calidad de iluminación y calidad de potencia entre luminarias led y hps en un sistema de iluminación de carreteras. Se analiza la importancia de la iluminación vial para reducir los accidentes y mejorar la seguridad, al mismo tiempo que se considera la conservación de energía y el impacto ambiental. La literatura cubre varios aspectos relacionados con la iluminación vial, incluido el consumo de energía, la calidad de la iluminación, el rendimiento visual y los tipos de lámparas utilizadas. El texto también destaca las organizaciones responsables del alumbrado público y vial en Tailandia y sus políticas hacia el consumo de energía. La literatura sugiere que la iluminación de las carreteras debe diseñarse para brindar suficientes niveles de luz, uniformidad y contraste objetivo mientras se minimiza el deslumbramiento y la contaminación lumínica/intrusión. El objetivo es determinar si es factible reemplazar las luminarias HPS con luminarias LED para mejorar la calidad de la iluminación, ahorrar energía, mejorar la calidad de la energía y cumplir con los objetivos de inversión. El estudio evaluó la calidad de la iluminación, los parámetros eléctricos y la rentabilidad de los dos tipos de luminarias. Los resultados indicaron que las luminarias LED son más eficientes en términos de energía y calidad de la energía, mejoran la uniformidad de la iluminación y pueden resultar en ahorros significativos en el costo de la energía a largo plazo. Sin embargo, el alto costo inicial de las luminarias LED puede ser una barrera para la adopción. El período de retorno de la inversión para las luminarias LED es de aproximadamente tres años y medio, con una tasa interna de retorno del 30% para un período de vida del proyecto de diez años [24].

Aplicación práctica del sistema fotovoltaico integrado en edificios (BIPV) mediante el uso de módulos fotovoltaicos de película delgada de silicio amorfo transparente. La creciente necesidad de ahorrar energía en el sector de la construcción y cómo los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios (BIPV) pueden ser una solución eficiente y rentable. La investigación se centra en el desarrollo de materiales básicos para el diseño de BIPV utilizando células solares delgadas de silicio amorfo transparente y en la medición de la eficiencia del sistema en términos de generación de energía eléctrica según la intensidad de la insolación. El estudio se llevó a cabo en un edificio real en Corea y se utilizó una técnica estadística para analizar y proponer las características de rendimiento de cada parámetro. Se discuten las ventajas del uso de células solares delgadas de silicio amorfo transparente en la construcción de edificios y se presenta la simulación computacional como una herramienta útil para la optimización del diseño y el rendimiento del sistema BIPV [25].

Desafíos de seguridad de las redes inteligentes: clasificación por fuentes de amenazas. Las Smart Grids o redes eléctricas inteligentes son sistemas de energía eléctrica que utilizan tecnologías de la información y la comunicación para mejorar la eficiencia, la confiabilidad y la seguridad de la red eléctrica. Estos sistemas permiten la comunicación multidireccional entre los diferentes componentes de la red eléctrica, como medidores, subestaciones, distribuidores, transmisores y generadores, y se basan en la incorporación de procesadores en cada componente de la red, cada uno con un sistema operativo robusto y agentes independientes conectados a sensores inteligentes. Entre las ventajas de las Smart Grids se encuentran la mayor confiabilidad, seguridad y flexibilidad en la distribución de energía, la optimización del tráfico de red, la minimización de tiempos de inactividad y fallas, la reducción de pérdidas de red y la regulación del suministro y la demanda de energía, lo que contribuye a una mayor eficiencia en las operaciones y los servicios de la red eléctrica. Además, las Smart Grids también mejoran la capacidad de respuesta del sistema ante emergencias y proporcionan protección adicional a la infraestructura de energía y los hogares inteligentes [26].

Las propiedades fotofísicas de los difenilbenzenos y su aplicación como emisores azules extremadamente eficientes para dispositivos electroluminiscentes. Los diodos emisores de luz orgánicos (OLED) son una tecnología de pantalla plana que utiliza materiales orgánicos para emitir luz cuando una corriente eléctrica pasa a través de ellos. Los OLED son importantes para la próxima generación de pantallas planas y la iluminación de estado sólido porque son más eficientes energéticamente que las tecnologías de pantalla plana existentes y pueden producir colores más vibrantes y profundos. El principal desafío en la búsqueda de materiales emisores de luz azul eficientes para los OLED es que estos materiales son raros y difíciles de encontrar. Aunque se han descubierto algunos materiales emisores de luz azul eficientes, todavía hay muchos desafíos técnicos que deben superarse para hacer que los OLED sean comerciales. Además, cuando un material emisor de luz azul sirve como emisor anfitrión, la gran banda prohibida frecuentemente provoca una inyección de carga ineficiente desde la capa de transporte de carga adyacente (CTL) y, en consecuencia, provoca emisiones no deseadas de CTL, lo que dificulta el rendimiento del dispositivo [27].

Diodos emisores de luz brillantes y eficientes basados en nanocristales de perovskita de doble catión MA/Cs. Se analiza el potencial de los materiales de perovskita de haluros organometálicos para su uso en aplicaciones electrónicas y optoelectrónicas, como sistemas fotovoltaicos, fotodetectores y diodos emisores de luz (LED). El artículo analiza las ventajas de estos materiales, como los procesos de síntesis a baja temperatura, las bandas prohibidas sintonizables y las propiedades optoelectrónicas superiores. Los autores también exploran el potencial del uso de materiales de perovskita de tamaño nanométrico para mejorar el rendimiento de los PeLED (LED de perovskita), con varios estudios recientes que logran altas

EQE (eficiencias cuánticas externas). Luego, los autores informan sobre su propio estudio, que exploró el uso del dopaje de cationes Cs en nanocristales de perovskita basados en MA para optimizar las propiedades ópticas y electrónicas y lograr LED de perovskita brillantes y eficientes basados en los NC de perovskita MA1-xCsxPbBr3 de cationes mixtos resultantes. Los nanocristales de perovskita optimizados alcanzaron una luminancia máxima de 24 500 cd/m² [28].

Contaminación Lumínica Y Alumbrado Exterior Inteligente. La iluminación exterior inteligente es una de las soluciones clave para abordar la contaminación lumínica en las ciudades inteligentes. Implica el uso de tecnologías avanzadas como sensores, temporizadores y luces LED de bajo consumo para reducir el consumo de energía, minimizar la contaminación lumínica y mejorar la calidad de la iluminación. Mediante el uso de iluminación exterior inteligente, las ciudades pueden ahorrar energía y reducir su huella de carbono, al mismo tiempo que proporcionan una iluminación adecuada para los ciudadanos y reducen los efectos nocivos de la contaminación lumínica en el medio ambiente y la salud humana. La urbanización y la contaminación lumínica son desafíos importantes para la sostenibilidad de la sociedad, y las ciudades inteligentes ofrecen una solución prometedora. Al integrar tecnologías innovadoras, toma de decisiones basada en datos y prácticas sostenibles, las ciudades inteligentes pueden mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, promover el crecimiento económico y proteger el medio ambiente. La iluminación exterior inteligente es uno de los muchos ejemplos de cómo las ciudades inteligentes pueden abordar desafíos específicos y crear un futuro más habitable y sostenible para todos [29].

El estudio para ahorrar energía y optimización del diseño del disipador de calor de las luces led de calle. Se analiza el uso de diodos emisores de luz (LED) en el alumbrado público y los desafíos asociados con su diseño, incluidos los problemas de disipación de calor causados por la alta potencia, la legislación relacionada con la iluminación, los mecanismos y el diseño óptico de las fuentes de luz, el nuevo requisito para ahorro de energía y precios altos. El artículo destaca la importancia de diseñar un sistema de disipación de calor de bajo costo y alta eficiencia para promover las aplicaciones de LED y lograr el objetivo de reducir el consumo de energía y las emisiones de carbono. La temperatura de unión de la luz LED es inversamente proporcional a la eficiencia de la salida de luz y la vida útil, y que el diseño de los disipadores de calor de las aletas es vital para mejorar la eficiencia de la salida de luz y la extensión de la vida útil [30].

Los impactos ecológicos de la contaminación lumínica nocturna: una evaluación Mecanística. El mundo biológico está organizado en gran medida por la luz natural, que sigue un ciclo regular de día y noche y una variación estacional, y que proporciona señales ambientales confiables para los procesos ecológicos y evolutivos. La iluminación artificial, especialmente la eléctrica, ha interrumpido estos ciclos naturales de luz y oscuridad, y se ha convertido en una presión ambiental novedosa que cambia la distribución espacial, temporal y espectral de las fuentes de luz artificial. La invasión de la luz artificial en los refugios oscuros afecta negativamente a la ecología y la evolución de los organismos, y tiene consecuencias perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente [31][32].

Sistemas fotovoltaicos conectados a red: estabilidad en los parámetros de la red y sus efectos en la capacidad de generación. Se presenta información sobre los sistemas de generación fotovoltaica acoplados a red (SFCR) y su uso como alternativa de generación de energía eléctrica renovable y limpia. Además, se mencionan las leyes y programas de incentivos que han promovido su uso en diferentes países, incluyendo Argentina. También se destacan las ventajas de la generación distribuida con SFCR y la instalación de un sistema demostrativo de 525 Wp en la ciudad de Corrientes, Argentina [33]. En resumen, el texto se enfoca en la implementación y el impacto de la GD utilizando SFCR en las redes de BT de la ciudad de Corrientes, Argentina, y presenta información relevante sobre el tema [34].

Revisión de micro redes renovables de bajo voltaje: pronóstico de generación y estrategias de gestión de la demanda del lado del consumidor. Las micro redes (MG) de baja tensión que utilizan fuentes de energía renovable, como paneles solares fotovoltaicos, turbinas eólicas y generadores de calor y energía. Estas microredes también utilizan sistemas de gestión de energía (EMS) que les permiten integrarse adecuadamente con las tecnologías de energía renovable y los sistemas de almacenamiento de energía (ESS) [35]. Las microredes pueden operar en dos modos: conectadas a la red y desconectadas de ella, y las cargas eléctricas típicas de una microred incluyen sistemas de iluminación, aire acondicionado y calefacción, electrodomésticos, cargadores de vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía. La implementación de microredes permite una mayor eficiencia en el control y la gestión del consumo de energía por parte de los usuarios finales y los administradores de la red eléctrica. El artículo también analiza varios estudios de caso de microredes implementadas en redes de distribución de baja tensión [36] [37].

RESULTADOS

Las formas y tecnologías de alumbrado público son muchas, actualmente se emplean lámparas de tecnología SAP (Lámparas de vapor de sodio de alta presión), luminarias LED y MCC (Vapor de mercurio). A continuación, hablaremos de cada una de ellas.

Alumbrado Público LED Alimentada con Paneles Solares

Como sabemos un led (light emitting Diode – diodo emisor de luz) es un dispositivo semiconductor que emite luz con diferentes longitudes de onda cuando se polariza de forma directa, circulando así corriente eléctrica por el elemento. En su aplicación con la generación eléctrica mediante energía solar para iluminación con lámparas LED, se han realizado muchos proyectos internacionales de alumbrados públicos con luminarias LED y energía solar fotovoltaica, la mayoría de estos proyectos se han destinado a la iluminación de sitios de recreación, parques y accesos viales.

El alumbrado público LED ofrece muchas ventajas. Es sostenible y rentable porque dura más y consume menos energía con respecto a sus equivalentes convencionales, como las luces incandescentes, halógenas o fluorescentes. El alumbrado público LED puede ayudar a las ciudades a volverse más sostenibles al reducir su huella de carbono, gracias a un menor consumo de energía. Además, los sistemas de iluminación LED pueden integrarse con las tecnologías inteligentes para reducir costes, ahorrar energía, y hacer que la infraestructura del alumbrado público sea más versátil, flexible y eficiente.

Una de sus ventajas es que consume menos energía y en este sentido, genera menos emisiones que sus equivalentes convencionales. Los productos de iluminación LED duran más que las luces convencionales. En concreto, las bombillas LED duran de tres a cinco veces más que las luces fluorescentes y 30 veces más que las incandescentes. Presenta alta reproducción cromática es capaz de simular la de la luz natural y presentar los colores de forma más realista. Esto ayuda a los conductores y peatones a identificar mejor los objetos durante la noche, mejorando la seguridad del tráfico y las condiciones de la carretera.

Las lámparas incandescentes necesitan de 0,1 a 0,2 segundos para encenderse. Las lámparas de descarga de gas, como las de sodio de alta presión y las de halogenuros metálicos, tardan un lapso de tiempo que va desde decenas de segundos a 10 minutos para que se dé una salida de luz estable. Además, una vez apagadas, tardan de 3 a 6 minutos en enfriarse antes de volver a reiniciarse. En cambio, las luces LED solo tardan decenas de nanosegundos en encenderse; además, no se requiere un tiempo de espera para reiniciarse, y pueden funcionar normalmente en un estado continuo de encendido y apagado. Si se integran paneles solares como alimentación de las luminarias leds se evitaría conectarla a la red eléctrica, esta reduciría el impacto ambiental y tendría una vida útil más larga.

Lámpara de Vapor de Sodio

La lámpara de vapor de sodio es un tipo de lámpara de descarga de gas que usa vapor de sodio para producir luz. Son una de las fuentes de iluminación actuales más eficientes, ya que proporcionan gran cantidad de lúmenes por vatio. El color de la luz que producen es amarillo brillante.

Entre los tipos, estos se dividen en dos:

- Vapor de sodio a baja presión (SBP): la lámpara de vapor de sodio a baja presión es la más eficiente, ya que genera más de 200 lum/W. En cambio, la reproducción cromática es muy pobre.
- Vapor de sodio a alta presión (SAP): la lámpara de vapor de sodio a alta presión es una de las más utilizadas en el alumbrado público ya que proporciona una reproducción de los colores considerablemente mejor que la anterior, aunque no tanto como para iluminar algo que requiera excelente reproducción cromática. Por el contrario, su rendimiento, es algo menor que la de SBP, por encima de los 100 lum/W.

El foco de vapor de sodio se caracteriza por su estructura, este compuesto de un tubo de descarga de cerámica traslúcida, esto con el fin de soportar la alta corrosión del sodio y las altas temperaturas que se generan, en las extremas tiene dos electrodos que suministra la tensión eléctrica necesaria para que el vapor de sodio encienda.

Para operar estas lámparas se requiere de un balasto y un arrancador, generalmente se le agrega un capacitor, pero su función es únicamente mejorar el Factor de potencia o Coseno de Φ del conjunto pudiendo descartarse el mismo con el consiguiente aumento de la Potencia aparente (esto lo veríamos midiendo con una Pinza voltiamperométrica).

Para su encendido requiere alrededor de 4-6 minutos y para el reencendido de 4-5 minutos. El tiempo de vida de estas lámparas es muy largo ya que ronda las 24 000 horas y su rendimiento está entre 80 y 150 lum/W las de SAP y entre 135 y 200 lum/W las SBP.

Usos:

- Si bien son de elevado rendimiento luminoso, el hecho de tener una luz monocromática hace que sus aplicaciones se vean reducidas.
- Se usa preferentemente en alumbrado urbano Vial: calles y avenidas urbanas; accesos y salidas de grandes ciudades; carreteras y autopistas; túneles urbanos y de carretera; depósitos y almacenes; garajes de camiones; etc.

Lámpara de Vapor de Mercurio

Las lámparas de vapor de mercurio de alta presión consisten en un tubo de descarga de cuarzo relleno de vapor de

mercurio, el cual tiene dos electrodos principales y uno auxiliar para facilitar el arranque. La luz que emite es color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se acostumbra añadir sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara, aunque también están disponibles las bombillas completamente transparentes las cuales iluminan bien en zonas donde no se requiera estrictamente una exacta reproducción de los colores. Una de las características de estas lámparas es que tienen una vida útil muy larga, ya que rinde las 25000 horas de vida, aunque la depreciación lumínica es considerable. En cambio, su rotura libera vapor de mercurio que incrementa el riesgo de envenenamiento por mercurio.

El Ecuador se presenta como una nación en proceso hacia la eficiencia energética, incluyéndose dentro de este proceso la iluminación pública, por lo que, en una primera fase, la inversión inicial resultaría significativa para que las luminarias con tecnologías LED logren introducirse en el alumbrado público y así elevar la eficiencia de ese sistema. Con base a lo mencionado, es necesario recalcar que en el país el sistema de alumbrado público registra un 6% del consumo eléctrico nacional, el cual se encuentra bajo un régimen estatal, en el cual se especifica las condiciones técnicas, económicas, y financieras que las empresas distribuidoras de energía eléctrica deben cumplir para que logren prestar el servicio de alumbrado público con mejor calidad y alta eficiencia.

En la tabla 1 se describen los aspectos más importantes entre las luminarias de base sodio, base mercurio y las luminarias LED con paneles fotovoltaicos para alumbrado público. Esta información nos permite evaluar de manera objetiva las fortalezas y debilidades de cada opción en términos de eficiencia energética, vida útil, consumo de energía, calidad de la luz, contaminación lumínica, impacto ambiental y otros aspectos fundamentales de estas luminarias.

En primer lugar, desde el punto de vista de la eficiencia energética, las lámparas de sodio y mercurio son menos eficientes que la iluminación LED con paneles fotovoltaicos. Con las luces LED, la conversión de energía eléctrica en luz es más eficiente, lo que lleva a un menor consumo de energía y menores costos operativos a largo plazo. En términos de vida útil, la iluminación LED con paneles solares tiene una vida útil significativamente más larga en comparación con las lámparas de sodio y mercurio. Esto significa menos reemplazos, menores costos de mantenimiento y una iluminación más confiable en áreas públicas. La iluminación LED con paneles fotovoltaicos ofrece claras ventajas en cuanto al consumo energético. Debido a su alta eficiencia energética, consumen menos energía que las lámparas que usan sodio o mercurio, lo que reduce los recursos energéticos y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.

En cuanto a la calidad de iluminación, las luces LED proporcionan una luz más brillante y nítida en comparación con las lámparas de sodio y mercurio. La tecnología LED permite una reproducción cromática más precisa, mejora la visibilidad y la percepción visual en los espacios públicos y contribuye a la seguridad y comodidad de los ciudadanos. La contaminación lumínica es un aspecto importante a considerar cuando se trata de alumbrado público. Las luces LED con paneles fotovoltaicos tienen la capacidad de enfocar e iluminar la luz con mayor precisión, lo que reduce las fugas de luz no deseadas y la entrada de luz al ambiente. Esto reduce la contaminación lumínica y proporciona una mejor protección del cielo nocturno.

En términos de impacto ambiental, la iluminación LED con paneles fotovoltaicos es más sostenible que las lámparas de sodio y mercurio. Las luminarias LED no contiene sustancias nocivas como el mercurio y es energéticamente eficiente, lo que contribuye a una reducción significativa de las emisiones de CO₂. Además, el uso de paneles fotovoltaicos como fuente de energía renovable minimiza la dependencia de fuentes de energía no renovables.

Tabla I. Comparación entre los tipos de alumbrado público

Criterio	Lámparas de Sodio	Lámparas de Mercurio	Luminaria LED con Paneles fotovoltaicos
Eficiencia e Energética	Moderada	Baja	Alta
Vida Útil	20.000 horas	12.000 horas	50.000 horas
Consumo de energía	Elevado	Moderado	Bajos
Calidad de la Iluminación	Amarillenta	Blanco azulado	Blanco brillante
Contaminación Lumínica	Alta	Moderada	Baja
Impacto Ambiental	Contiene sodio y gas de xenón	Contiene mercurio	Libre de sustancias tóxicas
Mantenimiento	Frecuente	Frecuente	Menos frecuentes
Costo Inicial	Bajos	Moderado	Alto
Costo a Largo Plazo	Elevado	Moderado	Bajos
Adaptabilidad	Alta	Limitada	Alta
Impacto en la Salud	Potencialmente nocivo	Potencialmente nocivo	Sin radiación UV ni IR

Tabla II. Comparación de los tipos de alumbrado público por unidad

Tipo de Lámpara	Lámpara de Sodio	Lámpara de Mercurio	Luminarias LED con paneles fotovoltaicos
Potencia Eléctrica (W)	150	120	80
Consumo Eléctrico Mensual (kWh)	54	43.2	28.8
Tiempo de Mantenimiento preventivo (horas/año)	4.5	9	2.25
Ahorro Económico Medio Mensual (\$)	\$30	\$25	\$35

Es importante señalar que estos valores son aproximados y pueden variar para cada tipo de lámpara, modelo y fabricante. Sin embargo, esta tabla proporciona una visión general de las diferencias en rendimiento, consumo de energía, tiempo de mantenimiento hora por año y ahorro económico mensual entre las tres opciones de alumbrado público.

Como puede ver, las lámparas de sodio tienen una salida eléctrica más alta que las lámparas de mercurio y LED. Esto se debe a las diferencias en la tecnología y el mecanismo de emisión de luz de cada tipo de lámpara.

En términos de consumo de energía mensual, las lámparas de sodio consumen más que las lámparas de mercurio y las lámparas LED. Esto se debe a que requiere mayor potencia para su funcionamiento y a la eficiencia energética de cada tecnología. Las lámparas de LED son conocidas por su alta eficiencia energética, lo que les permite consumir menos electricidad para producir una cantidad similar de luz.

En cuanto al tiempo de mantenimiento, las lámparas de sodio y mercurio requieren un tiempo de mantenimiento preventivo anual por 3 y 6 meses, para alargar el tiempo de vida de las mismas, ya que ambos tipos de lámparas pueden experimentar fallas y requieren reemplazos periódicos. Por otro lado, las luminarias LED con paneles fotovoltaicos tienen una vida útil más larga y requieren menos mantenimiento en comparación con las lámparas de sodio y mercurio. Esto se debe a la durabilidad y confiabilidad de la tecnología LED y a los demás componentes del sistema fotovoltaico.

En términos de ahorro económico promedio mensual, la iluminación LED ofrece un ahorro significativo, gracias a que su alimentación de energía eléctrica es renovable mediante paneles fotovoltaicos, en comparación con las lámparas de sodio y mercurio. Su bajo consumo de energía y su larga vida útil reducen los costos de operación y mantenimiento a largo plazo.

CONCLUSIONES

La adopción de luminarias LED en el alumbrado público alimentadas por paneles solares puede ser una opción viable y sostenible para reducir el consumo energético y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, el uso de paneles solares puede contribuir a una mayor independencia energética y a la disminución de la dependencia de combustibles fósiles.

A pesar de que las luminarias LED tienen un costo inicial más elevado que las lámparas de sodio o de mercurio, a largo plazo se pueden obtener ahorros significativos debido a su menor consumo energético y su mayor vida útil. Por lo tanto, la inversión en luminarias LED podría ser rentable para las autoridades encargadas del alumbrado público. Además, cuenta con una durabilidad superior en comparación con otros tipos de luminarias existentes, porque su tiempo de vida útil es mayor a las 50000 horas, además su luminancia es mejor que de las otras luminarias, ya que permite una óptima visión para nosotros los usuarios.

Es importante tener en cuenta que la eficacia de las luminarias LED puede variar dependiendo del clima, la ubicación geográfica y las condiciones de uso. Por lo tanto, se debe realizar un análisis detallado de la situación específica antes de tomar una decisión sobre la adopción de luminarias LED.

Aunque las lámparas de sodio y mercurio tienen una menor eficiencia energética en comparación con las luminarias LED, todavía son ampliamente utilizadas en países en desarrollo debido a su menor costo. Por lo tanto, se debe trabajar en estrategias para facilitar el acceso a tecnologías más eficientes y sostenibles en estos países.

Es necesario llevar a cabo más investigaciones y estudios comparativos para determinar con mayor precisión las diferencias en eficacia, costo y sostenibilidad entre las distintas opciones de alumbrado público. Además, se deben considerar aspectos como la calidad de la iluminación, la seguridad y el impacto en la fauna y flora local antes de tomar una decisión sobre la adopción de una tecnología de alumbrado público.

RECOMENDACIONES

Mejorar normativas nacionales vigentes, apoyando en incentivando al uso de luminarias con tecnologías nuevas y más eficientes, implementando una administración de ahorro energético, generando incentivos a las empresas de distribución eléctrica y privada. Se debe llevar a cabo nuevas luminarias en general, en donde deben estar en consonancias con las nuevas tecnologías incluyendo sistema de control inteligente para beneficios adicionales, al incluir lámparas LED funcionando con paneles solares.

Se ha analizado que la instalación de alumbrado público, con estas tecnologías se deben implementar, en un lugar despejado y con el ángulo de inclinación adecuado para una mejor recepción de energía solar. Además, se debe tener en cuenta un cronograma de mantenimiento de limpieza a los paneles fotovoltaicos con el objetivo de prolongar su vida útil.

Desde el punto de vista investigativo, es posible ampliar la búsqueda de nuevas tecnologías en la automatización de alumbrado público, para lograr integrar nuevas soluciones o propuestas a los sistemas que existan actualmente sin incurrir en grandes costos de inversiones y buscando siempre la eficiencia energética.

Siendo el alumbrado público un enfoque muy importante dentro de toda la estructura que contempla en estudio de la energía eléctrica no solo al nivel nacional sino al nivel mundial, es importante mencionar la invitación a que se produzcan investigaciones que busquen la eficiencia en este entorno de nuestro país, ya que es un campo poco explorado e implementado en el nivel nacional y puede ser un gran beneficio para la ciudadanía y el medio ambiente.

Antes de elegir un sistema de alumbrado público, es importante evaluar cuidadosamente las necesidades locales. Esto incluye la consideración de factores como la densidad de población, el uso de instalaciones públicas, las necesidades máximas y más. Estos datos le permiten dimensionar adecuadamente el sistema y optimizar su eficiencia.

Al elegir lámparas LED, se recomienda elegir productos eficientes y de alta calidad. Esto proporcionará una vida más larga, una mejor salida de luz y menos degradación. Además, es importante considerar características como la temperatura de color y la reproducción cromática para brindar a los usuarios una iluminación adecuada y cómoda

REFERENCIAS

- [1] Or.) IEEE Power & Energy Society. General Meeting (2018: Portland and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*.
- [2] D. A. Doughty, R. H. Wilson, and E. G. Thaler, "Mercury-Glass Interactions in Fluorescent Lamps," *J Electrochem Soc*, vol. 142, no. 10, pp. 3542–3550, Oct. 1995, doi: 10.1149/1.2050019/META.
- [3] C. Hirayama, K. F. Andrew, and R. L. Kleinosky, "The vapor pressures of sodium and mercury over sodium amalgams at HPS lamp operating temperatures," *Journal of the Illuminating Engineering Society*, vol. 12, no. 2, pp. 66–69, 1983, doi: 10.1080/00994480.1983.10748819.
- [4] P. Aghion, D. Comin, P. Howitt, and I. Tecu, "When does domestic savings matter for economic growth," *IMF Economic Review*, vol. 64, no. 3, pp. 381–407, Dec. 2016, doi: 10.1057/IMFER.2015.41.
- [5] N. F. Watson, "Health care savings: The economic value of diagnostic and therapeutic care for obstructive sleep apnea," *Journal of Clinical Sleep Medicine*, vol. 12, no. 8, pp. 1075–1077, 2016, doi: 10.5664/JCSM.6034.
- [6] L. Tähkämö, R. S. Räsänen, and L. Halonen, "Life cycle cost comparison of high-pressure sodium and light-emitting diode luminaires in street lighting," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 21, no. 2, pp. 137–145, Feb. 2016, doi: 10.1007/S11367-015-1000-X.
- [7] L. Tähkämö, M. Bazzana, P. Ravel, F. Grannec, C. Martinsons, and G. Zissis, "Life cycle assessment of light-emitting diode downlight luminaire - A case study," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 18, no. 5, pp. 1009–1018, Jun. 2013, doi: 10.1007/S11367-012-0542-4.
- [8] H. Honda, A. Ishizaki, R. Soma, K. Hashimoto, and A. Fujishima, "Application of photocatalytic reactions caused by tio2 film to improve the maintenance factor of lighting systems," *Journal of the Illuminating Engineering Society*, vol. 27, no. 1, pp. 42–49, 1998, doi: 10.1080/00994480.1998.10748209.
- [9] J. Casamayor, D. Su, & Z. R.-L. R., and undefined 2018, "Comparative life cycle assessment of LED lighting products," *journals.sagepub.com*, vol. 50, no. 6, pp. 801–826, Oct. 2017, doi: 10.1177/1477153517708597.
- [10] E. L. Stone, A. Wakefield, S. Harris, and G. Jones, "The impacts of new street light technologies: Experimentally testing the effects on bats of changing from lowpressure sodium to white metal halide," *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 370, no. 1667, May 2015, doi: 10.1098/RSTB.2014.0127.
- [11] T. Longcore, A. Rodríguez, B. Witherington, J. F. Penniman, L. Herf, and M. Herf, "Rapid assessment of lamp spectrum to quantify ecological effects of light at night," *J Exp Zool A Ecol Integr Physiol*, vol. 329, no. 8–9, pp. 511–521, Oct. 2018, doi: 10.1002/JEZ.2184.
- [12] J. P. Frier and A. J. Henderson, "Stroboscopic Effect of High Intensity Discharge Lamps," *Journal of the Illuminating Engineering Society*, vol. 3, no. 1, pp. 83–86, Oct. 1973, doi: 10.1080/00994480.1973.10732230.
- [13] P. L. Denbigh, "Effect of sodium/mercury ratio and amalgam temperature on the efficacy of 400 W high-pressure sodium lamps," *Lighting Research & Technology*, vol. 6, no. 2, pp. 62–68, 1974, doi: 10.1177/096032717400600202.
- [14] K. Otani, K. Kawahara, K. Watanabe, and M. Tsuchihashi, "A high pressure sodium lamp with improved color rendition," *Journal of the Illuminating Engineering Society*, vol. 11, no. 4, pp. 231–240, 1982, doi: 10.1080/00994480.1982.10747931.
- [15] A. G. Jack and L. E. Vrenken, "FLUORESCENT LAMPS AND LOW PRESSURE SODIUM LAMPS.," *IEE Proceedings A: Physical Science. Measurement and Instrumentation. Management and Education. Reviews*, vol. 127, no. 3, pp. 149–157, 1980, doi: 10.1049/IP-A-1.1980.0025.

- [16] K. Günther, H. -G Kloss, T. Lehmann, R. Radtke, and F. Serick, "Pulsed Operation of High-Pressure-Sodium Discharge Lamps," *Contributions to Plasma Physics*, vol. 30, no. 6, pp. 715–724, 1990, doi: 10.1002/CTPP.2150300603.
- [17] T. Taguchi, "Present status of energy saving technologies and future prospect in white LED lighting," *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 21–26, 2008, doi: 10.1002/TEE.20228.
- [18] O. O. Bamisile, M. Dagbasi, S. Abbasoglu, © Olusola, O. Bamisile, and O. Olorunfemi Bamisile, "Economic feasibility of replacing sodium vapor and high pressure mercury vapor bulbs with LEDs for street lighting," *Taylor & Francis*, vol. 3, no. 1, pp. 27–31, Jan. 2016, doi: 10.1080/23815639.2016.1201442.
- [19] T. H. Quang Minh, N. H. Khanh Nhan, N. D. Quoc Anh, and H. Y. Lee, "Red-emitting α -SrO:3B2O3:Sm²⁺ phosphor: an innovative application for increasing color quality and luminous flux of remote phosphor white LEDs," *Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A*, vol. 40, no. 4, pp. 313–317, May 2017, doi: 10.1080/02533839.2017.1318720.
- [20] A. Khalil, Z. Rajab, M. Amhammed, A. A.-A. S. Energy, and undefined 2017, "The benefits of the transition from fossil fuel to solar energy in Libya: A street lighting system case study," *Springer*, vol. 53, no. 2, pp. 59–72, Apr. 2017, doi: 10.3103/S0003701X17020086.
- [21] C. R. B. S. Rodrigues, P. S. Almeida, G. M. Soares, J. M. Jorge, D. P. Pinto, and H. A. C. Braga, "An Experimental Comparison Between Different Technologies Arising for Public Lighting: LED Luminaires Replacing High Pressure Sodium Lamps."
- [22] D. B. Howard, R. Soria, J. Thé, R. Schaeffer, and J.-D. Saphores, "The energy-climate-health nexus in energy planning: A case study in Brazil," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 132, p. 110016, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.110016.
- [23] F. Bai, R. Yan, and T. K. Saha, "Impact of Power Fluctuations on Voltage Variations for Remote Distribution Networks with High PV Penetrations," in *2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, IEEE, Aug. 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/PESGM.2018.8586468.
- [24] S. Yoomak, C. Jettanasen, A. Ngaopitakkul, S. Bunjongjit, and M. Leelajindakraierk, "Comparative study of lighting quality and power quality for LED and HPS luminaires in a roadway lighting system," *Energy Build*, vol. 159, pp. 542–557, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.11.060.
- [25] J. H. Yoon, J. Song, and S. J. Lee, "Practical application of building integrated photovoltaic (BIPV) system using transparent amorphous silicon thin-film PV module," *Solar Energy*, vol. 85, no. 5, pp. 723–733, May 2011, doi: 10.1016/j.solener.2010.12.026.
- [26] A. O. Otuozu, M. W. Mustafa, and R. M. Larik, "Smart grids security challenges: Classification by sources of threats," *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 468–483, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.jesit.2018.01.001.
- [27] K.-C. Wu *et al.*, "The Photophysical Properties of Dipyrrenylbenzenes and Their Application as Exceedingly Efficient Blue Emitters for Electroluminescent Devices," *Adv Funct Mater*, vol. 18, no. 1, pp. 67–75, Jan. 2008, doi: 10.1002/adfm.200700803.
- [28] B. Xu *et al.*, "Bright and efficient light-emitting diodes based on MA/Cs double cation perovskite nanocrystals," *J Mater Chem C Mater*, vol. 5, no. 25, pp. 6123–6128, 2017, doi: 10.1039/c7tc01300k.
- [29] Z. KARAGÖZ KÜÇÜK and N. EKREN, "Light Pollution and Smart Outdoor Lighting," *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, Apr. 2021, doi: 10.17694/bajece.874343.
- [30] C.-C. Hsieh and Y.-H. Li, "The Study for Saving Energy and Optimization of LED Street Light Heat Sink Design," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2015, pp. 1–5, 2015, doi: 10.1155/2015/418214.
- [31] K. J. Gaston, J. Bennie, T. W. Davies, and J. Hopkins, "The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal," *Biological Reviews*, vol. 88, no. 4, pp. 912–927, Nov. 2013, doi: 10.1111/brv.12036.
- [32] P. DE La Red Y Sus Efectos En La Capacidad De Generacion, A. Busso, and L. Horacio Vera, "SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED: ESTABILIDAD EN LOS," 2013. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/316461089>
- [33] M. Aybar-Mejía, J. Villanueva, D. Mariano-Hernández, F. Santos, and A. Molina-García, "A Review of Low-Voltage Renewable Microgrids: Generation Forecasting and Demand-Side Management Strategies," *Electronics (Basel)*, vol. 10, no. 17, p. 2093, Aug. 2021, doi: 10.3390/electronics10172093.
- [34] M. N. Bhairi, S. S. Kangle, M. S. Edake, B. S. Madgundi, and V. B. Bhosale, "Design and implementation of smart solar LED street light," in *2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI)*, IEEE, May 2017, pp. 509–512. doi: 10.1109/ICOEI.2017.8300980.
- [35] W. Sutopo, I. S. Mardikaningsih, R. Zakaria, and A. Ali, "A Model to Improve the Implementation Standards of Street Lighting Based on Solar Energy: A Case Study," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 3, p. 630, Feb. 2020, doi: 10.3390/en13030630.
- [36] L. Al-Kurdi, R. Al-Masri, A. A.-S.-Int. J. of T. & Environmental, and undefined 2015, "Economical Investigation of the Feasibility of Utilizing the PV Solar Lighting for Jordanian Streets," *International Journal of Thermal and Environmental Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 79–85, 2015, doi: 10.5383/ijtee.10.01.012.
- [37] S. Pawson, M. B.-E. Applications, and undefined 2014, "LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperature," *Wiley Online Library*, vol. 24, no. 7, pp. 1561–1568, Oct. 2014, doi: 10.1890/14-0468.1.
- [38] Chere-Quiñónez, B. F., Ulloa-de Souza, R. C., & Reyna-Tenorio, L. J. (2022). Tecnología en iluminación domiciliar: paneles fotovoltaicos y energía ecológica. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(7), 111-123.
- [39] García-Tenorio, F. A., Simisterra-Quintero, J. J., Barre-Cedeño, K. N., Bautista-Sánchez, J. V., & Chere-Quiñónez, B. F. (2022). Evaluación técnica, económica y ambiental del cambio del sistema de alumbrado público de la ciudadela Costa Verde-Esmeraldas a tecnología LED. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(7), 245-260.
- [40] Loor Vélez, C. A. ., & Loor Cevallos, M. E. . (2022). Simulación de un sistema de almacenamiento híbrido batería – supercondensadores aplicados en un sistema fotovoltaico. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(6), 73–81. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i6.486>