

Evaluación y propuesta de mejora del alumbrado público con sistemas fotovoltaicos de la avenida lateral de paso en la ciudad de Loja - Ecuador

Evaluation and improvement of public lighting with photovoltaic systems of a side avenue in Loja, Ecuador

Daniel Alexander Patiño Vásquez¹ <https://orcid.org/0000-0002-7286-7872>,
Mario Alejandro Orellana Sánchez¹ <https://orcid.org/0000-0001-8052-5138>, Valeria del Rosario
Herrera Salazar¹ <https://orcid.org/0000-0002-7215-5461>, Juan Carlos Solano Jiménez^{1, 2}
<https://orcid.org/0000-0002-8103-5429>

¹Universidad Nacional de Loja, Facultad de la Energía, Loja, Ecuador
daniel.patino@unl.edu.ec, mario.a.orellana@unl.edu.ec,
vherrera@unl.edu.ec

²Centro de Investigaciones Tecnológicas y Energéticas, (CITE), UNL, Loja, Ecuador
juan.solano@unl.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/09/28

Aceptado: 2022/12/23

Publicado: 2022/12/30

Resumen

El presente trabajo consiste en documentar el estado actual de los sistemas fotovoltaicos que sirven para el alumbrado público y que se encuentran instalados en la Avenida Lateral de Paso Ángel Felicísimo Rojas (Loja-Ecuador). El propósito es identificar las principales causas de su bajo rendimiento durante horas de la noche ya que afecta a la ciudadanía y a la comunidad universitaria debido a que dicha avenida es usada como ruta alternativa que une a varios sectores de la ciudad de Loja. Por otro lado, la agrupación de datos recolectados mediante la aplicación de una encuesta a moradores cercanos a la avenida permitió identificar el grado de satisfacción que tienen referente a las luminarias instaladas. Las principales conclusiones que se tienen del presente proyecto, indican que al emplear los sistemas fotovoltaicos se debe tener en cuenta su constante mantenimiento ya que se encuentran expuestos al aire libre. De la misma manera, se debe considerar bajo qué condiciones medio ambientales trabajan, en este caso es un clima cambiante.

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Evaluación del sistema, Resultados, Discusión y Conclusiones.

Como citar: Patiño, D., Orellana, M., Herrera, V. & Solano, J. (2022). Evaluación y propuesta de mejora del alumbrado público con sistemas fotovoltaicos de la avenida lateral de paso en la ciudad de Loja - Ecuador. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 186-198.

<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/981>

Palabras clave: alumbrado público, sistemas fotovoltaicos, paneles solares, energía solar.

Abstract

This documents the current state of the photovoltaic systems for public lighting in the side avenue of Loja, Ecuador. It aims to identify the principal causes of its low performance during night hours that affects the citizens and the university community since this avenue is an alternative route that links several sectors of Loja city. On the other hand, the grouping of data collected through the application of a survey of residents near the avenue made it possible to identify their degree of satisfaction with the installed lighting. The main conclusions of this study suggest that the constant maintenance of photovoltaic systems must be taken into account when they are exposed to the open air, as well as the environmental conditions under which they work; in this case, they work with a changing climate.

Keywords: street lighting, PV systems, solar panels, solar energy.

Introducción

La iluminación pública tiene un gran impacto en la seguridad de las avenidas, sin embargo, el coste energético que conlleva puede ser alto. Por ello, existen alternativas amigables con el medio ambiente como el uso de paneles solares fotovoltaicos. En el caso de la Avenida Lateral de Paso Ángel Felicísimo Rojas (Loja – Ecuador), al ser un proyecto nuevo construido en el 2015, se vio la posibilidad de implementar esta nueva tecnología y con ello conseguir la iluminación completa de la avenida. La utilización de esta energía resulta viable para escenarios de este estilo, pero requiere de un correcto mantenimiento para que cumplan con su tarea principal que es el alumbrado público en horas de la noche (Alvarado, 2015).

Hoy en día, el funcionamiento de las luminarias fotovoltaicas de la mencionada avenida es deficiente. En este momento presenta en tramos que la iluminación llega a ser inexistente, lo cual puede ser causa de accidentes de tránsito tanto de la ciudadanía en general como de la comunidad universitaria que transita dicha avenida con regularidad. Una iluminación adecuada durante horas nocturnas puede llegar a ser un factor crítico en la seguridad de conductores y peatones al punto de disminuir el nivel de accidentes en un 30% (Beyer & Ker, 2009; Klinjun et al., 2021).

En un principio, el proyecto de iluminación de la avenida contemplaba un total de 600 postes y 1200 luminarias, cada luminaria con su respectiva batería alimentada desde el panel solar. Actualmente, en la avenida existen un total de 587 postes los cuales acumulan 1174 luminarias, de las cuales 948 no son funcionales y solo 116 luminarias se desempeñan correctamente. Esto quiere decir que solo un 9.8% del total de la iluminación de la avenida funciona. Haciendo uso de la tecnología, en este caso de un dron, se pudo recolectar la evidencia suficiente para determinar que el mayor problema que enfrenta la avenida es el mal estado de sus baterías y el precario estado de los paneles fotovoltaicos ya que están expuestos a grandes cantidades de polvo y suciedad en general.

El precio estimado de los sistemas fotovoltaicos instalados a lo largo de toda la avenida es de aproximadamente 2.9 millones de dólares (*Solar Fotovoltaica - Soluciones Técnicas Integrales CIA. LTDA.*, 2015). Debido al poco mantenimiento que recibe, las personas optan por hacer uso de rutas alternas, ocasionando de este modo un incremento notable en el tráfico vehicular en la parte céntrica de la ciudad. Por esta razón, el presente trabajo se enfoca en la detección de los principales problemas que presenta esta avenida en relación al alumbrado

público, con el propósito de entregar un plan de acción en el cual se especifique las posibles soluciones al problema actual de iluminación.

El objetivo del presente trabajo de investigación es describir el estado actual de la avenida. Para la obtención de información se emplearán herramientas como: aplicación de encuestas a moradores cercanos a la avenida, entrevistas, cámaras térmicas, imágenes aéreas y asesoramiento con expertos. Con ello, se espera presentar una serie de propuestas de mejora que puedan servir como fuente de información para la autoridad encargada, en este caso, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) al momento de repotenciar dicho proyecto.

Para el planteamiento de las posibles soluciones se toman en consideración ciertos factores que influyen directa o indirectamente en el sistema fotovoltaico. Entre los factores más influyentes está el polvo, climas cambiantes, poco mantenimiento de los paneles solares, días nublados con poca absorción de rayos solares hacia los paneles solares. Por otro lado, para la selección de nuevos sistemas fotovoltaicos se tuvo presente ciertas características como paneles resistentes y con mayor sensibilidad en la absorción de rayos solares. De la misma manera, se toma en consideración la certificación de su durabilidad y eficiencia al exponerse al polvo y suciedad en general.

Materiales y Métodos

Paneles fotovoltaicos instalados actualmente en la avenida lateral de paso

El proyecto de instalación de luminarias fotovoltaicas fue realizado en el 2015, duró aproximadamente tres meses (mayo-agosto). En un comienzo se instalaron correctamente un total de 600 postes solares de alumbrado público, cada uno de los postes tenían dos paneles fotovoltaicos, cuatro baterías de gel, dos luminarias y reguladores crepusculares.

A continuación, se detalla cada uno de los componentes que fueron tomados en consideración durante la instalación de dicho sistema:

Tabla 1

Componentes utilizados en el sistema de alumbrado público de la avenida lateral de paso

Dispositivo	Cantidad	Característica	Marca	Modelo
Paneles fotovoltaicos	1200	300 W _p	Resun Solar	RS8I550M
Baterías de Gel	2400	200 Ah/12 V _{cc}	JYC	JYC200AH12VDC
Luminarias LVD tipo luna	1200	120 W (2×60W)	GEL	60W×2 de avenidas y carreteras
Reguladores crepusculares	1200	24 V _{cc} /20 A	SRNE	SR-2L2420A

Estado actual de las luminarias

Existen varias causas del problema presente en el sistema de alumbrado público de la avenida, entre estos problemas se puede encontrar, el poco mantenimiento de las luminarias, el polvo, el estado de la avenida, las temperaturas, la inseguridad y fallos en las baterías, tal como se muestra en la Figura 1.

Uno de los principales factores para el mal funcionamiento del sistema de alumbrado público de la avenida es que no se ha tomado ninguna acción frente a la cantidad de polvo, y la suciedad que cubre los paneles solares tal como se muestra en la Figura 2. Está comprobado que las altas temperaturas y la acumulación de polvo puede llegar a afectar el rendimiento de estos sistemas y disminuir la eficiencia de un panel fotovoltaico hasta en un 60% (Garrido Jiménez, 2020; Sulaiman et al., 2014).

Figura 1

Sistemas fotovoltaicos expuestos al polvo



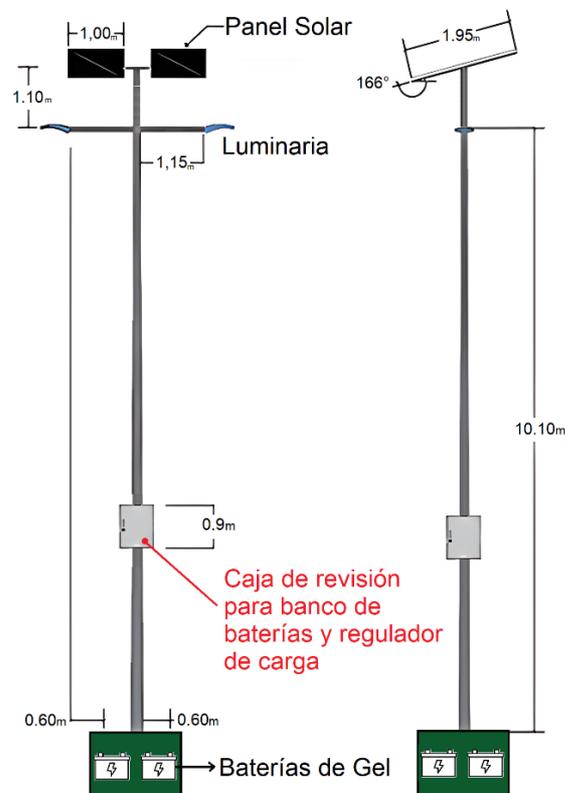
Figura 2

Poste en malas condiciones ubicado en la avenida lateral de paso, producto de la inestabilidad del terreno



Figura 3

Representación gráfica de los paneles fotovoltaicos y baterías presentes en los postes de alumbrado público ubicados a lo largo de la avenida lateral de paso



Así mismo el clima de la región es un aspecto que no beneficia mucho al momento de hablar de la eficiencia energética de las baterías que se encuentran actualmente instaladas. Dichas baterías se encuentran en la zona inferior del poste en un compartimento de hormigón. La disposición no es muy beneficiosa para las baterías, aun cuando las temperaturas de la ciudad de Loja oscilen entre los 23°C y 24°C, la temperatura dentro del compartimento puede llegar hasta los 35°C. Además, producto de las precipitaciones puede llegar a existir humedad lo cual puede acelerar corrosión provocada por el electrolito presente en las baterías (Bertran, 2017; Mosqueda Pérez & others, 2021).

Evaluación del sistema

Dentro del marco de la presente investigación se realizó el levantamiento de información referente al estado actual del sistema de alumbrado público instalado en toda la avenida lateral de paso Ángel Felicísimo Rojas. Del mismo modo se recolectó información del nivel de satisfacción de los moradores cercanos a la avenida, en cuanto al funcionamiento de las luminarias durante horas de la noche.

El estudio del nivel de satisfacción fue llevado a cabo mediante encuestas aplicadas a 115 moradores estratégicamente seleccionados, ellos tienen sus viviendas cercanas a la avenida lateral de paso, el objetivo fue captar respuestas más confiables.

Por otro lado, con el objetivo de proponer posibles soluciones frente al problema actual del sistema de alumbrado público, se llevó a cabo el análisis de los diferentes factores que influyen en el mal funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos. De ellos se encontró falta de mantenimiento de los paneles solares. Además, se pudo observar que el clima cambiante en la ciudad de Loja no ayuda con el correcto funcionamiento de los sistemas, puesto que en días nublados no se logra captar los rayos solares de una manera eficiente.

Resultados

Los sistemas de alumbrado público instalados en la avenida lateral de paso se encuentran compuestos por luminarias, paneles solares, baterías y reguladores. Todos estos componentes forman un sistema fotovoltaico autónomo, los cuales tienen la tarea principal de almacenar energía solar recolectada durante el día y posteriormente ser usada en horas de la noche. De esta forma ofrecen energía suficiente para iluminar la carretera por medio de las farolas LED.

Existen varias formas de abordar el problema vigente en el sistema de alumbrado público de la avenida. Los autores lo plantearon basándose en una investigación bibliográfica, adicionalmente, tomaron en consideración el estado actual de los sistemas instalados y se han determinado 5 posibles soluciones a ejecutar frente al problema presente.

La primera de las soluciones propuestas es un sistema híbrido (SFV con almacenamiento y con conexión a red) el cual consiste en el uso de energía fotovoltaica y la red eléctrica convencional. Este sistema es una combinación de diferentes tecnologías que se unen con el propósito de crear un sistema eléctrico unificado para diferentes objetivos, entre los más aplicados están la generación de corriente eléctrica para el alumbrado público, alumbrado de viviendas, entre otros. Esta propuesta será implementada como medida adicional de abastecimiento de energía, como bien se conoce las baterías instaladas pueden almacenar una cantidad limitada de energía, la cual es convertida en corriente eléctrica para dar funcionamiento a las farolas LED. Por lo tanto, lo que se pretende con esta propuesta es abastecer de corriente eléctrica tradicional y otorgar la energía suficiente para las farolas LED.

En esta propuesta, como primer paso, se considera la distancia que existe entre todos los paneles fotovoltaicos instalados en la avenida lateral de paso, dando un total de 15.5 km. Además, se utilizará cable de bandeja tipo VNTC el cual es adecuado para la implementación de la presente propuesta. Del mismo modo se consideró el uso de inversores de energía solar híbridos.

Tabla 2

Precio del cable de bandeja de nailon de vinilo

Precio / 100m	Nro. Conductores	Tamaño	Voltaje	Temperatura	Conductores	Diámetro
190 USD	3	14 AWG	600	8°C - 90°C	UL 66 NEC tipo TFN, UL 1277 tipo TC-ER	0.34 pulgadas

Tabla 3

Precio del inversor de energía solar híbrido

Precio / 100m	Entrada de CA	Entrada de CC	Salida	Dimensiones cm	Fabricante	Pilas
890 USD	Fase dividida 240V _{ac}	48 V _{cc}	6000 W continuo 18000 W pico	38.10 × 29.98 × 74.93	SafeGuard Power Solutions, LLC.	4 × 12V (Tipo de pila necesaria)

El tiempo aproximado de instalación de la red eléctrica para esta propuesta se podría considerar en 3 meses. Se tiene como base el tiempo que le tomó a la empresa ENERPRO (*Solar Fotovoltaica - Soluciones Técnicas Integrales CIA. LTDA.*, 2015) en instalar los paneles fotovoltaicos. Y el precio estimado de la propuesta es de 73 750.00 USD.

La segunda solución presentada es la sustitución de los sistemas fotovoltaicos por alternativas actuales y modernas. Dicha propuesta consiste en reemplazar todo el sistema instalado, por tecnologías que tengan mejores prestaciones, certificaciones, mayor eficiencia energética y que se puedan usar en las condiciones presentes a lo largo de la avenida lateral de paso. El sistema que se cambiaría se compone por paneles fotovoltaicos, baterías, luminarias y reguladores. El propósito principal de esta solución es emplear una tecnología más eficiente para obtener mayor energía con un uso moderado de los sistemas fotovoltaicos autónomos instalados. Actualmente, existen 587 postes, por lo tanto, se debe considerar que en cada poste irán instalados dos sistemas solares fotovoltaicos.

Tabla 4

Precio de sistemas de paneles solares

Precio / kits	2 Tipo	Potencia	Tensión	Batería	Cargador	Regulador Solar	Tensión máxima
1 150 USD	Aislada	2700 W	48 V 230 V	Litio	80 A	80 A MPPT	450 V

El tiempo estimado de instalación se podría prolongar a 2 meses y el importe estimado sería de 679 300.00 USD.

La tercera solución presentada es la eliminación del uso de energía fotovoltaica con el fin de utilizar la red eléctrica tradicional. Esta propuesta se enfoca en instalar la red eléctrica convencional, pues esta red es la que se encuentra actualmente funcionando en zonas urbana.

Este sistema de luminarias consiste en la instalación de un poste de hormigón y una lámpara la cual funciona con vapor de sodio. La implementación de esta propuesta es necesario que abarque toda la avenida que integra los paneles fotovoltaicos, con el propósito de implementar en ese mismo espacio el cableado de red eléctrica convencional. Cabe recalcar que esta solución solo sería implementada en el peor de los casos debido a que se estaría considerando el desecho o reciclaje de todos los paneles fotovoltaicos. Además, se debería considerar la reutilización de los postes de acero actualmente instalados, para esto se deberían hacer pruebas de resistencia a los postes ya que fueron instalados con el propósito principal de soportar únicamente un sistema de energía fotovoltaica autónoma.

Para esta propuesta se tendría que realizar un estudio general de toda la avenida y verificar la cantidad de cable a utilizar. Además, se debe verificar frente a qué tipo de condiciones ambientales debería resistir un poste de hormigón y el cable a implementar. Para la aplicación se tomará en consideración el mismo cable mencionado anteriormente en la primera propuesta, además, se debe tener en cuenta el análisis referente al funcionamiento de los postes instalados actualmente, de tal modo que se puedan usar los mismos en el mejor de los casos.

Tabla 5

Características de poste de hormigón

Precio	Tipo	Normas	Longitud	Carga	Diámetro en base	Diámetro en punta	Tipo de cemento
210 USD	Circular alivianada	NTE, INEN 1964, 1965-1	10 m	2000 kgf	38 cm	18 cm	Magno He

Así mismo, se considera la instalación de nuevas luminarias con vapor de sodio.

Tabla 6

Características de luminarias con vapor de sodio

Precio	Voltaje	Altura	Ancho	Voltios de lampara	Material de carcasa	Tipo de lente	Rango de potencia
152 USD	120 V _{ca}	68.58 cm	33.02 cm	100 W	Aluminio fundido a presión	Gota a acrílica	41 a 100 W

Ya que se tiene conocimiento de los diferentes dispositivos a utilizar se determinaría un tiempo aproximado de instalación completa de la propuesta que es de unos 5 meses, con una inversión de 335 418.00 USD.

Como cuarta propuesta se tiene la implementación de un BESS (BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM) en el cual se almacenará la energía generada por todos los paneles fotovoltaicos a lo largo de la avenida. La implementación de un BESS lleva consigo una mejora considerable de entre un 40% – 60% de fiabilidad en el funcionamiento de sistemas impulsados por energía fotovoltaica (Shamshiri et al., 2018). Esto a raíz de que un BESS es un sistema controlado que funciona bajo condiciones específicas como son, la temperatura, humedad, cantidad de ciclos de descarga de cada batería, etc. Esto implica que dichos sistemas poseen un mayor grado de tolerancia a los fallos a diferencia de un sistema descentralizado de baterías, en el cual las baterías se encuentran en diferentes condiciones. Otro punto a tomar en cuenta es que un BESS también puede funcionar de manera híbrida, esto a su vez resulta beneficioso,

puesto que, si no se llega a cumplir con la cuota diaria de energía necesaria para que las luminarias funcionen de manera óptima, existe la opción de utilizar la red eléctrica tradicional para suplir esta deficiencia energética lo que provee al sistema de una mayor fiabilidad.

Por norma general la temperatura recomendada para una batería oscila entre los 20 C° y 25 C°, si se excede este límite la batería mejorará su rendimiento (Se reduce la resistencia interna y se acelera la reacción química) a costa de un mayor desgaste en su vida útil si se supera este umbral durante periodos de tiempo prolongados. Por el contrario, el someter a una batería a temperaturas menores al umbral antes mencionado aumentará la resistencia interna y por consiguiente disminuirá su capacidad.

Para este caso se utilizarán las baterías previamente instaladas que cumplan con la especificación de estar al menos a un 60% de su vida útil. En caso de no contar con las suficientes se optará por baterías de Litio o gel dependiendo del poder adquisitivo del organismo encargado, con el fin de llegar a suplir la demanda energética de todas las luminarias de la avenida.

Tabla 7

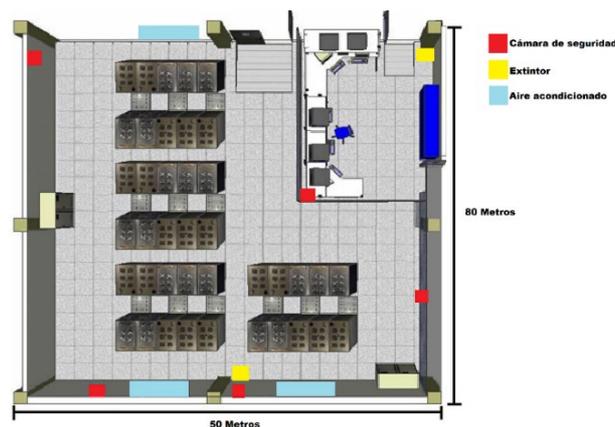
Baterías de gel sunpal 6-CNF-200

Vida útil	Precio	Voltaje de la batería	Capacidad de la batería	Dimensiones	Peso	Estructura
15 años	230 USD	12 V _{cc}	200 ah	240 × 224 × 522 mm	60 kg	Aleación de plomo y estaño de alta pureza

La propuesta está considerada para ser implementada en un lapso de 12 meses con una inversión de 458 890.00 USD y estará distribuido de la siguiente manera.

Figura 4

Diseño preliminar del sistema BESS



La quinta propuesta comprende la revisión y sustitución de paneles estropeados, baterías y luminarias, conservando los dispositivos funcionales. Tras la recolección de datos del estado actual del sistema de alumbrado público de la avenida, se ha visto la posibilidad de re-potenciar dicho sistema, de manera que se pueda reducir costos, preservando los activos funcionales en la iluminación e implementando alternativas más actuales en aquellas luminarias que ya no funcionan de la mejor manera.

Uno de los principales factores para el mal funcionamiento del sistema de alumbrado público de la avenida es que no se ha tomado ninguna acción frente a la cantidad de polvo, y la suciedad que cubre los paneles solares. Está comprobado que el polvo puede llegar a afectar en gran medida el rendimiento de estos sistemas, esto se puede corroborar en un artículo científico publicado en 2014 en el cual se detalla que la presencia de polvo puede llegar a disminuir la eficiencia de un panel fotovoltaico hasta en un 60% (Aghaei et al., 2022; Sulaiman et al., 2014).

Otro punto a considerar, es la inseguridad presente a lo largo de la avenida, esto ha producido que en varios de los postes los reguladores de carga hayan sido sustraídos debido a que se encuentran ubicados en un compartimento de fácil acceso para el personal encargado de su revisión.

Figura 5

Poste al cual se le ha sustraído su regulador de carga



Los paneles fotovoltaicos son los elementos más sensibles a las variaciones de su entorno, por lo cual se tendría que realizar una revisión del estado y prueba de cada uno de ellos, presentes a lo largo de la avenida.

En el caso que el panel fotovoltaico esté funcionando de forma correcta, pero esté generando menos corriente de lo normal, se tendrá que realizar un mantenimiento. Dicho mantenimiento consiste en retirar -una vez al mes- cualquier tipo de objeto, suciedad, etc., que pueda afectar a la correcta producción de los paneles fotovoltaicos, por ejemplo: excrementos de aves o polvo. El polvo acumulado o los restos de polución también deben ser eliminados en la medida de lo posible, ya que disminuirá la corriente eléctrica generada y si perduran en el tiempo podrían generar puntos calientes.

Para mantener limpio el panel solar basta con utilizar agua con una pequeña cantidad de jabón para que sea posteriormente más sencillo aclararlo. No se recomienda utilizar detergentes o materiales de limpieza ásperos ya que se puede dañar la superficie del panel permanentemente.

La implementación de la presente propuesta está considerada para un lapso de 5 meses, tomando como referencia el estado actual de los sistemas fotovoltaicos parcialmente funcionales, la inversión aproximada es de 402 500.00 USD.

La última propuesta comprende en la reutilización de los componentes presentes actualmente en el sistema de alumbrado público de la avenida lateral de paso para poder establecer una central fotovoltaica con almacenamiento centralizado y con conexión a la red eléctrica. En la actualidad en Ecuador, el sector energético se encuentra desarrollado en un 70% por fuentes de energía hidráulica, un 28% mediante la producción de energía térmica y tan solo el 2% en fuentes diferentes como lo son la eólica, la biomasa y la energía solar (de Electricidad y Energía Renovable, 2013). Por lo anterior, el país y la industria deben enfocar sus esfuerzos en la búsqueda e implementación de fuentes de energía que sean amigables con el medio ambiente y que a su vez mejoren los costos asociados a la generación de productos y servicios. Es por dicha razón, que se ha visto la posibilidad de aportar de manera significativa a la generación de energía eléctrica de la región, a través de un centro fotovoltaico.

El sistema de alumbrado público de la avenida lateral de paso, consta con aproximadamente 1 172 paneles fotovoltaicos, los cuales no están siendo aprovechados de la mejor manera, ya sea por la dificultad de su mantenimiento o por problemas en sus baterías. Además, actualmente la institución encargada de dicho sistema está planeando repotenciar este proyecto, a través de la inclusión de todo el sistema de alumbrado a la red eléctrica de la ciudad.

Con la finalidad de aprovechar estos activos se ha visto la posibilidad de plantear un proyecto de generación de energía fotovoltaica con todas las medidas necesarias para sacarle el mejor partido a los paneles presentes a lo largo de la avenida.

Tabla 8

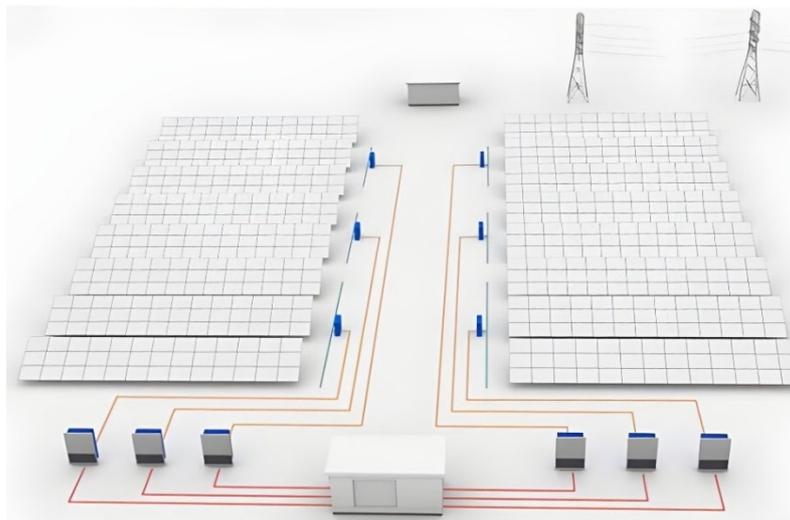
Características técnicas de los paneles actualmente instalados en el sistema de alumbrado público de la avenida lateral de paso

Vida útil	Precio	Modificación	Circuito V_{oc}	Potencia V_{mpp}	Corriente I_{sc}	Eficiencia	Dimensiones
30 años	225 USD	36 células, 4 × 9.5 Bushbars	24.10	20.39	11.99	21.06 %	1560×700×35 mm

El diseño preliminar de esta central se muestra a continuación:

Figura 6

Diseño preliminar de una central fotovoltaica con un sistema BESS



Esta propuesta está considerada para un lapso de 12 meses, con una inversión aproximada de 643 000.00 USD.

Discusión

Los hallazgos del presente estudio indican que al emplear tecnología fotovoltaica se deben tomar medidas que satisfagan todos los factores que implican el correcto funcionamiento del sistema instalado. De tal manera que se logre abarcar todos los posibles errores que se puedan presentar a medida que pasa el tiempo de funcionamiento, ya que de otra manera dichos sistemas instalados no lograrán cubrir con la expectativa deseada y se tendrá que recurrir a soluciones viables lo cual implica el gasto de nuevos recursos como es el caso de la presente investigación.

Para la presentación de propuestas de solución detalladas en el presente estudio fue necesario un trabajo en 3 fases:

Como primera fase se obtuvo información relevante con respecto a la tecnología empleada en los sistemas fotovoltaicos, actualmente instalados en la avenida lateral de paso. Además, se realizó una encuesta aplicada a moradores que viven a los alrededores de la avenida. Gracias a esta encuesta aplicada se pudo constatar un descontento por parte de los moradores en relación al mal funcionamiento del sistema de alumbrado público.

Por otro lado, en la segunda fase se realizó un estudio personal enfocado al estado actual de los paneles fotovoltaicos. Para el cumplimiento de dicho estudio fue necesario la utilización de un dron profesional con cámara de alta calidad para la obtención de imágenes aéreas de los paneles solares en los cuales se pudo evidenciar la presencia de polvo y residuo de aves. Además, gracias a las imágenes obtenidas se pudo constatar que ciertos paneles solares se encuentran erróneamente ubicados, influyendo en su rendimiento al captar los rayos solares.

En la tercera y última fase se crearon posibles soluciones entre las cuales se detalla desde un cronograma de instalación o aplicación de la solución propuesta hasta un precio estimado referencial que se detalla a continuación.

Tabla 9

Propuestas de solución presentadas

Nombre de la propuesta	Precio Estimado	Tiempo de ejecución (meses)
Instalación de Sistema Híbrido (SF con almacenamiento y con conexión a red) que consiste en el uso de energía fotovoltaica y la red eléctrica convencional.	73 750.00 USD	4
Sustitución de los sistemas fotovoltaicos por alternativas actuales.	679 300.00 USD	2
Eliminación del uso de energía fotovoltaica y utilizar la red eléctrica tradicional.	335 418.00 USD	5
Implementación de un BESS (BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM) en el cual almacenar la energía generada por todos los paneles fotovoltaicos a lo largo de la avenida	458 890.00 USD	12
Revisión y sustitución de paneles estropeados, baterías y luminarias, conservando los dispositivos funcionales.	402 500.00 USD	5
Central Fotovoltaica con almacenamiento centralizado y con conexión a la red eléctrica.	643 000.00 USD	12

Conclusiones

El sistema de alumbrado público de la avenida lateral de paso, al contar con tecnologías fotovoltaicas, implica la necesidad de un mantenimiento periódico para un correcto funcionamiento. Se recomienda realizar una limpieza entre 3 y 4 veces al año, o con mayor frecuencia si se trata de una zona con altos niveles de polvo y suciedad tal como es en el presente caso. Por tal motivo, en la actualidad, dicho sistema de alumbrado público no está funcionando de forma óptima. Debido al mal funcionamiento, aumenta la inseguridad al transitar esta avenida en horarios nocturno ya sea por la delincuencia o por problemas de tránsito.

Con el pasar del tiempo el rendimiento relacionado a la iluminación ha sido cada vez menos eficiente debido a la falta de mantenimiento hacia los paneles solares. Del mismo modo, el clima cambiante también afecta el rendimiento de los paneles dentro la avenida. El objetivo fundamental se pone de manifiesto a lo largo de la presente investigación al detallar que es posible proponer soluciones tomando en consideración el estado actual del sistema de alumbrado público integrado con sistemas fotovoltaicos, dichas soluciones proponen el uso de nuevas tecnologías y nuevas normas que cumplan con características específicas como la alta resistencia a climas cambiantes o presencia de suciedad.

Dichas soluciones buscan reducir el costo de implementación; además, en la medida de lo posible, hacer uso de los sistemas que se encuentran instalados en el caso de que se opte por utilizar otro tipo de tecnología, como los sistemas híbridos o la red eléctrica tradicional. El mayor logro que se puede conseguir es que una de las propuestas pueda llegar a ser implementada en un futuro no muy lejano, además se busca que la información derivada sirva de soporte para otros problemas en los cuales se relacione el uso de tecnología fotovoltaica, con el propósito de fomentar el correcto uso de dichos sistemas que están revolucionando el mercado de la energía limpia.

A base de la información expuesta y al estado actual de la avenida en cuestión, se considera factible implementar la propuesta del sistema híbrido, el cual consiste en la instalación de una red eléctrica en toda la avenida lateral de paso. Dicha red eléctrica abastecerá de energía suficiente a las farolas LED en caso de que los paneles solares no hayan recolectado la suficiente energía en las baterías durante el día, implementando dicha propuesta se asegura el rendimiento óptimo de la iluminación de la avenida en horas de la noche. Esta opción, al igual que las demás, fueron dadas a conocer a la entidad encargada, en este caso el MTOP, quienes constataron que dicha información sirve como fuente de información para el desarrollo de obras complementarias dentro de la infraestructura vial.

Referencias

- Aghaei, M., Fairbrother, A., Gok, A., Ahmad, S., Kazim, S., Lobato, K., Oreski, G., Reinders, A., Schmitz, J., Theelen, M., Yilmaz, P., & Kettle, J. (2022). Review of degradation and failure phenomena in photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112160. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112160>
- Alvarado, R. (2015). VICEPRESIDENTE INAUGURÓ VÍA DE INTEGRACIÓN BARRIAL. *Loja Para Todos*. <https://www.loja.gob.ec/noticia/2015-11/vicepresidente-inauguro-de-integracion-barrial>
- Bertran, J. M. (2017). *Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas*. <https://core.ac.uk/download/pdf/87655074.pdf>
- Beyer, F., & Ker, K. (2009). Street lighting for preventing road traffic injuries. *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, 1, CD004728. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004728.pub2>

- de Electricidad y Energía Renovable, M. (2013). *PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN 2013 - 2022* (pp. 2–23). <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol4-Aspectos-de-sustentabilidad-y-sostenibilidad-social-y-ambiental.pdf>
- Garrido Jiménez, J. I. (2020). *Estudio de la influencia del ensuciamiento por polvo en la temperatura de un panel solar fotovoltaico mediante un modelo computacional unidimensional*.
- Klinjun, N., Kelly, M., Praditsathaporn, C., & Petsirasan, R. (2021). Identification of Factors Affecting Road Traffic Injuries Incidence and Severity in Southern Thailand Based on Accident Investigation Reports. *Sustainability*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/su132212467>
- Mosqueda Pérez, A. R., & others. (2021). *ESTUDIO DE MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LOS ESTADOS INTERNOS DE UNA BATERÍA*.
- Shamshiri, M., Gan, C., Zolkifri, N. I., & Baharin, K. A. (2018). Battery energy storage system sizing for high penetration of solar photovoltaic systems in low voltage distribution network. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13, 8103–8109.
- Solar Fotovoltaica - Soluciones Técnicas Integrales CIA. LTDA.* (2015). <https://enerpro.com.ec/energias-renovables/solar-fotovoltaica/#1549755384029-e0a5f16e-0b0b>
- Sulaiman, S. A., Singh, A. K., Mokhtar, M. M. M., & Bou-Rabee, M. A. (2014). Influence of Dirt Accumulation on Performance of PV Panels. *Energy Procedia*, 50, 50–56. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2014.06.006>