



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2025,
Volumen 9, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BAJO CONSUMO, AUTOSUSTENTABLE PARA ILUMINACIÓN EXTERIOR

**DESIGN OF A LOW-CONSUMPTION, SELF-SUSTAINING
PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR OUTDOOR LIGHTING**

Leobardo Hernández González

Instituto Politécnico Nacional - ESIME, México

Pedro Guevara López

Instituto Politécnico Nacional - ESIME, México

Enrique Ruíz Barco

Instituto Politécnico Nacional - ESIME, México

Guillermo Avalos Arzate

Instituto Politécnico Nacional - ESIME, México

Ivon Yuliana González Ledesma

Instituto Politécnico Nacional - ESIME, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19405

Diseño de un Sistema Fotovoltaico de Bajo Consumo, Autosustentable para Iluminación Exterior

Leobardo Hernández González¹lhernandezg@ipn.mx<https://orcid.org/0000-0002-4555-8695>Instituto Politécnico Nacional - ESIME
Culhuacan México**Pedro Guevara López**pguevara@ipn.mx<https://orcid.org/0000-0001-5373-1403>Instituto Politécnico Nacional - ESIME
Culhuacan México**Enrique Ruíz Barco**enriqueb_9406@outlook.com<https://orcid.org/0009-0009-3175-2364>Instituto Politécnico Nacional - ESIME
Culhuacan México**Guillermo Avalos Arzate**gavalosa@ipn.mx<https://orcid.org/0009-0006-4384-3229>Instituto Politécnico Nacional - ESIME
Culhuacan México**Ivon Yuliana González Ledesma**iygonzalezl@ipn.mx<https://orcid.org/0009-0008-8430-4509>Instituto Politécnico Nacional - ESIME
Culhuacan México

RESUMEN

El aumento en el uso de energía eléctrica, especialmente para iluminar espacios exteriores, representa un reto tanto para el ambiente como para la economía de comunidades urbanas y rurales. En este trabajo, se propone una solución económica para iluminar áreas exteriores sin depender de una conexión a la red eléctrica. La idea consiste en un sistema fotovoltaico de bajo consumo que funciona de manera autosustentable y que utiliza luminarias LED eficientes. Este sistema está formado por un panel solar, un convertidor de corriente tipo SEPIC para preparar la energía, un banco de baterías para guardarla y un controlador que mantiene una iluminación constante, aun cuando la radiación solar varía. También se explica cómo diseñar, dimensionar y simular cada parte del sistema usando herramientas como LTspice. Además, se muestra el ensamble en una unidad PCB que aprovecha superior el espacio y facilita la instalación en hogares. Los resultados indican que esta propuesta es capaz de reducir la dependencia de la red pública y ayudar a disminuir las emisiones contaminantes. En conjunto, este desarrollo presenta una opción económica y práctica para comunidades sin acceso a electricidad, promoviendo el utilización de energías limpias y reduciendo la huella de carbono.

Palabras clave: acondicionador de batería, convertidor SEPIC, energía solar, iluminación LED, sistema autosustentable

¹ Autor principal

Correspondencia: lhernandezg@ipn.mx

Design of a Low-Consumption, Self-Sustaining Photovoltaic System for Outdoor Lighting

ABSTRACT

The increase in electricity use, especially for lighting outdoor spaces, poses a challenge for both the environment and the economy of urban and rural communities. This paper proposes an economical solution for lighting outdoor areas without relying on a connection to the power grid. The idea consists of a low-consumption photovoltaic system that operates in a self-sustaining manner and uses efficient LED lighting. This system consists of a solar panel, a SEPIC-type power converter to prepare the energy, a battery bank to store it, and a controller that maintains constant lighting, even when solar radiation varies. It also explains how to design, size, and simulate each part of the system using tools such as LTspice. In addition, it shows the assembly in a PCB unit that makes better use of space and facilitates installation in homes. The results indicate that this proposal is capable of reducing dependence on the public grid and helping to reduce polluting emissions. Overall, this development presents an economical and practical option for communities without access to electricity, promoting the use of clean energy and reducing the carbon footprint.

Keywords: battery conditioner, SEPIC converter, solar energy, LED lighting, self-sustaining system

*Artículo recibido 23 julio 2025
Aceptado para publicación: 26 agosto 2025*



INTRODUCCIÓN

El constante aumento en la demanda de energía eléctrica para iluminación urbana y rural genera un impacto adverso en el medio ambiente y en los costos operativos (IEA, 2023). En particular, los sistemas de iluminación exterior conectados a la red convencional incrementan la dependencia de combustibles fósiles, elevando las emisiones de CO₂ (van Campen, Guidi & Best, 2000). Esto plantea la necesidad de adoptar soluciones energéticas limpias y autosuficientes. En respuesta, los sistemas fotovoltaicos combinados con convertidores de CD a CD se consolidan como una alternativa eficiente para la iluminación LED exterior. Este tipo de convertidores permiten mantener una tensión estable a pesar de las fluctuaciones en la irradiancia solar, mejorando así la fiabilidad del sistema (ZVS SEPIC con MPPT, Light & Engineering, 2019). Estudios han demostrado que los convertidores ZVS SEPIC con control de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT por P&O o PI) alcanzan eficiencias superiores al 98 % en transmisión de energía a luminarias LED de alta potencia (Light & Engineering, 2019).

Casos de aplicación real, como el prototipo desarrollado en México que utiliza luminaria LED de 35 W, panel solar de 200 W y controlador MPPT, demuestran que estas configuraciones ofrecen una excelente relación costobeneficio, autonomía en días nublados y mínima intervención de mantenimiento (Caso en México, ZGSM, 2021). Además, la integración de sistemas híbridos del tipo SEPICZeta se optimizan al funcionar tanto en modos de carga (batería) como descarga (iluminación) desde el mismo convertidor, reduciendo la complejidad del diseño (PVfed ZetaSEPIC, 2023).

Este trabajo propone el diseño de un sistema fotovoltaico de bajo consumo, autosustentable para iluminación exterior; se detallan el dimensionamiento de paneles y baterías, el diseño del convertidor SEPIC con un MPPT adecuado y la integración de luminarias LED eficientes.

Estado del Arte

La transición hacia fuentes de energía renovable para aplicaciones de iluminación tiene mucha relevancia donde el acceso a la red eléctrica es limitado o inexistente. En este sentido, los sistemas fotovoltaicos para alumbrado exterior han demostrado ser una alternativa viable y sustentable frente al consumo intensivo de energía convencional (International Energy Agency [IEA], 2023).

Diversos estudios han explorado el diseño y la implementación de sistemas de iluminación autónomos utilizando tecnología LED alimentada por energía solar.



Coyotl Mixcoatl et al 2008); entre ellos es posible citar la Universidad Politécnica de Tulancingo, donde desarrollaron un sistema de iluminación exterior basado en luminarias LED de 50 W, alimentadas por paneles solares y un banco de baterías de 24 V. Se diseñó para operar entre 11 y 13 horas diarias, con un consumo eficiente y baja degradación de componentes a lo largo del tiempo.

Por otro lado, Mora Villegas (s.f.), en la Universidad Veracruzana, presentó un sistema de iluminación para la fachada de un edificio público, implementando luminarias LED con controladores programables alimentados por 34 paneles solares y un banco de 30 baterías. El diseño enfatizó la regulación lumínica mediante controladores electrónicos y la autonomía del sistema durante seis horas continuas.

Además, se ha documentado el utilización de sistemas de seguimiento solar para maximizar la captación energética. Por ejemplo, el sistema desarrollado por Beleño Sáenz et al. (s.f.) incorporó servomotores controlados por un microcontrolador PIC18F4550 y la plataforma LabVIEW, con el objetivo de mejorar el posicionamiento de los paneles solares. Esto es útil en zonas con condiciones de irradiancia variables. Respecto al acondicionamiento de energía, la topología SEPIC se utiliza ampliamente por su capacidad para operar en modos de elevación como de reducción de tensión sin invertir la polaridad de salida (Erickson & Maksimovic, 2001). Esta característica es fundamental en sistemas donde la tensión de entrada es capaz de variar significativamente según las condiciones de iluminación solar. En la tesis base de este trabajo, se empleó la herramienta LTspice para el diseño y simulación del convertidor SEPIC, logrando eficiencias superiores al 90 % y una regulación adecuada para cargar baterías de manera segura.

Finalmente, el utilización de luminarias LED ha sido una constante en los diseños más eficientes. Quintero Miranda (s.f.), de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), diseñó una luminaria de bajo consumo utilizando 400 LEDs distribuidos en módulos de 6 W, sustituyendo lámparas fluorescentes de alto consumo y reduciendo el gasto energético hasta en un 70 %.

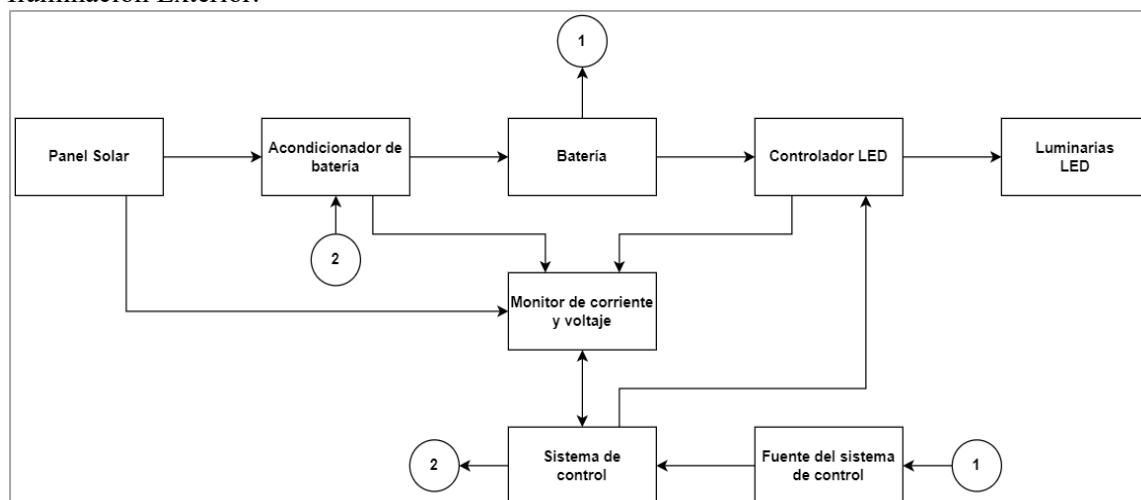
Todos estos trabajos son una base sólida sobre la que se desarrolla la presente propuesta de un sistema autosustentable de iluminación exterior. La incorporación de elementos como el convertidor SEPIC, la automatización de la activación y el diseño compacto y eficiente lo presentan como una solución práctica y con impacto social benéfico.



METODOLOGÍA

La demanda energética global para iluminación en espacios exteriores, incrementa de forma importante las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la utilización excesiva de combustibles fósiles. Implementar sistemas fotovoltaicos autosustentables permite aprovechar una fuente renovable, abundante y no contaminante, disminuyendo costos operativos y mejorando la calidad de vida de comunidades con acceso limitado a la red eléctrica. El diseño propuesto optimiza la conversión, almacenamiento y gestión de la energía solar para garantizar un suministro confiable y de bajo costo, impulsando la transición hacia tecnologías verdes y sostenibles. En la Figura 1 se pueden observar los bloques funcionales que integran este proyecto.

Figura 1. Diagrama de bloques del Sistema Fotovoltaico de Bajo Consumo, Autosustentable para Iluminación Exterior.



Panel solar

El sistema fotovoltaico diseñado para alimentar una luminaria LED de bajo consumo se basa en la utilización de un módulo solar monocristalino de 80 W, seleccionado por su eficiencia de conversión (entre 17 % y 20 %), compacidad y buen rendimiento en condiciones de irradiancia variable. Las celdas monocristalinas, fabricadas a partir de un único cristal de silicio, ofrecen un mayor rendimiento energético por unidad de área en comparación con tecnologías policristalinas o de película delgada (Green et al., 2023). El panel solar empleado genera un voltaje nominal de 18 V en condiciones estándar de prueba (STC), lo cual resulta adecuado para cargar una batería de 12 V mediante un convertidor DC-DC tipo SEPIC que regula la tensión de manera eficiente incluso cuando la irradiancia solar disminuye

a lo largo del día. La corriente máxima del panel permite entregar hasta 4.44 A, valor suficiente para recargar un acumulador de 12 Ah dentro de un ciclo solar diario típico. Ver Figura 2.

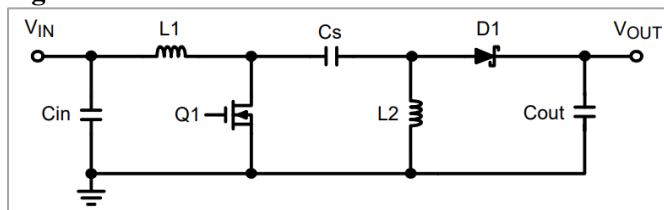
Figura 2. Panel fotovoltaico utilizado en el proyecto.



Acondicionador de batería

Se requiere que este dispositivo pueda estabilizar las variaciones de voltaje propias de los paneles solares, sin importar que estén por encima o por debajo del nivel de salida. El circuito seleccionado para ello es un convertidor SEPIC (observar Figura 3), que es capaz de trabajar como elevador o reductor de voltaje y controlar su salida con una señal PWM. Se parte de las características del panel solar a usar en este proyecto, contemplando el posible utilización de paneles con menor tamaño y potencia para definir los parámetros de diseño del convertidor que hará la función de acondicionador de batería.

Figura 3. Convertidor SEPIC utilizado en el acondicionador de batería.



Batería

La batería eléctrica es un conjunto de pilas conectadas en serie, paralelo o mixto. Estos dispositivos son capaces de almacenar energía mediante procesos electroquímicos y devolverla casi por completo durante cierto periodo de tiempo. Para este proyecto se utiliza una batería de plomo-ácido sellada con voltaje nominal de 12V, capacidad de 12Ah, de ácido sulfúrico diluido absorbido en separadores de fibra de vidrio con un ciclo de vida estimado de 200-300 ciclos a descarga profunda del 80%.

Se eligió esta batería por ser económicamente accesible, fácil de conseguir y compatible con sistemas fotovoltaicos de baja potencia, como el que alimenta las luminarias LED del sistema. Ver figura 4.

Figura 4. Batería plomo-ácido de 12V con capacidad de 12Ah.



Controlador LED

En la iluminación LED, al contrario que pasa con la iluminación fluorescente o incandescente, las luminarias no se conectan directamente a la corriente eléctrica, sino que lo hacen a través de un driver que se ocupa de transformar la tensión a utilizar a las necesidades de la luminaria. Los LEDs trabajan con corriente continua (CC), por lo tanto, si se quiere que funcione en una instalación de corriente alterna (CA) requieren de un controlador (driver) que convierta la corriente alterna en corriente continua y que a su vez disminuya el voltaje. Básicamente los drivers LED cumplen dos funciones: 1) Transforman la corriente de alterna (CA) a continua (CC) y 2) Adaptan el voltaje de salida a las necesidades del LED. Los LED debido a su bajo consumo, funcionan con tensiones muy bajas, por lo que una tensión elevada no sólo no funcionaría, sino que los dañaría de forma permanente. Ver figura 5.

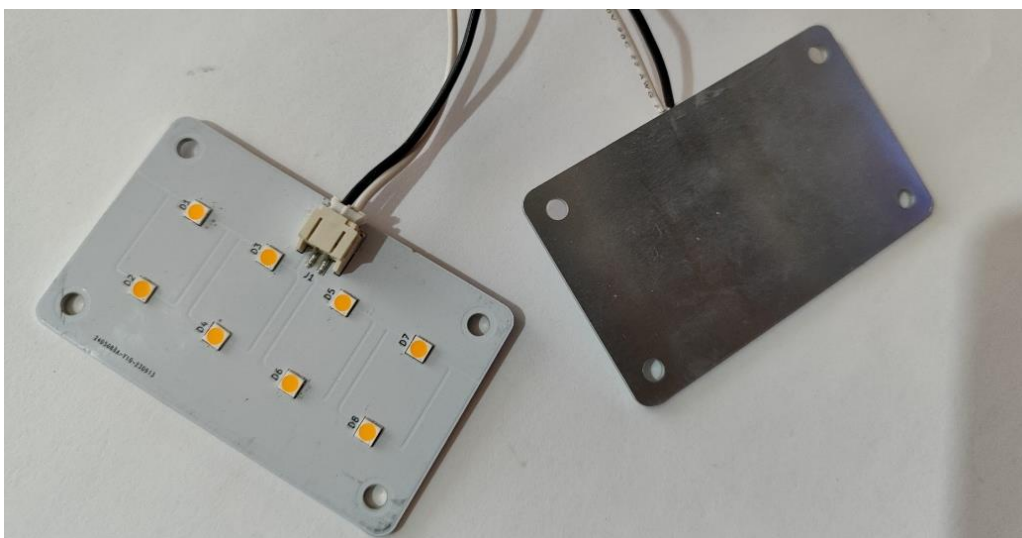
Figura 5. Un Driver LED, modelo HL-F003. (Mega Lámparas. (s.f.).)



Luminarias LED

Se toma en consideración la tecnología LED (Ligth Emitter Diode), la cual hoy en día presenta características de gran eficiencia lumínica y de consumo, así como una menor contaminación al ambiente. Se implementan dos luminarias LED de diseño propio ajustadas a las características de diseño del convertidor seleccionado. En este caso se implementan LEDs en encapsulado 3030 que operan a 6V a 150mA con potencia máxima de 1156mW. En la Figura 6 se ve la luminaria ensamblada.

Figura 6. Diseño de luminarias ensamblado. Cara frontal (izquierda) y cara trasera (derecha).



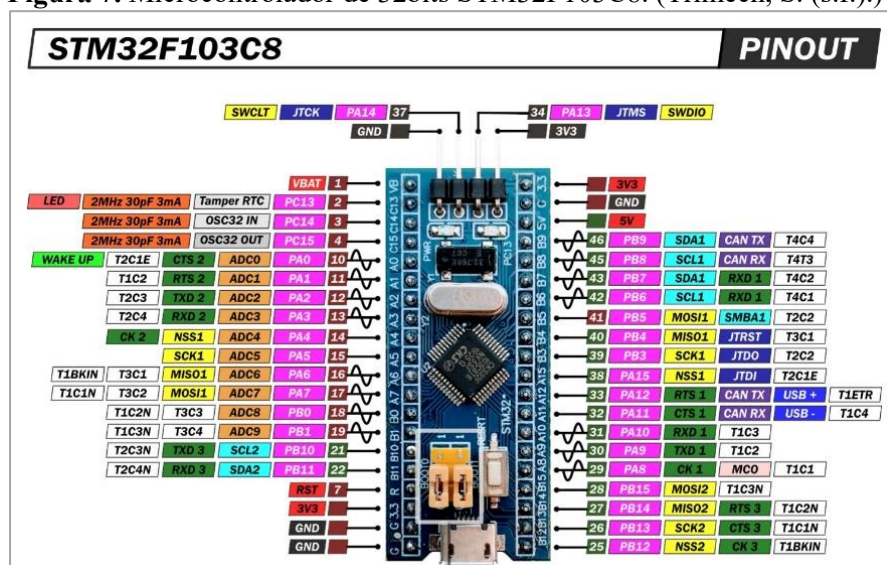
Monitor de corriente y voltaje. Se diseña como parte del acondicionador de batería, y su objetivo principal es detectar los niveles de carga y descarga para proteger la batería y controlar la activación del sistema de iluminación. El diseño se basa en la implementación de un divisor resistivo conectado a la salida del panel solar.

Este divisor reduce la tensión de entrada a un valor adecuado para ser comparado mediante un amplificador operacional configurado como comparador, cuyo propósito es detectar el umbral a partir del cual el sistema debe activar o desactivar ciertas funciones. Se estableció un umbral de 14.2 V, valor que corresponde al voltaje máximo de carga permitido para la batería de plomo-ácido utilizada en el sistema. Cuando la tensión del panel es igual o superior a este umbral, el comparador activa una señal de control que habilita la carga de la batería. En cambio, si el voltaje cae por debajo del umbral (indicando ausencia de irradiación solar), se interrumpe la carga y se energizan las luminarias LED, permitiendo el encendido automático al anochecer.

Sistema de control

El sistema de control implementado en el presente proyecto tiene como objetivo principal gestionar de manera automática la operación de carga de la batería y la activación de la iluminación LED en función de la disponibilidad de energía solar. A diferencia de las soluciones que usan microcontroladores, en este trabajo se eligió un diseño analógico, con la finalidad de reducir la complejidad, el consumo energético y el costo de implementación, factores básicos en aplicaciones rurales y de bajo presupuesto. Para este bloque se seleccionó el microcontrolador de 32bits STM32F103C8T6 (Ver Figura 7). El principal objetivo es determinar cuándo existen condiciones para iniciar o detener la carga de la batería, activar o desactivar la luminaria. Dada la topología del convertidor SEPIC, es posible deshabilitar la salida de voltaje de este convertidor solo desactivando la señal PWM que llega a la compuerta del MOSFET.

Figura 7. Microcontrolador de 32bits STM32F103C8. (Trimech, S. (s.f.).)

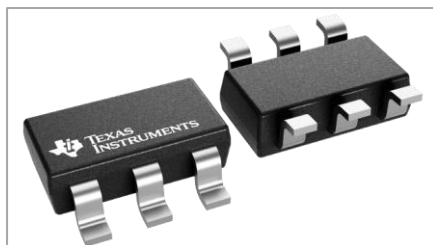


Fuente del sistema de control

La fuente de alimentación constituye un subsistema esencial dentro del diseño general, puesto que proporciona la energía estable y regulada necesaria para el funcionamiento del circuito de control analógico. En el sistema propuesto, la fuente fue diseñada para derivarse directamente del banco de baterías de 12 V del sistema fotovoltaico, asegurando un suministro continuo tanto durante el día como en la noche.

Se seleccionó un integrado TPS562201 de Texas Instruments (observar Figura 8) que es un convertidor CD-CD reductor de voltaje y, de acuerdo con la hoja de datos permite alta eficiencia para cargas de bajo consumo, este dato es relevante, pues la fuente principal del sistema es una batería de 12V.

Figura 8. Circuito integrado TPS562201.



Implementación del prototipo

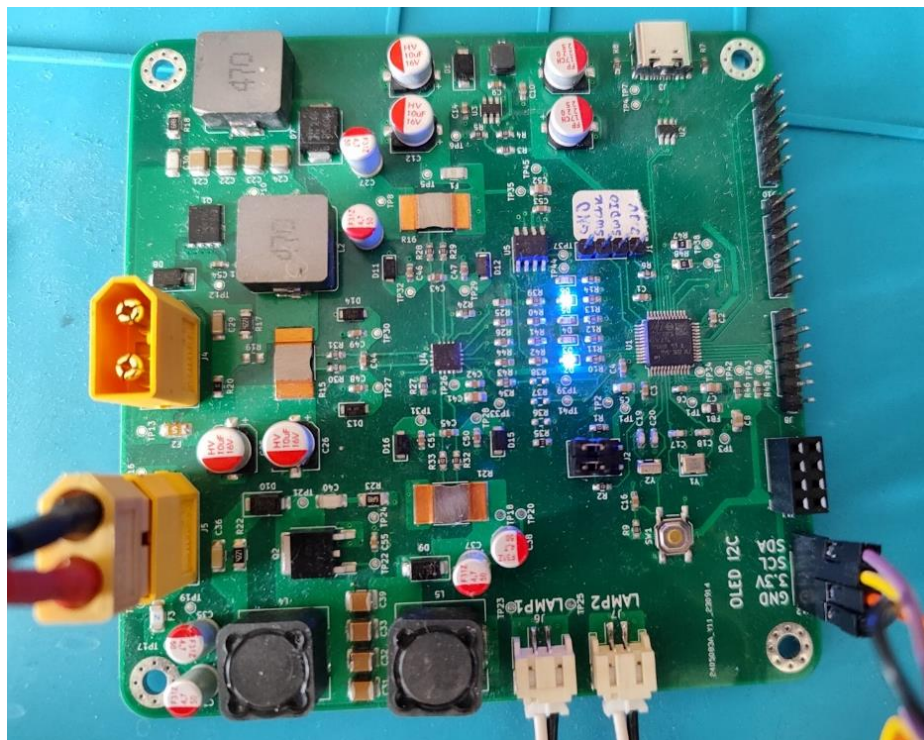
Se procedió a la fabricación de los circuitos impresos (PCB) para los módulos de acondicionamiento de batería y control de luminarias, utilizando herramientas de diseño asistido por computadora y software de layout PCB (KiCad 7). La soldadura y ensamblaje de los componentes se realizaron en laboratorio siguiendo procedimientos de montaje superficial (SMD) y control de calidad de conexiones. El microcontrolador se programó para supervisar los niveles de carga de la batería y activar la iluminación de forma automática al anochecer, conforme a la detección de niveles de irradiancia. La validación se realizó mediante pruebas de carga y descarga en un entorno controlado y en campo abierto. Se monitorizó el voltaje de entrada del panel solar, la tensión de salida del convertidor y la corriente de carga de la batería. Adicionalmente, se evaluó la autonomía del sistema durante ciclos nocturnos completos, asegurando que la iluminación permaneciera operativa sin caída de tensión significativa. Los resultados se compararon con los valores obtenidos en simulación, verificando la correspondencia de los datos con un margen de error menor al 5 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para validar el desempeño del sistema, se realizó la construcción e integración de los bloques funcionales: panel fotovoltaico, convertidor SEPIC, banco de baterías de plomo-ácido y luminarias LED de bajo consumo. Los ensayos experimentales se llevaron a cabo en condiciones controladas de laboratorio y en un entorno exterior representativo, considerando variaciones en la irradiancia solar y ciclos completos de carga y descarga.

El resultado del ensamble total y primer encendido del sistema para se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Placa desarrollada para el Sistema Fotovoltaico de Bajo Consumo, Autosustentable para Iluminación Exterior



Los resultados obtenidos evidencian que el convertidor SEPIC mantiene una tensión de salida estable cercana a 14.2 V, aun cuando el voltaje de entrada proveniente del panel fotovoltaico fluctuó entre 9 V y 24 V, dependiendo de la radiación incidente. Las simulaciones realizadas en LTspice mostraron coherencia con los valores medidos en las pruebas de laboratorio, confirmando la correcta selección de inductores, capacitores y dispositivos de conmutación. La eficiencia promedio del convertidor se ubicó entre 90 % y 92 % en las condiciones de carga máxima para la batería y operación de las luminarias. Por otra parte, las luminarias LED presentaron un consumo total inferior a 25 W, ofreciendo un flujo luminoso adecuado para espacios exteriores domésticos o de caminos comunitarios. La autonomía del sistema con un banco de baterías de 12 Ah, permitió mantener encendidas las luminarias durante un periodo de 10 a 12 horas continuas, cubriendo en la noche completa.

Los resultados confirman que un sistema fotovoltaico compacto, equipado con convertidores SEPIC y luminarias LED de alta eficiencia, es capaz de satisfacer las necesidades de iluminación exterior sin requerir suministro energético de la red pública. Esto es muy importante en zonas rurales o urbanas con infraestructura eléctrica limitada o inexistente.

Comparado con sistemas de iluminación convencionales, este proyecto ofrece una reducción significativa del consumo energético y en los costos de operación a mediano y largo plazo. La estabilidad de la tensión de salida del convertidor bajo diferentes condiciones de radiación solar demuestra la que la topología SEPIC es adecuada para aplicaciones de captación fotovoltaica y acondicionamiento de energía.

También, se observa que el bajo mantenimiento junto con la durabilidad de los componentes, contribuye a la viabilidad de utilizar esta tecnología en donde los recursos económicos y técnicos son limitados.

Finalmente, a pesar de los resultados obtenidos, se reconoce que es necesario optimizar algunos aspectos como la integración de algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) y el empleo de baterías con mayores ciclos de vida útil y menor impacto ambiental.

CONCLUSIONES

Crear un sistema fotovoltaico que se pueda mantener por sí mismo para iluminar espacios exteriores es una opción tanto técnica como respetuosa con el medio ambiente, especialmente frente a la creciente necesidad de energía eléctrica y la dependencia de combustibles fósiles. Los resultados que obtuvimos muestran que usar paneles solares de potencia media, junto con convertidores SEPIC de alta eficiencia y luces LED de bajo consumo, ayuda a captar, procesar y usar la energía solar de manera más efectiva. Esto asegura que la luz pueda mantenerse encendida de forma estable durante toda la noche. El diseño del convertidor SEPIC, que validamos a través de simulaciones y pruebas prácticas, demostró su capacidad para mantener la tensión de salida estable, incluso cuando la cantidad de sol varía. Además, logró conversiones de energía que superan el 90 %. Gracias a ello, junto con una buena elección de baterías y luminarias, garantizamos que el sistema tenga suficiente energía, incluso en días con mal clima. Nuestro prototipo demuestra que este tipo de soluciones es capaz de ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, puesto que reduce en parte el consumo de energía de la red eléctrica convencional. Esto no solo ayuda al medio ambiente, sino que también aporta beneficios sociales importantes, como para comunidades rurales y suburbanas que no tienen acceso a una energía eléctrica confiable, promoviendo así una mayor justicia energética y mejorando la calidad de vida. La estructura modular del sistema, basada en bloques que cumplen funciones específicas, facilita que pueda expandirse y adaptarse a diferentes escenarios.



Esto refuerza su potencial para ser replicado en proyectos de alumbrado público, en viviendas o en espacios comunitarios. Sin embargo, también identificamos áreas donde es posible seguir investigando, como la incorporación de algoritmos avanzados para seguir el punto de máxima generación de energía (MPPT), mejorar el control de carga mediante microcontroladores de bajo consumo, y buscar materiales más sostenibles para fabricar sus componentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Coyotl Mixcoatl, F., Tapia Olvera, R., Aguilar Mejía, O., Rivas Cambero, I. de J., Arroyo Núñez, J. H., & Erickson, R. W., & Maksimovic, D. (2001). *Fundamentals of Power Electronics* (2nd ed.). Springer.
- García Barrientos, A. (2008). *Sistema de iluminación con LED utilizando energía solar fotovoltaica*. Universidad Politécnica de Tulancingo. [En: Ruiz Barco, 2024].
- Green, M. A., Dunlop, E. D., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N., & Hao, X. (2023). Solar cell efficiency tables (version 61). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 31(1), 3–12. <https://doi.org/10.1002/pip.3603>
- IEA. (2023). *World Energy Outlook 2023*. International Energy Agency.
- Light & Engineering. (2019). *Design and analysis of highefficient driver model using ZVS SEPIC converter with MPPT* (Vol. 29, Núm. 2).
- Masters, G. M. (2013). *Renewable and Efficient Electric Power Systems* (2nd ed.). Wiley-IEEE Press.
- Mega Lámparas. (s.f.). *Driver LED: qué es, cómo funciona y para qué sirve*. Recuperado el 30 de junio de 2025
- Mora Villegas, O. J. (s.f.). *Sistema de iluminación con luces LED acondicionadas con energía solar para un edificio público*. Universidad Veracruzana. [En: Ruiz Barco, 2024].
- Paul, C. R. (2016). *Analysis of Multiconductor Transmission Lines* (2nd ed.). Wiley.
- PVfed ZetaSEPIC based integrated converter for street light system. (2023). IJRASET.
- Quintero Miranda, D. G. (s.f.). *Diseño de una luminaria de bajo consumo de potencia con tecnología LED*. ESIME Culhuacán.



- Rashid, M. H. (2017). *Power Electronics: Devices, Circuits, and Applications* (4th ed.). Pearson.
- van Campen, B., Guidi, D., & Best, G. (2000). *Solar photovoltaics for sustainable agriculture and rural development* (FAO Working Paper).
- Ruiz Barco, E. (2024). *Desarrollo de un sistema autosustentable de iluminación externa usando celdas fotovoltaicas* (Tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional.
- Trimech, S. (s.f.). STM32F103C8T6 Shield [Diseño de hardware de código abierto]. OSHWLab. Recuperado el 30 de junio de 2025
- ZGSM. (2021). *Case Study – LED solar street light in the park of Mexico* (proyecto con panel solar de 200 W y luminaria LED de 35 W).

