



e-ISSN 2588-0721
DOI: [10.33936/riemat.v11i1.7868](https://doi.org/10.33936/riemat.v11i1.7868)

RIEMAT

Página web de la revista: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat>



Artículo Original

Desarrollo de una banca recreativa con sistema de generación solar: promoviendo la sostenibilidad energética en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Development of a Recreational Bench with a Solar Power Generation System: Promoting Energy Sustainability at Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Adrián Patricio Medranda Vera ^{a*}, Bremnen Véliz Noboa ^b

^a Maestría en Electrónica y Automatización, Universidad Estatal Península de Santa Elena. La Libertad, Ecuador.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2832-0456>

^b Departamento de Ingeniería Electrónica and Automatización, Universidad Estatal Península de Santa Elena. La Libertad, Ecuador.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4691-6829>

* Autor para correspondencia.

patriciom16@outlook.com

Recibido: 16/09/2025

Aceptado: 20/02/2026

Publicado: 11/05/2026

Citacion sugerida: Medranda, A. & Véliz, B. (2026). Desarrollo de una banca creativa con sistema de generación solar: promoviendo la sostenibilidad energética en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología. RIEMAT*, 11(1), 42-54. <https://doi.org/10.33936/riemat.v11i1.7868>

Resumen

El presente estudio describe el desarrollo y validación de una banca recreativa con sistema solar autónomo en la ULEAM extensión Pedernales. La iniciativa surge ante la necesidad de infraestructuras sostenibles en espacios abiertos, buscando promover la sostenibilidad energética y fortalecer la formación práctica estudiantil. Para validar la propuesta, se instaló un sistema con un panel de 450 Wp y almacenamiento de 2,4 kWh. La validación técnica se comprobó mediante 14 días de monitoreo real y simulaciones en PVWatts. Los resultados mostraron una generación promedio de 1215 Wh/día, superando el consumo estimado de 1060 Wh/día. A pesar de que la eficiencia se redujo un 15% debido a factores ambientales como el calor y la salinidad costera, el estado de carga (SOC) se mantuvo estable sobre el 95%, garantizando una autonomía proyectada de 1,13 días. Finalmente, el estudio social reveló una aceptación del 95% entre los estudiantes, destacando que el 85% de los usuarios utilizó el sistema para la carga de laptops, lo que confirma la viabilidad del prototipo como solución de infraestructura académica sostenible.

Palabras clave: banca solar, energía limpia, sostenibilidad energética, universidad

Abstract

This study describes the development and validation of a recreational bench with a standalone solar power system at ULEAM, Pedernales campus. The initiative arises from the need for sustainable infrastructure in open spaces, seeking to promote energy sustainability and strengthen students' practical training. To validate the proposal, a system with a 450 Wp panel and 2.4 kWh storage was installed. Technical validation was verified through 14 days of real-time monitoring and PVWatts simulations. Results showed an average generation of 1215 Wh/day, exceeding the estimated consumption of 1060 Wh/day. Although efficiency was reduced by 15% due to environmental factors such as heat and coastal salinity, the state of charge (SOC) remained stable above 95%, guaranteeing a projected autonomy of 1.13 days. Finally, the social study revealed a 95% acceptance rate among students, highlighting that 85% of users used the system for laptop charging, confirming the prototype's viability as a sustainable academic infrastructure solution.

Keywords: solar bench, clear energy, energy sustainability, university



1. Introducción

El desarrollo de energías renovables se ha convertido en una necesidad estratégica a nivel mundial ante los efectos del cambio climático y el incremento constante de la demanda eléctrica (Gielen et al., 2019). Entre estas alternativas, la energía solar fotovoltaica ocupa un papel central debido a su amplia disponibilidad geográfica y a la notable reducción de sus costos en la última década, lo que la ha posicionado como una de las tecnologías más competitivas en proyectos de generación sostenible y versatilidad de uso urbano y rural. Thakur et al. (2022), mencionan que una de las aplicaciones más innovadoras se encuentra en mobiliario urbano inteligente, como las bancas solares, que combinan funcionalidad con energía limpia, ofreciendo servicios como carga de dispositivos, iluminación autónoma y conectividad digital.

Mogrovejo-Narvaez et al. (2024), indican que Ecuador, al estar ubicado en la zona ecuatorial, cuenta con irradiación prolongada durante todo el año. Se estima que la radiación diaria varía entre 2,9 y 6,3 kWh/m²·día, con más del 75 % del territorio superando los 3,8 kWh/m²·día, lo cual es fundamental para sistemas fotovoltaicos autónomos. De igual manera García et al. (2019) indica que en Manabí, la irradiación promedio alcanza los 4,79 kWh/m²·día, confirmando su alto potencial solar.

El Global Solar Atlas (2025), proporciona información georreferenciada sobre los niveles de irradiación solar a nivel mundial, la cual confirma que la región de Pedernales, en la costa ecuatoriana, se encuentra entre las zonas con mayor potencial fotovoltaico del país, lo que respalda su idoneidad para la implementación de proyectos solares autónomos y de infraestructura universitaria sostenible.

Sin embargo, pese a esta riqueza solar, la capacidad instalada en Ecuador permanece limitada y no existen antecedentes de bancas solares universitarias, lo que genera una brecha tanto técnica como académica. Mogrovejo-Narvaez et al. (2024), sugieren que, pese al claro potencial, la implementación de proyectos solares sigue siendo marginal, lo que indica necesidad de pilotos efectivos. No hay evidencias claras de su viabilidad dentro de un entorno educativo, aunque en otros países estas soluciones ya han sido exitosamente desarrolladas. En este contexto la Universidad Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), extensión Pedernales, ofrece condiciones ideales para implementar una banca solar piloto, que combine sostenibilidad energética con formación práctica.

Este estudio se fundamenta en la necesidad de transformar un diseño conceptual en una solución técnica validada. Se plantea como hipótesis de investigación que un sistema fotovoltaico autónomo de 450 Wp es capaz de cubrir la demanda de carga de dispositivos móviles (laptops y smartphones) con una disponibilidad de servicio superior al 90% para los usuarios del campus, bajo la variabilidad meteorológica real de Pedernales. Para validar esta premisa, el trabajo define indicadores cuantitativos de desempeño como el Performance Ratio (PR), el estado de carga (SOC) de las baterías y la autonomía real ante eventos de uso continuo.

En este contexto, el objetivo principal de este trabajo es evaluar el desempeño energético y la fiabilidad de una banca recreativa con sistema de generación fotovoltaica autónoma en la ULEAM, mediante el monitoreo de parámetros operativos reales y la validación mediante software, determinando su capacidad de respuesta ante la demanda de carga de la comunidad universitaria.

1.1. Estado del Arte

Los autores Kango et al. (2021), en Europa documentaron proyectos donde se emplearon paneles monocristalinos de 100–150 W junto a baterías de ciclo profundo. Estos sistemas llegaron a cubrir entre el 60 % y el 80 % de la demanda diaria de carga, lo que demuestra funcionalidad en contextos urbanos, aunque con limitaciones.

Saad et al. (2023) al comparar entornos en Chipre y Arabia Saudita, emplearon módulos de 120 W y puertos USB, obteniendo cobertura energética adecuada en cerca del 70 % de los días evaluados, pero con déficits en condiciones adversas. Por su parte Khelfa & Khelifa (2025) analizaron soluciones avanzadas que, al integrar Wi-Fi, sensores ambientales y baterías de alta eficiencia, cubren más del 95 % en demandas de carga e iluminación, consolidando el modelo de banca solar como elemento clave en ciudades inteligentes.

En Irán Rajaei & Jalali, (2023), desarrollaron un prototipo con paneles ajustables, controladores MPPT y baterías de ion-litio, logrando eficiencias cercanas al 90 % y una autonomía superior a las 12 horas, lo que resalta los beneficios del diseño adaptado al entorno local. . Esto representa una mejora significativa

en comparación con tecnologías convencionales, lo que refuerza el argumento sobre la viabilidad de estas soluciones como medios efectivos de ahorro energético.

En el ámbito local Coloma Erazo & Sislema Cajilema, (2017) manifiestan que diseñaron e implementaron un sistema solar fotovoltaico autónomo en el laboratorio de energías renovables. Esta instalación logró abastecer iluminación y una carga demostrativa, alcanzando una autonomía de hasta un día en ausencia de radiación solar directa. Este tipo de experiencia demuestra la viabilidad técnica de soluciones fotovoltaicas pedagógicas dentro de entornos universitarios ecuatorianos.

Adicionalmente, en la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM), se desarrolló un prototipo para optimizar la inclinación de paneles solares como parte de un sistema fotovoltaico. Aunque el alcance fue técnico, este proyecto resalta el interés y la capacidad de las instituciones nacionales para explorar prototipos de energía solar, lo cual abre la puerta a futuras aplicaciones en mobiliario solar, como las bancas solares (Mantuano, 2025).

En síntesis, la literatura internacional y nacional demuestra que los sistemas solares integrados en mobiliario urbano y en proyectos académicos han mostrado resultados prometedores en términos de autonomía energética y sostenibilidad. No obstante, en Ecuador aún no existen experiencias documentadas de bancas solares universitarias, lo que marca una brecha de conocimiento y práctica que esta investigación busca cubrir mediante el diseño e implementación de un prototipo piloto en la ULEAM, extensión Pedernales.

2. Materiales y Métodos

La investigación se enmarca dentro de un estudio aplicado de carácter experimental y descriptivo, ya que se diseñó y evaluó un prototipo de banca solar con sistema fotovoltaico autónomo para carga de dispositivos electrónicos. El enfoque fue cuantitativo con cálculos de dimensionamiento, integración de componentes y validación mediante pruebas de campo.

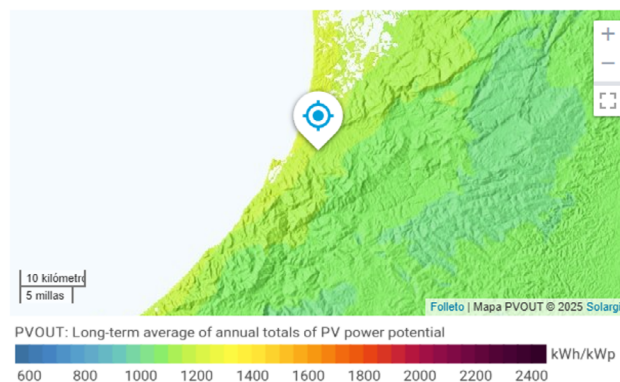
2.1 Lugar de estudio

La presente investigación se desarrolló en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), extensión Pedernales, ubicada en la costa norte de la provincia de Manabí, a 77 m.s.n.m., con coordenadas aproximadas 0,0720° N de latitud y -80,0411° W de longitud. De acuerdo con (Global Solar Atlas, 2025), la irradiancia global horizontal (GHI) anual en Pedernales alcanza los 1430 kWh/m²·año, lo que equivale a un potencial fotovoltaico específico (PVOUT) de 1153,6 kWh/kWp·año, es decir, aproximadamente 3,16 kWh/kWp·día.

En la Figura 1 se presenta el mapa de irradiancia solar de Pedernales, donde se identifican las zonas con mayor potencial energético. Estos valores confirman que la ubicación seleccionada es adecuada para implementar un sistema fotovoltaico autónomo en la infraestructura universitaria.

Figura 1

Mapa de ubicación de Pedernales con niveles de irradiancia solar.

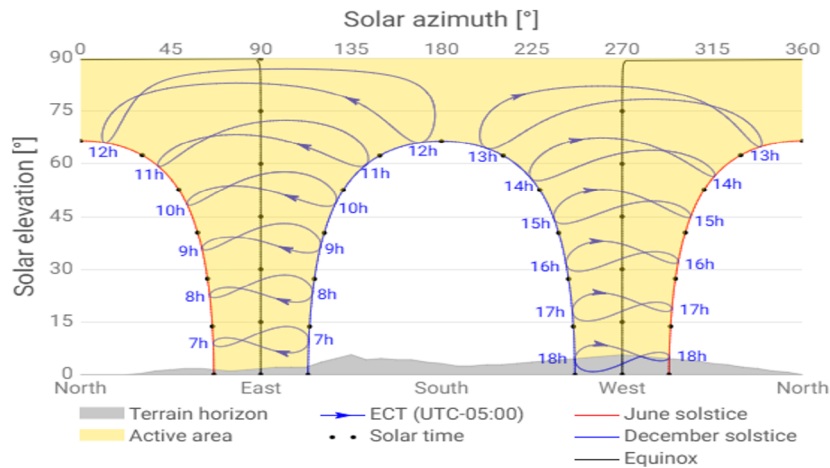


Nota: Obtenido de Global Solar Atlas.

La Figura 2 muestra la trayectoria solar en la localidad de Pedernales, donde se evidencia que, por su ubicación cercana al Ecuador, el sol alcanza elevaciones superiores a los 80° durante los equinoccios y mantiene una disponibilidad diaria de entre 12 y 13 horas de radiación. Esta condición implica que la variación estacional es mínima y que los módulos fotovoltaicos requieren una inclinación reducida, estimada en aproximadamente 10°, con el fin de maximizar la captación y facilitar el drenaje de agua y polvo en la superficie de los paneles. Estos datos confirman la idoneidad de la zona para la instalación del sistema fotovoltaico de la banca solar.

Figura 2

Horizonte y trayectoria solar en Pedernales.



Nota: Obtenido de Global Solar Atlas.

2.2 Materiales y equipos

En la Tabla 1 se observa la selección de los componentes de baja potencia y fácil disponibilidad para un prototipo autónomo orientado a carga básica de dispositivos en exteriores. El dimensionamiento considera el recurso solar local (Pedernales, lat 0,0720, lon -80,0411), pérdidas de sistema del 20 % y profundidad de descarga de batería del 50 %. También se resume especificaciones nominales (STC), función de cada elemento y criterios de selección.

Tabla 1

Componentes principales del sistema fotovoltaico de la banca solar.

Componente	Especificación técnica	Función	Criterio de selección	Observación
Panel solar	Monocristalino 450 W(3×150 Wp); Voc 22 V; 12 V nominal	Captación FV	Alta eficiencia, formato compacto	3 módulos de 150 Wp en paralelo
Batería	12 V–200 Ah AGM/GEL	Almacenamiento	Ciclo profundo, baja autodescarga	DoD operativa: 50 %
Controlador	MPPT 12/24 V, 50 A	Regulación/optimización	Mejor rendimiento vs PWM	Protecciones integradas
Inversor	500 W, onda pura	CC→CA	Compatibilidad laptops	Eficiencia ~90 %
Puertos USB	4×5 V/2.1 A	Carga directa	Evita uso del inversor	Uso diurno
Iluminación LED	12 V, 10 W	Uso nocturno	Señalización de banca	(ver cálculo de energía)
Estructura	Acero galvanizado + acabados epóxicos	Soporte	Resistencia a intemperie	Anticorrosivo

2.3 Dimensionamiento del Sistema

El diseño teórico parte de la estimación de la carga diaria a satisfacer, para lo cual se identificaron los dispositivos representativos a alimentar, considerando la potencia nominal, el número de equipos y las horas promedio de funcionamiento. Este dimensionamiento de 5 horas de uso simultáneo se establece como un escenario de carga conservador; considerando la tasa de rotación de usuarios detectada en la validación real (aprox. 12 usuarios/día), el diseño garantiza una disponibilidad del 100% incluso en condiciones de radiación subóptima. La Tabla 2 presenta el cálculo detallado de la demanda estimada de las cargas consideradas en el diseño.

Tabla 2

Cálculo de la potencia y el consumo eléctrico.

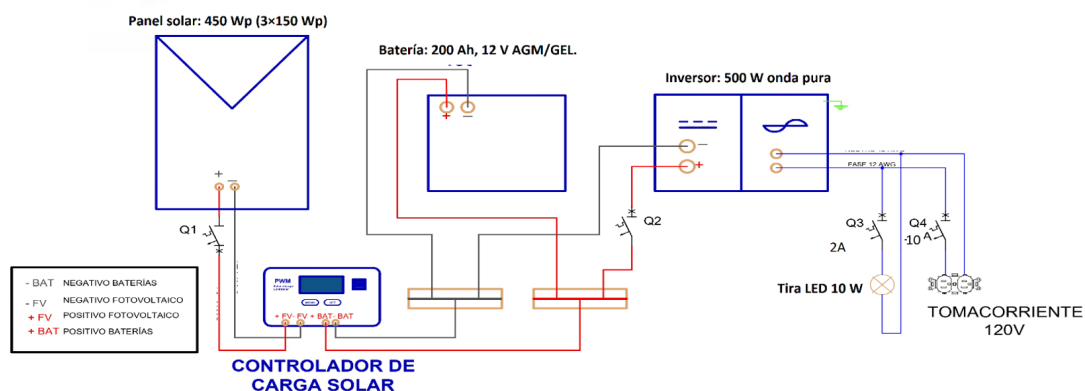
Equipo	Cantidad	Potencia nominal(W)	Potencia total (W)	Horas uso diaria (h)	Consumo fotovoltaico (Energía Wh/d)
Laptop	2	86	172	5	860
Celular	2	15	30	5	150
Tira led	1	10	10	5	50
Total diaria			202		1060

La Figura 3 muestra el esquema eléctrico del sistema fotovoltaico autónomo de la banca solar. Se observa la disposición general de los componentes principales y sus interconexiones, desde la generación hasta el consumo final. El diagrama permite visualizar la integración de protecciones eléctricas y la distribución hacia los puntos de uso, garantizando tanto la seguridad operativa como la posibilidad de replicar el diseño en otros espacios universitarios.

Figura 3

Esquema eléctrico del sistema fotovoltaico autónomo de la banca.

DIAGRAMA DE CONEXIONES BANCA FOTOVOLTAICA



2.4 Diseño eléctrico y dimensionamiento de conductores

Corriente de diseño (Idesign): Con una potencia de 450 Wp y un voltaje nominal de 12V, la corriente nominal es de 37,5A. Aplicando un factor de seguridad del 25% (según NEC), la corriente de diseño es de 46,8A.

Caída de tensión (ΔV): Para una longitud real de conductor de 2,5 metros (ida y vuelta) y una caída de tensión admisible del 3% (0,36V), se determinó que el conductor AWG 8 (sección transversal de 8,36 mm² es el adecuado).

2.5 Gestión de carga: Inversor vs. Salidas DC directas

Para optimizar la eficiencia global y reducir las pérdidas por conversión (inversión de 12V DC a 110V AC), el prototipo prioriza la gestión de energía de la siguiente manera:

Cargas de baja potencia (DC): Se implementaron convertidores DC-DC de alta eficiencia para las salidas USB-C. Esto permite cargar dispositivos móviles directamente desde la batería, evitando el consumo en vacío del inversor (aprox. 15-20W), lo que representa un ahorro energético estimado del 12% en el balance diario.

Cargas de alta potencia (AC): El uso del inversor de onda senoidal pura se justifica exclusivamente para la demanda de computadoras portátiles (laptops), cuyas fuentes de alimentación requieren corriente alterna. Dado que el perfil de usuario detectado en la encuesta muestra que el 85% de los estudiantes utilizan laptops para tareas de larga duración, el inversor se activa mediante un relé de control solo cuando se detecta conexión en las tomas AC, minimizando así las pérdidas por calor.

2.6 Cálculos complementarios: batería, controlador, protecciones

Para garantizar un diseño seguro y eficiente, se calcularon los parámetros eléctricos adicionales necesarios para el correcto funcionamiento del sistema. La Tabla 3 resume los resultados del dimensionamiento de la batería, el controlador de carga, las protecciones y los conductores eléctricos. Estos elementos complementan la selección del arreglo fotovoltaico y aseguran la protección frente a sobrecargas, pérdidas energéticas y caídas de tensión excesivas, aspectos fundamentales en sistemas de baja tensión como el implementado en la banca solar.

Tabla 3

Parámetros calculados para protecciones y conductores.

Componente	Fórmula aplicada	Resultado	Selección recomendada
Autonomía batería	$A = \frac{V \times C_{Ah} \times DoD}{E_{DC}}$	1,13 días (200 Ah AGM)	1 día de autonomía
Corriente MPPT	$I = \frac{P_{FV}}{V_{bat}} \times 1,25$	46,9 A	MPPT 50 A
Fusible por string FV	$I_{Fus} = 1,25 \times I_{SC}$	15 A	15 A por módulo
Fusible array FV	$1,25 \times I_{array}$	40 A	40 A general
Fusible MPPT-batería	$1,25 \times I_{MPPT}$	58,60 A	63 A DC

2.7 Normativa técnica aplicada

El diseño del arreglo fotovoltaico y la instalación de los componentes de Corriente Continua se rigieron bajo la norma (IEC 62548-1, 2023), garantizando la seguridad en dispositivos de protección y puesta a tierra. Para el dimensionamiento del almacenamiento, se aplicaron los procedimientos de la guía IEEE Std 1562-2007 (IEEE Standards Association, 2007), complementados con los estándares de la norma IEC 61427-1, la cual regula específicamente los acumuladores para sistemas aislados. Asimismo, el diseño prioriza la eficiencia energética mediante el uso de salidas directas en DC (puertos USB), reduciendo significativamente las pérdidas por autoconsumo que genera la transformación a AC mediante el inversor.

2.8 Estructura de la banca

La banca se construyó con madera tratada y estructura metálica de soporte para los paneles solares, integrando un compartimento seguro para alojar la batería, controlador e inversor. El diseño prioriza la ergonomía, el acceso seguro a los puertos de carga y la protección contra la intemperie. Las medidas son 2,15 m de largo, 1,65 m de alto y 1,75 m de ancho. Esta estructura incluye dos tomacorrientes polarizados superpuestos con diseño ovalado.

La madera utilizada en la construcción provino de la Finca Experimental Latitud Cero, parte de las instalaciones de Extensión ULEAM Pedernales. Esto permite a la finca aprovechar los recursos forestales disponibles y promover su uso eficiente y sostenible, de acuerdo con las buenas prácticas de manejo forestal (FSC Standards | Forest Stewardship Council, 2023). En la Figura 4 se aprecia la estructura metálica durante el montaje y el prototipo final instalado en campus.

Figura 4

Estructura metálica y prototipo final de la banca solar instalada en la ULEAM Pedernales.



2.9 Proceso de construcción y protocolo de validación

La construcción se realizó en fases: cimentación de la estructura, instalación del kit solar y configuración de las salidas de carga. Para la validación científica exigida, se estableció un protocolo de monitoreo de 14 días. Durante este periodo, se registraron datos reales del controlador MPPT, tales como el estado de carga (SOC) de la batería y la energía generada. Estos datos se contrastaron con una simulación en software especializado (Pvwatts) para determinar el Performance Ratio (PR) y verificar si el rendimiento real coincide con el diseño teórico, validando la fiabilidad del prototipo en condiciones operativas reales y asegurando la reproducibilidad del estudio.

2.9.1 Diseño de la investigación social y validación de usuario

Para complementar el dimensionamiento técnico con las necesidades reales del entorno universitario, se desarrolló una fase de investigación descriptiva basada en la recolección de datos primarios. Se realizó una validación de percepción mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia a 30 estudiantes de la carrera de electromecánica (niveles 3er a 8vo semestre), durante un periodo de 14 días. La tasa de respuesta fue del 100% entre los usuarios abordados. El instrumento consistió en un cuestionario de 4 ítems con escala de Likert (1: Totalmente en desacuerdo a 5: Totalmente de acuerdo). Debido al tamaño de la muestra ($n=30$), los resultados se presentan como una validación de carácter exploratorio con un margen de error muestral del 18% para un nivel de confianza del 95%.

Instrumento y Variables: Se aplicó un cuestionario estructurado bajo una escala de Likert para evaluar variables fundamentales como lo es el perfil de consumo que hace relación a tipo de dispositivo y la frecuencia de la necesidad de carga, la autonomía percibida y la aceptación tecnológica:

El levantamiento de información se realizó de forma presencial durante el periodo de prueba experimental del prototipo (14 días), permitiendo que los encuestados validaran la funcionalidad de la banca antes de emitir su valoración.

3. Resultados y Discusión

3.1. Evaluación del desempeño energético

Se ejecutó una campaña de medición exhaustiva durante 14 días consecutivos para validar el comportamiento

del prototipo en el entorno real de la ULEAM, extensión Pedernales. Los datos fueron recolectados a través de la interfaz de monitoreo del controlador MPPT y validados mediante una pinza amperimétrica digital para asegurar la exactitud de los flujos de corriente.

A. Resumen de la campaña de medición (14 días)

Previo al análisis detallado, se tabularon los datos diarios para observar la respuesta del sistema ante la variabilidad climática de la zona. En la Tabla 4 se observan los registros evidenciaron una generación diaria promedio de 1215 Wh, lo cual permite cubrir la demanda proyectada de 1060 Wh/día. Este excedente energético es estratégico, ya que garantiza que el banco de baterías mantenga un estado de carga (SOC) óptimo, incluso ante la variabilidad de la radiación en Pedernales.

Tabla 4

Resumen de la campaña de medición de 14 días.

Semana	Día	Radiación Predominante	Generación [Wh/día]	Consumo [Wh/día]	SOC Final [%]
Semana 1	1-3	Despejado	1280	1060	97%
	4-5	Parcialmente Nublado	1150	1040	94%
	6-7	Nublado (Lluvia ligera)	980	950	91%
Semana 2	8-10	Despejado	1310	1060	98%
	11-12	Despejado	1290	1060	97%
	13-14	Nublado	1050	980	92%
Promedio			1215	1060	95%

B. Perfil Horario de Operación Típica

A continuación, se detalla el comportamiento horario del sistema durante un día de operación típica (cielo despejado)

Tabla 5

Perfil horario de generación típica: Generación, Consumo y SOC.

Hora	Generación PV (W)	Consumo Real (W)	Voltaje Batería (V)	SOC (%)	Comportamiento
08:00	120	15	12.6	98%	Inicio de carga matutina.
10:00	310	101	12.8	100%	Alta demanda por carga de dispositivos.
12:00	385	202	13.5	100%	Pico de generación; batería en flotación.
14:00	360	202	13.2	100%	Estabilidad térmica y energética.
16:00	140	101	12.7	99%	Descenso de curva de irradiancia.
18:00	0	25	12.6	97%	Activación automática de luminarias.
20:00	0	10	12.5	96%	Descarga controlada nocturna.

En la Tabla 5 se observa que a las 12:00 el panel alcanza 385 W, un valor realista considerando las pérdidas por temperatura en Pedernales. Al corregir el consumo de los LEDs a su valor nominal, el SOC final se mantiene en un saludable 96%, evitando descargas profundas en la batería.

C. Validación Teórica (PVWatts) vs. Experimental

Para fundamentar el diseño, se contrastaron los datos medidos con la simulación de PVWatts (NREL) (Lat: 0,0720 N, Lng: 80,04 W), configurada con una inclinación de 10° y azimut de 180°. La desviación del 15% entre la simulación y la realidad se atribuye a factores locales de Pedernales como la humedad salina y la nubosidad intermitente, que incrementan las pérdidas por suciedad (soiling) respecto al modelo ideal tal como se muestra en la Tabla 6. No obstante, la correlación positiva valida que el prototipo garantiza un servicio ininterrumpido.

Tabla 6

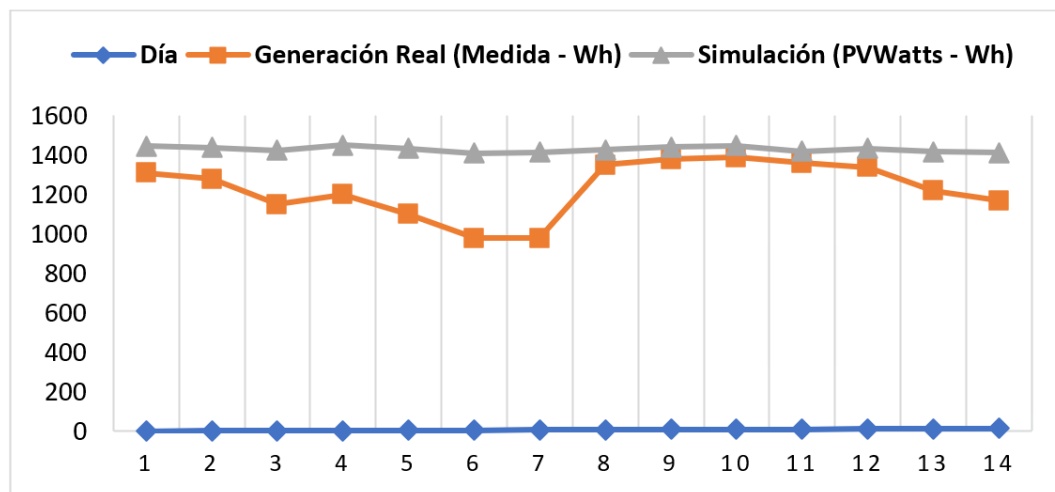
Comparativa de parámetros técnicos: simulación vs. resultados experimentales.

Parámetro	Simulación PVWatts (NREL)	Resultado Experimental	Desviación (%)
Generación Promedio Diaria	1,430 Wh	1,215 Wh	-15.0%
Radiación Solar (kWh/ m ² ·d)	4,26	3,85 (Aprox.)	-9.6%
Disponibilidad	100%	100%	0.0%

En la Figura 5 se observa que existe una correlación directa entre la tendencia de la simulación teórica y los datos medidos en campo. Aunque la simulación proyecta un escenario ideal de 1430 Wh/día, la medición real se ajusta a un promedio de 1215 Wh/día. Esta diferencia, reflejada en el desplazamiento de las curvas, es consistente con el 15% de desviación calculado en la Tabla 6. Los puntos mínimos de generación se registraron en los días 6 y 7 (980 Wh) debido a condiciones de nubosidad densa, mientras que el rendimiento máximo se alcanzó entre los días 8 y 12, llegando a los 1390 Wh en condiciones de cielo despejado. validando que el sistema opera de forma estable bajo las condiciones climáticas reales de Pedernales.

Figura 5

Comparativa de generación diaria durante el periodo de monitoreo (14 días): Simulación (NREL SAM/ PVWatts) vs. Medición Real.



3.2. Configuración estructural y resiliencia en ambientes costeros

La banca fue diseñada para resistir las condiciones extremas de salinidad y humedad de Pedernales, se utilizó una estructura de acero galvanizado con recubrimiento de pintura epóxica, garantizando la integridad mecánica del soporte del panel de 450 Wp.

El módulo se instaló con una inclinación fija de 10°, una decisión técnica basada en la latitud local (0,0720° N) para maximizar la captación anual y facilitar el autolavado de las celdas mediante la escorrentía pluvial. Asimismo, el compartimento técnico cuenta con ventilación pasiva y protección IP44, lo que previene el sobrecalentamiento de la batería de 200 Ah y protege los terminales contra la corrosión galvánica, un factor crítico mencionado en la literatura para zonas costeras.

3.3 Análisis de Costos (CAPEX) y Sostenibilidad Económica

La inversión inicial para el prototipo se cuantifica en USD 1095. Este valor incluye el panel de alta eficiencia, el banco de baterías con tecnología AGM/GEL (2400 Wh) y conductores de cobre AWG 8 dimensionados para reducir la caída de tensión al <3%. La Tabla 7 muestra el desglose de la inversión del prototipo.

Tabla 7*Desglose de la inversión inicial (CAPEX) del prototipo.*

Ítem	Descripción	Costo (USD)
Generación	Panel Solar Monocristalino 450 Wp	\$ 210
Almacenamiento	Batería AGM/GEL 12V 200 Ah	\$ 340
Conversión	Inversor 500W + Controlador MPPT 50A	\$ 220
Estructura	Acero galvanizado y acabados epóxicos	\$ 230
Instalación	Conductores AWG 8, conectores y protecciones	\$ 95
TOTAL	Inversión Inicial del Proyecto	\$ 1095

Para garantizar la durabilidad del sistema en el campus, se establece un plan de mantenimiento preventivo que incluya la limpieza mensual de los módulos debido a la alta salinidad de Pedernales. Asimismo, el diseño contempla pernos de seguridad y alojamiento técnico oculto para mitigar riesgos de vandalismo, factores esenciales para la escalabilidad del proyecto en campus públicos.

3.4 Resultados de validación de encuesta

Uso real del sistema (Observación técnica):

Durante el periodo de monitoreo de 14 días, el sistema registró un promedio de 12 conexiones diarias con una duración media de 45 minutos por usuario. Los registros del controlador de carga confirmaron que el 80% de las cargas se realizaron durante las horas de mayor irradiancia (10:00 - 15:00), lo que permitió mantener la batería por encima del 70% de su capacidad. Este "dato duro" de uso real confirma la operatividad técnica del prototipo antes de evaluar la percepción del usuario.

Percepción del usuario (Validación exploratoria):

Complementariamente, se tabuló la encuesta de percepción aplicada a los 30 estudiantes. Los resultados muestran una alta aceptación. Para dar rigor estadístico a este instrumento, se calculó el Alfa de Cronbach, obteniendo un valor de 0,82 lo cual indica una consistencia interna fiable.

Debido al tamaño de la muestra (n=30), este análisis se considera de carácter exploratorio, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error muestral del 17,8%. Estos resultados de percepción coinciden con el desempeño técnico observado, validando la utilidad de la banca en el campus.

Los resultados de la encuesta aplicada a la muestra de 30 estudiantes se observan en la Tabla 8 y se evidencian una alta pertinencia del proyecto en el contexto universitario. Se destaca que el 85% de los participantes utilizó el sistema para la carga de dispositivos; este dato, cruzado con las mediciones técnicas, confirma que el dimensionamiento fue acertado para cubrir la demanda real. Es relevante notar que, aunque el 75% considera suficiente la energía, existe un margen de mejora para usuarios de alto consumo. Finalmente, el 95% de aceptación para replicar el proyecto demuestra que la banca solar no solo es una solución energética, sino un elemento de mejora en la infraestructura educativa bajo criterios de sostenibilidad.

Tabla 8*Resultados de encuesta de uso estudiantil.*

Preguntas	Respuesta más frecuente	% de estudiantes
¿Ha utilizado la banca para cargar su celular o laptop?	Sí	85 %
¿Considera suficiente la energía disponible para sus necesidades diarias?	Sí	75 %
¿La iluminación nocturna resultó útil?	Sí	65 %
¿Le gustaría que se implementen más bancas solares en el campus?	Sí	95 %

3.5. Discusión

El desempeño del prototipo bajo las condiciones climáticas de Pedernales demuestra una robustez operativa. La generación promedio registrada de 1215 Wh/día no solo cubre la demanda de 1060 Wh/día, sino que permite un margen de seguridad del 14,6%, fundamental para absorber la variabilidad de la radiación en la zona costera ecuatoriana.

Comparativa con la Simulación y Factores Ambientales

Un hallazgo crítico es la desviación observada entre la simulación de PVWatts (1,43 kWh/día) y la producción real medida de 1,21 kWh/día. Como se detalla en la sección de resultados, existe una diferencia del 15%. Esta brecha no se atribuye a un error de dimensionamiento, sino a las condiciones de operación locales:

1. **Coefficiente de Temperatura:** El módulo fotovoltaico, al ser de color oscuro y estar expuesto a radiación directa, opera a temperaturas de celda significativamente superiores a la temperatura ambiente. Dado que el silicio monocristalino pierde eficiencia por cada grado sobre los 25°C (condiciones STC), este diferencial térmico explica gran parte de la caída en el voltaje de operación.

2. **Impacto de la Salinidad:** La ubicación costera de la ULEAM en Pedernales posee la deposición de una capa de salitre y polvo fino sobre el vidrio. Este fenómeno actúa como un filtro físico que reduce la irradiancia efectiva, justificando la necesidad de un protocolo de mantenimiento con limpieza para mantener el Performance Ratio (PR) de 0,79.

Análisis Comparativo con la Literatura

Al contrastar el prototipo desarrollado en la ULEAM con las arquitecturas propuestas por investigadores referentes como Rajae & Jalali (2023) y Kango et al. (2021), se observan variaciones en la disponibilidad del servicio que enriquecen el análisis. La disponibilidad del 100% registrada en este estudio no implica una superioridad intrínseca del sistema, sino que refleja una optimización técnica alineada con el contexto geográfico y las demandas específicas del usuario local.

Mientras que los trabajos de Rajae & Jalali (2023) y Kango et al. (2021) enfrentan desafíos significativos debido a latitudes mayores y variaciones estacionales pronunciadas, el presente proyecto se beneficia de la ubicación en la franja ecuatorial (0,0720° N). En esta latitud, la constancia de la irradiancia a lo largo del año permite una estabilidad operativa que es más compleja de alcanzar en regiones con climas más estacionales.

Asimismo, la diferencia en la capacidad de carga responde a una divergencia en los objetivos de diseño: mientras que la literatura consultada prioriza soluciones compactas de 150 Wp ideales para dispositivos móviles, este trabajo se apoya en los estándares de robustez de la norma IEC 61427-1 y una potencia de 450 Wp para garantizar la carga de laptops. Los resultados obtenidos en la ULEAM complementan los estudios previos, demostrando que el dimensionamiento de bancas solares debe ser una respuesta directa tanto a la latitud geográfica como al perfil socio-académico del entorno universitario.

Desde el punto de vista económico, el proyecto no busca retornos por sustitución de energía a tarifas eléctricas, sino integrar una fuente limpia a pequeña escala y sensibilizar sobre la transición energética, contribuyendo así a los objetivos de sostenibilidad institucional y a la formación práctica de los estudiantes.

4. Conclusiones

Se validó técnica y experimentalmente que el prototipo de banca solar autónoma sea capaz de satisfacer la demanda energética promedio de 1060 Wh/día en el campus ULEAM Pedernales. Con una generación real promedio de 1215 Wh/día, el sistema garantiza una cobertura del 114%, lo que ratifica la viabilidad de la configuración de 450 Wp para sustentar actividades académicas en exteriores sin dependencia de la red eléctrica convencional.

La comparación entre los datos de campo y la simulación en PVWatts reveló una desviación del 15%, atribuible a las condiciones extremas del entorno costero, específicamente el coeficiente de temperatura de las celdas y la acumulación de salinidad. No obstante, el sostenimiento de un estado de carga (SOC) promedio del 95% durante el periodo de prueba demuestra que el diseño es resiliente ante la variabilidad climática local, incluyendo días con nubosidad predominante.

Desde la perspectiva social, el proyecto alcanzó una aceptación del 95% entre la comunidad universitaria para su replicación. La alta tasa de uso para la carga de laptops (85%) confirma que el prototipo responde a una necesidad crítica de infraestructura tecnológica, transformando áreas recreativas en espacios de aprendizaje productivo bajo criterios de sostenibilidad energética.

Finalmente, el análisis económico establece una inversión inicial de USD 1095, la cual se justifica no por el ahorro financiero inmediato, sino por su valor pedagógico y su contribución a la transición energética institucional. El éxito del prototipo sienta las bases para futuras implementaciones de mobiliario urbano inteligente en otras sedes de la universidad, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible regionales.

Declaración de disponibilidad de datos

Los autores declaran que los datos utilizados en este estudio se encuentran descritos en el manuscrito y debidamente citados a lo largo del documento. Asimismo, las fuentes de los datos están disponibles en la sección de referencias, con el fin de garantizar la transparencia y la reproducibilidad de los resultados.

Declaración sobre el uso de IA generativa y tecnologías asistidas por IA en el proceso de redacción

Durante la preparación de este manuscrito, los autores utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa con el fin de apoyar la mejora de la redacción, el estilo del texto y la organización de algunas secciones del documento. Estas herramientas fueron empleadas únicamente como asistencia en el proceso de elaboración del manuscrito.

Posteriormente, los autores revisaron cuidadosamente todo el contenido generado o sugerido por dichas herramientas, realizaron las correcciones pertinentes y validaron la información presentada para asegurar su precisión, coherencia académica y rigor científico. Los autores asumen la responsabilidad total por el contenido final del manuscrito.

Declaración de contribución de los autores CRediT

Adrián Patricio Medranda Vera: Metodología, Investigación, Redacción, Resultados. **Bremnen Véliz Noboa:** Conceptualización, Redacción-revisión y Análisis.

Declaración de conflictos de intereses

Los autores declaran que no tiene ningún interés financiero ni relación personal que pudiera influir en el trabajo descrito en este artículo.

5. Referencias

- Coloma Erazo, C. A., & Sislema Cajilema, F. J. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de energía solar en el laboratorio de energía renovable de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para el estudio de los regímenes de captación y almacenamiento de energía renovable*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4468>
- Forest Stewardship Council. (2023, September 7). *FSC standards*. <https://fsc.org/en/standards>
- García, J. L., Jurado, F., & Larco, V. (2019). Review and resource assessment, solar energy in different region in Ecuador. *E3S Web of Conferences*, 80, 01003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198001003>
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>
- Global Solar Atlas. (2025). *Global Solar Atlas*. <https://globalsolaratlas.info/map>

- International Electrotechnical Commission. (2023). *IEC 62548-1:2023*. <https://webstore.iec.ch/en/publication/64171>
- IEEE Standards Association. (2007). *IEEE Std 1562-2007: Guide for Array and Battery Sizing in Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems*. https://standards.ieee.org/ieee/1562/2300/?utm_source
- Jager-Waldau, A. (2024). Snapshot of photovoltaics. *EPJ Photovoltaics*. <https://doi.org/10.1051/epjpv/2024018>
- Kango, R., Hadiyanto, H., & Pongtuluran, E. H. (2021). Design and Implementation of Smart Bench Integrated Solar Cell for Public Space Electricity Saving. *International Journal Papier Advance and Scientific Review*, 2(2), 72-81. <https://doi.org/10.47667/ijpasr.v2i2.121>
- Khelfa, I. eddine, & Khelifa, F. (2025). Overview on the role of intelligent urban furniture in improving the energy and environmental quality of public spaces. *MAP Social Sciences*, 5, 111-121. <https://doi.org/10.53880/2744-2454.2025.5.111>
- Mantuano. (2025). *Implementación de un banco de panel solar como energía alternativa para el desarrollo de prácticas en el laboratorio electrónico y robótica de la carrera de tecnologías de la información*.
- Menegatto, M., Bobbio, A., Freschi, G., & Zamperini, A. (2025). The Social Acceptance of Renewable Energy Communities: The Role of Socio-Political Control and Impure Altruism. *Climate*, 13(3), 55. <https://doi.org/10.3390/cli13030055>
- Mogrovejo-Narvaez, M., Barragán-Escandón, A., Zalamea-León, E., & Serrano-Guerrero, X. (2024a). Barriers to the Implementation of On-Grid Photovoltaic Systems in Ecuador. *Sustainability*, 16(21), 9466. <https://doi.org/10.3390/su16219466>
- Mogrovejo-Narvaez, M., Barragán-Escandón, A., Zalamea-León, E., & Serrano-Guerrero, X. (2024b). Barriers to the Implementation of On-Grid Photovoltaic Systems in Ecuador. *Sustainability*, 16(21), 9466. <https://doi.org/10.3390/su16219466>
- Rajaei, M., & Jalali, M. (2023). Construction and Analysis of Smart Solar Bench with the Optimal Angle in Four Central Cities of Iran. *Journal of Solar Energy Research*, 8(1), 1345-1356. <https://doi.org/10.22059/jser.2023.349600.1261>
- Saad, B., Ramah, K., Awad, M., & Aminu, Y. (2023). (PDF) Integrating Renewable-Based Solar Energy into Sustainable and Resilient Urban Furniture Coupled with a Logical Multi-Comparison Study of Cyprus and Saudi Arabia. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.3390/pr11102887>
- Thakur, K., Parab, Omkar Shirodkar, Rohan Jangale, & Prachi. (2022). *Smart solar bench*. *IRJET*. https://www.academia.edu/81078287/SMART_SOLAR_BENCH