



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO AUTOMATIZADO DE GENERACIÓN
ELÉCTRICA CON TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA PARA EL LABORATORIO DE
ENERGÍAS RENOVABLES”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título en Ingeniería en Energías
Renovables

Línea de investigación: Biotecnología, energía y recursos naturales
Renovables

AUTOR:

Fausto Jeffry Andrango Baculima

DIRECTOR:

Ing. Luis Hernán Álvarez Játiva. MSc

Ibarra – Ecuador 2026



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1750680892		
APELLIDOS Y NOMBRES:	ANDRANGO BACULIMA FAUSTO JEFFRY		
DIRECCIÓN:	Cayambe – Pichincha		
EMAIL:	fjandrangob@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	022138035	TELÉFONO MÓVIL:	0999092034

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO AUTOMATIZADO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES
AUTOR (ES):	ANDRANGO BACULIMA FAUSTO JEFFRY
FECHA: DD/MM/AAAA	07/01/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES
DIRECTOR:	Ing. Luis Álvarez Játiva. MSc

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 07 días del mes de enero de 2026

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Fausto Jeffry Andrango Baculima

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 07 de enero de 2026

Ing. Luis Hernán Álvarez Játiva. MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f)

Ing. Luis Álvarez MSc.

C.C.: 1002273678

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del Trabajo de Integración Curricular “CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO AUTOMATIZADO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES” elaborado por Andrango Baculima Fausto Jeffry, previo a la obtención del título de Ingeniero en Energías Renovables, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):

TUTOR: Ing. Luis Álvarez MSc.

C.C.: 1002273678

(f):

ASESOR: PhD. Daniel Sono

C.C.: 1714331913

(f):

BIOMETRISTA: PhD. Juan Carlos García

C.C.: 1002279535

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios, mis padres, abuelos, hijo y hermanos que con su amor y comprensión han sido mis fuentes de inspiración y la fortaleza más importante para cumplir con este objetivo, el poder demostrar que todo en la vida se logra con sacrificio y mucho esfuerzo, les doy gracias por haberme comprendido en los momentos más difíciles brindándome su amor para tener un mañana mejor apoyándome para completar un escalón más en la mi formación académica.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte por haber posibilitado una oportunidad de superación y aprendizaje que garantizan un éxito personal y profesional.

A los docentes, quienes con su gran aporte de conocimientos hicieron posible culminar con éxito este trabajo y plasmar una gran meta en mi vida profesional.

A mis padres y abuelos quienes con infinito amor a través de la vida han sabido guiarnos con su ejemplo de trabajo y honestidad, por todo su esfuerzo reflejado y por su constante apoyo que ha permitido alcanzar esta meta.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño, construcción y evaluación de un módulo automatizado de generación eléctrica con tecnología fotovoltaica, orientado a fines educativos en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Técnica del Norte, este módulo integra componentes como panel solar, un inversor híbrido y sistemas de almacenamiento, junto con sensores y herramientas de monitoreo en tiempo real con el que se busca proporcionar a los estudiantes una plataforma práctica para analizar parámetros eléctricos, estabilidad y respuesta del sistema bajo condiciones controladas, contribuyendo al aprendizaje técnico y la investigación aplicada en energías renovables y con ello la implementación de este módulo fomenta el desarrollo de soluciones sostenibles que se alinean con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente el ODS 4, ODS 7 y ODS 13, destacando la importancia de la educación técnica, la diversificación energética y la mitigación del cambio climático.

Palabras clave: Energía fotovoltaica, automatización, laboratorio, sostenibilidad, generación eléctrica, tecnología educativa.

ABSTRACT

This project focuses on the design, construction and evaluation of an automated power generation module with photovoltaic technology, oriented to educational purposes in the Renewable Energy Laboratory of the Technical University of the North, this module integrates components such as solar panel, a hybrid inverter and storage systems, along with sensors and real-time monitoring tools with which it seeks to provide students with a practical platform to analyze electrical parameters, stability and system response under controlled conditions, contributing to technical learning and applied research in renewable energies and thus the implementation of this module encourages the development of sustainable solutions that align with the Sustainable Development Goals, specifically SDG 4, SDG 7 and SDG 13, highlighting the importance of technical education, energy diversification and climate change mitigation.

Keywords: Photovoltaic energy, automation, laboratory, sustainability, power generation, educational technology.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos	4
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.4 Pregunta de investigación.....	5
1.5 Hipótesis.....	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Energías renovables y sus antecedentes	6
2.1.1 <i>Energía solar fotovoltaica</i>	8
2.1.2 <i>Componentes de un Sistema Fotovoltaico</i>	10
2.1.3 <i>Tipos de Paneles Solares Fotovoltaicos</i>	11
2.1.4 <i>Inversores Solares</i>	12
2.1.5 <i>Tipos de Baterías</i>	13
2.1.6 <i>Módulos automatizados de sistemas fotovoltaicos</i>	14
2.1.7 <i>Sistemas de almacenamiento de energía híbrido</i>	15
2.1.8 <i>Automatización en sistemas fotovoltaicos</i>	15
2.1.9 <i>Simulación y monitoreo en tiempo real</i>	15
2.1.10 <i>Aplicación educativa de módulos de generación fotovoltaica</i>	16

2.1.11	<i>Parámetros eléctricos</i>	16
2.1.12	<i>Respuesta a variaciones ambientales</i>	17
2.1.13	<i>Validación y análisis de eficiencia</i>	17
2.1.14	<i>Impacto de la validación en la sostenibilidad</i>	18
CAPÍTULO III		19
MATERIALES Y MÉTODOS		19
3.1	Área de estudio	19
3.2	Metodología de implementación del módulo fotovoltaico	21
3.3	Diseño de los subsistemas mecánicos y electrónicos del módulo automatizado de generación eléctrica	22
3.3.1	<i>Diseño del subsistema electrónico</i>	22
3.3.2	<i>Selección de los componentes electrónicos para el módulo</i>	23
3.3.3	<i>Diseño del subsistema mecánico</i>	27
3.4	Construcción del módulo tecnológico	29
3.4.1	<i>Estructura del panel solar</i>	30
3.4.2	<i>Instalación del inversor off grid</i>	31
3.4.3	<i>Instalación de la batería</i>	31
3.4.4	<i>Conexiones eléctricas</i>	31
3.4.5	<i>Protecciones y seguridad</i>	32
3.4.6	<i>Sistema de supervisión y monitoreo</i>	32
3.4.7	<i>Factor de calibración para el sensor de voltaje en AC</i>	33
3.4.8	<i>Factor de calibración para corriente AC (sensor QNDBK1-21 AC)</i>	33

3.4.9 Factor de calibración para corriente DC (sensor ACS712)	34
3.4.10 Factor de calibración para voltaje AC (sensor ZMPT101B)	34
3.5 Evaluación del módulo tecnológico	35
3.5.1 Variables de estudio	35
3.5.2 Parámetros eléctricos de evaluación	36
3.5.3 Estabilidad operacional del sistema.....	37
3.5.4 Respuesta dinámica ante variaciones controladas	38
3.5.5 Generación y análisis de curvas características	38
3.5.6 Validación de resultados	39
3.6 Materiales, equipos y software.....	39
CAPITULO IV	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1 Diseño y selección de componentes para el módulo fotovoltaico	41
4.2 Construcción del módulo tecnológico.....	56
4.2.1 Desarrollo del Subsistema electrónico.....	58
4.2.2 Ensamblaje e integración funcional del sistema fotovoltaico	59
4.2.3 Implementación de sensores y programación de para la adquisición de datos.....	60
4.3 Análisis gráfico de parámetros eléctricos.....	61
4.3.1 Análisis estadístico	68
4.3.2 Pruebas de normalidad en el software Minitab Statistical Software 22	69
4.3.3 Análisis de correlación de Spearman	70

4.4 Análisis de resultados.....	71
CAPÍTULO V	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
5.1 Conclusiones	75
5.2 Recomendaciones.....	76
Referencias bibliográficas.....	77
ANEXOS.....	85

Índice de Figuras

Figura 1	Generación eléctrica por fuente (%).....	2
Figura 2	Instalación fotovoltaica aislada	11
Figura 3	Laboratorio de Energías Renovables.....	20
Figura 4	Ubicación del área de estudio.....	21
Figura 5	Diagrama de bloques del sistema metodológico	22
Figura 6	Diagrama eléctrico del módulo tecnológico.....	23
Figura 7	Diseño de la estructura para el panel solar	28
Figura 8	Tablero de distribución y montaje de componentes	29
Figura 9	Model Solar Educational Equipment	30
Figura 10	Modelo del panel monocristalino 230 Wp	42
Figura 11	Modelo del inversor 1 kVA.....	44
Figura 12	Modelo de la batería serie SSB-12V50AH	47
Figura 13	Sensor De Voltaje DC Arduino 25V	49
Figura 14	Sensor de voltaje AC ZMPT101B.....	50
Figura 15	Sensor de Corriente ACS712 20A.....	51
Figura 16	Sensor QNDBK1-21 AC.....	52
Figura 17	Arduino UNO	53
Figura 18	Breker-Voltio 20A-AC.....	54
Figura 19	Interruptor magnetotérmico ABB RIEL DIN 2P 10A	55
Figura 20	DPS Solar DC 600V.....	56
Figura 21	Estructura de acero para el módulo automatizado.....	57
Figura 22	Montaje de los equipos y distribución de sus componentes.....	59
Figura 23	Diagrama de conexión de sensores de voltaje y corriente AC/DC	61

Figura 24 Vista principal de la Interfaz del sistema de Monitoreo Fotovoltaico en LabVIEW	62
Figura 25 Potencias del sistema (Red, Salida, FV).....	63
Figura 26 Voltajes y corrientes del módulo (Red, salida, FV)	64
Figura 27 Voltaje y Potencia vs Tiempo (Fuente Fotovoltaica).....	65
Figura 28 Voltaje y Corriente vs Tiempo: FV (Fuente Fotovoltaica)	66
Figura 29 Curva I-V del Panel Fotovoltaico.....	67
Figura 30 Curva P-V del Panel Fotovoltaico.....	68

Índice de Tablas

Tabla 1	Ventajas de la Energía Solar Fotovoltaica	10
Tabla 2	Clasificación principal de paneles.	12
Tabla 3	Tipos de Baterías para Almacenamiento Solar	13
Tabla 4	Matriz de selección del panel fotovoltaico	24
Tabla 5	Matriz de selección del inversor	25
Tabla 6	Matriz de selección de la batería.....	27
Tabla 7	Materiales, equipos y software	40
Tabla 8	Ficha técnica del panel de 230 W	43
Tabla 9	Ficha técnica del inversor	45
Tabla 10	Ficha técnica de la batería.....	48
Tabla 11	Parámetros eléctricos registrados durante pruebas de laboratorio	69
Tabla 12	Correlación de parámetros eléctricos.....	71

INTRODUCCIÓN

En esta sección se detallan la problemática, la justificación de la investigación y sus objetivos, se presentan las preguntas de investigación e hipótesis que constituyen el eje central de la investigación.

1.1 Problema

La falta de equipos especializados en el laboratorio de energías renovables dificulta la formación técnica y la investigación aplicada, ya que afecta a los estudiantes realizar mediciones precisas, análisis del rendimiento, simulaciones en condiciones controladas y la ausencia de herramientas como sensores de voltaje, corriente y potencia junto con sistemas de adquisición de datos que impide una evaluación rigurosa de los sistemas energéticos, limitando la comprensión de su funcionamiento y eficiencia; esta carencia restringe el desarrollo de conocimientos prácticos esenciales para la transición energética y compromete la calidad de la enseñanza en el área de energías renovables (Novoa et al., 2020).

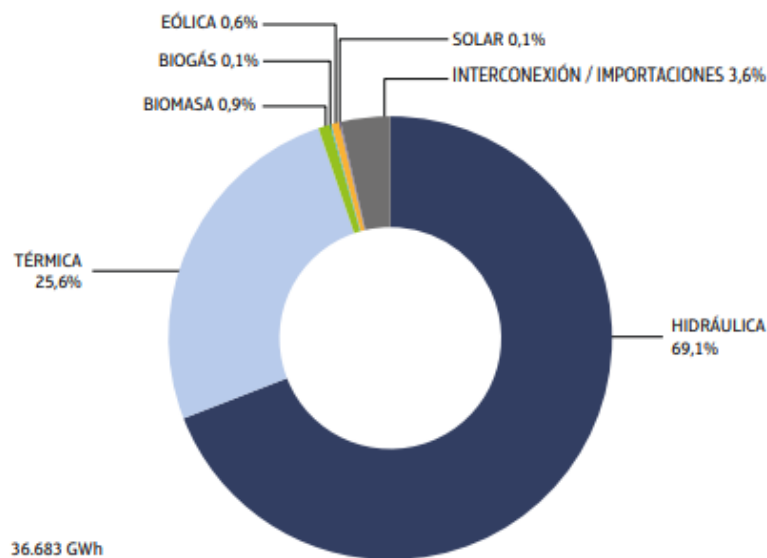
En los años recientes, se han realizado importantes proyectos en el sector eléctrico de Ecuador, con el objetivo de garantizar el suministro de electricidad, estas iniciativas se han centrado en el aprovechamiento de los recursos energéticos locales, priorizando la integración de energías renovables, en particular la hidroeléctrica; esta estrategia busca diversificar la matriz energética del país y reducir considerablemente el uso de combustibles fósiles (Benítez et al., 2020).

Ecuador tiene potencial energético no convencional para producir energía limpia y amigable con el medio ambiente. El Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR) ha implementado procesos de eficiencia energética en los sectores residencial, industrial y de transporte, en 2023 la energía hidroeléctrica representará el 69,1%

del suministro eléctrico, la energía térmica el 25,6% y otras fuentes el 1,7%, como se muestra en la Figura 1 (Ministerio de Energía y Minas, 2024)

Figura 1

Generación eléctrica por fuente (%)



Nota: Balance Energético Nacional 2023 (p.43) por Ministerio de Energía y Minas.

Según Cortes (2024), en respuesta a la situación actual, se han sugerido diversos enfoques en los últimos años para mitigar el impacto ambiental entre estos, las energías renovables han ganado terreno, particularmente la energía solar, esto es efectivo y ayudaría en áreas con alta radiación solar, como en Imbabura-Ecuador, donde el potencial de la energía solar puede aprovecharse ampliamente.

1.2 Justificación

La investigación se desarrolla para fortalecer los equipos y herramientas del Laboratorio de Energías Renovables en la Universidad Técnica del Norte, este se alinea a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por las Naciones Unidas,

específicamente con el ODS 4: Educación de calidad, el ODS 7: Energía asequible y no contaminante, y el ODS 13: Acción por el clima (Naciones Unidas, 2015).

La integración de un sistema fotovoltaico automatizado resulta fundamental en el entorno universitario, que permita a los estudiantes interactuar con tecnologías avanzadas y aplicar teoría en prácticas reales, mejorando así su aprendizaje y preparación para desafíos profesionales, este trabajo de investigación puede ayudar a generar conocimiento que será compartido con la comunidad científica, potenciando futuras investigaciones en el contexto de las energías renovables (Estévez, 2020).

Esta investigación apoya la transición hacia una energía limpia y sostenible en línea con los objetivos globales de reducir las emisiones de dióxido de carbono y combatir el cambio climático, módulos tecnológicos como este pueden servir como base para la difusión de tecnología en entornos urbanos o rurales para demostrar la viabilidad y los beneficios de la energía solar.

La falta de profesionales capacitados en energías renovables constituye una barrera significativa para alcanzar la transición hacia una matriz energética sostenible, un déficit que afecta la implementación de tecnologías avanzadas y limita el desarrollo de proyectos de energía limpia, especialmente en áreas rurales y regiones con potencial energético; además, en América Latina, donde la dependencia de fuentes fósiles aún predomina, la formación de especialistas es crucial para diversificar las fuentes de energía, impulsar la eficiencia y mitigar los efectos del cambio climático, pues sin una inversión sólida en educación y capacitación técnica, los países enfrentan dificultades para cerrar la brecha entre sus objetivos energéticos y las realidades actuales, razón por la cual una carrera enfocada en el estudio y desarrollo de las energías renovables resulta imprescindible para garantizar el avance hacia un futuro energético sostenible (Furtado y Paim, 2020).

El acceso a tecnología de punta y dispositivos especializados permite a los estudiantes ampliar la capacidad para realizar experimentos precisos, analizar datos complejos, desarrollar soluciones energéticas sostenibles, contar con el equipamiento adecuado no solo impulsa la investigación y la innovación tecnológica, sino que también brinda a los futuros ingenieros la oportunidad de desarrollar habilidades prácticas esenciales para abordar los retos energéticos del futuro (Zambrano et al., 2025).

Por ende, las instituciones educativas y los organismos de financiación deberían considerar la importancia de equipar adecuadamente estos laboratorios para garantizar que la próxima generación de ingenieros en energías renovables pueda afrontar debidamente el cambio hacia un futuro más verde y sostenible (Zuñiga y Valenzuela, 2020).

En alineación con los objetivos globales de sostenibilidad, este trabajo apoya la transición hacia energías limpias, tecnologías que mitigan el impacto ambiental y promueve el acceso equitativo a soluciones energéticas sostenibles.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Construir un módulo automatizado de generación eléctrica utilizando tecnología fotovoltaica, que sirva como herramienta práctica en el laboratorio de energías renovables.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar los subsistemas mecánicos y electrónicos del módulo automatizado de generación eléctrica.
- Construir el módulo tecnológico de acuerdo con los subsistemas diseñados.
- Evaluar la eficiencia del módulo automatizado en base a los parámetros eléctricos, la estabilidad y la respuesta ante variaciones controladas.

1.4 Pregunta de investigación

¿Cómo construir un módulo fotovoltaico automatizado que optimice la generación eléctrica y permita evaluar su desempeño en condiciones de laboratorio?

1.5 Hipótesis

Hipótesis alternativa (Ha)

- Si existe eficiencia significativa del módulo automatizado en base a los parámetros eléctricos, la estabilidad y la respuesta ante variaciones controladas.

Hipótesis nula (Ho)

- No existe eficiencia significativa del módulo automatizado en base a los parámetros eléctricos, la estabilidad y la respuesta ante variaciones controladas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este apartado se presenta un análisis integral de la información disponible relacionada con el diseño, construcción y evaluación de módulos fotovoltaicos automatizados dado que este marco conceptual permite fundamentar los principios teóricos y prácticos necesarios para desarrollar sistemas energéticos eficientes y sostenibles, aportando herramientas esenciales para el avance tecnológico y la transición hacia energías renovables, además, se busca establecer una base sólida para la implementación de metodologías que optimicen el aprendizaje académico y fomenten la innovación en el ámbito de la ingeniería energética.

2.1 Energías renovables y sus antecedentes

La crisis climática es un problema global que trasciende fronteras internacionales y demanda acciones conjuntas en múltiples niveles, en este contexto el desafío como países requiere colaboración entre naciones para facilitar la transición hacia una economía con menores emisiones de carbono (Naciones Unidas, 2015)

Según Furtado y Paim (2020), el sector energético sigue siendo el mayor contribuyente de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global, con un 81,3% de la matriz energética dominada por combustibles fósiles, a pesar de avances en fuentes renovables como la solar, eólica e hidroeléctrica; países como Alemania, Dinamarca, China Estados U. y España han liderado la transformación energética al invertir significativamente en tecnologías renovables, logrando una reducción considerable de su dependencia de combustibles fósiles. Estas estrategias incluyen no solo la instalación de infraestructura renovable, sino también políticas públicas de incentivos y mecanismos de integración energética.

En América Latina, aunque la región cuenta con una gran proporción de fuentes renovables, aún enfrenta desafíos significativos relacionados con la desigualdad en el acceso a la energía y la dependencia de los hidrocarburos, como un claro ejemplo tenemos a países como Uruguay y Brasil han incrementado la participación de fuentes eólicas y solares, con Uruguay alcanzando un 80,4% de su matriz eléctrica a partir de energías renovables. Este panorama destaca la necesidad de diversificar y descentralizar la producción energética para garantizar la sostenibilidad ambiental y el acceso equitativo en toda la región (Furtado y Paim, 2020).

En Ecuador, la crisis energética ha generado la necesidad de buscar soluciones sostenibles que garanticen el suministro eléctrico a largo plazo, ejemplo de ello es el compromiso de la empresa francesa NEOEN con el desarrollo de cuatro proyectos solares en la provincia de Imbabura, estos proyectos mediante acuerdo ministerial Nro. MERNNR-VEER-2021-0008-AM, se aprobó la actualización para la expansión de generación en el Plan Maestro de Electricidad (PME) hasta el 2031, licitados en 2021, estos transferirán su propiedad al Estado ecuatoriano al término del contrato; cada iniciativa con una potencia instalada total de 300 MW, no solo contribuirá a mitigar la crisis energética, sino que también generará entre 200 y 250 empleos directos (SEGCOM, 2023).

Además de los proyectos de energía solar fotovoltaicas, Ecuador está diversificando su matriz energética con iniciativas en otras fuentes renovables, como lo es la energía eólica, en el cual se destacan las centrales Villonaco II y III en la provincia de Loja, que aportarán significativamente al suministro eléctrico nacional; en cuanto a la energía hidroeléctrica, se están desarrollando proyectos como la central Santiago cuya primera etapa tendrá una capacidad instalada de 2.400 MW, y Cardenillo, con 596 MW de capacidad y finalmente tenemos a la energía geotérmica, el proyecto Chachimbiro, ubicado en la provincia de Imbabura, contempla la construcción de una planta con una capacidad de hasta 50 MW en su fase inicial con estas iniciativas se refleja el compromiso del país con la diversificación de sus

fuentes de energía y la reducción de la dependencia de las centrales hidroeléctricas tradicionales (CELEC, 2021).

Para disminuir la dependencia de la energía hidroeléctrica y diversificar la matriz energética, es necesario aumentar la inversión en energía solar, eólica y geotérmica, junto con la implementación de proyectos como la generación distribuida con paneles solares, sistemas de iluminación pública eficiente y la actualización de la infraestructura existente; en el caso de Ecuador, durante períodos de baja generación hidroeléctrica, sería beneficioso utilizar energía solar adicional para reducir la presión sobre los recursos hídricos, proporcionar energía durante los períodos de sobreproducción a las instalaciones hidroeléctricas como Coca Codo Sinclair (Mella, 2024).

Según Echegaray et al., (2024) la formación académica constituye la base para proporcionar, tanto a la actual como a las venideras generaciones herramientas necesarias para impulsar la economía local; el desarrollo en el campo de la ingeniería energética es clave para garantizar un comportamiento responsable y socialmente consciente hacia el uso de energías alternativas, es importante crear estrategias que hagan accesible el consumo de energía a todos los ciudadanos en términos de coste y disponibilidad, y que reduzcan principalmente el impacto sobre el medio ambiente.

2.1.1 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una tecnología que, a través de paneles solares, posibilita la transformación de la radiación solar en electricidad, compuestos por celdas fotovoltaicas, este proceso es conocido como efecto fotovoltaico, se fundamenta en la capacidad de ciertos materiales semiconductores, como el silicio, para generar electricidad cuando son expuestos a la luz solar; la energía solar fotovoltaica se ha convertido en una de las fuentes de energía renovable más prometedoras debido a su bajo impacto ambiental, su

capacidad para ser implementada en zonas remotas y su potencial para reducir la dependencia de los combustibles fósiles (González, 2020).

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser conectados a la red eléctrica convencional o funcionar de manera aislada (off-grid), lo que los hace ideales para comunidades rurales o zonas de difícil acceso donde la infraestructura eléctrica tradicional no está disponible, en estos casos, los sistemas fotovoltaicos aislados suelen incluir paneles solares, baterías para almacenar la energía generada, controladores de carga para regular el flujo de energía e inversores para convertir la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA), que es la forma de energía utilizada por la mayoría de los electrodomésticos (Olivo y Chango, 2023).

Según González (2020) la implementación de sistemas fotovoltaicos no solo contribuye a la electrificación de áreas rurales, sino que también reduce los costos operativos asociados con el uso de generadores de combustibles fósiles, minimiza la contaminación ambiental y mejora la calidad de vida de las comunidades que dependen de estas tecnologías, los avances en la eficiencia de los paneles solares y la reducción de costos en los últimos años han hecho que esta tecnología sea cada vez más accesible y viable económicamente.

La energía solar fotovoltaica se fundamenta en la utilización de paneles hechos con materiales semiconductores como el silicio, que posibilita la transformación de la radiación solar en electricidad utilizando el efecto fotovoltaico; este fenómeno convierte directamente la energía solar en electricidad cuando los fotones solares impactan en las células y celdas fotovoltaicas, generando una corriente continua (DC) que puede utilizarse directamente o ser almacenada para su uso posterior, en este sentido podemos decir que existen diferentes configuraciones para sistemas fotovoltaicos: los sistemas aislados (Off-Grid), los de conexión a red (On-Grid), y sistemas híbridos, en el contexto educativo o experimental los sistemas aislados se utilizan comúnmente debido a su capacidad de operar independientemente de la red

eléctrica, lo que facilita su manejo en laboratorios y entornos de aprendizaje controlado (Molina, 2021).

Los problemas ambientales están aumentando y la necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, ha contribuido al desarrollo de la tecnología fotovoltaica global la cual ha sufrido un crecimiento exponencial en la última década, lo que reduce el costo y aumenta la efectividad de los materiales semiconductores (García y Lasso, 2021).

En países con altos niveles de radiación solar, como España, la energía fotovoltaica se considera como una alternativa eficiente y rentable, proporcionando entre 2.500 y 3.000 horas de sol al año (Barzola, 2020).

Tabla 1

Ventajas de la Energía Solar Fotovoltaica

Ventajas	Descripción
Sostenibilidad	No emite gases de efecto invernadero durante su operación.
Reducción de Costos	Bajos costos de operación y mantenimiento a largo plazo.
Independencia Energética	Permite la generación distribuida y autonomía energética.

2.1.2 Componentes de un Sistema Fotovoltaico

Un sistema solar fotovoltaico está compuesto de varios elementos que trabajan de manera conjunta para captar, transformar, y almacenar la energía solar:

- **Paneles Solares:** Perciben la radiación solar, la convierten en electricidad de corriente continua (DC).

- **Inversores:** Transforman la corriente continua a corriente alterna (AC), adaptable con la mayoría de los aparatos y redes eléctricas.
- **Baterías:** Almacenan la energía no utilizada para su posterior uso en condiciones de baja producción solar (por la noche o en días nublados).

De acuerdo con García y Lasso (2021), determinaron que el diseño adecuado de estos componentes es muy importante para optimizar la eficiencia energética del sistema.

Figura 2

Instalación fotovoltaica aislada



Nota. Esquema de una instalación fotovoltaica aislada (Alonso José, 2025).

2.1.3 Tipos de Paneles Solares Fotovoltaicos

Los paneles solares son dispositivos que incluyen células fotovoltaicas relacionadas con electrolitos. rendimiento, el costo y el uso dependen del tipo de material utilizado en su producción (Barzola, 2020).

Tabla 2*Clasificación principal de paneles.*

Tipo de Panel	Características	Ventajas	Desventajas
Monocrystalino	Fabricado con silicio puro.	Alta eficiencia (>20%), menor espacio requerido.	Mayor costo de fabricación.
Policristalino	Silicio cristalizado de forma no uniforme.	Más económico.	Menor eficiencia (15–18%), necesita más espacio.
Película Delgada	Diversos materiales (CdTe, CIS, a-Si).	Flexible y bajo costo.	Baja eficiencia (<12%), vida útil menor.

2.1.4 Inversores Solares

El inversor solar es el factor responsable de la transformación continua de la corriente creada por los paneles solares en la corriente alterna útil (Díaz, 2024). Existen varios tipos, adaptados a diversas configuraciones de instalación:

- **Inversores Monofásicos:** Comunes en aplicaciones residenciales de pequeña escala.
- **Inversores Trifásicos:** Adecuados para instalaciones comerciales o industriales de mayor capacidad.
- **Micro inversores:** Instalan un inversor por cada panel, optimizando el rendimiento ante sombras o suciedad parcial.
- **Inversores Conectados a Red (On-Grid):** Interactúan con la red eléctrica para inyectar excedentes de energía.
- **Inversores Híbridos:** Permiten tanto el uso de baterías como conexión a la red.

- **Inversores Aislados (Off-Grid):** Funcionan en completa independencia de la red eléctrica.

Según Díaz (2024), la elección del tipo de inversor depende directamente del perfil de carga, el patrón de consumo energético y la estrategia de respaldo deseada.

2.1.5 Tipos de Baterías

El almacenamiento de energía en sistemas fotovoltaicos permite garantizar el suministro incluso en ausencia de luz solar. Los tipos principales de baterías se clasifican en:

Tabla 3

Tipos de Baterías para Almacenamiento Solar

Tipo de Batería	Características	Ventajas	Desventajas
Plomo Ácido Abierto	Bajo coste, requieren mantenimiento regular.	Económicas, amplia disponibilidad.	Necesitan mantenimiento y ventilación.
AGM (Absorbent Glass Mat)	Sin mantenimiento, resistentes a vibraciones.	Mayor vida útil que plomo abierto.	Coste más elevado.
GEL	Electrolito gelificado, alta durabilidad.	Ideal para descargas profundas.	Más sensibles a la sobrecarga.
Litio	Alta eficiencia (>95%), gran número de ciclos.	Menor peso, alta densidad energética.	Alto costo inicial.

De acuerdo con Molina (2025), “las baterías de litio son la mejor opción de tecnología para sistemas fotovoltaicos modernos, aunque altos precios por rendimiento, ciclo de vida y bajo servicio”

2.1.6 Módulos automatizados de sistemas fotovoltaicos

El diseño de un módulo automatizado en un sistema fotovoltaico requiere seleccionar y dimensionar los componentes principales para garantizar la eficiencia y funcionalidad del sistema, este tipo de módulos generalmente integra elementos como paneles solares, baterías, controladores de carga e inversores, los cuales cumplen funciones específicas dentro del sistema (Casado et al., 2024). Los paneles solares utilizan la radiación del sol para producir electricidad y almacenarla en baterías para su uso posterior, y el controlador de carga se encarga de regular la energía almacenada, mientras que un inversor convierte la corriente continua (DC) generada en corriente alterna (CA) que puede usarse en aplicaciones domésticas y comerciales (Style, 2012, citado en Casado et al., 2024).

El uso de un banco de pruebas, como se describe en los estudios de Rúa et al., (2021) permite validar el rendimiento de los paneles solares y otros componentes bajo diferentes condiciones; este banco de pruebas facilita la medición de variables críticas, como voltaje y corriente, la caracterización de la curva I-V (corriente-voltaje), que es esencial para evaluar la eficiencia del panel en condiciones reales, estos bancos de pruebas también permiten simular conexiones en serie y paralelo, necesarias para analizar cómo estas configuraciones afectan la generación y el almacenamiento de energía.

El aprendizaje basado en proyectos es una metodología frecuentemente utilizada en el diseño de módulos didácticos fotovoltaicos, proporcionando a los estudiantes una experiencia práctica en la instalación y manejo de estos sistemas (Casado et al., 2024). Implementar esta metodología no solo promueve el aprendizaje autónomo, sino que también fomenta habilidades técnicas en áreas como instalación, uso de herramientas, y análisis de rendimiento de los sistemas fotovoltaicos (Rekalde y García, 2015, citado en Casado et al., 2024).

2.1.7 Sistemas de almacenamiento de energía híbrido

El almacenamiento de energía es crucial para los sistemas fotovoltaicos, especialmente cuando se desea garantizar una fuente de energía constante ante variaciones de la irradiancia solar, el uso de sistemas de almacenamiento híbrido, los cuales combinan baterías de alta densidad de energía y supercapacitores de alta densidad de potencia; este tipo de configuración permite optimizar tanto la capacidad de almacenamiento como la rapidez de respuesta del sistema ante picos de demanda en el caso de las baterías, como las de plomo-ácido o las de iones de litio, ofrecen una densidad de energía elevada, pero tienden a tener una vida útil limitada bajo ciclos de carga y descarga intensivos (Alarcon, 2021).

2.1.8 Automatización en sistemas fotovoltaicos

Según Cabana et al., (2023), la automatización de sistemas fotovoltaicos, como la implementación de mecanismos de seguimiento solar o "solar tracking", permite aumentar la eficiencia de captación de energía al ajustar el ángulo de los paneles para que permanezcan perpendiculares a los rayos solares, este proceso automatizado se controla a través de microcontroladores o computadoras de bajo costo como el Raspberry Pi, que reciben datos de tiempo y ubicación mediante un módulo GPS para orientar el panel según la posición del sol en cada momento del día, destacan que la automatización de los sistemas fotovoltaicos no solo optimiza la eficiencia energética, sino que también permite realizar ajustes en tiempo real para mejorar la captura de energía, lo cual es esencial en entornos donde la irradiancia varía constantemente.

2.1.9 Simulación y monitoreo en tiempo real

El uso de herramientas de simulación en tiempo real permite anticipar el comportamiento de los sistemas de generación y almacenamiento bajo diferentes condiciones, es especialmente valioso en un laboratorio de energías renovables, donde los estudiantes

pueden observar y experimentar con el sistema sin riesgo, analizando el impacto de variaciones en la carga y en la generación; la integración de sistemas de monitoreo y control en tiempo real permite capturar datos de parámetros críticos como voltaje, corriente y potencia, brindando una plataforma para realizar estudios predictivos y ajustes operativos basados en condiciones reales (Alarcon, 2021).

2.1.10 Aplicación educativa de módulos de generación fotovoltaica

El diseño y uso de módulos didácticos de generación fotovoltaica en laboratorios académicos no solo facilita la enseñanza de los fundamentos de la energía solar, sino que también introduce a los estudiantes en conceptos avanzados de gestión energética y optimización de un sistema (Alarcon, 2021).

En estos módulos, los estudiantes pueden estudiar los sistemas de almacenamiento híbrido y los efectos de la automatización en la captación de energía, lo que mejora su comprensión de los desafíos técnicos y ambientales de las energías renovables; el uso de estos módulos fomenta habilidades en el análisis de datos y la toma de decisiones informadas en cuanto a la eficiencia operativa y sostenibilidad de los sistemas energéticos (Cabana et al., 2023).

La validación de la eficiencia del módulo fotovoltaico automatizado implica analizar su desempeño frente a variaciones ambientales y parámetros eléctricos, este proceso asegura que la generación de energía renovable cumpla con estándares de calidad, estabilidad y sostenibilidad, especialmente en un contexto donde la demanda energética y los compromisos ambientales exigen sistemas más eficientes y confiables (López y Moscoso, 2023).

2.1.11 Parámetros eléctricos

Los módulos fotovoltaicos convierten la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, siendo los parámetros clave la corriente, el voltaje y la potencia

generada; también tenemos factores ambientales como la irradiancia y la temperatura afectan significativamente el desempeño de los módulos, los aumentos de temperatura pueden reducir la eficiencia del panel, mientras que mayores niveles de irradiancia aumentan la potencia de salida (Gutiérrez, 2022).

El seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPP) es crucial para optimizar la generación energética y los controladores MPPT permiten que los módulos operen en su punto más eficiente, ajustando continuamente la carga eléctrica según las condiciones externas (López y Moscoso, 2023).

2.1.12 Respuesta a variaciones ambientales

La estabilidad de un sistema fotovoltaico se mide por su capacidad de adaptarse a cambios en la irradiancia y la temperatura, según la tesis de Gutiérrez (2022), los sistemas deben garantizar niveles de distorsión armónica bajos, estabilidad de frecuencia y voltaje dentro de límites tolerables para cumplir con estándares regulatorios como los códigos de red.

En pruebas realizadas, se documentó cómo los inversores inteligentes, integrados en módulos automatizados, pueden mitigar problemas como sobrecargas y fluctuaciones, asegurando una operación estable incluso en condiciones variables, estos dispositivos permiten ajustes en tiempo real, mejorando la confiabilidad del sistema (Hashimoto et al., 2021).

2.1.13 Validación y análisis de eficiencia

La validación de un módulo fotovoltaico incluye:

Medición de parámetros eléctricos: voltaje, corriente y potencia generada en diversas condiciones ambientales.

Pruebas de estabilidad: análisis de la respuesta del sistema ante fluctuaciones rápidas de irradiancia y temperatura.

Análisis de distorsión armónica: asegurando que las perturbaciones eléctricas no excedan los límites permitidos.

La implementación de plataformas automatizadas para pruebas en laboratorio, como el sistema propuesto por Hashimoto et al., (2021) permite reducir errores humanos, estandarizar procedimientos y obtener datos precisos las cuales han demostrado ser un recurso valioso para evaluar la eficiencia de módulos solares con una precisión incrementada del 85% respecto a métodos manuales.

2.1.14 Impacto de la validación en la sostenibilidad

El desarrollo de módulos eficientes y automatizados contribuye significativamente a la transición energética, permitiendo integrar mayores proporciones de energía renovable en las redes eléctricas, si no que, al cumplir con rigurosos estándares de calidad eléctrica, garantiza que el suministro sea confiable y estable, alineándose así directamente con objetivos globales de sostenibilidad y reducción de emisiones (Hashimoto et al., 2021).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se describe el área de estudio, enfoque, diseño y procesos empleados para la construcción del módulo fotovoltaico, considerando todos los subsistemas mecánicos y eléctricos necesarios para el módulo también se detallan los criterios técnicos utilizados, las comparativas realizadas para evaluar la eficiencia y viabilidad del sistema. El presente trabajo adopta un enfoque experimental y aplicado, con un diseño descriptivo-explicativo.

3.1 Área de estudio

El área de estudio está ubicada en la ciudad de Ibarra, en la Universidad Técnica del Norte, quinto piso de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA), en el Laboratorio de Energías Renovables (Figuras 3 y 4).

Figura 3*Laboratorio de Energías Renovables*

Figura 4

Ubicación del área de estudio



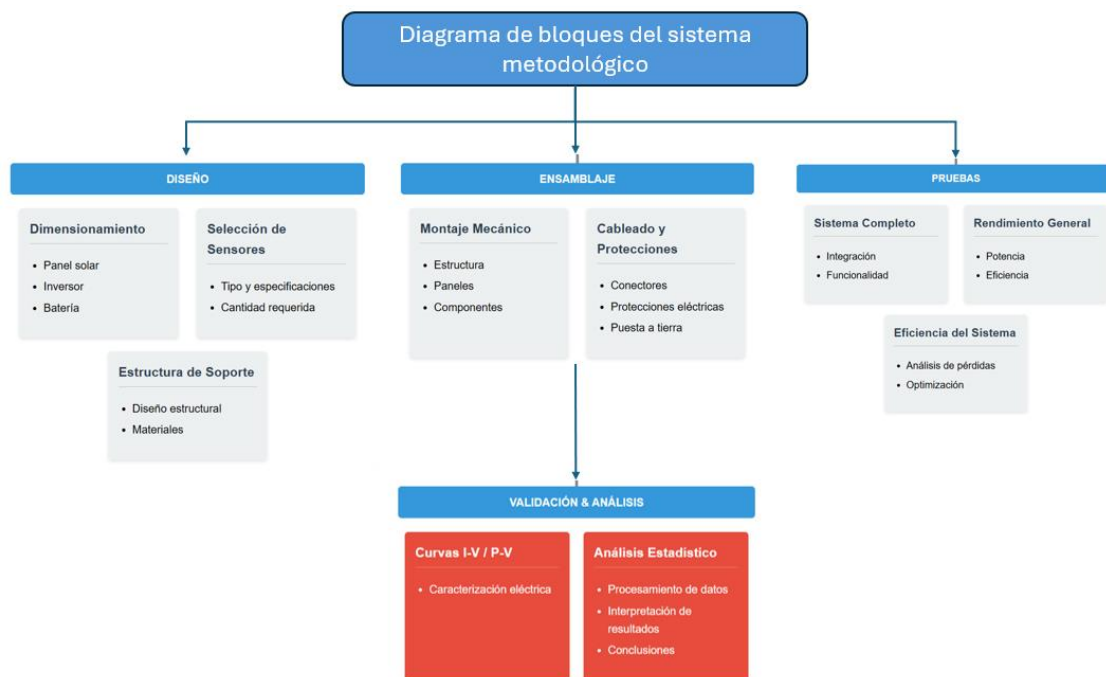
Nota. Boletín estadístico 2021 (p.20) (Andrade, 2021).

3.2 Metodología de implementación del módulo fotovoltaico

El desarrollo del módulo fotovoltaico se rigió por una metodología estructurada en cinco etapas secuenciales, las cuales se detallan en el siguiente diagrama de bloques:

Figura 5

Diagrama de bloques del sistema metodológico



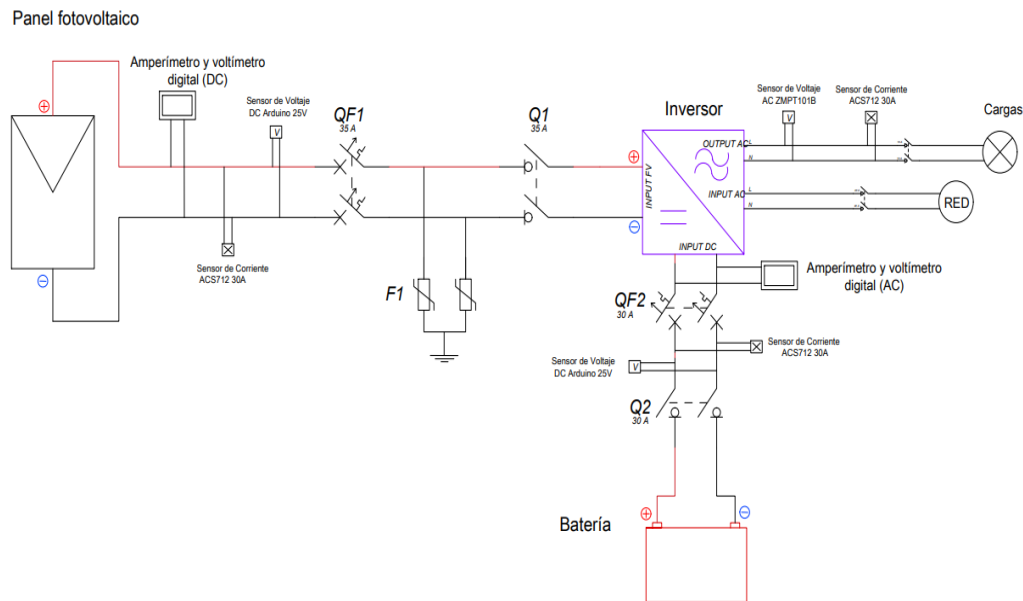
3.3 Diseño de los subsistemas mecánicos y electrónicos del módulo automatizado de generación eléctrica.

3.3.1 Diseño del subsistema electrónico

Para el diseño del módulo automatizado de generación eléctrica mediante tecnología fotovoltaica se integró un panel solar como fuente de energía, un inversor para convertir la corriente continua en alterna y una batería para el almacenamiento de energía. Se incluyen dispositivos de protección como interruptores termomagnéticos (QF1 y QF2), seccionadores (Q1 y Q2) y protección contra sobre tensiones transitorias (F1), así como sensores para el monitoreo continuo y análisis de datos (Figura 6). Este sistema garantiza eficiencia, seguridad y disponibilidad energética, constituyendo una solución sostenible.

Figura 6

Diagrama eléctrico del módulo tecnológico



3.3.2 Selección de los componentes electrónicos para el módulo

La construcción de este módulo corresponde a un equipo de laboratorio destinado a fines experimentales y académicos, no fue diseñado para suplir demandas energéticas reales. Los componentes eléctricos seleccionados garantizan la funcionalidad operativa, permitiendo un control preciso y la evaluación detallada de las variables involucradas en su desempeño como:

- **Panel solar fotovoltaico**

La selección de un panel fotovoltaico implicó considerar criterios técnicos como la eficiencia de conversión, la potencia máxima ($P_{m\acute{a}x}$), y el rendimiento en condiciones de baja irradiación, factores esenciales para maximizar la producción energética en distintas condiciones ambientales. Además, parámetros como el peso, las dimensiones, el tipo de celda (mono o policristalina) y la resistencia mecánica de los materiales estructurales, determinaron

la viabilidad del panel en términos de instalación, durabilidad y compatibilidad estructural, se compararon paneles representativos, destacándose el modelo RESUN 210-230M por su alta eficiencia (21.06%) y excelente relación peso-potencia (Tabla 4).

Tabla 4

Matriz de selección del panel fotovoltaico

Criterio	RESUN 150-170P	JINKO 180-200N	RESUN 210-230M
Potencia (Pmax)	150-170 W	180-200 W	210-230 W
Eficiencia	Hasta 17.17%	8.94-9.94%	Hasta 21.06%
Tolerancia	0~+5 W	0~+3%	0~+5 W
Dimensiones	1487x666x35 mm	1750x1150x11.5 mm	1560x700x35 mm
Peso	11.5 kg	54.61 kg	12 kg
Material Celda	Policristalino (36 celdas)	Monocristalino (108 celdas)	Monocristalino (36 celdas)
Marco	Aluminio anodizado	Vidrio doble	Aluminio anodizado
Vidrio Frontal	3.2 mm vidrio templado	5.0 mm vidrio templado (doble capa)	3.2 mm vidrio templado
Conector	MC4 o compatible	IP68	MC4 o compatible
Voltaje máximo	1000V	1000/1500V	1000V
Rendimiento en baja luz	Mejorado (revestimiento antirreflectante)	No especificado	Mejorado (tecnología multi-busbar)

- **Inversor de corriente**

El inversor es un componente clave en los sistemas de generación eléctrica solar fotovoltaica, es el responsable de convertir la energía de corriente continua (DC) generada por los paneles, en corriente alterna (AC) utilizable por los electrodomésticos y la red eléctrica; la

selección del inversor adecuado requirió considerar criterios técnicos esenciales, como la potencia nominal, eficiencia de conversión, rango de voltaje de entrada del controlador solar (MPPT), y tipo de salida (onda sinusoidal pura). Además, factores como el peso, dimensiones, interfaces de comunicación y configuraciones avanzadas de prioridad (solar o AC) fueron determinantes para garantizar un funcionamiento óptimo, seguro y adaptable a diversas aplicaciones (Tabla 5), se compararon inversores representativos, destacando el modelo POWEST UPS Híbrida de 1kVA por su eficiencia de hasta 98% en modo solar, diseño compacto y flexibilidad en configuraciones.

Tabla 5

Matriz de selección del inversor

Criterio	POWEST UPS Híbrida 1kVA	Must PV1800 VPK 1kW	XSI-120V 1K
Potencia Nominal (VA)	1000 VA	1000 W (equiv. 1000 VA)	1000 VA
Eficiencia	Modo línea: 90%, Solar: 98%	Inversor: 93%	Modo línea: >93%, Solar: 98%
Rango de Voltaje PV	15-80 VDC (MPPT), máx. VOC 102 VDC	Hasta 55 VDC (PWM)	15-80 VDC (MPPT), máx. VOC 102 VDC
Tipo de Salida	Onda sinusoidal pura	Onda sinusoidal pura	Onda sinusoidal pura
Peso	5.2 kg	5.0 kg	10.5 kg
Interfaces	USB, LCD, monitorización PC	USB, RS485, WiFi opcional	USB, RS232, Modbus, opcional LAN/WIFI
Dimensiones (mm)	316x240x95	224x337x98	300x125x440

Protecciones	Sobrecarga, cortocircuito, sobrevoltaje	Sobrecarga, cortocircuito, descarga profunda	Sobrecarga, temperatura, arranque en frío
Configuración	Prioridad AC/solar configurable	Configuración de prioridad SUB	Prioridad AC/solar configurable
Carga Solar	500 W (MPPT)	50A PWM	500 W (MPPT), configurable

- **Batería**

Las baterías son componentes fundamentales en los sistemas de generación eléctrica solar fotovoltaica, ya que posibilita almacenar la energía producida por los paneles solares para emplearla en periodos de baja irradiación o durante la noche; la selección de la batería adecuada implicó analizar criterios técnicos clave, como el ciclo de vida, capacidad nominal (Ah), peso, rango de temperatura de operación y costo-beneficio estimado; estos factores fueron esenciales para garantizar la durabilidad, eficiencia y adaptabilidad del sistema a diversas aplicaciones energéticas.

En la matriz se evaluaron dos baterías de gel representativas: la SSB-12V50AH (gel estándar) y la HTB12-50 (gel de alta temperatura). Ambas cumplen con altos estándares de rendimiento para aplicaciones solares y sistemas críticos, pero presentan diferencias clave:

- HTB12-50 destaca por su mayor ciclo de vida (1500 ciclos a 50% DOD), tecnología con aditivo Super-C para recuperación en descargas profundas, y optimización para entornos de alta temperatura (hasta 60°C sin necesidad de aire acondicionado). Ideal para telecomunicaciones (BTS) y zonas tropicales.

- SSB-12V50AH sobresale en operación a temperaturas extremas (-40°C) y mayor corriente de descarga puntual (600A), siendo robusta para climas gélidos o sistemas de emergencia (Tabla 6).

Tabla 6*Matriz de selección de la batería*

Criterio	HTB12-50 (Batería de gel)	SSB-12V50AH (Victoria LED)
Ciclo de vida	1500 ciclos	600 ciclos
Capacidad nominal (Ah)	50 Ah	50 Ah
Peso (kg)	15.8 kg	15.5 kg
Rango de temperatura de operación	-20°C a 60°C	-40°C a 60°C
Costo-beneficio estimado	Mayor costo inicial, más ciclos	Menor costo inicial, misma vida útil (12 años)

3.3.3 Diseño del subsistema mecánico

Como parte fundamental del diseño integral del subsistema mecánico el cual comprende dos componentes principales: la estructura de soporte para el panel solar (Figura 7), el tablero de distribución y montaje de componentes (Figura 8); el desarrollo de la estructura metálica se fundamenta en un plano de fabricación que incluye una lista detallada de cortes donde se especifica los perfiles de tubo cuadrado y sus longitudes exactas para garantizar la rigidez y estabilidad requeridas ante cargas estáticas y dinámicas, el tablero de distribución se concibe como el gabinete que albergará los componentes eléctricos, cuyo diseño mecánico define sus dimensiones, materiales de fabricación como tablón y plancha galvanizada de 0.90 mm, así como elementos funcionales integrados, tales como ruedas para su movilidad.

Figura 7

Diseño de la estructura para el panel solar

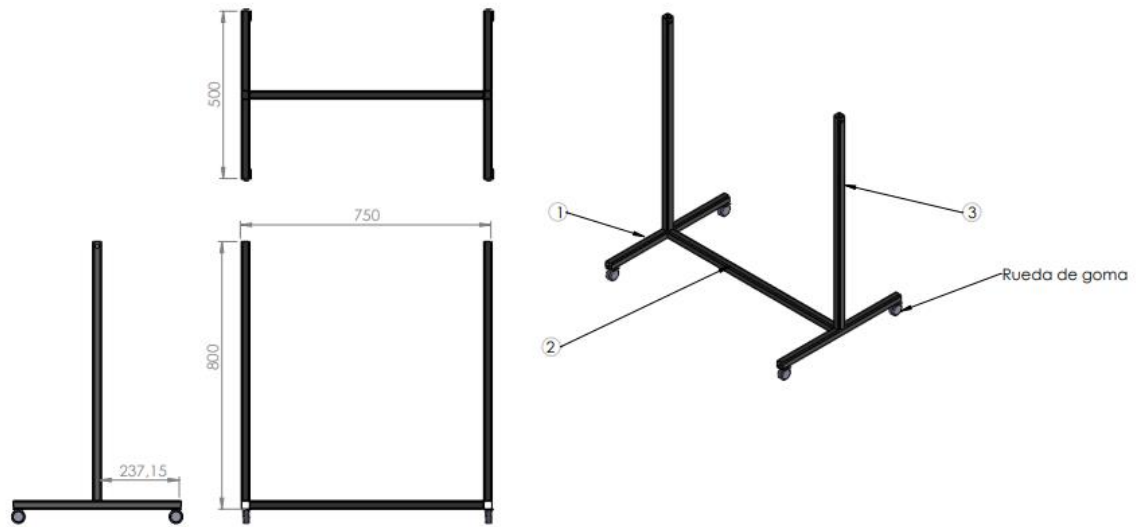
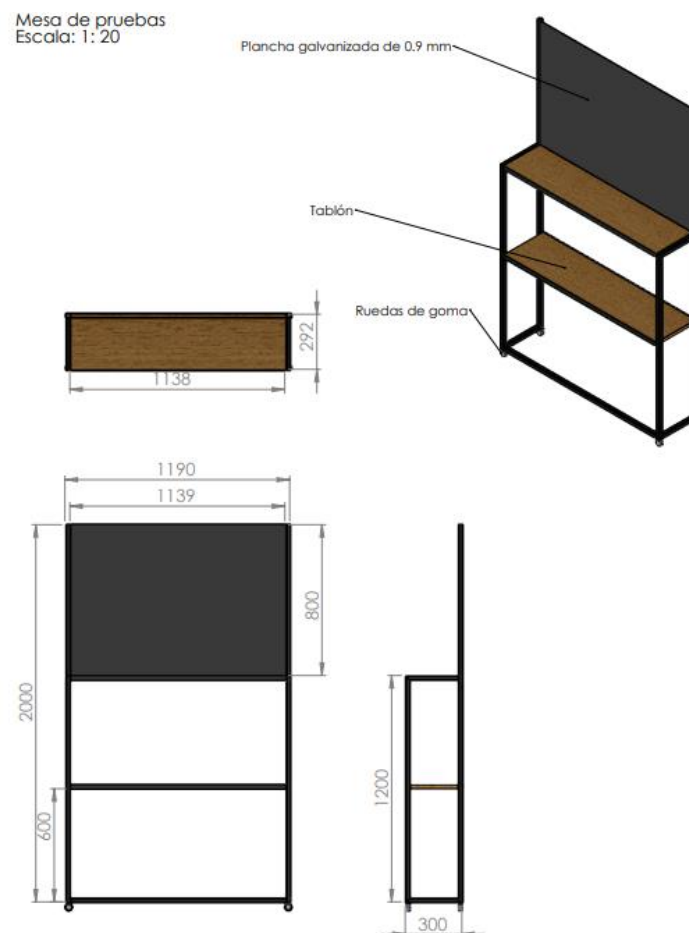


Figura 8

Tablero de distribución y montaje de componentes



3.4 Construcción del módulo tecnológico

Para alcanzar el objetivo de construir un módulo tecnológico basado en un sistema fotovoltaico, se plantearon pasos específicos que detallan la construcción e implementación del sistema, el cual está compuesto por un panel solar de 230W, un inversor off grid de 1 kVA, una batería de 50Ah, protecciones, sensores y las conexiones necesarias; a continuación, se describe el proceso en detalle, incorporando información relevante del trabajo realizado para la construcción.

3.4.1 Estructura del panel solar

La construcción del módulo comienza con la instalación del panel solar en una estructura adecuada, según Tapia Toapanta (2022) en su estudio *“Implementación de un módulo didáctico de energía solar fotovoltaica”*, “la estructura debe garantizar estabilidad, resistencia a las condiciones climáticas y la inclinación óptima del panel para maximizar la captación de radiación solar” como se muestra en la Figura 9. Esto implicó utilizar materiales resistentes a la intemperie, como aluminio o acero galvanizado, y diseñar una base que permita ajustar el ángulo de inclinación.

Figura 9

Model Solar Educational Equipment



Nota. Equipo Modular de Energía Solar Fotovoltaica (Versión Basica) (edibon, 2024).

El soporte debe ser fijado sobre una base sólida, ya sea de concreto o anclada al suelo, dependiendo del entorno de instalación; para garantizar un montaje seguro, se recomienda el uso de tornillos antióxido y abrazaderas diseñadas específicamente para módulos

fotovoltaicos. Para esta aplicación, la estructura se diseña de tal manera que se asienta en el suelo, teniendo la estabilidad suficiente para soportar el panel solar.

3.4.2 Instalación del inversor off grid

El inversor off grid 1 kVA es un componente crítico que convierte la energía generada en corriente continua (CC) por el panel solar, a corriente alterna (CA) para el uso en equipos eléctricos; el inversor se instala de forma vertical, con espacio suficiente que permita una adecuada ventilación, protegido de factores ambientales como el polvo y la humedad. Según los lineamientos encontrados, es fundamental “asegurar que el inversor tenga espacio suficiente alrededor para la disipación de calor y que este ubicado cerca de los demás componentes eléctricos para minimizar las pérdidas por cableado” y garantizar un acceso fácil para futuras tareas de mantenimiento (Tapia, 2022).

3.4.3 Instalación de la batería

La batería de 50Ah, almacena la energía generada durante la operación del sistema solar, es ubicada en un espacio ventilado y seguro. “Las baterías deben instalarse sobre una superficie plana y firme, con conexiones seguras para evitar accidentes o fugas de corriente” (Herrera y Franco, 2022). Se emplean terminales y conductores con un calibre adecuado a la corriente y longitud de la aplicación para evitar pérdidas de tensión, y terminales de ojo crimpados para asegurar una conexión firme y segura, asegurando una conexión directa con el inversor y el panel solar. Para mayor seguridad, se incluyeron fusibles de desconexión rápida entre la batería e inversor.

3.4.4 Conexiones eléctricas

La implementación del sistema eléctrico requiere de conductores adecuados que soportan las corrientes generadas y que cuentan con aislamiento para evitar cortocircuitos (Tapia, 2022).

Las conexiones se realizan siguiendo la siguiente secuencia:

- Panel solar al inversor: La salida del panel solar a través de conectores MC4 se conecta a la entrada CC del inversor, los cuales permiten una conexión segura y rápida.
- Batería al inversor: Un cableado adecuado une la batería al inversor para permitir tanto la carga como la descarga de energía.
- Protecciones eléctricas: Se instala interruptores termomagnéticos entre los componentes para proteger el sistema frente a sobrecargas.

3.4.5 Protecciones y seguridad

Se instala elementos de protección eléctrica en puntos estratégicos del sistema. Entre ellos:

- Interruptores termomagnéticos: Ubicados entre el panel solar y el inversor, la batería y el inversor, para desconectar el suministro de energía en caso de cortocircuitos o mantenimiento.

Además, se recomienda el uso de un surge protective device (protector de sobretensión) y una conexión a tierra para garantizar la protección contra sobretensiones provocadas por descargas eléctricas.

3.4.6 Sistema de supervisión y monitoreo

Como parte de la implementación, se instala sensores que permiten monitorear el funcionamiento del sistema en tiempo real. “Estos dispositivos miden parámetros como voltaje, corriente y potencia, proporcionando información esencial para verificar la operación del sistema” (Herrera y Franco, 2022). Los sensores se conectan al sistema y a un dispositivo de visualización o aplicación móvil para facilitar el seguimiento.

3.4.7 Factor de calibración para el sensor de voltaje en AC

Cuando se mide un voltaje de red o salida con divisores de voltaje, se necesita un factor de escalado para convertir el valor RMS leído por el Arduino al valor real.

$$Factor_Calibracion_Voltaje = \frac{V_{real(RMS)}}{V_{rms_medido_por_Arduino}} \quad (1)$$

- V_{real} : voltaje RMS medido con multímetro.
- $V_{rms_medido_por_Arduino}$: valor RMS obtenido del código antes de aplicar el factor de calibración.

3.4.8 Factor de calibración para corriente AC (sensor QNDBK1-21 AC)

Cuando se usa transformadores de corriente con sensores pasivos, se calcula la corriente medida con Arduino en función del voltaje leído, aplicar un factor basado en la sensibilidad y número de vueltas.

Fórmula del factor ya usado:

$$I_{calculada} = \frac{V_{sensor}}{Sensibilidad} \div N^{\circ} \text{ de vueltas} \quad (2)$$

Para calibrar con una lectura real, se usa:

$$Factor_calibracion_corriente_AC = \frac{I_{real}}{I_{calculada}} \quad (3)$$

Donde:

- I_{real} : corriente real medida con pinza amperimétrica.

- I calculado : valor que entrega el Arduino.

3.4.9 Factor de calibración para corriente DC (sensor ACS712)

Para sensores de tipo ACS712, la salida es proporcional a la corriente, pero se necesita ajustar el cero (offset) y el escalado.

El sensor tiene una sensibilidad nominal (ej. 100 mV/A), pero puede variar en la práctica, obteniendo así:

$$Sensibilidad_real = \frac{V_{salida(desviacion\ del\ offset)}}{I_{real}} \quad (4)$$

Luego:

$$Factor_calibracion_corriente_DC = \frac{Sensibilidad_real}{Sensibilidad_nominal} \quad (5)$$

3.4.10 Factor de calibración para voltaje AC (sensor ZMPT101B)

Este factor permite convertir el valor RMS calculado desde el sensor a un valor real de voltaje medido con un instrumento confiable (multímetro).

Fórmula:

$$Factor_calibracion_Voltaje_AC = \frac{V_{real(RMS)}}{V_{rms_medido_por_arduino}} \quad (6)$$

- V_{real} : voltaje RMS real medido con un multímetro (por ejemplo, 110 V o 220 V).

- $V_{rms_medido_por_Arduino}$: valor RMS obtenido del sensor, antes de aplicar el factor de calibración. Este se calcula como:

$$V_{rms_medido_por_Arduino} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_i - V_{offset})^2} \quad (7)$$

Donde:

- V_i : muestra analógica convertida a voltaje.
- V_{offset} : voltaje de referencia (usualmente 2.5 V si el sensor está centrado).
- N : número total de muestras tomadas.

3.5 Evaluación del módulo tecnológico

La evaluación del módulo automatizado se centra en el análisis de la eficiencia, estabilidad y respuesta dinámica del sistema frente a variaciones controladas. Para ello, se toma como base parámetros eléctricos fundamentales, curvas características y condiciones de operación reales.

3.5.1 Variables de estudio

El diseño experimental del estudio se fundamenta en la identificación y control sistemático de variables clave que determinan el desempeño del módulo fotovoltaico automatizado. La variable independiente corresponde a la irradiancia solar (W/m^2), como factor principal que determina la energía disponible para conversión, en este caso para este parámetro se utilizó una fuente artificial mediante reflectores LED y como variable dependiente se estableció la potencia eléctrica generada (W), parámetro que cuantifica el rendimiento del módulo. Para validar los resultados, se consideró las siguientes variables de control: temperatura ambiente ($^{\circ}C$), dada su influencia en la eficiencia de los componentes del

módulo, ángulo de inclinación del panel (ajustable), optimizado para las condiciones geográficas, carga conectada (W), que determina el consumo del sistema y la eficiencia.

3.5.2 *Parámetros eléctricos de evaluación*

Los parámetros eléctricos de evaluación son esenciales para determinar la eficiencia y el rendimiento del módulo los cuales son calculados, evaluados según las Leyes de la Conservación de la energía, estos son:

- **Corriente y tensión DC** del panel solar, que determina la capacidad de generación del sistema en condiciones específicas de irradiancia solar (Ecuación 8):

Potencia DC del panel solar:

$$P_{DC} = V_{DC} * I_{DC} \quad (8)$$

Donde:

PDC es la potencia en corriente continua (W).

VDC es la tensión del panel (V).

IDC es la corriente del panel (A).

- **Parámetros AC** en la entrada y salida del inversor, como tensión, corriente, y potencia de carga (Ecuaciones 9, 10, 11, 12).

Potencia activa (P):

$$P = V_{rms} * I_{rms} * \cos \emptyset \quad (9)$$

Potencia reactiva (Q):

$$Q = V_{rms} * I_{rms} * \sin \phi \quad (10)$$

Potencia **aparente (S)**:

$$S = V_{rms} * I_{rms} \quad (11)$$

Factor **de potencia (FP)**:

$$FP = \frac{P}{S} \quad (12)$$

Donde:

V_{rms} y I_{rms} son los valores eficaces de tensión y corriente respectivamente y ϕ es el ángulo de desfase entre la tensión y la corriente.

De acuerdo con la metodología descrita en los trabajos previos, la medición de estos parámetros requiere el uso de sensores de alta precisión y software de adquisición de datos como LabVIEW para procesar y analizar los resultados en tiempo real (Cruel, 2022).

3.5.3 Estabilidad operacional del sistema

La estabilidad del sistema se evalúa a través del monitoreo continuo de los parámetros eléctricos durante un período prolongado, registrando variaciones o fluctuaciones que puedan comprometer la operación. Según Pinda (2021), se recomienda la implementación de sensores que registren cambios en corriente, tensión y potencia, permitiendo generar un registro histórico del comportamiento del módulo en condiciones normales.

Esta evaluación incluye la observación de la capacidad del sistema para mantener los valores eléctricos en rangos aceptables bajo diferentes niveles de irradiancia y carga. Por

ejemplo, una batería debe mantener un nivel constante de suministro durante el almacenamiento y descarga de energía (Cruel, 2022).

3.5.4 Respuesta dinámica ante variaciones controladas

La respuesta del sistema ante variaciones controladas se analiza mediante simulaciones que alteren las condiciones de operación. Estas pruebas incluyen:

- **Cambios en la irradiancia solar**, simulados mediante lámparas halógenas de diferentes potencias, replicando escenarios de baja o alta radiación.
- **Incremento de la carga conectada**, evaluar el comportamiento del inversor y de la batería ante condiciones de sobrecarga y descarga rápida.

Estas simulaciones permiten identificar la capacidad del sistema para ajustarse a condiciones adversas, así como su eficiencia en el manejo de fluctuaciones rápidas, la medición de estos parámetros en tiempo real proporciona información crítica para validar la viabilidad del módulo automatizado en condiciones reales de uso (Cruel, 2022).

3.5.5 Generación y análisis de curvas características

Los datos recopilados durante las pruebas son procesados para generar curvas características como:

- **Curvas tensión-corriente (I-V)**, que permitan evaluar la relación entre los parámetros eléctricos bajo diferentes condiciones de irradiancia y carga.

Estas curvas representan gráficamente el comportamiento del módulo y su capacidad para transformar la energía solar en energía eléctrica utilizable, en estudios anteriores, se ha demostrado que estas representaciones permiten detectar puntos críticos y áreas de mejora en el diseño del sistema (Pinda, 2021).

3.5.6 Validación de resultados

Los resultados obtenidos se comparan con las especificaciones técnicas de los equipos utilizados, permitiendo validar la eficiencia del módulo automatizado, las conclusiones se enfocan en identificar áreas de mejora, optimizar el diseño del sistema y establecer recomendaciones para aplicaciones prácticas en escenarios reales (Pinda, 2021).

3.5.7 Validación experimental

La validación experimental del módulo fotovoltaico se realizó siguiendo un procedimiento que incluyó 2 componentes principales: número de mediciones, tiempos de muestreo, se efectuaron ensayos con una duración mínima de 20 a 30 minutos, registrando datos de voltaje, corriente, potencia a una frecuencia de 1 muestra por segundo, lo que permitió obtener entre 300 mediciones por variable en cada prueba con este volumen de datos se garantiza estabilidad estadística, repetibilidad y la posibilidad de generar curvas I-V y P-V con suficiente resolución, después se definió un tiempo de muestreo de un segundo por lectura, adecuado para capturar variaciones reales y cambios de carga sin saturar el sistema de adquisición, asegurando además la sincronización temporal de todas las variables medidas.

3.6 Materiales, equipos y software

En la Tabla 7 se detallan los diferentes equipos mecánicos, eléctricos y demás materiales que se van a utilizar para el desarrollo de la investigación.

Tabla 7*Materiales, equipos y software*

Materiales	Equipos	Software
Estructura Acero negro	Panel Solar 230 W	Arduino IDE
Protecciones eléctricas, interruptores termomagnéticos, etc.	Inversor 1 kVA	LabVIEW 2019
Cableado eléctrico	Batería 12V/50 Ah	
Tablero Cuadrado 2.0 x 1.5 m	Reflectores led100 WP Sensores AC/DC Arduino Uno R3 5V	

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, se presenta los resultados obtenidos después del diseño, construcción e implementación del módulo automatizado de generación eléctrica con tecnología fotovoltaica y se explica los aspectos técnicos de los componentes seleccionados, la arquitectura de los subsistemas mecánico y electrónico, así como la incorporación de los sensores para el monitoreo de magnitudes eléctricas; también se presenta el proceso para la adquisición de datos, así como los resultados numéricos y gráficos que respaldan el funcionamiento del sistema en condiciones controladas. Finalmente, se presenta un análisis crítico sobre la eficiencia, estabilidad y respuesta operativa del módulo con la intención de corroborar su funcionalidad y aplicabilidad en el ámbito docente del Laboratorio de Energías Renovables.

4.1 Diseño y selección de componentes para el módulo fotovoltaico

El panel solar fotovoltaico para el dimensionamiento pertenece a la serie RS7E-M que se muestra en la Figura 10, con una potencia nominal de 230 W. Es un panel monocristalino compuesto por 36 celdas organizadas en una disposición de 4x9 (4 filas y 9 columnas), utilizando tecnología de multi-barras colectoras (9BB) para maximizar la eficiencia y la confiabilidad.

Figura 10

Modelo del panel monocristalino 230 Wp



Nota. Especificaciones técnicas del panel modelo RS7E-M (RESUN SOLAR ENERGY CO.,
s.f.).

Tabla 8*Ficha técnica del panel de 230 W*

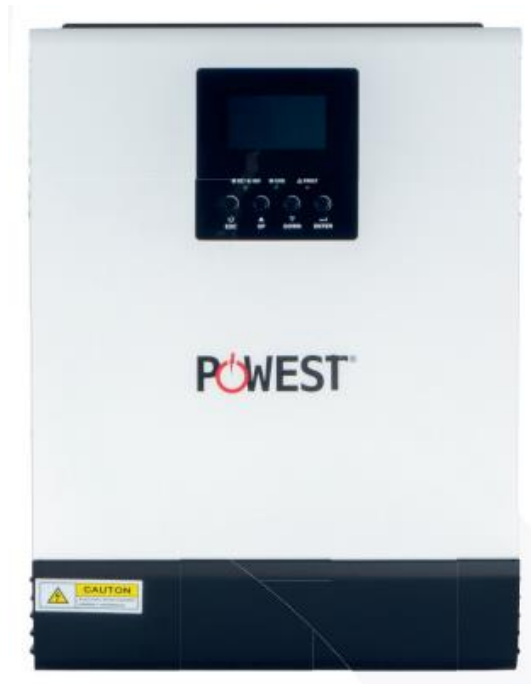
Parámetros	Valor
Tipo de módulo	Monocrystalino
Potencia Máxima (Pm)	230 W
Tolerancia salida de potencia	0 / +5%
Voltaje de circuito abierto (Voc)	24.10 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	11.99 A
Voltaje en potencia máxima (Vpm)	20.19 V
Corriente en potencia máxima (Ipm)	11.39 A
Eficiencia	21.06%
Max. serie de fusible	15 A
Grado de protección	≥ IP65
Máxima tensión del sistema	1000 VDC
Rango de temperatura	-40°C - 85°C
Peso	12 kg
Número de celdas	36
Dimensiones	1560 mm / 700 mm / 35 mm

- **Inversor 1 KVA**

Como se muestra en la Figura 11 se ha seleccionado el inversor off grid de 1 kVA, es un sistema eficiente de gestión energética con capacidad para operar en combinación con baterías, paneles solares y la red eléctrica.

Figura 11

Modelo del inversor 1 kVA



Nota. Especificaciones técnicas UPS híbrida (POWEST, s.f.)

Las características principales obtenidas de la ficha técnica del fabricante son:

Tabla 9*Ficha técnica del inversor*

Parámetros	Valor
Capacidad	1KVA 12V
Topología de entrada	Monofásica
Voltaje nominal de entrada	120 VAC
Cantidad de hilos (Entrada)	3 (Fase + Neutro + GND)
Voltaje permitido por el rectificador	95-140 VAC
Rango de frecuencia de entrada	50Hz o 60Hz (Detección Automática)
Topología de salida	Monofásica
Voltaje nominal de salida	120 VAC
Factor de potencia de salida	0.8
Potencia	1000VA / 800W
Tipo de onda de salida	Senoidal pura
Tiempo de transferencia	10 / 20 ms
Regulación de voltaje	+/- 5%
Capacidad de sobrecarga	5s @ $\geq 150\%$ de carga; 10s @ 110%~150% de carga
Eficiencia en modo línea	90%
Tipo de baterías	VRLA / GS / FT / OPz / GEL
Voltaje DC de las baterías	12 VDC
Corriente de carga (Red)	10 / 20 A
Potencia del cargador solar	500W

Eficiencia del cargador solar	98%
Rango de operación PV (MPPT)	15~80 VDC
Dimensiones (Alto x Ancho x Profundo)	316 x 240 x 95 mm
Peso Neto (Sin baterías)	5.2 kg
Display	LCD con monitoreo de parámetros y alarmas
Conexión de baterías	Externo, con conector bornera
Temperatura de operación	0°C ~ 55°C
Humedad de operación	5% ~ 95% sin condensación
Interfaz de monitoreo	USB compatible con Windows XP, Windows, Linux

Este inversor es capaz de operar en múltiples modos según la prioridad energética seleccionada, proporcionando una solución robusta para sistemas híbridos solares con capacidad de respaldo.

- **Batería**

La batería para el dimensionamiento pertenece a la serie SSB-12V50AH, diseñada específicamente para sistemas de energía renovable y aplicaciones de respaldo, esta batería de gel de 12V y 50Ah de capacidad nominal (Figura 12), fabricada con tecnología de electrolito coloidal de nanosílice y placas positivas con aleación de alto contenido de estaño, lo que garantiza:

- Alto rendimiento: Eficiencia superior en condiciones de alta y baja temperatura (-40°C a 60°C).

- Ciclo de vida prolongado: Optimizada para descargas profundas y más de 1200 ciclos (dependiendo de la profundidad de descarga).
- Seguridad y mantenimiento mínimo: Diseño sellado con válvula regulada (VRLA) y material de contenedor en ABS resistente.

Configuración interna:

Celdas: 6 celdas de 2V en serie (configuración estándar para 12V).

Terminales: Tipo M6 para conexiones robustas.

Figura 12

Modelo de la batería serie SSB-12V50AH



Nota. Batería Solar de gel SSB-12V50AH (VICTORIA LED, 2025).

Tabla 10*Ficha técnica de la batería*

Parámetros	Valor
Tipo de batería	Batería de Gel
Tensión nominal	12V
Capacidad nominal	50Ah (a tasa de 10 horas, 5.00 A a 10.8 V)
Diseño de vida	12 años
Peso aproximado	15.5 kg
Material del contenedor	ABS
Resistencia interna	11.0 mΩ (carga completa a 25°C)
Máx. corriente de descarga	600A (5 segundos)
Temperatura de funcionamiento	-40°C a 60°C (-40°F a 140°F)
Autodescarga	3% de capacidad disminuida por mes a 25°C
Método de carga	- Corriente máxima: 12.5A (recomendado 5.0A)
Dimensiones	228 mm (L) × 130 mm (W) × 205 mm (H) × 215 mm (TH)

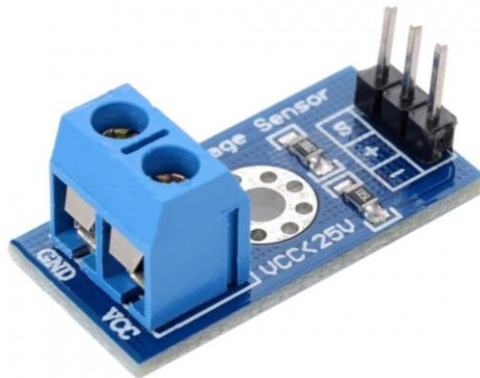
- **Sensores del subsistema electrónico del módulo en AC/DC**

Este sensor de voltaje DC para Arduino (Figura 13) tiene un rango de medición de hasta 25V, es un componente clave en el monitoreo de sistemas eléctricos y electrónicos, el dispositivo permite medir de manera precisa y eficiente el voltaje en circuitos DC, enviando los datos directamente a microcontroladores como Arduino para su procesamiento; su diseño

compacto y su capacidad de integración lo convierte en una herramienta versátil para aplicaciones académicas y experimentales, facilitando el control y análisis de parámetros eléctricos en tiempo real.

Figura 13

Sensor De Voltaje DC Arduino 25V

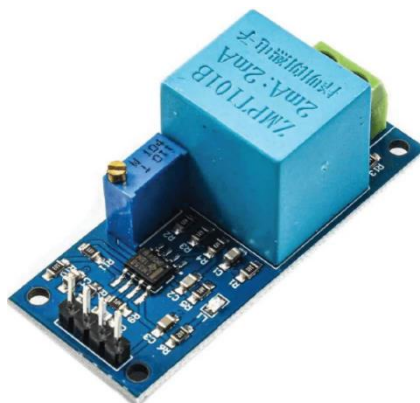


Nota. Sensor De-Voltaje Dc Arduino-25V FZ0430 [Fotografía] (MEGATRONICA,-s.f.)

El sensor de voltaje AC ZMPT101B como se muestra en la Figura 14, integra un transformador de voltaje de alta precisión, lo que permite capturar señales eléctricas con un bajo nivel de ruido y una excelente estabilidad, el sensor es ideal para proyectos de monitoreo y automatización, ya que proporciona una salida analógica proporcional al voltaje medido, facilitando su integración con microcontroladores como Arduino y otros sistemas de adquisición de datos.

Figura 14

Sensor de voltaje AC ZMPT101B



Nota. Sensor de-voltaje AC ZMPT101B [Fotografía] (ROBOTICS ECUADOR,-2023)

El sensor de corriente ACS712 30A como se muestra en la Figura 15, es un módulo diseñado para medir corrientes de hasta 30 amperios, tanto en corriente alterna (AC) como en corriente continua (DC), este sensor emplea un sistema basado en el efecto Hall, que detecta el campo magnético generado por el paso de la corriente a través de un conductor interno de cobre; dicho campo magnético se convierte en un voltaje de salida proporcional a la magnitud de la corriente medida, permitiendo su análisis y control de parámetros eléctricos.

Figura 15*Sensor de Corriente ACS712 20A*

Nota. Sensor-Corriente-ACS712 (20A) [Fotografía] (AV Electronics, 2025)

Los sensores QNDBK1-21 de corriente AC de 100A son dispositivos de efecto Hall de lazo abierto (Figura 16), se destacan por su estructura de núcleo partido y un tiempo de respuesta ultrarrápida de 1 μ s, son diseñados para mediciones precisas, con una exactitud del 1.0% FS, generan una señal de salida analógica de 4-20 mA proporcional a la corriente detectada, operando con una alimentación de 12V o 24V; su instalación fija, linealidad excepcional y alta inmunidad a interferencias los convierten en la opción ideal para el monitoreo de corriente continua en sistemas industriales, la adquisición de señales y el control de retroalimentación en aplicaciones críticas, como energías renovables, sistemas de tracción y equipos de telecomunicaciones.

Figura 16

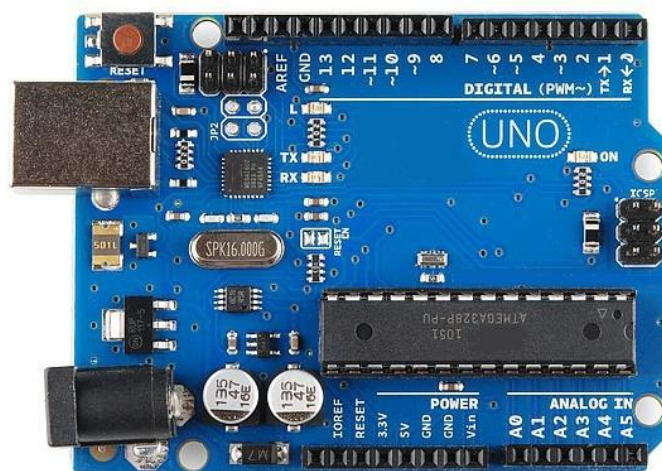
Sensor QNDBK1-21 AC



Nota. AHKC-EKBA split core hall effect current transducer [Fotografía] (Acrel Cop., 2020)

Los sensores seleccionados, como el de corriente ACS712, el sensor de voltaje AC ZMPT101B, sensor de voltaje DC y el Sensor QNDBK1-21 AC están integrados con el microcontrolador Arduino UNO para capturar y procesar los datos eléctricos del sistema.

La plataforma Arduino IDE actúa como un intermediario entre los sensores y el software LabVIEW 2019, permitiendo la transmisión de datos en tiempo real, se realiza la recolección, análisis y almacenamiento de la información obtenida, facilitando así el monitoreo y la evaluación de los parámetros eléctricos del módulo, esta combinación de hardware y software asegura precisión, flexibilidad y una interfaz intuitiva para el análisis técnico (Figura 17).

Figura 17*Arduino UNO*

Nota. Arduino® UNO R3 [Fotografía] (TECmikro, 2025)

El breaker de voltaje para riel DIN VOLTIO (Figura 18), de 20A y 2 polos, constituye un componente fundamental de protección eléctrica en entornos industriales y comerciales, diseñado específicamente para montaje en riel DIN estándar, ofrece una capacidad nominal de 20 amperios y cuenta con un interruptor de acción rápida para una desconexión eficiente ante sobrecargas o cortocircuitos, garantizando así la seguridad de los circuitos y equipos conectados. Incorpora un claro indicador visual de su estado (encendido/apagado) para facilitar la supervisión.

Figura 18

Breaker Voltio 20A AC



Nota. BR2219 – Breaker-riel 2×20 A C20 [Fotografía] (Electroservimos,-2020)

El interruptor automático ABB modelo SH202-C10 (Figura 19), de 2 polos y 10 amperios (A), representa una solución de protección eléctrica robusta y confiable para entornos industriales y comerciales, diseñado para montaje en riel DIN, ofrece una tensión nominal de 230V/400V CA y una elevada capacidad de ruptura de 6 kA, asegurando una respuesta eficaz ante cortocircuitos graves. Su curva de disparo tipo "C" (indicada en la denominación C20) proporciona protección óptima contra sobrecargas, mientras que su carcasa de plástico gris, certificada bajo normas IEC, garantiza seguridad y durabilidad en instalaciones de interior.

Figura 19

Interruptor magnetotérmico ABB RIEL DIN 2P 10A



Nota. ABB Breaker-riel DIN 2 P 10 A-10 kA (6XC-A2) [Fotografía] (ElectroCenter, s.f.)

El dispositivo de protección contra sobretensiones DPS Solar DC 600V (Figura 20), representa una solución especializada y esencial para instalaciones fotovoltaicas, diseñado específicamente para sistemas de corriente continua (DC) y montaje en riel DIN, trabaja a una tensión nominal de 600 V CC y una elevada capacidad de descarga de 20 kA, asegurando una respuesta rápida y eficaz ante picos de tensión y sobretensiones transitorias, protegiendo así los valiosos componentes del sistema solar; su diseño compacto en carcasa gris, construido para resistir las exigentes condiciones de operación en entornos industriales y exteriores, garantiza una protección robusta y una larga vida útil, contribuyendo a la máxima disponibilidad y seguridad de la instalación fotovoltaica.

Figura 20*DPS Solar DC 600V*

Nota. Dispositivo-de Protección-contra Sobretensiones (DPS / SPD) 600V (SIFA-STORE, 2025)

En cumplimiento del segundo objetivo específico del presente proyecto titulado "Construcción de un módulo automatizado de generación eléctrica con tecnología fotovoltaica" se evidencia la materialización del diseño integral de los subsistemas mecánico y electrónico del módulo, este diseño se realiza tomando como base criterios de eficiencia energética, compatibilidad funcional, seguridad eléctrica y facilidad de implementación en un entorno de laboratorio.

4.2 Construcción del módulo tecnológico

Para el soporte del panel solar su elaboración es una estructura metálica fija como se muestra en la Figura 21 construida en acero, pintado con recubrimiento antioxidante esta estructura permite sostener el módulo fotovoltaico RESUN de 230 W con seguridad, garantizando su estabilidad frente a posibles movimientos o manipulaciones dentro del laboratorio, se tiene una base ajustable para modificar el ángulo de inclinación del panel, lo

cual es crucial para realizar pruebas con distintas condiciones de irradiancia simulada, esta característica también brinda la posibilidad de evaluar el comportamiento del sistema frente a variaciones estacionales de radiación solar.

Figura 21

Estructura de acero para el módulo automatizado



En el bastidor principal, fabricado con perfiles rectangulares metálico, lamina de tol de 0.90 mm con las dimensiones de 0.80m x 1.19 m, se ensamblan dos repisas de madera, una para el sistema eléctrico de control, la batería y otra para almacenamiento de elementos menores. La disposición modular facilita el acceso técnico a los componentes durante las fases de monitoreo, mantenimiento y evaluación.

4.2.1 Desarrollo del Subsistema electrónico

El subsistema electrónico se realiza para permitir una generación, conversión, almacenamiento y monitoreo eficiente de la energía solar captada. Está compuesto por los siguientes elementos principales:

- **Panel solar monocristalino de 230 W:** con eficiencia del 21.06%, dimensiones de 1560 mm x 700 mm y una configuración de 36 celdas. Este panel sirve como fuente primaria de energía y está conectado mediante conectores MC4.
- **Inversor de 1 kVA:** se encarga de convertir la corriente continua (DC) generada por el panel, en corriente alterna (AC), con una eficiencia de conversión del 98% en modo solar. El inversor también permite la carga de baterías y está equipado con protecciones contra sobrecarga, cortocircuito y sobrecalentamiento.
- **Batería de gel 12 V y 50 Ah:** seleccionada para almacenamiento de energía, con vida útil estimada de 12 años y operación en un amplio rango de temperatura (-40°C a 60°C). Esta batería garantiza el suministro continuo incluso en ausencia de irradiancia solar.
- **Dispositivos de protección:** se incluye interruptores termomagnéticos dimensionados técnicamente para proteger el sistema ante posibles sobrecargas o cortocircuitos.
- **Sensores de monitoreo eléctrico:** sensores de voltaje DC (hasta 25V), sensor de voltaje AC ZMPT101B y sensor de corriente ACS712 30A, sensor QNDBK1-21 AC, estos dispositivos se conectan al microcontrolador Arduino UNO R3, encargado de digitalizar las señales y transmitir las al software LabVIEW 2019, permitiendo la visualización en tiempo real de los parámetros clave como voltaje, corriente.

- **Software de adquisición y procesamiento de datos:** se implementa el entorno LabVIEW 2019 como herramienta de interfaz gráfica para representar gráficamente los datos medidos, almacenar registros y generar alarmas operativas.

4.2.2 Ensamblaje e integración funcional del sistema fotovoltaico

La imagen registrada del módulo (Figura 22) evidencia el avance en la fase de ensamblaje, donde se observa la interconexión ordenada de los elementos, el cableado estructurado y el montaje seguro de los componentes sobre el tablero de presentación; donde se representa el diseño propuesto en el diagrama unifilar, garantizando la correspondencia entre el plano técnico y la implementación física, se válida el funcionamiento individual de cada subsistema: el panel genera voltaje bajo irradiancia simulada, el inversor entrega salida de AC estable, la batería almacena y descarga energía correctamente, los sensores reportan datos coherentes al software de monitoreo.

Figura 22

Montaje de los equipos y distribución de sus componentes



4.2.3 Implementación de sensores y programación de para la adquisición de datos

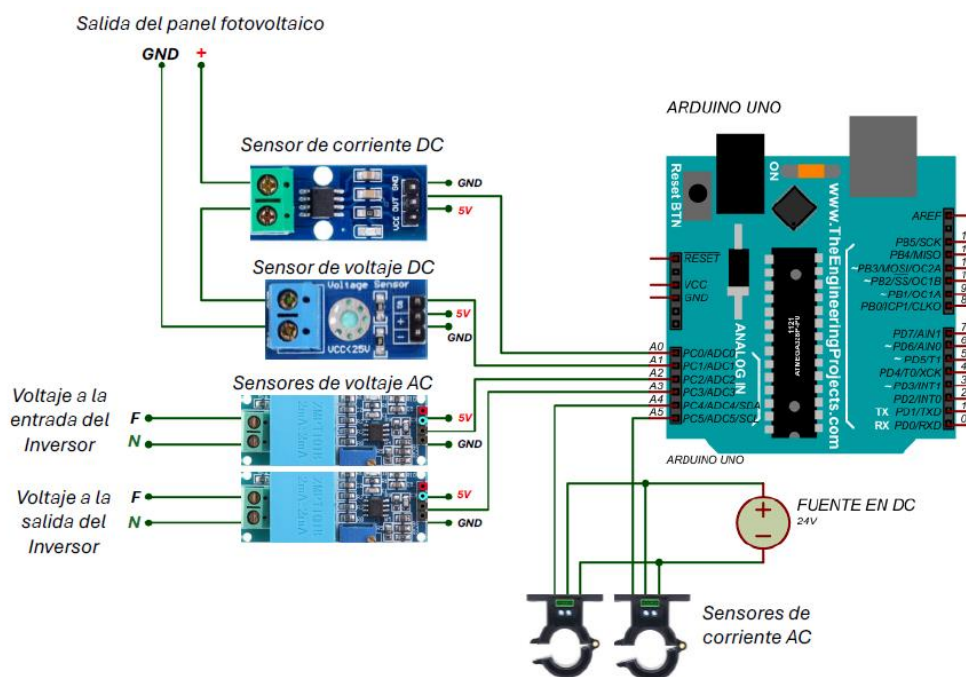
Además de los resultados técnicos sobre la selección e instalación de los elementos del módulo, se incorpora el sistema de sensores para el monitoreo de parámetros eléctricos críticos, aspecto clave para el análisis y discusión de la eficiencia del módulo. La integración de sensores incluye:

- Sensor de voltaje DC con capacidad hasta 25V, conectado a la entrada del panel solar.
- Sensor de voltaje AC ZMPT101B, instalado a la entrada y salida del inversor híbrido.
- Sensor de corriente ACS712 20A, en la línea principal del sistema.
- Sensor QNDBK1-21 AC, en la entrada y salida del inversor.

Estos dispositivos se conectan al microcontrolador Arduino UNO como se muestra en la Figura 23, el cual fue programado mediante el entorno de desarrollo Arduino IDE, junto con el código que permiten la adquisición de datos en tiempo real y su posterior visualización en el software LabVIEW 2019 en su interfaz gráfica para validar el funcionamiento del sistema bajo condiciones reales de operación.

Figura 23

Diagrama de conexión de sensores de voltaje y corriente AC/DC



La programación en Arduino IDE considera estructuras de lectura continua en ciclos loop, calibración de entradas analógicas y conversión de señales a valores reales de voltaje y corriente, los datos se envían al computador mediante comunicación serial y se grafican en tiempo real, lo que permiten observar el comportamiento del sistema frente a variaciones en la irradiancia simulada o carga.

4.3 Análisis gráfico de parámetros eléctricos

La interfaz mostrada en la Figura 24 se crea para supervisar y recopilar datos del sistema fotovoltaico, desarrollado en el ambiente de programación LabVIEW, está hecho para mostrar en tiempo real los parámetros eléctricos esenciales del sistema, tales como voltajes, corrientes, potencias y eficiencia, tanto en el panel fotovoltaico como en su interacción con la red y la carga, esta incorpora controles interactivos como botones para comenzar la prueba,

crear informes, representar datos y registrar, la siguiente configuración permite el monitoreo minucioso del rendimiento del sistema fotovoltaico bajo diversas circunstancias de funcionamiento, actuando como instrumento esencial para propósitos educativos, de investigación o validación técnica.

Figura 24

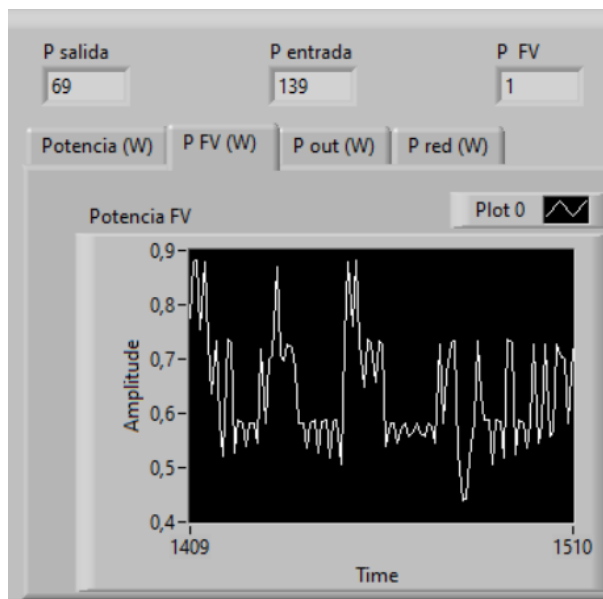
Vista principal de la Interfaz del sistema de Monitoreo Fotovoltaico en LabVIEW



La Figura 25 muestra, en la parte superior de la interfaz nos muestran indicadores esenciales que facilitan la visualización en tiempo real de los parámetros eléctricos más significativos. La potencia de salida (P salida), que simboliza la energía proporcionada a la carga; la potencia de entrada (P entrada), que probablemente se refiere a la energía proveniente de la red o fuente auxiliares; y la potencia producida por el panel fotovoltaico (P FV), que en el instante de captura es de solo 1 W, lo que indica condiciones de escasa irradiancia solar o un sistema de baja escala.

Figura 25

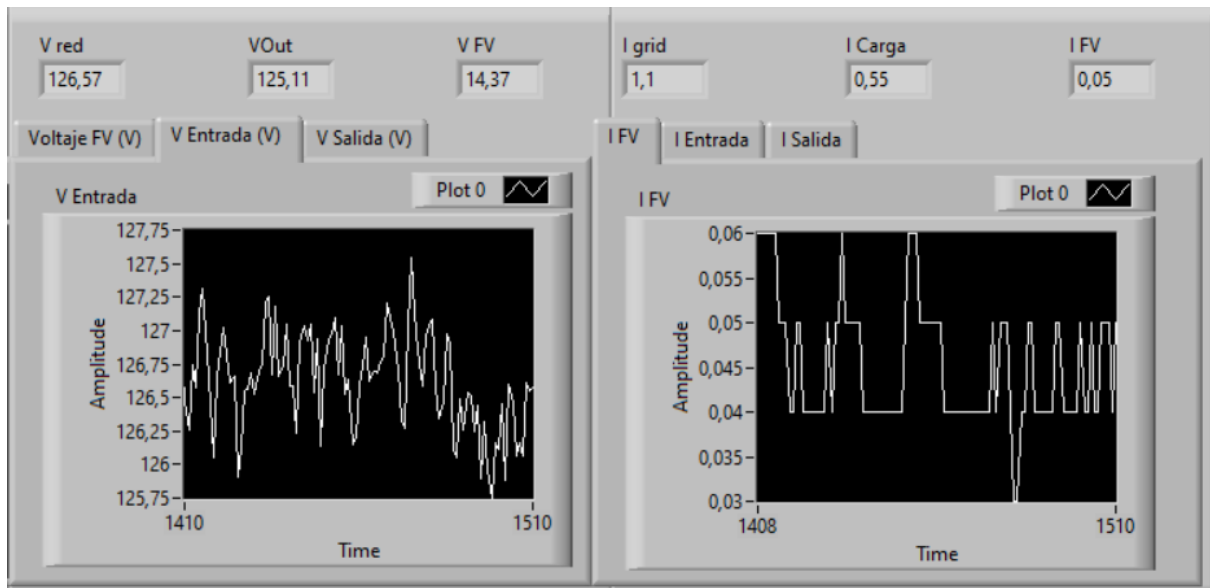
Potencias del sistema (Red, Salida, FV)



En la Figura 26 la gráfica nos presenta valores de voltaje en diferentes ubicaciones del sistema, que incluyen el voltaje de red (V red), el voltaje de salida (V Out) y el voltaje proporcionado por el panel (V FV), que en esta situación es de 14.37 V. Las corrientes registradas incluyen tanto la corriente inyectada a la red (I grid), como la corriente de carga (I carga) y la corriente producida por el panel (I FV), la cual tiene un valor de apenas 14.37 V.

Figura 26

Voltajes y corrientes del módulo (Red, salida, FV)

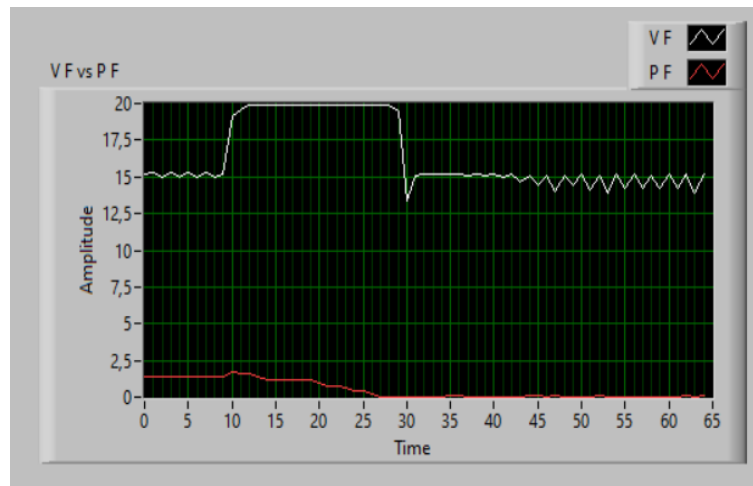


Adicionalmente también agregamos algunas graficas que se muestran individualmente a continuación:

La figura 27 nos muestra "V F vs P F", donde se compara el voltaje del panel con la potencia generada, muestra que la potencia fotovoltaica aumenta a medida que sube el voltaje, alcanzando su punto máximo en el mismo intervalo, esto quiere decir que cuando el voltaje cae, la potencia disminuye casi por completo, aunque el voltaje se mantiene en niveles intermedios. Esto indica que en ese momento no hay una carga activa conectada, o que la corriente generada es tan baja que no se produce potencia útil.

Figura 27

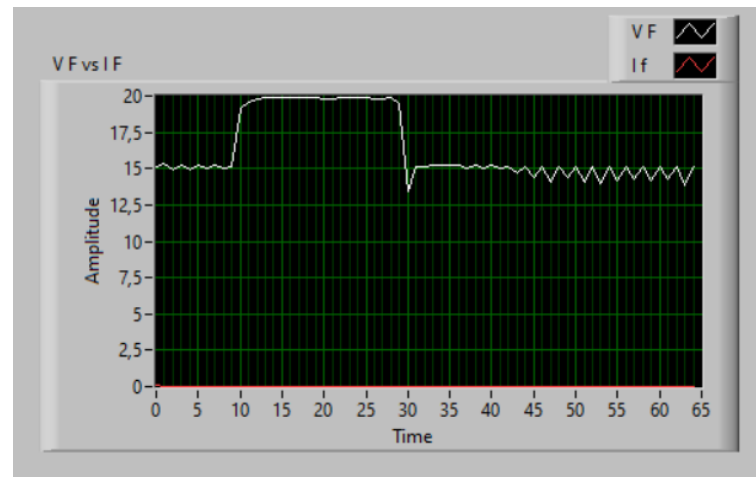
Voltaje y Potencia vs Tiempo (Fuente Fotovoltaica)



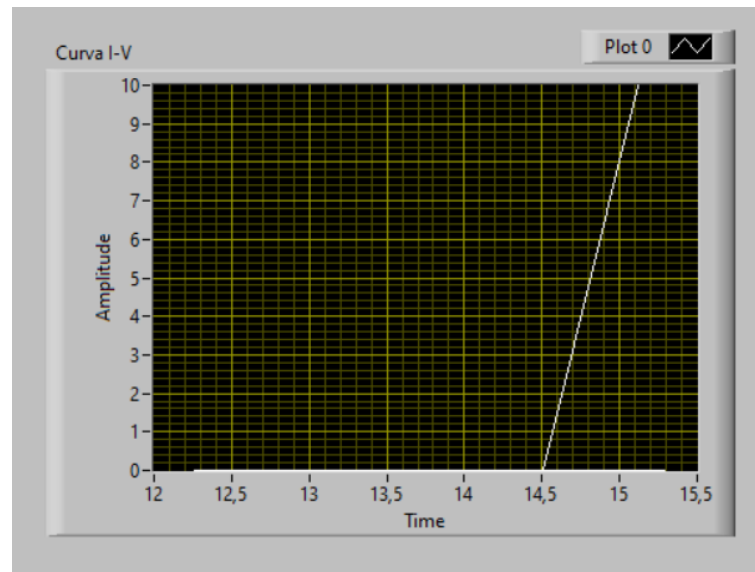
La Figura 28 muestra el comportamiento eléctrico del sistema fotovoltaico en tiempo real, la gráfica "VF vs IF" representa la relación entre el voltaje y la corriente en el tiempo generada por el panel. El voltaje se mantiene constante en torno a 17.5 V. después sube bruscamente hasta alcanzar los 20 V y se mantiene así durante unos 10 segundos, este cambio sugiere la activación de una carga o una mejora en las condiciones de irradiancia y el voltaje cae de forma repentina, presenta pequeñas oscilaciones, posiblemente por un cambio en la carga, una desconexión o la intervención de un regulador. La corriente (I_f) se mantiene en valores bajos, con un leve aumento durante el periodo en que sube el voltaje, esto indica que la carga conectada es muy pequeña ya que se trata simplemente de un foco de 40W o que la generación solar en ese momento es limitada.

Figura 28

Voltaje y Corriente vs Tiempo: FV (Fuente Fotovoltaica)



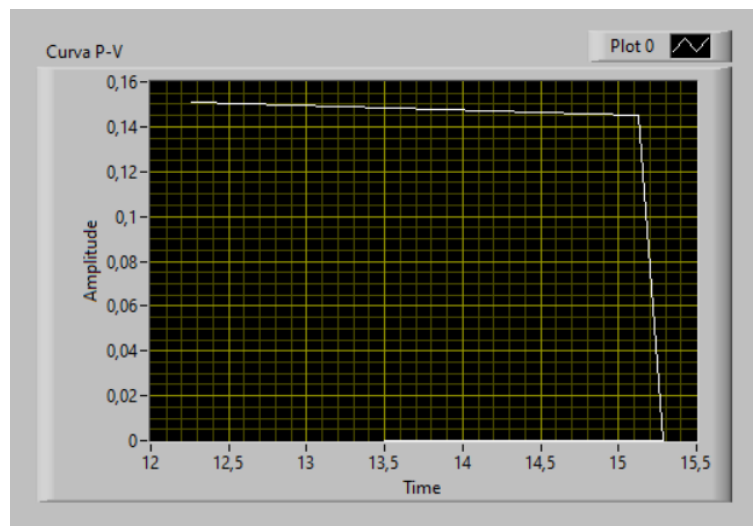
La grafica de la curva I-V, muestra el análisis de carga realizado al panel fotovoltaico para obtener su curva característica, en la Figura 29 se observa un aumento casi lineal de la corriente con respecto al voltaje, alcanzando un máximo cercano a los 0.10 amperios, aunque lo habitual en estos análisis es una curva no lineal con una zona de saturación, se puede decir que la linealidad en este caso puede deberse al método de prueba utilizado o a la escala del sistema. Este tipo de gráficas es clave para identificar el punto de máxima potencia del panel.

Figura 29*Curva I-V del Panel Fotovoltaico*

Finalmente, la Figura 30 muestra la gráfica sobre la curva P-V donde podemos ver cómo varía la potencia generada en función del voltaje del panel y en ella se identifica una presión constante con variaciones mínimas de volumen seguida de una caída abrupta, lo que señala el punto de máxima potencia (Maximum Power Point, MPP). Este punto es fundamental para diseñar e implementar algoritmos de seguimiento MPPT, ya que marca las condiciones óptimas de operación del panel bajo cierta irradiancia.

Figura 30

Curva P-V del Panel Fotovoltaico



4.3.1 Análisis estadístico

El comportamiento eléctrico del sistema bajo estudio se fundamenta en un análisis estadístico descriptivo de los parámetros operativos registrados durante las pruebas de laboratorio, en la Tabla 11 se resumen las métricas clave de tendencia central y dispersión para las variables críticas del sistema, incluyendo tensiones de entrada/salida (V), corrientes (A), potencias (W) y eficiencia (%). Estos indicadores cuantifican la estabilidad operativa, las fluctuaciones típicas y los rangos extremos observados durante el periodo experimental, proporcionando una base objetiva para evaluar el desempeño del sistema en condiciones controladas.

Tabla 11*Parámetros eléctricos registrados durante pruebas de laboratorio*

Variable	Media	Desv. Estándar	Mínimo	25%	Mediana	75%	Máximo
V red (V)	127.02	0.65	124.98	126.62	127.02	127.48	129.23
I red (A)	1.12	0.02	1.05	1.11	1.12	1.13	1.15
V salida (V)	125.49	1.19	117.69	124.86	125.61	126.18	127.13
I salida (A)	0.54	0.1	0.04	0.55	0.55	0.56	0.57
V fotovoltaico (V)	14.85	1.72	12.56	13.65	14.65	15.26	19.66
I fotovoltaica (A)	0.06	0.02	0	0.05	0.06	0.07	0.14
P red (W)	142.12	4.02	65.18	140.59	142.15	143.78	146.97
P salida (W)	68.43	9.46	4.74	68.37	69.09	69.92	72.74
P FV (mW)	825.42	406.52	0	588.4	732.5	883.2	2139.2
Eficiencia (%)	48.48	6.15	7.11	48.21	48.77	49.08	84.32

- Potencia del panel muestra la mayor variabilidad (DE = 406.52 mW), indicando fluctuaciones significativas en la generación solar.
- Eficiencia varía desde 7.11% (mínimo) hasta 84.32% (máximo), pero el 75% de los valores están bajo 49.08%.
- Corriente de salida tiene amplio rango (0.04-0.57 A), sugiriendo cambios en la demanda de carga.

4.3.2 Pruebas de normalidad en el software Minitab Statistical Software 22

En la sección de anexos se presentan los resultados correspondientes a las pruebas de normalidad aplicadas a las variables eléctricas analizadas en esta investigación, empleando gráficos de probabilidad normal y la prueba estadística de Anderson–Darling estas evaluaciones se realizaron sobre un conjunto de 300 s por cada variable, incluyendo tensiones (V), corrientes (I), potencias (P) y la eficiencia del sistema. Los valores de significancia

obtenidos fueron consistentemente <0.005 , lo que proporciona evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de normalidad en la distribución de los datos, estos resultados respaldan la selección de métodos estadísticos no paramétricos para el análisis posterior, garantizando que las conclusiones del estudio se fundamenten en técnicas acordes con la naturaleza de los datos recolectados en el análisis del módulo fotovoltaico automatizado.

4.3.3 Análisis de correlación de Spearman

La correlación de Spearman evalúa relaciones monótonas entre las variables medidas en el sistema fotovoltaico, este método no requiere el supuesto de normalidad de los datos y es apropiado para variables que no necesariamente mantienen una relación lineal, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 12 de correlaciones generada mediante el software Minitab.

Este análisis permitió identificar la relación monótonica entre las variables eléctricas del sistema, los resultados muestran que la potencia de la red (P red) presenta una correlación muy alta con la corriente de la red (I red) ($\rho = 0.884$) y el voltaje de la red (V red) ($\rho = 0.742$), confirmando que la potencia suministrada por la red depende directamente de estas variables eléctricas fundamentales.

De igual forma, se evidencia una correlación extremadamente fuerte entre la potencia fotovoltaica (P FV) y la corriente fotovoltaica (I FV) ($\rho = 0.970$) . lo cual indica que la generación energética del panel está principalmente determinada por la corriente producida. Asimismo, la potencia de salida (P salida) muestra asociaciones positivas con la corriente de salida (I salida) ($\rho = 0.551$) y con el voltaje fotovoltaico (V FV) ($\rho = 0.838$), evidenciando la influencia del subsistema fotovoltaico en el desempeño energético del sistema.

En cuanto a la eficiencia, se observa una correlación positiva con la potencia de salida ($\rho = 0.537$) y con la corriente de salida ($\rho = 0.524$), lo que sugiere que un mayor aprovechamiento de la energía generada incrementa el rendimiento del sistema. Sin embargo,

la eficiencia presenta correlaciones negativas con las variables de la red eléctrica voltaje, corriente y potencia de la red, lo que indica que una mayor dependencia del suministro externo se asocia con una reducción del rendimiento global, reforzando el papel predominante del aporte fotovoltaico.

Finalmente, algunas correlaciones débiles, como la existente entre el voltaje y la corriente fotovoltaicos, evidencian comportamientos no lineales característicos de los sistemas fotovoltaicos, lo que justifica el uso del coeficiente de Spearman en el análisis.

Tabla 12

Correlación de parámetros eléctricos

	V red	I red	V salida	I salida	V FV	I FV	P red	P salida	P FV
I red	0.399								
V salida	0.168	0.235							
I salida	0.317	0.497	0.100						
V FV	0.070	0.177	-0.115	0.271					
I FV	0.388	0.177	-0.087	0.119	0.002				
P red	0.742	0.884	0.224	0.474	0.132	0.297			
P salida	0.348	0.498	0.551	0.838	0.178	0.052	0.494		
P FV	0.394	0.192	-0.104	0.143	0.175	0.970	0.310	0.064	
Eficiencia	-0.270	-0.276	0.217	0.524	-0.003	-0.211	-0.337	0.537	-0.205

4.4 Análisis de resultados

Los registros obtenidos a través del subsistema de sensores, presentados en las curvas y tablas muestran cómo se comporta el módulo automatizado en condiciones controladas:

- Generación fotovoltaica:

El voltaje en el panel varió entre 14.0 V y 16.0 V, lo que indica fluctuaciones de irradiancia probablemente por nubosidad parcial o sombras durante las mediciones.

La corriente medida osciló entre 0.02 A y 0.14 A, traducándose en potencias entre 0.28 W y 2.24 W, valores modestos que reflejan la baja irradiación del periodo de prueba.

- Respaldo de la red eléctrica:

La tensión de la red se mantuvo estable en 127.0 V–129.0 V y la corriente en 0.555 A–0.570 A, demostrando un suministro muy consistente que beneficia la operación híbrida del sistema.

- Salida del inversor:

El inversor entregó una tensión alterna regulada entre 116.6 V y 119.0 V, con una corriente de salida de 0.490 A a 0.510 A. Estas oscilaciones mínimas evidencian la capacidad del inversor para estabilizar la alimentación a la carga, aun con variaciones en la generación fotovoltaica y el respaldo de la red.

Desde el análisis estadístico (estadística descriptiva y curvas I-V/P-V) y la validación cruzada con los datos internos del inversor (pantalla LCD) y con estudios previos, se concluye que:

- Eficiencia y robustez:

A pesar de la baja generación solar, la eficiencia promedio del sistema se mantuvo alrededor de 48 %–49 %, alcanzando picos superiores cuando mejoraron las condiciones de irradiancia.

- Estabilidad operativa:

La monitorización en tiempo real permite detectar y corregir variaciones, garantizando suministro continuo.

- Valor educativo y científico:

La integración de sensores con Arduino y LabVIEW no solo ofrece datos precisos para el análisis técnico, sino que fortalece la rigurosidad y reproducibilidad de la investigación.

Los resultados obtenidos a partir del monitoreo del módulo fotovoltaico bajo condiciones controladas evidencian un desempeño coherente con el comportamiento esperado para sistemas híbridos de baja potencia operando en escenarios de irradiancia variable. Las fluctuaciones de voltaje y corriente registradas en el panel producto de nubosidad parcial y posibles sombras se reflejan en niveles de potencia comprendidos entre 0.28 W y 2.24 W, valores concordantes con periodos de baja captación energética. Este comportamiento es consistente con lo reportado en la literatura, donde se señala que la variabilidad ambiental impacta directamente la forma de las curvas I-V y P-V y, por tanto, la eficiencia instantánea del generador fotovoltaico (Ordoñez et al., 2024).

A pesar de estas limitaciones de irradiancia, el sistema mantuvo una eficiencia operativa promedio de 48–49 %, alcanzando picos superiores en momentos de mayor disponibilidad solar. Este desempeño resulta particularmente relevante al compararse con propuestas similares orientadas a la caracterización y diagnóstico de módulos FV de baja y mediana potencia, en las que se demuestra que la integración de sensores y adquisición de datos en tiempo real permite evaluar el rendimiento del panel incluso en condiciones no estándar de operación (Tchouli et al., 2025). En este sentido, los resultados experimentales confirman que el sistema no solo es funcional como plataforma de monitoreo, sino también como instrumento de apoyo para la validación del comportamiento energético del módulo.

Asimismo, la estabilidad observada en la tensión e intensidad suministrada por la red y por la salida del inversor refleja una adecuada interacción dentro del esquema híbrido. La regulación de tensión entre 116.6 V y 119.0 V y las mínimas oscilaciones de corriente

evidencian la capacidad del inversor para mitigar perturbaciones y garantizar continuidad en el suministro, lo cual coincide con estudios donde se destaca el rol de los sistemas electrónicos de adaptación en la mejora de la confiabilidad operativa de instalaciones fotovoltaicas con respaldo eléctrico (Usman et al., 2024).

Desde una perspectiva comparativa, los resultados obtenidos corroboran que la incorporación de plataformas basadas en Arduino y LabVIEW constituye una alternativa viable para la caracterización experimental de módulos fotovoltaicos, en línea con desarrollos previos orientados al diseño de dispositivos portátiles de medición y trazado de curvas I-V/P-V. De forma similar a lo señalado en dichos trabajos, el presente sistema demuestra que la disponibilidad de datos en tiempo real facilita la detección de variaciones operativas y el análisis del punto de operación del módulo, contribuyendo tanto al diagnóstico temprano de fallas como al fortalecimiento metodológico de estudios experimentales en energías renovables (Tchouli et al., 2025).

Finalmente, los resultados adquieren un valor adicional en el ámbito académico, ya que el prototipo no solo cumple una función instrumental de medición, sino que también opera como plataforma formativa para la comprensión del comportamiento eléctrico de los sistemas fotovoltaicos. Esto coincide con investigaciones que resaltan el uso de dispositivos experimentales y bancos de prueba como herramientas de apoyo en procesos formativos e investigativos, al favorecer la reproducibilidad, la rigurosidad metodológica y el análisis cuantitativo del desempeño energético (Usman et al., 2024).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El sistema automatizado fotovoltaico integrado por un panel de 230 W, un inversor híbrido de 1 kVA y una batería de 12 V/50 Ah ha demostrado una operación consistente bajo variaciones de irradiancia y carga, las curvas I-V y P-V generadas revelan que, incluso con una generación limitada (máximo ~ 2.24 W), el rendimiento del conjunto se mantuvo dentro de parámetros esperados para un prototipo de laboratorio, validando el diseño y la robustez del inversor al estabilizar la salida en ± 5 % de la tensión nominal.

La combinación de sensores de voltaje y corriente en DC y AC, controlados por Arduino UNO y monitoreados con LabVIEW 2019, ha permitido una adquisición de datos en tiempo real con alta precisión y reproducibilidad, esto no solo facilita la detección de anomalías y ajustes operativos inmediatos, sino que también fortalece la confiabilidad de los resultados experimentales en estudios comparativos y validaciones cruzadas.

Desde una perspectiva educativa y de investigación, el módulo funcional sirve como plataforma didáctica de experimentación en energías renovables, gracias a su capacidad para registrar y analizar automáticamente las variaciones de tensión, corriente y potencia ofrece un entorno idóneo para que estudiantes e investigadores diseñen pruebas de eficiencia, estudien el comportamiento de sistemas híbridos y profundicen en el desarrollo de algoritmos de optimización energética.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda incorporar sensores de irradiancia y temperatura ambiente para correlacionar las variaciones de radiación solar y condiciones meteorológicas con la producción eléctrica del panel, ya que esta información permitirá ajustar los ensayos y analizar la eficiencia energética con mayor exactitud, así como desarrollar modelos predictivos más avanzados.

Para optimizar la extracción de energía, es conveniente implementar algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) directamente en el firmware de Arduino como integrar las técnicas como perturba y observa o Incremental Conductance mejorará la captación de energía en tiempo real y servirá de base para comparar el rendimiento de distintos métodos de MPPT en condiciones cambiantes.

Finalmente, se sugiere expandir el sistema hacia un control remoto y registro en la nube, creando una interfaz web o móvil que permita el monitoreo y la gestión de datos desde cualquier ubicación o escalar el montaje con paneles de mayor potencia y bancos de baterías más grandes facilitará pruebas orientadas a aplicaciones reales de pequeña escala, contribuyendo a la investigación aplicada y a la formación de profesionales en el campo de las energías renovables.

Referencias bibliográficas

- Acrel Co., L. (2020). *AHKC-EKBA split core hall effect current transducer - Buy Split core hall current sensor, hall current transducer, hall effect current sensor Product on Acrel Co.,Ltd.* <https://www.acrel.uk/hall-effect-current-sensor-ahkc-ekba.html>
- Alarcon, D. (2021). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL EN TIEMPO REAL PARA EL ANÁLISIS PREDICTIVO DE UN SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA.* <https://repositorio.utec.edu.pe/handle/20.500.12815/251>
- Alonso, J. (2025, April 11). *Instalación fotovoltaica aislada: qué es, esquema y cálculo | SunFields.* https://www.sfe-solar.com/instalaciones-fotovoltaicas/aislada/?srsltid=AfmBOorU4Z6OudQIhRzyQ7KXNFMRhgMJ2UYrNecS30OsI_9IENvytohb
- Andrade, P. (2021, September 19). *Boletín estadístico 2021 by Editorial Universidad Técnica del Norte UTN - Issuu.* https://issuu.com/utnuniversidad/docs/boletin_estadistico_2021
- AV Electronics. (2025). *Sensor Corriente ACS712 (30A) - AV Electronics.* <https://avelectronics.cc/producto/sensor-corriente-ac712-30a/>
- Barzola, H. (2020). *Optimización del diseño de paneles solares fotovoltaicos aplicando grafeno.* <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10387>
- Benítez, K. A., Montes Villarreal, J. C., & Orozco Balcázar, A. (2020). *IDENTIFICACIÓN DE METODOLOGÍAS EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE EN ENERGÍAS RENOVABLES, APLICABLES A TRAVES DE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA ELECTIVA PROFESIONAL DIRIGIDO A LOS*

PROGRAMAS ACADÈMICOS EN LA UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA.

https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/17205/1/2020_identificacion_metodologias_proceso.pdf

Cabana, M., Castro Vargas, C., & Romucho Farfan, A. G. (2023). Design of an Automated System to Optimize the Capture of Solar Energy in Photovoltaic Panels. In *International Journal of Membrane Science and Technology* (Vol. 10, Issue 2). <https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i2.3145>

Casado, E. del J., Guillen Taje, J. L., Martín Canché, B. del R., Naal Ocampo, A., & Velasco Viveros, G. (2024). Implementación de un Módulo Didáctico para el Aprendizaje de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 4820–4835. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.9038

CELEC. (2021). *Ecuador actualiza su Plan Maestro de Electricidad para impulsar inversiones en Energías Renovables No Convencionales por cerca de USD 2.200 Millones*. <https://www.celec.gob.ec/gensur/noticias/ecuador-actualiza-su-plan-maestro-de-electricidad-para-impulsar-inversiones-en-energias-renovables-no-convencionales-por-cerca-de-usd-2-200-millones/>

Cortes, E. (2024). *PROTOTIPO DE SISTEMA INTELIGENTE CON LEDS Y ENERGIA SOLAR PARA MONITOREO Y CONTROL DE PLAGAS EN EL CULTIVO DEL AGUACATE (Persea americana Mill)*. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/8278>

- Cruel, J. E. (2022). *DESARROLLO DE UNA MICRO-RED SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL DE LA COMUNIDAD SAN CLEMENTE*.
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12979>
- Díaz, A. (2024). *Guía de compra: cómo elegir el mejor inversor solar para tu instalación fotovoltaica*. <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/inversores-solares/>
- Echegaray, M. F., Caceres Cervera, F. A., Palomino Falconi, K. J., & Vilca Leyva, R. A. (2024). *Plan de Negocios para una Escuela de Sostenibilidad*.
<https://hdl.handle.net/20.500.12640/4246>
- edibon. (2024). *Equipamiento Didáctico para la Educación Técnica e Ingeniería Normativas UL y CSA (Todos nuestros productos cumplen con la normativa vigente de UL y CSA)*. www.edibon.com
- ElectroCenter. (n.d.). *ABB BREAKER RIEL DIN 2P 10A 10KA – Electrocenter*.
Retrieved November 18, 2025, from <https://electrocenter.ec/producto/abb-breaker-riel-din-2p-10a-10ka-6xc-a2/>
- Electroservimos. (2020). *BR2219 - BREAKER RIEL 2X20A C20 - 10 KA VOLTIO*.
<https://electroservimos.co/inicio/4354-br2219-breaker-riel-2x20a-c20-10-ka-voltio.html>
- Estévez, I. (2020). *Análisis del desarrollo profesional del docente universitario de Ciencias de la Salud a través de las Ecologías de Aprendizaje*.
<http://hdl.handle.net/2183/26480>

- Furtado, F., & Paim, E. (2020). *ENERGÍA EN AMÉRICA LATINA: DEL NEGOCIO A LO COMÚN*. Expressão Popular : Fundação Rosa Luxemburgo.
https://www.rosalux.org.ec/pdfs/Energia_America_Latina.pdf
- García, A. A., & Lasso López, E. D. (2021). *Estudio de viabilidad para el dimensionamiento de un sistema solar On-Grid en las zonas comunes del Conjunto Residencial Hayuelos Reservados II ubicados en la ciudad de Bogotá*.
<http://hdl.handle.net/11349/28938>
- González, C. A. (2020). *Plan de Mantenimiento para los Sistemas Fotovoltaicos y Térmicos de la Escuela Militar de Ingenieros*.
<https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/8004>
- Gutiérrez, E. (2022). *SISTEMAS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA Y SU APLICACIÓN EN EL MERCADO ELÉCTRICO MEXICANO PARA EL CUMPLIMIENTO DEL CÓDIGO DE RED*.
<https://doi.org/http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/2850>
- Hashimoto, J., Ustun, T. S., Suzuki, M., Sugahara, S., Hasegawa, M., & Otani, K. (2021). Advanced Grid Integration Test Platform for Increased Distributed Renewable Energy Penetration in Smart Grids. *IEEE Access*, 9, 34040–34053.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3061731>
- Herrera Vázquez, M., & Franco Pérez, B. (2022). *EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE PANELES FOTOVOLTAICOS BAJO LAS CONDICIONES AMBIENTALES DE GUAYAQUIL*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23573>
- López Cayo, E., & Moscoso Dongo, Á. (2023). *IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO HÍBRIDO SOLAR Y EÓLICO PARA EL ESTUDIO DE LA ENERGÍA*

ELÉCTRICA. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/10de54c8-1437-4316-a012-57902c69141e/content>

MEGATRONICA. (n.d.). *Sensor De Voltaje Dc Arduino 25V FZ0430 -*

MEGATRONICA. Retrieved November 16, 2025, from

<https://megatronica.cc/producto/sensor-de-voltaje-dc-arduino-25v/>

Mella, C. (2024, October 7). *Ecuador apaga durante 10 horas la industria del país ante la brutal crisis energética | EL PAÍS América*. <https://elpais.com/america/2024-10-08/ecuador-apaga-durante-10-horas-la-industria-del-pais-ante-la-brutal-crisis-energetica.html>

Ministerio de Energía y Minas. (2024). *Balance Energético Nacional 2023*.

<https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/08/Balance-Energetico-Nacional-2023.pdf>

Molina, A. D. (2021). *Diseño e implementación de un módulo didáctico de generación fotovoltaica aislada con almacenamiento híbrido para el Laboratorio de Energías Renovables*. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/26021>

Molina, J. A. (2025). *Implementación de un sistema fotovoltaico Off Grid para abastecer de energía eléctrica a una vivienda, ubicada en un sector rural del cantón Isidro Ayora en la provincia del Guayas*.

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29920>

Naciones Unidas. (2015). *El Acuerdo de París*.

<https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>

- Naciones Unidas. (2025). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/#>
- Novoa, J. E., Alfaro, M., Alfaro, I., & Guerra, R. (2020). Determining the efficiency of a mini photovoltaic solar panel: A laboratory experience in renewable energy. *Educacion Quimica*, 31(2), 22–37.
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.2.70300>
- Olivo Bravo, E. J., & Chango Chalan, W. O. (2023). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA ELECTRIFICACIÓN EN ZONA COSTERA DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS*.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24580>
- Ordoñez, A., Urbano, J., Mesa, F., Castañeda, M., Zapata, S., Quesada, B., García, O., & Aristizábal, A. J. (2024). Design and implementation of an autonomous device with an app to monitor the performance of photovoltaic panels. In *Energy Reports* (Vol. 12, pp. 2498–2510). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.07.062>
- Pinda, D. F. (2021). *IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS Y PILAS DE COMBUSTIBLE*.
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11600>
- POWEST. (n.d.). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS UPS HÍBRIDA Capacidad 1KVA 12V*.
- RESUN SOLAR ENERGY CO., LTD. (n.d.). *RESUN PANEL RS7E-M Technical information*. www.resunsolar.com

ROBOTICS ECUADOR. (2023). *SENSOR DE VOLTAJE AC ZMPT101B - Robotics*.

<https://roboticsec.com/producto/sensor-de-voltaje-ac-zmpt101b/>

Rúa Ramírez, E., Mendoza Jiménez, I., Torres Suárez, E., Flórez Serrano, E., & Serrano

Rico, J. (2021). Didactic test bench for learning autonomous photovoltaic solar energy. *Revista UIS Ingenierías*, 20(2). <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n2-2021001>

SEGCOM. (2023, November 21). *EL GOBIERNO NACIONAL FIRMÓ LA*

CONCESIÓN DE OCHO PROYECTOS ELÉCTRICOS – Secretaría General de Comunicación de la Presidencia. <https://www.comunicacion.gob.ec/el-gobierno-nacional-firmo-la-concesion-de-ocho-proyectos-electricos/>

SIFA STORE. (2025). *Dispositivo de Protección contra Sobretensiones (DPS / SPD)*

600V – SIFA STORE. <https://sifastore.sifaconweb.com/product/dps-solar-dc-600v/>

Tapia, L. E. (2022). *IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE*

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL LTI-ESFOT.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22676>

Tchouli, A. F., Ngasop, S. N., Tchami, J. H., Fapi, C. B. N., & Tchakounté, H. (2025).

Design and Improvement of an Automated Tool for Quality Control and Performance Assessment of Photovoltaic Modules. *Solar*, 5(2).

<https://doi.org/10.3390/solar5020014>

TECmikro. (2025). *Arduino® UNO R3: Características*.

<https://tecmikro.com/content/17-arduino-uno-r3-caracteristicas>

Usman, H. M., Yahaya, M. S., Saminu, S., Muhammad, M., Ibrahim, S., Sani, B. I., & Sulaiman, M. (2024). *DESIGN MODIFICATION AND PERFORMANCE EVALUATION OF SOLAR PV SYSTEM AT AUTOCAD LABORATORY.*

VICTORIA LED. (2025). *BATERÍA SOLAR GEL SSB-12V50AH.*

Zambrano, L. B., Burbano Intriago, Y. E., Ayoví Bernal, M. J., & Bernal Álava, Á. F. (2025). Educational resources of the 21st century and their contribution to education for sustainable developmen. *MQRInvestigar*, 9(1), e25.
<https://doi.org/10.56048/mqr20225.9.1.2025.e25>

Zuñiga González, L., & Valenzuela González, A. (2020). *Educación en energías renovables desde el enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS.* 2020.
<https://doi.org/10.19053/01201190.n28.2020.11057>

ANEXOS

PRUEBAS DE NORMALIDAD SOFTWARE MINITAB 22

