

Artículo de investigación

Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico con seguidor solar para aplicar en entornos educativos

Design and implementation of a photovoltaic system with solar tracker to be applied in educational environments



Daniel Tadeo Guerra Chávez¹
Jorge Bolívar Bodero Bravo¹
Fausto Ulpiano Caicedo Benavides¹
Joseph David Guerra Chávez²

✉ <https://orcid.org/0009-0007-3739-8066>
✉ <https://orcid.org/0009-0006-0635-9251>
✉ <https://orcid.org/0000-0002-2276-9780>
✉ <https://orcid.org/0000-0003-4669-7715>

¹Escuela Superior Politécnica del Chimborazo ESPOCH | Riobamba - Ecuador | CP 060101

²Investigador Independiente

✉ daniel.guerra210810@gmail.com

<http://doi.org/10.26423/rctu.v12i1.884>

Páginas: 45- 56

Resumen

Se desarrolló un sistema fotovoltaico con seguidor solar para suplir las necesidades energéticas básicas de un laboratorio académico, garantizando una autonomía de dos horas con su máxima capacidad operacional sin radiación solar. Se establecieron los requerimientos técnicos y se elaboró un manual de operación y mantenimiento. Se seleccionaron los equipos del Sistema de Generación Distribuido Autónomo (SGDA) y Sistema de Transferencia Automática (STA), para operar en modo manual o automático y se integró un seguidor solar para maximizar la captación de energía. De las pruebas realizadas se determinó su fiabilidad, presentando una autonomía de 4 horas 20 minutos empleando igual tiempo de carga en condiciones de baja radiación. Además, el SGDA implementado representa un ahorro del 48,57% comparado con un sistema comercial similar. Se concluye que el sistema desarrollado es competitivo y presenta mejores características que las alternativas comerciales, además puede ser escalado para suplir deficiencias energéticas en diversas áreas académicas.

Palabras clave: autonomía energética, eficiencia energética, energía fotovoltaica, generación distribuida, seguidor solar.

Abstract

A photovoltaic system with a solar tracker was developed to supply the basic energy needs of an academic laboratory, guaranteeing a two-hour autonomy with its maximum operational capacity without solar radiation. Technical requirements were established and an operation and maintenance manual were prepared. The SGDA and STA equipment was selected to operate in manual or automatic mode and a solar tracker was integrated to maximize energy collection. From the tests carried out, its reliability was determined, presenting an autonomy of 4 hours and 20 minutes using the same charging time in low radiation conditions. In addition, the implemented SGDA represents a savings of 48,57% compared to a similar commercial system. It is concluded that the developed system is competitive and presents better characteristics than the commercial alternatives, besides it can be replicated to supply energy deficiencies in several academic areas.

Keywords: energy autonomy, energy efficiency, distributed generation, solar tracker, photovoltaic energy.

Recepción: 15/04/2025 | Aprobación: 16/06/2025 | Publicación: 27/06/2025

1. Introducción

El sector energético es el responsable del 73 % de las emisiones globales de CO₂ [1], debido a que el 84 % de la energía mundial aún proviene de combustibles fósiles [2]. Esta dependencia amenaza tanto la sostenibilidad ambiental como la estabilidad económica, lo que hace necesario implementar fuentes de energía accesible, segura y sostenible para mitigar su impacto [3]. En el contexto actual, los países enfrentan el desafío de equilibrar el crecimiento económico con la conservación ambiental, agravado por el calentamiento global [4]. Frente a esto la energía solar fotovoltaica se ha consolidado como la opción más viable para la transición energética mundial, especialmente en regiones con alta irradiación solar [5].

La demanda mundial de electricidad aumento un 4,3 % en el 2024 [6], esto debido a la creciente demanda energética que avanza a un ritmo sin precedentes relacionado al crecimiento poblacional y la industrialización. Estudios recientes proyectan que la generación de electricidad crecerá un 69 % para 2040, lo que representaría 36,5 billones de kWh. De este total, las energías renovables representarán el 30,13 % equivalente a 11 billones de kWh [7].

La crisis energética en Latinoamérica está afectando la estabilidad económica y social de la región, debido a la dependencia de los combustibles fósiles, la falta de inversión en la matriz energética de cada país y a los efectos ocasionados por el cambio climático [8]. En este contexto, el Ecuador es vulnerable por su dependencia del 92 % de la energía hidráulica [9].

Sin embargo, Ecuador enfrentó una crisis energética entre octubre del 2023 y 2024, con un déficit acumulado superior a los 1 000 MWh. Durante el 2024, la crisis alcanzó su punto más crítico, registrando hasta 14 horas de cortes de energía diaria por el estiaje agravado de los últimos 60 años. Las pérdidas económicas diarias se estimaron entre 12–20 millones de dólares en el sector productivo [10]. Esto ocasionó que muchas empresas y locales comerciales optaran por adquirir sistemas de generación auxiliar como generadores eléctricos, sistemas de generación fotovoltaica o sistemas de almacenamiento de energía como los Sistemas de Alimentación Interrumpida (UPS), con el fin de mantener la continuidad operativa durante los cortes de energía. Sin embargo, la mayoría de los estudios sobre la crisis energética se enfocan en presentar cifras y proponer soluciones al sector empresarial en el ámbito económico, dejando en segundo plano al sector educativo. Este último tuvo que adaptarse a las nuevas realidades sin contar con un presupuesto específico para implementar sistemas de energía alternativa capaces de solventar sus problemas energéticos, que podrían influir directa o indirectamente en el incremento de la brecha educacional a corto y largo plazo. Investigaciones del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) a nivel de la región plantean que el acceso a la energía eléctrica posibilita una mejor iluminación dentro de las aulas de clase, lo que permite más horas de estudio, más concentración y menor esfuerzo de lectura, mejorando significativamente el aprendizaje y concluye que se reduce en un 28 % el abandono escolar [11].

En el Ecuador, en la mayoría de los sectores productivos y de educación no se han implementado sistemas energéticos basados en energías renovables. Esto se debe a factores como el desconocimiento del proceso de implementación, la falta

de políticas claras, inseguridad jurídica y el factor económico, que se han convertido en obstáculos para su uso a gran escala [12].

En el ámbito educativo no se ha debatido la necesidad de implementar este tipo de sistemas como medida para garantizar el suministro energético continuo en épocas de racionamientos eléctricos. Los cortes de energía eléctrica prolongada de hasta 14 horas en 2024, obligó al Ministerio de Educación a plantear como medidas la reducción de las horas clase, que las tareas sean de corta duración que no requieran del uso de electricidad ni internet, fomentando tareas lúdicas y reflexivas [13]. Por otra parte, estas medidas no han sido analizadas para evaluar su impacto real en el aprendizaje de los estudiantes. ¿Cómo se cumplieron los contenidos académicos? y ¿Cómo estas afectarán en su desempeño académico futuro?

La implementación de sistemas fotovoltaicos representa una solución sostenible, proporciona autonomía energética en situaciones de privación de servicio eléctrico en largos periodos de tiempo, situación que se ha vuelto común en el país debido al cambio climático. La generación eléctrica fotovoltaica del Ecuador representa el 7.52 % de la producción total energética nacional [14]. Su adopción en el sector educativo ayudaría a mantener la continuidad educativa y diversificar la matriz energética nacional, reduciendo la huella de carbono, el costo de consumo eléctrico y su dependencia. La ubicación geográfica de Ecuador permite que la implementación de sistemas fotovoltaicos sea una solución viable para disminuir el consumo de electricidad proveniente de fuentes convencionales y contrarrestar los efectos del cambio climático [15].

Los cortes de energía en entornos educativos impactan negativamente en proceso de enseñanza-aprendizaje ya que limitan el uso de TIC como proyectores, computadoras y sistemas de iluminación de uso habitual para el desarrollo de las actividades académicas, según cifras del MINEDUC, existen 2 439 508 estudiantes en el régimen Costa-Galápagos y 1 763 290 estudiantes en el régimen Sierra-Amazonia [16], además el sector universitario cuenta con 670 373 estudiantes [17], cada uno de ellos fueron afectados por los cortes prolongados de energía eléctrica, cambiaron sus horarios habituales de clases, redujeron el uso de TIC para el aprendizaje y experimentaron la necesidad de adaptarse a este nuevo entorno educativo. Ante esta situación, se plantea la necesidad de implementar un sistema fotovoltaico autónomo que garantice el suministro energético de las actividades académicas y mantenga dos horas de autonomía con ausencia de radiación solar.

La investigación desarrollada se puede convertir en una herramienta de ayuda para solucionar los problemas de cortes de energía en el ámbito educativo y a la vez proporcionar elementos prácticos para la enseñanza en las diferentes áreas y niveles de aprendizaje. Esto asegura a mediano y largo plazo un suministro energético estable mejorando la continuidad educativa y además brindará datos valiosos a futuras investigaciones que favorezcan la implementación de nuevas soluciones energéticas.

Por tal motivo, la investigación describe la implementación de un sistema fotovoltaico con seguidor solar, que se basa en el Trabajo de Integración Curricular desarrollado por los autores en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,

titulado *Construcción de un sistema de energía fotovoltaica con seguidor de luz solar para el laboratorio de Tribología de la Facultad de Mecánica* [18], el diseño incorpora un Sistema de Generación Distribuido Autónomo (SGDA), que está compuesto por paneles solares, un inversor, un banco de baterías y un regulador de carga, junto con un Sistema de Transferencia Automática (STA) que trabaja en modo manual o automático según sea requerido. El seguidor solar optimiza la captación de radiación solar diaria lo que permite aumentar la producción energética y extiende el tiempo de autonomía [19].

2. Materiales y Métodos

Se inició con el análisis del consumo energético requerido por los equipos básicos de un laboratorio académico. Posteriormente se estudiaron los diferentes tipos de Sistemas de Generación Distribuida Autónoma (SGDA) existentes y las normativas nacionales aplicables a esta investigación, se seleccionó la modalidad la de la normativa ARCERNNR-008/23 que menciona *El SGDA y el consumidor regulado están ubicados en un mismo inmueble. En esta modalidad, el SGDA puede o no inyectar excedentes de energía eléctrica a la red de distribución.* [20]. Por otra parte, con ayuda del software PVGIS se identificaron los niveles de irradiación solar en la zona de estudio, con estos datos se planteó la concepción general del sistema, se dimensionaron y seleccionaron sus componentes. Se procedió con la instalación, la validación estadística del sistema e impacto ambiental. Finalmente, se realizó un análisis económico y comparativo del SGDA implementado con un sistema comercial. Este análisis permitió determinar la viabilidad de la propuesta y establecer las conclusiones respectivas. A continuación, se detallan cada uno de los pasos:

Estudio teórico y análisis de la zona

Los sistemas de generación solar fotovoltaica aprovechan la Irradiación Global Horizontal (GHI) a través del efecto fotoeléctrico [21]. El rendimiento y la eficiencia de estos sistemas están influenciados por factores como la cantidad de radiación solar de la zona, la eficiencia, potencia e inclinación de los paneles solares y del inversor [22].

Los sistemas fotovoltaicos presentan ventajas sobre la generación convencional de energía [23], entre estas se destaca:

- **Fiabilidad:** La resistencia a diferentes condiciones ambientales y de funcionamiento, lo que reduce la probabilidad de fallas con altos costos.
- **Durabilidad:** Los paneles solares presentan en promedio, una vida útil de 25 años, mientras que el resto de las componentes presentan una durabilidad prolongada de 10 a 15 años en función de la operación y mantenimiento adecuado.
- **Mantenimiento:** Son de bajo costo debido a que los SGDA requieren inspecciones y mantenimientos ocasionales.

Existen tres tipos de sistemas de generación fotovoltaica en función de sus características, híbridos, los conectados a la red y no conectados a la red o aislados [21]. Este último

permite independencia del sistema energético nacional y es adecuado para implementar sistemas de baja generación requerido por el sector educativo.

Para dimensionar el SGDA, es necesario conocer las Horas Solar Pico (HSP) y la GHI de la zona a implementar. La HSP mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de sol, su constante es de 1 kW/m² que equivale a 3,6 MJ/ m² [24].

La ubicación geográfica de Ecuador permite tener un Índice de Radiación Global Horizontal (GHI) estable durante todo el año [25], la radiación solar promedio oscila entre 4,5 a 5,5 kWh/ m²/día [14]. Las ciudades de la sierra ecuatoriana están situadas a una altitud elevada y poseen mejores niveles de radiación solar, debido a su menor espesor atmosférico y baja presencia de nubes [26]. El país posee provincias con alto potencial para la implementación de sistemas fotovoltaicos, entre ellas las zonas del altiplano al sur de Riobamba y las circundantes al nevado Chimborazo [27].

Un estudio validado mediante el modelo matemático Bristow-Campbell (BC) para la ciudad de Riobamba estima que el GHI promedio anual es de 5 265 kWh/ m² /día [28], valor que se encuentra dentro del rango recomendado. Por ello, el SGDA de prueba fue implementado en un laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, utilizando datos solares obtenidos del software PVGIS [21]. En la Tabla 1, se muestra la información de irradiación solar en Riobamba, considerando la irradiancia solar global con ángulo óptimo registrada en la ESPOCH durante el año 2023.

Tabla 1: Irradiancia en Riobamba (PVGIS).

Mes	Irradiancia (kWh)
Enero	5,65
Febrero	5,24
Marzo	4,9
Abril	4,52
Mayo	4,5
Junio	4,28
Julio	4,56
Agosto	4,77
Septiembre	4,96
Octubre	5,60
Noviembre	5,84
Diciembre	5,53

Fuente: Tomado del software PVGIS.

En la Tabla 1 se observa, que el mes de noviembre muestra una irradiancia solar máxima de (5,84 kWh), mientras que junio es el mes con irradiancia mínima de (4,28 kWh), esta última será considerada para el dimensionamiento del SGDA.

Demanda energética de un laboratorio académico

Del análisis de la zona se determinó que un laboratorio académico requiere cubrir una demanda energética, capaz de alimentar al sistema de iluminación, un equipo de cómputo, un dispositivo de proyección y un sistema biométrico, con un suministro constante durante dos horas cuando se presenten cortes del servicio eléctrico. El consumo energético de los equipos básicos se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2: Consumo energético de los equipos básicos durante 2 horas.

Cantidad	Equipos	Potencia Total requerida (W)	Consumo diario (h)	Consumo teórico total a las 2 horas clase (Wh)
1	Proyector	280	2h	560
1	Computador de escritorio	480	2h	960
18	Sistema de iluminación	324	2h	648
1	Sistema de seguridad biométrico	24	2h	48
	TOTAL	1108W		2216 Wh
	TOTAL, CON FS 1,25	-		2770 Wh

En la Tabla 2 se puede observar que se incorpora un factor de seguridad (FS) de 1,25 basado en la Normativa Ecuatoriana de Construcción NEC-11 Capítulo 14 Energías Renovables [29].

Concepción general de la arquitectura del sistema fotovoltaico

La Figura 1 presenta la concepción general del sistema solar fotovoltaico propuesto, el cual está estructurado en cinco etapas fundamentales que son:

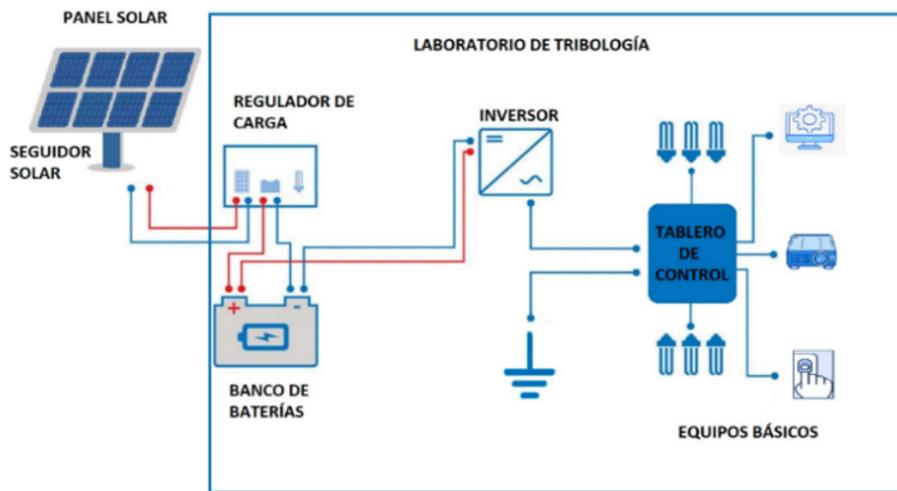


Figura 1. Concepción general del sistema fotovoltaico.

1. Captación de la energía. – Esta conformada por paneles fotovoltaicos que convierten la radiación solar en corriente continua (CC) y el sistema seguidor solar que es el encargado de mejorar el ángulo de captación de la radiación solar.
2. Control de energía. – Se encarga de regular el flujo de corriente de los paneles solares hacia las baterías asegurando una carga óptima, protegiéndolas contra sobrecargas y descargas profundas.
3. Almacenamiento de energía. – Es la encargada de almacenar la energía generada y está conformada por un banco de baterías en paralelo, las cuales suministran energía a los equipos básicos del laboratorio cuando se presentan cortes del servicio eléctrico.
4. Acondicionamiento de la energía. – Se encarga de transformar la corriente suministrada por el banco de baterías que es de 12 V en CC y transformarla en 110 V en AC para entregarla al tablero de control.
5. Monitoreo y control. – Distribuye la energía suministrada por el inversor hacia los equipos del laboratorio mediante un tablero de control con circuito lógico de contactores, incorpora protecciones eléctricas y un sistema de puesta a tierra que estará conectada a la red de tierra del edificio.

Dimensionamiento y selección de equipos del sistema fotovoltaico

Los equipos del sistema fotovoltaico se dimensionaron aplicando 11 fórmulas, obteniendo los siguientes resultados:

Cálculo de consumo diario (Lmd):

$$L_{md} = \frac{L_{md,DC} + \frac{L_{md,AC}}{n_{inv}}}{n_{bat} * n_{com}} \tag{1}$$

Donde:

- L_{Dc} = Consumo medio diario de equipos DC.
- L_{AC} = Consumo medio diario de equipos AC.
- n_{inv} = Rendimiento del inversor.
- n_{com} = Rendimiento de los conductores.
- n_{bat} = Rendimiento de la batería.

Se determinó el consumo diario requerido para el laboratorio por medio de los equipos AC y DC presentes en el mismo, utilizando la Ecuación 1 se obtiene un resultado de 2 655 802 Wh.

1. Módulos fotovoltaicos: Se componen por celdas fotovoltaicas, que se encargan de convertir la radiación solar en energía eléctrica. De los cuales se clasifican en monocristalinos y policristalinos [30].

Cálculo del número de paneles:

Con el valor obtenido anteriormente del consumo diario, se calculó el número de paneles necesarios para cumplir con la demanda requerida, tomando en consideración las horas solares pico y utilizando la Ecuación 2.

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} * HPS_{crit} * PR} \quad (2)$$

Donde:

L_{mdcrit} = Consumo medio diario mensual en el mes crítico, obtenido de la Tabla 2.

P_{MPP} = Potencia pico del módulo fotovoltaico bajo condiciones estándar de medida (STC).

HPS_{crit} = Horas solar pico correspondiente al mes crítico, obtenido de la Tabla 1.

PR = Factor global de funcionamiento varía entre (0,65 y 0,90). Se utilizó el 0,90 por defecto.

De su aplicación se obtuvo 1,64, que se aproxima a 2. En base a esto se adquirió dos paneles solares de la marca LONGI modelo LR5-54HPH-420M.

Cálculo de conexión para los paneles (serie y paralelo):

La conexión en serie y en paralelo se calculó con voltajes del panel solar seleccionado. Para esto, se aplicó las Ecuación 3 (conexión en serie) y Ecuación 4 (conexión en paralelo).

$$N_{Serie} = \frac{V_{Bat}}{V_{MOD.MPP}} \quad (3)$$

$$N_{Paralelo} = \frac{N_T}{N_{Serie}} \quad (4)$$

Donde:

V_{Bat} = Voltaje de batería.

$V_{MOD.MPP}$ = voltaje máximo generado por el panel solar.

De su aplicación se obtuvo que se requiere 1 conexión tanto en serie como en paralelo.

2. Baterías: Encargadas de almacenar la energía generada por los módulos fotovoltaicos para usarla en ausencia de energía eléctrica [31].

3. Tipos de conexiones de baterías: Existen dos tipos de conexiones que se realizan entre baterías las cuales se clasifican en serie y paralelo [32].

Cálculo de baterías:

Para su dimensionamiento se consideró la profundidad de descarga diaria y estacionaria. Entre los resultados obtenidos, se seleccionó el valor más alto para garantizar la confiabilidad.

Descarga diaria (C_{nd}):

$$C_{nd}(Wh) = \frac{L_{md}}{P_{Dmax.d} * F_{CT}} \quad (5)$$

$$C_{nd}(Ah) = \frac{C_{nd}(Wh)}{V_{Bat}} \quad (6)$$

Descarga estacionaria (C_{ne}):

$$C_{ne}(Wh) = \frac{L_{md} * N}{P_{Dmax.e} * F_{CT}} \quad (7)$$

$$C_{ne}(Ah) = \frac{C_{nd}(Wh)}{V_{Bat}} \quad (8)$$

Donde:

$P_{Dmax.e}$ = Profundidad de Descarga Máxima Estacional (70 %).

$P_{Dmax.d}$ = Profundidad de Descarga Máxima Diaria (15 %).

N = Número de días de Autonomía.

L_{md} = Consumo medios diarios.

F_{CT} = Factor de corrección en caso de pérdidas del sistema.

V_{Bat} = Voltaje de la batería.

Descarga diaria: El sistema se diseñó considerando una descarga diaria máxima del 30 % de su capacidad total para preservar la vida útil de la batería. La Ecuación 5 determinó una capacidad de 3 794 Wh, se realizó una conversión de unidades con la Ecuación 6 dando un resultado de 400 Ah, para facilitar su búsqueda en el mercado.

Descarga estacionaria: Con la Ecuación 7 se determinó una capacidad de 2 124 641 Wh y con la Ecuación 8 se obtuvo 200Ah.

Los cálculos determinaron que el SGDA requiere 1 batería de 400 Ah, al no disponer de este modelo en el mercado nacional, se trabajó con dos baterías de 200 Ah de la marca QP modelo AO-GFM200 conectadas en paralelo.

4. Regulador de carga: regula el flujo de energía generado por los módulos fotovoltaicos y controla que no se generen sobrecargas o descargas profundas que afecten a la vida útil de las baterías [33]. En el mercado se comercializan dos tipos de reguladores de carga, los PWM (*Pulse Width Modulation* por sus siglas en inglés) y MPPT (*Maximum Power Point Tracker* por sus siglas en inglés) [34].

Cálculo de regulador:

Para dimensionar el regulador se consideró:

a) Corriente de entrada:

$$I_{entrada} = 1,25 * I_{MOD.SC} * N_p \quad (9)$$

Donde:

$I_{MOD.SC}$ = Corriente unitaria del módulo fotovoltaico en cortocircuito.

N_p = Número de conexiones en paralelo.

1,25 = Factor de seguridad (sobredimensionamiento para evitar daños en el regulador).

b) Corriente de salida:

$$I_{saida} = \frac{1,25 * (P_{DC} + \frac{P_{AC}}{ninv})}{V_{Bat}} \quad (10)$$

Donde:

P_{DC} = Potencia de las cargas en CC.

P_{AC} = Potencia de las cargas en CA.

$ninv$ = rendimiento del inversor (90-95 %).

Se realiza el cálculo en función de la corriente de entrada y salida en la que debe trabajar el equipo, por medio de la ecuación 9 se obtuvo una corriente de entrada de 30 A y con la ecuación 10 una corriente de salida de 120 A.

En base a los resultados se seleccionó el regulador de carga de la marca TEMANK modelo BSC6048-60A.

5. Inversor de corriente: Es utilizado para transformar la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA), con el fin

de que el voltaje suministrado por el SGDA sea igual a la red eléctrica convencional, lo inversores existentes en el mercado pueden ser analógicos o digitales [35].

Cálculo del inversor:

El cálculo se basó en la ecuación 11, considerando el consumo durante una hora de clase a esto se lo multiplicó por un factor de seguridad de 1,25.

$$P_{inv} = 1,25 * P_{AC} \tag{11}$$

De esto se obtuvo 3.000 W de potencia, se adquirió el inversor digital de la marca POWER INVERTER modelo 3000W.

6 Materiales para la estructura de soporte: generalmente son de aluminio o acero protegido contra la corrosión mediante tratamiento de galvanizado o zincado [36].

7. Seguidor solar: Es un dispositivo que sigue la trayectoria del sol para captar de manera perpendicular su radiación [37]. Se realizó un estudio comparativo entre un prototipo de seguidor solar desarrollado e implementado y un modelo comercial, se determinó que este último es el adecuado para el uso en esta investigación, debido a que cuenta con una tarjeta específica para su desarrollo, su diseño es aprobado por el fabricante, presenta resistencia al medio ambiente por ser de acero galvanizado, su voltaje de funcionamiento es menor, no requiere tiempo adicional para su implementación y en costos representa un ahorro del 75 %, seleccionando el seguidor de doble eje de la marca Eco Worthy.

Normativa ecuatoriana para instalaciones eléctricas

Para la selección de conductores se consideró la Normativa Ecuatoriana de Construcción de Instalaciones Eléctricas (NEC-SB-IE) [38], que establece lo siguiente:

- 1. Conductores:** Según la norma NEC-SB-IE, en su literal 5.2, indica que: *en circuitos de iluminación, se debe usar conductor de cobre aislado tipo THHN con una sección mínima de 2,5 mm2 (14 AWG) para la fase, el neutro y conductor de tierra, para tomacorrientes en el literal 5.3, recomienda utilizar el conductor de cobre*

aislado tipo THHN con una sección mínima de 4 mm2 (12 AWG) para la fase y el neutro [38].

- 2. Elementos de protección:** Según la norma NEC-SB-IE, en su literal 7, indica que *se recomienda el uso de equipos de protección contra sobrecargas de corriente y cortocircuitos, deben ser interruptores termomagnéticos automáticos fabricados bajo la Norma IEC 60898-1, que cumplan con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 091* [38].
- 3. Centros de distribución de carga (Tableros):** Los centros de distribución de carga o tableros deben cumplir los siguientes criterios: el tablero de distribución debe ubicarse en un lugar seco y de fácil acceso, para que los operarios realicen labores de reconexión o mantenimiento. En el lado interior de la puerta de los tableros se debe colocar el diagrama unifilar con el listado de los circuitos protegidos cada uno por interruptores. Cada circuito debe contar con su respectivo dispositivo de protección contra sobre corriente. La altura de instalación debe ser a 1,60 metros desde el nivel del piso a la base del tablero y este debe tener barra de neutro (aislada) y barra de tierra [38].
- 4. Elementos adicionales:** Según la norma NEC-SB-IE, en su literal 10.2 indica que: *las tuberías para instalaciones de circuitos eléctricos pueden ser de tres tipos: Tubería PVC Tipo 1 Liviano, en tuberías de polietileno flexible de alta resistencia mecánica (tubería negra) y en la tubería metálica tipo EMT, ya sea rígida o flexible de acero galvanizado* [38].

Circuitos de conexión para el sistema fotovoltaico y el sistema de transferencia automática

El SGDA implementado cuenta con dos esquemas de conexión los cuales son:

Circuito eléctrico del Sistema de Transferencia Automática (STA). – Se encarga de transferir la conexión entre la red eléctrica y el sistema fotovoltaico de manera automática, cuando exista corte en el suministro de energía eléctrica. En la Figura 2 se presenta el diagrama unifilar del circuito.

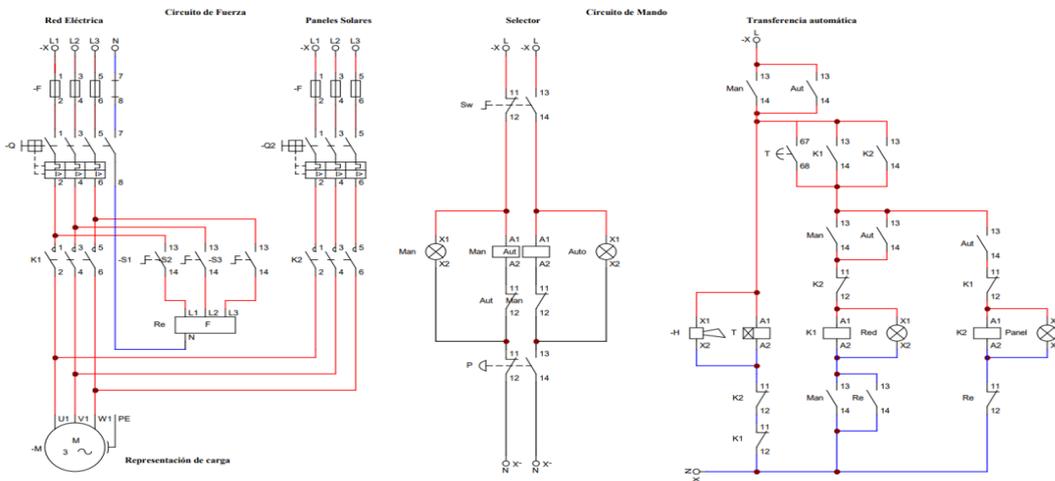


Figura 2. Circuito de transferencia automática red eléctrica - SGDA.

Circuito de conexión del SGDA. - presenta el esquema de conexión de los diferentes equipos que componen el sistema fotovoltaico. En la Figura 3 se puede observar el diagrama de conexión.

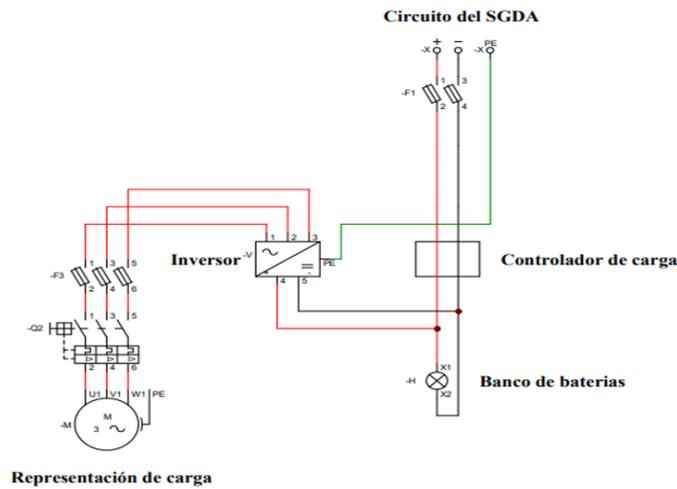


Figura 3. Circuito de generación del SGDA.

3. Resultados y Discusión

En esta etapa se hace una validación del funcionamiento del SGDA implementado que consta de 5 pruebas. Se detallan los procedimientos de las pruebas y se analiza los resultados:

Prueba de autonomía del sistema en un día parcialmente nublado

El sistema fue sometido a una prueba de descarga agresiva en

un día parcialmente nublado con una irradiancia de 4,5 kWh, hasta que se presente la descarga total del sistema (11.5 V). Operó al 100 % de carga, con el máximo consumo energético requerido (2.770 W) y se recopilaron datos cada 10 minutos. Para el análisis se aplicó el Control Estadístico de Procesos (SPC), que permitió monitorear la estabilidad y variabilidad del sistema [39], en la Figura 4 se presenta los resultados obtenidos:

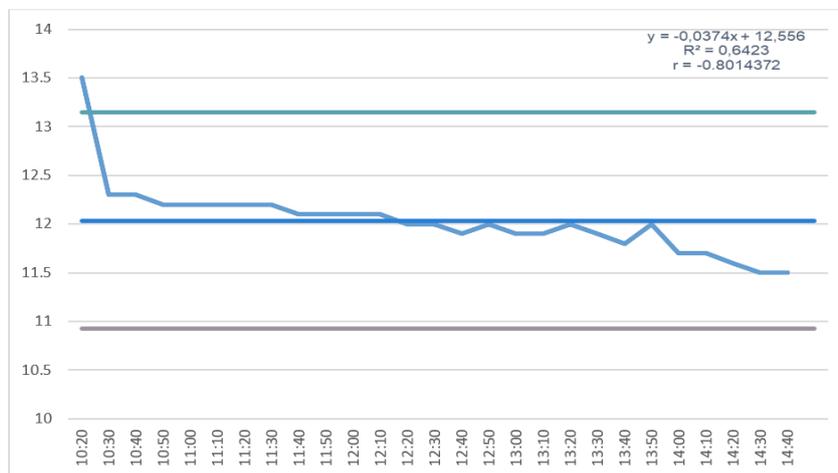


Figura 4. Gráfica de voltaje vs tiempo.

De la Figura 4 se concluye que existe una correlación negativa moderada en la descarga del sistema, con un R^2 de 64 % y una r de -80 %, lo que indica a mayor tiempo de uso menor será la autonomía. La prueba demostró que el sistema es fiable, alcanzando una autonomía de 4 horas y 20 minutos, hasta que el regulador de carga mostró el código E11-E01, señalando que el sistema llegó al límite de descarga máxima. El tiempo obtenido representa un 108,33 % más de la autonomía establecida al inicio de la investigación.

Evaluación de la autonomía del sistema en horario nocturno.

El sistema fue evaluado en operación continua con una irradiancia de 0 simulada por medio de la desconexión de los paneles solares y con todas las cargas del laboratorio activas. Se recopilaron datos cada 10 minutos durante 2 horas. Se aplicó el Control Estadístico de Procesos (SPC) para monitorear estabilidad y variabilidad del sistema [39]. La prueba confirmó que el sistema mantiene su autonomía sin fallos en este intervalo de tiempo. A continuación, se presenta la Figura 5 en el que demuestra los resultados estadísticos de la prueba:

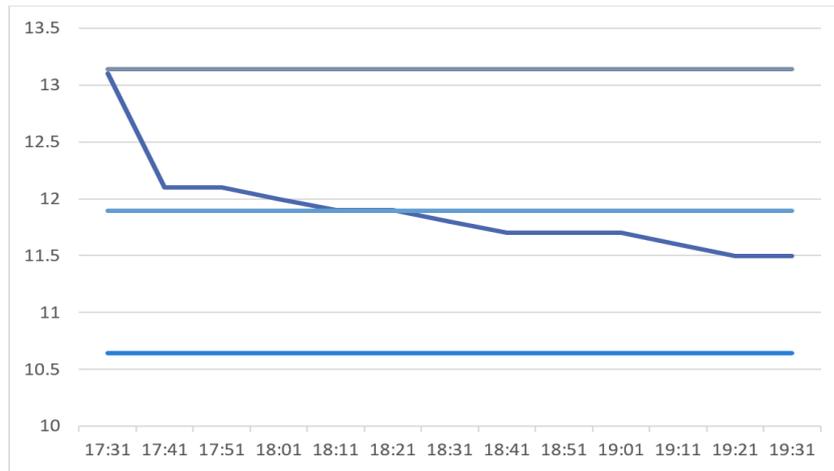


Figura 5. Gráfica del tiempo de autonomía del SGDA desconectado de los paneles solares.

En la Figura 5 se evidencia la descarga progresiva del sistema durante las dos horas de funcionamiento al ser desconectado de los paneles solares, tiempo en el cual alcanza la descarga máxima de (11.5 V) permitida por el regulador de carga, lo que evidencia la fiabilidad del sistema en el tiempo de funcionamiento autónomo para el cual fue desarrollado.

El sistema fue evaluado desde la mañana con una irradiancia de 5,54 kWh manteniendo el Sistema de Transferencia Automática en operación continua hasta completar la carga de las baterías. Se recopilaron datos cada 10 minutos para analizar estabilidad y variabilidad mediante Control Estadístico de Procesos (SPC) [39]. La prueba confirmó que el sistema se carga sin fallos ni fugas de energía, cumpliendo con los requerimientos establecidos. En la Figura 6 se presenta los resultados estadísticos de la prueba:

Prueba del tiempo de carga del SGDA

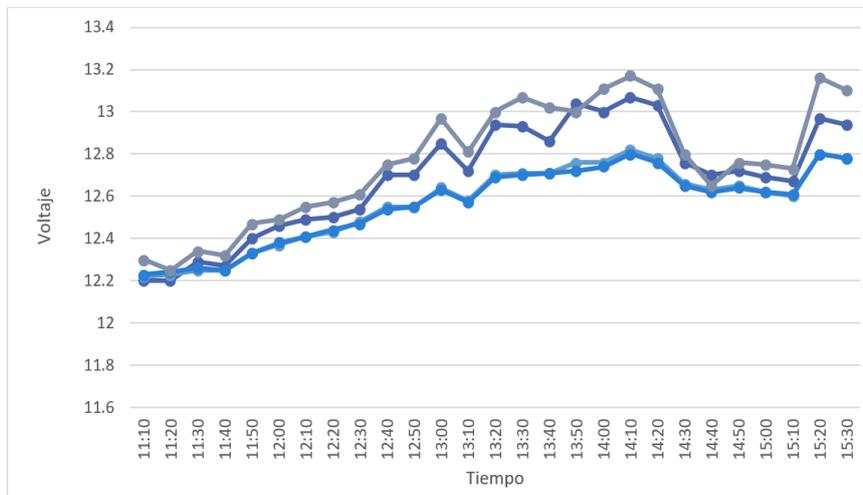


Figura 6. Gráfica de la carga de las baterías en un día soleado.

En la Figura 6 se muestra el comportamiento de carga del banco de baterías en un día soleado, el SGDA implementado requiere de 4 horas y 20 minutos para llegar al punto máximo de carga. Se estima que en el mes de menor radiación solar en la zona (4.28 kWh Tabla 2) alcanzaría la carga máxima en 4 horas y 28 minutos. Los resultados de la prueba confirman que el sistema es fiable y cumple con los requerimientos establecidos en la investigación.

Prueba de fiabilidad a corto plazo

Se aplicó un análisis estadístico de procesos (SPC) para analizar la estabilidad del sistema [39], además del análisis estadístico ANOVA para identificar variaciones

significativas [40], con la finalidad de validar su desempeño y fiabilidad operativa.

Se monitoreo el voltaje, la corriente y la potencia durante un periodo de 4 horas en intervalos de 10 minutos cada uno. El análisis realizado mediante el control estadístico de procesos (SPC) confirmó que el SGDA implementado posee un comportamiento estable y sin anomalías. Por otra parte, el análisis ANOVA evidenció diferencias significativas en los datos obtenidos, con un valor P extremadamente bajo (5.15E-189), validando la coherencia de las mediciones. Durante los tres días de pruebas, el SGDA no evidenció fallos u otras anomalías, lo que demuestra que el sistema es fiable y robusto en condiciones operativas normales.

Análisis económico

La implementación del SGDA tuvo un costo total de \$2 000 USD, donde las baterías representaron el 40 % de la inversión, los paneles solares el 24 % y el seguidor solar el 20 %. En la Tabla 3 se presenta la comparativa con un sistema comercial, el SGDA construido ofrece mayores prestaciones, como transferencia automática y seguidor solar, con un ahorro del 48,57 %. Su funcionamiento fue validado mediante pruebas demostrativas y aprobado por los tutores del proyecto y el docente del laboratorio.

Tabla 3: Comparativa entre el SGDA construido VS un SGDA comercial.

Características	SGDA construido	SGDA comercial
Transferencia automática	Si	No
Seguidor solar	Si	No
Soporte para los paneles solares	Si	No
Total, de la potencia de los paneles solares	840W	900W
Capacidad de la batería implementada	2X200Ah	4X100Ah
Inversor	Si	Si
Regulador	Si	No
Costo	\$2 000	\$3 889

La investigación desarrollada puede convertirse en un referente a aplicar en las diferentes regiones del Ecuador, específicamente en zonas donde el acceso a la energía eléctrica es limitado. Se propone una solución efectiva de generación autónoma de energía eléctrica, sustentada en una base técnica sólida y una preselección adecuada de los equipos que conforman el SGDA, considerando normativas y estándares nacionales como las ARCERNNR-008/23 y ARCERNNR-001/21, facilitando su implementación y adaptación en diferentes contextos tanto educativos como geográficos. Los equipos del SGDA fueron seleccionados según el caso de estudio, pero pueden optimizarse implementando mejores tecnologías como reguladores de carga de tipo MPPT, baterías de litio, o un inversor híbrido, dependiendo del dimensionamiento y presupuesto. En este estudio, la inclinación de los paneles solares no se considera, debido a que, el seguidor de luz solar se encarga de corregir automáticamente la inclinación para mejorar la captación de irradiación solar a lo largo del día.

4. Conclusiones

- Se construyó un sistema fotovoltaico con seguidor solar comercial para el laboratorio el que dispone de un Sistema de Transferencia Automática (STA), que permite su operación en modo manual o automático, según los requerimientos del usuario. El sistema contiene dos baterías de gel de ciclo profundo de 12V-200Ah c/u, con una vida útil del 200 % superior a las baterías AGM y las de Plomo Acido. El levantamiento de carga del laboratorio arrojó un

valor de 2.770W y una autonomía de dos horas clase, con base en estos resultados, se especificaron los requerimientos que deben cumplir el Sistema de Transferencia Automática (STA) y el Sistema de Generación Distribuido Autónomo (SGDA).

- Se diseñaron los planos eléctricos correspondientes, incluyendo los circuitos de fuerza y control tanto para el STA como para el SGDA. En las pruebas, el SGDA demostró una autonomía de 4 horas y 20 min de funcionamiento continuo en un día con alta irradiación hasta que el controlador presentó el código E11, indicando que se alcanzó el límite máximo de descarga. La prueba demostró que el sistema supera en un 108,33 % el tiempo establecido al inicio de la investigación.
- El SGDA operó de manera confiable con un banco de baterías al 50 % de su capacidad, proporcionado 2 horas de autonomía en la noche sin conexión a los paneles solares. Con una carga completa al 100 %, el sistema podría alcanzar hasta 4 horas antes de llegar al límite de descarga de 11,5 V, validando su capacidad para cumplir con los requisitos.
- De las pruebas se demostró una reducción del 26,43 % en el tiempo de carga de las baterías al aumentar la irradiación solar a 5,54 KWh, llegando a la carga máxima en un tiempo de 4 horas y 20 minutos, esto demuestra que el SGDA implementado presenta eficiencia en condiciones óptimas de irradiación. La prueba de control de procesos demostró que el SGDA implementado es fiable, ya que mantiene valores de voltaje, corriente y potencia dentro de los límites de control. El análisis ANOVA confirmó la coherencia de los resultados ya que presentó un valor p de 5,15e-189, que es menor que el nivel de significancia de 0,05.
- En comparación con un sistema comercial similar, el SGDA construido ofrece mejores prestaciones en cuanto al sistema de transferencia automática, el seguidor solar y el soporte de paneles, además de generar un ahorro del 48,57 % en costos. Como elementos de respaldo se desarrolló un manual de operación y mantenimiento para ambos sistemas, detallando paso a paso el proceso de manejo y las frecuencias recomendadas para el mantenimiento.

Financiamiento:

El financiamiento del proyecto de grado del cual se basa el artículo fue asumido por los autores. No obstante, se agradece a la Escuela Superior politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Mecánica y la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial que facilitaron el acceso a los laboratorios para realizar las instalaciones y pruebas necesarias que permitieron desarrollar y validar la investigación.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no tener conflicto de intereses en esta investigación.

Contribución de autor/es:

Bajo los lineamientos CRediT (Taxonomía de Roles de Contribuyente), los autores dan fe de las siguientes contribuciones al trabajo de investigación: Daniel Guerra

y Jorge Bodero contribuyeron con: La visualización, redacción del borrador original, validación, supervisión, administración del proyecto, implementación, recursos y materiales, análisis de datos, curación de datos, metodología y conceptualización. Fausto Caicedo colaboró con: La revisión y edición del manuscrito, supervisión y conducción de la investigación. Joseph Guerra participó en: La revisión y edición del manuscrito, validación, supervisión, metodología y conceptualización.

5. Referencias

1. NACIONES UNIDAS. Energías renovables: Energías para un futuro más seguro. *NACIONES UNIDAS* [online]. [s.f.]. Disponible en: <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>.
2. LARREA MALDONADO, CARLOS. Transición energética y crisis en el Ecuador. *Repositorio digital, Universidad Andina Simon Bolivar* [online]. 2024. Disponible en: [https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/10341/1/Larrea % 20C - CON - 041 - Transici % C3 % B3nEnerg % C3 % A9ticaEcuador.pdf](https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/10341/1/Larrea%20C-CON-041-Transici%C3%B3nEnerg%C3%A9ticaEcuador.pdf).
3. ARIDI RIMA, ARIDI MONA, PANNIER MARIE-LISE, LEMENAND THIERRY. Eco-environmental, and social impacts of producing electricity with various renewable energy sources. *Revista Energy* [online]. 2025, vol. 320, págs. 1-10. ISSN 0360-5442. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135139>.
4. QIN P., WANG J., XU Y A., HUSSAIN S. China's green energy growth: Economic policies, environmental economics, and strategies for resilience in the global economy. *Revista Energy* [online]. 2024, vol. 54, págs. 1-17. ISSN 2211-467X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101475>.
5. BAMISILE O., ACEN C., CAI D., HUANG Q. Y STAFFELL I. The environmental factors affecting solar photovoltaic output. *Revista Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2025, vol. 208, págs. 1-20. ISSN 1364-0321. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115073>.
6. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Global Energy Review. *INTERNATIONAL ENERGY AGENCY* [online]. 2025. Disponible en: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5b169aa1-bc88-4c96-b828-aaa50406ba80/GlobalEnergyReview2025.pdf>.
7. AYALNEH GIRUM, TEFAYE ABREHAM, SETARGE YEDILFANA, ERMIA NATEI, ABRHAM GEBREHIWET Y ASHU RENATO. Opportunities and Challenges of Renewable Energy Production in Ethiopia. *Revista Sustainability* [online]. 2021, vol. 13, n.º 18, págs. 1-2. ISSN 10381. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su131810381>.
8. CHAMORRO JASON Y MERA ERICK. Estudio de la crisis energética en el Ecuador por la dependencia en la generación de energía hidráulica. *Revista Journal Ingeniar, Ingeniería, Tecnología e Investigación* [online]. 2025, vol. 8, n.º 15, págs. 168-186. ISSN 2737-6249. Disponible en: <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/286>.
9. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Ecuador consolida la producción eléctrica a partir de fuentes renovables. *MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS* [online]. 2021. Disponible en: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/ecuador-consolida-la-produccion-electrica-a-partir-de-fuentes-renovables/#:~:text=Bajo%20este%20precepto%2C%20es%20importante,%2C%20geotermia%2C%20entre%20otras>.
10. PÉREZ VICENTE, PÁEZ BETO, JÁTIVA JOSÉ ANTONIO, GALLEGOS JOSÉ DANIEL, PAREDES ANTOHONY, ESCOBAR EDUARDO, EGAS SERGIO. La crisis del sector eléctrico vino para quedarse. *USFQ Colegio de Economía* [online]. 2024, vol. 108, págs. 1-25. Disponible en: <https://www.usfq.edu.ec/es/revistas/koyuntura/koyuntura-108>.
11. NOVAES MEJDALANI ALEXANDRE. MENDES E COSTA ROBERTA, HALLACK MICHELLE. Luz para la educación rural: más energía para reducir el abandono escolar. *BID* [online]. 2019. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/energia/es/una-luz-para-la-educacion-rural-mas-energia/>.
12. BARRAGÁN ANTONIO, JARA DARWIN, ROMERO ISRAEL, ZALAMEA ESTEBAN, SERRANO XAVIER. Barriers to renewable energy expansion: Ecuador as a case study. *Revista Energy Strategy Reviews* [online]. 2022, vol. 43, págs. 1-14. ISSN 2211-467X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100903>.
13. MINISTERIO DE EDUCACIÓN. El Ministerio de Educación implementa medidas para reforzar el aprendizaje durante la emergencia energética. *MINISTERIO DE EDUCACIÓN* [online]. 2024. Disponible en: <https://educacion.gob.ec/el-ministerio-de-educacion-implementa-medidas-para-reforzar-el-aprendizaje-durante-la-emergencia-energetica/>.

14. BEDÓN MERA DARÍO ALEJANDRO, BALBI SUAREZ GABRIEL ANTONIO, OROZCO SALTOS OSAÍAS YAREL, MANTILLA MOROCHO DANIEL ANDRÉS. Energía solar como alternativa a los problemas energéticos del Ecuador. *Revista Juventud y Ciencia Solidaria* [online]. 2025, vol. 18, págs. 64-68. ISSN 2737-6265. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29990>.
15. INCA YAJAMÍN GABRIEL SEBASTIÁN, CABRERA CARRIÓN DANIEL FERNANDO, VILLALTA GUALÁN DALTON FABIÁN, BAUTISTA ZURITA RODRIGO CRISTOBAL, CABRERA CARRION HERNAN DAVID. Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas. *Revista Ciencia Latina* [online]. 2023, vol. 7, n.º 3, págs. 1-17. ISSN 2707-2207. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6835.
16. MINISTERIO DE EDUCACIÓN. Estadística Educativa. *MINISTERIO DE EDUCACIÓN* [online]. 2024, vol. 5. ISBN 978-9942-662-45-3. Disponible en: <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/10/Estadistica-Educativa-Vol-5.pdf>.
17. VARGAS CASTRO KARINA, ROJAS CEBALLOS VIVIAN COROMOTO, SAONA LOZANO ROSARIO VALERIA, PINOS MEDRANO VIVIANA FABIOLA. Análisis de los factores que influyen en la educación inclusiva en Ecuador. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado* [online]. 2024, vol. 27, n.º 1, págs. 61-73. Disponible en: <https://doi.org/10.6018/reifop.580821>.
18. BODERO JORGE, GUERRA DANIEL. Construcción de un sistema de energía fotovoltaica con seguidor de luz solar para el laboratorio de tribología de la Facultad de Mecánica. *Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo* [online]. 2024, vol. 27, n.º 1, págs. 61-73. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/22974>.
19. KUMBA KRISHNA, UPENDER PATRI, BUDUMA PARUSHARAMULU, SAKAR MITHU, P.SIMON SISHAJ, GUNDU VENKATESWARLU. Solar tracking systems: Advancements, challenges, and future directions: A review. *Revista Energy Reports* [online]. 2024, vol. 12, págs. 3566-3583. ISBN 2352-4847. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.09.038>.
20. REGULACIONES. Marco normativo de la generación distribuida para el autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica. *Regulaciones 2023* [online]. 2023. Disponible en: <https://arconel.gob.ec/regulaciones-2023/>.
21. GUERRA-CHÁVEZ J. Propuesta de una planta fotovoltaica de 824,86 MW en Manabí, Ecuador. *Revista CTU* [online]. 2022, vol. 9, n.º 1, págs. 85-100. ISBN 1390-7638. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.26423/rctu.v9i1.640>.
22. MATEUS OSORIO SERGIO HERNÁN, MELO ACOSTA NELSON ALEJANDRO. Implementación de un sistema solar fotovoltaico para la planta agroindustrial agronaime. *Tesis de grado, Universidad Autónoma de Bucaramanga* [online]. 2022. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12749/21310>.
23. TIXILIMA CUSIN ELVIS ANDRES. Impacto de los recubrimientos nanotecnológicos en el rendimiento de los paneles fotovoltaicos. *Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte* [online]. 2024. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/15669/2/04%20MEL%20227%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>.
24. GUERRERO CALERO JUAN MANUEL, ARTEAGA ZAMBRANO MELANY JOHANNA. Diseño de un sistema fotovoltaico para la casa de la universidad estatal del sur de Manabí. *Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí* [online]. 2024. Disponible en: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6179>.
25. TAPIA MARIELA, HEINEMANN DETLEV, BALLARI DANIELA, ZONDERVAN EDWIN. Spatio-temporal characterization of long-term solar resource using spatial functional data analysis: Understanding the variability and complementarity of global horizontal irradiance in Ecuador. *Revista Renewable Energy* [online]. 2022, vol. 189, págs. 1176-1193. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.049>.
26. VACA REVELO DIEGO, ORDÓÑEZ FREDDY. Mapa Solar del Ecuador 2019. *ingenieria verde* [online]. 2019. Disponible en: https://www.ingenieriaverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf.
27. NÚÑEZ NÚÑEZ MANUEL ORLANDO, SALAZAR MOLINA CARLOS MANUEL. Diseño y construcción de un sistema eficiente de alimentación solar, mediante acumuladores de energía, para un vehículo eléctrico. *Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi*

- [online]. 2014. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1886/1/T-UTC-1776.pdf>.
28. LÓPEZ PÉREZ VERÓNICA PAULINA, HERRERA PEREZ VÍCTOR ISAAC, MARCATOMA TIXI JESSICA, RAMOS ARAUJO CRISTINA. Validación del modelo Bristow-Campbell como método de estimación de la radiación solar en Riobamba con fines de generación fotovoltaica. *Revista Polo del conocimiento* [online]. 2023, vol. 8, n.º 5, págs. 1-23. ISBN 2550-682X. Disponible en: <https://doi.org/10.23857/pc.v8i5>.
 29. NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN. Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de construcción. *NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN* [online]. 2011. Disponible en: <https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/nec2011-cap-14-energ3adas-renovables-021412.pdf>.
 30. CARBAJAL CANO JONATHAN KEVIN, MARÍN RUIZ EDWIN ERICK. Análisis comparativo del efecto del nivel de radiación solar en la eficiencia de un módulo fotovoltaico. *Tesis de grado, Universidad César Vallejo* [online]. 2023. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/128242>.
 31. DÁVALOS LAVERDE JAIRO ALONSO, AMAYA HERNÁNDEZ EDWIN ARMANDO. Diseño y estudio técnico-económico de prototipo de paneles solares para sustituir los sistemas convencionales de iluminación en vallas publicitarias. *Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas* [online]. 2023. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/33291>.
 32. VICTRON ENERGY. Cableado sin limites. *VICTRON ENERGY* [online]. 2024, págs. 1-74. Disponible en: https://www.victronenergy.com.es/upload/documents/The_Wiring_Unlimited_book/43562-Wiring_Unlimited-pdf-es.pdf.
 33. SANTANA MENDOZA NADIA, VILLEDA CRUZ JOSÉ, JESÚS DOMINGUEZ DANIEL, CORTES ORTIZ ADRIÁN. Celdas Solares. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río* [online]. 2024, vol. 11, n.º 21, págs. 44-46. ISBN 2007-7629. Disponible en: <https://doi.org/10.29057/estr.v11i21.11650>.
 34. GUTIÉRREZ SEPÚLVEDA TRINIDAD SOFÍA. Análisis comparativo entre inversores y microinversores para la generación de energía solar fotovoltaica. *Tesis de postgrado, Universitat de Barcelona* [online]. 2022. Disponible en: https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/194049/1/TFM_Trinidad%20Guti%c3%a9rrez.pdf.
 35. SORIANO MANRESA CARLOS. Proyecto de una instalación solar fotovoltaica de 1 mwp en la campaneta (orihuela, alicante) para vertido a red y generación y almacenamiento de hidrógeno. *Tesis de tgrado, Universitat Politècnica de València* [online]. 2023. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/198386>.
 36. INNOVACION Y CUALIFICACION, S. L. Montaje mecánico de instalaciones solares fotovoltaicas. *ENAE0108. IC Editorial* [online]. 2023. Disponible en: <https://elibro.net/es/1c/epoch/titulos/253134>.
 37. VIDAL VIDAL ALVEAR. Diseño de una estructura solar fotovoltaica en altura (tracker). *Tesis de tgrado, Universitat Politècnica de València* [online]. 2023. Disponible en: <https://riunet.upv.es/entities/publication/e476f510-c200-4542-abd9-965b429703f6>.
 38. NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN. Instalaciones Eléctricas. *NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN* [online]. 2018. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SB-Instalaciones-Elctricas.pdf>.
 39. LIGÑA CUMBAL CRISTIAN HERIBERTO. Control Estadístico de Procesos. *Editorial Deming, Quito* [online]. 2024, vol. 1, n.º 1, pág. 68. Disponible en: <https://biblioteca.deming.edu.ec/items/1ec41558-292e-4a94-bc60-444fd267d455/full>.
 40. REVERTER F. Análisis de la varianza (ANOVA). *Barcelona. Universitat Oberta de Catalunya* [online]. 2020. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10609/151790>.



Artículo de **libre acceso** bajo los términos de una **Licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual 4.0 Internacional**. Se permite que otros remezcLen, adapten y construyan a partir de su obra sin fines comerciales, siempre y cuando se otorgue la oportuna autoría y además licencien sus nuevas creaciones bajo los mismos términos.