



Rendimiento energético de un sistema fotovoltaico autónomo con seguidor solar bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas

Performance of an autonomous photovoltaic system with solar tracker under the climatic conditions of Chachapoyas

Mariños López Mas^{1*}, Manuel Oliva-Cruz², Wildor Gosgot Angeles², Fernando Isaac Espinoza Canaza³

RESUMEN

La energía del sol es la más abundante, sostenible, renovable y libre de costo. Las celdas solares fotovoltaicas convierten la luz del sol directamente en electricidad por efecto fotoeléctrico. Para captar la radiación solar se utilizan paneles solares, estos pueden ser fijos o acoplados sobre seguidores solares, teniendo en cuenta que la potencia y orientación de la radiación solar varía según los factores y condiciones climáticas del lugar. Se diseñó y construyó un sistema de seguimiento solar que con la adhesión de un sensor solar es fácil de seguir la trayectoria del sol, donde se logra incrementar su eficiencia en la captación de energía solar. Por lo que, al acoplar un prototipo de seguidor al panel solar a un panel solar de 275 Wp, la energía generada en un día con irradiancia mayor al 4 kWh/m² genera en un rango de 01 a 1.65 kW día, siendo mayor al sistema fotovoltaico estático. Se evaluó la eficiencia del sistema fotovoltaico con seguidor solar y estático en términos energéticos, y se compararon los resultados tomando como grupo control al sistema estático. La energía generada fue de 61.67% más respecto al sistema fotovoltaico fijo, con 1.5% de gasto energético para el funcionamiento. Por lo que el sistema con seguimiento solar es más eficiente en rendimiento energético.

Palabras clave: energía fotovoltaica, energía solar, seguidor solar, seguimiento en un eje.

ABSTRACT

The sun's energy is the most abundant, sustainable, renewable and free of cost. Photovoltaic solar cells convert sunlight directly into electricity by the photoelectric effect. To capture solar radiation, solar panels are used, these can be fixed or attached to solar trackers, taking into account that the power and orientation of solar radiation varies according to the factors and climatic conditions of the place. A solar tracking system was designed and built that, with the adhesion of a solar sensor, is easy to follow the path of the sun, where it is possible to increase its efficiency in capturing solar energy. Therefore, when coupling a solar panel tracker prototype to a 275 Wp solar panel, the energy generated in a day with irradiance greater than 4 kWh/m² generates in a range of 01 to 1.65 kW day, being greater than the system. static photovoltaic. The efficiency of the photovoltaic system with solar and static tracker was evaluated in energy terms, and the results were compared taking the static system as a control group. The energy generated was 61.67% more compared to the fixed photovoltaic system, with 1.5% energy expenditure for operation. So the system with solar tracking is more efficient in energy performance.

Keywords: photovoltaic energy, solar energy, solar tracker, one-axis tracking.

¹Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Escuela de Post Grado, Chachapoyas, Perú

²Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Chachapoyas, Perú

* Autor de correspondencia. E-mail: marinos.lopez.epg@untrm.pe

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el desafío ambiental más importante es reducir el uso de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural, así como la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera (GES). En particular, la generación de electricidad y calor representa una cuarta parte de las emisiones globales de GEI; al mismo tiempo, el pronóstico de las Naciones Unidas muestra un aumento significativo en el crecimiento de la población mundial, así como una tasa de consumo per cápita relacionada al consumo energético (De La Gala Contreras, 2018).

Debido a ello, la generación de energía fotovoltaica es significativa en gran parte de las regiones del mundo y se espera que se fortalezca su crecimiento exponencial, desempeñando un papel importante en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible establecidos por las autoridades locales, gobiernos nacionales y acuerdos internacionales para cumplir con las reducciones de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) (Obeidat, 2018). En consecuencia, investigadores y la industria de la energía fotovoltaica están buscando incesantemente tecnologías que pueden reducir los costos y aumentar la eficiencia de las celdas fotovoltaicas (Green, 2016).

Existen diversas tecnologías fotovoltaicas, que cada día aumentan el rendimiento de conversión de los rayos solares en electricidad, siendo aún más sofisticadas en relación a los materiales utilizados y los sistemas de monitoreo (Peinado *et al.*, 2020); conllevando, a mejorar la arquitectura de la celda FV; lo cual ha permitido el desarrollo de tecnologías fotovoltaicas de primera, segunda y tercera generación. Las tecnologías de primera generación se basan en silicio monocristalino y multicristalino (c-Si), las tecnologías de segunda generación consisten en tecnologías de película delgada como silicio amorfo (a-Si), película delgada de silicio de múltiples uniones (a-Si / μ c-Si), telururo de cadmio (CdTe), (di) seleniuro de cobre e indio / (di) sulfuro (CIS) y (di) seleniuro / (di) sulfuro de cobre, indio, galio (CIGS) y por último las tecnologías de tercera generación incluyen concentradores

fotovoltaicos, orgánicos entre otros (Alaeddin *et al.*, 2019).

De ahí que, el monitoreo y la evaluación del desempeño energético, económico y ambiental de los sistemas fotovoltaicos se han convertido en una tarea crucial, el cual depende del recurso solar junto con una tecnología fotovoltaica adecuada, la calidad del equilibrio de los componentes del sistema y los diseños adecuados; depende las horas que el sol incida sobre el panel solar, así como va depender de cada módulo que fueron instalados, la inclinación, orientación, la radiación solar que incide, la eficacia de la instalación y la potencia nominal (Mulcué-Nieto y Mora-López, 2014).

Según Tracker y Study (2020), en un estudio que analiza la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, utilizando un seguidor solar de un solo eje realizado en el centro de Vietnam, demostraron que existe una gran diferencia en el tiempo de lectura es por la mañana y por la tarde, pero al mediodía la energía generada por los dos sistemas es muy similar. Por ejemplo, en un día soleado la energía máxima generada por la emisión fotovoltaica con el seguidor solar es de 1732Wh y el consumo de energía promedio del actuador lineal y el controlador es de 35Wh y la eficiencia del sistema fotovoltaico se mejora hasta en un 30,3% en condiciones climáticas soleadas y un 15,2% en climas moderados, para un sistema de un solo eje utilizando un seguidor solar. Por tal razón, la presente investigación se ha planteado como objetivo la evaluación del rendimiento de un sistema fotovoltaico autónomo de 275 Wp con seguidor solar de bajo costo bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas, con la finalidad de impulsar la transición energética.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación de la unidad de estudio.

La investigación se ejecutó en la ciudad de Chachapoyas, en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - Amazonas, de acuerdo a la siguiente coordenada 6°13'46"S 77°52'21"O. Se encuentra a 2.4 Km de la ciudad de Chachapoyas, con temperatura promedio de 18 °C, Humedad relativa de 86 %, altitud 2341

m.s.n.m. (Figura S1). Los sistemas fotovoltaicos estudiados fueron instalados en la azotea del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES – CES).

Unidad de estudio

En la investigación realizada se estudió dos tipos de sistemas fotovoltaicos, estático y con seguimiento solar, como se muestra a continuación Figura S2, cuyas características se detallan a continuación.

Sistema fotovoltaico estático

El módulo sistema fotovoltaico estático está conformado: un panel solar policristalino de 275Wp cuyas especificaciones técnicas se detallan en la Tabla S1, un controlador de carga marca Sun Saver MPPT (Washington, Estados Unidos); inversor marca Gama AJ modelo AJ 275-12 y una batería de marca RITAR (Shenzhen, China) modelo RA12-100DG (12 V) encargada de almacenar toda la energía eléctrica generada por el panel solar 12v. Para la investigación se recolecto los datos exclusivamente del panel solar debido a que es el generador de la energía, mientras que el controlador y la batería se utilizó para el funcionamiento del sistema de recolección de datos.

Sistema fotovoltaico con seguidor solar:

El módulo del sistema fotovoltaico con seguidor solar, está conformado por un panel de 275 Wp con las mismas especificaciones de la Tabla S1; un controlador; un inversor; una batería de 12v; un actuador lineal y un sensor de seguimiento solar. Para la investigación se recolectó los datos exclusivamente del panel solar, debido a que es el generador de la energía; mientras que el controlador y la batería se utilizó para el funcionamiento del sistema de recolección de datos, mientras que el sensor de seguimiento solar juntamente con el actuador lineal para el accionamiento del sistema fotovoltaico.

Montaje de las unidades de estudio

Montaje del sistema fotovoltaico estático

Primero se diseñó por medio del Software de modelado en 3D-SketchUp y se realizó la simulación de la estructura para darle mayor precisión y funcionalidad en su operatividad, tal como se puede visualizar en la

siguiente Figura S3, se muestra el sistema con todos los componentes que conforman el sistema fotovoltaico estático.

Montaje de sistema con seguidor solar

Tal como se realizó el diseño para el sistema estático, se aplicó el mismo procedimiento para el diseño y construcción del sistema con seguimiento solar, con la diferencia que lleva un sistema de giro de este a oeste para el acoplamiento del sensor solar tal como se muestra en la siguiente en la Figura S4.

La estructura de soporte principal del panel solar cuenta con un mecanismo de giro de plano horizontal en dirección de este - oeste y viceversa. El mecanismo está compuesto por una barra de acero 1018 PTR 50.8 mm de 1.20 m de largo, fijado al centro de la estructura con adhesión a una chumaceras y rodajes.

El sistema con seguidor solar, para su accionamiento se ha instalado un actuador línea de marca Eco worthy y modelo PA-14-1-150. El actuador lineal es un dispositivo mecánico un tornillo sin fin que trabaja convirtiendo el movimiento rotatorio del motor en movimiento de tracción, empuje lineal o recto.

Después de implementar los elementos descritos anteriormente se procedió a incorporar el módulo de seguimiento solar (Figura S5), para emitir las señales de movimiento en acorde a la traslación del sol. El sensor de seguimiento solar utilizado es de modelo MK III de un solo eje, funciona con corriente continua de 12 VCC con un margen de error de +/-20 %, además, utiliza un puente electrónico (H-Bridge) que impulsa el motor en cualquier dirección, es decir, en sentido horario/antihorario, izquierda/derecha o arriba/abajo según la ubicación del sol.

Instalación del seguidor solar y del actuador lineal

El mecanismo de seguimiento solar es accionado por el actuador lineal que es controlado por el sensor solar. El sensor solar se ubicó en la parte superior del panel solar, fijado en el extremo superior tal como se muestra en la siguiente Figura S6.

Rendimiento de un sistema fotovoltaico con seguidor solar con un sistema convencional.

Para la evaluación del rendimiento del sistema foto-

voltaico se recolecto variables eléctricas y ambientales las cuales son: voltaje, amperaje, temperatura y radiación solar respectivamente. Para ello se ha empleado un sistema de adquisición de datos desarrollado por Carhuavilca *et al.*, (2021), este sistema transmite los datos a un software programado LABVIEW para su visualización y almacenamiento. La recolección de datos se llevó en el periodo de enero a marzo de 2022, desde 6:00 a 19:00 horas.

Cálculo de rendimiento de los sistemas evaluados.

Para el cálculo del rendimiento de ambos sistemas evaluados, del registro de datos de corriente (A) y voltaje (V), se procedió a calcular en simultaneo la potencia tal como lo aplico el autor (López *et al.*, 2018), con la siguiente formula.

$$P = VI$$

Donde:

P= Potencia eléctrica (W)

V= Voltaje (V)

I= Corriente Eléctrica (A)

Para determinar la eficiencia energética se utilizó la formula incluida en la norma internacional ISO 50001 sobre sistemas de gestión de la energía, publicada en agosto de 2018 por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO, 2018).

$$\text{Resultado energetico} = \frac{\text{Resultado}}{\text{Entrada total de energia} * \text{Irradiación}}$$

Donde:

Resultado = Potencia generada por el panel fotovoltaico (W)

Entrada total de energía = Potencia máxima del panel fotovoltaico (W)

III. RESULTADOS

Instalación de los sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos, estático y con seguimiento solar fueron instalados en la azotea del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva de la Universidad Nacional Toribio Rodrí-

guez de Mendoza, para su puesta en funcionamiento se realizó la prueba del sensor solar en la transferencia de señal al actuador lineal para el accionamiento del sistema, seguidamente se procede a ubicar en paralelo a ambos sistemas en orientación de sur a norte de tal manera que ambos tengan la misma cantidad de incidencia de radiación solar, mismos eventos climatológicos y además libres de sombra.

El sistema fotovoltaico con seguidor solar por su diseño trabajó como barrera a la trayectoria del viento, por tal razón se ha fijado en la plataforma para evitar su remoción por la fuerza del viento tal como se muestra en la siguiente Figura S7.

Rendimiento de los sistemas fotovoltaicos

Evaluación de un día

La Figura S8, muestra la evaluación del día 01 de enero de 2022, tomando como resultado inicial la evaluación del comportamiento de la potencia de cada sistema, donde se visualiza que el sistema fotovoltaico con seguidor solar toma gran ventaja en la generación de electricidad frente al sistema fotovoltaico estático, en la cual se observa que desde el punto 1.7 kWh a 2.50 kWh el sistema con seguimiento adquiere una potencia constante frente al sistema estático.

Mientras que en la siguiente Figura S9, se muestra que el sistema fotovoltaico con seguidor solar durante el día de evaluación adquiere un 56 % de eficiencia sobre el sistema fotovoltaico estático; generando 1.39 kWh de energía eléctrica frente al sistema estático con un 0.89 kWh.

Evaluación por mes del comportamiento de los sistemas fotovoltaicos

En la Figura S10, muestra la generación de energía entre el periodo enero a marzo, en la cual se observa que el sistema fotovoltaico con seguidor solar genera mayor electricidad frente al sistema fotovoltaico estático. Así mismo el comportamiento frente a la irradiancia solar, se evidencia que la potencia generada de los sistemas fotovoltaicos tiene una relación directa con la variación de la irradiancia, donde el sistema con seguimiento solar es más pronunciado.

De esta manera mediante la Figura S11, se muestra que

el mes de febrero tiene un resultado más bajo de 37.74 kWh de energía eléctrica y un 23.20 kWh el estático, con una presencia de irradiancia de 159.65 kWh/m²; así mismo el mes con mayor potencia es el mes de enero, con un 43.03 kWh de energía eléctrica y un 26.82 kWh, con una irradiancia de 207.51 kWh/m².

En ese sentido de acuerdo a la Figura S12, se muestra el resultado de tres meses de evaluación, mostrando la comparación de la potencia generada en ambos sistemas mediante el rendimiento porcentual, donde el sistema con seguimiento solar tiene una potencia acumulada de 123.10 kWh de generación de energía eléctrica y un 76.18 kWh el sistema estático, lo que implica que el sistema con seguimiento solar en un 61.67% es más eficiente.

IV. DISCUSIÓN

En las últimas décadas, los sistemas de seguimiento solar fijos o estáticos tienen gran utilidad, pero en la actualidad, con el adelanto tecnológico e innovación, la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos se está incrementando con la utilización de los sistemas de seguimiento solar de un solo eje y de dos ejes que ayudan en el posicionamiento del panel solar en la trayectoria del sol de acuerdo con la estación y hora del día (Hara *et al.*, 2021). Los sistemas de seguimiento solar es un aparato tecnológico que cumple una función en aumentar la producción de energía de los sistemas fotovoltaicos (Pelayo *et al.*, 2018), dando un mejor rendimiento en la producción de energía eléctrica por la incidencia de los rayos solares sobre los paneles fotovoltaicos.

Por tal razón en la presente investigación se construyó una infraestructura metálica para un sistema fotovoltaico con seguimiento solar de bajo costo, se ha utilizado materiales e insumos que son accesibles en la nuestra comunidad, siendo la mayoría con excepción de la tarjeta de toma de datos, actuador lineal y sensor de seguimiento solar que son parte del análisis, esta decisión fue en respuesta a la poca accesibilidad a estos equipos a utilizar que hubieran elevado el costo de construcción, pero minimizo enormemente la mano de

obra así como el tiempo que tomo la construcción de la infraestructura del panel fotovoltaico.

Según López *et al.*, (2018) en su investigación propuso una estructura metálica que soporta al sistema fotovoltaico con seguidor solar que fue construido en material tubular de metal, con ángulos de metal y perfil tubular rectangular; ayudando de esta manera a la firmeza de la estructura; así mismo Contreras, (2018) en la ciudad de Tacna desarrollo una infraestructura mecánica con accesorios y materiales propios de la zona de investigación, del mismo modo en la presente investigación se utilizó materiales propios de la zona, con la diferencia de los soportes tanto al sistema de control de movimiento como al de transmisión fueron construidos en acero inoxidable más liviano, para su fácil maniobra.

Instalado el sistema fotovoltaico con seguidor solar se procedió a realizar la comparación del rendimiento frente al sistema fotovoltaico estático, tal como Liu *et al.*, (2021) realiza la comparación en su investigación; en esta etapa se evidenció que la radiación solar ha desempeñado un factor fundamental para la demostración de la eficiencia de ambos sistemas fotovoltaicos, y de acuerdo a lo indicado en su investigación Arreola G. y Quevedo, (2015) la intensidad de la radiación solar, la orientación de cada sistema fotovoltaico y ángulo de inclinación, así como los tipos de módulos fotovoltaicos e inversor, son factores que influyeron en la eficiencia de cada sistema fotovoltaico.

Por lo que la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos con seguidor solar es mucho mayor que el sistema estático, resultado similar a lo adquirido por Barbosa de Melo, (2022) en su investigación donde logra demostrar en su evaluación de sistemas fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos una ganancia considerable en la generación de energía eléctrica; a su vez se observa cómo alcanza valores elevados con rapidez frente al sistema estático. Por lo que en esta investigación se logra un 61.67% de eficiencia del sistema con seguidor solar en un panel de 275 Wp policristalino, generando una alternativa a la rentabilidad energética a través de los sistemas fotovoltaicos.

En la actualidad contar con la disponibilidad de un

servicio de alumbrado dentro del domicilio en las zonas rurales es difícil por lo disperso de los domicilios y altos costos que acarrea el cableado, por tal razón una de las opciones convencionales más inmediatas es la adquisición de un generador eléctricos a diésel o gasoleros que generan niveles muy significativos de contaminantes que tienen efectos irreversibles y negativos tanto a la humanidad como al medio ambiente (Fadlallah, 2021). Mediante esta investigación se muestra que la opción de contar con un sistema amigable al medio ambiente y sencillo de instalar se puede obtener energía constante y económico con los sistemas fotovoltaicos (Rebolledo *et al.*, 2022); sin embargo, se tiene que tener en cuenta que, el dispositivo de mayor sensibilidad es la batería por lo que se debe tener en cuenta las características y especificaciones técnicas para las cargas máximas que deben soportar, para minimizar las pérdidas económicas al no tener en cuenta las características técnicas.

Finalmente, los resultados obtenidos se puede comparar con otras investigaciones, en Brasil mediante la investigación de Barbosa de Melo *et al.*, (2022) logran obtener un rendimiento del sistema fotovoltaico con seguimiento solar de un 20% teniendo en cuenta las condiciones climáticas e instalación del sistema con un panel solar policristalino, mientras que en el desierto del Sahara mediante la investigación de Khadidja *et al.*, (2014) obtienen un rendimiento de 15% con relación al sistema fijo; así mismo en la ciudad de Tacna De La Gala Contreras, (2018) en su investigación logra una eficiencia de 2.45% en promedio con un panel fotovoltaico policristalino. En presente investigación se logró una eficiencia de 61.67%, siendo superior a las investigaciones anteriores, por la razón que se utilizó una infraestructura más estable y fácil de maniobrar por el sensor solar, así mismo los sistemas fueron sometidos a las condiciones climáticas distintas durante el periodo de evaluación.

V. CONCLUSIONES

El rendimiento del sistema fotovoltaicos con seguidor solar con panel fotovoltaico policristalino de 275 Wp,

logra una eficiencia de 61.67% frente al sistema estático, con una diferencia energética de 46.92 kWh durante el proceso de evaluación incluso en las condiciones más adversas, como días nublados y con presencia de lluvias. Por consiguiente, es la primera investigación realizada en la región Amazonas, cuyos resultados ayuda al cierre de brechas, al acceso de energía y la electrificación rural, conllevando a una mejor calidad de vida de las personas, buscando un desarrollo sustentable y sostenible de los pueblos alejados del sistema de electrificación nacional.

IX. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen por el financiamiento al Proyecto CUI N° 2314875 – “Creación de los Servicios del Centro de Investigación en Climatología y Energías Alternativas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas – PROCICEA”

X. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores participaron en la conceptualización, metodología, investigación, redacción del manuscrito inicial, revisión bibliográfica, y en la revisión y aprobación del manuscrito final.

XI. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alaaeddin, M. H., S. M. Sapuan, M. Y. M. Zuhri E. S. Zainudin, and F. M. AL-Oqla. 2019. "Photovoltaic applications: Status and manufacturing prospects". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102 (6): 318–332. DOI: 10.1016/j.rser.2018.12.026
- Arreola G., R., and A. Quevedo. 2015. "Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6 (8): 1715-1727. DOI: 10.29166/ingenio.v3i2.2722
- Barbosa de Melo, M.K., S. M. Kitayama, L. Souza, T.

- S. Costa, and M. G. Villalva. 2022. "Study of energy improvement with the insertion of bifacial modules and solar trackers in photovoltaic installations in Brazil". *Renewable Energy Focus* 41 (1): 179-187. DOI: 10.1016/J.REF.2022.02.005
- Carhuavilca, A. M., L. A. Conde, A. E. Berastain, Montes, J. Romero, W. Gosgot, J. De La Casa Tofflinger, J. A., and M. A. Catao. 2021. "Monitoring system based on IEC standards for irradiance and module temperature measurements in photovoltaic systems". *Journal of Physics: Conference Series* 1841 (1). DOI:10.1088/1742-6596/1841/1/012002
- De La Gala Contreras, A. 2018. *Implementación de un Seguidor Solar para la Evaluación Energética Comparativa de Paneles Fotovoltaicos*. Tesis de Grado. Universidad Jorge Basadre Grohmann. Tacna (Perú).
- Fadlallah, S. 2021. "Determination of the optimal solar photovoltaic (PV) system for Sudan". *Solar energy*. 208 (3):800-813. DOI: 10.1016/j.solener.2020.08.041
- Green, M. A. 2016. "Commercial progress and challenges for photovoltaics". *Nature Energy* 1 (1): 1-4. DOI:10.1038/nenergy.2015.15
- Hara, K., M. Akitomi, G. M. Wilson, M. Al-jassim, S. Lindig, y M. Theristis. 2021. "Monitoring system based on IEC standards for irradiance and module temperature measurements in photovoltaic systems". *Journal of physics: Conference series* 1841 (1): 1-11. DOI: 10.1088/1742-6596/1841/1/012002
- ISO (International Organization for Standardization). 2018. *ISO 50001:2018 Sistemas de gestión de la energía - Requisitos con orientación para su uso*. <https://www.iso.org/standard/69426.html> (Consultada el 9 mayo de 2022)
- Khadidja, B., K. Dris, A. Boubeker, and S. Nouredine. 2014. "Optimisation of a Solar Tracker System for Photovoltaic Power Plants in Saharian region, Example of Ouargla". *Energy Procedia* 50(4): 610-618. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.06.075
- Liu, Z., Y. Zhang, X. Yuan, Y. Liu, J. Xu, S. Zhang, and B. He. 2021. "A comprehensive study of feasibility and applicability of building integrated photovoltaic (BIPV) systems in regions with high solar irradiance". *Journal of Cleaner Production* 307 (1): 127-240. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.127240
- Mulcué, L. F., and L. Mora. 2014. "A new model to predict the energy generated by a photovoltaic system connected to the grid in low latitude countries". *Solar Energy* 107 (1): 423-442. DOI: 10.1016/j.solener.2014.04.030
- Obeidat, F. 2018. "A comprehensive review of future photovoltaic systems". *Solar Energy* 163 (1): 545 - 551. DOI: 10.1016/j.solener.2018.01.050
- Peinado, A., A. Pliego, and F. P. García. 2020. "Survey of maintenance management for photovoltaic power systems". In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 134 (2): 110-347. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110347
- Pelayo, J. A., A. Luna, F. Bernabe, and B. Guzmán. 2018. "Comparativa de la eficiencia entre un sistema fotovoltaico con seguimiento solar y un sistema fotovoltaico fijo / Comparison between a photovoltaic solar tracker efficiency and a fixed photovoltaic system". *CIBA Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias* 7 (13): 105-129. DOI: 10.23913/ciba.v7i13.76
- Rebollo, F., P. Mendoza, G. Carvajal, and G. Ramírez. 2022. "Performance evaluation of different solar modules and mounting structures on an on-grid photovoltaic system in south-central Chile". *Energy for Sustainable Development* 68(4): 65-75. DOI:

10.1016/J.ESD.2022.02.003

Tracker, S. S., and C. Study. 2020. "Grid-Connected Photovoltaic Systems with Single-Axis Sun Tracker: Case Study for Central Vietnam". *Energies* 13 (6): 1 - 14 . DOI: 10.3390/en13061457