

CAPÍTULO 7.

CASO DE UN SISTEMA ALTERNO DE SUMINISTRO ELÉCTRICO MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

John Fisher Navarro Daviran¹
Carlos Abel Galvan Maldonado²
Lucio Quispe Carrión³

¹: Ingeniero Electricista.

 <https://orcid.org/0000-0002-9177-7012>

²: Ingeniero Electrónico.

 <https://orcid.org/0000-0002-6619-7294>

³: Ingeniero Electricista.

 <https://orcid.org/0000-0002-5540-7647>

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar si la radiación solar en la región del Centro de Producción e Investigación Acraquia (Huancavelica-Perú) satisface su propia demanda de energía eléctrica. Para la realización de la investigación se usó una metodología observacional y experimental complementados con técnicas estadísticas para la determinación del ángulo de inclinación y orientación óptima de los paneles solares, además, la selección de las muestras fue a partir de una población de radiación solar. Los resultados demuestran que se puso en servicio un sistema fotovoltaico de 18 paneles solares conformando un total de 1 800 Watts suministrados hacia el Centro de Producción e Investigación Acraquia de la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH). Basado en los resultados, se concluye que la radiación solar anual es de 5.22 kWh/m², el cual, es altamente provechoso para la generación de energía eléctrica. Por otro lado, el ángulo de inclinación óptima de los paneles solares es de 12.25°, con lo que se obtiene una capacidad del sistema fotovoltaico de 1 800 W, a 12 V y 104.58 A, energía más que suficiente para iluminar los ambientes mediante la utilización de bancos de baterías de corriente continua y dotar de un sistema de corriente alterna de 220 V mediante inversores de potencia.

Palabras clave: energía solar, energía renovable, fotovoltaica, suministro eléctrico, panel solar.

INTRODUCCIÓN

Los perjuicios otorgados por el cambio climático y las consecuencias del incremento de los gases de efecto invernadero imponen un cambio de paradigma al consumir y producir energía, en particular para este caso, la energía eléctrica. Por esta razón, es necesario el uso de energías renovables para la producción de electricidad sin necesidad de perjudicar o contaminar al medio ambiente. Las fuentes de energía renovable son en la actualidad fuentes de acceso particularmente racionales, debido a la contaminación del ambiente para la generación de energía. Sin embargo, la utilización de sistemas fotovoltaicos para la generación de energía ha alcanzado un gran desarrollo en los últimos años, esto es, debido a su bajo costo de instalación, mantenimiento y reparación, además de su falta de partes móviles o giratorias que le permiten tener un tiempo de vida prolongado sin realizar ningún impacto global (Jakhongir, 2019; Vargas et al., 2019). Sin embargo, la eficiencia para la conversión de energía solar en eléctrica es aproximadamente 18% al 23%, lo cual resulta en un desaprovechamiento de toda la energía remanente que otorga los rayos solares (Rajesh y Carolin, 2015; Parlak, 2014).

También, el funcionamiento de un panel fotovoltaico está influenciado por la orientación, ángulo de inclinación respecto al ecuador, entre otros factores. Respecto al ángulo, es específico dependiendo del lugar geográfico y posición exacta del sol. La determinación exacta del ángulo de inclinación es una de las variables que maximizan la eficiencia del panel solar (Kurniawan y Shintaku, 2020; Rojas et al., 2016; Paternina et al., 2012)

Por otro lado, cuando la radiación solar es uniforme, la eficiencia del sistema fotovoltaico llega a su máximo mostrando un solo punto de operación (de Brito, 2013). Por lo tanto, se han desarrollado diferentes métodos para maximizar dicha eficiencia, por ejemplo: Jiang et al. (2005) realizó la aplicación de un rastreador dinámico para los aparatos fotovoltaicos, Salas et al. (2006) empleó una tabla de búsqueda en una microcomputadora para rastrear

el punto máximo de energía de los receptores fotovoltaicos; el concepto de perturbar y observar ha sido aplicado para detectar puntos máximos de incisión (Abdelsalam et al., 2011; Killi y Samanta, 2015; Piegari y Rizzo, 2010).

Además, se han realizado otros estudios donde se da a conocer que los sistemas fotovoltaicos presentan una ventaja técnica respecto a otros sistemas de captación y distribución de energía, esto es debido al tiempo de vida útil en el que puede ser utilizado el sistema fotovoltaico, el cual es mucho mayor que otros equipos convencionales. Los datos mostrados en el “Atlas de Energía Solar del Perú” (Terra, 2018) indican una radiación solar promedio por día anual en la sierra, específicamente en Huayao, en el departamento de Junín de 6.0 kWh/m² de energía solar (Cárdenas, 2017).

El presente trabajo se centrará en demostrar que la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar fotovoltaica permite satisfacer las necesidades básicas de electricidad que los pobladores del Centro de Producción en Investigación Acraquia solicitan. Para ello se dimensionó e instaló paneles solares con el objetivo de almacenar la energía en baterías de corriente continua para su posterior distribución.

METODOLOGÍA

Se analizaron la metodología del proceso de investigación, las coordenadas del proyecto, el impacto que genera su ejecución, así como la recolección de datos y procesamiento de los mismos para el Centro de Producción e Investigación Acraquia de la Facultad de Ciencias de Ingeniería de la UNH.

Localización

El presente proyecto se desarrolló en el Centro de Producción e Investigación Acraquia de la Facultad de Ciencias de Ingeniería de la UNH, ubicado en el

anexo de Pamuri, distrito de Acraquia, provincia de Tayacaja y departamento de Huancavelica. Sus Coordenadas geográficas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. *Espacio geográfico de la Investigación*

Lugar	Centro de Producción e Investigación Acraquia de la Facultad de Ciencias de Ingeniería- UNH
Ubicación	Pamuri- Acraquia- Tayacaja- Huancavelica
Coordenadas	Latitud: -12.3985 (12° 23' 54,6")
	Longitud: -74.9041 (74° 54' 15,01")
Altura respecto al nivel del mar	3 322.20 m.s.n.m.

Método y muestreo

Se empleó un método observacional y experimental complementando con un análisis estadístico para la recolección y evaluación de datos. Además, respecto a los paneles solares, estos han sido fijados y afianzados en una superficie plana con rotación angular y axial variable.

Respecto a la muestra, esta se ha seleccionado a partir de una población de radiación solar. Asimismo, dicha muestra fue tomada de los datos otorgados por la página web de recursos de energía renovable por la NASA (Centro de datos de ciencia atmosférica) patrocinado por la NASA, los datos de radiación solar corresponden al año 2012 en un intervalo diario, mensual, trimestral, semestral y anual. Estos datos incluyen estimaciones climatológicas promediadas a largo plazo de cantidades y flujos de energía solar superficial a través de sistemas satelitales. Se ha demostrado en trabajos anteriores, que dichos productos basados en modelos satelitales son lo suficientemente precisos para proporcionar datos confiables de recursos solares y meteorológicos

(Lucano & Fuentes M., 2010; Pfeifroth et al., 2018; Pinker et al., 2005; Roberto Righini & Hugo Grossi Gallegos, 2000; Sayago et al., 2016; Urraca et al., 2017).

RESULTADOS

Para el estudio se consideró toda la población obtenida del sitio web de la NASA (los datos de entrada fueron el lugar geográfico del centro de Producción e Investigación), el cual fue alrededor de 1080 lecturas de datos registrados (ver Tabla 2). Los datos obtenidos fueron del año 2012, periodo de inicio de pruebas e instalaciones de paneles solares.

Tabla 2. Radiación solar en kWh/m² registrada durante el periodo 01/01/2012 – 02/02/2012

Día	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SET	OCT	NOV	DIC
1	6,03	5,33	4,69	5,76	3,86	5,22	5,25	5,14	5,95	5,95	5,96	5,02
2	6,92	3,86	5,26		5,15	4,90	5,65	6,15	5,85	6,88	5,86	5,73
3	6,24	5,07	5,20	4,45	5,78	5,29	5,21	6,09	4,73	5,84	3,74	6,42
4	6,58	3,86	4,92	4,91	5,37	4,33	4,74	6,12	4,68	6,10	4,76	4,39
5	3,82	4,94	4,56	4,86	4,87	4,32	4,61	4,94	5,47	5,31	5,09	4,17
6	5,61	4,86	5,29	6,20	4,87	4,69	4,29	6,53	5,71	6,39	5,40	5,29
7	4,36	4,21	4,64	5,51	6,04	4,16	3,73	6,53	7,12	5,68	5,35	3,41

8	4,59	4,93	4,35	4,36	3,48	4,56	3,38	6,69	5,89	4,53	5,80	5,03
9	6,47	5,43	4,39	4,98	5,66	3,36	4,44	6,55	3,40	7,07	6,09	5,37
10	7,09	5,06	4,43	3,99	5,88	5,22	5,88	6,64	5,55	6,47	6,66	4,99
11	6,92	3,39	4,96	4,01	5,17	5,08	5,96	6,50	7,02	4,65	5,24	5,22
12	5,25	5,05	5,43	4,14	4,73	5,67	6,06	6,45	6,69	4,93	4,16	3,56
13	6,22	4,28	5,68	5,14	5,45	5,72	5,83	5,56	4,47	6,38	6,42	3,99
14	6,30	6,26	4,13	4,54	5,73	4,73	5,91	5,85	3,94	7,13	4,99	4,78
15	5,79	4,45	4,67	4,94	5,56	5,51	5,76	6,08	6,10	6,53	4,91	4,01
16	6,29	4,37	4,86	5,09	4,67	5,55	5,69	5,54	6,39	6,81	3,11	4,41
17	5,13	5,34	6,05	3,09	4,68	5,11	5,38	6,24	5,26	4,11	4,39	4,93
18	5,94	4,30	4,51	4,51	4,61	5,29	4,99	4,96	5,98	5,53	5,49	4,46
19	3,97	5,04	4,63	5,14	4,57	5,03	6,01	5,45	6,66	6,33	6,65	5,66
20	4,24	3,14	5,20	5,17	5,17	5,02	6,20	6,10	6,00	5,96	6,33	4,45
21	5,49	6,84	5,84	5,48	4,66	5,33	6,19	5,63		6,19	5,91	4,14
22	6,37	3,56	5,54	4,64	4,32	5,23	6,17	4,76	6,01	6,04	6,97	3,56
23	6,42	5,31	4,52	4,28	3,53	4,54	6,03	5,94	3,92	6,21	7,12	6,06
24	6,69	4,68	5,11	5,02	4,94	3,28	5,94	5,49	6,35	4,01	4,86	5,29
25	2,25	6,08	3,37	4,91	5,58	5,22	5,97	2,49	5,51	5,04	5,37	4,89
26	4,59	4,19	4,70	5,67	5,82	4,85	5,31	4,29	4,27	5,41	4,66	6,41
27	5,46	3,46	4,87	5,54	5,95	5,35	5,10	5,06	3,17	7,25	7,54	2,87
28	5,96	4,70	2,56	6,30	5,92	5,12	4,84	4,88	5,31	5,84	6,75	4,07
29	4,54	4,61	4,90	5,31	5,88	5,37	5,13	6,91	3,24	4,94	2,90	3,67
30	5,61		4,60	5,02	5,67	5,71	4,95	6,74	5,57	5,24	5,92	5,74

31	5,83		4,97		4,49		4,71	6,96		6,29		5,82
SUMA	172,97	136,6	148,8	142,9	158,06	148,7	165,31	179,2	156,21	181,0	164,40	147,81
PROM	5,58	4,71	4,80	4,93	5,10	4,96	5,33	5,78	5,39	5,84	5,48	4,77
RAD.												
SOLAR												
ANUAL												5,22
kWh/ m2												

Nota. Datos obtenidos de la NASA POWER PREDICTION OF WORLDWIDE ENERGY

Por otra parte, el ángulo de inclinación y la orientación óptima para conseguir la mayor eficiencia en la captación de la energía solar está basado en el análisis estadístico de la radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de diferentes latitudes. En el caso particular del presente trabajo, la inclinación óptima se extrajo de (Chicaiza, 2016). Para nuestro proyecto obtenemos la inclinación óptima en función de la latitud del lugar (ver ecuación (1)).

$$\beta_{opt}=3.7+0.69\alpha \quad (1)$$

Donde $\alpha = 12.25^\circ$ para nuestro caso.

Con estos datos se puede establecer el ángulo de inclinación de los paneles solares (ver Figura 1).

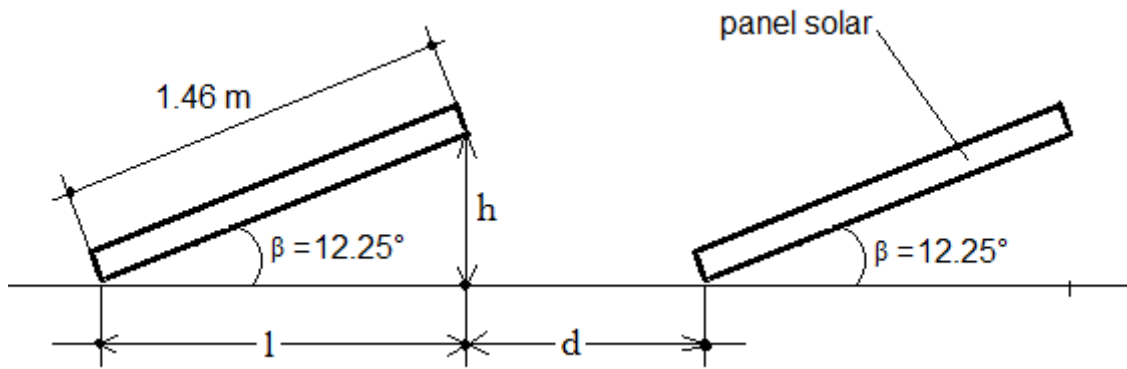


Figura 1. Ángulo de inclinaciones de los paneles solares.

Finalmente, en la Figura 2 se puede observar que se pusieron en servicio un sistema fotovoltaico de 18 paneles solares, lográndose un total de 1 800 Watts de potencia dirigidos al Centro de Producción e Investigación Acraquia, el cual se ha energizado a una red de iluminación con 12 voltios de corriente continua y otra red de tomacorrientes de 220 voltios corriente alterna mediante el uso de inversores de potencia.

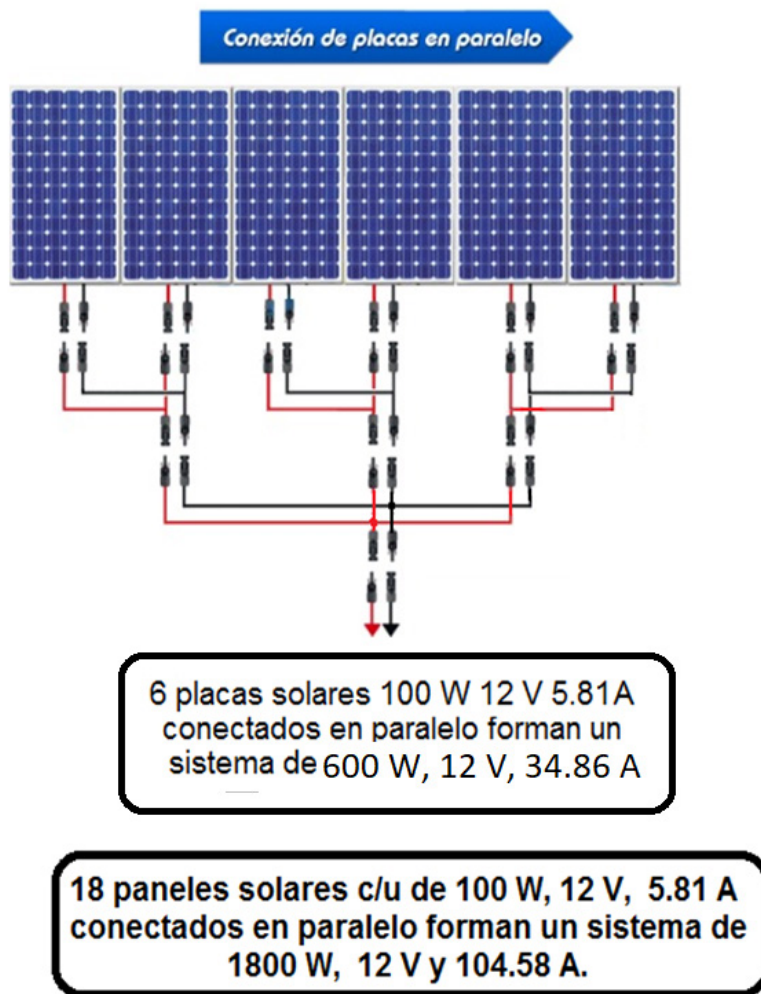


Figura 2. Conexión en paralelo de 18 paneles solares.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que la radiación media anual para la investigación es de 5.22 kWh/m². Este resultado coincide con los datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú propuestos en el proyecto PER/98/G31 “Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú” (MINEM, 2003).

La literatura indica que ajustando unos grados la inclinación de los paneles dos veces al año, se aumentaba la generación de energía fotoeléctrica en un 2.91% y si se realizaba 4 veces por estación, esta aumentaba un 5.5% (Berisha et al., 2018). Sin embargo, investigaciones presentadas en literatura recomiendan instalar paneles solares en una posición fija con un ángulo de inclinación de 45° . Por otro lado, los paneles solares del presente trabajo captan mayor irradiancia cuando se orientan directamente hacia el sol. Para nuestro caso, la inclinación optima fue de 12.25° .

El trabajo fue realizado en el Centro de Producción e Investigación Acraquia, lo cual ha sido una limitante al momento de agilizar el avance del proyecto debido a que se necesitó trasladar todas las herramientas y equipos desde la estación central hacia la estación Acraquia. Además, otra limitante fue la lente logística para el avance del proyecto.

La distribución de la energía eléctrica obtenida a través de los receptores fotovoltaicos se presenta en la Figura 3.



Figura 3. Componentes fotovoltaicos y distribución de energía eléctrica.

CONCLUSIONES

La radiación anual que irradia en Centro de Producción e Investigación es de 5.22 kWh/m², siendo este valor un alto potencial energético solar, el cual, es provechoso para la generación de energía eléctrica.

Los resultados obtenidos reflejan la factibilidad de suministrar energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos hacia el Centro de Producción e Investigación Acraquia de la Facultad de Ingeniería de la UNH y a todo el valle de Pampas, provincia de Tayacaja, departamento de Huancavelica.

Uno de los factores más importantes que pueden afectar la irradiación e insolación son las condiciones atmosféricas, época del año, inclinación de la superficie captadora (arreglo fotovoltaico) (Fernanda & Cota, 2016). En la investigación, la superficie captadora recibió mayor radiación cuando se orienta directamente hacia el sol, esto es debido a que no hubo presencia de obstáculos o sombras como nubes o árboles que perjudiquen la captación de la radiación solar.

REFERENCIAS

Abdelsalam, A. K., Massoud, A. M., Ahmed, S., & Enjeti, P. N. (2011). High-performance adaptive Perturb and observe MPPT technique for photovoltaic-based microgrids. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(4), 1010–1021. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2011.2106221>

Arrieta Paternina, M., Olmos Villalba, L. C., Izquierdo Núñez, J. L., & Álvarez

- López, R. A. (2012). Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares. *Prospect*, 10(1), 97–107. <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/401/373>
- Berisha, X., Zeqiri, A., & Meha, D. (2018). Determining the Optimum Tilt Angles to Maximize the Incident Solar Radiation - Case of Study Pristina. *International Journal of Renewable Energy Development*, 7(2), 123–130. <https://doi.org/10.14710/IJRED.7.2.123-130>
- Bukowski, M., Majewski, J., & Sobolewska, A. (2020). Macroeconomic electric energy production efficiency of photovoltaic panels in single-family homes in Poland. *Energies*, 14(1), 126. <https://doi.org/10.3390/en14010126>
- Chicaiza Catupamba, J. D. (2016). Sistema Fotovoltaico para proveer energía eléctrica al GAD Parroquial de Curaray en la Provincia de Pastaza. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/19362>
- de Brito, M. A. G., Galotto, L., Sampaio, L. P., E Melo, G. D. A., & Canesin, C. A. (2013). Evaluation of the Main MPPT Techniques for Photovoltaic Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(3), 1156–1167. <https://doi.org/10.1109/tie.2012.2198036>
- Fernanda, M., & Cota, J. (2016). Dimensionamiento de parque solar fotovoltaico para instalaciones eléctricas de la empresa HQ FAVLOR. http://repositorio.upsin.edu.mx/formatos/JUAREZ%20MARA_Dimensionado%20FV%20de%20500kW_HQ%20Flavor586.pdf
- Jakhongir Turakul Ugli, T. (2019). The Importance of Alternative Solar Energy Sources and the Advantages and Disadvantages of Using Solar Panels in this Process. *American Journal of Software Engineering and Applications*, 8(1), 32. <https://doi.org/10.11648/j.ajsea.20190801.14>
- Jiang, J. A., Huang, T. L., Hsiao, Y. T., & Chen, C. H. (2005). Maximum power tracking for photovoltaic power systems. *Tamkang Journal of Science and Engineering*, 8(2), 147–153. <https://doi.org/10.1109/IAS.2002.1042685>
- Killi, M., & Samanta, S. (2015). Modified perturb and observe MPPT algorithm for drift avoidance in photovoltaic systems. *IEEE Transactions on Industrial*

- Electronics*, 62(9), 5549–5559. <https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2407854>
- Koskela, J., Rautiainen, A., & Järventausta, P. (2019). Using electrical energy storage in residential buildings – Sizing of battery and photovoltaic panels based on electricity cost optimization. *Applied Energy*, 239, 1175–1189. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.021>
- Kurniawan, A., & Shintaku, E. (2020). Determining the optimal inclination and orientation angles of solar panels installed on ship. *International Journal of Renewable Energy Research*, 10(1), 45–53. <https://doi.org/10.20508/IJRER.V10I1.10210.G7836>
- Lucano, M. J., & Fuentes M., I. van E. (2010). Evaluación del potencial de radiación solar global en el departamento de Cochabamba utilizando modelos de sistemas de información geográfica e imágenes satelitales. *Revista Boliviana de Física*, 17(17), 13–21. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-38232010000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Mejía, E. (2019). Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica. *Revista Científica Pakamuros*, 7(2), 73–88. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v7i2.95>
- Palm, J. (2018). Household installation of solar panels – Motives and barriers in a 10-year perspective. *Energy policy*, 113, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.047>
- Parlak, K. S. (2014). FPGA based new MPPT (maximum power point tracking) method for PV (photovoltaic) array system operating partially shaded conditions. *Energy*, 68, 399–410. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.027>
- Pfeifroth, U., Sanchez-Lorenzo, A., Manara, V., Trentmann, J., & Hollmann, R. (2018). Trends and Variability of Surface Solar Radiation in Europe Based On Surface- and Satellite-Based Data Records. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(3), 1735–1754. <https://doi.org/10.1002/2017JD027418>

- Piegari, L., & Rizzo, R. (2010). Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking. *IET Renewable Power Generation*, 4(4), 317–328. <https://doi.org/10.1049/IET-RPG.2009.0006/CITE/REFWORKS>
- Pinker, R. T., Zhang, B., & Dutton, E. G. (2005). Do satellites detect trends in surface solar radiation? *Science*, 308(5723), 850–854. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1103159/SUPPL_FILE/PINKER.SOM.REVISED.PDF
- Proyecyo PER/98/G31. Electrificación rural a base de energía fotovoltaica en el Perú (15 de Diciembre del 2003). <https://hdl.handle.net/20.500.12542/343>
- Rajesh, R., & Carolin Mabel, M. (2015). A comprehensive review of photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 231–248. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.006>
- Roberto Righini, & Hugo Grossi Gallegos. (2000). evaluación de la distribución de la irradiación solar global en la república del Paraguay en base a datos satelitales. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 8(1), 9–12.
- Rojas, C., Rosmery, M., Vilcarano, L., & Ángel, M. (2016). Determinación del ángulo de inclinación óptimo de un panel fotovoltaico en el Valle del Mantaro. *Universidad Nacional Del Centro Del Perú*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3747>
- Rosas-Flores, J. A., Zenón-Olvera, E., & Gálvez, D. M. (2019). Potential energy saving in urban and rural households of Mexico with solar photovoltaic systems using geographical information system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116(109412), 109412. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109412>
- Salas, V., Olías, E., Barrado, A., & Lázaro, A. (2006). Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(11), 1555–1578. <https://doi.org/10.1016/J.SOLMAT.2005.10.023>
- Sayago, S., Ovando, G., & Bocco, M. (2016). Radiación solar a partir de datos satelitales. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/57310>

- Terra, F. (2018). *Energía fotovoltaica*. Obtenido de https://www.agenergia.org/wp-content/uploads/2018/05/1234262514_Energ_a_FV_Fund_Terra.pdf/
- Urraca, R., Gracia-Amillo, A. M., Huld, T., Martinez-de-Pison, F. J., Trentmann, J., Lindfors, A. v., Riihelä, A., & Sanz-Garcia, A. (2017). Quality control of global solar radiation data with satellite-based products. *Solar Energy*, 158, 49–62. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2017.09.032>
- Vargas G., G. A., Gil Baena, S. A., Díaz Figueroa, J. E., & Otálora Dueñas, L. M. (2019). Aprovechamiento de la energía solar para el Área Académica de la Escuela de Aviación Policial mediante un sistema fotovoltaico con conexión a red. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 11(2). <https://doi.org/10.22335/rlct.v11i2.446>