

MEDICIÓN DEL EFECTO DE LAS PARTÍCULAS DE POLVO EN LA GENERACIÓN DE POTENCIA EN MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS

*MEASUREMENT OF THE EFFECT OF DUST PARTICLES ON POWER GENERATION
IN SOLAR PHOTOVOLTAIC MODULES*

Adelmo Miranda ¹, Hector Villatoro ², Franklin Martinez ³

Recibido: 30/3/2023 y Aceptado: 9/5/2023
ENERLAC. Volumen VII. Número 1. Julio, 2023 (96 - 109)
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Sungrow EMEA de Unsplash.

1 Universidad Tecnológica Centroamérica. Honduras
adelmojose1301@unitec.edu

2 Universidad Tecnológica Centroamérica. Honduras
hvillatoro@unitec.edu

3 Universidad Tecnológica Centroamérica. Honduras
franklin_martinez@unitec.edu



RESUMEN

La acumulación de partículas de polvo es un factor importante que puede afectar el rendimiento y la eficiencia de los módulos solares fotovoltaicos, puede reducir la cantidad de luz solar que llega a las células fotovoltaicas, lo que disminuye la cantidad de energía eléctrica generada. Además, la acumulación de partículas de polvo puede afectar la capacidad de los módulos solares para disipar el calor, lo que provoca un aumento de la temperatura del módulo y esto reduce la eficiencia de las células fotovoltaicas. El objetivo de esta investigación es medir el impacto de las partículas de polvo en la generación de potencia de los módulos solares fotovoltaicos sobre terracería y sobre concreto para determinar cómo la acumulación de partículas de polvo afecta su eficiencia. Para esta investigación se utilizaron dos módulos solares fotovoltaicos, uno de referencia (se limpiaba diariamente) y uno de prueba (sin limpieza), esto para medir la disminución de potencia generada por el módulo de prueba con respecto al módulo de referencia. También, se utilizó un contador de partículas de polvo para contar la cantidad de partículas de polvo acumuladas sobre la superficie del módulo solar fotovoltaico. Existieron pérdidas de hasta 17.9 W de potencia en el módulo de prueba con respecto al módulo de referencia, factores como la lluvia resultaron en una variación de potencia generada por el módulo solar fotovoltaico de prueba. La presente investigación define el efecto que tiene la acumulación de partículas de polvo en la reducción de potencia en los módulos solares fotovoltaicos.

Palabras clave: Módulo solar fotovoltaico, Acumulación de partículas de polvo, Pérdidas de potencia, Potencia máxima, Energía generada.

ABSTRACT

The accumulation of dust particles is an important factor that can affect the performance and efficiency of photovoltaic solar modules. It can reduce the amount of sunlight reaching the photovoltaic cells, which decreases the amount of electrical energy generated. Additionally, the accumulation of dust particles can affect the ability of the solar modules to dissipate heat, which results in an increase in module temperature and reduces the efficiency of the photovoltaic cells. This research aims to measure the impact of dust particles on the power generation of photovoltaic solar modules on soil and concrete surfaces to determine how the accumulation of dust particles affects their efficiency. For this research, two photovoltaic solar modules were used, one as a reference (daily cleaned) and the other as a test module (uncleaned), to measure the decrease in power generated by the test module with respect to the reference module. A dust particle counter was also used to count the amount of dust particles accumulated on the surface of the photovoltaic solar module. Results showed losses of up to 17.9 W in the test module with respect to the reference module. Factors such as rain resulted in variation in power generated by the photovoltaic solar modules. This research defines the effect that the accumulation of dust particles has on the reduction of power in photovoltaic solar modules.

Keywords: *Photovoltaic solar module, accumulation of dust particles, power losses, maximum power, energy generation*

INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en una de las tecnologías más prometedoras para la generación de energía limpia y renovable en el mundo. Según (Huld & Fthenakis, 2018)

la energía solar posee un alto potencial para satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica a nivel global. Si se gestiona de manera adecuada, la energía solar puede proveer aproximadamente el 23% de la demanda mundial de electricidad para el 2030, y aumentar a un 36% para el año 2050.

Los módulos solares fotovoltaicos son componentes vitales en los sistemas de energía solar y su eficiencia es crucial para maximizar la generación de energía eléctrica. De acuerdo con (Mohanty, 2021) la eficiencia de los módulos solares fotovoltaicos afecta significativamente la producción de energía, especialmente en áreas con altas temperaturas, fuentes cercanas de polvo y humedad.

La acumulación de partículas de polvo puede tener un impacto significativo en la eficiencia de la generación de energía de los módulos solares fotovoltaicos. En una investigación de la literatura científica sobre el impacto de las partículas de polvo en la generación de potencia en los módulos solares realizado por (Alghoul, Ali, & Hussain, 2019) encontró que la acumulación de polvo puede reducir la eficiencia de los módulos solares fotovoltaicos hasta en un 50% y también señaló que este es un problema común en muchas regiones del mundo, y que hay una necesidad urgente de desarrollar tecnologías y estrategias para mitigar este problema. (Kumar & Pandey, 2017) investigó el impacto de la acumulación de polvo en la superficie de los módulos solares. El estudio concluyó que la acumulación de polvo redujo la eficiencia de los módulos solares hasta en un 50%. (Kumar, Kumar, & Singh, 2013) en un estudio realizado en Rajasthan, India en el cual se investigó el efecto del polvo en la producción de energía de los módulos solares concluyeron que la acumulación de polvo reducía la producción de energía en un 17% en promedio. Además, se encontró que la reducción era mayor en los meses de verano debido a la acumulación de polvo y arena. De acuerdo con (Rosas & Gill, 2021), en un periodo de tres meses de operación en

una instalación de módulo solares fotovoltaicos sobre techo se registraron pérdidas de potencia y disminución de rendimiento de 17.91 – 3.27% respectivamente, esto debido a la acumulación de partículas de polvo sobre la superficie de los módulos solares fotovoltaicos y recomendaron que el tiempo de limpieza de los módulos debe realizarse cada tres meses.

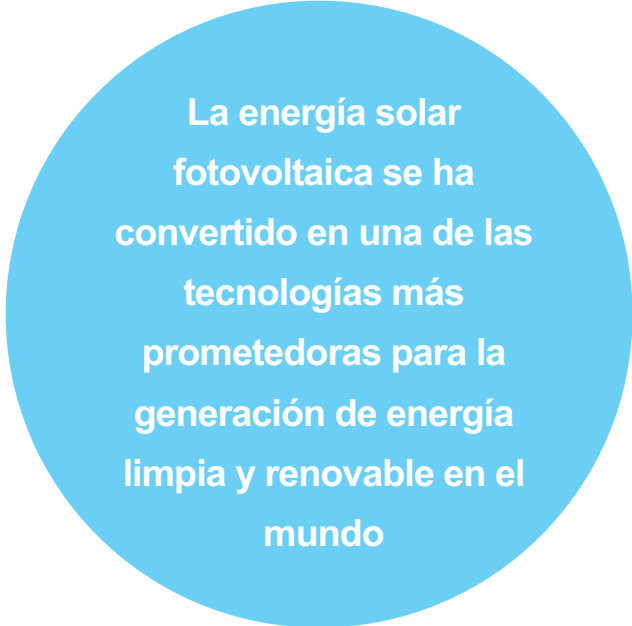
Similar a los estudios mencionados anteriormente, este estudio tiene como objetivo medir el impacto de las partículas de polvo en la generación de potencia de los módulos solares fotovoltaicos sobre dos superficies diferentes, terracería y concreto. Se realizaron mediciones de potencia y de partículas de polvo en dos módulos solares fotovoltaicos durante 10 días para cada superficie. Uno de los módulos se mantuvo en constante limpieza y el otro no se limpió ningún día.

Esta investigación está dividida en cinco capítulos. En el primer capítulo se presenta el problema, así como los objetivos que se esperan cumplir en el estudio. El segundo capítulo es el marco teórico donde se explican todos los términos de la energía solar y los factores de ensuciamiento de los módulos solares fotovoltaicos. En el tercer capítulo se discute la metodología de la investigación, así como nuestra variable dependiente e independiente. En el cuarto capítulo se presentan los resultados y su análisis en función de los objetivos planteados. Para terminar el quinto capítulo presenta las conclusiones y se brindan recomendaciones para próximos estudios.

METODOLOGÍA

La investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que se realizó una recolección y análisis de datos numéricos y estadísticos para obtener resultados cuantificables. Se recolectaron datos de corriente continua, voltaje continuo y potencia generada durante tres semanas para cada una de las siguientes superficies: terracería y concreto. El objetivo era determinar la potencia

generada por el módulo fotovoltaico y la acumulación de las partículas de polvo en un rango de tamaños que van desde 0.3 μm hasta 10 μm . Un módulo se mantuvo limpio como módulo de referencia, mientras que el otro se dejó sin limpiar para realizar comparaciones diarias y evaluar las pérdidas de potencia.



**La energía solar
fotovoltaica se ha
convertido en una de las
tecnologías más
prometedoras para la
generación de energía
limpia y renovable en el
mundo**

Para este estudio, nuestra variable independiente serán las partículas de polvo de 0.3 μm , 2.5 μm , y 10 μm presentes en el módulo solar. La acumulación de partículas de polvo sobre la superficie del módulo solar tendrá un efecto en la generación de potencia eléctrica del módulo solar. Nuestra variable dependiente será la generación de potencia eléctrica del módulo solar, ya que esta potencia eléctrica se verá afectada por la acumulación de partículas de polvo.

Durante un periodo de diez días, el estudio sobre terracería y concreto, en la ciudad de San Pedro Sula, Honduras la cual tiene en aproximado una irradiación global diaria de 5.2 kWh/m² (SOLARGIS, 2020), se llevó a cabo con dos módulos solares fotovoltaicos. Un módulo se mantuvo en constante limpieza como módulo de referencia y se limpió dos veces al día, a las 8 a.m. y antes de realizar las mediciones.

Para esto, se aplicó agua a temperatura ambiente sobre el panel con una toalla absorbente limpia para evitar cambios bruscos en la temperatura del módulo y se secó con una toalla absorbente sin aplicar agua sobre el módulo antes de realizar las mediciones. El otro módulo se mantuvo sin limpieza durante todo el estudio. Cabe resaltar que para este estudio no se tomaron en cuenta factores

como la humedad, temperatura de los módulos y otro tipo de suciedad.

Para este estudio se utilizaron módulos solares policristalinos de 445 W de potencia con las siguientes características:

Bajo las Condiciones de prueba estándar, irradiancia de $1,000 \text{ W/m}^2$

Tabla 1. Especificaciones de módulo solar utilizado para este estudio

| | |
|------------------------------|---------|
| Potencia máxima nominal | 445 W |
| Voltaje de potencia máxima | 40.9 V |
| Corriente de potencia máxima | 10.89 A |
| Eficiencia del módulo | 20.1% |
| Voltaje máximo del sistema | 1500 V |
| Corriente de corto circuito | 11.54 A |
| Voltaje de circuito abierto | 48.9 V |

Fuente: Elaboración propia con información tomada de (Ficha técnica de módulo solar CanadianSolar, 2020)

Para las mediciones eléctricas, se empleó un multímetro diseñado para módulos solares fotovoltaicos, que permitió conectar las salidas de los módulos con el multímetro. Para la medición de las partículas de polvo se utilizó un contador de partículas de polvo de $0.3 \mu\text{m}$, $2.5 \mu\text{m}$ y $10 \mu\text{m}$. Se hicieron un total de nueve mediciones diarias, comenzando a las 8:00 AM y terminando a las 5:30 PM. El método de conteo consistió en colocar el contador de partículas de polvo sobre la superficie del módulo solar sin despegarlo en ningún momento y pasar el contador de partículas de polvo por toda la superficie del módulo. Se programó el contador de partículas de polvo para hacer el conteo de partículas en un intervalo de 2 minutos. Al final de cada día, se registraron los datos, que fueron revisados y archivados en Excel.

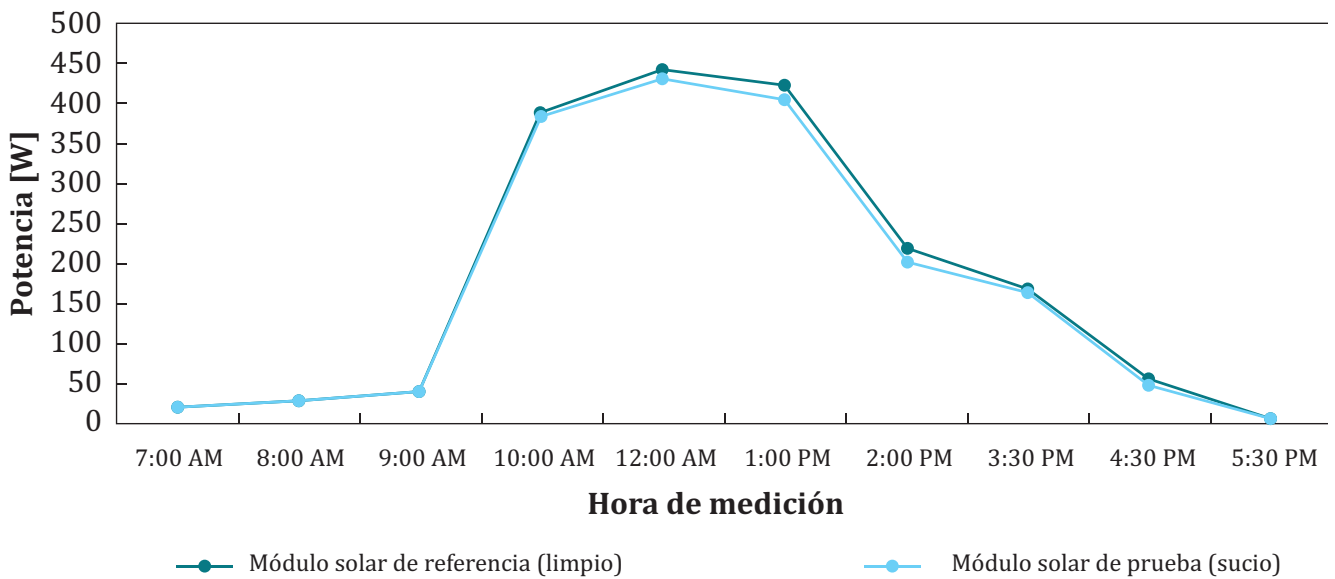
RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se realizó una evaluación de las pérdidas de potencia nominal y el rendimiento de los módulos solares fotovoltaicos a través de cálculos de pérdidas de potencia. De la misma forma, se investigó cómo el incremento de la cantidad de partículas de polvo acumulado incide en las pérdidas nominales de potencia. En este estudio, se descartó la contaminación generada por los seres vivos, como el excremento de aves, así como también la presencia de objetos o cuerpos de un tamaño mayor a $10 \mu\text{m}$.

A. Para las mediciones sobre terracería obtuvimos los siguientes resultados

El día que se presentó la mayor cantidad de pérdidas de potencia sobre terracería fue el tercer día de medición, se presentaron pérdidas de 17.9 W en el módulo solar de prueba con respecto al módulo solar de referencia.

Figura 1. Comparación de módulo solar de referencia con módulo solar de prueba

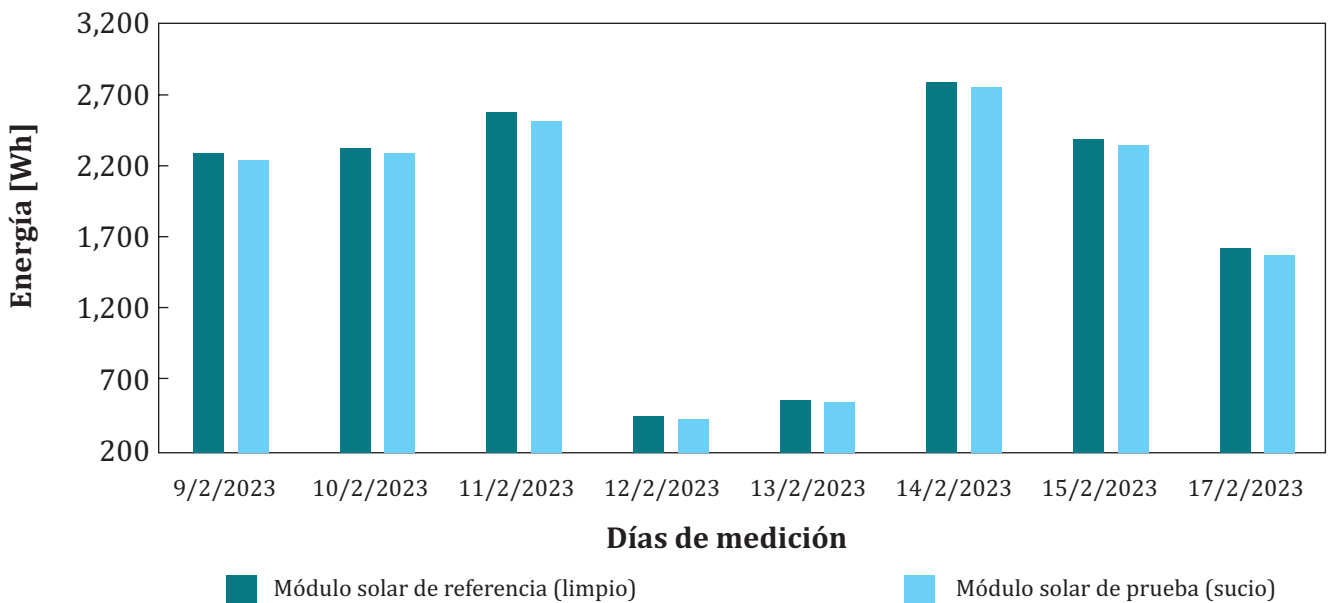


Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de pérdidas de energía se utilizó la suma de Reimann, la cual consiste en una suma de aproximación del área bajo la curva de la potencia eléctrica generada por ambos módulos solares. La mayor cantidad de energía eléctrica generada por el módulo solar de referencia (limpio) fue de 2,793.61 Wh, mientras el módulo

solar de prueba (sucio) la mayor cantidad de energía eléctrica que generó fueron 2,748.50 Wh. La mayor cantidad de pérdidas de energía eléctrica en el módulo solar de prueba (sucio) se presentó el tercer día de medición (11 de febrero), se registraron pérdidas de 59.31 Wh durante el día.

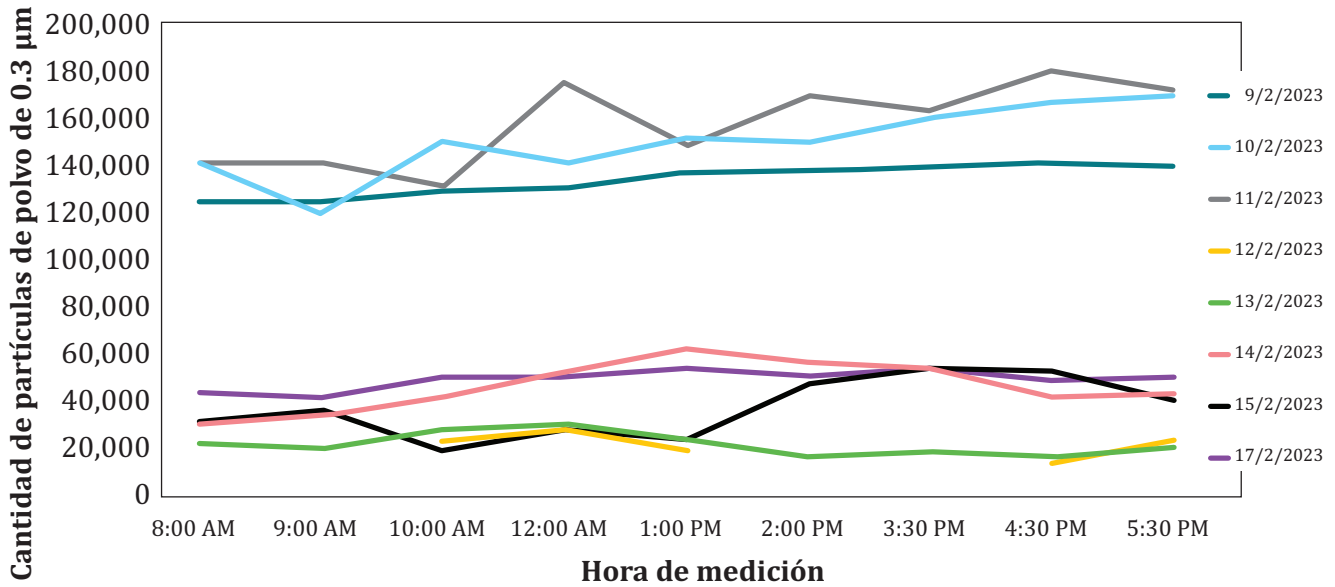
Figura 2. Energía eléctrica generada por ambos módulos solares



Fuente: Elaboración propia

Durante los diez días de medición se encontraron la siguiente cantidad de partículas de polvo de 0.3 µm, 2.5 µm, y 10 µm.

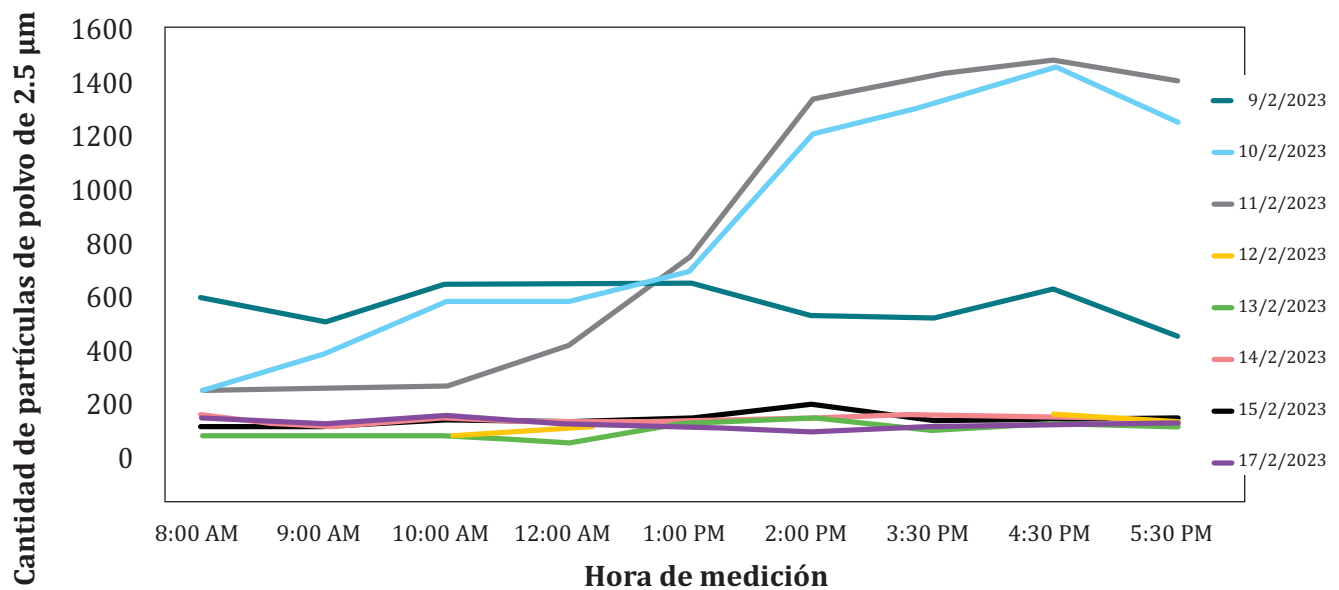
Figura 3. Cantidad de partículas de polvo de 0.3 µm en módulo solar de prueba



Fuente: Elaboración propia

El día 11 de febrero a las 12:30 PM fue el día que se registró la mayor cantidad de pérdidas de potencia en el módulo de prueba y de la misma manera el incremento de partículas de polvo de 0.3µm incrementó linealmente con un total de 175,120 partículas.

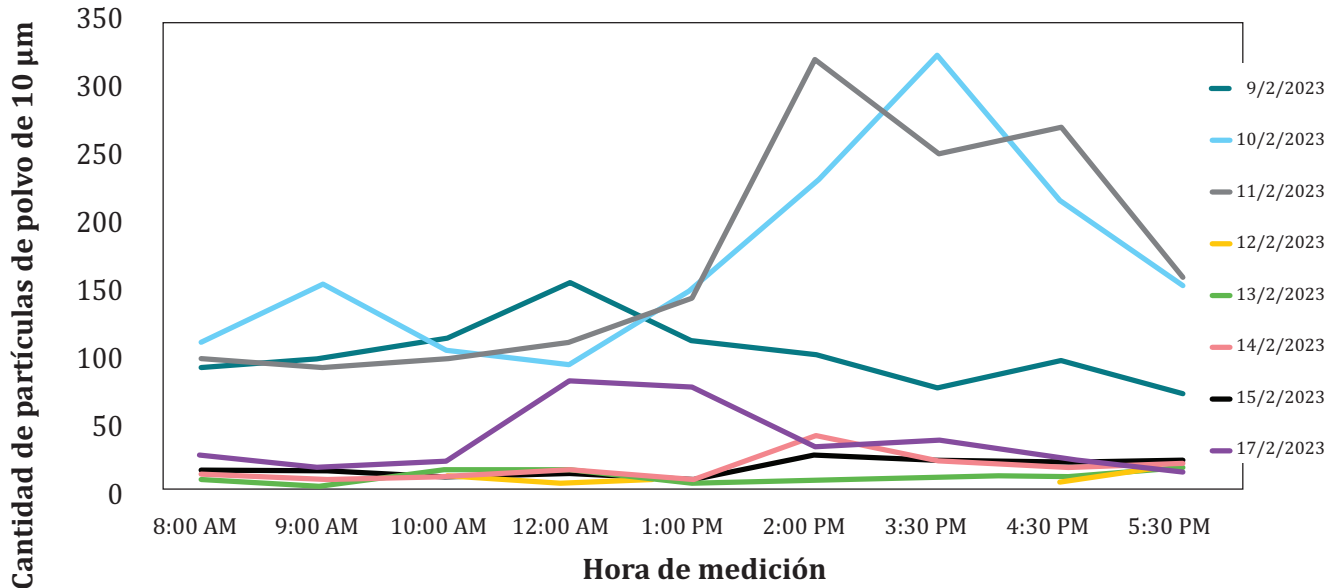
Figura 4. Cantidad de partículas de polvo de 2.5 µm en módulo solar de prueba



Fuente: Elaboración propia

El día 11 de febrero a las 12:30 PM fue el día que se registró la mayor cantidad de pérdidas de potencia en el módulo de prueba y de la misma manera el incremento de partículas de polvo de 2.5µm incrementó linealmente con un total de 1,470 partículas.

Figura 5. Cantidad de partículas de polvo de 10 µm en módulo solar de prueba



Fuente: Elaboración propia



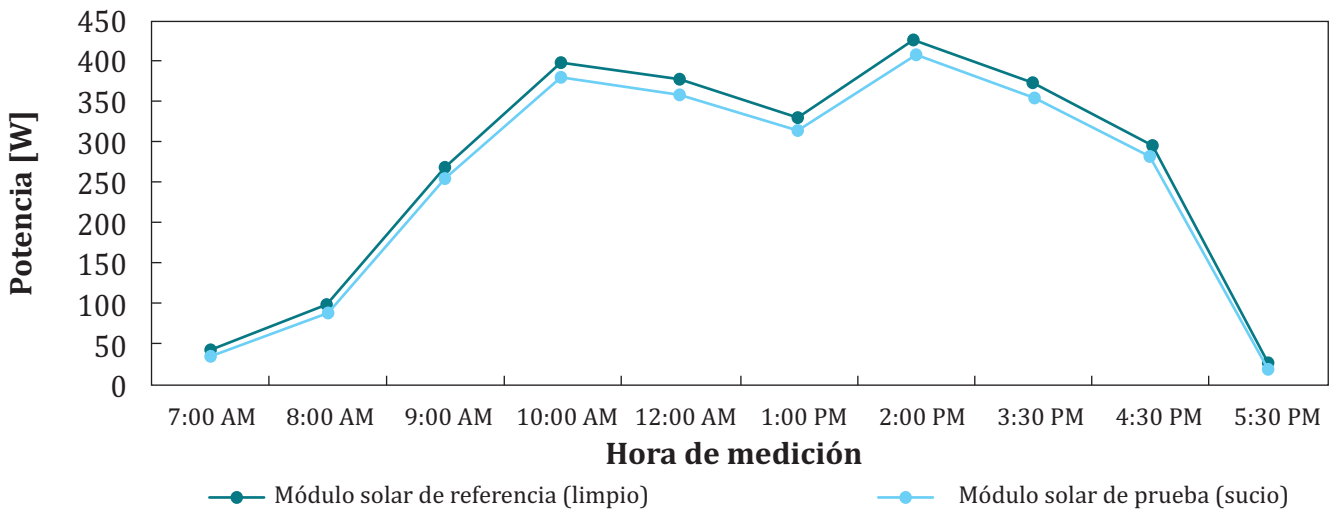
Foto de Forrest Cavale de Unsplash.

El día 11 de febrero a las 12:30 PM fue el día que se registró la mayor cantidad de pérdidas de potencia en el módulo de prueba y de la misma manera el incremento de partículas de polvo de 10µm incrementó linealmente con un total de 270 partículas.

B. Para las mediciones sobre terracería obtuvimos los siguientes resultados

El día que se presentó la mayor cantidad de pérdidas de potencia sobre terracería fue el tercer día de medición, se presentaron pérdidas de 18.4 W en el módulo solar de prueba con respecto al módulo solar de referencia.

Figura 6. Comparación de módulo solar de referencia con módulo solar de prueba

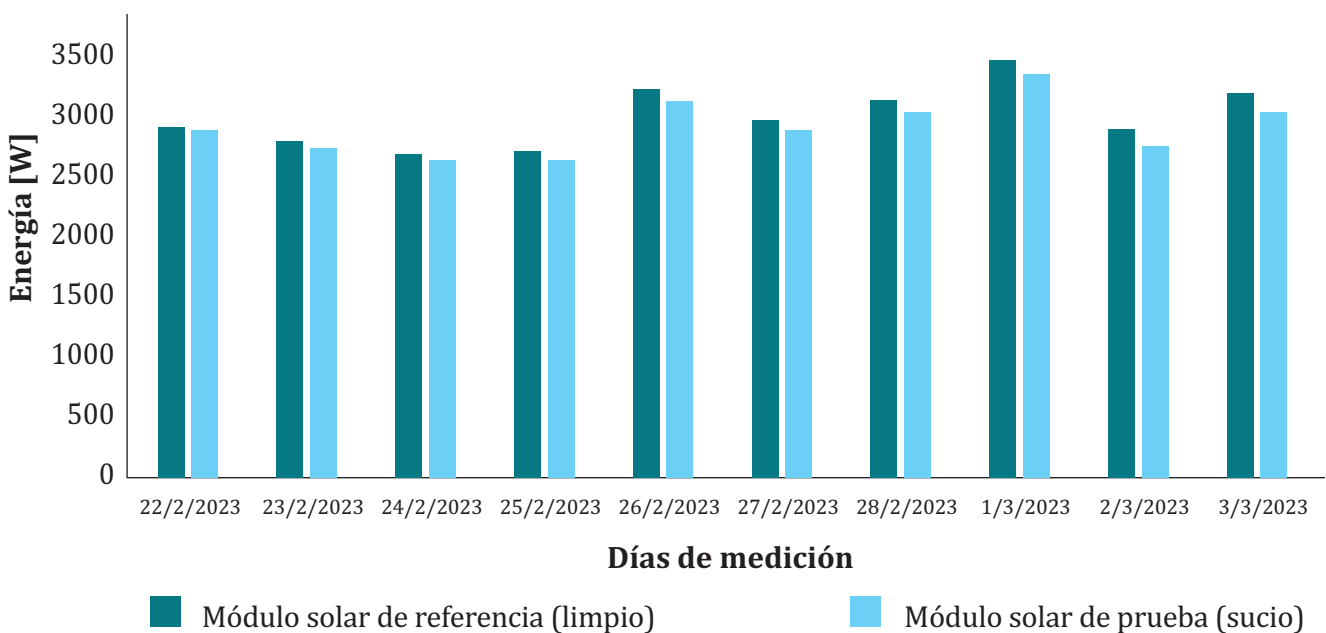


Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la energía eléctrica generada por el módulo solar de referencia y por el módulo solar de prueba se utilizó la suma de Reimann, la cual consiste en una suma de aproximación del área bajo la curva de la potencia eléctrica generada por ambos módulos solares. La mayor cantidad de energía eléctrica generada por el módulo de referencia fue de

3419.25 Wh, mientras el módulo solar de prueba la mayor cantidad de energía eléctrica que generó fueron 3301.2 Wh. La mayor cantidad de pérdidas de energía eléctrica en el módulo solar de prueba sucio se presentó el último día de medición (3 de marzo), se registraron pérdidas de 157.15 Wh durante el día.

Figura 7. Energía eléctrica generada por ambos módulos solares

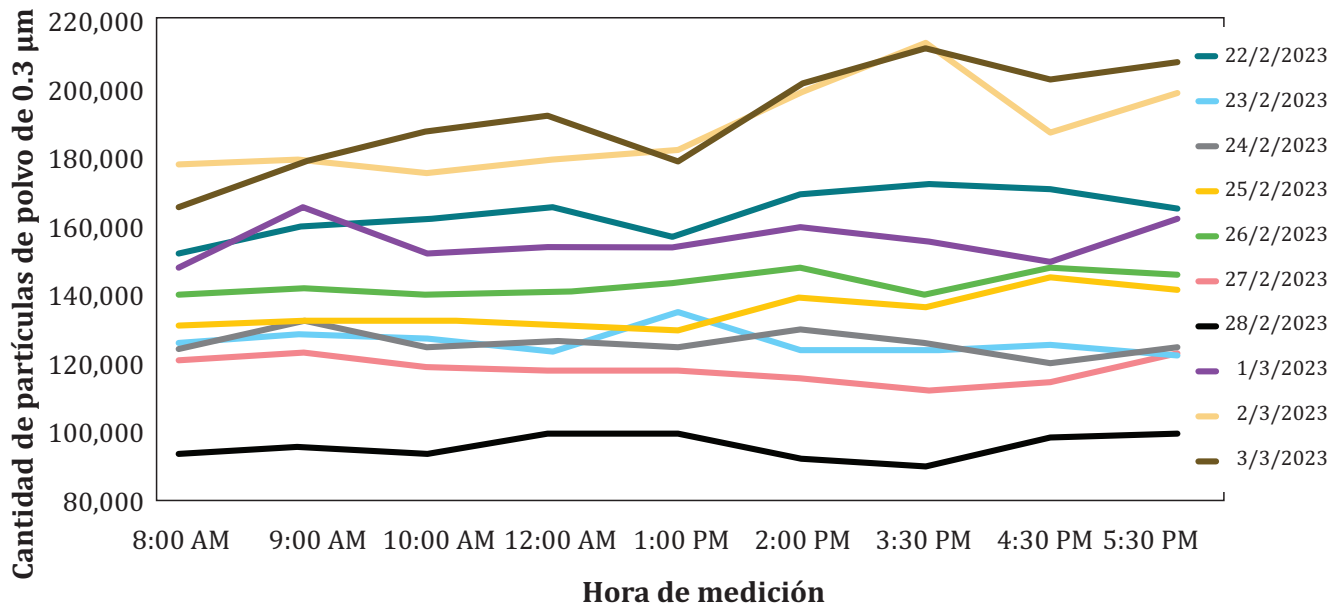


Fuente: Elaboración propia

El día 3 de marzo a las 3:30 PM fue el día que se registró la mayor cantidad de pérdidas de potencia en el módulo de prueba y de la misma manera el incremento de partículas de polvo de $0.3\mu\text{m}$ incrementó linealmente con un total de 211,457

partículas. Durante el tiempo de medición no se presentó ningún tipo de lluvia, lo cual es óptimo para nuestro estudio, ya que las partículas de polvo no fueron limpiadas por la lluvia.

Figura 8. Cantidad de partículas de polvo de $0.3\mu\text{m}$ en módulo solar de prueba

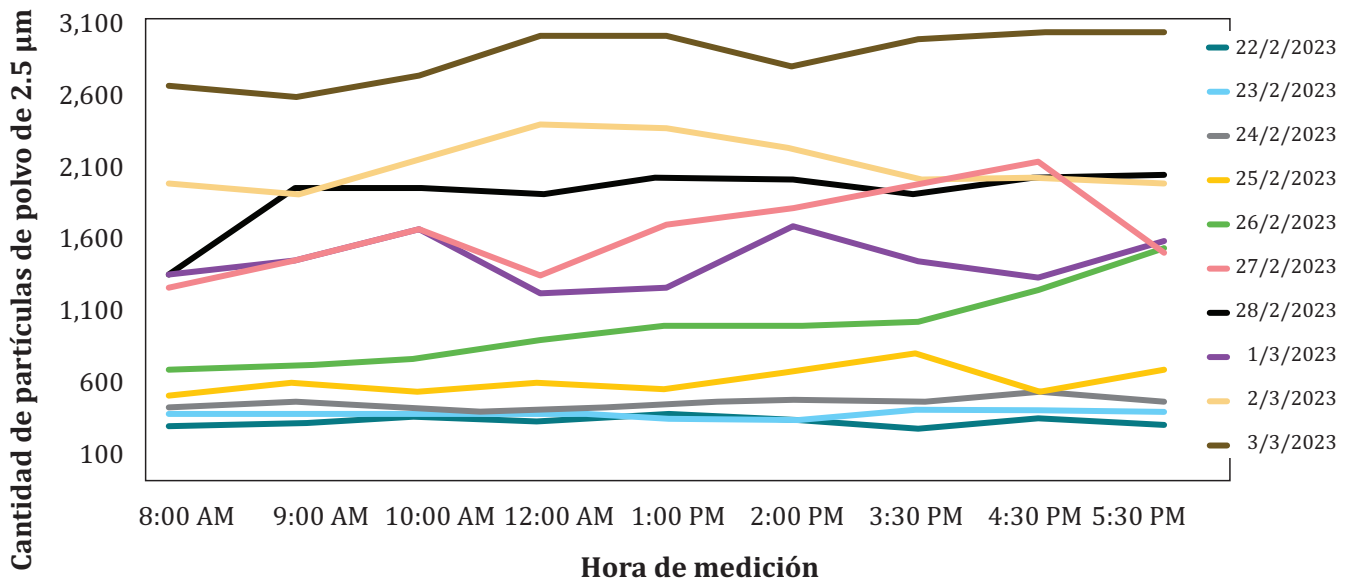


Fuente: Elaboración propia

El día 3 de marzo a las 3:30 PM fue el día que se registró la mayor cantidad de pérdidas de potencia en el módulo de prueba y de la misma manera el incremento de partículas de polvo de $2.5\mu\text{m}$ incrementó linealmente con un total de 2,951 partículas. Durante el tiempo de medición no se presentó ningún tipo de lluvia, lo cual es óptimo para nuestro estudio, ya que las partículas de polvo no fueron limpiadas por la lluvia.

Cuando hay una acumulación de partículas sobre la superficie de un módulo solar, se reduce la cantidad de luz solar que llega a las células fotovoltaicas, por ende, la generación de energía disminuye.

Figura 9. Cantidad de partículas de polvo de 2.5 µm en módulo solar de prueba

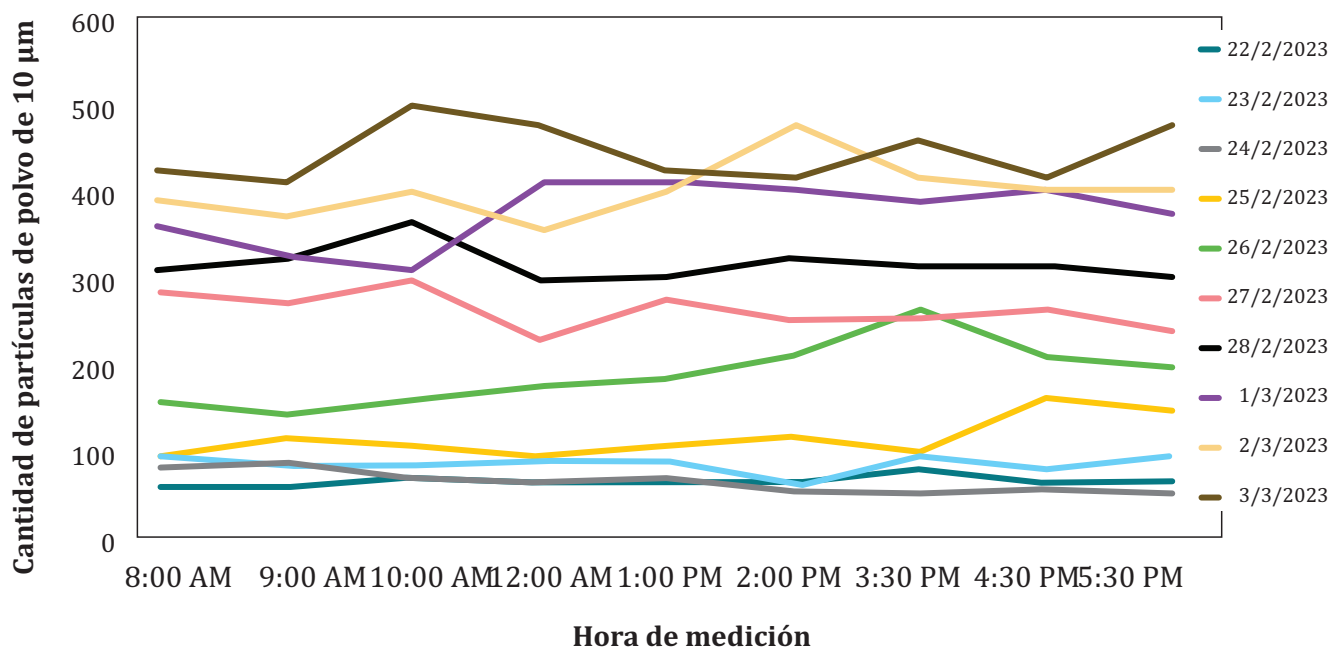


Fuente: Elaboración propia

El día 3 de marzo a las 3:30 PM fue el día que se registró la mayor cantidad de pérdidas de potencia en el módulo de prueba y de la misma manera el incremento de partículas de polvo de 10µm incrementó linealmente con un total de

458 partículas. Durante el tiempo de medición no se presentó ningún tipo de lluvia, lo cual es óptimo para nuestro estudio, ya que las partículas de polvo no fueron limpiadas por la lluvia.

Figura 10. Cantidad de partículas de polvo de 10 µm en módulo solar de prueba



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

La acumulación de partículas de polvo ha sido una gran problemática para la generación de potencia eléctrica en los módulos solares fotovoltaicos. Cuando hay una acumulación de partículas sobre la superficie de un módulo solar, se reduce la cantidad de luz solar que llega a las células fotovoltaicas, por ende, la generación de energía disminuye. De igual forma, la eficiencia de un módulo solar se ve afectada debido a la acumulación de partículas de polvo, lo cual representa una pérdida en el retorno de la inversión para proyectos a gran escala. Para este estudio se realizaron mediciones de potencia y de partículas de polvo en diferentes horas del día en dos módulos solares, uno se utilizó como módulo solar de referencia (limpieza diaria) y el otro se utilizó como módulo solar de prueba (sucio), se hizo esto para poder medir como afecta la acumulación de partículas de polvo en el módulo solar de prueba en comparación con el módulo solar de referencia. Se obtuvo los siguientes resultados:

- El porcentaje de pérdidas del módulo solar de prueba con respecto al módulo solar de referencia fue en promedio de 5% sobre concreto y de 3.81% en promedio sobre terracería, durante diez días de medición para cada una de las superficies.
- Durante diez días de medición sobre concreto se concentraron un total de 207,921 partículas de polvo de 0.3 μ m, 2,987 partículas de polvo de 2.5 μ m y 498 partículas de polvo de 10 μ m. Para terracería se encontraron un total de 179,250 partículas de polvo de 0.3 μ m, 1,401 partículas de polvo de 2.5 μ m, y 313 partículas de polvo de 10 μ m.
- La mayor cantidad de pérdidas de potencia eléctrica en el módulo solar de prueba fueron de 17.9 W sobre terracería y de 18.6 W sobre concreto.

- La energía eléctrica generada por el módulo solar de prueba fue inferior en promedio un 2.91% con respecto al módulo solar de referencia sobre concreto, siendo 157.15 Wh la mayor pérdida registrada en un día de medición. Sobre terracería la energía eléctrica fue inferior en promedio un 2.3% con respecto al módulo solar de referencia, siendo 59.31Wh la mayor pérdida registrada en un día de medición.

La mayor limitante para esta investigación fueron las condiciones climatológicas. Durante nuestras mediciones sobre terracería se presentaron lluvias y cielos completamente nublados durante los últimos cinco días de medición, lo cual resultó en la limpieza natural de nuestro módulo solar de prueba y por ende existe poca variación entre la potencia generada por ambos módulos solares. De la misma forma, los días en los que había presencia de lluvia a la hora de realizar las mediciones correspondientes se decidió no realizar mediciones de partículas de polvo ya que se pondría en riesgo el equipo.

A pesar de la limitación mencionada en el párrafo anterior, se considera que los resultados obtenidos en este estudio tienen una aplicación práctica importante en el diseño de sistemas fotovoltaicos. En particular, se estima que estos resultados pueden ser utilizados en programas de simulación como PVsyst, donde se requiere una evaluación precisa de las pérdidas asociadas a la suciedad de los módulos solares. ■

REFERENCIAS

- Alghoul, M., Ali, S., & Hussain, S. (2019). Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Aparicio, M. P. (2010). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. 2010 Maracombo S.A .
- Bergin, M., Ghoroi, C., Dixit, D., & Schauer, J. (2017). Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust And Particulate Air Pollution. *ACS Publications*.
- Biomass Users Networ- Costa Rica . (2002). *Manuales sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica*. San José.
- Bulnes, C. A., & Brown, R. B. (2010). *Energía del sol*. 16.
- CandianSolar. (Mayo de 2020). *Canadian Solar*. Obtenido de https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian_Solar-Datasheet-HiKu_CS3W-MS_EN.pdf
- Carballo, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generacion de energía eléctrica . *REDVET*, 1-4.
- Carreras, M. B. (2019). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editex.
- Castejón, A., & Santamaria, H. G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Editex.
- Costa, S., Diniz, A., & Kazmerski, L. (2015). Dust and soiling issues and impacts realting to solar energy systems. *ScienceDirect*.
- Darwish, Z. A. (2013). Effect of Dust on Photovoltaic Performance Review and Research Status. *ResearchGate*.
- Duque, P. N. (2016). *Análisis de factores que influyen en la suiedad de paneles fotovoltaicos y su efecto sobre la producción de energía eléctrica*. Sevilla.
- ENEE. (Mayo de 2022). *Boletin estadístico Mayo 2022*. Obtenido de <http://www.enee.hn/planificacion/2022/junio/Boletin%20Estadistico%20MAYO%202022.pdf>
- Fuentes, C. (2020). *REVE*. Obtenido de <https://www.evwind.com/2010/12/20/honduras-estan-entre-los-paises-con-mejor-potencial-en-energia-solar/>
- García, J. E., Sepúlveda, S., & Ferreira, J. (2018). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico en una planta de tratamiento de agua. *INGE CUC*, 41-51.
- Google Earth. (3 de Febrero de 2023). Obtenido de <https://earth.google.com/web/>
- Huld, T., & Fthenakis, V. (2018). *A global review of solar photovoltaic electricity market*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Kumar, G., Kumar, S., & Singh, S. (2013). Effects of Dust on the Performance of Solar Photovoltaic Modules. *Renewable Energy*.
- Kumar, V., & Pandey, A. (2017). *Performance analysis of photovoltaic modules under dust accumulation condition*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Mohanty, S. (2021). *Performance of analysis of different types of solar photovoltaic modules*. *Energy Reports*.
- Moore, D., & McCabe, G. (2019). *Introduction to the Practice of Statistics*. Freeman.
- Ojea, L. (2019 de Agosto de 2019). *El periódico de la energía*. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/la-contaminacion-reduce-la-cantidad-de-electricidad-que-generan-los-paneles-solares-para-autoconsumo-en-las-ciudades/>
- Oliva, A. C., & Herranza, G. S. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid : Editex.

- Pacheco, S. T., Pérez, F. J., Lieberman, G., & Luna, A. L. (2018). Eficiencia en paneles solares. *Revista del Diseño Innovativo*, 13.
- Pantaleón, I. (1 de Abril de 2022). *Forbes Centroamerica*. Obtenido de <https://forbescentroamerica.com/2022/04/01/energia-solar-en-honduras-el-pais-es-el-quinto-lugar-en-capacidad-instalada-en-latinoamerica>
- Pérez, J. A. (Septiembre de 2007). *Revista de la sociedad química del Perú*. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2007000300007
- Rivera, N. R., & Ramírez, M. Á. (2019). *Medición de la eficiencia energética de los paneles solares de silicio*. Centro de Investigación en materiales avanzados.
- Rosas, H. M., & Gill, L. F. (2021). *Influencia de la acumulación de polvo en la generación de potencia en módulos fotovoltaicos*. Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- Sepúlveda, E. S. (9 de Enero de 2018). *Phineal*. Obtenido de <https://www.phineal.com/el-polvo-enemigo-silencioso-de-la-energia-solar/>
- Serrano, J. C. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Paraninfo.
- SOLARGIS. (2020). *SOLARGIS*. Obtenido de <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/honduras>
- SolarPlak. (2020). *SolarPlak*. Obtenido de <https://solarplak.es/energia/diferencias-entre-silicio-monocristalino-y-policristalino/#:~:text=Mientras%20que%20el%20silicio%20monocristalino,m%C3%A1s%20energ%C3%ADa%20solar%20fotovoltaica%20produce.>
- TECNOSOL. (4 de Mayo de 2017). *Características eléctricas de los paneles solares*. Obtenido de <https://tecnosolab.com/noticias/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/>
- UNITEC. (6 de Octubre de 2021). *Blog Unitec*. Obtenido de <https://blog.unitec.edu/2021/10/06/honduras-el-pais-de-centroamerica-con-la-planta-solar-fotovoltaica-mas-grande/>
- Vargas, F. L. (2021). *Efecto de la suciedad en el desempeño de módulos fotovoltaicos en Bogotá*. Bogotá : Universidad Distrital Fransisco Jose de Caldas .
- Vásquez, M. C. (2015). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Cano Pina.
- Yang, C., Huang, C., Chiu, H., & Lan, S. (2004). *Effects of occupational dust exposure on the respiratory health of Portland cement workers*. PubMed.