

Efecto de las variaciones climáticas y atmosféricas en el rendimiento energético de los paneles solares monofaciales, Chachapoyas, Amazonas

Effect of climatic and atmospheric variations on the energy performance of monofacial solar panels, Chachapoyas, Amazonas

Fernando Espinoza¹

RESUMEN

El objetivo fue analizar los efectos de las variaciones climáticas y atmosféricas en el rendimiento de los paneles solares monofaciales. El estudio se realizó en Chachapoyas, Amazonas, la metodología aplicada consistió en registrar datos por 12 meses, desde las 6:00 am a 18:00 horas, promediándose por día cada uno de los parámetros climáticos y atmosféricos; y la radiación solar se tomó los datos de la estación meteorológica del INDES-CES localizado en el campus de la UNTRM. Los resultados obtenidos presentaron una irradiación anual de 4.74 km/m², la energía acumulada anual de enero a diciembre de 2021 alcanzó 1710.34 kWh/m². La eficiencia energético anual alcanzó el 68.71 %. La radiación solar, para los días nublados, combinado y soleados o despejados, fueron 599.02 w/m², 785.95 w/m² y 1004.22 w/m². La eficiencia energética, está relacionado con la velocidad del viento para los tres tipos de días y fueron de 9.40 km/h, 7.20 km/h y 5.80 km/h, y la temperatura promedio fue 26.80 °C, 28.70 °C y de 30.60 °C; la humedad en invierno alcanzó mínimo 38 % RH y máximo a 73 % RH, en promedio 52.61 % RH; y mínimo 30.00 % RH y máximo 74.00 % RH en promedio 51.48 % RH en varano. El rendimiento energético fue 9240.90 kW en invierno y 9301.80 kW para verano.

Palabras clave: Sol, radiación, energía, rendimiento, climatología.

ABSTRACT

The objective was to analyze the effects of climatic and atmospheric variations on the performance of monofacial solar panels. The study was conducted in Chachapoyas, Amazonas, the methodology applied consisted of recording data for 12 months, from 6:00 am to 18:00 hours, averaging per day each of the climatic and atmospheric parameters; and solar radiation data was taken from the INDES-CES weather station located on the campus of the UNTRM. The results obtained presented a good annual irradiation of 4.74 km/m², the annual accumulated energy from January to December 2021 reached 1710.34 kWh/m². The annual energy efficiency reached 68.71 %. The solar radiation, for cloudy, combined and sunny or clear days, were 599.02 w/m², 785.95 w/m² and 1004.22 w/m². The energy efficiency is related to the wind speed for the three types of days and was 9.40 km/h, 7.20 km/h and 5.80 km/h, and the average temperature was 26.80 °C, 28.70 °C and 30.60 °C; the humidity in winter reached minimum 38 % RH and maximum 73 % RH, in average 52.61 % RH; and minimum 30.00 % RH and maximum 74.00 % RH in average 51.48 % RH in summer. The energy efficiency was 9240.90 kW in winter and 9301.80 kW in summer

Keywords: Sun, radiation, energy, performance, climatology.

DOI: <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v10i3.316>

Recibido: 12/07/2022. Aceptado: 13/08/2022

¹ Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú. fernando.espinoza@untrm.edu.pe

* Autor para correspondencia

INTRODUCCIÓN

El sol, es la principal y única fuente de energía inagotable. La necesidad energética es uno de los factores y recurso más importantes que se requiere para el desarrollo industrial y cubrir necesidades domésticas diversas. El rápido crecimiento de la población en el mundo, demanda más energía para satisfacer el bienestar de las personas, desarrollar tecnologías y economías, por lo que es importante explorar y explotar los recursos de energía renovable al margen de los recursos energéticos fósiles existente (Bayrak, Oztop, & Selimefendigil, 2019).

Para la generación de energía limpia, uno de los sistemas más viables que está en crecimiento acelerado, son la tecnología fotovoltaica empleando paneles solares fotovoltaicos de material semiconductor para convertir la energía solar en energía eléctrica; sin embargo, la eficiencia de esta tecnología oscila entre el 5 a 20% y el resto se convierte en calor (Mojunder, Chong, Ong, Leong, & Mamoon, 2016).

Otros de los factores que afectan el rendimiento energético de los paneles fotovoltaicos son los cambios climáticos, como la velocidad del viento, la temperatura del aire, la radiación solar, la humedad relativa, la dirección del viento, las precipitaciones, la cobertura de nubes, el vapor de agua suspendida en la atmosfera, esta última absorbe, dispersa y refleja la radiación solar en diversos grados (Li, Gao, Li, & Zhou, 2022).

La investigación tecnológica ha desarrollado nuevas celdas fotovoltaicas, y mejorado su eficiencia, referidas a las celdas de Silicio policristalino (pc-Si), Silicio amorfo (a-Si), Seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS) y Teluro de Cadmio (CdTe), sin embargo, cada una tiene sus particularidades en el comportamiento frente a las variaciones climáticas y atmosféricas (Zdyb & Gulkowski, 2020). En algunos semiconductores como Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS) se demuestra mayor eficiencia de conversión de energía solar a eléctrica, con alrededor del 22 % (Ramanujam & Singh, 2017).

El viento fuerte o turbulento a diferentes velocidades y ángulo de instalación de los paneles fotovoltaicos tal como se puede ver en la Figura1, ocasionan la acumulación de polvo muy fino sobre la superficie de los paneles fotovoltaicos lo que atenúa la eficiencia; a diferentes velocidades del viento 1.3 m/s, 2.6 m/s y 3.9 m/s y en ángulos de instalación de 5°, 15°, 30° y 45°, se ha demostrado que existe la acumulación de polvo fino y en combinación con la humedad podría crear capas de suciedad en la superficie de los paneles que impidan el paso de la radiación solar (Fan, Wang, Wang, Zhang, & Liu, 2022).



Figura 1. Efecto del viento y el ángulo de inclinación de los paneles solares.

El incremento de 1°C de la temperatura en el interior de las celdas solares, puede disminuir en 0.5% la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, por tanto, cuando se aplican los sistemas de refrigeración a los paneles fotovoltaicos, la potencia de salida y la eficiencia aumentan; esto se demostró en un estudio realizado, la potencia de salida de un panel fotovoltaico aumentó en 2.14 % con el sistema de enfriamiento con aletas y en 7.72 % con módulos termoeléctricos, el aumento o disminución de la temperatura en los paneles tiene efecto en la eficiencia (Bayrak, Oztop, & Selimefendigil, 2019).

La variación de la humedad relativa, afecta en el rendimiento de paneles fotovoltaicos monocristalino, respecto al voltaje, disminuyen en 12.2 % en el rango de humedad relativa del 10 % al 50 %, y en los paneles policristalino, la potencia generada y eficiencia cambian en 46.3 % en el mismo rango, por tanto, el tipo policristalino es más sensible a la humedad relativa que el tipo monocristalino (Sohani, Shahverdian, Sayyaadi, & García, 2020).

La investigación, tiene relevancia porque en Chachapoyas hay altas variaciones climáticas, que tiene efecto en el rendimiento energéticos en los paneles solares monofaciales instalados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el campus de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, en el parqueo de vehículos de la sede administrativa. Las condiciones ambientales presentadas fueron con temperatura promedio anual 17°C , humedad relativa 60 %Hr, elevación 2350 m.s.n.m.; las coordenadas de geolocalización $6^{\circ}13'49.73''\text{ S}$ y $77^{\circ}51'16.8''\text{ O}$.

En la Figura 2 y 3, se muestra la ubicación del parque de los paneles solares en estudio, ubicados en el estacionamiento de vehículo de la sede administrativa de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, el parque solar está conformado por dos tecnologías de paneles solares, para el presente estudio se evaluó solo los paneles monofaciales.



Figura 2. Área de estudio



Figura 3. Paneles solares monofaciales (derecha).

Panel solar monofacial: modelo Q.PEAK L-G5.0.G 365-375, con un arreglo de 3x14 que totalizan 42 paneles, siendo la potencia pico de cada uno de los paneles 375 Wp, totalizando la potencia de 15.75 kWp, en la Tabla 1 se muestran los detalles del arreglo, especificando las dimensiones y el área total de

los paneles solares en estudio y en la Tabla 2, se detallan las especificaciones técnicas de los paneles solares monofaciles del tipo monocristalino utilizados en el estudio.

Tabla 1. Datos del parque de los paneles solares instalados.

| Tipo panel | Cantidad | Potencia nominal | Dimensión (mm) | Área panel (m ²) | Área total (m ²) |
|------------|----------|--------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|
| Monofacial | 42 | 375 W _p | 1960 x 991 x 35 | 1.94 | 81.58 |

Tabla 2. Especificaciones del panel solar QCELLS

| Panel solar monocristalino – Q.PEAK L-G5 375 – QCELLS | | |
|---|------------------|--------------|
| Potencia nominal | P _{mpp} | 375 W |
| Corriente de cortocircuito | I _{sc} | 9.86 A |
| Tensión en circuito abierto | V _{oc} | 48.73 V |
| Corriente a máxima potencia | I _{mpp} | 9.42 A |
| Tensión a máxima potencia | V _{mpp} | 39.80 V |
| Voltaje máximo del sistema (V _{sys}) | | 1000 V (IEC) |

De acuerdo a sus características técnicas, al menos proporcionará el 97% de la potencia nominal durante el primer año; a partir de entonces sufrirá una degradación máxima del 0.6% por año. Y proporcionará al menos el 92.0% de potencia nominal durante los 10 primeros años; y por 25 años al menos proporcionará el 83.0% de su potencia nominal de 375 watts por panel; sin embargo, los factores meteorológicos (la propia circulación del aire, que se mueve constantemente en forma de corrientes y masas de aire a distintas temperaturas, y otros, como la radiación solar, la presión atmosférica, los factores geográficos (latitud), las corrientes marinas, el relieve o la vegetación de una determinada zona) y atmosféricos (vientos, nieve, precipitación), pueden afectar notablemente en el rendimiento energético de los paneles fotovoltaicos en estudio.

Las pruebas normalizadas para los paneles fotovoltaicos en general, se tomaron como referencias del Estándar Test Conditions (STC), en el que se considera la irradiancia de 1000 W/m², a 25 °C de temperatura en el interior de las celdas fotovoltaicos y un espectro de masa de aire de AM 1.5.

Los datos de la generación energética se registraron en el inversor de los paneles solares, SMA-Sunny Portal, de enero a diciembre del año 2021, y las variables climáticas y la radiación solar se obtuvieron de la estación meteorológica del INDES-CES con el equipo Vantage Pro2 localizado en el campus de la Untrm y las temperaturas en el interior de los paneles se obtuvieron con el instrumento de la Figura 4.

Factores climatológicos intervinientes y efectos en la eficiencia energética en paneles

Para la evaluación del rendimiento energético y la eficiencia en los paneles solares monofaciales, se evaluó la correlación que existe entre los siguientes parámetros meteorológicos: La irradiancia solar, la temperatura ambiente, la humedad relativa, la velocidad del viento y la precipitación.

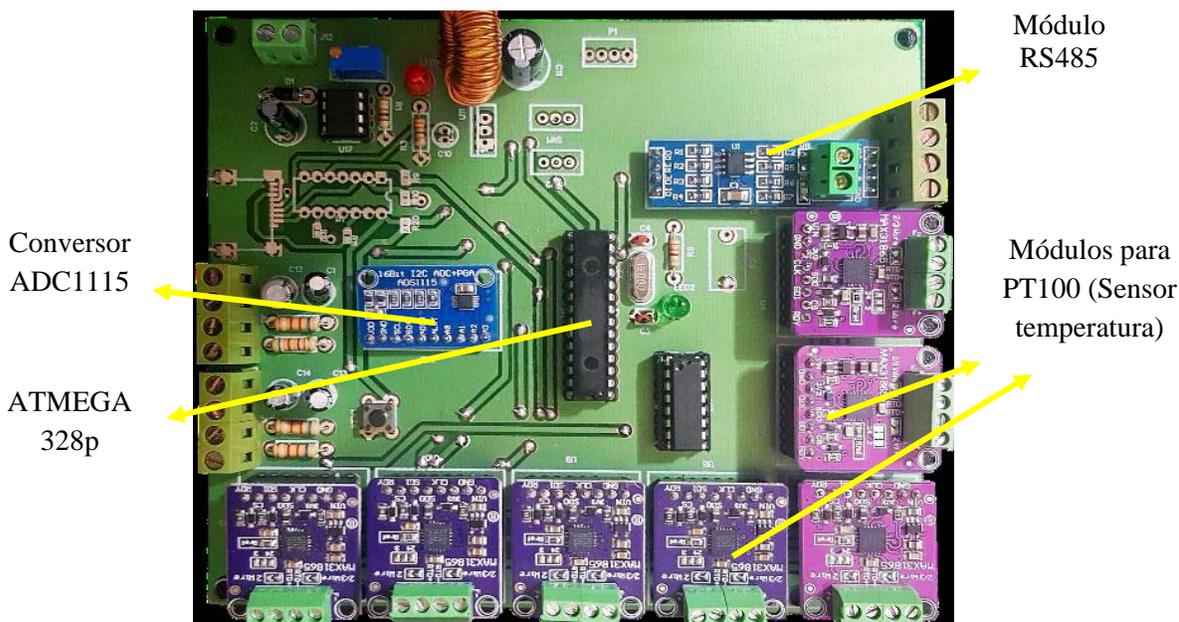


Figura 4. Instrumento: Medición de la temperatura en los paneles solares.
(Referencia: A. M. Carhuavilca et al (2020).

Para evaluar los paneles, se tomó principalmente en consideración la radiación solar, clasificándolo en tres categorías: radiación solar para los días nublados en el rango de 0 a 600 w/m^2 , para días combinados de 600 a 800 w/m^2 y para días soleados o despejados de 800 w/m^2 a más; ya que está relacionado con los factores atmosféricos y climáticos, lo que tiene alta injerencia en el rendimiento energético de los paneles solares.

En lo que respecta al análisis de datos, se realizó promediando mensualmente los valores ambientales y atmosféricos (temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del viento, precipitación, radiación solar y la energía solar captada), una vez que se tuvo estos promedios se correlacionó con los promedios mensuales de la energía total/día (kWh/m^2) generada por el total de los paneles solares durante los doce meses.

RESULTADOS

La Tabla 3, muestra el resultado general de los paneles monofaciles evaluados, considerando la correlación de la temperatura ambiente, la humedad, la velocidad del viento, la precipitación y la radiación solar. Los cambios de los parámetros climáticos y atmosféricos, tuvieron efecto en la eficiencia energética de los paneles solares, ya que estos parámetros principalmente afectan la incidencia de la radiación solar. La temperatura promedio fue de 23.49 °C, la humedad 52.04 % RH, velocidad del viento 4,61 km/h, precipitación de 0.60 mm/h, la radiación solar incidente fue de 777.33 w/m², bajo estos valores climáticos y atmosféricos la energía o irradiancia diaria en promedio fue de 4.67 kWh/m², y la energía diaria acumulada en el lapso de las 12 horas fue de 50.80kWh; y la acumulación anual desde enero a diciembre de 2021 fue de 18.542,70 kWh/año o 1.8542 MWh/año. Y de acuerdo al estándar de la norma IEC EN 61724-1 (2017), el rendimiento energético o Performance Ratio (PR), alcanzó el 68.85 %.

Tabla 3. Variables climática y atmosférica – rendimiento energético general.

| Año 2021 | Temp_amb (°C) | Humedad (% RH) | Veloc. viento (km/h) | Precipitación (mm/h) | Radiación solar (w/m ²) | Energía día (kWh/m ²) | Energía total día (kWh/m ²) |
|-----------------|------------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|--|---|---|
| Promedio | 23,49 | 52,04 | 4,61 | 0,60 | 777,33 | 4,67 | 50,80 |
| Mínimo | 18,70 | 30,00 | 0,00 | 0,00 | 507,52 | 1,28 | 16,21 |
| Máximo | 30,60 | 74,00 | 12,50 | 48,20 | 1077,24 | 9,92 | 94,36 |

La Tabla 4, muestra el resultado en la condición de *días nublados* de los paneles monofaciles evaluados, considerando la correlación de la temperatura ambiente, la humedad, la velocidad del viento, la precipitación y la radiación solar. Los cambios de los parámetros climáticos y atmosféricos, tuvieron efecto en la eficiencia energética de los paneles solares, ya que estos parámetros principalmente afectan la incidencia de la radiación solar. La temperatura promedio fue de 23.13 °C, la humedad 53.51 % RH, velocidad del viento 4.00 km/h, precipitación de 1.39 mm/h; bajo estos valores climáticos y atmosféricos la energía o irradiancia diaria en promedio fue de 4.41 kWh/m², y la energía diaria acumulada en el lapso de las 12 horas fue de 29.32 kWh; y la acumulación anual desde enero a diciembre de 2021 fue de 762.32 kWh/año o 0.76232 MWh/año; se puede observar que para los días nublados la producción energética ha disminuido notablemente llegando en promedio a 29.32 kWh, y esto es principalmente por la variación de la radiación solar, que en promedio llega a 563.53 w/m² y por los efectos climáticos y atmosféricos.

Tabla 4. Variables climática y atmosférica – rendimiento energético para días nublados.

| Días nublados | Temp_amb (°C) | Humedad (% RH) | Veloc. viento (km/h) | Precipitación (mm/h) | Radiación solar (w/m2) | Energía día (kWh) | Energía total (kWh) |
|---------------|---------------|----------------|----------------------|----------------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| Promedio | 23.13 | 53.51 | 4.00 | 1.39 | 563.53 | 4.41 | 29.32 |
| Mínimo | 19.80 | 46.00 | 0.00 | 0.00 | 507.52 | 1.71 | 16.21 |
| Máximo | 26.80 | 64.00 | 9.40 | 35.20 | 599.02 | 7.27 | 55.94 |

La Tabla 5, muestra el resultado en la condición de *días combinados* de los paneles monofaciles evaluados, considerando la correlación de la temperatura ambiente, la humedad, la velocidad del viento, la precipitación y la radiación solar. Los cambios de los parámetros climáticos y atmosféricos, tuvieron efecto en la eficiencia energética de los paneles solares, ya que estos parámetros principalmente afectan la incidencia de la radiación solar. La temperatura promedio fue de 25.68 °C, la humedad 47.62 % RH, velocidad del viento 4.58 km/h, precipitación de 0.12 mm/h; bajo estos valores climáticos y atmosféricos la energía o irradiancia diaria en promedio fue de 4.47 kWh/m², y la energía diaria acumulada en el lapso de las 12 horas llegó a 41.77 kWh; y la acumulación anual desde enero a diciembre de 2021 fue de 1085.97 kWh/año o 1.08597 MWh/año.

Se puede observar que para los días combinados la producción energética con respecto a los días nublados se ha incrementado en un 29.80 %, y esto se debe principalmente por la mejora de la radiación solar, que en promedio llegó a 721.92 w/m² y por los efectos climáticos y atmosféricos, para este caso la temperatura, humedad, la velocidad del viento y la precipitación.

Tabla 5. Variables climática y atmosférica – rendimiento energético para días combinados

| Días combinados | Temp_amb (°C) | Humedad (%RH) | Veloc. viento (km/h) | Precipitación (mm/h) | Radiación solar (w/m2) | Energía día (kWh) | Energía total (kWh/h) |
|-----------------|---------------|---------------|----------------------|----------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|
| Promedio | 25.68 | 47.62 | 4.58 | 0.12 | 721.92 | 4.47 | 41.77 |
| Mínimo | 21.60 | 39.00 | 0.00 | 0.00 | 633.03 | 2.45 | 28.87 |
| Máximo | 28.70 | 58.00 | 7.20 | 3.20 | 785.95 | 6.92 | 78.81 |

La Tabla 6, muestra el resultado en la condición de *días soleados o despejados* de los paneles monofaciles evaluados, considerando la correlación de la temperatura ambiente, la humedad, la velocidad del viento, la precipitación y la radiación solar. Los cambios de los parámetros climáticos y atmosféricos, tuvieron efecto en la eficiencia energética de los paneles solares, ya que estos parámetros principalmente afectan la incidencia de la radiación solar. La temperatura promedio fue de 26.23 °C, la humedad 49.53 % RH,

velocidad del viento 4.00 km/h, precipitación de 2.10 mm/h; bajo estos valores climáticos y atmosféricos la energía o irradiación diaria en promedio fue de 4.17 kWh/m², y la energía diaria acumulada en el lapso de las 12 horas llegó a 61.63 kWh; y la acumulación anual desde enero a diciembre de 2021 fue de 1.602.27 kWh/año o 1.60227 MWh/año.

Se puede observar que para los días soleados la producción energética con respecto a los días combinados se ha incrementado en un 32.22 %, esto se debe principalmente por la mejora de la radiación solar, que en promedio llegó a 900.35 w/m² y por los efectos favorables climáticos y atmosféricos, como es el caso de la temperatura, humedad, la velocidad del viento y la precipitación, presentaron mejores condiciones que en los días nublados y combinados, ya que con estos climáticos y atmosféricos se puede demostrar que, si existe relación con el rendimiento energéticos de los paneles solares.

Tabla 6. Variables climática y atmosférica – rendimiento energético para días soleados

| Días soleados | Temp_amb (°C) | Humedad (%RH) | Veloc. viento (km/h) | Precipitación (mm/h) | Radiación solar (w/m2) | Energía día (kWh) | Energía total (kWh/h) |
|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Promedio | 26.23 | 49.35 | 4.00 | 2.10 | 900.35 | 4.17 | 61.63 |
| Mínimo | 21.60 | 38.00 | 0.00 | 0.00 | 805.44 | 1.80 | 44.00 |
| Máximo | 30.60 | 73.00 | 5.80 | 43.80 | 1004.22 | 6.51 | 83.69 |

Estas variables climáticas atmosféricas analizadas y correlacionadas con la radiación solar, se puede afirmar que tuvieron efectos significativos en el rendimiento energético de los paneles solares. En el presente estudio, se evaluaron y se relacionaron los siguientes aspectos:

- La temperatura ambiental y en la superficie de los paneles aumenta y disminuye, lo que ocasiona que las células solares internas reaccionen de forma oscilante en la generación de electricidad. La diferencia de temperatura tiene efecto en la potencia de salida de los paneles fotovoltaicos. Particularmente, las altas temperaturas degradan la eficiencia de los paneles solares.
- En forma natural, la circulación y velocidad del viento actúa como un factor refrigerante en los paneles solares, y trae como consecuencia un ligero enfriamiento, que repercute de manera positiva en el rendimiento del sistema fotovoltaico.
- La humedad en el ambiente influye como un factor atmosférico, que atenúa la radiación solar proveniente del sol, por lo que la radiación solar se esparce como radiación difusa.
- Las precipitaciones, son otros factores atmosféricos y tal como la humedad, atenúa la radiación solar proveniente del sol y se pierde la energía solar, porque es absorbido por las partículas de agua y la otra parte se pierde como radiación difusa, que no logra incidir en los paneles solares.

-
- e) La potencia energética varía constantemente en cada instante del día, dado que, en un día cualquiera, se podría notar momentos con cielos nublados, combinados o despejados (soleados), siendo por ello el registro diferenciado de las potencias en cada instante del tiempo.
 - f) La suma de las condiciones ambientales (precipitación, temperatura interna y externa en los paneles, las nubes que causan sombras, precipitación, humedad), en general afectaron la eficiencia del rendimiento energético de los paneles solares.

Los valores de eficiencia energética de los sistemas de paneles varían constantemente en cada instante del tiempo, por tanto, el comportamiento energético de los paneles está sujeto a las condiciones ambientales, atmosféricas y ubicación geográfica del lugar donde se localizan los paneles solares.

DISCUSIÓN

Las condiciones climáticas, como los efectos de la temperatura, la irradiancia, la velocidad del viento, las precipitaciones, el ángulo de incidencia y los efectos de sombreado del horizonte se han demostrado que estos factores reducen la eficiencia energética de los paneles fotovoltaica en general (Thiel, Amillo, Tansini, Tsakalidis, & Yamaguchi, 2022), en la investigación se ha analizado que los efectos climáticos y atmosféricos son muy cambiantes, tanto para los días nublados, combinados y soleados, y se ha demostrado que dichos efectos, impactan al rendimiento energético de los paneles solares monofaciales, dado que en cada día se presentan variaciones climáticas y atmosféricas en cada instante del tiempo, y esto afecta primordialmente a los paneles solares, dado que la radiación solar sufre atenuaciones.

La potencia de la radiación solar aumenta desde la salida del sol alcanzando su valor máximo al mediodía, sin embargo frecuentemente ocurren paso de las nubes y cambios atmosféricos y que producen el efectos instantáneos de caídas brusca de la radiación solar y consecuentemente disminuye la eficiencia energética; en días despejados los valores de la radiación solar pueden llegar a 1050 w/m^2 , y en zonas de invernadero, que equivaldría a días combinados y nublados, llegarían a 760 w/m^2 y 590 w/m^2 respectivamente (Ezzaeri, y otros, 2018), similares resultado se obtuvieron en lo que respecta a la radiación solar considerando como los días nublados, combinado y soleados o despejados que fueron de 599.02 w/m^2 , 785.95 w/m^2 y 1004.22 w/m^2 respectivamente, estos valores promedios son datos evaluación correlacionado los factores climáticos y atmosféricos que se presentaron en cada día.

Según Aprajeeta, Jha (2019), evaluó el comportamiento de los paneles fotovoltaicos, relacionando la temperatura del panel fotovoltaico, la temperatura ambiente, la velocidad del viento en días claros y soleados y la radiación solar, para evaluar el efecto del viento en la limpieza de los paneles solares, es

así que las celdas estaban a 20 °C, y la velocidad del viento en una condición específica de 5.66 m/s (20.37 km/h) y la radiación solar de 800 w/m² y puesto en un entorno ambiental (Jha & Tripathy, 2019); similarmente en la investigación para evaluar el comportamiento de los paneles solares y determinar en este caso la eficiencia energética, se ha relacionado la velocidad del viento para días nublados, combinados y soleados que fueron los valores máximos de 9.40 km/h, 7.20 km/h y 5.80 km/h respectivamente; así como las temperaturas del medio ambiente para los tres casos de días que fueron de 26.80 °C, 28.70 °C y de 30.60 °C; y en lo que respecta a la radiación solar fueron de 599.02 w/m², 785.95 w/m² y 1004.22 w/m², como se podrá ver es válido correlacionar los diversos parámetros climáticos y atmosféricos en un estudio, en este caso de paneles solares fotovoltaicos monocristalinos.

Las variables climáticas que se toma en las investigaciones de los paneles solares fotovoltaicos, es la humedad que está muy relacionado con temperaturas y variaciones de la velocidad del viento; en lo que respecta a la humedad relativa en los meses de invierno se llegó con promedios superiores al 50 %, y en los meses de verano con humedad relativa de alrededor del 35 % al 48 % (Adouane, Al-Qattan, Alabdulrazzaq, & Fakhraldeen, 2020), en el estudio para la humedad se hallaron similares valores comprendidos para las épocas de invierno (comprende los meses de noviembre a abril) y verano (meses de mayo octubre), cuyos valores fueron en promedios fueron en invierno: mínimo 38 % RH y máximo a 73 % RH, en promedio 52.61 % RH, y para verano mínimo 30.00 % RH y máximo 74.00 % RH (verano) y en promedio 51.48 % RH. Y bajo estas condiciones la generación energética en invierno en Chachapoyas fue de 9240.90kW o 9.240 MW y para verano fue de 9301.80 kW o 9.301 MW respectivamente, y que totalizan 18542.70 kW o 18.542 MW.

CONCLUSIONES

La fuente del recurso solar en Chachapoyas, Amazonas, tiene una buena irradiación, similares al potencial solar de la costa sur, norte y sierra que este por encima de los 2500 m.s.n.m. del Perú, la energía solar acumulada anual alcanzó 1710.34 kWh/m², desde enero a diciembre de 2021, por lo que geográficamente reúne las condiciones de aprovechar la energía solar. Y la radiación solar, tuvo distintos comportamientos en los días nublados, combinado y soleados o despejados que fueron de 599.02 w/m², 785.95 w/m² y 1004.22 w/m² respectivamente, estos valores promediados se evaluaron correlacionando los factores climáticos y atmosféricos que se presentaron en cada día.

El sistema de paneles solares de la tecnología monofacial del tipo monocristalino, alcanzó un rendimiento energético anual del 68,71 %; con arreglos de 42 paneles, con potencias nominales de 15.75 kWp localizado en el parqueo de vehículos de la sede administrativa de la UNTRM.

La eficiencia energética, se relaciona con la velocidad del viento para días nublados, combinados y soleados; en tanto que la humedad tiene relación con el rendimiento energético de los paneles solares. Las condiciones climáticas son muy variantes, tanto para los días nublados, combinados y soleados, y se ha demostrado que dichos efectos, impactan en el rendimiento energético de los paneles solares monofaciales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adouane, M., Al-Qattan, A., Alabdulrazzaq, B., & Fakhraldein, A. (2020). Comparative performance evaluation of different photovoltaic modules technologies under Kuwait harsh climatic conditions. *Energy Reports*, Volume 6, November 2020, Pages 2689-2696. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.09.034>.
- Bayrak, F., Oztop, H. F., & Selimefendigil, F. (2019). Effects of different fin parameters on temperature and efficiency for cooling of photovoltaic panels under natural convection. *Solar Energy*, 484-494.
- Ezzaeri, K., Fatnassi, H., Gourdo, L., Bazgaou, A., Wifaya, A., & Bouriden, L. (2018). The effect of photovoltaic panels on the microclimate and on the tomato production under photovoltaic canarian greenhouses. *Solar Energy*, Volume 173, October 2018, Pages 1126-1134. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.08.043>.
- Fan, S., Wang, X., Wang, Y., Zhang, Y., & Liu, B. (2022). A novel model to determine the relationship between dust concentration and energy conversion efficiency of photovoltaic (PV) panels. *Enegy*, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123927>.
- Jha, A., & Tripathy, P. P. (2019). Heat transfer modeling and performance evaluation of photovoltaic system in different seasonal and climatic conditions. *Renewable Energy*, Volume 135, May 2019, Pages 856-865. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.032>.
- Li, P., Gao, X., Li, Z., & Zhou, X. (2022). Effect of the temperature difference between land and lake on photovoltaic power generation. *Renewable Energy*, 86-95.

- Mojunder, J. C., Chong, W. T., Ong, H. C., Leong, K. Y., & Mamoon, A.-A. (2016). An experimental investigation on performance analysis of air type photovoltaic thermal collector system integrated with cooling fins design. *Energy and Building*, 272-285.
- Ramanujam, J., & Singh, U. P. (2017). Copper Indium, Gallium selenide based solar cells - a review. *Energy Environ.Sci*, 1306-1319 - <https://doi.org/10.1039/C7EE00826K>.
- Sohani, A., Shahverdian, M. H., Sayyaadi, H., & García, D. A. (2020). Impact of absolute and relative humidity on the performance of mono and poly crystalline silicon photovoltaics; applying artificial neural network. *Journal Cleaner Production*, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123016>.
- Thiel, C., Amillo, A. G., Tansini, A., Tsakalidis, A., & Yamaguchi, M. (2022). Impact of climatic conditions on prospects for integrated photovoltaics in electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 158, April 2022, 112109. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112109>.
- Zdyb, A., & Gulkowski, S. (2020). Performance Assessment of four different photovoltaic Technologies in Poland. *Energies - MDPI*, doi:10.3390/en13010196.