

Estimacion de la eficiencia de la potencia de salida de los módulos fotovoltaicos monocristalino y policristalino con polvo y sin polvo

Estimation of power output efficiency of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic modules with dust and without dust

Vilma Sarmiento Mamani¹
v.sarmiento@unaj.edu.pe – Universidad Nacional de Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-5520-716X>

Miguel Washington Soncco Vilcapaza
wm.sonccov@unaj.edu.pe – Universidad Nacional de Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-2385-1820>

Junior Torres Yucra
ju.torres@unaj.edu.pe – Universidad Nacional de Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-9789-9013>

Lelia Quispe Huamán
l.quispe@unaj.edu.pe – Universidad Nacional de Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-1422-9178>

Vianey Daysi Chura Palli
va.chura.pa@unaj.edu.pe – Universidad Nacional de Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-0439-4273>

Pedro Yulian Puma Roque
pedroypr@gmail.com – Universidad Nacional de Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-8330-2108>

Recibido (Received): 01/08/23 | Aceptado (Accepted): 11/09/23

Resumen

La energía solar es una fuente de energía renovable ampliamente disponible que puede satisfacer diversas necesidades energéticas, empero las condiciones climatológicas difieren en cada lugar y las condiciones de funcionamiento reales de los módulos difieren de las condiciones estándar de prueba establecidas por las especificaciones de fabricación, además la deposición del polvo en la superficie de los módulos fotovoltaicos afecta negativamente sobre la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos. En la ciudad de Juliaca, se presenta una alta radiación solar, lo cual convierte en una de las mejores opciones para aprovechar la energía solar a través de sistemas fotovoltaicos, sin embargo, no hay investigaciones sobre la comparación de dos tecnologías de módulos fotovoltaicos monocristalino y policristalino con polvo y sin polvo. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es determinar la eficiencia de la potencia de salida de dos tecnologías de módulos fotovoltaicos con polvo y sin polvo durante la estación seca en la localidad de Santa María de Ayabacas ubicado a más de 3800 m.s.n.m. Para realizar el ensayo se utilizaron 4 módulos fotovoltaicos, dos de tecnología monocristalino (con polvo y sin polvo) y dos de tecnología policristalino (con polvo y sin polvo). Se registró datos durante cuatro meses. La energía producida, rendimiento energético y eficiencia de los sistemas fotovoltaicos fueron calculados de acuerdo con los procedimientos de la norma IEC 61724. Los resultados al evaluar la potencia de salida indican que, en la estación seca, los sistemas tienen un impacto negativo por la deposición del polvo en la eficiencia en ambas tecnologías, sin embargo, el módulo monocristalino con polvo y sin polvo tiene mayor eficiencia frente al módulo fotovoltaico policristalino con polvo y sin polvo. Concluyendo que los módulos fotovoltaicos monocristalinos sin polvo muestran mayor eficiencia en zonas altoandinas por encima de los 3800 m.s.n.m.

Palabras claves: *Deposición de polvo, Eficiencia, Monocristalino, Policristalino, Rendimiento.*

Como citar: Sarmiento-Mamani, V., Soncco-Vilcapaza, M. W., Torres-Yucra, J., Quispe-Huamán, L., Chura-Palli, V. D. & Puma-Roque, P. Y. (2023). Estimación de la eficiencia de la potencia de salida de los módulos fotovoltaicos monocristalino y policristalino con polvo y sin polvo. *ÑAWPARISUN – Revista de Investigación Científica de Ingenierías*, 4(3), 31-37

¹ Corresponding author: *v.sarmiento@unaj.edu.pe*

Abstract

Solar energy is a widely available renewable energy source that can meet various energy needs, however, weather conditions differ in each place and the actual operating conditions of the módulos differ from the standard test conditions established by the manufacturing specifications, also the deposition of dust on the surface of the photovoltaic módulos negatively affects the efficiency of photovoltaic systems. In the city of Juliaca, there is high solar radiation, which makes it one of the best options for harnessing solar energy through photovoltaic systems, however, there is no research on the comparison of two technologies of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic módulos with dust and without dust. Therefore, the objective of this research is to determine the efficiency of the power output of two technologies of photovoltaic modules with dust and without dust during the dry season in the town of Santa María de Ayabacas located at over 3800 m.a.s.l. Four photovoltaic modules were used for the test, two of monocrystalline technology (with dust and without dust) and two of polycrystalline technology (with dust and without dust). Data were recorded for four months. The energy produced, energy yield and efficiency of the PV systems were calculated according to IEC 61724 procedures. The results when evaluating the power output indicate that, in the dry season, the systems have a negative impact by dust deposition on the efficiency in both technologies, however, the monocrystalline módulo with dust and without dust has higher efficiency versus the polycrystalline PV módulo with dust and without dust. It is concluded that the monocrystalline photovoltaic módulos without dust show higher efficiency in high Andean areas above 3800 meters above sea level.

Keywords: *Dust deposition, Efficiency, Monocrystalline, Polycrystalline, Performance.*

Introducción

La energía solar es una fuente de energía renovable, que puede ser utilizada para satisfacer diversas necesidades energéticas de la tierra (Bachiller, 2007). Este recurso solar es abundante y disponible en el Perú porque el sol se encuentra presente durante todo el año en el territorio nacional. Esto hace que el país sea uno de los primeros de Latinoamérica en cuanto a la producción de energía solar y consecuentemente de poseer gran potencial eléctrico. Los mayores promedios anuales se dan en la costa sur con 6.0–6.5 kWh/m², en los departamentos de Tacna, Moquegua y Arequipa, y en la sierra es 5.5–6 kWh/m², en los departamentos de Ayacucho, Cuzco, Apurímac y Puno (Pereyra, 2011). De las diferentes formas de obtener la energía del sol los módulos fotovoltaicos cumplen una labor muy importante, por tal motivo para dimensionarlos correctamente, se debe conocer la cantidad y calidad de la radiación solar que recibirán en la ubicación elegida (Sepúlveda, 2014). Su función principal de los módulos fotovoltaicos, es la de proporcionar energía a la instalación a partir de la irradiación solar (Pareja, 2016), aprovechando el efecto fotoeléctrico (Cantos, 2016).

Los módulos solares son fabricados mediante pruebas de desempeño en condiciones estándar de prueba (STC, por sus siglas en inglés), los ensayos se realizan con una irradiación de 1000 W/m², a una temperatura ambiente de 25° y una masa de aire de 1.5; sin embargo, estas condiciones no se cumplen en tanto que las condiciones de operación reales dependen del lugar geográfico donde se instalan y su eficiencia se puede ver afectada por las condiciones atmosféricas y climáticas (Fuentes et al., 2007). Así mismo, la generación de energía fotovoltaica es susceptible a las condiciones meteorológicas y ambientales (Yang et al., 2019). Por otra parte, La acumulación de polvo reduce la transmisión de los módulos fotovoltaicos, y también reduce la radiación solar que reciben los módulos solares fotovoltaicos (Guan et al., 2017), así mismo la acumulación de polvo

en las diferentes estaciones del año influye en la eficiencia de funcionamiento del módulo fotovoltaico (Angulo et al., 2020). Por su parte Karakilic(2022) afirma que los cambios en condiciones ambientales (temperatura, irradiación solar, polvo, etc.) reducen aún más la eficiencia.

En la región Puno, en especial en la ciudad de Juliaca, la energía solar se presenta como una de las mejores opciones, ya que cuenta con una alta radiación solar. Por lo tanto, el objetivo de la investigación es determinar la eficiencia de la potencia de salida de dos tecnologías de módulos fotovoltaicos en estación seco.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Centro Poblado de Santa María de Ayabacas, en la ciudad de Juliaca dentro de la región de Puno en el sur del Perú cuya Latitud es 15°24'33.56"S y Longitud es 70° 5'26.85"O, a 15 km de la Ciudad de Juliaca, a 3806 m.s.n.m.



Figura 1. Ubicación de la instalación

El experimento se realizó durante cuatro meses de agosto a noviembre del 2021. Este sistema comprende la instalación de 4 módulos fotovoltaicos (MFV), cada uno de 100 Watts pico (Wp), las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 1 y Tabla 2. En un módulo fotovoltaico monocristalino y policristalino se realizaron la limpieza periódica,

mientras que los otros dos módulos fotovoltaicos permanecieron en condiciones climáticas de la zona sin limpieza para determinar la acumulación del polvo. Cada módulo fotovoltaico se ha conectado independientemente, los cuales están instalados en un sistema estructural, ubicados al norte y con un ángulo de inclinación de 15°, tal como se observa en la Figura 2 y Figura 3.



Figura 2. Módulos fotovoltaicos monocristalino y policristalino con polvo y sin polvo.



Figura 3. Ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos.

Tabla 1.

Ficha técnica del módulo fotovoltaicos monocristalino.

Modulo fotovoltaico	Medida
Potencia Máxima Nominal (Pmax)	100 Wp
Voltaje en potencia máxima (Vmp)	18.30 V
Corriente en potencia máxima (Vmp)	5.47 A
Voltaje en circuito abierto (Voc)	22.42 V
Corriente de corto circuito (Isc)	5.99 A
Temperatura de operación nominal de la célula (NOCT)	47±2 °C
Dimensiones (mm)	1130x668x35

Tabla 2.

Ficha técnica del módulo fotovoltaicos policristalino.

Modulo fotovoltaico	Medida
Potencia Máxima Nominal (Pmax)	100 Wp
Voltaje en potencia máxima (Vmp)	18.20 V
Corriente en potencia máxima (Vmp)	5.5 A
Voltaje en circuito abierto (Voc)	21.85 V
Corriente de corto circuito (Isc)	5.94 A
Temperatura de operación nominal de la célula (NOCT)	47±2 °C
Dimensiones (mm)	1130x668x35

Para el consumo de energía se utilizaron 4 focos lagrimones de 24V, así mismo se utilizó resistencias de 1 y 1.5 KΩ que actúan como divisor de tensión para las señales que serán cambiadas por el convertidor analógico haciendo que la señal analógica variable de los módulos fotovoltaicos se vuelva digital y que posteriormente sea registrada.

Los datos de tensión y corriente antes de ser almacenados fueron transformados mediante un convertidor analógico RMCA 61BD. Para el análisis de corriente y tensión, se realizó según la norma internacional IEC 61724, considerando la medición de cada parámetro de tensión y corriente para cada módulo fotovoltaico.

La norma IEC 61724-1:2017 define una serie de parámetros y factores de rendimiento que se calculan normalmente para periodos diarios, mensuales o anuales.

En las siguientes ecuaciones que se describen a continuación y que involucran una sumatoria, τ_k hace referencia a la duración del intervalo de medida k^{th} dentro de un periodo de tiempo.

La irradiación en el plano (H_i en Wh/m²) se calcula mediante la sumatoria de la irradiancia incidente en el plano (G_i , k en W/m²) de la siguiente manera:

$$H_i = \sum_k G_k \times \tau_k \quad (1)$$

donde τ_k representa una variable o factor de tiempo asociado al estado "k".

La energía en la parte de corriente continua (E_A en Wh) se calcula según la ecuación:

$$E_A = \sum_k P_{A,k} \times \tau_k \quad (2)$$

donde $P_{A,k}$ (W) es el k-ésimo valor registrado de la potencia a la entrada en corriente continua,

τ_k : representa una variable o factor de tiempo asociado al estado "k".

Por otro lado, la norma establece que el rendimiento energético del arreglo fotovoltaico (Y_A en Wh-W-1) hace referencia a la producción de energía en corriente continua del sistema por cada kW nominal instalado:

$$Y_A = \frac{E_A}{P_0} \quad (3)$$

donde P_0 es la potencia pico del sistema.

La eficiencia media del arreglo sobre un periodo de tiempo está dada por:

$$\eta_A = \frac{E_A}{H_i \times A_a} \quad (4)$$

donde A_a es el área total del arreglo, correspondiente a la suma de las áreas de las superficies frontales de los módulos FV según lo definido por sus bordes externos.

Resultados y discusiones

Se presentan los resultados correspondientes a la comparación referidos a la energía eléctrica continua (kWh/día) producida por los módulos fotovoltaicos monocristalino y policristalino. Los datos fueron calculados de acuerdo con los procedimientos de la norma IEC 61724, que se mencionan a continuación:

Energía de los sistemas de dos tecnologías

Luego de haber registrado la tensión y corriente, aplicamos la ecuación (2) para calcular la potencia, en la Tabla 3 se muestra la energía de los sistemas de dos tecnologías, con polvo y sin polvo en ambos sistemas.

Tabla 3.
 Energía diaria de los módulos fotovoltaicos policristalino y monocristalino con polvo y sin polvo

Mes - Año	Energía Policristalino con polvo(kWh)	Energía Policristalino sin polvo(kWh)	Energía Monocristalino sin polvo(kWh)	Energía Monocristalino con polvo(kWh)
2021-08	5.33	5.51	5.77	5.60
2021-09	4.90	5.05	5.24	5.09
2021-10	4.94	5.03	5.27	5.11
2021-11	4.89	5.05	5.26	5.12

En la Tabla 3, se muestra la energía diaria producida en los módulos fotovoltaicos de dos tecnologías con y sin polvo durante los meses de agosto a noviembre, así mismo se destaca que en el mes de agosto tiene mayor producción en ambos sistemas tanto con polvo y sin polvo, el módulo policristalino sin polvo produce 5.51 kWh, con polvo produce 5.33 kWh, así mismo el módulo monocristalino sin polvo y con polvo produce 5.77 kWh y 5.60 kWh respectivamente. Afirmando que el módulo monocristalino sin polvo produce mayor energía frente al módulo policristalino sin polvo.

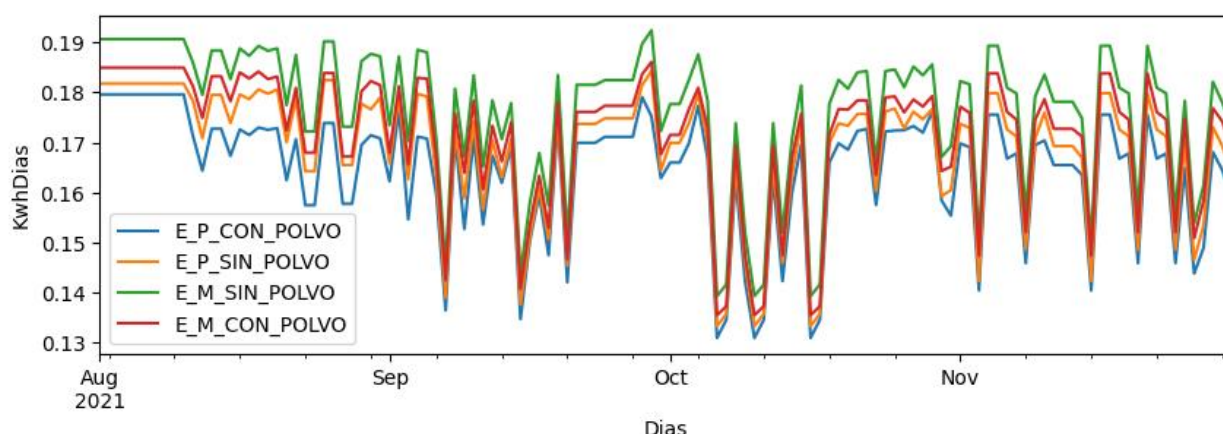


Figura 4. Energía diaria de los módulos fotovoltaicos policristalino y monocristalino con polvo y sin polvo

De la Tabla 3 y Figura 4 se observa que los módulos fotovoltaicos policristalinos sin polvo generan más energía que los módulos fotovoltaicos policristalinos con polvo en todos los meses de experimento. Así mismo los módulos fotovoltaicos monocristalinos sin polvo generan más energía que los módulos fotovoltaicos monocristalinos con polvo en los cuatro meses. La presencia del polvo reduce la generación de energía en comparación con los módulos fotovoltaicos limpios. En general, los módulos fotovoltaicos monocristalinos sin polvo generan más energía que los módulos fotovoltaicos policristalinos sin polvo durante los cuatro meses.

Rendimiento energético del módulo fotovoltaico

Para calcular el rendimiento de los módulos fotovoltaicos, se realizó de acuerdo a la norma IEC 61724-1:2017 aplicando la fórmula (3), la Potencia Máxima Nominal (P_{max}) de los módulos fotovoltaicos es de 100 W de acuerdo a las especificaciones técnicas de los módulos solares mostradas en la tabla 1 y 2, por tanto, $P_o = 100$ W, los valores calculados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.
Rendimiento de los módulos fotovoltaicos con polvo y sin polvo

Mes - Año	(Ya) Policristalino con polvo (kWh/kWp)	(Ya) Policristalino sin polvo (kWh/kWp)	(Ya) Monocristalino sin polvo (kWh/kWp)	(Ya) Monocristalino con polvo (kWh/kWp)
2021-08	53.30	55.05	57.71	56.02
2021-09	48.98	50.06	52.37	50.92
2021-10	49.41	50.33	52.66	51.11
2021-11	48.88	50.06	52.60	51.21

En la Tabla 4 se muestra la información de módulos fotovoltaicos policristalino con polvo y sin polvo con rendimiento de 53.30 kWh/kWp y 55.05 kWh/kWp respectivamente y módulos fotovoltaicos monocristalino con polvo y sin polvo con un rendimiento 56.02 kWh/kWp y 57.71 kWh/kWp cada uno. Se afirma que el módulo fotovoltaico monocristalino sin polvo reporta mayor rendimiento de 57.71 kWh/kWp.

En la figura 5, se puede apreciar el rendimiento de módulos fotovoltaicos de dos tecnologías con polvo y sin polvo en estación seco, por días durante los meses de agosto a noviembre.

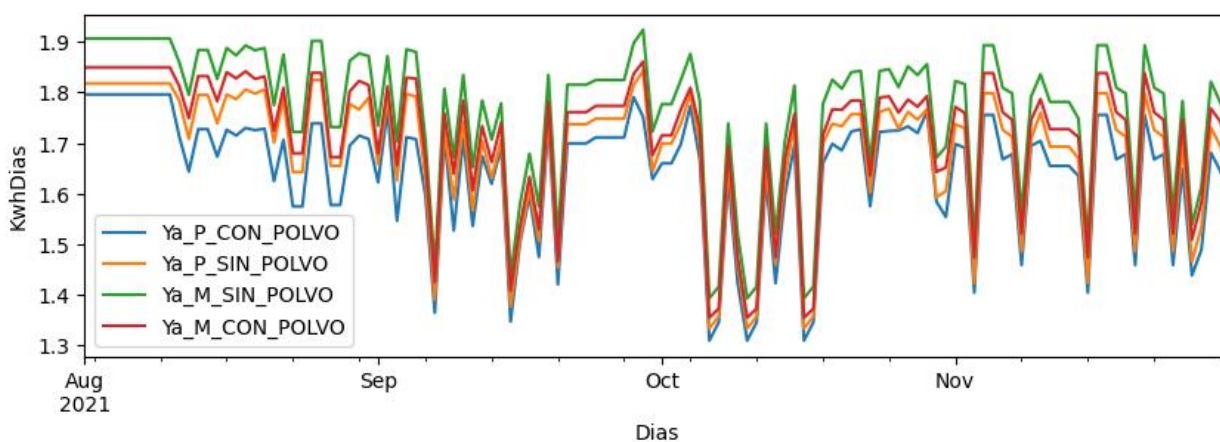


Figura 5. Rendimiento diario de los sistemas con polvo y sin polvo agosto a noviembre

Los módulos fotovoltaicos policristalinos sin polvo presentan un rendimiento energético (Ya) más alto frente a los módulos fotovoltaicos policristalinos con polvo en los cuatro meses. En tanto, la presencia de polvo reduce el rendimiento energético de los módulos policristalinos, lo que se refleja en la Tabla 4 y Figura 5. La presencia de polvo también tiene un impacto negativo en el rendimiento energético de los módulos monocristalinos. los módulos monocristalinos sin polvo tienen un rendimiento energético (Ya) más alto que los módulos policristalinos sin polvo en los cuatro meses.

Eficiencia de los sistemas

La eficiencia de los sistemas con polvo y sin polvo está dada por la Ecuación (4), donde el área total de cada uno de los módulos es de 0.75 m², la irradiación se calculará de acuerdo a la Ecuación (1).

Tabla 5.
Irradiación y eficiencia de los sistemas con polvo y sin polvo

Año - Mes	H (kWh /m ²)	Aa (m ²)	Eficiencia Policristalino con polvo (%)	Eficiencia Policristalino sin polvo (%)	Eficiencia Monocristalino sin polvo (%)	Eficiencia Monocristalino con polvo (%)
2021-08	235.19	0.75	3.01	3.11	3.27	3.17
2021-09	220.49	0.75	2.97	3.04	3.18	3.09
2021-10	229.31	0.75	2.89	2.95	3.04	2.99
2021-11	199.94	0.75	3.33	3.42	3.59	3.50

En la Tabla 5, resume la eficiencia de los sistemas de ambas tecnologías. Así mismo se observa que, durante los cuatro meses, en el mes de noviembre se tiene mayor porcentaje de eficiencia de los módulos fotovoltaicos con polvo y sin polvo. Así mismo la eficiencia del sistema policristalino con polvo es de 3.33% y sin polvo es de 3.42%, afirmando que el Sistema policristalino sin polvo cuenta con mayor eficiencia. El módulo fotovoltaicos monocristalino sin polvo tiene 3.59% de eficiencia, mientras que el módulo fotovoltaicos monocristalino con polvo tiene una eficiencia de 3.50%. Es decir, a menor irradiación mayor eficiencia en ambas tecnologías. Destacar que el módulo fotovoltaico monocristalino sin polvo cuenta con mayor porcentaje de eficiencia.

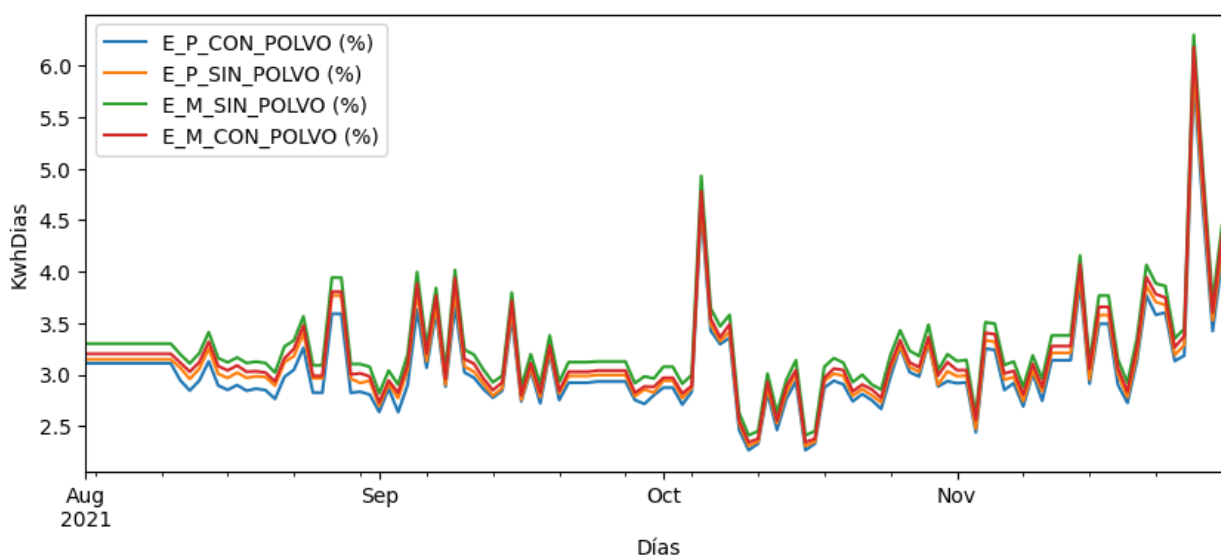


Figura 6. Eficiencia diaria de los sistemas con polvo y sin polvo – estación Seca

En general, los módulos fotovoltaicos policristalinos sin polvo presentan una mayor eficiencia en comparación con los módulos fotovoltaicos policristalinos con polvo en todos los meses, entonces se asevera que la presencia del polvo reduce la eficiencia de los módulos policristalinos.

Los módulos fotovoltaicos monocristalinos sin polvo presentan una mayor eficiencia en comparación con los módulos fotovoltaicos monocristalinos, es decir la presencia de polvo tiene un impacto negativo en la eficiencia de los módulos fotovoltaicos monocristalinos, lo que se refleja en valores bajos de eficiencia en la Tabla 5.

De acuerdo a la Figura 6, los módulos fotovoltaicos monocristalinos sin polvo presentan una mayor

Tabla 6.
Diferencia de energía de los módulos policristalino y monocristalino

Año - Mes	Diferencia Policristalino (kWh/kWp)	Diferencia monocristalino (kWh/kWp)	Diferencia Policristalino (%)	Diferencia monocristalino (%)
2021-08	1.755480	1.687782	3.188493	2.924410
2021-09	1.083316	1.447214	2.163628	2.763305
2021-10	0.916559	1.543046	1.821014	2.930167
2021-11	1.182249	1.387795	2.361485	2.638030

eficiencia que los módulos fotovoltaicos policristalinos sin polvo en todos los meses.

La diferencia en eficiencia entre los dos tipos de módulos fotovoltaicos puede variar según las condiciones específicas y las características de los módulos utilizados.

Diferencia de energía de policristalino y monocristalino

La diferencia de energía del módulo fotovoltaico policristalino con polvo y sin polvo, se realiza a través de la diferencia de la energía producida del módulo fotovoltaico policristalino sin polvo y con polvo. La diferencia de energía del módulo fotovoltaico monocristalino con polvo y sin polvo, se realiza a través de la diferencia de la energía producida del módulo fotovoltaico monocristalino sin polvo y con polvo.

En la Tabla 6, se observa que debido a la deposición del polvo por la ausencia de limpieza sobre el módulo fotovoltaico policristalino la productividad mensual es de un 3.19% en el mes de agosto. Para el módulo fotovoltaico monocristalino la productividad mensual es de 2.93% en el mes de octubre. Lo que significa que en el módulo fotovoltaico monocristalino presenta menor tasa de diferencia, lo cual confirma que los estos módulos fotovoltaicos tienen mejor desempeño en los meses de agosto a noviembre que representa la estación seca.

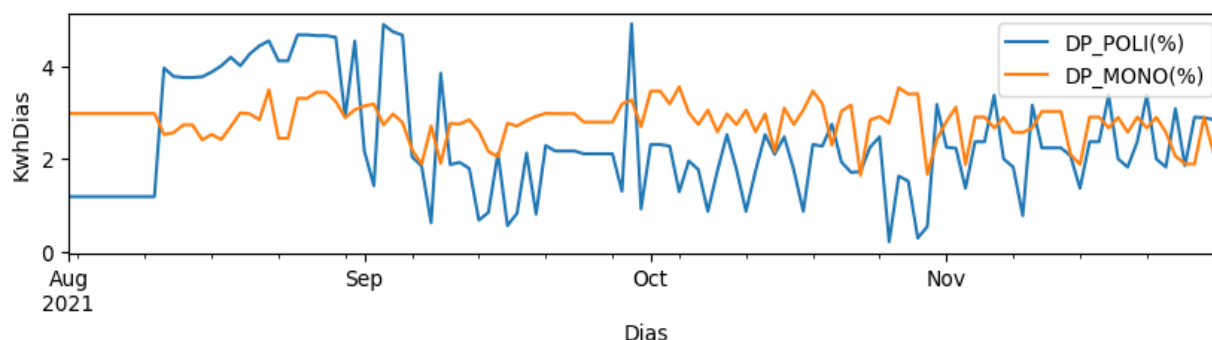


Figura 7. Rendimiento de los módulos fotovoltaicos con polvo respecto a los módulos fotovoltaicos sin polvo de dos tecnologías.

La Figura 7 muestra la diferencia porcentual diaria del rendimiento durante cuatro meses de agosto a noviembre. Esta diferencia porcentual muestra mayor rendimiento de los módulos fotovoltaicos monocristalinos en comparación con los módulos fotovoltaicos policristalinos.

Conclusiones

Se concluye que la presencia de polvo tiene un impacto negativo en la generación de energía en comparación con los módulos fotovoltaicos limpios de tecnología policristalino y monocristalino. Por tanto, disminuye el rendimiento de ambas tecnologías de sistemas fotovoltaicos, sin embargo, el módulo fotovoltaico monocristalino con polvo y sin polvo tiene mejor desempeño en zonas altoandinas por encima de los 3800 m.s.n.m. frente al módulo fotovoltaico policristalino con polvo y sin polvo. Por otra parte, se afirma que los módulos fotovoltaicos monocristalinos sin polvo muestran mayor eficiencia.

Es importante destacar que la eficiencia de los módulos fotovoltaicos no depende únicamente de la irradiación solar, sino también de otros factores como la deposición del polvo en los módulos fotovoltaicos. Sin embargo, la irradiación es un factor fundamental que influye en la eficiencia de los módulos fotovoltaicos. Por tanto, a menor irradiación mayor eficiencia en ambas tecnologías.

Referencias bibliográficas

Angulo, J., Calsi, B., Alfaro, E., Conde, L., Muñoz, E., Grieseler, R., Guerra, J., Palomino, J., Espinoza, R., & Casa, J. de la casa. (2020). Estudio del efecto del polvo y estimación de la potencia nominal en un string fotovoltaico. *Tecnia*, 30(1), 27–33. <https://doi.org/10.21754/TECNIA.V30I1.832>.

Bachiller, R. (2007). El sol: Nuestra estrella, nuestra energía.

Cantos, J. (2016). Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas. Recuperado el 14 de abril de 2023, de

<https://books.google.com.co/books?id=EHDICwAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>.

Fuentes, M., Nofuentes, G., Aguilera, J., Talavera, D. L., & Castro, M. (2007). Application and validation of algebraic methods to predict the behaviour of crystalline silicon PV modules in Mediterranean climates. *Solar Energy*, 81(11), 1396–1408.

<https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2006.12.008>.

Guan, Y., Zhang, H., Xiao, B., Zhou, Z., & Yan, X. (2017). In-situ investigation of the effect of dust deposition on the performance of polycrystalline silicon photovoltaic modules. *Renewable Energy*, 101, 1273–1284. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2016.10.009>.

Karakilic, A. N., Karafil, A., & Genc, N. (2022). Effects of Temperature and Solar Irradiation on Performance of Monocrystalline, Polycrystalline and Thin-Film Pv Módulos. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, 14(2), 254–260.

Pareja, M. (2016). Energía solar fotovoltaica (Tercera). Recuperado el 14 de abril de 2023, de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=XkxOEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=energia+solar&ots=tkW4PeVcqw&sig=4FvI7KCdGQ8mNxI0PPAmC_76fRY#v=onepage&q=energia+solar&f=false.

Roberto, I., & Pereyra, T. (2011.). Potencial de las Energías Renovables en el Perú Octubre de 2011.

Sepúlveda, S. (2014). Radiación solar: factor clave para el diseño de sistemas fotovoltaicos. *Mundo FESC*, 4(8), 60–65.

Yang, H., Zhang, Y., Ma, Y., Zhou, M., & Yang, X. (2019). Reliability evaluation of power systems in the presence of energy storage system as demand management resource. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 110, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.IJEPES.2019.02.042>