

**Estudio experimental de la eficiencia de la potencia de salida de 2 tecnologías de módulos fotovoltaicos durante la estación seca y lluviosa para el centro poblado de Ayabacas en la Universidad Nacional de Juliaca**

**Experimental study of the efficiency of the output power of 2 photovoltaic module technologies during the dry and rainy season for the populated center of Ayabacas at the National University of Juliaca**

---

Romael Elias Mamani Pampa  
*re.mamani.pa@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca*  
<http://orcid.org/0000-0003-3297-8006>  
Vilma Sarmiento Mamani  
*v.sarmiento@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca*  
<http://orcid.org/0000-0002-5520-716X>  
Junior Torres Yucra  
*ju.torres@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca*  
<http://orcid.org/0000-0001-9789-9013>

---

Recibido el 09/03/23 | Aceptado el 14/04/23  
DOI: <https://doi.org/10.47190/nric.v4i2.244>

### Resumen

En cada lugar las condiciones climatológicas son diferentes y éstas influyen en el rendimiento de los módulos fotovoltaicos, lo cual hace necesario tener una base de datos para la región de Puno, que son indispensables para el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos. El estudio tiene como objetivo determinar la eficiencia de la potencia de salida de 2 tecnologías fotovoltaicas durante la estación seca y lluviosa para el centro poblado de Ayabacas. Se utilizaron 4 módulos de tecnología poli y monocristalina, 2 de cada uno. Se limpió un módulo de cada tecnología y los 2 restantes fueron expuestos a la acumulación del polvo durante 12 meses, para luego, evaluar la potencia de salida. En la estación seca, el sistema fotovoltaico policristalino con polvo respecto al sistema sin polvo reduce su eficiencia de 3.11% a 3.07%, Para el sistema fotovoltaico monocristalino con polvo respecto al sistema sin polvo, la eficiencia se reduce de 3.28% a 3.23%. En la estación lluviosa el sistema policristalino con polvo redujo su eficiencia respecto al sistema sin polvo, de 3.64% a 3.61%. Para el sistema fotovoltaico monocristalino respecto al sistema sin polvo la eficiencia se reduce de 3.83% a 3.77. Durante la estación lluviosa se observa que la mayor temperatura para el módulo fotovoltaico policristalino sin polvo fue de 48.58 °C. Para el módulo fotovoltaico monocristalino sin polvo la temperatura máxima fue de 46.3 °C. Durante la estación seca, se observa que la mayor temperatura para el módulo fotovoltaico policristalino sin polvo fue de 48.62 °C. Para el módulo fotovoltaico monocristalino sin polvo la temperatura máxima fue de 47.44 °C.

**Palabras claves:** *Generación fotovoltaica, polvo, rendimiento.*

## Abstract

In each place the weather conditions are different and these influence the performance of the photovoltaic modules, which makes it necessary to have a database for the Puno region, which are essential for the maintenance of photovoltaic systems. The objective of the study is to determine the efficiency of the output power of 2 photovoltaic technologies during the dry and rainy season for the populated center of Ayabacas. 4 modules of poly and monocrystalline technology were used, 2 of each. One module of each technology was cleaned and the remaining 2 were exposed to dust accumulation for 12 months, to then evaluate the output power. In the dry season, the polycrystalline photovoltaic system with dust compared to the system without dust reduces its efficiency from 3.11% to 3.07%. For the monocrystalline photovoltaic system with dust compared to the system without dust, the efficiency is reduced from 3.28% to 3.23%. In the rainy season, the polycrystalline system with dust reduced its efficiency compared to the system without dust, from 3.64% to 3.61%. For the monocrystalline photovoltaic system, compared to the system without dust, the efficiency is reduced from 3.83% to 3.77. During the rainy season, it is observed that the highest temperature for the dust-free polycrystalline photovoltaic module was 48.58 °C. For the dust-free monocrystalline photovoltaic module, the maximum temperature was 46.3 °C. During the dry season, it is observed that the highest temperature for the dust-free polycrystalline photovoltaic module was 48.62 °C. For the dust-free monocrystalline photovoltaic module, the maximum temperature was 47.44 °C.

**Keywords:** *Photovoltaic generation, dust, yield.*

## Introducción

El Sol domina de manera abrumadora la actividad sobre nuestro planeta, debe jugar un papel importante en la satisfacción de las necesidades contemporáneas y futuras en términos de energía (Bachiller, 2007). La energía solar fotovoltaica aprovecha la energía lumínica del sol para producir electricidad mediante placas semiconductoras que se alteran con la radiación solar, estos son los paneles solares fotovoltaicos (Habana, 2017).

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio peruano, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y uniforme durante todo el año, haciendo más atractivo su uso en comparación a otros países. La radiación solar es mayor a menor latitud, así como a mayor altura sobre el nivel del mar. Los mayores promedios anuales se dan en la costa sur con 6.0–6.5 kWh/m<sup>2</sup>, en los departamentos de Tacna, Moquegua y Arequipa, y en la sierra: 5.5–6 kWh/m<sup>2</sup>, en los departamentos de Ayacucho, Cuzco, Apurímac y Puno (MINEM, 2011).

Por lo tanto, la radiación solar es un parámetro fundamental para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos, que varía geográficamente debido a factores climatológicos (Sepúlveda, 2014). También se establece que los paneles fotovoltaicos necesitan funcionar con el máximo rendimiento posible (Rojas & Lozano, 2016); sin embargo, la acumulación de polvo en los sistemas es uno de los principales factores que causa la pérdida en la eficiencia del sistema (Angulo et al., 2020).

Sin embargo, el aumento de la temperatura disminuye el voltaje de los paneles fotovoltaicos y, por lo tanto, disminuye la eficiencia de los paneles, este factor debe considerarse para extraer la máxima potencia de los paneles fotovoltaicos (Karafil et al., 2016.).

Esta situación nos lleva a determinar la operación y el funcionamiento de los módulos fotovoltaicos bajo las

condiciones geográficas y climatológicas del centro poblado de Ayabacas en la región de Puno, tales como son la estación seca y lluviosa.

## Materiales y métodos

El módulo experimental fue instalado, en el Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética (IEREE) de la Universidad Nacional de Juliaca en el Centro Poblado de Ayabacas, a 3832 m.s.n.m. y financiado por la doctora Vilma Sarmiento Mamani. El módulo fue muestreado durante 365 días calendario de forma continua durante la estación lluviosa que para el centro poblado de Ayabacas inicia en noviembre del 2021 y culmina en octubre del 2022, así como durante la estación seca, del mes de mayo al mes de octubre del 2022.



Figura 1. Ubicación de la instalación (círculos rojos).

Este sistema comprende la instalación de 4 módulos fotovoltaicos, 2 de tecnología monocristalina y 2 de tecnología policristalina los 4 de 100 Watts de potencia (Wp). Los 4 módulos fotovoltaicos están instalados en un sistema estructural, ubicados al norte y con un ángulo de inclinación de 15°. Se conectó cada módulo fotovoltaico independientemente del otro. Se limpió un módulo de cada tecnología y los 2 restantes fueron expuestos a la acumulación del polvo durante 12 meses, para luego, evaluar la potencia de salida. Se registran los datos de corriente, tensión y también de temperatura.



Figura 2. Módulos fotovoltaicos de ambas tecnologías instalados en el IREEE.

Tabla 1.

Ficha técnica del módulo fotovoltaicos monocristalino.

Modulo fotovoltaico	Medida
Modelo	ODA100-18-M
Potencia Máxima Nominal (Pmax)	100 Wp
Tolerancia de potencia (ToI)	3%
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
Tensión máxima del sistema	1000 VCD
Clasificación máxima de fusibles en serie	10 A
Temperatura de operación	-40°C a +85°C
Clase de aplicación	Clase A
Tecnología de la célula	Silicio monocristalino
Peso (Kg)	9.00
Dimensiones (mm)	1130x668x35

Nota. Extraído de la ficha técnica del módulo fotovoltaico.

Se siguió los siguientes pasos para la recolección de datos, en base al diagrama de flujo mostrado:

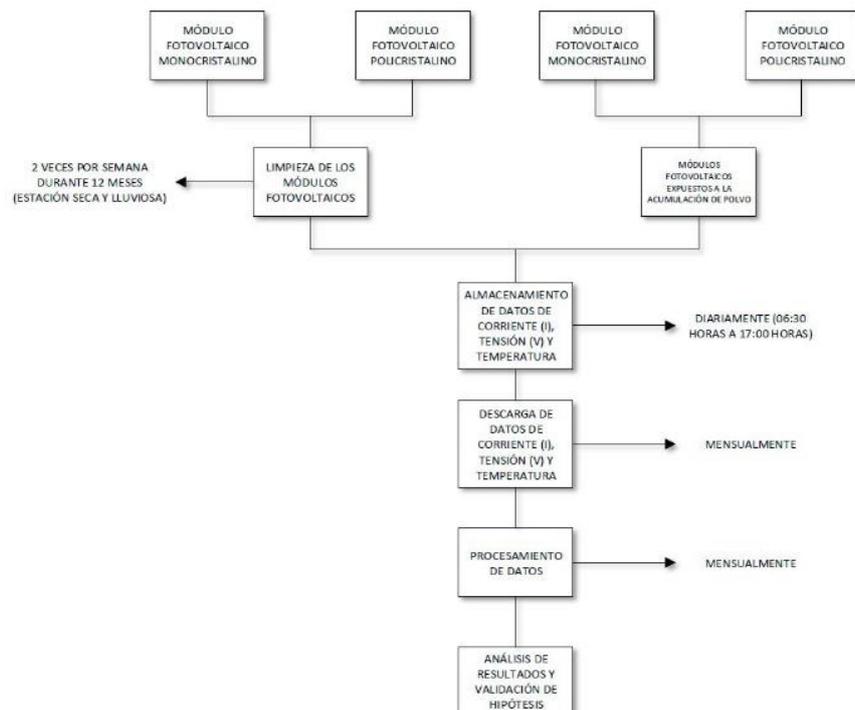


Figura 3. Diagrama de flujo de la recolección de datos.

### Resultados y discusión

Se presentan los resultados correspondientes a la comparación referidos a la energía eléctrica continua (Edc en kWh/día) producida por los módulos fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos limpios respecto a los sucios. Se utiliza la norma IEC 61724, los datos de productividades y eficiencias fueron calculados de acuerdo con los procedimientos que se mencionan a continuación:

En primer lugar, la irradiación en el plano ( $H_i$  en Wh/m<sup>2</sup>) se calcula mediante la sumatoria de la irradiancia incidente en el plano ( $G_i, k$  en W/m<sup>2</sup>) de la siguiente manera:

$$H_i = \sum_k G_k \times \tau_k \tag{1}$$

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

$$E_A = \sum_k P_{A,k} \times \tau_k \tag{2}$$

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

Por otra parte, la norma establece que el rendimiento energético del array fotovoltaico ( $Y_A$  en Wh·W<sup>-1</sup>) hace referencia a la producción de energía en corriente continua del sistema por cada kW nominal instalado:

$$Y_A = \frac{E_A}{P_o} \tag{3}$$

Donde  $P_o$  es la potencia pico del sistema.

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

$$\eta_A = \frac{E_A}{H_i \times A_a} \tag{4}$$

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

En un año de monitorización: noviembre del 2021 a octubre del 2022, los resultados son los siguientes:

### Resultados de energía, rendimiento y eficiencia para la estación lluviosa.

Tabla 3. Resultados de energía de los sistemas – estación lluviosa (2021-2022).

Mes - Año	Energía del módulo fotovoltaico policristalino con polvo (kWh)	Energía del módulo fotovoltaico policristalino sin polvo (kWh)	Energía del módulo fotovoltaico monocristalino sin polvo (kWh)	Energía del módulo fotovoltaico monocristalino con polvo (kWh)
Nov-21	4.888	5.006	5.261	5.122
Dic-21	4.886	4.954	5.199	5.091
Ene-22	4.980	5.080	5.333	5.221
Feb-22	4.604	4.648	4.835	4.784
Mar-22	4.961	4.972	5.195	5.139
Abr-22	4.943	4.889	5.197	5.203
Estación lluviosa	29.263	29.549	31.020	30.559

Tabla 4. Resultados de rendimiento de los sistemas – estación lluviosa (2021-2022).

Mes - Año	(Ya) Modulo fotovoltaico policristalino con polvo (kWh/kWp)	(Ya) Modulo fotovoltaico policristalino sin polvo (kWh/kWp)	(Ya) Modulo fotovoltaicos monocristalino sin polvo (kWh/kWp)	(Ya) Modulo fotovoltaico monocristalino con polvo (kWh/kWp)
Nov-21	48.88	50.06	52.61	51.22
Dic-21	48.86	49.54	51.99	50.91
Ene-22	49.80	50.80	53.33	52.21
Feb-22	46.04	46.48	48.35	47.84
Mar-22	49.61	49.72	51.95	51.39
Abr-22	49.43	48.89	51.97	52.03
Estación lluviosa	292.63	295.49	310.20	305.59

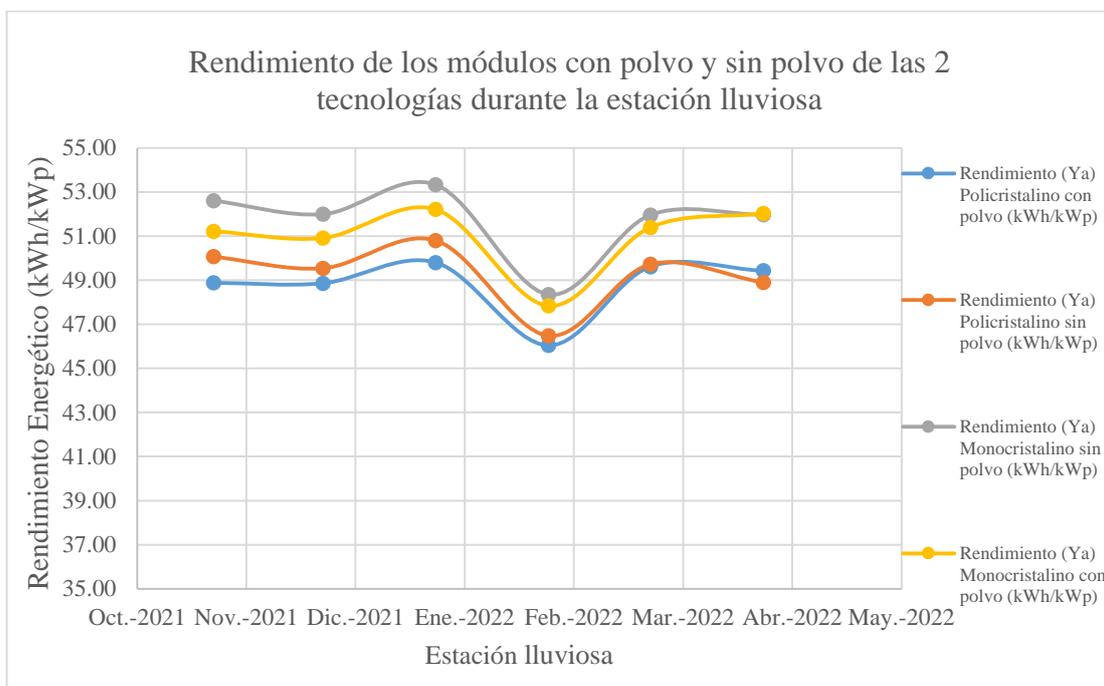


Figura 4. Rendimiento mensual de los sistemas con polvo y sin polvo – estación lluviosa (2021-2022).

Tabla 5.

Irradiancia y eficiencia de los sistemas con polvo y sin polvo – estación lluviosa (2021-2022).

Mes - Año	H (kWh/m <sup>2</sup> )	Aa (m <sup>2</sup> )	Eficiencia del sistema poli-cristalino con polvo (%)	Eficiencia del sistema poli-cristalino sin polvo (%)	Eficiencia del sistema mono-cristalino sin polvo (%)	Eficiencia del sistema mono-cristalino con polvo (%)
Nov-21	199.94	0.75	3.24	3.32	3.49	19
Dic-21	173.56	0.75	3.73	3.78	3.97	19
Ene-22	167.90	0.75	3.93	4.01	4.21	2
Feb-22	154.88	0.75	3.94	3.98	4.14	19
Mar-22	171.39	0.75	3.84	3.84	4.02	17
Abr-22	206.32	0.75	3.17	3.14	3.34	14
Estación lluviosa	1073.98	0.75	3.61	3.64	3.83	7

### Resultados de energía, rendimiento y eficiencia para la estación seca

Tabla 6.

Resultados de energía- estación seca (2022).

Mes - Año	Energía del módulo fotovoltaico policristalino con polvo (kWh)	Energía del módulo fotovoltaico policristalino sin polvo (kWh)	Energía del módulo fotovoltaico monocristalino sin polvo (kWh)	Energía del módulo fotovoltaico monocristalino con polvo (kWh)
May-22	5.082	5.137	5.495	5.418
Jun-22	4.961	4.999	5.176	5.146
Jul-22	5.149	5.188	5.401	5.372
Ago-22	4.961	5.024	5.429	5.370
Set-22	4.899	5.007	5.237	5.093
Oct-22	4.942	5.033	5.266	5.112
Estación seca	29.99	30.39	32.00	31.51

Tabla 7.  
Resultados de rendimiento de los sistemas – estación seca (2022).

Mes - Año	(Ya) Modulo fotovoltaico policristalino con polvo (kWh/kWp)	(Ya) Modulo fotovoltaico policristalino sin polvo (kWh/kWp)	(Ya) Modulo fotovoltaicos monocristalino sin polvo (kWh/kWp)	(Ya) Modulo fotovoltaico monocristalino con polvo (kWh/kWp)
May-22	50.82	51.37	54.95	54.18
Jun-22	49.61	49.99	51.76	51.46
Jul-22	51.49	51.88	54.01	53.72
Ago-22	49.61	50.24	54.29	53.70
Set-22	48.99	50.07	52.37	50.93
Oct-22	49.42	50.33	52.66	51.12
Estación seca	299.93	303.88	320.04	315.11

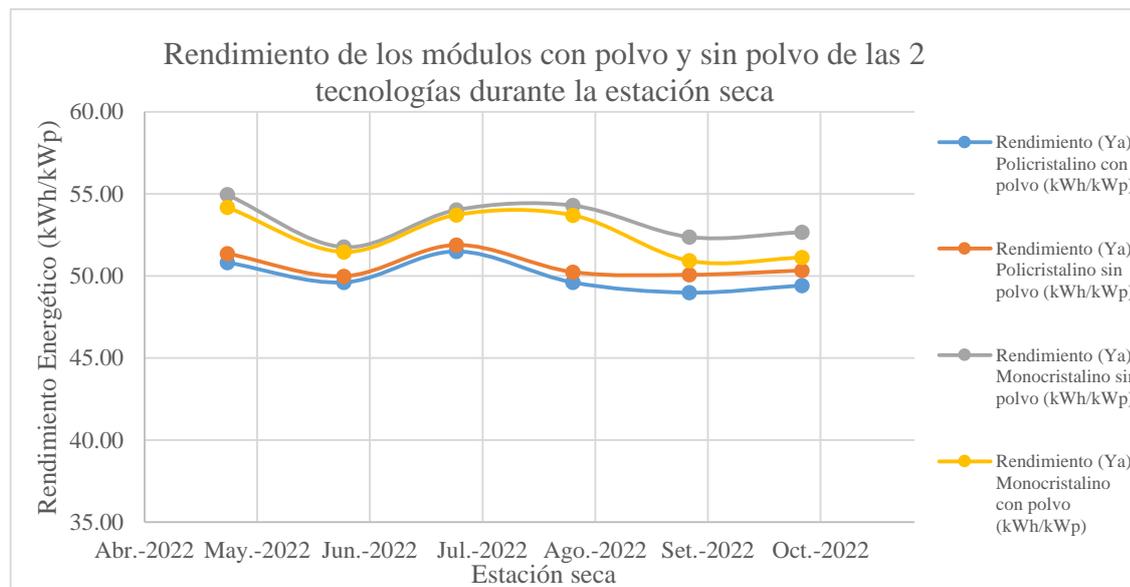


Figura 5. Rendimiento mensual de los sistemas con polvo y sin polvo – estación seca (2022).

Tabla 8.  
Irradiancia y eficiencia de los sistemas con polvo y sin polvo – estación seca (2022).

Mes - Año	H (kWh /m <sup>2</sup> )	Aa (m <sup>2</sup> )	Eficiencia del sistema poli-cristalino con polvo (%)	Eficiencia del sistema poli-cristalino sin polvo (%)	Eficiencia del sistema mono-cristalino sin polvo (%)	Eficiencia del sistema mono-cristalino con polvo (%)
May-22	214.49	0.75	3.14	3.17	3.39	3.35
Jun-22	195.51	0.75	3.36	3.39	3.51	3.49
Jul-22	213.07	0.75	3.20	3.23	3.36	3.34
Ago-22	227.95	0.75	2.88	2.92	3.16	3.12
Set-22	220.49	0.75	2.94	3.01	3.15	3.06
Oct-22	221.49	0.75	2.96	3.01	3.15	3.06
Estación seca	1293.01	0.75	3.07	3.11	3.28	3.23

## Resultados de temperatura para la estación seca y lluviosa

Tabla 9.

Resultados de temperatura para la estación lluviosa.

Resumen temperatura estación lluviosa (°C)							
Tiempo	M.F poli-cristalino sin polvo	M.F mono-cristalino sin polvo	M.F mono-cristalino con polvo	M.F poli-cristalino con polvo	Amb.	Dif. (poli)	Dif. (mono)
06:30-07:30	10.90	10.84	10.20	9.87	5.85	-1.02	-0.64
07:30-08:30	22.91	22.55	21.57	21.02	10.54	-1.89	-0.98
08:30-09:30	33.94	33.22	32.05	31.11	15.25	-2.83	-1.17
09:30-10:30	41.20	40.05	38.73	37.65	18.70	-3.55	-1.32
10:30-11:30	45.88	44.33	42.92	41.97	21.63	-3.91	-1.41
11:30-12:30	48.58	46.30	44.97	44.54	24.12	-4.05	-1.33
12:30-13:30	44.97	42.45	41.32	41.42	24.33	-3.55	-1.12
13:30-14:30	37.05	34.82	33.99	34.26	22.47	-2.79	-0.84
14:30-15:30	27.85	26.13	25.53	25.94	19.24	-1.91	-0.60
15:30-16:30	19.85	18.94	18.41	18.64	15.74	-1.22	-0.53
16:30-17:30	12.49	12.34	11.87	11.84	11.28	-0.66	-0.47
PROMEDIO	31.42	30.18	29.23	28.93	17.20	-2.49	-0.95

Tabla 10.

Resultados de temperatura para la estación seca.

Resumen temperatura estación seca (°C)							
Tiempo	M.F poli-cristalino sin polvo	M.F mono-cristalino sin polvo	M.F mono-cristalino con polvo	M.F poli-cristalino con polvo	Amb.	Dif. (poli)	Dif. (mono)
06:30-07:30	6.28	6.86	5.99	5.77	1.46	-0.51	-0.87
07:30-08:30	23.46	23.55	22.22	21.63	8.91	-1.83	-1.32
08:30-09:30	36.71	36.46	34.89	33.81	14.36	-2.90	-1.57
09:30-10:30	45.06	44.19	42.68	41.44	18.91	-3.62	-1.51
10:30-11:30	48.62	47.44	46.13	45.06	21.67	-3.56	-1.31
11:30-12:30	48.41	46.73	45.61	45.05	23.22	-3.36	-1.12
12:30-13:30	45.65	43.49	42.47	42.46	24.17	-3.19	-1.02
13:30-14:30	39.89	37.80	36.96	37.16	23.99	-2.73	-0.84
14:30-15:30	30.24	28.89	28.08	28.30	21.05	-1.93	-0.81
15:30-16:30	19.83	19.40	18.65	18.74	16.73	-1.10	-0.75
16:30-17:30	10.98	11.44	10.79	10.66	11.03	-0.32	-0.64
PROMEDIO	32.28	31.48	30.41	30.01	16.86	-2.28	-1.07

## Conclusiones

En la estación lluviosa se observó que el módulo policristalino con polvo redujo su eficiencia a razón de 0.031% cada día respecto al sistema sin polvo, reduciendo la eficiencia de 3.64% a 3.61% lo que significa una reducción de 0.97% para la estación lluviosa, para el módulo monocristalino la eficiencia se reduce a razón de 0.048% cada día con respecto al módulo sin polvo, reduciendo la eficiencia de 3.83% a 3.77% para la estación lluviosa. La productividad en el mes de noviembre desciende hasta en un 2.36%, para el módulo policristalino con polvo respecto al módulo policristalino sin polvo, para el módulo monocristalino con polvo la productividad mensual desciende hasta en un 2.64%, respecto al módulo monocristalino sin polvo que también se presenta en el mes de noviembre. Esto nos lleva a concluir que la Región de Puno también es un lugar idóneo para la instalación de módulos fotovoltaicos no sólo por el gran potencial solar si no también por el bajo impacto del polvo sobre la superficie de los módulos esto debido a las condiciones climatológicas favorables para la operación de los módulos fotovoltaicos.

Al inicio de la estación seca, se observa que el módulo policristalino con polvo reduce su eficiencia a razón de 0.042% cada día respecto al módulo sin polvo, reduciendo la eficiencia del sistema de 3.11% a 3.07%, lo que significa una reducción de 1.3 % para la estación seca. Para el módulo monocristalino con polvo la eficiencia se reduce a razón 0.05% cada día con respecto al módulo sin polvo, reduciendo la eficiencia del sistema de 3.28% a 3.23% lo que significa una reducción de 1.54% para la estación seca. La productividad mensual del módulo policristalino con polvo desciende hasta en 2.16%, que se presenta en el mes de setiembre. Para el módulo monocristalino la productividad mensual desciende hasta en un 2.93%, que se presenta en el mes de octubre. Esta reducción del rendimiento se debe a la disminución de la precipitación pluvial, lo que hace que con el paso de los días el polvo se acumule en los módulos fotovoltaicos de ambas tecnologías y afecten el rendimiento de los sistemas, entonces afirmamos que los sistemas fotovoltaicos de ambas tecnologías reducen su rendimiento en el mes de mayo, al inicio de la estación seca.

Durante la estación lluviosa la mayor temperatura para el módulo policristalino sin polvo fue de 48.58 °C. Para el módulo monocristalino sin polvo la temperatura máxima fue de 46.3 °C. Durante la estación seca la mayor temperatura para el módulo policristalino sin polvo fue de 48.62 °C. Para el módulo monocristalino sin polvo la temperatura máxima fue de 47.44 °C. Finalmente se registra una temperatura ambiente promedio de 16.86 °C con un máximo de 24.17 °C y un mínimo de 1.46 °C para la estación seca. Finalmente se registra una temperatura ambiente promedio de 17.2 °C con un máximo de 24.33 °C y un mínimo de 5.85 °C para la estación lluviosa. Se concluye que los módulos fotovoltaicos

monocristalinos varían menos su temperatura con respecto a los módulos fotovoltaicos policristalinos, esta diferencia entre las 2 tecnologías es de 2.05 °C para la estación seca. Se concluye que los módulos fotovoltaicos monocristalinos varían en menor grado su temperatura con respecto a los módulos fotovoltaicos policristalinos, esta diferencia entre las 2 tecnologías, tomando en cuanto las mayores diferencias es de 2.64 °C para la estación lluviosa. Por eso se afirma que el centro poblado de Ayabacas, es un lugar óptimo y asequible para poder realizar instalaciones fotovoltaicas con grandes potencias de instalación ya que la temperatura de los módulos fotovoltaicos no sobrepasa los 50°C además que la temperatura ambiente durante las dos estaciones se mantiene en 24 °C.

## Referencias bibliográficas

- Adinoyi, M. J. y Said, S. A. M. (2013). Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules. *Renewable Energy*, 60, 633–636. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.06.014>
- Alfaro, E., Espinoza, R., & Huaccachi, W. (2019). Influencia del polvo sobre el rendimiento eléctrico de módulos fotovoltaicos de película delgada, mediciones hechas en el labolcer. 2–7.
- Andrea, Y., Pogrebnyaya, T. y Kichonge, B. (2019). Effect of Industrial Dust Deposition on Photovoltaic Module Performance: Experimental Measurements in the Tropical Region.
- Angulo, J., Calsi, B., Alfaro, E., Conde, L., Muñoz, E., Grieseler, R., Guerra, J., Palomino, J., Espinoza, R. y Casas, J. (2020). Potencia nominal en un string fotovoltaico. Study of the dust effect and the nominal power estimation in a photovoltaic string. 3, 27–33.
- Bachiller, R. (2007). El Sol nuestra estrella, 371–382.
- Blanco, I. (2011). Instalación solar fotovoltaica conectada a red sobre la azotea de una nave industrial.
- Chaichan, T., Kazem, A., Al-waeli, A. y Sopian, K. (2020). The effect of dust components and contaminants on the performance of photovoltaic for the four regions in Iraq: a practical study. 3.
- Cieza, J. (2017). Dimensionamiento De Un Sistema Fotovoltaico Para Las Instalaciones Eléctricas De Alumbrado En El Hostal Lancelot Ubicado En Chiclayo. Recuperado de <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/1919/BC-TES-MP-765.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, R., Castro, M., Santos, A. y Vilaragut, M. (2018). Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica, 39, 146–156.
- Habana, L. (2017). . The hour equivalent solar pick, definition and interpretation, XXXVIII, 124–131.
- Hussain, A., Batra, A. y Pachauri, R. (2017). An experimental study on effect of dust on power loss in solar photovoltaic module. *Renewables: Wind, Water, and Solar*. Recuperado de <https://doi.org/10.1186/s40807-017-0043-y>
- Karafil, A., Ozbay, H., Kesler, M. y Parmaksiz, H. (2016). Calculation of Optimum Fixed Tilt Angle of PV Panels Depending on Solar Angles and Comparison of the Results with Experimental Study Conducted in Summer in Bilecik, Turkey, 971–976.
- Karmouch, R. y Hor, H. (2017). Solar Cells Performance Reduction under the Effect of Dust in Jazan Region *Fundamentals of Renewable Energy and Applications*. 7(2), 8–11. Recuperado de <https://doi.org/10.4172/2090-4541.1000228>
- MINEM. (2001). Ministerio de energía y minas. Recuperado de: <http://www.minem.gob.pe/>
- MINEM. (2011). Ministerio De Energía Y Minas. Recuperado de: <http://www.minem.gob.pe/>
- MINEM. (2011). Potencial de las Energías Renovables en el Perú.
- Nuevo, Pablo. 2016. Análisis de Factores Que Influyen En La Suciedad de Paneles Fotovoltaicos y Su Efecto Sobre La Producción de Energía Eléctrica. 115.
- Navarrete, K. T. del P. (2019). Análisis técnico – económico de un sistema fotovoltaico con influencia de suciedad , viento y lluvia en Arequipa- Perú- Ingeniera Industrial.
- OSINERGMIN. 2017. La Industria de La Energía Renovable En El Perú, 10 Años de Contribuciones a La Mitigación Del Cambio Climático. Vol. 1.
- Quispe, Augusto Wemer. 2017. Estudio Técnico Y Económico Para La Instalación De Una Planta Fotovoltaica Para La Provisión De Energía Al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional En La Región Puno. 1–17.
- Rao, A., Pillai, R., Mani, M. y Ramamurthy, P. (2014). Influence of dust deposition on photovoltaic panel performance. *Energy Procedia*, 54, 690–700. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.310>
- Rojas, M. y Lozano, M. (2016). Determinación del ángulo de inclinación óptimo de un panel fotovoltaico en el Valle Del Mantaro.
- Saidan, M., Ghani, A., Alasis, E. y Kaldellis, J. K. (2016). Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment. *Renewable Energy*, 92, 499–505. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.031>
- Santa, S (2014). Diseño de una instalación fotovoltaica autónoma para la finca Mis Delirio en Pereira – Colombia. Recuperado de [https://academica-unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/13683/TFM-Sergio%20Santa%20Garcia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://academica.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/13683/TFM-Sergio%20Santa%20Garcia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- SENAMHI. (2018). Servicio Nacional de Metereología e Hidrología del Peru. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/>
- Sepúlveda, S. (2014). Radiación Solar : Factor Clave

Para El Diseño De Sistemas Fotovoltaicos Solar  
Radiation : Key Factor For Design Of Radiación  
Solar : Factor Clave Para El Diseño, 60–65.

SIEMENS. (2004). Hoja de Datos Técnicos Hoja de  
Datos Técnicos. 28046.  
[https://multimedia.3m.com/mws/media/1411966  
O/3m-structural-adhesive-08122-spanish-tds.pdf](https://multimedia.3m.com/mws/media/1411966/O/3m-structural-adhesive-08122-spanish-tds.pdf)

SIEMENS. (2014). Hoja de datos. 3964, 4–7.

SOLAR, O. (2022<sup>a</sup>). Osda Solar ODA100-18-M.

SOLAR, O. (2022<sup>b</sup>). Osda Solar ODA100-18-P.

Sulaiman, A., Hussain, H., Siti, N., Leh, H. y Razali, M.  
(2021). Effects of Dust on the Performance of PV  
Panels. 5(10), 2021–2026.